

**Integrierte Vermeidung und Verminderung der
Umweltverschmutzung (IVU)**

**Merkblatt über Beste Verfügbare Techniken
in der Glasindustrie**

Dezember 2001

mit ausgewählten Kapiteln in deutscher Übersetzung

Umweltbundesamt
(German Federal Environmental Agency)
National Focal Point - IPPC
Postfach 33 00 22
D-14191 Berlin
Tel.: +49 (0)30 8903-0
Fax: + 49 (0)30 8903-3993
E-Mail: nfp-ippc@uba.de (Subject: NFP-IPPC)

Das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit und die 16 Bundesländer haben eine Verwaltungsvereinbarung geschlossen, um gemeinsam eine auszugsweise Übersetzung der Bit-Merkblätter ins Deutsche zu organisieren und zu finanzieren, die im Rahmen des Informationsaustausches nach Artikel 16 Absatz 2 der Richtlinie 96/61/EG über die integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung (IVU-Richtlinie) (Sevilla-Prozess) erarbeitet werden. Die Vereinbarung ist am 10.1.2003 in Kraft getreten. Von den BVT-Merkblättern sollen die für die Genehmigungsbehörden wesentlichen Kapitel übersetzt werden. Auch Österreich unterstützt dieses Übersetzungsprojekt durch finanzielle Beiträge.

Als Nationale Koordinierungsstelle für die BVT-Arbeiten wurde das Umweltbundesamt (UBA) mit der Organisation und fachlichen Begleitung dieser Übersetzungsarbeiten beauftragt.

Die Kapitel des von der Europäischen Kommission veröffentlichten BVT-Merkblattes „Reference Document on Best Available Techniques in the Glass Manufacturing Industry“, in denen die Besten Verfügbaren Techniken beschrieben sind (Kapitel 4 und 5), sind im Rahmen dieser Verwaltungsvereinbarung in Auftrag des Umweltbundesamtes übersetzt worden.

Die nicht übersetzten Kapitel liegen in diesem Dokument in der englischsprachigen Originalfassung vor. Diese englischsprachigen Teile des Dokumentes enthalten weitere Informationen (u.a. Emissionssituation der Branche, Technikbeschreibungen etc.), die nicht übersetzt worden sind. In Ausnahmefällen gibt es in der deutschen Übersetzung Verweise auf nicht übersetzten Textpassagen. Die deutsche Übersetzung sollte daher immer in Verbindung mit dem englischen Text verwendet werden.

Die Kapitel „Zusammenfassung“, „Vorwort“, „Umfang“ und „Schlussfolgerungen und Empfehlungen“ basieren auf den offiziellen Übersetzungen der Europäischen Kommission in einer in Zusammenarbeit mit Experten aus der Glasindustrie korrigierten und zwischen Deutschland, Luxemburg und Österreich abgestimmten Fassung.

Die Übersetzungen der weiteren Kapitel sind ebenfalls sorgfältig erstellt und fachlich durch das Umweltbundesamt und Fachleute der Bundesländer geprüft worden. Diese deutschen Übersetzungen stellen keine rechtsverbindliche Übersetzung des englischen Originaltextes dar. Bei Zweifelsfragen muss deshalb immer auf die von der Kommission veröffentlichte englischsprachige Version zurückgegriffen werden.

Dieses Dokument ist auf der Homepage des Umweltbundesamtes (<http://www.bvt.umweltbundesamt.de/kurzue.htm>) abrufbar.

Durchführung der Übersetzung in die deutsche Sprache:

Helga Majewski

8, boulevard du Grand-Couronné

F-83120 Sainte-Maxime

Tel.: +33-4-94-49-23-84

E-Mail: helga.majewski@wanadoo.fr

ZUSAMMENFASSUNG

1) Einführung

Das vorliegende Referenzdokument über die besten verfügbaren Techniken in der Glasindustrie beruht auf einem Informationsaustausch nach Artikel 16 Absatz 2 der Richtlinie 96/61/EG des Rates. Das Dokument ist im Zusammenhang mit dem Vorwort zu sehen, das die Zielsetzungen des Dokuments beschreibt und Hinweise zu seiner Verwendung gibt.

Das vorliegende Dokument umfasst die in Anhang 1 Abschnitte 3.3 und 3.4 der Richtlinie 96/61/EG beschriebenen industriellen Aktivitäten, und zwar:

- 3.3 Anlagen für die Herstellung von Glas einschließlich Glasfasern mit einer Schmelzleistung von über 20 Tonnen pro Tag
- 3.4 Anlagen für das Schmelzen von mineralischen Stoffen einschließlich der Herstellung von Mineralfasern mit einer Schmelzleistung von über 20 Tonnen pro Tag.

Für die Zwecke dieses Dokumentes werden die von diesen Beschreibungen in der Richtlinie erfassten industriellen Aktivitäten als Glasindustrie bezeichnet, die in acht Sektoren unterteilt wird. Diese Sektoren werden nach den gefertigten Erzeugnissen festgelegt, wobei es allerdings zu gewissen Überschneidungen zwischen den Sektoren kommt. Bei den acht Sektoren handelt es sich um folgende: Behälterglas; Flachglas; Endlosglasfaser; Wirtschaftsglas; Spezialglas (einschließlich Wasserglas); Mineralwolle (mit den zwei Teilsektoren Glaswolle und Steinwolle); Keramikfaser und Fritten.

Das Dokument umfasst sieben Kapitel sowie einige Anhänge mit ergänzenden Informationen. Die sieben Kapitel und vier Anhänge sind wie folgt überschrieben:

- 1. Allgemeine Informationen
- 2. Angewandte Prozesse und Techniken
- 3. Gegenwärtige Verbrauchs- und Emissionswerte
- 4. Bei der Festlegung der BVT zu berücksichtigende Techniken
- 5. Schlussfolgerungen zu den BVT
- 6. In der Entwicklung befindliche Techniken
- 7. Schlussfolgerungen und Empfehlungen
- 8. Anhang 1 - Beispiel von Anlagenemissionsdaten
- 9. Anhang 2 - Beispiel von Schwefelbilanzen
- 10. Anhang 3 - Überwachung
- 11. Anhang 4 - Rechtsvorschriften der Mitgliedsstaaten

Das Ziel der Zusammenfassung besteht in einer Übersicht der wesentlichen Ergebnisse des Dokuments. Der Charakter des Hauptdokuments lässt es nicht zu, sämtliche Gesichtspunkte und Einzelheiten in einer kurzen Zusammenfassung darzustellen. Deshalb wird auf den Haupttext verwiesen und nachdrücklich zum Ausdruck gebracht, dass nur das Hauptdokument als Ganzes als Bezugspunkt bei der Bestimmung der BVT für eine spezielle Anlage herangezogen werden sollte. Wenn derartige Festlegungen nur auf der Grundlage der Zusammenfassung getroffen werden, kann dies dazu führen, dass Informationen aus dem Zusammenhang gerissen werden und die Komplexität der Probleme verkannt wird.

2) Die Glasindustrie

Kapitel 1 enthält allgemeine Hintergrundinformationen zur Glasindustrie. Der Hauptzweck besteht dabei darin, ein besseres Verständnis der Industrie insgesamt zu ermöglichen und die Entscheidungsträger in die Lage zu versetzen, die an späterer Stelle im Dokument gegebenen Informationen in den Gesamtzusammenhang der auf die Industrie einwirkenden Einflussfaktoren einzuordnen.

Die Glasindustrie innerhalb der Europäischen Union (EU) ist äußerst breit gefächert, und zwar sowohl in Bezug auf die hergestellten Erzeugnisse als auch auf die angewandten Herstellungsverfahren. Die Palette der

Erzeugnisse reicht von komplizierten handgefertigten Bleikristallkelchen bis zu riesigen Mengen von Floatglas für die Bau- und Automobilindustrie. Bei den Fertigungsverfahren spannt sich der Bogen von kleinen elektrisch beheizten Wannen im Bereich der Keramikfaserherstellung bis zu Querbrennerwannen mit regenerativer Luftvorwärmung in der Flachglasproduktion mit einem Ausstoß von bis zu 700 Tonnen pro Tag. Die Glasindustrie im weiteren Sinne umfasst auch viele kleinere Anlagen mit einer Produktionsleistung unterhalb des in Anhang 1 der Richtlinie genannten Grenzwertes von 20 Tonnen pro Tag.

Die Glasindustrie ist im Wesentlichen eine grundstoffproduzierende Industrie, obwohl auch zahlreiche Methoden der Wertschöpfung für Massenerzeugnisse entwickelt wurden, um die Konkurrenzfähigkeit dieses Industriezweiges zu gewährleisten. Mehr als 80 % der Erzeugnisse der Glasindustrie werden an andere Industriezweige verkauft, und die Glasindustrie insgesamt ist stark von der Bauwirtschaft sowie der Lebensmittel- und Getränkeindustrie abhängig. Einige Sektoren der Kleinserienfertigung stellen jedoch auch hochwertige technische Erzeugnisse bzw. Konsumgüter her.

Die Gesamtproduktion der Glasindustrie innerhalb der EU wurde im Jahre 1996 auf 29 Millionen Tonnen (außer Keramikfasern und Fritten) geschätzt. Eine Untergliederung nach Sektoren wird in nachstehender Tabelle vorgenommen.

Sektor	% der Gesamtproduktion EU (1996)
Behälterglas	60
Flachglas	22
Endlosglasfaser	1,8
Wirtschaftsglas	3,6
Spezialglas	5,8
Mineralwolle	6,8

Grobe Untergliederung der Gesamtproduktion der Glasindustrie nach Sektoren (außer den Sektoren Keramikfaser und Fritten)

Kapitel 1 enthält Informationen für jeden Bereich unter den folgenden Überschriften: Sektorenüberblick, Erzeugnisse und Märkte, kommerzielle und finanzielle Aspekte und wesentliche Umweltgesichtspunkte. Aufgrund der Vielfältigkeit des Industriezweiges sind die für die einzelnen Sektoren angegebenen Informationen sehr unterschiedlich. Als veranschaulichendes Beispiel werden die für den Sektor Behälterglas genannten Informationen im folgenden Abschnitt zusammengefasst. Vergleichbare Daten werden soweit verfügbar zu allen Sektoren gegeben.

Die Behälterglasfertigung bildet mit etwa 60 % der Gesamtglasproduktion den größten Sektor der Glasindustrie der EU. Sie dient der Herstellung von Glasverpackungen, d.h. Flaschen und Konservengläser, zum Teil auch der Produktion von maschinell gefertigtem Wirtschaftsglas. Im Jahre 1997 verließen in diesem Sektor mehr als 17,3 Millionen Tonnen Glaserzeugnisse die 295 in der EU im Einsatz befindlichen Wannen. Es gibt etwa 70 Unternehmen mit 140 Standorten. Behälterglas wird in allen Mitgliedsstaaten mit Ausnahme von Luxemburg hergestellt. In der Getränkebranche werden etwa 75 % der gesamten Produktionsmenge an Glasverpackungsbehältern eingesetzt. Hauptkonkurrenten sind die alternativen Verpackungsmaterialien Stahl, Aluminium, Papierverbundstoffe und Kunststoffe. Eine Entwicklung von großer Tragweite innerhalb des Sektors ist der verstärkte Einsatz von Altglas. In Sektor Behälterglas liegt die durchschnittliche Verwertungsquote EU-weit bei etwa 50 % (gemessen am Rohstoffeinsatz), wobei in einigen Anlagen bis zu 90 % erreicht werden.

3) Angewandte Prozesse

Kapitel 2 beschreibt die gemeinhin in der Glasindustrie angewandten Prozesse und Fertigungsmethoden. Die meisten Prozesse lassen sich in fünf Hauptstufen untergliedern: Anlieferung, Schmelzen, Formgebung, weitere Bearbeitung und Verpackung.

Die Mannigfaltigkeit der Glasindustrie führt zur Verwendung einer breiten Palette von Rohstoffen. Die für den Materialtransport eingesetzten Techniken entsprechen den in vielen Industriezweigen genutzten Methoden und werden in Abschnitt 2.1 des Referenzdokuments beschrieben. Ein wesentlicher Gesichtspunkt ist dabei die Verhinderung des beim Transport des Feinmaterials entstehenden Staubes. Die Hauptrohstoffe für den

Schmelzprozess sind Glasbildner (z.B. Quarzsand, Scherben), Flussmittel/Stabilisatoren (z.B. Soda, Kalkstein, Feldspat) und Färbungs- bzw. Entfärbungsmittel (z.B. Eisenchromit, Eisenoxid).

Der Schmelzprozess, bei dem die einzelnen Rohstoffe unter hoher Temperatur zu Glas geschmolzen werden, ist die zentrale Phase in der Glasherstellung. Der Schmelzprozess ist eine komplexe Kombination chemischer Reaktionen und physikalischer Vorgänge und kann in mehrere Stufen untergliedert werden: Aufheizungsvorgang, Rauschmelze, Blankschmelzen und Homogenisierung sowie Konditionierung.

Die Hauptschmelztechniken werden nachstehend zusammenfassend beschrieben. In den Sektoren Steinwolle und Fritten werden andere Techniken eingesetzt, die im Hauptdokument ausführlich dargestellt werden. Die Glasherstellung ist ein sehr energieintensiver Vorgang, und die Wahl der Energiequelle, Heizmethode und Methode der Wärmerückgewinnung ist ausschlaggebend für die Konstruktion der Wanne. Die dazu gewählten Varianten zählen gleichzeitig auch zu den wichtigsten Faktoren, die das Umweltverhalten und den energetischen Wirkungsgrad des Schmelzvorgangs beeinflussen. Die drei Hauptenergieträger für die Glasherstellung sind Erdgas, Heizöl und Elektroenergie.

Regenerativwannen sind gekennzeichnet durch Einrichtungen zur regenerativen Wärmerückgewinnung. Die Brenner werden gewöhnlich in oder unter den Verbrennungsluft- bzw. Abgaskanälen angeordnet. Die in den Abgasen enthaltene Wärme dient zur Vorwärmung der Luft vor der Verbrennung, wobei die Abgase durch eine Kammer geführt werden, die zur Aufnahme der Wärme mit Feuerfestmaterial ausgestattet ist. Die Wanneneuerung erfolgt immer nur auf einer Seite. Nach etwa zwanzig Minuten wird die Feuerung umgekehrt und die Verbrennungsluft durch die vorher von den Abgasen erwärmte Kammer geführt. Die Vorwärmtemperatur kann Werte bis zu 1400 °C erreichen, wodurch ein sehr hoher thermischer Wirkungsgrad gewährleistet ist. In Querbrennerwannen mit regenerativer Luftvorwärmung sind die Verbrennungskanäle und Brenner an den Längsseiten der Wanne angeordnet, und die Regenerativkammern befinden sich auf beiden Seiten der Wanne. In den U-Flammenwannen gelten die gleichen Betriebsgrundsätze, die beiden Regenerativkammern befinden sich jedoch an einem Ende der Wanne.

Rekuperativwannen werden mit Wärmeaustauschern (als Rekuperatoren bezeichnet) zur Wärmerückgewinnung betrieben, wobei eine ständige Vorwärmung der Verbrennungsluft durch die Abgase stattfindet. Die Luftvorwärmtemperaturen sind für Rekuperatoren in Metallausführung auf etwa 800 °C begrenzt. Die spezifische Schmelzleistung (pro Einheit der Schmelzwannenfläche) von Rekuperativwannen ist etwa 30 % geringer als die einer Regenerativwanne. Die Brenner sind jeweils entlang der Seiten der Wanne quer zum Glasstrom angeordnet und feuern ständig von beiden Seiten. Diese Art von Wannen wird in der Hauptsache für Einsatzfälle benutzt, in denen es auf eine hohe Flexibilität des Betriebsablaufs bei geringstem möglichem Investitionsaufwand ankommt, insbesondere wenn der Produktionsumfang zu gering ist, um den Einsatz von Regeneratoren wirtschaftlich zu rechtfertigen. Er ist mehr für Anlagen mit kleiner Kapazität geeignet, obwohl Wannen mit höherer Leistung (bis zu 400 Tonnen pro Tag) nicht unüblich sind.

Bei der **Sauerstoff-Brennstoff-Beheizung** wird Sauerstoff (>90 % Reinheit) anstelle der Verbrennungsluft eingesetzt. Durch die Ausschaltung des größten Teiles des Stickstoffes aus der Verbrennungsumgebung wird das Abgasvolumen um etwa zwei Drittel verringert. Dadurch können Einsparungen im Energieverbrauch der Wanne erzielt werden, da der atmosphärische Stickstoff nicht mehr auf die Temperatur der Flammen aufgeheizt werden muss. Die Bildung von thermischen NO_x wird ebenfalls stark herabgesetzt. Sauerstoff-Brennstoff beheizte Wannen haben mit ihren seitlich angeordneten Brennern und einem einzigen Abgasabzugskanal im Allgemeinen den gleichen Grundaufbau wie die Unitmelter. Für einen Sauerstoffeinsatz ausgelegte Wannen sind jedoch nicht für die Nutzung von Einrichtungen zur Vorwärmung des Sauerstoffs vorgesehen.

Elektrowannen bestehen aus einem mit einem Stahlrahmen verstärkten Kasten aus Feuerfestmaterial, wobei Elektroden entweder durch die Seitenwand, die Decke oder – was üblicher ist – in den Boden der Wanne eingeführt werden. Die Wärme für den Schmelzprozess wird durch Widerstandsheizung beim Durchfluss des Stromes durch die Glasschmelze erzeugt. Diese Methode wird gemeinhin in kleinen Wannen, insbesondere zur Herstellung von Spezialglas angewandt. Die Rentabilität der Elektrowannen wird nach oben durch eine bestimmte Wannengröße begrenzt, die von den Stromkosten im Vergleich zu den Kosten für fossile Brennstoffe abhängt. Da zur Wannenbeheizung keine fossilen Brennstoffe eingesetzt werden, fallen auch keine Verbrennungsprodukte an.

Ein **Schmelzprozess mit kombinierter Beheizung durch fossile Brennstoffe und Elektroenergie** kann nach zwei Prinzipien erfolgen: unter vorwiegendem Einsatz von fossilem Brennstoff mit Zusatz von Elektroenergie; oder Beheizung unter vorwiegendem Einsatz von Elektroenergie mit Unterstützung durch fossilen Brennstoff. Die Elektrozusatzheizung ist ein Verfahren, bei dem eine Glaswanne durch die Einspeisung von elektrischem Strom über im Boden der Wanne angeordnete Elektroden mit zusätzlicher Wärme versorgt wird. Die Methode des Einsatzes von Gas oder Öl als Stützbrennstoff für eine vorwiegend elektrisch beheizte Wanne ist weniger verbreitet.

Chargenschmelzwannen mit diskontinuierlicher Beschickung werden für Einsatzzwecke genutzt, in denen nur kleinere Glasmengen erforderlich sind, insbesondere wenn sich die Glasrezeptur ständig ändert. In diesen Einsatzfällen werden Hafenöfen oder Tageswannen zum Schmelzen spezifischer Rohstoffchargen verwendet. Viele Glasherstellungsprozesse dieser Art unterliegen nicht der Kontrolle der IPPC, da ihre Schmelzleistung unter 20 Tonnen pro Tag liegt. Grundsätzlich besteht ein Hafenofen aus einem Unterteil zur Vorwärmung der Verbrennungsluft und einem Oberteil, in dem die Häfen untergebracht sind und der als Schmelzkammer dient. Tageswannen bilden eine Weiterentwicklung der Hafenöfen und haben eine höhere Leistung im Bereich von 10 Tonnen pro Tag. In ihrem Aufbau gleichen sie mehr der Viereckform einer herkömmlichen Wanne, werden aber täglich neu beschickt.

Spezialausführungen von Schmelzwannen wurden mit dem Ziel entwickelt, den Wirkungsgrad und die Umweltverträglichkeit zu verbessern. Die bekanntesten Ausführungen dieser Art sind die LoNOx- und die Flex-Schmelzwanne.

In den folgenden Abschnitten werden charakteristische Merkmale der in diesem Industriezweig angewandten Hauptprozesse und -techniken für die einzelnen Sektoren beschrieben.

Behälterglas ist sehr mannigfaltig, so dass zu seiner Herstellung nahezu alle oben beschriebenen Schmelztechniken eingesetzt werden. Das Formgebungsverfahren erfolgt in zwei Stufen, d.h. Vorformung des Glastropfens entweder durch Pressen mit Hilfe eines Stempels oder durch Blasen mit Druckluft und Fertigformung durch Blasen zur Herstellung der fertigen Hohlform. Diese beiden Verfahren werden demzufolge jeweils als "Press-Blas"- bzw. "Blas-Blas"-Verfahren bezeichnet. Die Herstellung von Behältern erfolgt fast ausschließlich mit Hilfe von IS-Maschinen (Individual Section).

Flachglas wird fast ausschließlich mit Hilfe von Querbrennerwannen mit regenerativer Luftvorwärmung erzeugt. Das Grundprinzip des Float-Verfahrens besteht darin, dass das geschmolzene Glas auf ein Bad von geschmolzenem Zinn aufgegossen und ein Band geformt wird, wobei die obere und untere Fläche unter dem Einfluss der Schwerkraft und der Oberflächenspannung planparallel werden. Hinter dem Floatbad wird das Glasband durch den Kühlofen geführt, in dem das Glas zur Verminderung der Restspannungen allmählich abgekühlt wird. Zur Verbesserung der Produkteigenschaften kann während des Fertigungsprozesses eine Online-Beschichtung vorgenommen werden (z.B. Wärmeschutzglas).

Endlosglasfasern werden mit Hilfe von Rekuperativwannen oder Wannen mit Sauerstoff-Brennstoff-Beheizung hergestellt. Das Glas strömt von der Wanne zu den Vorherden, in denen es durch Düsen am Boden fließt. Das Glas wird durch die Düsen spitzen gedrückt, wodurch die Endlosfasern gebildet werden. Die Fasern werden zusammengeführt und laufen über eine Walze bzw. einen Gurt, wobei die einzelnen Fasern mit einem wässrigen Überzug beschichtet werden. Die beschichteten Fasern werden zur weiteren Verarbeitung in Bündeln (Litzen) zusammengefasst.

Wirtschaftsglas bildet einen breit gefächerten Sektor, in der eine breite Palette von Erzeugnissen und Verfahren anzutreffen ist. Das Spektrum reicht von kompliziertem handgefertigtem Bleikristall bis zu mechanisierten Großserienverfahren zur Herstellung von Massenartikeln. Fast alle der oben beschriebenen Schmelztechniken kommen in diesem Sektor zur Anwendung, d.h. von Hafenöfen bis hin zu großen Regenerativwannen. Die eingesetzten Formgebungsverfahren sind Handfertigung, halbautomatische oder automatische Fertigung, und nach dem Herstellungsprozess können die Ausgangsartikel einer Kaltnachbearbeitung unterzogen werden (z.B. wird Bleikristall häufig geschnitten und poliert).

Spezialglas umfasst gleichfalls eine Vielzahl von Erzeugnissen, die in ihrer Zusammensetzung, Fertigungsmethode und Anwendung sehr unterschiedlich sein können. Zu den gängigsten Schmelztechniken

zählen Rekuperativwannen, Sauerstoff-Gas-Wannen, Regenerativwannen, Elektroschmelzwannen und Tageswannen. Durch die breite Palette von Erzeugnissen kommt es zur Anwendung zahlreicher Formgebungsverfahren in diesem Sektor. Zu den bedeutendsten Verfahren zählen Press-Blas-Fertigung, Walzen, Pressen, Bandfertigung, Rohrstrangpressen, Ziehen und Lösen (Wasserglas).

Glaswolle wird entweder in Elektroschmelzwannen, in gasgefeuerten Rekuperativwannen oder in Sauerstoff-Brennstoff beheizten Wannen hergestellt. Das geschmolzene Glas strömt durch einen Vorherd und weiter durch Düsen mit einer einzelnen Öffnung in eine Fliehkraftdreh Schleudermaschine. Die Faserherstellung erfolgt durch Fliehkraftwirkung, wobei dieser Prozess durch die heißen Gase einer Flamme verstärkt wird. Eine wässrige Phenolharzlösung wird auf die Fasern aufgesprüht. Die harzbeschichtete Faser wird durch Saugwirkung auf ein laufendes Förderband gezogen und durchläuft dann einen Ofen zur Trocknung und Aushärtung des Erzeugnisses.

Steinwolle wird gewöhnlich mit koksgefeuerten Kupolöfen hergestellt. Das geschmolzene Material sammelt sich am Boden des Ofens und strömt über eine kurze Rinne aus dem Ofen heraus in die Schleudermaschine. Mit Hilfe von Luft werden die Fasern ausgezogen und zu den Sammelbändern hingeführt. Eine wässrige Phenolharzlösung wird mit Hilfe einer Reihe von Sprühdüsen auf die Fasern aufgesprüht. Der weitere Ablauf des Verfahrens entspricht im Wesentlichen dem bei der Herstellung von Glaswolle angewandten Prozess.

Keramikfasern werden ausschließlich mit Hilfe von Elektrowannen erzeugt. Die Faserherstellung aus der Schmelze erfolgt entweder durch Hochgeschwindigkeitsscheiben oder einen Hochdruckluftstrahl, wonach die Fasern auf ein Sammelband geführt werden. Das Erzeugnis kann an dieser Stelle in Ballen verpackt oder zu Matten weiterverarbeitet werden, die als Erzeugnis zur Ballenverpackung oder als Nadelfilz vorgesehen sind. Möglich ist aber auch eine weitere Verarbeitung.

Die **Frittenherstellung** erfolgt sowohl mit Durchlauföfen als auch mit Chargenöfen. Es ist allgemein üblich, dass kleine Chargen für die Herstellung eines breiten Spektrums von Rezepturen eingesetzt werden. Frittenöfen werden im Allgemeinen mit Erdgas oder Heizöl gefeuert, und viele Frittenanlagen sind mit Sauerstoff-Brennstoff-Beheizung ausgestattet. Durchlauföfen können als Querflammenwannen oder als U-Flammenwannen mit nur einem Brenner ausgeführt werden. Chargenöfen haben eine kastenförmige Konstruktion oder eine zylindrische Form mit Feuerfestauskleidung (Drehrohröfen) und sind so montiert, dass eine gewisse Drehung möglich ist. Die Schmelze kann direkt in einem Wasserbad abgeschreckt werden oder zwischen wassergekühlten Walzen zur Herstellung eines flockenförmigen Produktes abgekühlt werden.

4) Verbrauchs- und Emissionswerte

Kapitel 3 enthält Informationen zu den Verbrauchs- und Emissionswertebereichen, wie sie in der Glasindustrie bei den in Kapitel 2 beschriebenen Prozessen und Techniken angetroffen werden. Die zugeführten und ausgetragenen Stoffe werden für die Industrie als Ganzes erörtert. Danach erfolgt eine spezifische Betrachtung der einzelnen Sektoren. In diesem Kapitel wird auf Hauptemissionen, Emissionsquellen und Energiefragen eingegangen. Diese Informationen sollen es ermöglichen, die Emissions- und Verbrauchswerte einer bestimmten zur Genehmigung vorgesehenen Anlage dadurch richtig einzuordnen, dass sie den Werten anderer Prozesse im gleichen Sektor oder in der Glasindustrie als Ganzes gegenübergestellt werden.

Die wesentlichsten dem Prozess zugeführten Stoffe können in vier Hauptkategorien unterteilt werden: Rohstoffe (Bestandteile des Produktes), Energie (Brennstoffe und Elektroenergie), Wasser und Hilfsstoffe (Verarbeitungshilfsstoffe, Reinigungsmittel, Chemikalien zur Wasserbehandlung usw.). Die Rohstoffe der Glasindustrie sind im Wesentlichen feste anorganische Verbindungen, und zwar entweder in der Natur vorkommende Mineralien oder künstlich hergestellte Erzeugnisse. Die Palette der Rohstoffe reicht von sehr groben Stoffen bis zu fein verteilten Pulvern. Auch Flüssigkeiten und Gase finden breite Anwendung und können als Hilfsstoffe sowie auch als Brennstoffe eingesetzt werden.

Das Hauptdokument enthält in Tabelle 3.1 eine Aufstellung der gebräuchlichsten zur Glasherstellung verwendeten Rohstoffe. Die zur Formgebung und in anderen nachgeschalteten Arbeitsgängen eingesetzten Rohstoffe (z.B. Beschichtungen und Bindemittel) sind spezifischer und werden in späteren Abschnitten behandelt. Die Glasindustrie als Ganzes verbraucht keine großen Wassermengen. Die Haupteinsatzgebiete von Wasser sind Kühlung, Reinigung und Befeuchtung des Gemenges. Die Glasherstellung ist ein energieintensiver

Zusammenfassung

Prozess. Brennstoffe bilden daher einen wesentlichen Einsatzstoff. Die Hauptenergiequellen in der Glasindustrie sind Heizöl, Erdgas und Elektroenergie. Die Fragen der Energie und Brennstoffe werden in Abschnitt 3.2.3 und in den Abschnitten zu den einzelnen Sektoren behandelt.

Die wesentlichsten Ergebnisse des Prozesses können in fünf Hauptkategorien unterteilt werden: Produkt, Emissionen in die Luft, Abwässer, feste Reststoffe und Energie.

In allen Sektoren der Glasindustrie kommen pulver-, granulat- oder staubförmige Rohstoffe zum Einsatz. Die Lagerung und der Transport dieser Stoffe stellen ein wesentliches Potential für Staubemissionen dar.

Die Hauptumweltprobleme der Glasindustrie sind Emissionen in die Luft und der Energieverbrauch. Die Glasherstellung ist ein energieintensiver Prozess, der unter hohen Temperaturen abläuft. Er führt zur Emission von Verbrennungsprodukten und zur Hochtemperaturoxidation von atmosphärischem Stickstoff, d.h. zur Bildung von Schwefeldioxid, Kohlendioxid und Stickstoffoxiden. Weiterhin sind in den Emissionen der Wannen Staub und kleinere Mengen an Metallen enthalten. Nach Schätzungen setzten sich die Emissionen der Glasindustrie im Jahre 1997 wie folgt zusammen: 9 000 Tonnen Staub, 103 500 Tonnen NO_x, 91 500 Tonnen SO_x und 22 Millionen Tonnen CO₂ (einschließlich Elektroenergieerzeugung). Diese Werte machen etwa 0,7 % der Emissionen dieser Stoffe im gesamten EU-Gebiet aus. Der Gesamtenergieverbrauch der Glasindustrie betrug etwa 265 PJ. Die von den Schmelzprozessen der Glasindustrie ausgehenden Hauptemissionen werden in der folgenden Tabelle zusammengefasst.

Emission	Quelle / Bemerkungen
Partikelförmige Emissionen	Kondensation flüchtiger Gemengebestandteile. Mitgerissene Feinstoffe aus dem Gemenge. Verbrennungsprodukte einiger fossiler Brennstoffe.
Stickstoffoxide	Thermisches NO _x infolge hoher Schmelzwannentemperaturen. Zersetzung von Stickstoffverbindungen im Gemenge. Oxidation von in Brennstoffen enthaltenem Stickstoff.
Schwefeloxide	Schwefel im Brennstoff. Zersetzung von Schwefelverbindungen aus dem Gemenge. Oxidation von Wasserstoffsulfid im Betrieb von Kupolöfen.
Chloride/HCl	Vorhanden als Verunreinigung in einigen Rohstoffen, insbesondere in synthetischem Natriumkarbonat. NaCl als Rohstoff für einige Spezialgläser.
Fluoride/HF	Vorhanden als geringfügige Verunreinigung in einigen Rohstoffen. Zugabe als Rohstoff in der Herstellung von Emaillefritte zur Erzielung bestimmter Eigenschaften im Produkt. Zugabe als Rohstoff in der Endlosglasfaserherstellung sowie bei einigen Glasarten zur Verbesserung des Schmelzvorgangs oder zur Erzielung bestimmter Eigenschaften im Glas, z.B. Opaleszenz. Wenn Fluoride dem Gemenge zugegeben werden (in der Regel als Flussspat) kann eine sehr starke unkontrollierte Freisetzung auftreten.
Schwermetalle (z.B. V, Ni, Cr, Se, Pb, Co, Sb, As, Cd)	Vorhanden als geringfügige Verunreinigungen in einigen Rohstoffen, Altglasscherben und Brennstoffen. Verwendung in Flussmitteln und Färbungsmitteln in der Frittenindustrie (vorwiegend Blei und Cadmium). Verwendung in einigen Spezialglasrezepturen (z.B. Bleikristall und einige Farbglasarten). Selen wird als Färbungsmittel (Bronzeglas) oder als Entfärbungsmittel in einigen Klarglasarten verwendet.
Kohlendioxid	Verbrennungsprodukt. Ausstoß nach der Zersetzung von Karbonaten im Gemenge (z.B. Soda, Kalkstein).
Kohlenmonoxid	Produkt bei unvollständiger Verbrennung, insbesondere bei Kupolöfen.
Wasserstoffsulfid	Entsteht aus dem im Rohstoff oder Brennstoff enthaltenen Schwefel in Kupolöfen infolge der in Teilen der Wanne herrschenden Reduktionsbedingungen.

Zusammenfassung der im Schmelzbetrieb entstehenden Emissionen in die Luft

Die in nachgeschalteten Betriebsabläufen entstehenden Emissionen können in den verschiedenen Sektoren sehr unterschiedlich sein und werden in den jeweiligen Abschnitten erörtert. Obwohl es Ähnlichkeiten in den in

vielen Sektoren angewandten Schmelztechniken gibt, sind die nachgeschalteten Betriebsabläufe eher spezifisch. Atmosphärische Emissionen können in folgenden Betriebsvorgängen entstehen: Aufbringung und/oder Trocknung von Beschichtungen, Sekundärverarbeitung (z.B. Schneiden, Polieren usw.) sowie einige Produktformgebungsvorgänge (z.B. Mineralwolle und Keramikfaser).

Emissionen in das Wasser sind im Allgemeinen verhältnismäßig gering, und es gibt wenige größere Probleme, die speziell in der Glasindustrie auftreten. In einigen Sektoren finden allerdings bestimmte Betriebsvorgänge statt, die einer näheren Betrachtung bedürfen und in den Abschnitten zu den Sektoren behandelt werden, und zwar insbesondere in den Bereichen Wirtschaftsglas, Spezialglas und Endlosglasfasern.

Ein spezifisches Merkmal der meisten Sektoren besteht darin, dass der größte Teil der intern anfallenden Glasreststoffe zur Wanne zurückgeführt wird. Die Hauptausnahmen sind hierbei der Endlosfaserssektor, der Keramikfaserssektor sowie die Hersteller von sehr qualitätsempfindlichen Erzeugnissen in den Sektoren Spezialglas und Wirtschaftsglas. In den Sektoren Mineralwolle und Fritten ist eine starke Schwankung der dem Schmelzprozess wieder zurückgeführten Reststoffmenge zu verzeichnen, d.h. von null bis zu 100 % bei einigen Steinwolleanlagen.

5) Bei der Festlegung der BVT zu berücksichtigende Techniken

In vielen Sektoren der Glasindustrie werden große kontinuierlich betriebene Wannen mit einer Lebensdauer (Wannenreisezeit) von bis zu zwölf Jahren eingesetzt. Diese Wannen bedingen einen beträchtlichen Kapitaleaufwand, und der kontinuierliche Betrieb der Wanne sowie die periodische Erneuerung bilden einen natürlichen Investitionszyklus. Größere Veränderungen der Schmelztechnologie können am wirtschaftlichsten realisiert werden, wenn sie mit der Erneuerung der Wanne verknüpft werden. Dies kann gleichermaßen für komplexe sekundäre Maßnahmen der Emissionsminderung gelten. Viele Verbesserungen der Betriebsweise der Wanne einschließlich der Einführung von Sekundärverfahren können allerdings auch während des Betriebseinsatzes realisiert werden.

Die folgende Zusammenfassung beschreibt kurz die Hauptmethoden zur Minderung der Emissionen, die bei den Schmelzverfahren und einigen der nachgeschalteten Betriebsabläufe auftreten. Das Hauptaugenmerk liegt dabei auf Emissionen in die Luft, da diese im Allgemeinen bei der Glasherstellung am stärksten ins Gewicht fallen. In Kapitel 4 werden die einzelnen Techniken ausführlich beschrieben, ebenso die erreichten Emissionswerte, die Anwendbarkeit der Technik, die finanziellen Aspekte sowie andere damit im Zusammenhang stehende Gesichtspunkte.

Partikelförmige Emissionen (Staub)

Die Methoden zur Reduzierung von partikelförmigen Emissionen umfassen Sekundärmaßnahmen, d.h. im Allgemeinen elektrostatische Abscheider und Schlauchfilter, sowie Primärmaßnahmen.

Der elektrostatische Abscheider besteht aus einer Reihe von Hochspannungsentladeelektroden und entsprechenden Kollektorelektroden. Die Partikel laden sich auf und werden unter der Einwirkung des elektrischen Feldes aus dem Gasstrom abgeschieden. Elektrostatische Abscheider können sehr wirkungsvoll für die Erfassung von Staub in der Größenordnung von 0,1 µm bis 10 µm eingesetzt werden, und der Gesamtabscheidewirkungsgrad kann zwischen 95 und 99 % liegen. Die tatsächliche Leistung schwankt in der Hauptsache in Abhängigkeit von den Kenndaten des Abgases und der Konstruktion des Abscheiders. Grundsätzlich kann diese Technik bei allen neuen und bestehenden Anlagen in allen Sektoren eingesetzt werden (mit Ausnahme von Steinwollekuppelöfen wegen der Explosionsgefahr). Bei bestehenden Anlagen kann von höheren Kosten ausgegangen werden, insbesondere bei begrenzt verfügbarem Platz.

In den meisten Einsatzfällen kann man von einem modernen und gut konstruierten zwei- oder dreistufigen elektrostatischen Abscheider einen Reingasstaubgehalt von 20 mg/m³ erwarten. Beim Einsatz von Hochleistungsvarianten oder bei Vorliegen günstiger Bedingungen sind häufig niedrigere Emissionswerte möglich. Die Kosten schwanken stark, was wesentlich von der erforderlichen Leistungsfähigkeit und dem Abgasanfall abhängig ist. Die Investitionskosten (einschließlich der Abscheidung saurer Abgasbestandteile) liegen in der Regel zwischen 0,5 und 2,75 Millionen Euro, wobei die Betriebskosten 0,03 bis 0,2 Millionen Euro pro Jahr betragen.

Schlauchfiltersysteme bestehen aus einer Gewebemembran, die gasdurchlässig ist, aber den Staub auffängt. Der Staub wird auf der Oberfläche und im Inneren des Gewebes abgelagert, und der Aufbau einer Oberflächenschicht führt zur Bildung des Hauptfiltermediums. Der Gasstrom kann entweder aus dem Innenraum des Schlauches nach außen oder von außen nach innen gerichtet sein. Gewebefilter sind sehr wirksam, wobei ein Abscheidewirkungsgrad von 95 bis 99 % erwartet werden kann. Die erreichbaren Reingasstaubgehalte liegen zwischen $0,1 \text{ mg/m}^3$ und 5 mg/m^3 , wobei ständig unter 10 mg/m^3 liegende Werte für die meisten Anwendungsfälle erwartet werden können. Die Erreichbarkeit derartig niedriger Werte kann in den Fällen von Bedeutung sein, in denen wesentliche Mengen an Metallen in den Stäuben enthalten sind und niedrige Metallemissionen gewährleistet werden müssen.

Grundsätzlich sind Schlauchfilter für alle neuen und bestehenden Anlagen sämtlicher Sektoren einsetzbar. Da sie unter bestimmten Umständen leicht verstopfen, gelten sie nicht durchweg als bevorzugte Variante. In den meisten Fällen gibt es technische Lösungen für diese Schwierigkeiten, wofür allerdings Kosten entstehen können. Die Investitions- und Betriebskosten sind etwa mit denen für elektrostatische Abscheider vergleichbar.

Primärtechniken zur Emissionsminderung werden in der Hauptsache durch Änderungen der Rohstoffe sowie der Wannen/Feuerungen erreicht. In den meisten Einsatzfällen erreichen die Primärmethoden keine mit den Schlauchfiltern und elektrostatischen Abscheidern vergleichbaren Emissionswerte.

Stickstoffoxide (NO_x)

Zu den geeignetsten Methoden zur Minderung von NO_x-Emissionen zählen im Allgemeinen die Primärmaßnahmen, die Sauerstoff-Brennstoff-Technologie, die chemische Reduktion durch Brennstoff, die selektive katalytische Reduktion und die selektive nichtkatalytische Reduktion.

Die Primärmaßnahmen können in zwei Hauptarten unterschieden werden, und zwar "konventionelle" Änderungen der Verbrennungsbedingungen und entsprechende spezielle Wannenausführungen oder optimierte Systemlösungen für die Auslegung des Verbrennungsvorgangs. Die Sauerstoffbeheizung ist ebenfalls eine Primärmaßnahme, die jedoch aufgrund ihres spezifischen Charakters getrennt behandelt wird. Konventionelle Änderungen des Verbrennungsvorgangs werden gewöhnlich durch folgende Maßnahmen realisiert: Verringerung des Luft-Brennstoff-Verhältnisses, geringere Vorwärmtemperatur, mehrstufige Verbrennung und NO_x-arme Brenner oder eine Kombination dieser Techniken. Die Investitionskosten sind im Allgemeinen relativ niedrig, und die Betriebskosten werden häufig durch den verminderten Brennstoffeinsatz und den verbesserten Verbrennungsprozess gesenkt. In diesem Bereich sind erhebliche Fortschritte zu verzeichnen, aber die erreichbare Verringerung der Emissionen hängt eindeutig von der Ausgangssituation ab. Verringerungen des NO_x-Ausstoßes von 40 bis 60 % sind nicht unüblich, und in manchen Fällen sind Emissionswerte von weniger als 650 bis 1100 mg/Nm^3 erreicht worden.

Es wurden spezielle Wannenausführungen zur Verringerung der NO_x-Emissionen entwickelt, z.B. die LoNO_x-Schmelzwanne. Diese Ausführungen haben sehr gute Ergebnisse erzielt, aber es gibt gewisse Prozessbeschränkungen, die ihrer Anwendbarkeit Grenzen setzen. Der Prozess FENIX ist ein auf Primärmaßnahmen beruhendes Optimierungskonzept für den Verbrennungsvorgang, das auf eine spezifische Wanne zugeschnitten wurde. Die Ergebnisse wurden mit 510 mg/Nm^3 und etwa $1,1 \text{ kg/Tonne}$ Schmelze angegeben, aber zum Zeitpunkt der Abfassung dieses Berichtes liegt nur eine geringe Anzahl von Beispielen vor.

Bei der Sauerstoff-Brennstoff-Beheizung wird anstelle der Verbrennungsluft Sauerstoff eingesetzt. Durch die weitgehende Eliminierung des Stickstoffs aus der Verbrennungsgasatmosphäre wird das Abgasvolumen um etwa zwei Drittel verringert. Damit sind Energieeinsparungen möglich, da eine Erwärmung des atmosphärischen Stickstoffs auf die Temperatur der Flammen nicht mehr erforderlich ist. Die Bildung von thermischem NO_x wird beträchtlich gesenkt, da nur der restliche Stickstoff im Sauerstoff/Brennstoff, der Stickstoff aus der Nitratersetzung (soweit im Gemenge vorhanden) und der Stickstoff aus Falschluff allein als Stickstoff in der Verbrennungsgasatmosphäre vorhanden ist.

Das Prinzip der Sauerstoff-Brennstoff-Beheizung ist ein bewährtes Verfahren und gilt grundsätzlich als branchenweit einsetzbar. Allerdings wird es von einigen Sektoren (insbesondere Flachglas- und Wirtschaftsglasherstellung) als eine noch in der Entwicklung befindliche Technologie mit einem potentiell hohen finanziellen Risiko angesehen. Es werden Entwicklungsarbeiten in beträchtlichem Umfang durchgeführt,

und diese Technik wird sich mit der steigenden Anzahl von Anlagen stärker etablieren. Die Probleme im Umfeld dieser Technik sind sehr vielschichtiger Natur und werden in Kapitel 4 näher erörtert. Die wirtschaftliche Konkurrenzfähigkeit der Technik hängt in starkem Maße von der Höhe der Energieeinsparungen (und der Kosten alternativer Methoden der Emissionsminderung) im Vergleich zu den Kosten des Sauerstoffes ab. Sowohl die technische als auch die wirtschaftliche Durchführbarkeit der Technik ist stark von standortspezifischen Aspekten abhängig.

Die chemische Reduktion durch Brennstoff bezieht sich auf die Techniken, in denen Brennstoff in den Abgasstrom eingespeist wird, um über eine Reihe von Reaktionen eine chemische Reduktion von NO_x zu N_2 zu erreichen. Der Brennstoff brennt nicht, sondern pyrolysiert zu Radikalen, die mit den Bestandteilen des Abgases reagieren. Die beiden für die Anwendung in der Glasindustrie entwickelten Haupttechniken sind der 3R-Prozess und der sogenannte Reburning- Prozess. Beide Verfahren sind gegenwärtig nur in Regenerativwannen anwendbar. Der 3R-Prozess ist ein ausgereiftes Verfahren zur Anwendung in der Glasindustrie, und der Reburning- Prozess wurde im großtechnischen Anlagenmaßstab erprobt und zeigte vielversprechende Ergebnisse. Mit dem 3R-Prozess können Emissionswerte von weniger als 500 mg/Nm^3 erreicht werden, jedoch verbunden mit einer Erhöhung des Brennstoffverbrauchs von 6 bis 10 %. Vom Reburning- Prozess werden nach seiner vollen Entwicklung vergleichbare Emissionswerte erwartet. Der erhöhte Energiebedarf für beide Techniken kann durch Energierückgewinnungsanlagen sowie durch eine Kombination der Techniken mit Primärmaßnahmen beträchtlich verringert werden.

Bei der selektiven katalytischen Reduktion kommt es zu einer Reaktion von NO_x mit Ammoniak in einem Katalysator (z.B. Wabenkatalysator) bei einer Temperatur von etwa 400°C . In den meisten Anwendungsfällen der Glasindustrie wird dazu eine dreistufige Anlage einschließlich Entstaubung und Abscheidung saurer Abgasbestandteile benötigt. Die Anlagen sind konstruktiv normalerweise für eine Reduktion von 75 bis 95 % ausgelegt, und im Normalfall können Emissionswerte unter 500 mg/Nm^3 erzielt werden. Die Kosten für die selektive katalytische Reduktion sind in hohem Maße vom Abgasvolumen und der angestrebten NO_x -Reduktion abhängig. In der Regel liegen die Investitionskosten (einschließlich des elektrostatischen Abscheiders und der trockenen oder quasitrockenen Abscheidung von sauren Abgasbestandteilen) im Bereich von 1 bis 4,5 Millionen Euro bei jährlichen Betriebskosten zwischen 0,075 und 0,5 Millionen Euro. Grundsätzlich kommt die selektive katalytische Reduktion für die meisten Prozesse in der Glasindustrie und sowohl für neue als auch bestehende Prozesse in Betracht. Es gibt jedoch einige Aspekte, durch die die Anwendbarkeit der Technik in einigen Fällen begrenzt werden kann. Zum Beispiel ist die Technik noch nicht bei Glaswannen mit Schwerölföherung sowie im Bereich der Glaswolle- oder Endlosglasfaserherstellung zum Einsatz gekommen.

Die selektive nichtkatalytische Reduktion beruht auf dem gleichen Verfahren wie die selektive katalytische Reaktion, wobei die Reaktionen jedoch bei einer höheren Temperatur (800 bis 1100°C) erfolgen und kein Katalysator erforderlich ist. Die selektive nichtkatalytische Reduktion erfordert keine Entstaubung oder Abscheidung saurer Abgasbestandteile. Im Allgemeinen sind Reduktionswirkungsgrade zwischen 30 und 70 % erreichbar, wobei der kritische Faktor in der Verfügbarkeit von ausreichend Ammoniak im richtigen Temperaturbereich besteht. Die Investitionskosten liegen im Bereich von 0,2 bis 1,35 Millionen Euro und die jährlichen Betriebskosten je nach Wannengröße bei 23 000 bis 225 000 Euro. Grundsätzlich ist die Technik in allen Glasprozessen und sowohl in neuen als auch in bestehenden Anlagen einsetzbar. Die wesentliche Voraussetzung für die Anwendbarkeit der selektiven nichtkatalytischen Reduktion besteht darin, dass das Reagenz an einer Stelle des Abgassystems zugeführt werden kann, an der die richtige Temperatur für eine ausreichende Reaktionszeit aufrechterhalten werden kann. Das ist in bestehenden Anlagen und für Regenerativwannen von besonderer Wichtigkeit.

Schwefeloxide (SO_x)

Die maßgeblichen Techniken für die Minderung von SO_x -Emissionen sind Brennstoffauswahl, Gemengerezeptur und Abgasreinigung mit vorgeschalteter Sorptionsstufe.

Bei ölbeheizten Schmelzwannen besteht die Hauptemissionsquelle für SO_x in der Oxidation von Schwefel im Brennstoff. Der aus dem Gemenge stammende Anteil an SO_x hängt von der Glasart ab, aber normalerweise ist in allen ölbeheizten Schmelzwannen die Menge der aus dem Brennstoff stammenden SO_x -Emissionen größer als die aus dem Gemenge. Als naheliegendste Methode zur Minderung der SO_x -Emissionen bietet sich die Reduzierung des Schwefelgehaltes des Brennstoffes an. Heizöl ist mit unterschiedlichen Schwefelgehalten

erhältlich (<1 %, <2 %, <3 % und >3 %), und Erdgas ist im Wesentlichen schwefelfrei. Die Umstellung auf einen Brennstoff mit niedrigerem Schwefelgehalt führt mit Ausnahme des höheren Brennstoffpreises im Allgemeinen nicht zu einer Erhöhung der Kosten. Die Umstellung auf Gasfeuerung erfordert den Austausch der Brenner sowie eine Reihe weiterer Änderungen. Die Preise der verschiedenen Brennstoffe schwanken beträchtlich im Zeitverlauf und zwischen den Mitgliedsstaaten, aber in der Regel haben Brennstoffe mit einem geringeren Schwefelgehalt einen höheren Preis. Wie in Kapitel 5 erläutert wurde, sind die mit der Preisgestaltung und Verfügbarkeit der Brennstoffe zusammenhängenden finanziellen und politischen Fragen so gelagert, dass die Wahl des Brennstoffes nicht im Rahmen dieses Dokuments behandelt werden kann. Allerdings ist in Anlagen mit Erdgasfeuerung gewöhnlich ein geringerer Ausstoß an SO_x-Emissionen zu verzeichnen, und in ölgefeuerten Systemen gilt ein Schwefelwert von 1 % oder darunter als BVT. Die Verbrennung von Brennstoffen mit höheren Schwefelgehalten kann ebenfalls als BVT angesehen werden, wenn Gegenmaßnahmen zur Erreichung gleicher Emissionswerte vorgesehen werden.

In der konventionellen Glasherstellung stellen Sulfate aus dem Gemenge die Hauptquelle von SO_x-Emissionen dar. Sulfate sind die am meisten verbreiteten Läutermittel und ebenfalls wichtige Oxidationsmittel. In den meisten modernen Glaswannen sind die Gehalte an Sulfaten im Gemenge auf die erforderlichen Mindestwerte abgesenkt worden, wobei diese je nach Glasart unterschiedlich sind. Die mit der Verringerung der Sulfatgehalte im Gemenge zusammenhängenden Probleme werden in Abschnitt 4.4.1.1 und die mit der Rückführung des Staubes aus den Filtern/elektrostatischen Abscheidern in Verbindung stehenden Fragen in Abschnitt 4.4.3.3 erörtert.

Die wichtigste Quelle von SO₂-Emissionen in der Steinwolleherstellung besteht (neben Koks) im Einsatz von Hochofenschlacke und bindemittelgebundenen Briketts in der Charge. Die Verfügbarkeit von Koks und Schlacke mit niedrigem Schwefelgehalt wird durch das sehr geringe Angebot innerhalb wirtschaftlich vertretbarer Entfernungen begrenzt. Im Normalfall ist es möglich, die Schlacke aus den meisten Chargen zu entfernen, mit Ausnahme der Herstellung von begrenzten Mengen von Weißfaser für bestimmte Anwendungsgebiete. Die Nutzung von bindemittelgebundenen Abfallbriketts führt zu einem Ausgleich zwischen der weitestgehenden Verminderung von Abfallstoffen und der Verringerung der SO_x-Emissionen, was häufig von spezifischen Prioritäten abhängig ist und im Zusammenhang mit dem Einsatz einer Abgasreinigung mit vorgeschalteter Sorptionsstufe betrachtet werden muss. Dieses Thema wird in Kapitel 4 und 5 des Hauptdokuments ausführlich erörtert.

Die Trockensorption und die Quasi- Trockensorption arbeiten nach dem gleichen Prinzip. Das reaktionsfähige Material (Absorptionsmittel) wird dem Abgasstrom zugeführt und in diesem dispergiert. Dieses Material reagiert mit den Schwefeloxiden zu einem Feststoff, der mit einem elektrostatischen Abscheider- oder Schlauchfiltersystem aus dem Abgasstrom entfernt werden muss. Die zur Bindung der Schwefeloxide gewählten Absorptionsmittel sind auch für die Minderung anderer saurer Gase geeignet. Bei der Trockensorption wird ein trockenes Pulver als Absorptionsmittel eingesetzt (gewöhnlich Ca(OH)₂, NaHCO₃, oder Na₂(CO)₃). Bei dem Quasi- Trockensorptionsprozess wird das Absorptionsmittel (gewöhnlich Na₂CO₃, CaO oder Ca(OH)₂) als Suspension oder Lösung zugegeben, wobei durch die Verdampfung des Wassers eine Abkühlung des Abgasstromes erfolgt. Die mit den Techniken erzielten Verringerungen hängen von mehreren Faktoren ab. Dazu zählen die Abgastemperatur, die Menge und Art des zugegebenen Absorptionsmittels (bzw. genauer das molare Verhältnis zwischen Reaktionspartner und Schadstoffen) und die Dispersion des Absorptionsmittels. In Abschnitt 4.4.3.3 werden die mit den verschiedenen Absorptionsmitteln und Verfahren erreichten Wirkungsgrade dargestellt.

Die vollständige Rückführung des Filterstaubes einschließlich der absorbierten Schwefelverbindungen gilt bei technischer Durchführbarkeit häufig aus der Sicht des Umweltschutzes und der Wirtschaftlichkeit als sinnvolle Variante. Die Gesamtreduzierung der SO_x-Emissionen wird (bei Beachtung von Aspekten der Massenbilanz) dadurch begrenzt, dass eine Verringerung von vornherein schon durch den Einsatz von Filterstaub anstelle des Sulfats in den Rohstoffen erfolgt. (Dabei handelt es sich natürlich um eine zusätzliche Maßnahme zu anderen geeigneten Primärmaßnahmen zur Reduzierung der Gesamtschwefelzufuhr.) Deshalb wird man zur Verringerung der sauren Abgaskomponenten die Realisierung eines externen Entsorgungsweges für einen Teil des anfallenden (Filterstaub) in Betracht ziehen müssen. Welche Maßnahme dem Umweltschutz insgesamt am besten dient, muss häufig standortspezifisch festgelegt werden und kann durchaus dazu führen, dass die sich möglicherweise widersprechenden Prioritäten der weitestgehenden Minderung von Abfallstoffen und der SO_x-

Emissionen gegeneinander abgewogen werden müssen. In Anlagen, in denen dies der Fall ist, erfordert die Festlegung von BVT-gerechten Emissionswerten unbedingt eine Prozessschwefelbilanz.

Bei vollständiger Filterstaubrückführung liegen die gegenwärtig beobachteten SO_x-Emissionswerte im Allgemeinen im Bereich 200 bis 800 mg/Nm³ bei Erdgasbeheizung und 800 bis 1600 mg/Nm³ bei Einsatz von Heizöl mit einem Schwefelgehalt von 1 %. Die meisten der installierten SO_x-Sorptionsanlagen arbeiten nach dem Trockensorptions- Verfahren auf Kalkbasis bei einer Temperatur von etwa 400 °C, die der Abgastemperatur einer Regenerativwanne mit hohem Wirkungsgrad entspricht. Bei diesen Temperaturen kann eine Verringerung der SO_x-Emissionen um etwa 50 % erreicht werden. Die Senkung der SO_x-Emissionen kann bei Temperaturen um 200 °C und bei Anwendung einer feuchten Atmosphäre weiter verbessert werden, aber dazu sind weitere Betrachtungen erforderlich.

Die SO_x-Abscheidung ist ein äußerst komplexes Gebiet, das innerhalb der technischen Arbeitsgruppe sehr intensiv erörtert wurde. Es ist daher unerlässlich, die in Kapitel 4 und 5 dargestellten Meinungen und Erklärungen im Ganzen zu betrachten.

Fluoride (HF) und Chloride (HCl)

HF- und HCl- Emissionen entstehen im Allgemeinen aus der Verflüchtigung der im Gemenge enthaltenen Fluoride und Chloride, die entweder als Verunreinigungen vorkommen oder absichtlich zur Erzeugung spezifischer Produkt- oder Verarbeitungseigenschaften des Glases zugegeben werden. Die Haupttechniken zur Verringerung dieser Emissionen sind die Änderung der Gemengerezeptur oder die Abgasreinigung. Wenn Halogenide als Verunreinigungen vorliegen, können Emissionen in der Regel durch die Auswahl der Rohstoffe gesenkt werden. Eine Abgasreinigung wird häufig dann eingesetzt, wenn die Rohstoffauswahl nicht ausreicht oder die Abgasreinigung zur Verringerung anderer Substanzen genutzt wird. *Werden Halogenide zur Erzeugung spezifischer Eigenschaften eingesetzt, gibt es zwei Hauptlösungswege, d.h. die Abgasreinigung oder die Änderung der Gemengerezeptur, um die gleichen Eigenschaften durch andere Maßnahmen zu erreichen.* Besonders erfolgreich erwies sich die Rezepturänderung bei der Herstellung der Endlosglasfaser.

(Anmerkung zum Text: Der kursiv gesetzte Satz entspricht dem englischen Text. Er ist aber inhaltlich überflüssig, da die gleiche Aussage bereits im vorangegangenen Text enthalten ist.)

Emissionen aus Betriebsvorgängen außerhalb der Schmelzwanne

Die Emissionen aus nachgeschalteten Verarbeitungsvorgängen sind je nach Sektor unterschiedlich und werden im Abschnitt 4.5 des Hauptdokuments näher beschrieben. Mit Ausnahme der Mineralwolleherstellung sind die Emissionen in diesen Bereichen im Normalfall geringer als die der Schmelzprozesse. Die Methoden der Verringerung beruhen im Allgemeinen auf den Prinzipien der herkömmlichen Staubabscheidung und Nasswäsche mit einem Anteil an thermischer Oxidation.

In Mineralwolleprozessen kann es zu beträchtlichen Emissionen durch die Aufbringung und Aushärtung von Bindemittelsystemen auf der Basis organischer Harze kommen. Die Techniken zur Verhinderung dieser Emissionen werden in Abschnitt 4.5.6 des Hauptdokuments ausführlich erörtert.

Emissionen in das Wasser

Normalerweise sind die Emissionen in Gewässer relativ gering, und es gibt kaum größere Probleme, die speziell in der Glasindustrie auftreten. Wasser wird in der Hauptsache für die Reinigung und Kühlung eingesetzt und kann problemlos zurückgeführt oder mit Standardtechniken behandelt werden. Spezifische Probleme der organischen Verschmutzung können sich aus den Prozessen zur Mineralwolle- und Endlosglasfaserherstellung ergeben. Probleme mit Schwermetallen (insbesondere Blei) können im Zusammenhang mit Spezialglas-, Fritten- und Wirtschaftsglasprozessen entstehen. In der folgenden Tabelle werden die wichtigsten möglichen Techniken zur Minderung von Emissionen in das Wasser genannt.

Physikalische/chemische Behandlung

- Sieben
- Abschöpfen (Skimmen)
- Ausfällen
- Zentrifugieren
- Filtration
- Neutralisation
- Belüftung
- Abscheidung
- Koagulation und Flockung

Biologische Behandlung

- Belebtschlamm
- Biofiltration

Liste möglicher Abwasserbehandlungstechniken zur Anwendung in der Glasindustrie

Feste Abfälle

Ein charakteristisches Merkmal der Glasindustrie besteht darin, dass in den meisten Prozessen nur geringe Mengen an festen Abfällen anfallen. Die meisten Prozesse verlaufen ohne wesentliche Nebenproduktströme. Die wichtigsten Prozessrückstände sind ungenutzte Rohstoffe, nicht verarbeitete Glasreste aus der Produktion und sonstige Abfälle. Zu den sonstigen festen Abfällen gehören Feuerfestmaterialabfälle und der in Reinigungsanlagen oder Abzugskanälen erfasste Staub. Nicht-faserförmige Abfälle werden üblicherweise direkt innerhalb des Prozesses wiederverwertet. Techniken zur Rückführung anderer Abfälle sind in der Entwicklung. Das Maß der Abfallwiederverwertung nimmt mit dem Maß zu, wie sich finanzielle Anreize entwickeln, insbesondere durch höhere Entsorgungskosten. Die in der Glasindustrie anfallenden Prozessrückstände und die zu deren Minderung eingesetzten Techniken werden in Abschnitt 4.7 des Hauptdokuments diskutiert.

Energie

Die Glasherstellung ist ein sehr energieintensiver Prozess. Deshalb sind Auswahl der Energiequelle, Heiztechnik und Methode der Wärmerückgewinnung ausschlaggebend für die Konstruktion der Wanne und die wirtschaftliche Leistungsfähigkeit des Prozesses. Die dafür gewählten Varianten gehören auch zu den wichtigsten Faktoren, die sich auf die Umweltverträglichkeit und den energetischen Wirkungsgrad des Schmelzprozesses auswirken. In der Regel macht der für das Einschmelzen des Glases benötigte Energieanteil mehr als 75 % des Gesamtenergiebedarfs der Glasherstellung aus. Die Energiekosten für den Schmelzvorgang bilden einen der größten Posten innerhalb der Betriebskosten von Glasproduktionsanlagen. Dabei besteht ein wesentlicher Anreiz für den Betreiber, den Energieverbrauch zu senken. Die Haupttechniken für die Verringerung des Energieeinsatzes werden im Folgenden aufgeführt und im Hauptdokument ausführlich erörtert:

- Schmelztechnik und Wannenkonstruktion (z.B. Regeneratoren, Rekuperatoren, Elektroschmelzen, Sauerstoff-Brennstoff-Beheizung und Elektrozusatzheizung)
- Verbrennungsregelung und Brennstoffauswahl (z.B. NO_x-arme Brenner, stöchiometrische Verbrennung, Öl-/Gasfeuerung)
- Einsatz von Scherben
- Abhitzeessel
- Scherben-/Gemengevorwärmung

6) Zusammenfassung der BVT-Schlussfolgerungen

Kapitel 5 enthält die Schlussfolgerungen zu den besten verfügbaren Techniken für die Realisierung der integrierten Vermeidung und Minderung von Umweltverschmutzung in der Glasindustrie. Das Kapitel umfasst eine Einführung, einen allgemeinen Abschnitt und danach Schlussfolgerungen zu den einzelnen Sektoren. Der Zweck besteht darin, die "allgemeine BVT" in Kapitel 5 zur Bewertung der aktuellen Ausführung einer bestehenden Anlage bzw. zur Bewertung einer geplanten neuen Anlage zu nutzen und dadurch die Ermittlung der zweckmäßigsten "BVT"-gerechten Bedingungen für diese Anlage zu unterstützen. Die genannten Zahlen sind **keine** Emissionsgrenzwerte und sollten nicht als solche verstanden werden. Die zugehörigen

Emissionsgrenzwerte für jeden spezifischen Fall werden unter Beachtung der IPPC-Richtlinie und der am Standort geltenden Aspekte ermittelt werden müssen.

Kapitel 5 wurde nach langer Erörterung und mehrfacher Überarbeitung in der Technischen Arbeitsgruppe abgefasst. Die Zusammenhänge und die Differenziertheit der Schlussfolgerungen sind von großer Wichtigkeit, und es ist schwierig, eine zusammenfassende Darstellung des Kapitels zu geben und dabei dieser Problematik und dem Arbeits- und Diskussionsaufwand, wie er zur Erreichung des gegenwärtigen Standes erforderlich war, voll gerecht zu werden. Diese Zusammenfassung beschreibt die hauptsächlichen Schlussfolgerungen des Kapitels 5, aber zum vollen Verständnis ist es unerlässlich, das gesamte Dokument und insbesondere den vollständigen Text des Kapitels 5 heranzuziehen.

Die Zusammenfassung behandelt einige den gesamten Industriezweig betreffende Fragen und gibt dann einen Überblick über die wichtigsten allgemeinen Schlussfolgerungen, wobei in der Hauptsache von einem stoffbezogenen Ansatz ausgegangen wird. Eine bedeutende Schlussfolgerung aus dieser Tätigkeit bestand darin, dass es häufig aufgrund der Vielfältigkeit der Glasindustrie gar nicht zweckmäßig ist, bestimmte Techniken festzulegen. Der in Kapitel 5 gewählte allgemeine Ansatz besteht darin, Kennziffern festzulegen, die ein Beispiel für beste verfügbare Techniken sind, aber gleichzeitig einzuräumen, dass die beste Methode zur Erreichung dieser Kennziffern von Prozess zu Prozess unterschiedlich sein kann.

Allgemeines

Ein wesentliches Merkmal vieler Anlagen in der Glasindustrie besteht in der periodischen Erneuerung der Wannen, wobei der Reparaturumfang allerdings schwanken kann. Es kann technisch und ökonomisch von Vorteil sein, die Realisierung bestimmter Techniken mit dem Zeitpunkt einer Erneuerung zu koordinieren, aber das muss nicht in jedem Fall zutreffen. Der Erneuerungszyklus bedeutet auch, dass das Alter einer Wanne bei der Festlegung des Vorgehens im Hinblick auf die Gesamt-BVT eine Rolle spielt.

DIE REFERENZBEDINGUNGEN FÜR DAS KAPITEL 5 SIND WIE FOLGT:

- Für die Verbrennungsgase: trocken, Temperatur 0 °C (273K), Druck 101,3 kPa, 8 Vol.-% Sauerstoff (Schmelzwannen mit kontinuierlicher Beschickung), 13Vol.-% Sauerstoff (Schmelzwannen mit diskontinuierlicher Beschickung). Für Anlagen mit Sauerstoff-Brennstoff-Beheizung ist die Darstellung der auf 8 % Sauerstoff korrigierten Emissionen nur von geringem Wert, und die Emissionen derartiger Anlagen sollten massebezogen ausgedrückt werden.
- Für andere Gase (einschließlich Emissionen aus Härte- und Trockenöfen ohne Abgasverbrennung): Temperatur 0°C (273 K), Druck 101,3 kPa ohne Korrektur für Sauerstoff- oder Wasserdampfkonzentration.

Im Hauptdokument werden die mit der BVT realisierten Emissionswerte als Bereiche sowohl für die Emissionskonzentration (mg/m^3) als auch für die massenbezogenen Emissionen (kg/Tonne geschmolzenes Glas) dargestellt, um so einen Vergleich zwischen den Wannentechniken zu ermöglichen und einen Gradmesser für die relative Umweltverträglichkeit zu erhalten. Für Wannen, die mit fossilem Brennstoff beheizt werden, hängt das Verhältnis zwischen Masse und Konzentration in der Hauptsache von dem spezifischen Energieverbrauch für den Schmelzprozess ab, wobei dieser allerdings in Abhängigkeit von einer breiten Palette von Faktoren einschließlich Schmelztechnik, Wannengröße und Glasart beträchtlichen Schwankungen unterliegt. Für einen derartig breit gefächerten Industriezweig ist es sehr schwierig, Konzentrationen und massenbezogene Emissionswerte direkt miteinander in Beziehung zu bringen, ohne so breite Bereiche zu schaffen, dass der Wert numerischer Schlussfolgerungen geschmälert wird. Deshalb besteht der gewählte Ansatz hier darin, Konzentrationswerte als Grundlage der BVT anzugeben und geeignete Umrechnungsfaktoren auf der Grundlage von Wannen mit hohem energetischen Wirkungsgrad für die Ermittlung von massebezogenen Emissionswerten zu nutzen, die diesen Konzentrationswerten "im Allgemeinen gleichzusetzen sind".

Für die Zwecke dieser Zusammenfassung werden die mit der BVT realisierten Emissionswerte nur als Konzentration angegeben. Eine Ausnahme hierzu bildet die Erörterung von Techniken wie z.B. die Sauerstoffbeheizung, bei denen die massenbezogenen Emissionen die sinnvollste Beschreibung des Leistungsniveaus darstellt. Für die Masse pro Tonne geschmolzenen Glases wird auf die Darstellung der

Umrechnungsfaktoren in Abschnitt 5.2 und auf die den einzelnen Sektoren gewidmeten Abschnitte in Kapitel 5 verwiesen.

Partikelförmige Emissionen/Staub

Die Schlussfolgerung zu den Staubemissionen war für alle Sektoren weitgehend vergleichbar und wird im folgenden Absatz zusammenfassend behandelt. Es gibt zwei geringfügige Ausnahmen zu dieser Schlussfolgerung. Für die Keramikfaserherstellung wurde der mit der BVT erreichte Emissionswert aufgrund des Charakters des Feinstaubes mit weniger als 10 mg/Nm^3 angegeben. Für Fritteprozesse lautete die allgemeine Schlussfolgerung wie nachstehend angegeben, doch wurde eingeräumt, dass bei einigen Anlagen zur Erreichung dieser Werte noch ein gewisser Entwicklungsaufwand erforderlich ist.

Als BVT zur Senkung der Staubemissionen aus Wannen in der Glasindustrie gilt im allgemeinen der Einsatz entweder eines elektrostatischen Abscheiders oder eines filternden Abscheiders, soweit erforderlich in Verbindung mit dem Betrieb einer trockenen- oder halbtrockenen Sorptionsanlage zur Abscheidung saurer Abgasbestandteile. Der mit diesen Techniken erzielte BVT-Emissionswert beträgt 5 bis 30 mg/Nm^3 , was im Normalfall mit weniger als $0,1 \text{ kg/Tonne}$ geschmolzenen Glases gleichzusetzen ist. Für Schlauchfilteranlagen sind im Allgemeinen Werte im unteren Teil des angegebenen Bereiches zu erwarten. Diese Zahlen beruhen auf einer typischen Zeit für die Durchschnittsermittlung von nicht unter 30 Minuten (Halbstunden- Mittelwert) und nicht über 24 Stunden (Tagesmittelwert). In einigen Fällen kann die Anwendung von BVT für Metallemissionen zu geringeren Emissionswerten für Staub führen.

Zu der Frage, ob die Umweltvorteile von Sekundärmaßnahmen zur Staubminderung in jedem Falle die höheren Kosten rechtfertigen, gab es auch einige abweichende Meinungen in der Technischen Arbeitsgruppe. Die allgemeine Schlussfolgerung lautete allerdings, dass eine sekundäre Staubminderung für die meisten Glaswannen alles in allem der BVT entspricht, es sei denn, dass vergleichbare Emissionen mit Primärmaßnahmen erzielt werden können. Das Für und Wider von Primär- und Sekundärmaßnahmen wird ausführlich in Abschnitt 4.4.1.7 und 5.2.2 erörtert.

Stickstoffoxide

Dieser Stoff erwies sich für die Festlegung verbindlicher BVT-Schlussfolgerungen als einer der schwierigsten. Insbesondere ist es schwierig, allgemeine Emissionswerte anzugeben, die für mehr als einen Sektor gelten. Es ist daher wichtig, die in diesem Abschnitt genannten Zahlen nur als orientierende Zusammenfassung der in Kapitel 5 dargestellten Schlussfolgerungen zu betrachten. Die Erwägung von Bedingungen für die Zulassung einer BVT auf der Grundlage der in dieser Zusammenfassung gegebenen Informationen ohne Berücksichtigung des Hauptdokuments hieße, die Zahlen völlig aus dem Zusammenhang zu reißen. Im Ergebnis dessen könnte es dazu kommen, dass unnötig strenge oder lockere Maßstäbe für einen Vergleich angelegt würden.

Für Stickstoffoxide ist die Auswahl von BVT-gerechten Techniken sehr stark von standortspezifischen Aspekten abhängig, insbesondere der eingesetzten Schmelztechnik und dem Alter der Wanne. Bestimmte Techniken können in verschiedenen Anwendungsgebieten zu unterschiedlichen Ergebnissen führen und je nach den standortspezifischen Gegebenheiten unterschiedliche Kosten verursachen.

Für Behälterglas, Flachglas, Spezialglas (einschließlich Wasserglas), Mineralwolle und Fritten wird davon ausgegangen, dass die Stickstoffoxid- Emissionswerte (als NO_2) der im Allgemeinen als BVT geltenden Techniken im Bereich 500 bis 700 mg/Nm^3 liegen. Obwohl der Emissionswert von BVT normalerweise der gleiche ist, sind die zur Erreichung dieser Werte anwendbaren Techniken, die damit zusammenhängenden Kosten und die verhältnismäßige Schwierigkeit ihrer Anwendung von Sektor zu Sektor unterschiedlich.

Es gibt verschiedene Situationen, in denen weitere Überlegungen erforderlich sind und für die die oben genannten Emissionswerte nicht zutreffen müssen, z.B. wenn Nitrate benötigt und bestimmte zurückgeführte Materialien eingesetzt werden oder die Wanne sich dem Ende seiner vorgesehenen Betriebszeit nähert. Diese Gesichtspunkte sind sehr wichtig und werden in den Abschnitten zu den einzelnen Sektoren in Kapitel 5 erörtert.

Zum Zeitpunkt der Abfassung dieses Überblicks befindet sich der Endlosfasersektor bei der Senkung der NO_x -Emissionen in einer Umbruchphase, was die Formulierung verbindlicher Schlussfolgerungen zur BVT erschwert. Die vielversprechendste Technik scheint der Sauerstoff-Brennstoff-Schmelzprozess zu sein, obwohl einige gute Ergebnisse mit Primärmaßnahmen erreicht wurden und keine unüberwindlichen technischen Hindernisse für die Anwendung der selektiven nichtkatalytischen Reduktion bestehen. Im Allgemeinen gilt der Sauerstoff-Brennstoff-Schmelzprozess in diesem Sektor als BVT für Stickstoffoxide (als NO_2), und der mit der BVT realisierte Emissionswert wird mit 0,5 bis 1,5 kg/Tonne geschmolzenen Glases angegeben. Diese Angabe stellt keine verbindliche Schlussfolgerung dar, eher einen fundierten Schätzwert auf der Grundlage der derzeit verfügbaren Informationen. Es wird eingeräumt, dass diese Technik noch ein finanzielles Risiko birgt. Allerdings wird erwartet, dass die Technik mittelfristig eine stärkere Anwendung als BVT finden wird. Sind andere Techniken praktikabel, wird ein vergleichbarer BVT-Emissionswert für Wannen mit Luft-Brennstoff-Beheizung im Bereich von 500 bis 700 mg/Nm^3 angegeben.

Ebenso schwierig ist es, verbindliche Schlussfolgerungen für NO_x -Werte im Sektor Wirtschaftsglas zu formulieren. Hier gibt es einige spezifische Probleme, die sich auf die Möglichkeiten der NO_x -Reduzierung auswirken. Einige dieser Probleme können durch einen Vergleich mit Behälterglas, d.h. potentiell größeren Qualitätsbeschränkungen, niedrigeren Produktionsmengen, kleinerer durchschnittlicher Wannengröße, Beschränkungen im Scherbeneinsatz, höheren Temperaturen und längerer Verweilzeit, verdeutlicht werden. Alle diese Faktoren führen zu einem höheren spezifischen Energieverbrauch und erhöhen das Potential für NO_x -Bildung. In den Bereichen, in denen das Schmelzen mit elektrischer Energie (entweder 100 % oder überwiegend elektrisch) wirtschaftlich tragbar ist. Insbesondere in der Bleikristall-, Kristallglas- und Opalglasherstellung gilt diese Technik als BVT. In diesem Falle läge der mit der BVT erreichte Emissionswert normalerweise im Bereich 0,2 bis 1,0 kg/Tonne geschmolzenes Glas.

Bei Prozessen, bei denen das Schmelzen mit elektrischer Energie wirtschaftlich nicht vertretbar ist, besteht die Möglichkeit der Anwendung einer Reihe anderer Techniken. Der Sektor Wirtschaftsglas nutzt eine breite Palette von Wannentypen, und die geeignetste Technik ist im Regelfall anlagenspezifisch. Sollte die erforderliche Zeit für die Entwicklung und Realisierung der Techniken zur Verfügung stehen, wird angestrebt, den mit der BVT realisierten Emissionswert für Stickstoffoxide (als NO_2) in einem Bereich von 500 bis 700 mg/Nm^3 (bzw. bei der Sauerstoff-Brennstoff-Beheizung in einem Bereich von 0,5 bis 1,5 kg/Tonne geschmolzenes Glas) zu begrenzen. Die Grundlage hierfür bilden die Nutzung (bzw. die Kombination) von Primärmaßnahmen (Änderungen des Verbrennungsprozesses), der Sauerstoff-Brennstoff-Beheizung, der selektiven nichtkatalytischen Reduktion, der selektiven katalytischen Reduktion oder des 3R- bzw. Reburning- Prozesses (nur Regenerativwannen).

Steinwollekuppelöfen sind gewöhnlich keine Quelle wesentlicher NO_x -Emissionen, wobei Emissionen unter 0,5 kg/Tonne Schmelze ohne spezifische Reduktionsmaßnahmen erreicht werden können. In Bereichen, in denen Wannen eingesetzt werden, wird der mit der BVT realisierte Emissionswert dem der Glaswolleherstellung gleichgesetzt. Keramikfasern werden ausschließlich mit Elektrowannen hergestellt, und der NO_x -Ausstoß liegt in der Regel deutlich unter 0,5 kg/Tonne Schmelze.

Schwefeloxide

Die Bestimmung der mit der BVT realisierten Emissionswerte für den jeweiligen Sektor ist ein komplexes Thema mit vielen sich gegenseitig bedingenden und in einigen Fällen auch widersprechenden Aspekten. Diese Probleme werden in Kapitel 5 und 4 ausführlich erörtert, wobei die hier gegebenen Informationen nur eine orientierende Zusammenfassung darstellen sollen.

Ein wesentlicher Einflussfaktor ist in der Auswahl des Brennstoffes und dessen Schwefelgehalt zu sehen. Daher werden die für Öl- und Gasfeuerung geltenden Bedingungen getrennt behandelt. Weiterhin erfordern bestimmte Rezepturen, insbesondere Kalknatronglas, den Einsatz von Sulfaten im Gemenge. Natürlich kommt es bei derartigen Rezepturen zu höheren SO_2 -Emissionen.

Es ist vorgesehen, die BVT für Staubemissionen in den meisten Einsatzgebieten mit einer Entstaubungseinrichtung auszustatten, die in vielen Fällen eine Einrichtung zur Abscheidung saurer Abgasbestandteile umfasst. Das wird bereits in den in Kapitel 5 angegebenen, mit der BVT erzielten Emissionswerten berücksichtigt. Der anfallende sulfathaltige Reststoff kann im Allgemeinen dem Gemenge

zurückgeführt werden, um die Entstehung fester Abfälle zu verhindern. Die Aufnahmefähigkeit des Glases für den Schwefel ist jedoch begrenzt, und das System kann schnell einen Gleichgewichtszustand erreichen, wobei eine beträchtliche Menge des zurückgeführten Schwefels erneut emittiert wird. Daher kann es bei vollständiger Rückführung des Staubes dazu kommen, dass der Entschwefelungsnutzen der Entschwefelungsanlage durch die eingeschränkte Aufnahmefähigkeit des Glases für den Schwefel begrenzt ist.

Um eine weitere Reduzierung der SO₂-Emissionen zu erreichen, wird man eine externe Entsorgungsmöglichkeit oder bei Durchführbarkeit eine Verringerung der Schwefelgehalte des Brennstoffs in Betracht ziehen müssen. Die wirtschaftlich tragbaren Varianten einer Verwertung des Stoffes außerhalb der Anlage sind äußerst begrenzt, wodurch feste Abfallprodukte anfallen, für die als Entsorgungsmöglichkeit am ehesten eine Ablagerung auf einer Deponie in Betracht kommt. Geht man von einer integrierten Umweltlösung aus, müssen die relativen Prioritäten der Minderung der SO₂-Emissionen und die mögliche Entstehung fester Abfälle bedacht werden. Die am besten geeignete Lösung kann von Prozess zu Prozess unterschiedlich sein, und aus diesem Grunde werden die Emissionswerte in zweierlei Hinsicht dargestellt, und zwar je nach dem, ob die SO₂-Minderung oder die Abfallminderung den Vorrang hat. In der Praxis gibt es viele Fälle, in denen der niedrigere Emissionswert beim Einsatz einer vollständigen Staubrückführung erreicht wird.

In der nachstehenden Tabelle werden die mit der BVT realisierten Emissionswerte für die einzelnen Sektoren und für verschiedene Betriebsarten dargestellt. Es handelt sich hier wiederum nur um eine orientierende Zusammenfassung. Zur näheren Betrachtung der damit zusammenhängenden komplexen Aspekte wird auf Kapitel 5 verwiesen.

Sektor	BVT- Emissionswerte (mgSO ₂ /m ³)		Bemerkungen
	Gasfeuerun g	Ölfeuerung	
Behälterglas mit vorrangiger SO ₂ -Minderung	200 - 500	500 - 1200	
Behälterglas mit vorrangiger Abfallminderung	< 800	< 1500	Wenn die Massenbilanz die Erreichung der oben genannten Werte nicht zulässt.
Flachglas mit vorrangiger SO ₂ -Minderung	200 - 500	500 - 1200	
Flachglas mit vorrangiger Abfallminderung	< 800	< 1500	Wenn die Massenbilanz die Erreichung der oben genannten Werte nicht zulässt.
Endlosglasfaser	< 200	500 - 1000	Wenn das Gemenge Sulfat enthält, kann der Wert bei Gasbeheizung bis zu 800 betragen. Bei Ölfeuerung bezieht sich die Obergrenze des Bereiches auf eine Staubrückführung.
Wirtschaftsglas	200 - 500	500 - 1300	Bei niedrigem Sulfatgehalt im Gemenge beträgt der Wert bei Gasbeheizung <200. Die Werte im oberen Teil des Bereiches beziehen sich auf Filterstaubrückführung.
Spezialglas einschließlich Wasserglas	200 - 500	500 - 1200	Die Werte im oberen Teil des Bereiches beziehen sich auf Filterstaubrückführung
Glaswolle	allgemein <50	300 - 1000	Im Allgemeinen für Glas mit niedrigem Sulfatgehalt
Steinwolle (Koksfeuerung) mit vorrangiger Abfallminderung und -rückführung	(a) < 600 (b) < 1100 (c) < 1400		(a) Steincharge (b) 45 % bindemittelgebundene Briketts (c) bindemittelgebundene Briketts einschl. Filterstaub
Steinwolle (Koksfeuerung) mit vorrangiger SO ₂ -Minderung	(a) < 200 (b) < 350 (c) < 420		(a) Steincharge (b)45 % bindemittelgebundene Briketts (c)bindemittelgebundene Briketts einschl. Filterstaub
Keramikfaser (Elektroschmelzverfahren)	< 0.5 kg/Tonne Schmelze		Nur Elektrowannen, Konzentration ist fallspezifisch
Fritten	< 200	500 - 1000	Ölbeheizung ist selten

Orientierende Zusammenfassung der mit der BVT verbundenen Schwefeloxid- Emissionswerte (als SO₂)

Andere im Schmelzprozess anfallende Emissionen

Zu allen Abschnitten in Kapitel 5, die den einzelnen Sektoren gewidmet sind, gehört jeweils ein Absatz, in dem die außer Staub, NO_x und SO_x in den Schmelzprozessen anfallenden Emissionen beschrieben werden. Die wichtigsten dieser "sonstigen Emissionen" sind in der Regel Chloride (als HCl), Fluoride (als HF) sowie Metalle und deren Verbindungen. Bestimmte Metalle werden in Gruppen zusammengefasst und entweder als Gruppe 1 oder Gruppe 2 bezeichnet. Metalle, die nicht in diese Gruppen eingeordnet werden können, werden entweder aufgrund ihrer höheren Toxizität als Einzelstoff beschrieben oder einfach in der Kategorie Staub geführt, da ihr niedriger Toxizitätsgrad eine spezifische Betrachtung nicht rechtfertigt. Die beiden Gruppen werden in der nachfolgenden Tabelle dargestellt.

Metalle und deren Verbindungen der Gruppe 1	Metalle und deren Verbindungen der Gruppe 2
Arsen	Antimon
Kobalt	Blei
Nickel	Chrom III
Selen	Kupfer
Chrom VI	Mangan
	Vanadium
	Zinn

Klassifizierung von Metallen und deren Verbindungen

Zusammenfassung

Die BVT-Schlussfolgerungen für die meisten Sektoren in Bezug auf diese Stoffe waren im Allgemeinen gleichwertig. Als BVT zur Verhinderung dieser Emissionen gilt die Rohstoffauswahl zur weitestgehenden Verminderung der Emissionen in Verbindung mit einer Anlage zur Abscheidung saurer Abgasbestandteile sofern dies durchführbar ist. Eine Anlage zur Abscheidung saurer Abgasbestandteile ist nicht in jedem Falle erforderlich, um die Anlagen zur Emissionsminderung zu schützen oder die für SO_x angegebenen Werte zu erreichen. Wo dies aber der Fall ist, gilt eine Anlage zur Abscheidung saurer Abgasbestandteile als BVT, wenn die unten aufgeführten Werte nicht durch Primärmaßnahmen gewährleistet werden können. Die mit der BVT realisierten Emissionswerte für die nachstehend bezeichneten Schadstoffe werden wie folgt angegeben:

- Chloride (als HCl) $<30 \text{ mg/m}^3$
- Fluoride (als HF) $<5 \text{ mg/m}^3$
- Metalle (Gas + feste Phase) (Gruppe 1 + Gruppe 2) $<5 \text{ mg/m}^3$
- Metalle (Gas + feste Phase) (Gruppe 1) $<1 \text{ mg/m}^3$

Im Sektor Fritten und Spezialglas treten einige Fälle auf, in denen es zu Cadmium- und Thalliumemissionen kommen kann. Der mit der BVT erreichte Emissionswert für diese Metalle und deren Verbindungen beträgt $<0,2 \text{ mg/Nm}^3$. Für die Herstellung von Endlosglasfasern beträgt der mit der BVT realisierte Fluoridemissionswert 5 bis 15 mg/m^3 . Die untere Grenze dieses Bereiches gilt für Zusammensetzungen ohne Fluoridzusatz und die obere Grenze für Zusammensetzungen mit Fluoridzusatz.

Im Sektor Steinwolle werden die mit der BVT realisierten Emissionswerte auch für Kohlenmonoxid und Schwefelwasserstoff angegeben, und zwar $<200 \text{ mg/m}^3$ bzw. $<5 \text{ mg/m}^3$.

Nachgeschaltete Prozesse

Die nachgeschalteten Prozesse unterliegen je nach Sektor und den eingesetzten Anlagen einer starken Schwankungsbreite, und es wird daher auf die jeweiligen Abschnitte in Kapitel 5 verwiesen. Mit Ausnahme der Mineralwolleherstellung werden jedoch im Folgenden einige orientierende, mit der BVT erreichte Emissionswerte angegeben. Nicht alle der genannten Stoffe kommen dabei in allen Anlagen oder Sektoren vor. Bestimmte Stoffe werden in einigen der Abschnitte angesprochen und hier nicht genannt, da diese hier nur für einen Sektor gelten. Trotz dieser Probleme bestehen bestimmte Gemeinsamkeiten in bezug auf die Art der einsetzbaren Techniken, wenn Sekundärmaßnahmen zur Emissionsminderung als zweckmäßig angesehen werden.

- Chloride (als HCl) $<30 \text{ mg/Nm}^3$
- Fluoride (als HF) $<5 \text{ mg/Nm}^3$
- Partikelförmige Stoffe $<20 \text{ mg/Nm}^3$
- Metalle (Gas + feste Phase) (Gruppe 1 + Gruppe 2) $<5 \text{ mg/Nm}^3$
- Metalle (Gas + feste Phase) (Gruppe 1) $<1 \text{ mg/Nm}^3$

Emissionen in das Wasser

In der Glasindustrie treten normalerweise Emissionen in das Wasser als Folge von Betriebsvorgängen nur in geringem Maße auf und sind nicht typisch für diesen Industriezweig. In einigen Abläufen kann es jedoch zum Anfall größerer Emissionen in das Wasser kommen. Die nachstehend aufgeführten Emissionswerte gelten in der Regel als Werte, die dem Gewässerschutz gerecht werden, und weisen auf die Emissionswerte hin, die mit den allgemein als BVT geltenden Techniken erreicht würden. Sie entsprechen nicht unbedingt den gegenwärtig in diesem Industriezweig erreichten Werten, sondern beruhen auf dem fachmännischen Urteil der Technischen Arbeitsgruppe.

- Abfiltrierbare Stoffe $<30 \text{ mg/l}$
- Chemischer Sauerstoffbedarf -CSB- (Anmerkung 1) 100 - 130 mg/l
- Ammoniak (nach Kjeldahl) $<10 \text{ mg/l}$
- Sulfat $<1000 \text{ mg/l}$
- Fluorid 15 - 25 mg/l
- Arsen $<0,3 \text{ mg/l}$

• Antimon	<0,3 mg/l
• Barium	<3,0 mg/l
• Kadmium	<0,05 mg/l
• Chrom (gesamt)	<0,5 mg/l
• Kupfer	<0,5 mg/l
• Blei (Anmerkung 2)	<0,5 mg/l
• Nickel	<0,5 mg/l
• Zinn (Anmerkung 3)	<0,5 mg/l
• Zink	<0,5 mg/l
• Phenol	<1,0 mg/l
• Borsäure	2 - 4 mg/l
• pH	6,5 - 9
• Mineralöl (Kohlenwasserstoffe-KW-)	<20 mg/l

(Anmerkung 1) – Für den Endlosglasfasersektor ist dieser Wert 200 mg/l. Im Allgemeinen ist der chemische Sauerstoffbedarf verhältnismäßig gering und der tatsächliche, mit der BVT realisierte Wert kann von dem Einleitgewässer abhängig sein. Wenn das Gewässer besonders empfindlich ist, müssen die Werte möglicherweise unter diesem genannten Wert liegen.

(Anmerkung 2) – Für Wirtschaftsglasprozesse, in denen bedeutende Anteile von Bleiverbindungen eingesetzt werden, wird ein Wert von 1,0 mg/l gegenwärtig als sachgerechter angesehen. Der Erreichung von 0,5 mg/l stehen keine unüberwindlichen Hindernisse im Wege. Wenn man davon ausgeht, dass die erforderliche Zeit für die Entwicklung und Realisierung geeigneter Techniken zur Verfügung steht, ist dieser Wert erreichbar.

(Anmerkung 3) – Für Behälterglasprozesse, in denen Wäscher zur Behandlung der in nachgeschalteten Einrichtungen anfallenden Emissionen eingesetzt werden, ist ein Emissionswert von <3 mg/l angemessener.

Unter gewissen Umständen kann die BVT in der Einleitung in ein Klärwerk oder eine andere externe Behandlungsanlage bestehen. Wenn diese Variante vorgesehen wird, sollte die Eignung der die Emission aufnehmenden Einrichtung geprüft werden.

7) Projektschlussfolgerungen und -empfehlungen

Dieses Kapitel ist in drei Abschnitte unterteilt: Informationsaustausch, allgemeine Schlussfolgerungen und Empfehlungen für die weitere Arbeit. Im ersten Abschnitt werden die Zeitpläne und die Mechanismen für die Durchführung des Informationsaustausches dargestellt. Viele Informationen wurden von der Industrie und den Mitgliedsstaaten zur Verfügung gestellt und waren im Allgemeinen von hoher Qualität. Die verfügbaren Informationen wurden während des Beratungsprozesses präzisiert und bewertet. Es wird empfohlen, dieses Dokument in den nächsten 4 bis 5 Jahren einer Überarbeitung zu unterziehen.

Die wichtigsten allgemeinen Schlussfolgerungen lauten wie folgt:

- Der Informationsaustausch war erfolgreich, und nach der zweiten Zusammenkunft der technischen Arbeitsgruppe wurde ein hoher Grad an Übereinstimmung erzielt.
- Dieser Industriezweig ist äußerst vielfältig, und in den meisten Fällen ist es nicht angebracht, eine einzige Technik als BVT anzugeben.
- In den vergangenen Jahren ist viel für die Verbesserung der durch diesen Industriezweig hervorgerufenen Umweltauswirkungen getan worden. Es werden jedoch weitere Entwicklungen/Verbesserungen erwartet, insbesondere mit Primärtechniken, aber auch durch die Anwendung von Sekundärtechniken, wie sie in anderen Branchen bereits stärker eingesetzt werden.

Die wesentlichsten Empfehlungen für die weitere Arbeit lauten wie folgt:

- Eine tieferegehende (vorzugsweise halbquantitative) Bewertung der medienübergreifenden Probleme wäre hilfreich.
- Eine gründlichere Betrachtung der Kosten der Techniken wäre zur Festlegung der BVT von Nutzen.

- Bei der Überprüfung der geleisteten Arbeit wäre eine eingehendere Bewertung der Techniken zur Verbesserung des energetischen Wirkungsgrades zweckmäßig, wobei die in jüngster Zeit gewonnenen Informationen berücksichtigt werden sollten.
- Bei der Überprüfung der geleisteten Arbeit sollten die mit Primärmaßnahmen zur Emissionsminderung erzielten Fortschritte neu bewertet werden.
- Bei der Überprüfung der geleisteten Arbeit sollte eine Neubewertung solcher Techniken erfolgen, bei denen gegenwärtig bestimmte Probleme noch unbewiesen oder umstritten sind und entweder in der gesamten Glasindustrie oder in einigen Einsatzgebieten auftreten. Dies betrifft insbesondere die Schwefeldioxid - Abscheidung, die Sauerstoff-Brennstoff-Beheizung und die selektive katalytische Reduktion.

VORWORT

1. Status des Dokuments

Sofern nicht anders angegeben, beziehen sich alle Hinweise auf „die Richtlinie“ im vorliegenden Dokument auf die Richtlinie 96/61/EG des Rates über die integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung. Dieses Dokument ist Teil einer Reihe, in der die Ergebnisse eines Informationsaustauschs zwischen den EU-Mitgliedstaaten und der betroffenen Industrie über beste verfügbare Techniken (BVT), die damit verbundenen Überwachungsmaßnahmen und die Entwicklungen auf diesem Gebiet vorgestellt werden. Es wird von der Europäischen Kommission gemäß Artikel 16 Absatz 2 der Richtlinie veröffentlicht und muss daher gemäß Anhang IV der Richtlinie bei der Festlegung der „besten verfügbaren Techniken“ berücksichtigt werden.

2. In der Richtlinie über die integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung verankerte rechtliche Pflichten und Definition der BVT

Um dem Leser das Verständnis des Rechtsrahmens für die Erarbeitung des vorliegenden Dokuments zu erleichtern, werden im Vorwort die wichtigsten Bestimmungen der Richtlinie über die integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung beschrieben und eine Definition des Begriffs „beste verfügbare Techniken“ gegeben. Diese Beschreibung muss zwangsläufig unvollständig sein und dient ausschließlich Informationszwecken. Sie hat keine rechtlichen Konsequenzen und ändert oder präjudiziert in keiner Weise die Bestimmungen der Richtlinie.

Die Richtlinie dient der integrierten Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung, die durch die im Anhang I aufgeführten Tätigkeiten verursacht wird, damit insgesamt ein hohes Umweltschutzniveau erreicht wird. Die Rechtsgrundlage der Richtlinie bezieht sich auf den Umweltschutz. Bei ihrer Umsetzung sollten auch die anderen Ziele der Gemeinschaft wie die Wettbewerbsfähigkeit der europäischen Industrie berücksichtigt werden, so dass sie zu einer nachhaltigen Entwicklung beiträgt.

Im Einzelnen sieht sie ein Genehmigungsverfahren für bestimmte Kategorien industrieller Anlagen vor und verlangt sowohl von den Betreibern als auch von den regelnden Behörden und sonstigen Einrichtungen ein integriertes, ganzheitliches Betrachten des Umweltverschmutzungs- und Verbrauchspotentials der Anlage. Das Gesamtziel dieses integrierten Konzepts muss darin bestehen, das Management und die Kontrolle der industriellen Prozesse so zu verbessern, dass ein hohes Schutzniveau für die Umwelt insgesamt sichergestellt wird. Von zentraler Bedeutung für dieses Konzept ist das in Artikel 3 definierte allgemeine Prinzip, das die Betreiber auffordert, alle geeigneten Vorsorgemaßnahmen gegen Umweltverschmutzungen zu treffen, insbesondere durch den Einsatz der besten verfügbaren Techniken, mit deren Hilfe sie ihre Leistungen im Hinblick auf den Umweltschutz verbessern können.

Der Begriff „beste verfügbare Techniken“ wird in Artikel 2 Absatz 11 der Richtlinie definiert als „der effizienteste und fortschrittlichste Entwicklungsstand der Tätigkeiten und entsprechenden Betriebsmethoden, der spezielle Techniken als praktisch erscheinen lässt, grundsätzlich als Grundlage für die Emissionsgrenzwerte zu dienen, um Emissionen in und Auswirkungen auf die gesamte Umwelt allgemein zu vermeiden oder, wenn dies nicht möglich ist, zu vermindern.“ Weiter heißt es in der Begriffsbestimmung in Artikel 2 Absatz 11:

„Techniken“ beinhalten sowohl die angewandte Technologie als auch die Art und Weise, wie die Anlage geplant, gebaut, gewartet, betrieben und stillgelegt wird.

Als „verfügbar“ werden jene Techniken bezeichnet, die in einem Maßstab entwickelt sind, der unter Berücksichtigung des Kosten/Nutzen-Verhältnisses die Anwendung unter in dem betreffenden industriellen Sektor wirtschaftlich und technisch vertretbaren Verhältnissen ermöglicht, gleich, ob diese Techniken innerhalb des betreffenden Mitgliedstaats verwendet oder hergestellt werden, sofern sie zu vertretbaren Bedingungen für den Betreiber zugänglich sind.

Als „beste“ gelten jene Techniken, die am wirksamsten zur Erreichung eines allgemein hohen Schutzniveaus für die Umwelt insgesamt sind.

Anhang IV der Richtlinie enthält eine Liste von „Punkten, die bei Festlegung der besten verfügbaren Techniken im Allgemeinen wie auch im Einzelfall zu berücksichtigen sind „... unter Berücksichtigung der sich aus einer Maßnahme ergebenden Kosten und ihres Nutzens sowie des Grundsatzes der Vorsorge und Vermeidung“. Diese Punkte schließen jene Informationen ein, die von der Kommission gemäß Artikel 16 Absatz 2 veröffentlicht werden.

Die für die Erteilung von Genehmigungen zuständigen Behörden haben bei der Festlegung der Genehmigungsaufgaben die in Artikel 3 definierten allgemeinen Prinzipien zu berücksichtigen. Diese Genehmigungsaufgaben müssen Emissionsgrenzwerte enthalten, die gegebenenfalls durch äquivalente Parameter oder technische Maßnahmen ergänzt bzw. ersetzt werden. Entsprechend Artikel 9 Absatz 4 der Richtlinie sind diese Emissionsgrenzwerte, äquivalenten Parameter und technischen Maßnahmen unbeschadet der Einhaltung der Umweltqualitätsnormen auf die besten verfügbaren Techniken zu stützen, ohne dass die Anwendung einer bestimmten Technik oder Technologie vorgeschrieben wird; hierbei sind die technische Beschaffenheit der betreffenden Anlage, ihr geografischer Standort und die jeweiligen örtlichen Umweltbedingungen zu berücksichtigen. In jedem Fall haben die Genehmigungsaufgaben Vorkehrungen zur weitestgehenden Verminderung weiträumiger oder grenzüberschreitender Umweltverschmutzungen vorzusehen und ein hohes Schutzniveau für die Umwelt insgesamt zu sichern.

Gemäß Artikel 11 der Richtlinie haben die Mitgliedstaaten dafür zu sorgen, dass die zuständigen Behörden die Entwicklungen bei den besten verfügbaren Techniken verfolgen oder darüber informiert sind.

3. Zielsetzung des Dokuments

Entsprechend Artikel 16 Absatz 2 der Richtlinie hat die Kommission „einen Informationsaustausch zwischen den Mitgliedstaaten und der betroffenen Industrie über die besten verfügbaren Techniken, die damit verbundenen Überwachungsmaßnahmen und die Entwicklungen auf diesem Gebiet“ durchzuführen und die Ergebnisse des Informationsaustausches zu veröffentlichen.

Der Zweck des Informationsaustausches ist unter Erwägung 25 der Richtlinie erläutert, wo es heißt: „Die Entwicklung und der Austausch von Informationen auf Gemeinschaftsebene über die besten verfügbaren Techniken werden dazu beitragen, das Ungleichgewicht auf technologischer Ebene in der Gemeinschaft auszugleichen, die weltweite Verbreitung der in der Gemeinschaft festgesetzten Grenzwerte und der angewandten Techniken zu fördern und die Mitgliedstaaten bei der wirksamen Durchführung dieser Richtlinien zu unterstützen.“

Zur Unterstützung der unter Artikel 16 Absatz 2 vorgesehenen Maßnahmen hat die Kommission (GD Umwelt) ein Informationsaustauschforum (IEF) geschaffen, und unter der Schirmherrschaft des IEF wurden mehrere technische Arbeitsgruppen eingesetzt. Im Informationsaustauschforum und in den technischen Arbeitsgruppen sind, wie in Artikel 16 Absatz 2 verlangt, sowohl die Mitgliedstaaten als auch die Industrie vertreten.

Ziel dieser Reihe von Dokumenten ist es, den stattgefundenen und unter Artikel 16 Absatz 2 geforderten Informationsaustausch genau wiederzugeben und der Genehmigungsbehörde Referenz-Informationen zur Verfügung zu stellen, die sie bei der Festlegung der Genehmigungsaufgaben zu berücksichtigen hat. Mit ihren Informationen über die besten verfügbaren Techniken sollen diese Dokumente als wertvolle Instrumente zur Verbesserung des Umweltschutzes dienen.

4. Informationsquellen

Dieses Dokument enthält eine Zusammenfassung über Informationen, die aus verschiedenen Quellen, einschließlich insbesondere sachkundiger Angaben der zur Unterstützung der Tätigkeit der Kommission geschaffenen Arbeitsgruppen, stammen und durch die Dienste der Kommission geprüft wurden. Für alle Beiträge wird anerkennend gedankt.

5. Anleitung zum Verständnis und zur Benutzung des Dokuments

Die im vorliegenden Dokument enthaltenen Informationen sind als Unterstützung bei der Bestimmung der BVT in speziellen Fällen gedacht. Bei der Bestimmung der BVT und Festlegung der auf BVT gestützten

Genehmigungsaufgaben ist stets vom Gesamtziel, das heißt, einem insgesamt hohen Umweltschutzniveau, auszugehen.

Der verbleibende Teil des vorliegenden Abschnitts beschreibt die Art der Information in den einzelnen Kapiteln des Dokuments.

Die Kapitel 1 und 2 beinhalten allgemeine Informationen über die Branche und die dort angewandten industriellen Verfahren. Kapitel 3 enthält Daten und Angaben zu den aktuellen Emissions- und Verbrauchswerten in bestehenden Anlagen zum Zeitpunkt der Erarbeitung des Dokuments.

In Kapitel 4 werden Verfahren zur Emissionsverminderung und andere Methoden eingehender beschrieben, die als die wichtigsten für die Bestimmung der BVT sowohl allgemein als auch bei der Festlegung der auf BVT gestützten Genehmigungsaufgaben betrachtet werden. Diese Information schließt die Verbrauchs- und Emissionswerte ein, die bei Einsatz des Verfahrens als erreichbar betrachtet werden, und Angaben zu den mit der jeweiligen Technik verbundenen Kosten und den medienübergreifenden Aspekten sowie zu ihrer Anwendbarkeit auf Anlagen, die der IVU-Genehmigung unterliegen, zum Beispiel neue, bestehende, große oder kleine Anlagen. Verfahren, die allgemein als veraltet gelten, finden keine Berücksichtigung.

In den jeweiligen Schlussfolgerungen zu den besten verfügbaren Techniken in Kapitel 5 sind die Verfahren und Emissions- und Verbrauchswerte aufgeführt, die allgemein den Anforderungen an die besten verfügbaren Techniken entsprechen. Dabei geht es darum, allgemeine Angaben zu den Emissions- und Verbrauchswerten bereitzustellen, die bei der Festlegung der auf BVT gestützten Genehmigungsaufgaben oder allgemein bindender Vorschriften gemäß Artikel 9 Absatz 8 als geeignete Referenz gelten können. Jedoch muss darauf hingewiesen werden, dass es sich in diesem Dokument nicht um Vorschläge für Emissionsgrenzwerte handelt. Bei der Festlegung der jeweiligen Genehmigungsaufgaben sind lokale standortspezifische Faktoren wie die technische Beschaffenheit der betreffenden Anlage, ihr geografischer Standort und die örtlichen Umweltbedingungen zu berücksichtigen. Ferner ist bei bestehenden Anlagen die wirtschaftliche und technische Vertretbarkeit möglicher Modernisierungen zu beachten. Allein die Zielsetzung der Sicherung eines hohen Umweltschutzniveaus insgesamt fordert nicht selten ein Abwägen der einzelnen Auswirkungen auf die Umwelt, und diese Abwägungen sind oftmals von lokalen Erwägungen beeinflusst.

Ogleich im vorliegenden Dokument der Versuch unternommen wurde, einige dieser Aspekte aufzugreifen, ist eine allumfassende Behandlung in diesem Rahmen nicht möglich. Somit sind die in den jeweiligen Schlussfolgerungen zu den besten verfügbaren Techniken des Kapitels 5 aufgeführten Verfahren und Zahlenwerte nicht notwendigerweise auf alle Anlagen anwendbar. Andererseits verlangt die Pflicht zur Sicherung eines hohen Umweltschutzniveaus einschließlich der weitestgehenden Verminderung der weiträumigen oder grenzüberschreitenden Umweltverschmutzung, dass Genehmigungsaufgaben nicht aus rein lokalen Erwägungen festgesetzt werden. Daher ist die vollständige Berücksichtigung der im vorliegenden Dokument enthaltenen Informationen durch die Genehmigungsbehörden von größter Bedeutung.

Da sich die besten verfügbaren Techniken mit der Zeit ändern, wird dieses Dokument ggf. überprüft und aktualisiert. Stellungnahmen und Vorschläge sind an das Europäische IPPC-Büro beim Institute for Prospective Technological Studies mit folgender Anschrift zu senden:

World Trade Center, Isla de la Cartuja s/n, E-41092 Sevilla – Spanien
Telefon: +34 95 4488 284 Fax: +34 95 4488 426
E-Mail: eippcb@jrc.es
Internet: <http://eippcb.jrc.es>

**Reference Document on Best Available
Techniques
in the Glass Manufacturing Industry**

**Merkblatt über beste verfügbare Techniken
in der
Glasindustrie**

EXECUTIVE SUMMARY	I	ZUSAMMENFASSUNG.....	I
PREFACE.....	XXI	VORWORT	XXI
1 GENERAL INFORMATION	1	1 ALLGEMEINE INFORMATIONEN.....	1
1.1 Scope of the Document	1	1.1 Umfang des Dokuments	1
1.2 Introduction	2	1.2 Einleitung	2
1.2.1 Characteristics of Glass.....	4	1.2.1 Eigenschaften von Glas	4
1.2.2 Broad Classification of Glass Types.....	5	1.2.2 Klassifizierung von Glasarten	5
1.2.3 Historical Origins	6	1.2.3 Historische Ursprünge	6
1.3 Container Glass.....	7	1.3 Behälterglas.....	7
1.3.1 Sector Overview	7	1.3.1 Branchenüberblick.....	7
1.3.2 Products and Markets	8	1.3.2 Produkte und Märkte	8
1.3.3 Commercial and Financial Considerations ..	9	1.3.3 Wirtschaftliche und Finanzielle Betrachtung ..	9
1.3.4 Main Environmental Issues	10	1.3.4 Hauptumweltbelange	10
1.4 Flat Glass.....	10	1.4 Flachglas	10
1.4.1 Sector Overview	10	1.4.1 Branchenüberblick.....	10
1.4.2 Products and Markets	12	1.4.2 Produkte und Märkte	12
1.4.3 Commercial and Financial Considerations	12	1.4.3 Wirtschaftliche und Finanzielle Betrachtung	12
1.4.4 Main Environmental Issues	13	1.4.4 Hauptumweltbelange	13
1.5 Continuous Filament Glass Fibre.....	14	1.5 Endlosglasfaser.....	14
1.5.1 Sector Overview	14	1.5.1 Branchenüberblick.....	14
1.5.2 Products and Markets	15	1.5.2 Produkte und Märkte	15
1.5.3 Commercial and Financial Considerations	15	1.5.3 Wirtschaftliche und Finanzielle Betrachtung	15
1.5.4 Main Environmental Issues	15	1.5.4 Hauptumweltbelange	15
1.6 Domestic Glass	16	1.6 Wirtschaftsglas	16
1.6.1 Sector Overview	16	1.6.1 Branchenüberblick.....	16
1.6.2 Products and Markets	17	1.6.2 Produkte und Märkte	17
1.6.3 Commercial and Financial Considerations	18	1.6.3 Wirtschaftliche und Finanzielle Betrachtung	18
1.6.4 Main Environmental Issues	18	1.6.4 Hauptumweltbelange	18
1.7 Special Glass.....	19	1.7 Spezialglas.....	19
1.7.1 Sector Overview	19	1.7.1 Branchenüberblick.....	19
1.7.2 Products and Markets	19	1.7.2 Produkte und Märkte	19
1.7.3 Commercial and Financial Considerations	21	1.7.3 Wirtschaftliche und Finanzielle Betrachtung	21
1.7.4 Main Environmental Issues	22	1.7.4 Hauptumweltbelange	22
1.8 Mineral Wool	22	1.8 Mineralwolle	22
1.8.1 Sector Overview	22	1.8.1 Branchenüberblick.....	22
1.8.2 Products and Markets	23	1.8.2 Produkte und Märkte	23
1.8.3 Commercial and Financial Considerations	24	1.8.3 Wirtschaftliche und Finanzielle Betrachtung	24
1.8.4 Main Environmental Issues	25	1.8.4 Hauptumweltbelange	25
1.9 Ceramic Fibre	25	1.9 Keramikfaser	25
1.9.1 Sector Overview	25	1.9.1 Branchenüberblick.....	25
1.9.2 Products and Markets	26	1.9.2 Produkte und Märkte	26
1.9.3 Commercial Considerations	26	1.9.3 Wirtschaftliche und Finanzielle Betrachtung	26
1.9.4 Main Environmental Issues	27	1.9.4 Hauptumweltbelange	27
1.10 Frits.....	27	1.10 Fritten	27
1.10.1 Sector Overview	27	1.10.1 Branchenüberblick.....	27
1.10.2 Products and Markets	28	1.10.2 Produkte und Märkte	28
1.10.3 Commercial Considerations	28	1.10.3 Wirtschaftliche und Finanzielle Betrachtung	28
1.10.4 Main Environmental Issues	28	1.10.4 Hauptumweltbelange	28
2 APPLIED PROCESSES AND TECHNIQUES.....	31	2 APPLIED PROCESSES AND TECHNIQUES	31
2.1 Materials Handling.....	31	2.1 Handhabung von Werkstoffen.....	31
2.2 Glass Melting	32	2.2 Glasschmelze.....	32
2.2.1 Raw Materials for Glass Making	32	2.2.1 Rohstoffe für die Glasherstellung.....	32
2.2.2 The Melting Process	34	2.2.2 Der Schmelzprozess	34
2.3 Melting Techniques	36	2.3 Schmelztechniken.....	36

2.3.1	Regenerative Furnaces.....	37	2.3.1	Regenerativwannen.....	37
2.3.2	Recuperative Furnaces	39	2.3.2	Rekuperativwannen.....	39
2.3.3	Oxy-fuel Melting.....	40	2.3.3	Oxy-fuel-Wannen	40
2.3.4	Electric Melting	40	2.3.4	Electrische Wannen.....	40
2.3.5	Combined Fossil Fuel and Electric Melting.....	41	2.3.5	Kominierte Brennstoff- und Elektrowannen	41
2.3.6	Discontinuous Batch Melting	42	2.3.6	Diskontinuierliche Schmelze	42
2.3.7	Special Melter Designs	42	2.3.7	Spezielle Wannenausführungen.....	42
2.4	Container Glass	43	2.4	Behälterglas	43
2.5	Flat Glass	46	2.5	Flachglas	46
2.5.1	The Float Glass Process	46	2.5.1	Der Float-Glas-Prozess	46
2.5.2	The Rolled Process (Patterned and Wired Glass).....	48	2.5.2	The Gussglas-Prozess (gemustertes und Drahtglas).....	48
2.6	Continuous Filament Glass Fibre	49	2.6	Endlosglasfaser	49
2.7	Domestic Glass.....	51	2.7	Wirtschaftsglas.....	51
2.8	Special Glass	53	2.8	Spezialglas	53
2.9	Mineral Wool.....	57	2.9	Mineralwolle	57
2.9.1	Glass Wool	57	2.9.1	Glasswolle.....	57
2.9.2	Stone Wool.....	59	2.9.2	Steinwolle	59
2.10	Ceramic Fibre.....	61	2.10	Keramikfaser.....	61
2.11	Frits	62	2.11	Fritten.....	62
3	PRESENT CONSUMPTION AND EMISSION LEVELS	65	3	PRESENT CONSUMPTION AND EMISSION LEVELS.....	65
3.1	Introduction.....	65	3.1	Einleitung.....	65
3.2	General Glass Industry Overview.....	66	3.2	Allgemeiner Überblick über die Glasindustrie	66
3.2.1	Process Inputs.....	66	3.2.1	Prozess-Input.....	66
3.2.2	Process Outputs.....	68	3.2.2	Prozess-Output	68
3.2.2.1	Emissions to Air.....	69	3.2.2.1	Emissionen in die Luft.....	69
3.2.2.2	Emissions to Water	71	3.2.2.2	Emissionen in das Wasser.....	71
3.2.2.3	Emissions of Other Wastes	71	3.2.2.3	Emissionen andere Abfälle	71
3.2.3	Energy	72	3.2.3	Energie	72
3.3	Container Glass	76	3.3	Behälterglas	76
3.3.1	Process Inputs.....	77	3.3.1	Prozess-Input.....	77
3.3.2	Emissions to Air.....	78	3.3.2	Emissionen in die Luft	78
3.3.2.1	Raw Materials	78	3.3.2.1	Rohstoffe.....	78
3.3.2.2	Melting	78	3.3.2.2	Schmelze.....	78
3.3.2.3	Downstream Activities	80	3.3.2.3	Nachgeschaltete Prozesse	80
3.3.3	Emissions to Water.....	80	3.3.3	Emissionen in das Wasser.....	80
3.3.4	Other Wastes	81	3.3.4	Andere Abfälle.....	81
3.3.5	Energy	81	3.3.5	Energie	81
3.4	Flat Glass	82	3.4	Flachglas	82
3.4.1	Process inputs	82	3.4.1	Prozess-Input.....	82
3.4.2	Emissions to Air.....	84	3.4.2	Emissionen in die Luft	84
3.4.2.1	Raw Materials	84	3.4.2.1	Rohstoffe.....	84
3.4.2.2	Melting	84	3.4.2.2	Schmelze.....	84
3.4.2.3	Downstream Activities	85	3.4.2.3	Nachgeschaltete Prozesse	85
3.4.3	Emissions to Water.....	85	3.4.3	Emissionen in das Wasser.....	85
3.4.4	Other Wastes	85	3.4.4	Andere Abfälle.....	85
3.4.5	Energy	86	3.4.5	Energie	86
3.5	Continuous Filament Glass Fibre	86	3.5	Endlosglasfaser	86
3.5.1	Process inputs	87	3.5.1	Prozess-Input.....	87
3.5.2	Emissions to Air.....	89	3.5.2	Emissionen in die Luft	89
3.5.2.1	Raw Materials	89	3.5.2.1	Rohstoffe.....	89
3.5.2.2	Melting	89	3.5.2.2	Schmelze.....	89
3.5.2.3	Downstream Activities	90	3.5.2.3	Nachgeschaltete Prozesse	90
3.5.3	Emissions to Water.....	90	3.5.3	Emissionen in das Wasser.....	90
3.5.4	Other Wastes	91	3.5.4	Andere Abfälle.....	91
3.5.5	Energy	91	3.5.5	Energie	91
3.6	Domestic Glass.....	92	3.6	Wirtschaftsglas.....	92
3.6.1	Process inputs	93	3.6.1	Prozess-Input.....	93
3.6.2	Emissions to Air.....	95	3.6.2	Emissionen in die Luft	95
3.6.2.1	Raw Materials	95	3.6.2.1	Rohstoffe.....	95

3.6.2.2 Melting.....	95	3.6.2.2 Schmelze	95
3.6.2.3 Downstream Activities	96	3.6.2.3 Nachgeschaltete Prozesse.....	96
3.6.3 Emissions to Water	96	3.6.3 Emissionen in das Wasser	96
3.6.4 Other Wastes.....	97	3.6.4 Andere Abfälle	97
3.6.5 Energy.....	97	3.6.5 Energie	97
3.7 Special Glass.....	98	3.7 Spezialglas.....	98
3.7.1 Process inputs.....	98	3.7.1 Prozess-Input	98
3.7.2 Emissions to Air	101	3.7.2 Emissionen in die Luft	101
3.7.2.1 Raw Materials	101	3.7.2.1 Rohstoffe	101
3.7.2.2 Melting.....	101	3.7.2.2 Schmelze	101
3.7.2.3 Downstream Activities	102	3.7.2.3 Nachgeschaltete Prozesse.....	102
3.7.3 Emissions to Water	102	3.7.3 Emissionen in das Wasser	102
3.7.4 Other Wastes.....	102	3.7.4 Andere Abfälle	102
3.7.5 Energy.....	102	3.7.5 Energie	102
3.8 Mineral Wool	103	3.8 Mineralwolle	103
3.8.1 Process Inputs	103	3.8.1 Prozess-Input	103
3.8.2 Emissions to Air	104	3.8.2 Emissionen in die Luft	104
3.8.2.1 Raw Materials	105	3.8.2.1 Rohstoffe	105
3.8.2.2 Melting.....	105	3.8.2.2 Schmelze	105
3.8.2.3 Emissions from Non-Melting Activities	107	3.8.2.3 Emissionen von Nicht-Schmelz- Prozessen.....	107
3.8.3 Emissions to Water	108	3.8.3 Emissionen in das Wasser	108
3.8.4 Other Wastes.....	108	3.8.4 Andere Abfälle	108
3.8.5 Energy.....	109	3.8.5 Energie	109
3.9 Ceramic Fibre	110	3.9 Keramikfaser	110
3.9.1 Process inputs.....	110	3.9.1 Prozess-Input	110
3.9.2 Emissions to Air	111	3.9.2 Emissionen in die Luft	111
3.9.2.1 Raw materials	111	3.9.2.1 Rohstoffe	111
3.9.2.2 Melting.....	111	3.9.2.2 Schmelze	111
3.9.2.3 Downstream Activities	111	3.9.2.3 Nachgeschaltete Prozesse.....	111
3.9.3 Emissions to Water	111	3.9.3 Emissionen in das Wasser	111
3.9.4 Other Wastes.....	111	3.9.4 Ander Abfälle.....	111
3.9.5 Energy.....	112	3.9.5 Energie	112
3.10 Frits.....	112	3.10 Fritten	112
3.10.1 Process inputs.....	112	3.10.1 Prozess-Input	112
3.10.2 Emissions to Air	113	3.10.2 Emissionen in die Luft	113
3.10.2.1 Raw materials	113	3.10.2.1 Rohstoffe	113
3.10.2.2 Melting.....	113	3.10.2.2 Schmelze	113
3.10.2.3 Downstream Activities	114	3.10.2.3 Nachgeschaltete Aktivitäten.....	114
3.10.3 Emissions to Water	114	3.10.3 Emissionen in das Wasser	114
3.10.4 Other Wastes.....	114	3.10.4 Andere Abfälle	114
3.10.5 Energy.....	114	3.10.5 Energie	114
4 TECHNIQUES TO CONSIDER IN THE DETERMINATION OF BAT.....	117	4 BEI DER FESTLEGUNG DER BVT ZU BERÜCKSICHTIGENDEN TECHNIKEN	117
4.1 Introduction	117	4.1 Einführung.....	117
4.2 Melting Technique Selection.....	119	4.2 Wahl der Schmelztechnik.....	119
4.2.1 Electric Melting	121	4.2.1 Elektrischer Schmelzprozess.....	121
4.3 Techniques for Materials Handling	124	4.3 Techniken zur Werkstoffhandhabung.....	124
4.4 Techniques for Controlling Emissions to Air from Melting Activities	125	4.4 Techniken zur Minderung der durch Schmelzprozesse anfallenden Emissionen	125
4.4.1 Particulate Matter	125	4.4.1 Partikelförmige Stoffe.....	125
4.4.1.1 Primary Techniques.....	127	4.4.1.1 Primärmaßnahmen	127
4.4.1.2 Electrostatic Precipitators	132	4.4.1.2 Elektrofilter	132
4.4.1.3 Bag Filters	136	4.4.1.3 Schlauchfilter.....	136
4.4.1.4 Mechanical Collectors	139	4.4.1.4 Mechanische Abscheider	139
4.4.1.5 High Temperature Filter Media	140	4.4.1.5 Hochtemperaturfeste Filtermedien....	140
4.4.1.6 Wet Scrubbers	140	4.4.1.6 Nass-Wäscher	140
4.4.1.7 Summary of Considerations of Techniques in Section 4.4.1.....	141	4.4.1.7 Zusammenfassung der in Abschnitt 4.4.1 beschriebenen Techniken.....	141
4.4.2 Oxides of Nitrogen (NO _x).....	143	4.4.2 Stickstoffoxide (NO _x).....	143
4.4.2.1 Combustion Modifications	143	4.4.2.1 Verbrennungstechnikänderungen	143

4.4.2.2	Batch Formulation.....	147	4.4.2.2	Gemengerezeptur.....	147
4.4.2.3	Special Furnace Designs	148	4.4.2.3	Spezielle Wannenausführungen.....	148
4.4.2.4	The FENIX process.....	150	4.4.2.4	FENIX Prozess	150
4.4.2.5	Oxy-Fuel Melting.....	151	4.4.2.5	Oxy-Fuel-Schmelztechnik	151
4.4.2.6	Chemical Reduction by Fuel (CRB)	159	4.4.2.6	Chemische Reduktion durch Brennstoff (CRB)	159
4.4.2.7	Selective Catalytic Reduktion (SCR)....	164	4.4.2.7	Selektive katalytische Reduktion (SCR).....	164
4.4.2.8	Selective Non-Catalytic Reduction (SNCR).....	169	4.4.2.8	Selektive nicht-katalytische Reduktion (SNCR).....	169
4.4.2.9	Comparison of NO _x Abatement Techniques Costs	171	4.4.2.9	Kostenvergleich für NO _x - Minderungsmaßnahmen	171
4.4.3	Oxides of Sulphur (SO _x).....	174	4.4.3	Schwefeloxide (SO _x)	174
4.4.3.1	Fuel Selection.....	175	4.4.3.1	Brennstoffauswahl	175
4.4.3.2	Batch Formulation.....	176	4.4.3.2	Gemengerezeptur	176
4.4.3.3	Dry or Semi-dry Scrubbing.....	177	4.4.3.3	Trockene oder Quasi-Trockene Sorption	177
4.4.4	Fluorides (HF) and Chlorides (HCl).....	184	4.4.4	Fluoride und Chloride (HCl).....	184
4.4.4.1	Reduction at Source	184	4.4.4.1	Primärseitige Maßnahmen.....	184
4.4.4.2	Scrubbing Techniques.....	186	4.4.4.2	Reinigungsverfahren.....	186
4.4.5	Oxides of Carbon	186	4.4.5	Kohlenstoffoxide	186
4.5	Techniques for Controlling Emissions to Air from Non Melting Activities	187	4.5	Techniken zur Minderung von Emissionen in die Luft aus Nicht- Schmelzprozessen.....	187
4.5.1	Container Glass	187	4.5.1	Behälterglas	187
4.5.2	Flat Glas	188	4.5.2	Flachglas	188
4.5.3	Continuous Filament Glass Fibre.....	189	4.5.3	Endlosglasfaser.....	189
4.5.4	Domestic Glass.....	190	4.5.4	Wirtschaftsglas.....	190
4.5.5	Special Glass.....	190	4.5.5	Spezialglas.....	190
4.5.6	Mineral Wool	190	4.5.6	Mineralwolle.....	190
4.5.6.1	Forming Area	191	4.5.6.1	Formbereich	191
4.5.6.2	Curing Oven.....	200	4.5.6.2	Härteofen	200
4.5.6.3	Product Cooling	204	4.5.6.3	Produkt-Kühlung.....	204
4.5.6.4	Product Machining and Packaging.....	204	4.5.6.4	Produkt-Bearbeitung und Verpackung	204
4.5.6.5	Odours Arising from Mineral Wool Production	205	4.5.6.5	Geruchsbeeinträchtigung durch Mineralwollerzeugung.....	205
4.5.7	Ceramic Fibre.....	207	4.5.7	Keramikfaser.....	207
4.5.8	Frits	208	4.5.8	Fritten	208
4.6	Techniques for Controlling Emissions to Water	208	4.6	Prozesse zur Überwachung von Emissionen in das Wasser.....	208
4.7	Techniques for Minimising Other Wastes.....	211	4.7	Prozesse zur Minimierung anderer Abfälle...	211
4.8	Energy	212	4.8	Energie	212
4.8.1	Melting Technique and Furnace Design.....	213	4.8.1	Schmelztechnik und Wannenkonstruktion	213
4.8.2	Combustion Control and Fuel Choice	215	4.8.2	Verbrennungs-Emissionsminderung und Brennstoffauswahl	215
4.8.3	Cullet Usage.....	215	4.8.3	Scherbeneinsatz.....	215
4.8.4	Waste Heat Boiler	217	4.8.4	Abhitzeessel	217
4.8.5	Batch and Cullet Preheating	217	4.8.5	Gemenge- und Scherben-Vorwärmung ..	217
5	BAT CONCLUSIONS	220	5	BVT SCHLUSSFOLGERUNGEN	220
5.1	Introduction.....	220	5.1	Einführung	220
5.2	General	221	5.2	Allgemeines.....	221
5.2.1	Materials Storage and Handling.....	223	5.2.1	Materiallagerung und Handhabung.....	223
5.2.2	Particulate Matter	223	5.2.2	Partikelförmige Stoffe.....	223
5.2.3	Oxides of Sulphur.....	224	5.2.3	Schwefeloxide	224
5.2.4	Other Substances	224	5.2.4	Andere Bestandteile	224
5.3	Container Glass	225	5.3	Behälterglas	225
5.3.1	Dust.....	225	5.3.1	Staub	225
5.3.2	Oxides of Nitrogen.....	225	5.3.2	Stickstoffoxide	225
5.3.3	Oxides of Sulphur.....	225	5.3.3	Schwefeloxide	225
5.3.4	Other Emissions from Melting.....	226	5.3.4	Andere beim Schmelzprozess entstehende Emissionen.....	226

5.3.5	Downstream Processes	226	5.3.5	Nachgeschaltete Prozesse.....	226
5.4	Flat Glass	227	5.4	Flachglas.....	227
5.4.1	Dust	227	5.4.1	Staub.....	227
5.4.2	Oxides of Nitrogen	227	5.4.2	Stickstoffoxide.....	227
5.4.3	Oxides of Sulphur.....	227	5.4.3	Schwefeloxide.....	227
5.4.4	Other Emissions from Melting	228	5.4.4	Andere im Schmelzprozess anfallende Emissionen	228
5.4.5	Downstream Processes	228	5.4.5	Nachgeschaltete Prozesse.....	228
5.5	Continuous Filament Glass Fibre	228	5.5	Endlosglasfaser	228
5.5.1	Dust	228	5.5.1	Staub.....	228
5.5.2	Oxides of Nitrogen	229	5.5.2	Stickstoffoxide.....	229
5.5.3	Oxides of Sulphur.....	229	5.5.3	Schwefeloxide.....	229
5.5.4	Other Emissions from Melting	230	5.5.4	Andere im Schmelzprozess anfallende Emissionen	230
5.5.5	Downstream Processes	230	5.5.5	Nachgeschaltete Prozesse.....	230
5.6	Domestic Glass	230	5.6	Wirtschaftsglas	230
5.6.1	Dust	230	5.6.1	Staub.....	230
5.6.2	Oxides of Nitrogen	231	5.6.2	Stickstoffoxide.....	231
5.6.3	Oxides of Sulphur.....	232	5.6.3	Schwefeloxide.....	232
5.6.4	Other Emissions from Melting	232	5.6.4	Andere im Schmelzprozess anfallende Emissionen	232
5.6.5	Downstream Processes	232	5.6.5	Nachgeschaltete Prozesse.....	232
5.7	Special Glass	233	5.7	Spezialglas.....	233
5.7.1	Dust	233	5.7.1	Staub.....	233
5.7.2	Oxides of Nitrogen	233	5.7.2	Stickstoffoxide.....	233
5.7.3	Oxides of Sulphur.....	234	5.7.3	Schwefeloxide.....	234
5.7.4	Other Emissions from Melting	234	5.7.4	Andere im Schmelzprozess anfallende Emissionen	234
5.7.5	Downstream Processes	234	5.7.5	Nachgeschaltete Prozesse.....	234
5.8	Mineral Wool.....	235	5.8	Mineralwolle	235
5.8.1	Dust	235	5.8.1	Staub.....	235
5.8.2	Oxides of Nitrogen	235	5.8.2	Stickstoffoxide.....	235
5.8.3	Oxides of Sulphur.....	235	5.8.3	Schwefeloxide.....	235
5.8.4	Other Emissions from Melting	236	5.8.4	Andere im Schmelzprozess anfallende Emissionen	236
5.8.5	Downstream Processes	237	5.8.5	Nachgeschaltete Prozesse.....	237
5.9	Ceramic Fibre	238	5.9	Keramikfaser	238
5.9.1	Melting	238	5.9.1	Schmelzprozess	238
5.9.2	Downstream Processing.....	238	5.9.2	Nachgeschaltete Prozesse.....	238
5.10	Frits.....	239	5.10	Fritten.....	239
5.10.1	Dust	239	5.10.1	Staub.....	239
5.10.2	Oxides of Nitrogen	239	5.10.2	Stickstoffoxide.....	239
5.10.3	Oxides of Sulphur.....	239	5.10.3	Schwefeloxide.....	239
5.10.4	Other Emissions from Melting	239	5.10.4	Andere im Schmelzprozess anfallende Emissionen	239
5.10.5	Downstream Processes	240	5.10.5	Nachgeschaltete Prozesse.....	240
5.11	Emissions to Water.....	240	5.11	Emissionen in das Wasser.....	240
5.12	Other Wastes	241	5.12	Andere Abfälle.....	241
6	EMERGING TECHNIQUES	243	6	IN DER ENTWICKLUNG BEFINDLICHE TECHNIKEN	243
6.1	Low NO _x Burner Systems	243	6.1	Low NO _x -Brennersysteme.....	243
6.2	Oxy-fuel melting	244	6.2	Oxy-fuel-Schmelztechnik.....	244
6.3	Cullet and Batch Preheating.....	244	6.3	Scherben- und Gemengevorwärmung	244
6.4	Batch Formulations	244	6.4	Gemengezusammensetzung	244
6.5	Integration of Frit Processes.....	245	6.5	Integration von Frittenprozessen	245
6.6	Flue Gas Recirculation.....	245	6.6	Abgasrückführung	245
6.7	Glasulin Research Program.....	245	6.7	Glasulin-Forschungsprogramm	245
6.8	New Melter Designs	246	6.8	Neue Schmelzanlagen	246
6.8.1	The Seg-Melter.....	246	6.8.1	Der Seg-Melter.....	246
6.8.2	The Advanced Glass Melter.....	246	6.8.2	Der Advanced Glass Melter	246
6.8.3	The Plasma Melter.....	246	6.8.3	Der Plasma Melter.....	246

7 CONCLUDING REMARKS	7 ABSCHLIESSENDE BETRACHTUNG.....	248
7.1 Information Exchange	7.1 Informationsaustausch	248
7.2 General Conclusions	7.2 Allgemeine Schlussfolgerungen.....	248
7.3 Recommendations for Further Work.....	7.3 Empfehlungen für die weitere Arbeit.....	249
8 ANNEX I: EXAMPLE INSTALLATION	8 ANHANG I: BEISPIELANLAGEN	
EMISSION DATA	EMISSIONSDATEN	251
8.1 Container Glass Sector	8.1 Behälterglassektor.....	251
8.2 Flat Glass Sector.....	8.2 Flachglassektor	252
8.3 Continuous Filament Glass Fibre Sector	8.3 Endlosglasfasersektor	253
8.4 Domestic Glass Sector	8.4 Wirtschaftsglassektor	254
8.5 Special Glass Sector	8.5 Spezialglassektor.....	255
8.6 Mineral Wool Sector	8.6 Mineralwollesektor	256
9 ANNEX II: EXAMPLE SULPHUR BALANCES	9 ANHANG II: BEISPIELE FÜR SCHWEFEL-	
FOR INDUSTRIAL GLASS FURNACES	BILANZEN FÜR GLASWANNEN	259
10 ANNEX III: EMISSION MONITORING.....	10 ANHANG III: EMISSIONSÜBERWACHUNG	261
10.1 Main Pollutants	10.1 Hauptschadstoffe.....	261
10.2 Monitoring of Emissions.....	10.2 Emissionsüberwachung.....	262
11 ANNEX IV: NATIONAL LEGISLATION	11 ANHANG IV: NATIONALE GESETZGEBUNG ...	269
GLOSSARY	GLOSSAR	283
REFERENCES.....	REFERENZEN	285

List of tables

Table 1.1: Approximate sector based breakdown of Glass Industry production.....	3
Table 1.2: Major producers of container glass in EU (1997)	7
Table 1.3: Distribution of container glass installations in Member States	8
Table 1.4: Number of container glass installations in specified production ranges	8
Table 1.5: Locations of float tanks in the EU in 1997.....	11
Table 1.6: Number of float tanks in Member States in 1997	11
Table 1.7: Percentage of float capacity in specified ranges.....	11
Table 1.8: Number of continuous filament installations and furnaces in Member States	14
Table 1.9: Number of continuous filament furnaces in specified production ranges	14
Table 1.10: Number and distribution of domestic glass installations in Member States in 1997.....	17
Table 1.11: Number of domestic glass installations in specified production ranges (estimated).....	17
Table 1.12: Special Glass Sector breakdown	20
Table 1.13: Distribution of special glass production in EU.....	21
Table 1.14: Investment costs for special glass installations	22
Table 1.15: Number of mineral wool installations in Member States	23
Table 1.16: Number of mineral wool installations in specified production ranges	23
Table 1.17: Distribution of ceramic fibre installations in Member States	26
Table 1.18: Distribution of frit installations in Member States (estimated).....	27
Table 1.19: Number of frit installations in specified production ranges (estimates).....	27
Table 2.1: Important glass making raw materials	32
Table 2.2: Elements used to impart colour	33
Table 2.3: Estimate of EU furnace types in 1997 [tm18 CPIV].....	36
Table 2.4: Typical container glass composition	43
Table 2.5: Typical flat glass composition	46
Table 2.6: Typical E Glass composition	49
Table 2.7: Chemical composition of the main products of the Special Glass Sector	56
Table 2.8: Typical mineral wool compositions	57
Table 2.9: Chemical composition of typical refractory ceramic fibres in weight percent.....	61
Table 3.1: Common raw materials utilised in the Glass Industry [tm18 CPIV].....	68
Table 3.2: Summary of emissions to atmosphere arising from melting activities.....	70
Table 3.3: Potential heavy metal emissions from glass processes.....	71
Table 3.4: Theoretical energy requirements for melting common glass formulations	73
Table 3.5: Examples of specific energy consumption for a range of glass furnaces	75
Table 3.6: Overview of Container Glass Sector inputs and outputs [tm18 CPIV]	76
Table 3.7: Materials utilised in the Container Glass Sector (CPIV Jan98)	77
Table 3.8: Total emission ranges reported for Container Glass Sector furnaces with primary and secondary abatement measures.	79
Table 3.9: Mid 80 percentile emission ranges for Container Glass Sector furnaces with primary and secondary abatement measures	80
Table 3.10: Materials utilised in the Flat Glass Sector.....	83
Table 3.11: Emission levels from unabated and abated flat glass furnaces.....	84
Table 3.12: Overview of Continuous Filament Glass Fibre Sector inputs and out puts [tm18 CPIV].....	87
Table 3.13: Materials utilised in the Continuous Filament Glass Fibre Sector	88
Table 3.14: Emission levels from continuous filament glass fibre furnaces	89
Table 3.15: Overview of Domestic Glass Sector inputs and outputs	93
Table 3.16: Materials utilised in the Domestic Glass Sector.....	94
Table 3.17: Summary of emissions to air from domestic glass furnaces	96
Table 3.18: Materials utilised in the Special Glass Sector	99
Table 3.19: Overview of inputs and out puts for an example water glass process [tm28 EMPA]	99
Table 3.20: Overview of inputs and out puts for an example TV funnel glass process	100
Table 3.21: Overview of inputs and out puts for an example TV panel glass process (SCR fitted for NO _x reduction)	100
Table 3.22: Materials utilised in the Mineral Wool Sector	103
Table 3.23: Mineral wool process exhaust gas volumes	105
Table 3.24: Full range of emissions from mineral wool melting activities	106
Table 3.25: Middle 80 % of emissions from mineral wool melting activities.....	106
Table 3.26: Full range of mineral wool line emissions in mg/m ³	107
Table 3.27: Middle 80 % range of mineral wool line emissions	108
Table 3.28: Mineral Wool Sector solid waste generation and disposal.....	109
Table 3.29: Energy use in mineral wool production	109

Table 3.30: Materials utilised in the Ceramic Fibre Sector	110
Table 3.31: Main raw materials utilised in frit production	113
Table 3.32: Emission levels from frit furnaces	114
Tabelle 4.1: Wesentliche Vor- und Nachteile der elektrischen Schmelztechnik	124
Tabelle 4.2: Wesentliche Vor- und Nachteile von Primärmaßnahmen zur Staubminderung	132
Tabelle 4.3: Kosten für elektrostatische Abscheider (Elektrofilter) mit Abscheidung saurer Abgasbestandteile [tm32 Beerkens].....	134
Tabelle 4.4: Wesentliche Vor- und Nachteile von elektrostatischen Filtern (Elektrofilter).....	136
Tabelle 4.5: Wesentliche Vorteile und Nachteile von Schlauchfiltern	139
Tabelle 4.6: Wesentliche Vor- und Nachteile von Zyklonabscheidern	140
Tabelle 4.7: Wesentliche Vor- und Nachteile von Verbrennungssystemänderungen	147
Tabelle 4.8: Wesentliche Vor- und Nachteile der Sauerstoff-Brennstoff-Schmelztechnik (Sauerstoff- Brennstoff-Beheizung).....	158
Tabelle 4.9: Haupt- Vor- und Nachteile des 3R-Prozesses	161
Tabelle 4.10: Kosten für SCR mit Elektrofiltern und Absorption saurer Abgasbestandteile.....	167
Tabelle 4.11: Haupt- Vorteile und Nachteile von SCR	168
Tabelle 4.12: Kosten für SNCR	170
Tabelle 4.13: Haupt- Vor- und Nachteile der SNCR-Technik	171
Tabelle 4.14: Investitionskosten für Vermeidungsmaßnahmen	173
Tabelle 4.15: Jährliche Betriebskosten für NO _x -Minderungsmaßnahmen	173
Tabelle 4.16: Spezifische Kosten für die Minderungsmaßnahmen in Euro/Tonne Glas	174
Tabelle 4.17: Kosten für den Sauerstoff-Brennstoff-Schmelzprozess (Euro/Tonne Glas) bei zwei Sauerstoffpreisen	174
Tabelle 4.18: Beispiele für SO _x -Emissionen in Abgasen von Glasschmelzwannen für verschiedene Brennstoffe	175
Tabelle 4.19: Energiekostenschwankungen in der EU – Quelle (CPIV)	176
Tabelle 4.20: Trocken-Absorptions-Wirkungsgrad für Ca(OH) ₂ (Anhaltswerte).....	178
Tabelle 4.21: SO _x -Minderungsrate bei Trocken-Absorbierung mit Ca(OH) ₂	178
Tabelle 4.22: SO _x -Minderungsrate bei Trocken-Absorption mit Na ₂ CO ₃	179
Tabelle 4.23: SO _x -Minderungsrate bei Halbtrocken-Absorption mit einer Na ₂ CO ₃ Lösung.....	179
Tabelle 4.24: SO _x -Minderungsrate bei Halbtrocken-Absorption mit Ca(OH) ₂	179
Tabelle 4.25: Wesentliche Vor- und Nachteile der Trocken- und Halbtrocken-Absorption.....	184
Tabelle 4.26: Haupt- Vor- und Nachteile bei elektrostatischen Nass-Abscheidern	198
Tabelle 4.27: Haupt- Vor- und Nachteile von Steinwolle-Filtern.....	200
Tabelle 4.28: Hauptvorteile und Nachteile bei der Verbrennung	204
Tabelle 4.29: Allgemein erreichbare Werte für Linienemissionsquellen in die Luft (mg/Nm ³).....	206
Tabelle 4.30: Investitions- und Betriebskosten für Reduktionsmaßnahmen.....	207
Tabelle 4.31: Liste möglicher Abwasseraufbereitungsprozesse zur Anwendung in der Glasindustrie	210
Tabelle 5.1: Orientierende Umrechnungsfaktoren mg/m ³ in kg/Tonne geschmolzenes Glas ⁽¹⁾	223
Tabelle 5.2: Klassifizierungen von Metallen und deren Verbindungen.....	224
Table 10.1: Main pollutants likely to be considered for measurement in the Glass Industry	261
Table 10.2: Continuous monitoring techniques	265
Table 10.3: Mass flows for continuous monitoring (France and Germany)	265
Table 10.4: Discontinuous monitoring techniques	266

List of figures

Figure 1.1: Total glass production 1986 to 1996 (*excluding frits and ceramic fibres).....	3
Figure 2.1: A cross-fired regenerative furnace.....	38
Figure 2.2: Cross section of a regenerative furnace	38
Figure 2.3: Single pass end-fired regenerative furnace	39
Figure 2.4: Plan view of end-fired regenerative furnace	39
Figure 2.5: Press and blow forming and blow and blow forming	44
Figure 2.6: The Float Glass Process.....	47
Figure 2.7: The Rolled Glass Process	48
Figure 2.8: The pressing process for the formation of glass articles	52
Figure 2.9: The spinning process for the formation of glass articles.....	52
Figure 2.10: A typical glass wool plant.....	57
Figure 2.11: A typical mineral wool process water circuit.....	59
Figure 2.12: A typical stone wool plant	59
Figure 3.1: Energy usage in a typical container glass plant	82
Figure 3.2: Energy usage for a typical float glass process	86
Figure 3.3: Energy usage in a typical continuous filament glass fibre process	92
Figure 3.4: Energy usage in lead crystal manufacture (pot furnace).....	98
Abbildung 4.1: Reburning-Prozess-Schema	162

1 ALLGEMEINE INFORMATION

1.1 Umfang des Dokumentes

Das vorliegende Dokument umfasst die Abschn. 3.3 und 3.4 des Anhangs 1 der Richtlinie 96/61/EG beschriebenen industriellen Aktivitäten, und zwar:

- 3.3 Anlagen für die Herstellung von Glas einschließlich Glasfasern mit einer Schmelzleistung von über 20 Tonnen pro Tag
- 3.4 Anlagen für das Schmelzen von mineralischen Stoffen einschließlich der Herstellung von Mineralfasern mit einer Schmelzleistung von über 20 Tonnen pro Tag.

Die unter diese Kategorien fallenden Aktivitäten variieren stark hinsichtlich ihrer Größenordnung, der eingesetzten Techniken und den damit verbundenen Umweltfragen. Bei der Beantwortung der Frage, ob eine Anlage den in Anhang 1 aufgeführten Kriterien entspricht, ist die Gesamtkapazität der einzelnen Schmelzaktivitäten in der Anlage zu berücksichtigen. Für die Zwecke des vorliegenden Dokuments wird davon ausgegangen, dass sich die vorgegebene Schmelzkapazität von 20 Tonnen pro Tag auf die Masse der produzierten Schmelze bezieht. Damit soll der Auslegung der Richtlinie nicht vorgegriffen, sondern lediglich sichergestellt werden, dass die bereitgestellten Informationen der in der Glasindustrie üblichen Terminologie entsprechen.

Für die Zwecke des vorliegenden Dokumentes werden die in Abschnitt 3.3 und 3.4 des Anhangs 1 der Richtlinie 96/61/EG genannten industriellen Tätigkeiten unter dem Begriff Glasindustrie zusammengefasst, die in acht Sektoren unterteilt wird. Die Sektoreneinteilung erfolgt nach den hergestellten Produkten, doch sind dabei Überschneidungen unvermeidlich. Bei den acht Sektoren handelt es sich um folgende:

1. Behälterglas
2. Flachglas
3. Endlosglasfasern
4. Wirtschaftsglas
5. Spezialglas (einschließlich Wasserglas)
6. Mineralwolle (mit den zwei Teilsektoren Glaswolle und Steinwolle)
7. Keramikfasern
8. Fritten.

Zusätzlich zu der eigentlichen Produktion behandelt das Dokument auch die damit zusammenhängenden Tätigkeiten, die einen Einfluss auf die Emissionen oder die Umweltbelastung haben könnten. Daher erfasst das Dokument alle Tätigkeitsbereiche von der Anlieferung der Rohstoffe über die Herstellung etwaiger Zwischenprodukte bis zur Auslieferung der Endprodukte. Allerdings werden bestimmte Tätigkeiten ausgeklammert, weil man sie nicht in einem direkten Zusammenhang mit der primären Tätigkeit sieht. Beispielsweise bleibt die Weiterverarbeitung von Flachglas zu anderen Produkten (z.B. Doppelverglasung oder Automobil-Produkte) unberücksichtigt. Auch in diesem Falle soll der Auslegung der Richtlinie durch die Mitgliedstaaten nicht vorgegriffen werden. Einbezogen werden folgende Tätigkeiten:

- Rohstoffhandhabung und -lagerung
- Misch- und Transportvorgänge
- Schmelzen und Läutern
- Formgebung (z.B. Floatbad, Walzen, Pressen, Blasen, Zerfaserung, Abschrecken der Fritten)
- Konditionieren (z.B. Kühlöfen, Ausglühen, Vorspannen)
- Beschichtung, einschließlich Einsatz von Binde- und Schmiermitteln
- Oberflächenbehandlung (z.B. Säurepolitur)
- Aushärtung und Trocknung
- Mahlen
- Weitere Bearbeitung, Schneiden und Verpacken
- Lagerung, Transport und Handhabung von Abfällen.

1.2 Introduction

[tm18 CPIV, CPIV stats, EURIMA stats]

The Glass Industry within the European Union (EU) is extremely diverse, both in the products made and the manufacturing techniques employed. Products range from intricate hand-made lead crystal goblets to the huge volumes of float glass produced for the construction and automotive industries. Manufacturing techniques vary from the small electrically heated furnaces in the Ceramic Fibre Sector to the cross-fired regenerative furnaces in the Flat Glass Sector, producing up to 700 tonnes per day. The wider Glass Industry also includes many smaller installations that fall below the 20 tonnes per day threshold. However, for some of the statistical data given in this chapter it has not been possible to separate out the contribution from the smaller plants, but this is not considered significant since they account for less than 5 % of the total industry output.

The Glass Industry is essentially a commodity industry, although many ways of adding value to high volume products have been developed to ensure the industry remains competitive. Over 80 % of the industry output is sold to other industries, and the Glass Industry as a whole is very dependent on the building, and the food and beverage industries. However, this general picture is not true for all of its components, as some of the smaller volume sectors produce high value technical or consumer products.

In the late nineteen nineties, the Glass Industry is continuing a period of reorganisation. In order to reduce costs and compete more effectively in a global market, and to benefit from economies of scale companies are merging together and the number of independent operators is falling. The groups that dominate the industry are becoming more international in their operations, and users are increasingly requiring homogeneous quality, regardless of the country where the products are used. The EU Glass Industry is at the forefront of technological developments and thus is likely to benefit from improved industrial performance in future years.

With the notable exception of Saint-Gobain, there are few major companies operating in more than two of the eight sectors specified in the previous section. For example, the Owens Corning Corporation specialises in glass fibre technology, continuous filament glass fibre and glass wool. PPG is a large international producer of flat glass and continuous filament glass fibre. And the Pilkington Group specialises mainly in flat glass activities.

The major environmental challenges for the Glass Industry are emissions to air and energy consumption. Glass making is a high temperature, energy intensive activity, resulting in the emission of products of combustion and the high temperature oxidation of atmospheric nitrogen; i.e. sulphur dioxide, carbon dioxide, and oxides of nitrogen. Furnace emissions also contain dust, which arises mainly from the volatilisation and subsequent condensation of volatile batch materials. It is estimated that in 1997 the Glass Industry emissions to air consisted of: 9000 tonnes of dust; 103500 tonnes of NO_x; 91500 tonnes of SO_x; and 22 million tonnes of CO₂ (including electrical generation). This amounted to around of 0.7 % of total EU emissions. Total energy consumption by the Glass Industry was approximately 265 PJ.

Emissions to the water environment are relatively low and there are few major issues that are specific to the Glass Industry. However, there are water pollution issues in some sectors and these are covered in the specific sections of this document. Solid waste levels are also generally very low, and many initiatives have been implemented for reducing waste generation, and for recycling in-house and post consumer waste.

In general, the raw materials for glass making are readily available, relatively harmless natural or man made substances. There are no major environmental problems associated with the provision of the raw materials and waste levels are usually very low.

Many of the sectors within the Glass Industry utilise large continuous furnaces with lifetimes up to twelve years. These furnaces represent a large capital commitment and the continuous

operation of the furnace and the periodic rebuild provide a natural cycle of investment in the process. Major changes of melting technology are most economically implemented if coincided with furnace rebuilds. This can also be true for complex secondary abatement measures that must be correctly sized and any necessary gas conditioning implemented. However, many improvements to the operation of the furnace, including the installation of secondary techniques, are possible during the operating campaign. For smaller furnaces with more frequent rebuilds and lower capital costs, the advantages of co-ordinating environmental improvements and furnace repairs are less significant, but environmental improvements may be more economical if co-ordinated with other investments.

The total production of the Glass Industry within the EU in 1996 was estimated at 29 million tonnes (excluding ceramic fibres and frits), an indicative breakdown by sector is given in Table 1.1 below. There has been a steady growth in the overall volume of sales over the last decade. However, there have been fluctuations in each sector, which are discussed later in the document. The growth in total EU glass production, and in production from the three largest sectors, between 1986 and 1996 is summarised in Figure 1.1.

Sector	% of Total EU Production (1996)
Container Glass	60
Flat Glass	22
Continuous Filament Glass Fibre	1.8
Domestic Glass	3.6
Special Glass	5.8
Mineral Wool	6.8
Ceramic Fibre	-
Glass Frit and Enamel Frit	-

Table 1.1: Approximate sector based breakdown of Glass Industry production

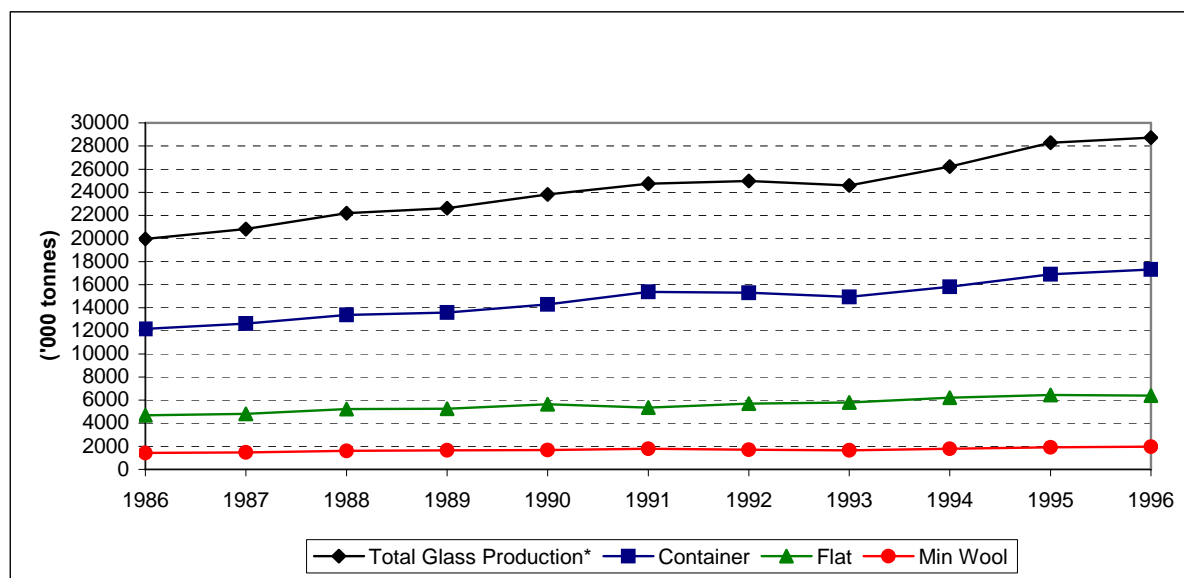


Figure 1.1: Total glass production 1986 to 1996 (*excluding frits and ceramic fibres)

The outputs from the different sectors are very diverse and the links between the sectors are at times tenuous. However, the common thread linking all of the activities discussed in this document is the melting of inorganic materials to form a molten glass, or glass-like, substance which is then formed into products.

In many senses each of the sectors of the Glass Industry is a separate industry in its own right, each producing very different products for different markets and facing different challenges. Sections 1.3 to 1.10 of this chapter give a brief overview of each of the sectors and try to outline some of the important factors that affect each. Where possible the information is presented in a comparable way for each sector. The differing structures, organisation and priorities of each sector means that the information sometimes varies in detail and in nature. This is to be expected because the relative importance of certain parameters will differ from sector to sector.

1.2.1 Characteristics of Glass

[tm21 Schott]

The term glass does not have a convenient simple definition. In its broadest sense glass is a collective term for an unlimited number of materials of different compositions in a glassy state. More specifically, the term is used to relate to a state of inorganic matter which may be likened to a solid, but which has the properties of a very highly viscous liquid, exhibiting neither crystalline structure nor a distinct melting point, i.e. a super-cooled liquid. In the Glass Industry the term is usually used to refer to silicate glasses, substances containing a high proportion of silica (SiO_2) and which naturally form glasses under normal conditions of cooling from the molten state.

Glasses are structurally similar to liquids, but at ambient temperatures they react to the impact of force with elastic deformation and so must also be considered to behave as solids. The use of the term glass is generally restricted to inorganic substances and not used in connection with organic materials such as transparent plastics.

Various chemical materials can form a vitreous structure; such as the oxides of silicon, boron, germanium, phosphorus and arsenic. When cooled quickly from the molten state they solidify without crystallisation to form glasses. These glass formers exhibit the same behaviour when mixed with other metallic components within certain compositional limits. The addition of these glass-modifying components (e.g. oxides of calcium and aluminium) changes the bonding relationships and structural groupings, resulting in changes in the physical and chemical properties of the glass. The glassy state is not limited to oxides and can also be observed when certain sulphur and selenium compounds are rapidly cooled. Under extreme conditions glass can be made from some oxide free metallic alloys, and many organic liquids transform into a glassy state at low temperatures (e.g. glycerine at -90°C).

Glasses are energetically unstable in comparison with a crystal of the same chemical composition. In general, when cooling a melted substance crystallisation begins when the temperature falls below the melting point. In glass this does not occur because the molecular building blocks (SiO_4 tetrahedrons in silicate glass) are spatially cross-linked to each other. To form crystals these linkages must first be broken so that crystal nuclei can form. This can only occur at lower temperatures, but at these temperatures the viscosity of the melt impedes the restructuring of the molecules and the growth of crystals. In general, the tendency to crystallise (devitrification) decreases with an increasing rate of cooling (within the critical temperature range below the melting point) and with the number and type of different components in the formulation.

The mechanical properties of glass are rather specific. The actual tensile strength of glass is several hundred times lower than the theoretical value calculated from chemical bond energies. The tensile strength is heavily dependent on the surface condition of the glass and the presence of internal defects. Treatments such as coating, fire polishing and prestressing can greatly improve the tensile strength but it still remains far below the theoretical value.

Many glass formulations are also susceptible to breaking under rapid temperature changes. There are several reasons for this, principally poor heat conductivity, the relatively high thermal expansion coefficient of alkali rich glasses, and limited tensile strength. Glasses are divided into

two categories, those with a thermal expansion coefficient below $6 \times 10^{-6}/\text{K}$ are termed hard glasses, and those with a higher thermal expansion coefficient are termed soft glasses.

1.2.2 Broad Classification of Glass Types

[tm21 Schott]

The most widely used classification of glass type is by chemical composition, which gives rise to four main groupings: soda lime glass, lead crystal and crystal glass, borosilicate glass and special glasses. The first three of these categories account for over 95 % of all glass produced. The thousands of special glass formulations produced mainly in small amounts account for the remaining 5 %. With very few exceptions most glasses are silicate based, the main component of which is silicon dioxide (SiO_2).

Stone wool is an exception to this classification of glass types in that the typical chemical composition does not fit into any of these categories. A typical stone wool composition is presented in Table 2.8.

Soda-lime glasses

The vast majority of industrially produced glasses have very similar compositions and are collectively called soda-lime glasses. A typical soda-lime glass is composed of 71 - 75 % silicon dioxide (SiO_2 derived mainly from sand), 12 - 16 % sodium oxide ('soda' Na_2O from soda ash – Na_2CO_3), 10 - 15 % calcium oxide ('lime' CaO from limestone – CaCO_3) and low levels of other components designed to impart specific properties to the glass. In some compositions a portion of the calcium oxide or sodium oxide is replaced with magnesium oxide (MgO) and potassium oxide (K_2O) respectively. More detailed glass compositions are given in Chapter 2.

Soda-lime glass is used for bottles, jars, everyday tableware and window glass. The widespread use of soda-lime glass results from its chemical and physical properties. Amongst the most important of these properties is the excellent light transmission of soda-lime glass, hence its use in flat glass and transparent articles. It also has a smooth, nonporous surface that is largely chemically inert, and so is easily cleaned and does not affect the taste of contents. The tensile and thermal performances of the glass are sufficient for these applications, and the raw materials are comparatively cheap and economical to melt. The higher the alkali content of the glass the higher the thermal expansion coefficient and the lower the resistance to thermal shock and chemical attack. Soda-lime glasses are not generally suited to applications involving extremes or rapid changes of temperature.

Lead crystal and crystal glass

Lead oxide can be used to replace much of the calcium oxide in the batch to give a glass known popularly as lead crystal. A typical composition is 54 - 65 % SiO_2 , 25 - 30 % PbO (lead oxide), 13 - 15 % Na_2O or K_2O , plus other various minor components. This type of formulation, with lead oxide content over 24 %, gives glass with a high density and refractive index, thus excellent brilliance and sonority, as well as excellent workability allowing a wide variety of shapes and decorations. Typical products are high quality drinking glasses, decanters, bowls and decorative items. Lead oxide can be partially or totally replaced by barium, zinc or potassium oxides in glasses known as crystal glass that have a lower brilliance or density than lead crystal. Precise definitions associated with chemical and physical characteristics are set in Directive 69/493/EEC.

Borosilicate glasses

Borosilicate glasses contain boron trioxide (B_2O_3) and a higher percentage of silicon dioxide. A typical composition is 70 - 80 % SiO_2 , 7 - 15 % B_2O_3 , 4 - 8 % Na_2O or K_2O , and 2 - 7 % Al_2O_3 (aluminium oxide). Glasses with this composition show a high resistance to chemical corrosion

and temperature change (low thermal expansion coefficient). Applications include chemical process components, laboratory equipment, pharmaceutical containers, lighting, cookware, and oven doors and hobs. Many of the borosilicate formulations are for low volume technical applications and are considered to fall into the special glass category.

A further application of borosilicate glass is the production of glass fibre, both continuous filaments and glass wool insulation. In addition to the chemical resistance and low thermal expansion coefficient, the boron trioxide is important in fiberisation of the glass melt. Typical compositions for glass fibre differ from the composition above. For example, the composition of EGlass is SiO₂ 53 - 60 %, earth alkali oxides 20 - 24 %, B₂O₃ 5 - 10 %, Al₂O₃ 5 - 10 % plus other minor components. It should also be noted that for continuous filament glass fibre new low boron/boron free formulations are becoming more important.

Special glasses

This is an extremely diverse grouping, which covers the specialised low volume, high value products, the compositions of which vary very widely depending on the required properties of the products. Some of the applications include: specialist borosilicate products; optical glass, glass for electrotechnology and electronics; cathode ray tubes; fused silica items; glass seals; X-ray tubes; glass solders; sintered glass; electrodes; and glass ceramics. More information on technical glass formulations is given in Chapter 2.

1.2.3 Historical Origins

[tm18 CPIV, tm21 Schott]

Glassy materials do occur naturally, for example, obsidian is often found in volcanic areas and has a composition comparable to man-made glass. This material, which consists mainly of silicon dioxide, and sodium and calcium compounds, was used by early man to make arrowheads, spearheads and knives. Other natural forms of glass are tektites, formed by the solidification of molten rock sprayed into the atmosphere when meteorites hit the surface of the earth; and fulgurites, formed when lightning hits sand.

Although it is not known when glass was first produced artificially, the oldest finds date back to around 3500 BC. It is thought that glass making originated in Egypt and Mesopotamia, but developed later and independently in China, Greece and the Northern Tyrol. Ancient glass manufacture is believed to be linked with the production of ceramics or bronze, where it could have originated as a by-product. Its early uses were as jewellery and for small vessels. Production began to increase significantly from around 1500 BC when larger and more utilitarian items (bowls, containers and cups) were made by moulding glass around a sand or clay core. The first major technical revolution in the manufacture of glass occurred in the first century AD in Palestine or in Syria with the discovery of the glass blowing pipe. This technique involved taking molten glass on to the end of the blowpipe into which the artisan blew to form a hollow body. This technique allowed the production of a wide variety of shapes and spread across the whole occident, e.g. Italy and France.

Glass manufacturing in Europe developed further in the Middle Ages, and Venice became the European centre of glass art. In the 14th century, glass workshops were set up all over the continent and at the same time the manufacture of flat glass for glazing developed in France. For centuries, window glass was blown with a glassblowing pipe into large cylindrical bodies, cut up and ironed flat while still hot. Only limited glass quantities could be handled and the window glass was very small. The new technique consisted of blowing a glass sphere with a pipe, which was then opened at the end, opposite where the glass was attached to the pipe, and spun flat. After the discovery of the plate pouring process in 1688 under Louis XIV, large surface mirrors could be created. At the same time, English glass manufacturers developed lead crystal, yielding a glass of high brilliance and pure ring.

In the 18th century, some factories were already producing more than 1 million bottles per year (around 3 tonnes/day), by manual mouth-blown techniques. During the industrial revolution of the 19th century, technical progress accelerated: furnaces were heated with coal instead of wood; the first automatic machines were used; and blowing was done using compressed air in metallic moulds. At the end of the 19th century, the continuous furnace was invented by Friedrich Siemens, allowing large-scale continuous production and the use of machinery.

Two important steps were taken in the 20th century: The full mechanisation of bottle manufacture with the introduction of the first automatic IS (individual section) machine around 1920, and the invention of the float process for flat glass in 1962. Today, the production of an IS machine can be above 500 bottles/minute and the production of float can be up to 900 t/d.

1.3 Container Glass

1.3.1 Sector Overview

[tm18 CPIV, CPIV stats]

Container glass production is the largest sector of the EU Glass Industry, representing around 60 % of the total glass production. The sector covers the production of glass packaging i.e. bottles and jars although some machine made tableware may also be produced in this sector. In 1997 the sector produced over 17.3 million tonnes of glass products from the 295 furnaces operating in the EU. There are approximately 70 companies with 140 installations and the sector directly employs 50000 people. Container glass is produced in all Member States with the exception of Luxembourg, and output has risen annually on average 1.8 % (see Figure 1.1) with sales in 1997 in excess of 6 billion Euro.

More than 50 % of the EU output is from the ten largest producers shown in Table 1.2 below. The companies are grouped geographically and are not in order of size. At the time of writing the largest producer of container glass in the EU was the French group Saint-Gobain followed by Danone, Gerresheimer and AVIR. Western Europe is the biggest producer of container glass, followed by the USA and Japan. The geographical distribution of the sector and the range of installation sizes are shown in Table 1.3 and Table 1.4.

Company	Country	Ownership
B S N	France	Danone Group (France)
Saint Gobain Emballage	France	Saint Gobain (France)
Gerresheimer Glas	Germany	VIAG (Germany)
Oberland Glas	Germany	Saint Gobain (France)
AVIR	Italy	Owens Illinois (USA)
Vetriere Italiane VETR.I	Italy	Saint Gobain (France)
Vereenigde Glasfabrieken	Netherlands	Danone Group (France)
Vicasa	Spain	Saint Gobain (France)
Rockware Glass	UK	Owens Illinois (USA)
United Glass	UK	Owens Illinois (USA)

Table 1.2: Major producers of container glass in EU (1997)

Member State	Number of Installations	Number of Furnaces	% Distribution of EU Production	
Germany	33	70	26	
France	22	54	20	
Italy	32	54	17	
United Kingdom	14	32	11	
Spain	14	23	10	
Portugal	6	17	16	
Netherlands	5	13		
Austria	4	9		
Belgium	4	9		
Greece	2	5		
Finland	1	2		
Denmark	1	3		
Ireland	1	2		
Sweden	1	2		
Total	140	295		17316000 tonnes in 1997

Table 1.3: Distribution of container glass installations in Member States

Production Range (Tonnes/day)	<150	150 to 300	300 to 600	600 to 1000	>1000
Number of Installations In Each Range	14	37	57	28	4

Table 1.4: Number of container glass installations in specified production ranges

1.3.2 Products and Markets

[tm18 CPIV]

Container glass is made from a basic soda lime formulation and is melted in a fossil fuel fired or, exceptionally, an electrically heated furnace. The molten glass is generally formed into the products by automated individual section (IS) machines. Where appropriate colouring agents are added to the glass and surface coatings are applied to the finished products.

The most important products of the container glass sector are bottles for wine, beer, spirits, soft drinks etc, and wide neck jars for the food industry. These products are generally considered as commodity items, but another important part of the sector is the production of higher value containers for the pharmaceutical and perfume industries. The majority of production is sold to customer industries within the EU, which then sell their packaged products into markets in the EU and the rest of the world. The relative importance of the various customer industries varies considerably between Member States. This is reflected in the great diversity of national markets for glass containers and the products they require, particularly colour, shape, size and design.

There are three broad customer industry sectors. The beverage sector accounts for approximately 75 % of the total tonnage of glass packaging containers. This includes still and sparkling wines, fortified wines, spirits, beer, soft drinks, fruit juices and mineral waters. The food sector accounts for about 20 % of the tonnage (mostly jars). This covers a wide range of products, such as: wet and dry preserves, milk and milk products, jams and spreads, sauces and dressings, oil, vinegar, etc. Perfumery and pharmaceutical containers, generally small bottles (flaconnage) account for the remaining 5 % or so of container glass tonnage.

An important characteristic of the sector is that delivery distances are generally limited to a few hundred kilometres, because for empty containers the cost of transport is relatively high compared to the sales price. Furthermore, specific local or regional markets exist with characteristic glass containers, particularly in alcoholic beverages (distinct wine regions, whisky, cognac, champagne, and beer), and this has acted against rapid market concentration. Indeed even when companies have been absorbed into larger groups they tend to conserve their local identity and customers.

1.3.3 Commercial and Financial Considerations

[tm18 CPIV, CPIV stats]

Container Glass is a mature industry serving extremely dynamic markets, which has experienced slow overall growth during the past decade. There are inevitable local or temporary changes, but the overall trend is expected to continue in the medium term. However, the competition from alternative packaging materials is expected to present an increasingly challenging threat to the sector.

During 1997, subject to regional variations, the sector utilised approximately 90 % of production capacity, with a variation between 84 % and 95 % over the previous decade. The large number of furnaces and the competitive nature of the business provide a degree of self-regulation of capacity. Although furnaces have long operating lives the large number of furnaces means that in any one year a significant portion of capacity will be approaching rebuild. In the Container Glass Sector over capacity tends to be localised and short term. Competition from alternative materials is a significant factor for price levels.

Due to transport costs most products are sold within 500 km of the point of production, and so imports and exports tend to be fairly limited. During 1997 EU exports exceeded imports by around 8 %, i.e. 453000 tonnes against 417000 tonnes. Total extra EU trade represents only 5 % of the sector production of 17.3 million tonnes. However, areas on the fringes of the EU can be subject to quite severe competition from non-EU countries, often with significantly lower prices but acceptable quality. This is particularly true for lower value products. It is however important to remember that although the containers are sold locally the packaged goods can rely heavily on extra EU trade.

There is a wide range of factors that can affect the market for container glass. The main threat is from alternative packaging materials, especially metals (steel and aluminium) and plastics. The main disadvantages of glass are greater weight (therefore transport costs) and risk of breakage. The main advantages of glass are ease of cleaning and reuse, recyclability, transparency, chemical inertness, and perceived quality for premium products. The relative position of glass to its competitors varies widely between regions and products, depending on market preferences, costs and packaging developments.

Other important factors are associated with fluctuations in the demand for the packaged products. For example, changes in consumer habits, such as the trend towards the consumption of lower volumes but of higher quality wines. Climatic factors such as the size of wine harvests and the increased consumption of beer and soft drinks during hot summers can also be important. Fluctuations in foreign exchange rates and prevailing local economic climate will effect the demand for high value items such as perfumes and spirits.

Glass making is a capital-intensive industry and this restricts entry into the market to fairly large enterprises with substantial financial resources. The long term slow growth means that although new furnaces are being constructed they tend to be built by companies already operating in that region, or by other existing companies entering that region. Much of the growth in sales will be met by upgrading existing plants at scheduled rebuilds. Overall there is a trend of transfer of ownership of smaller companies to large companies.

In general, container glass furnaces operate continuously, or with a minor intermediate repair, for up to 12 years, after which time they are rebuilt with either partial or total replacement of the structure depending on its condition. The straightforward rebuild of a medium sized furnace (around 250 tonnes per day) will cost in the region of 3 to 5 million euros. The actual expenditure can be significantly higher, because the rebuild can be a convenient time to implement any upgrades to the process. A new plant of comparable size on a green field site would cost in the region of 40 to 50 million euros including infrastructure and services.

1.3.4 Main Environmental Issues

The main environmental problem associated with container glass production is that it is a high temperature, energy intensive process. This results in the emission of products of combustion and the high temperature oxidation of atmospheric nitrogen; i.e. sulphur dioxide, carbon dioxide, and oxides of nitrogen. Furnace emissions also contain dust (arising from the volatilisation and subsequent condensation of volatile batch materials) and traces of chlorides, fluorides and metals present as impurities in the raw materials. Technical solutions are possible for minimising all of these emissions, but each technique has associated financial and environmental implications.

Waste levels within the sector are very low. Indeed a significant development within the sector has been the increased use of recycled glass. The average rate of utilisation of post consumer waste within the EU Container Glass Sector is approximately 50 % of total raw material input, with some installations utilising up to 90 % waste glass. A distinct advantage of glass over alternative packaging materials is the ease of reuse and recycling. In general, glass container production should not present significant water pollution problems. Water is used mainly for cleaning and cooling and can be readily treated or reused.

Major environmental improvements have been made within the sector, with major reductions in furnace emissions and energy usage. In particular advances have been made with primary emission reduction techniques for oxides of nitrogen and sulphur dioxide.

1.4 Flat Glass

1.4.1 Sector Overview

[tm18 CPIV]

Flat glass is the second largest sector of the Glass Industry in the EU representing around 22 % of the total glass production. The sector covers the production of float glass and rolled glass. In 1997 the sector produced approximately 6.9 million tonnes of glass from the 40 float tanks operating in the EU. There are five manufacturers of float glass and four rolled glass manufacturers operating in the EU. Flat glass is produced in eleven Member States, the exceptions being Austria, Denmark, Greece and Ireland.

The sector directly employs 12500 people in the manufacture of the glass, and a further 90000 are employed in the processing of glass into building and automotive products. Flat glass output increased substantially between 1986 and 1997 (see Figure 1.1), boosted in part by the entry of Sweden and Finland into the EU in 1995. However, year on year the demand can fluctuate significantly. For example 1997 showed a particularly high growth of over 6 %, but annual growth is predicted to be 2 - 3 % between 1998 and 2000.

Flat glass manufacture is a world-wide business that is dominated by five major groups; in order of world-wide sales they are Asahi (Japan), Pilkington (UK), Saint-Gobain (France), PPG Industries (USA), and Guardian Industries (USA). EU production is dominated by Pilkington and Saint-Gobain, which together are estimated to hold over 70 % of the market. Until recently

all five major groups had manufacturing sites in the EU. PPG has sold its European float glass plants (2 in Italy and 2 in France) to the Belgian company Glaverbel, which is largely owned by Asahi. The operations of EU float glass producers in 1997 are summarised in Table 1.5. Four new float tanks will be constructed in the EU between 1998 and 2000, one in each of Germany, UK, Italy and Spain. All four tanks will be in the 450 to 600 tonnes per day range.

Company	Number of Tanks	Locations
Saint-Gobain	13	Germany (4), France (3), Belgium (2), Spain (2), Italy (1), Portugal (1).
Pilkington	12	Germany (4), UK (3), Italy (3), Finland (1), Sweden (1)
Glaverbel	9	Belgium (4), France (2), Italy (2), Netherlands (1)
Guardian	5	Luxembourg (2), Spain (2), Germany (1)
Euroglas	1	France (1)

Table 1.5: Locations of float tanks in the EU in 1997

The geographical distribution of the sector and the range of installation sizes are shown in Table 1.6 and Table 1.7.

Member State	Number of Float Tanks	% Distribution of EU Production
Germany	9	20
France	6	15
Italy	6	15
Belgium	6	15
United Kingdom	3	10
Spain	4	10
Finland	1	14
Netherlands	1	
Luxembourg	2	
Portugal	1	
Sweden	1	
Austria	-	<1
Denmark	-	
Greece	-	
Ireland	-	
Total	40	6893000 tonnes in 1997

Table 1.6: Number of float tanks in Member States in 1997

Capacity Range (tonnes/day)	<400	400 to 550	550 to 700	>700
% Capacity in each range in EU	3	31	38	28
% Capacity in each range world-wide	17	47	20	16

Table 1.7: Percentage of float capacity in specified ranges

1.4.2 Products and Markets

[tm18 CPIV, CPIV stats]

There are two types of flat glass produced in the EU, rolled glass and float glass. Although strictly there are other types of flat glass they are not considered to fall within this sector, either because they are covered within the Special Glass Sector or they do not meet the production criterion of 20 tonnes per day specified in Directive 96/61/EC. The majority of rolled glass is patterned or wired glass and accounts for around 5 % of the total sector output. Patterned glass is used for horticultural greenhouses, for decorative purposes and in applications where light is dispersed for example glass partitions and bathroom windows. Float glass makes up the other 95 % of output and is used principally in the building and automotive industries.

Prior to the invention of the float glass process in 1962 by Pilkington, there were two main types of unpatterned glass, sheet glass and plate glass. The most widely used method for producing sheet glass was the Pittsburgh process, which involves drawing glass vertically from the tank. A refractory guidance device is placed in the glass at the drawing location and cooled grippers receive the glass. The glass passes through an annealing shaft about 12 m long and is then cut to shape. Prior to float glass, plate glass was the highest quality glass available. Plate glass is produced from rolled glass or thick sheet glass by grinding and polishing the glass using rotating discs on large tables or conveyors. The twin process involves polishing the glass on both sides at once. The grinding and polishing process generates large amounts of solid waste for disposal.

The advantages of the float process (economy, product range, low waste and quality) are such that, since its introduction in 1962 sheet glass and plate glass have gradually been replaced and are no longer produced within the EU. Some rolled glass products are still polished for specialist applications, and diminishing levels of sheet glass and plate glass are still produced in some parts of the world. For the purposes of this document sheet glass and plate glass manufacture can be considered as essentially obsolete techniques.

The most important markets for float glass are the building and automotive industries. The largest of these markets is the building industry which accounts for 75 % to 85 % of output, and the majority of the remaining 15 % to 25 % is processed into glazings for the automotive industry. Some glass is simply cut to size and used directly, but the majority of flat glass production is processed into other products. For the automotive industry these are laminated windscreens, side and rear glazings, and sunroofs. The main processed product for the building industry is insulated glazing in the form of double or triple glazed units, often with one layer of coated glass. These glazed units account for 40 % to 50 % of the building market with the remainder being made up of silvered, coated, toughened, and laminated products which each make up 10 % to 15 %.

1.4.3 Commercial and Financial Considerations

[tm18 CPIV, CPIV stats]

On average total extra EU trade represents about 20 % of EU production with a slightly positive balance of trade. In the region of 10 % of production is exported to non-EU countries and a similar but generally lower figure is imported into the EU market, predominantly from Eastern Europe. This summary is true for both unprocessed and processed glass. Flat glass is expensive to transport and it is desirable to supply customers as close to the manufacturing site as possible. However, with only 40 float lines in the EU and intense competition between companies the distances the glass is transported can be substantial, but is ultimately limited by cost. The vast majority of glass manufactured and processed in the EU is sold in Western Europe.

Basic flat glass production is a mature, cyclical, and essentially commodity business. Between 1986 and 1997 the sector showed a substantial if at times erratic growth in output, and annual growth is expected to average 2 % to 3 % from 1998 to 2000. However, over capacity in the

sector has led to severe price pressure, with glass prices falling in real terms between 1992 and 1997. Prices can fluctuate between markets but have been particularly bad in Germany, the largest producer. Demand for flat glass is particularly sensitive to economic cycles because it is heavily dependant on the building and automotive industries. During periods of economic growth and high demand flat glass can be quite a prosperous business, during economic downturns or recession the opposite can be true.

Capacity utilisation has varied from 79 % to 92 % between 1987 and 1997, and between 1990 and 1997 did not rise much above 86 %. General opinion within the industry is that long-term profitability requires capacity utilisation in excess of 90 %. The predicted weak growth is not expected to erode the surplus capacity in the short-term, and the situation is worsened by over capacity in Eastern Europe. Flat glass manufacture and float glass in particular is a very capital-intensive activity requiring substantial financial resources, long-term investment and high technical skills. Hence, the limited number and large size of international manufacturers, although smaller producers do exist they are not common.

Flat glass furnaces operate continuously for 8 to 12 years, after which time they are rebuilt with either partial or total replacement of the structure depending on its condition. A major rebuild would cost 30 - 50 million euros and a new float line (typically 500 tonnes per day) would cost in the region of 100 million euros.

1.4.4 Main Environmental Issues

The main environmental issue associated with flat glass production is that it is a high temperature, energy intensive process. This results in the emission of products of combustion, and the high temperature oxidation of atmospheric nitrogen; i.e. sulphur dioxide, carbon dioxide, and oxides of nitrogen. Furnace emissions also contain dust (arising from the volatilisation and subsequent condensation of volatile batch materials) and traces of chlorides, fluorides and metals present as impurities in the raw materials. Technical solutions are possible for minimising all of these emissions, but each technique has associated financial and environmental implications

Waste glass generated on site is recycled to the furnace and the sector has made significant improvements in the recycling of processor and post consumer waste. Flat glass cullet is a useful raw material for other parts of the glass industry particularly the Container Glass Sector, and it is estimated that up to 95 % of waste glass from processing is recycled in some way. In general flat glass production should not present significant water pollution problems. Water is used mainly for cleaning and cooling and can be readily treated or reused.

Major environmental improvements have been made in flat glass production, emissions have been reduced substantially and in particular major reductions have been made in energy consumption. In 1995 average energy consumption per tonne of glass melted was more than 30 % lower than in 1975, and around 60 % lower than it would have been in 1960. Energy consumption levels for melting are approaching the theoretical minima.

In considering the overall environmental impact of the Flat Glass Sector it is useful to consider some of the environmental benefits associated with the products. For example, the total energy associated with glazing includes, both the energy consumed in its manufacture and its impact on the energy consumed by the building throughout the period it is installed (say thirty years). In the case of the most advanced low emissivity double glazing, heat losses are reduced to less than 20 % of single glazing, and to less than 40 % of normal double glazing. This can make a significant impact on the use of energy in buildings. Advanced products for the automotive market help to reduce fuel consumption by saving weight, and to reduce air conditioner load by the use of solar control glasses.

The building sector accounts for at least 40 % of EU energy consumption, half of which is used to heat homes. Around 60 % of EU homes are still single glazed. The energy saved by upgrading them with low emissivity double glazing would save 80 million tonnes of CO₂ annually. During the lifetime of the glass, the reduction in CO₂ emissions achieved by low emissivity coated glass will typically outweigh those created in applying the coating in the factory by 1000:1.

1.5 Continuous Filament Glass Fibre

1.5.1 Sector Overview

[tm18 CPIV, CPIV stats]

The production of continuous filament glass fibre is one of the smallest sectors of the Glass Industry in terms of tonnage, but the products have a relatively high value to mass ratio. This sector covers the manufacture of continuous glass filaments, which are converted into other products. It is distinct from the manufacture of glass fibre insulation, which is made by a different process and is generally termed glass wool. In 1997 the sector produced 475000 tonnes of fibre from the 26 furnaces operating at the 12 sites in the EU. In 1996 the sector directly employed 6750 people.

The sector showed good growth from 1986 until 1995 when output peaked at 488000 tonnes, it then fell marginally in 1996 and then again by 2.5 % in 1997. There are five producers in the EU, Ahlstrom, Bayer, Owens Corning, PPG Industries, and Vetrotex. The largest of these is Vetrotex, which is a subsidiary of Saint-Gobain and has plants in France, Germany, Italy, and Spain. The next biggest producers in the EU are Owens Corning with plants in Belgium, France, the UK and Norway, and PPG with plants in the Netherlands and the UK.

On a global basis the USA is the biggest producer with over 40 % of world-wide output, Europe and Asia each account for 20 % to 25 %. The World's largest producer is Owens Corning followed by Vetrotex and PPG. The geographical distribution of the sector and the range of furnace sizes are shown in Table 1.8 and Table 1.9.

Member State	Number of Installations	Number of Furnaces (in operation in 1997)	% Distribution of EU Production
Northern Europe	5	10	43
Germany	1	1	
Finland	1	3	
Netherlands	1	2	
United Kingdom	2	4	
Central and Southern Europe	7	16	57
France	2	4	
Belgium	2	7	
Italy	2	3	
Spain	1	2	
Total	12	26	475000 tonnes in 1997

Table 1.8: Number of continuous filament installations and furnaces in Member States

Production Range (Tonnes/day)	<27	27 to 55	55 to 82	>82
Number of furnaces in each range (1997)	6	7	9	4

Table 1.9: Number of continuous filament furnaces in specified production ranges

1.5.2 Products and Markets

[tm18 CPIV, CPIV stats]

Continuous filament glass fibre is produced and supplied in a variety of forms: roving, mat, chopped strand, textile (yarn), tissue, and milled fibre. The main end use (approximately 75 %) is the reinforcement of composite materials, mainly thermosetting resins but also thermoplastics. Composites are used in a wide variety of industrial applications within the EU and new applications are being developed continuously.

The main markets for composite materials are the building industry, the automotive and transport sectors, and the electrical and electronics industry. Other uses are in pipes and tanks, agricultural equipment, industrial machinery, and in the sports, leisure and marine sectors. The second most important end use is the manufacture of textiles that are used in similar markets to composites though clearly for different applications. The main market for glass textiles is the electronics industry where they are used in the production of printed circuit boards.

The sector has a wide and increasingly diverse customer base with substantial international trade. This means it is not as vulnerable as some other sectors of the Glass Industry, to economic problems in specific markets or geographical regions. However, around 50 % of the sector output goes into the building and automotive/transport industries.

1.5.3 Commercial and Financial Considerations

[tm18 CPIV, CPIV stats]

The Continuous Filament Glass Fibre Sector shows good growth over the longer term. Its products have relatively high value, are readily transported and there is significant international trade. Although demand for the products is increasing there is very strong competition which places pressure on prices, and limits profitability. Capacity utilisation averaged around 95 % between 1994 and 1997, but averaged only 75 % between 1990 and 1993.

In 1996 exports and imports were 27 % and 30 % of EU output respectively, representing a slightly negative balance of trade. Certain earlier years showed higher import penetration, with the majority of imports coming from Eastern Europe and North America. Glass filament manufacture is a very capital-intensive activity requiring substantial financial resources, long-term investment and high technical skills. Hence, the limited number and large size of international manufacturers, and although smaller producers do exist they are not common.

Furnaces in this sector operate continuously for 8 to 12 years, after which time they are rebuilt with either partial or total replacement of the structure depending on its condition. The rebuild of a medium sized furnace (around 75 tonnes per day) will cost in the region of 8 million euros. A new plant of comparable size on a green field site would cost in the region of 75 to 90 million euros including infrastructure and services.

1.5.4 Main Environmental Issues

The production of continuous filament glass fibre is a relatively low waste activity compared to many industrial activities. However, the production of fine fibres can cause breakages, which in turn leads to a higher level of waste per tonne of product than the Glass Industry average. At the time of writing little of this waste is recycled within the process, but some alternative disposal options to landfill have been developed.

In general glass filament production should not present major water pollution problems. Water is used mainly for cleaning and cooling, but there are potential emissions associated with the use of coating materials. Emissions can arise from coating preparation and handling, throw off from winding, and secondary processing operations. Emissions can be minimised by appropriate

techniques for handling and spillage containment, and residual levels of pollution can be treated with standard techniques.

The main environmental issue associated with glass filament production is that it is a high temperature, energy intensive process. This results in the emission of products of combustion, and the oxidation of atmospheric nitrogen; i.e. sulphur dioxide, carbon dioxide, and oxides of nitrogen. Furnace emissions also contain dust (arising from the volatilisation and subsequent condensation of volatile batch materials) and traces of chlorides, and metals present as impurities in the raw materials.

Due to the nature of the fiberising process varying levels of fluorides are sometimes used in the batch, which can give rise to emissions of hydrogen fluoride. This is a complex issue that is discussed in detail in Chapter 4. Technical solutions are possible for minimising all of these emissions, but each technique has associated financial and environmental implications. Major environmental improvements have been made in glass filament production, emissions have been reduced substantially and reductions have been made in energy consumption.

In considering the overall environmental impact of the sector it is useful to consider some of the environmental benefits associated with composite materials, the main end use for glass filaments. In addition to their numerous technical benefits, composite materials generally use much less energy to produce than the materials they replace, particularly steel and aluminium. They provide a weight reduction in transport applications, (which contributes to fuel savings) and they have a longer service life due to their high resistance to corrosion.

1.6 Domestic Glass

1.6.1 Sector Overview

[tm27 Domestic]

The Domestic Glass Sector is one of the smaller sectors of the Glass Industry with approximately 4 % of total output. This sector covers the production of glass tableware, cookware and decorative items, which include drinking glasses, cups, bowls, plates, cookware, vases and ornaments. The manufacture of domestic glass is very widely distributed across the EU with about 140 installations. Approximately 40 of these meet the production criterion of 20 tonnes per day required by Directive 96/61/EC, and these account for the majority of EU production. Total production was slightly over 1 million tonnes in 1997, and around 90000 people are directly employed within the sector. Growth in EU production between 1986 and 1997 was quite low with output falling during certain years.

The biggest domestic glass manufacturers in Europe are Bormioli-Rocco e Figlio (Italy), Calp (Italy), Schott (Germany), Durobor-Ravenhead (Belgium and UK), Edinburgh Crystal (UK), Nachtmann (Germany), Verrerie Cristallerie d'Arques Vca (France), and Waterford Crystal (Ireland). As mentioned above there are many smaller companies, which often specialise in higher value added products (lead crystal, etc.).

The geographical distribution of the sector and the range of installation sizes are shown in Table 1.10 and Table 1.11.

Member State	Number of Installations	% of EU Production
France	15	44.5
Italy	14	17.5
United Kingdom	16	10.7
Germany	35	9.8
Portugal	17	2.4
Greece	1	1.3
Austria	6	1.3
Spain	not known	
Belgium	2	11.8
Denmark	1	
Ireland	>4	
Netherlands	1	
Sweden	15	
Finland	>4	0.7
Total	>131	1045694 tonnes in 1997

Table 1.10: Number and distribution of domestic glass installations in Member States in 1997

Production Range (Tonnes/day)	<20	20 to 50	50 to 100	100 to 200	>200
Number of Installations In Each Range	>90	20	14	5	2

Table 1.11: Number of domestic glass installations in specified production ranges (estimated)

1.6.2 Products and Markets

[tm27 Domestic]

The Domestic Glass Sector is very diverse in its products and the processes utilised. Products range from bulk consumer goods to high value lead crystal decanters and goblets. Product forming methods include manual methods (blowpipes and cutting) and completely automated machines. The basic products are outlined in the section above with drinking glasses accounting for over 50 % of output.

The majority of products are made from soda-lime glass, which can be clear or coloured. Lead crystal and crystal glass formulations are used to produce glasses, decanters and decorative items with high brilliance and density. Opal glass is used to produce cups, plates, serving dishes, and ovenware. Borosilicate domestic glass is perhaps better known by some of the common trademarks namely Arcuisine (Vca.), Duran (Schott) and Pyrex (Newell), and the main products are cookware and heat resistant tableware. In some cases, products made of these different glass formulations are tempered in order to increase their resistance to mechanical and thermal shocks. Glass ceramic products are used for high temperature applications, principally cookware, and can withstand high levels of thermal shock.

The end user customer base is clearly extremely broad but immediate sales are generally to large retailers and wholesalers, although some producers do also sell directly to the public. Different parts of the market are affected by a wide range of factors. Customer tastes and social trends are very important. For example, the trend towards more casual dining particularly in Europe has resulted in a higher demand for cheaper medium quality items, and the demand for coloured glass varies with time and region. It is important for the manufacturer to keep ahead of these changes and to respond accordingly; therefore flexibility is an important part of the manufacturing operation.

As a consequence domestic glass formulations must be tailored to specific product and processing requirements. Even basic soda-lime formulations can show significant differences from other soda-lime formulations such as container or flat glass.

Increased mechanisation in lead crystal production has led to the production of cheaper items with quality close to that of hand-made items. However, this type of high value product is particularly sensitive to customer perception and the crucial hand-made label still commands a higher price. This means it is unlikely that hand-made items will be restricted (in the medium term at least) to individually commissioned products.

1.6.3 Commercial and Financial Considerations

[tm27 Domestic]

In common with most sectors of the Glass Industry the Domestic Glass Sector is an established mature business that experiences modest long-term growth in demand. Domestic glass products are readily transported and there is substantial international trade both between Member States and extra EU. The main threat to this sector is competition in the domestic markets from increased imports, and greater competition in the important export markets. This increased competition has led to severe pressure on prices and therefore restricted profitability. In 1996 exports and imports represented 34 % and 17 % respectively of EU output, in value terms. Although this represents a good overall balance of trade the majority of imports were from Turkey and Eastern Europe, which greatly outweighed EU exports into these regions.

As in other sectors of the industry large scale glass making is very capital intensive requiring substantial long-term investment. This is reflected in the small proportion of domestic glass manufacturers producing more than 20 tonnes per day. Although these few companies produce the majority of the EU output, the Domestic Glass Sector is unusual in that there are a large number of smaller, less capital intensive installations often specialising in high value hand-made items or niche markets. These small amounts of glass can be produced in pot furnaces and day tanks, which are relatively cheap to build and operate, but could never compete economically in high volume markets.

The Domestic Glass Sector utilises a wide range of furnace sizes and types and the furnace repair interval will vary accordingly. Large fossil fuel furnaces will run for 5 to 8 years before a major repair is needed, for electrically heated furnaces it will be 3 to 6 years, and for pot furnaces 10 to 20 years, with the pots being replaced every 3 to 12 months. For a typical electrically heated 30 tonnes per day lead crystal furnace, a major repair (excluding forming machines) would be in the region of 2 million euros, and a new furnace 8 million euros. For a typical fossil fuel fired 130 tonnes per day soda-lime furnace a major repair (excluding forming machines) would be in the region of 4 million euros, and a new furnace 12 million euros.

1.6.4 Main Environmental Issues

In general, the raw materials for domestic glass production are relatively harmless natural or man made substances. The exception to this is the production of lead crystal or crystal glass, which involve the use of lead oxide and sometimes antimony or arsenic trioxide, which require careful handling and storage to prevent emissions. The sector produces relatively low levels of waste and most internally produced cullet is recycled, where this is not possible the cullet is usually recovered or recycled by the Container Glass Sector (except lead crystal and crystal glass), where quality restrictions allow. Quality considerations generally prevent the use of external cullet in the process.

Most types of domestic glass production should not present major water pollution problems. Water is used widely for cleaning and cooling and can be readily recycled or treated. However, the use of more toxic compounds in lead crystal or crystal glass production provides a higher

potential for pollution. Emissions can be minimised and residual levels of pollution can be treated with standard techniques.

The main environmental issue associated with domestic glass production is that it is a high temperature, energy intensive process. For fossil fuel furnaces this results in the emission of products of combustion, and high temperature oxidation of atmospheric nitrogen; i.e. sulphur dioxide, carbon dioxide, and oxides of nitrogen. Furnace emissions also contain dust and traces of chlorides, fluorides and metals present in the raw materials. Opaque glasses require the use of raw materials containing fluoride, which can give rise to emissions of hydrogen fluoride. Where acid polishing is carried out there are associated air, water and waste issues to consider.

Technical solutions are possible for minimising all of these emissions, but each technique has associated financial and environmental implications. In recent years environmental improvements have been made, with emissions and energy consumption being reduced significantly.

1.7 Special Glass

1.7.1 Sector Overview

[tm25 Special, CPIV stats]

The Special Glass Sector produces around 6 % of the Glass Industry output, and in terms of tonnage is the fourth largest sector. Special glass products have a relatively high value. The value of gross production in 1996 was approaching 3 billion euros, around half of the value of the largest sector Container Glass. In 1997 including water glass production the sector produced 1.46 million tonnes of products and directly employed in the region of 35000 people.

This is an extremely broad sector covering a wide range of products, but the main products are: cathode ray tube (CRT) glass for televisions and monitors; lighting glass (tubes and bulbs); optical glass; laboratory and technical glassware; borosilicate and ceramic glasses (cookware and high temperature domestic applications); and glass for the electronics industry (e.g. LCD panels). There is a degree of overlap between the Special Glass Sector and other sectors of the Glass Industry, particularly the Domestic Glass Sector for some borosilicate and glass ceramic products. This is not considered to be a significant issue since these products only represent a minor part of the sector output

Most smaller producers of the low volume specialist products such as optical glass and glass for the electronics industry fall below the 20 tonnes per day production level specified in Directive 96/61/EC. Of the plants producing CRT glass, lighting glass, borosilicate glass, and glass ceramics most will be above this threshold. There are some integrated installations that produce a wide range of low and higher volume products, and in these cases total production may be above this level.

Although usually considered to be part of the chemical industry, water glass (sodium silicate) can be produced by melting sand and soda ash. This activity fits the definitions in Sections 3.3 and 3.4 of Annex 1 of Directive 96/61/EC. For the purposes of this document this activity has been considered as falling within the Special Glass Sector, although where considered appropriate, distinctions have been made.

1.7.2 Products and Markets

[tm25 Special]

Table 1.12 shows the relative outputs of each part of the sector. CRT glass, and glass tubes plus bulbs account for over 80 % of capacity.

Glass Type	1997 Production (tonnes)	Capacity (tonnes per year)	% Sector Capacity (exc. water Glass)
CRT (panel and funnel)	525000	880000	61.2
Glass Tubes and Bulbs	240000	290000	20.2
Borosilicate Glass (exc. tubes)	60000	90000	6.3
Other Lighting Glass (exc. quartz, tubes and bulbs)	30000	60000	4.2
Glass Ceramics	25000	65000	4.5
Quartz Glass	5000	15000	1.0
Optical Glass	6000	12000	0.8
Other Glass Types	10000	25000	1.8
Total Special Glass	901000	1437000	100
Water Glass	560000	600000	(42 % of Special Glass)
Combined Total	1461000	2037000	142

Table 1.12: Special Glass Sector breakdown

In the EU, CRT glass is produced only in Germany, the UK and France. Production is controlled by five companies: Philips (plants in Germany and UK); Schott (Germany); Samsung-Corning (Germany); Nippon Electrical Glass (NEG, UK), and Thomson Videoglass (France). There are 13 furnaces operating in the EU ranging from 70 to 360 tonnes/day, with an average capacity of 185 tonnes/day. The majority of furnaces are cross-fired regenerative furnaces, but some oxy-gas fired furnaces are in operation. These products are traded internationally and the markets are very regionalised. For example, in Europe there is a high growth in the number of personal computers and so a high demand for monitors; but in general growth in television production is much slower except in some developing countries.

The production of tubes for pharmaceutical applications and lighting glass, and bulbs for lighting glass is more widely distributed in the EU, but production is highest in Germany, the Netherlands and the UK. There are 10 companies producing these types of products, Schott, Osram, and Techn. Glaswerke Ilmenau (Germany); Philips (Netherlands); Demaglass (UK); Kimble Italiana and Bormioli Rocco E Figlio (Italy); Wheaton Lawson Mardon (France); Averti (Spain); and Glass Componenten Lommel (Belgium).

Furnaces range from 20 - 200 tonnes/day for soda-lime glasses and 20 - 50 tonnes/day for borosilicate glasses. Soda-lime furnaces are predominantly cross-fired regenerative furnaces and borosilicate furnaces are largely electrically heated furnaces with some recuperative furnaces. The production of glass for use in the lighting industry is dominated by the manufacturers of the complete lighting products. Other lighting glass consists principally of lamp glass for technical and automotive applications and represents approximately 4 % of special glass production.

Borosilicate glass production (excluding tubes and lighting) is concentrated in Germany (Schott, Desag, Jenaer and Techn. Glaswerke Ilmenau), in France (Verrerie Cristallerie D'Arques) and in the UK (Corning). Melting capacity ranges from 20 - 50 tonnes/day and furnaces are predominantly electrically heated with some recuperative furnaces. Products include domestic glassware, laboratory products, fireglass for windows and doors, and small heat resistant glass panes for oven doors etc. In this sector, ceramic glass products are made principally by Schott Glas in Germany, and Keraglass and Eurokera in France. The main products are temperature resistant cookware and tableware (e.g. Jena 2000 and Pyroflam) and ceramic flat glass for cooker tops.

Water glass is produced in Germany (Henkel KG,APS-Akzo, and Woellner Silicat), the UK (ICI/Crossfield Chemicals), the Netherlands (Akzo-PQ Silica Vof), France (Rhone-Poulenc - Rhodia), Finland (Zeofinn Oy) and Spain (FMC foret). The market leader is Henkel KG. Furnaces range from <40 - 350 t/day and are mainly cross-fired regenerative or recuperative furnaces, although one manufacturer uses rotary furnaces. Water glass is also produced using

the hydrothermal process, which does not meet the definitions in Sections 3.3 and 3.4 of Annex 1 of Directive 96/61/EC, and is not covered in this document. Approximately 20 to 30 % of water glass produced in the EU is made by the hydrothermal process.

Table 1.13 shows the breakdown of production by Member States, but this data is only available for CRT and glass tubes/bulbs, which represented 85 % of 1997 production.

Member State	CRT Glass		Glass Tubes/Bulbs	
	No. Installations	% EU Production	No. Installations	% EU Production
Germany	3	69	3	40
UK	2	21	1	15
France	1	10	1	See Others
Netherlands/Belgium	-	-	2	32
Others	-	-	3	13

Table 1.13: Distribution of special glass production in EU

1.7.3 Commercial and Financial Considerations

[tm25 Special, CPIV stats]

The sub-sectors of special glass range from mature established businesses to those serving highly developing markets, with some companies operating in a wide range of markets. Growth, profits and outlook can vary widely for each part of the sector. For example, in 1996 CRT glass production for computer monitors showed very high growth in Europe, while the demand for optical glass in Europe was stagnant due to competition from alternative materials. Overall sector growth between 1986 and 1996 was steady with the value of production rising from 1.75 to 2.76 billion euros.

In 1996 EU exports of special glass (excluding water glass) were 68500 tonnes and imports were 87500 tonnes, giving a significant trade deficit. The highest level of imports (over 40 %) were from Japan with lower levels from Eastern Europe (22 %) and the USA (12 %).

Large-scale glass making is very capital intensive requiring substantial long-term investment and technical skill. This is reflected in the limited number of special glass manufacturers in the EU producing more than 20 tonnes/day. Although these few companies produce the majority of the EU output, the Special Glass Sector has a large number of smaller, less capital intensive installations often specialising in high value, high quality and technically demanding products.

These small amounts of glass are produced in small furnaces, often electrically heated, and operated for shorter campaigns. Despite the scale these operations usually also require substantial long-term investment in high quality equipment, skilled staff, and extensive research and development work.

The Special Glass Sector utilises a wide range of furnaces and the furnace repair interval will vary accordingly. Large fossil fuel furnaces will run for 6 to 7 years for special glass and 8 to 12 years for water glass, before a major repair is needed. For electrically heated furnaces the rebuild interval is 3 to 4 years. Due to the wide variation within the sector typical costs are difficult to predict, but the following costs have been supplied by the sector, and are for example production units.

Production Unit	Capacity	Output	Total Investment
Borosilicate cookware, laboratory glass, etc	1 furnace 35 - 40 t/day	Typically 26 million pieces per year.	25 million euros
CRT glass, panels and funnels. Forming lines: 3 for panels, 2 for funnels.	1 Panel tank 200 - 300 t/day 1 Funnel tank 140 - 200 t/day	6 - 10 million sets per year.	300 - 400 million euros
Glass ceramic oven tops.	2 furnaces x 60 t/day.	800000 m ² , 3 million pieces.	175 million euros
Glass tubes, melting and drawing.	2 furnaces x 30 - 35 t/day	16000 tonnes – net.	30 million euros

Table 1.14: Investment costs for special glass installations

1.7.4 Main Environmental Issues

The broad range and specialised nature of the products of the Special Glass Sector leads to the use of a wider range of raw materials than encountered in most other sectors. For example, CRT funnels have a lead oxide content of over 20 %, which is comparable to lead crystal. Certain compositions can require specialised refining agents such as oxides of arsenic and antimony, and some optical glass can contain up to 35 % fluoride and 10 % arsenic oxide

The sector produces relatively low levels of waste and most internally produced cullet is recycled. Quality considerations have restricted the use of external and post-consumer cullet in the process. Initiatives are being developed to standardise CRT glass formulations to make it easier to recycle market place waste in the future. Water is used widely for cleaning and cooling and can be readily recycled or treated. Special glass production can give rise to water pollution issues due to polishing and grinding operations, particularly with lead containing glasses. Emissions can be minimised by appropriate techniques for handling and spillage containment, and residual levels of pollution can be treated with standard techniques.

The main environmental issue associated with all fossil fuel fired glass furnaces is that it is a high temperature, energy intensive process. This results in the emission of products of combustion, and the high temperature oxidation of atmospheric nitrogen; i.e. sulphur dioxide, carbon dioxide, and oxides of nitrogen. Furnace emissions also contain dust and traces of chlorides, fluorides and metals present in the raw materials. Where glass formulations require the use of raw materials containing fluoride there will be emissions of hydrogen fluoride. Where toxic batch materials are used there is the potential for emissions from handling, storage and from the furnace, and appropriate measures should be taken. Technical solutions are possible for minimising all of these emissions, but each technique has associated financial and environmental implications. In recent years environmental improvements have been made, with emissions and energy consumption being reduced significantly by both primary and secondary measures.

1.8 Mineral Wool

1.8.1 Sector Overview

[tm26 EURIMA, EURIMA stats]

The Mineral Wool Sector represents approximately 6 to 7 % of the total output of the Glass Industry. The sector covers the production of glass wool and stone wool insulating materials, which are essential randomly interlaced masses of fibre with varying lengths and bound by a resin based binder. Although the term glass fibre is sometimes used to describe glass wool, insulation should not be confused with the products of the Continuous Filament Glass Fibre Sector, which are made by different processes and sold into different markets.

In 1996 the sector directly employed over 10000 people at 48 installations, and produced 2 million tonnes of products with a value of around 2 billion euros. Between 1986 and 1996 output grew only slowly from 1.4 million tonnes to 2 million tonnes. The EU is dominated by five main producers: Saint-Gobain (20 installations in 12 Member States); Rockwool International (10 installations in 5 Member States); Partek Insulation (6 installations in 2 Member States); Pflleiderer (3 installations in 2 Member States); and Owens Corning (4 installations in 2 Member States). Most of these companies have operations in non-EU countries or in other sectors. There are also several independent manufacturers in the EU. The geographical distribution of the sector and the range of installation sizes are shown in Table 1.15 and Table 1.16.

Member State	Number of Installations	% 1996 Production
Austria	2	3.5
Belgium	2	4.5
Denmark	4	9.0
Finland	5	7.5
France	7	16.0
Germany	9	28.0
Greece	1	Approx. 0.5
Portugal	1	
Italy	2	2.0
Netherlands	2	9.5
Spain	2	3.0
Sweden	5	7.0
United Kingdom and Ireland	6	9.5
Total	48	2000000 tonnes

Table 1.15: Number of mineral wool installations in Member States

Table 1.16 shows the number of installations falling in specified production ranges in 1996. Several of the installations operate more than one furnace. These figures represent actual output in 1996 and it is estimated that most installations were operating between 10 % and 30 % below full capacity. The average production per installation in 1996 was in the region of 41000 tonnes. It should be noted that these figures are for tonnage and for a given application, stone wool products are significantly more dense than glass wool products, particularly for the lower density range.

Production Range (Tonnes/day)	<27	27 to 82	82 to 164	164 to 274	>274
Number of Installations In Each Range	5	16	16	9	2

Table 1.16: Number of mineral wool installations in specified production ranges

1.8.2 Products and Markets

[tm26 EURIMA]

Mineral wool was first produced in 1864 by applying a jet of steam on molten slag escaping from a blast furnace. Commercial patents and production began in about 1870. The market started to grow significantly during the 2nd World War when there was a demand for cheap prefabricated housing to replace damaged homes. In 1943, in the USA alone, there was over 500000 tonnes of mineral wool produced. In most developed countries thermal insulation has become universally accepted and incorporated into almost every form of building. In addition to its thermal properties, mineral wool insulation has good acoustic and fire protection properties.

The main products are low density insulation rolls, medium and high density slabs, loose wool for blowing, and pipe insulation. The main markets for these products are: building thermal insulation (walls, roofs, floors etc.); heating and ventilation applications; industrial (technical) installations (process pipework, vessels, chemical plant, offshore and marine); fire protection; acoustics (sound absorption and insulation); inert growing media and soil conditioning. Glass wool and stone wool are interchangeable in many applications, but some applications demand one product in preference to another. Stone wool is usually favoured for high temperature or fire protection applications, and glass wool is frequently used where lightweight is critical.

The most important market for mineral wool is the building industry, which takes up to 70 % of output and is very dependant on the prevailing economic climate. Although there are some exceptions in the EU, in the 1990s the building industry has shown very slow growth with significant periodic and local downturns. Other key factors which influence the market are: weather, or climatic conditions; fuel costs including taxation on fuel; legislation, such as building codes; and pressures for global environmental improvement (global warming and pollution).

In spite of the technical expertise required to manufacture fibre insulation, it is essentially a commodity product. There is little opportunity for differentiation between products competing in the same markets, and competition is based mainly on price. This has led to substantial cost reductions and downsizing within the sector. Price competition is weaker in the "technical" product market, which requires higher value added products such as rigid pipe sections for high temperature and fire resistant applications.

Due to the moderate temperature range required for the building industry a wide variety of alternative insulation materials are available, the most common being: plastic foams (the main competitor); cellulose fibre (shredded newspaper); vermiculite and perlite; and foamed glass. None of these materials can match mineral wool in all areas of performance (low price, thermal performance, acoustic performance, flammability, and ease of installation), but they all have their place in the market.

1.8.3 Commercial and Financial Considerations

[tm26 EURIMA, tm8 S2 3.03]

The Mineral Wool Sector is a very mature business that shows slow growth but is increasingly competitive. There is considerable over capacity in the market despite the closure of several operations, and this combined with slow growth has led to severe pressure on price. The selling price of a tonne of product in 1997 was the same as in 1987, and therefore significantly lower in real terms. Mineral wool products have a low value to volume ratio, which limits the distance over which they can be economically transported. Despite this there is significant trade within the EU but extra EU trade represents less than 5 % of output. Clearly extra EU trade is greatest where Member States border non-EU countries. Exports are greatest from Sweden and Finland to Poland, Russia and the Baltic States, and imports greatest into Germany, Austria, and Italy from Hungary, Slovenia and Croatia.

Mineral wool production is a very capital-intensive activity requiring substantial financial resources, long-term investment and high technical skills. This creates a substantial barrier against entry into the market and most producers are large companies with a long history in the business. There is a trend within the sector for acquisition of independent manufacturers by the larger groups as the sector consolidates.

The Mineral Wool Sector uses mainly recuperative and electrical furnaces, and to a lesser extent oxy-gas fired furnaces for glass wool production; and predominately hot blast cupolas for stone wool production. The furnace repair interval will vary accordingly. Recuperative furnaces will run for 8 to 12 years before a major repair is needed, and electrically heated furnaces for 3 to 6 years. The lifetimes of oxy-gas fired furnaces have not been fully established, but are expected

to be comparable to recuperative furnaces. Cupola furnaces do not operate continuously for such long periods, usually operating for 1 to 3 weeks between shutdowns. In such a mature sector new plants are very rare, but a 20000 tonnes per year glass wool plant was built in 1998, and represented an investment of 45 million euros. A stone wool plant producing a similar volume (i.e. approximately 40000 tonnes per year) would represent a similar investment. The costs of glass furnace rebuilds are comparable with those quoted for other sectors.

1.8.4 Main Environmental Issues

In common with all glass making activities mineral wool production is a high temperature, energy intensive process. For fossil fuelled furnaces this results in the emission of products of combustion and the high temperature oxidation of atmospheric nitrogen; i.e. sulphur dioxide, carbon dioxide, and oxides of nitrogen. Furnace emissions also contain dust, and traces of chlorides, fluorides and metals if present as impurities in the raw materials.

In this sector there are two further important emission sources, the forming area (where the binder is applied to the fibres) and the curing oven (where the product is dried and the binder cured). Forming area emissions are likely to contain significant levels of particulate matter, phenol, formaldehyde, ammonia and water. Curing oven emissions will contain volatile binder components, binder breakdown products, and combustion products from the oven burners. Technical solutions are possible for minimising all of these emissions, but each technique has associated financial and environmental implications. Major environmental improvements have been made in mineral wool production, emissions have been reduced substantially and major reductions have been made in energy consumption.

In general, the production of mineral wool insulation should not present major water pollution problems. The basic processes are net users of water, mainly due to evaporation from the forming area and curing oven. Process water systems are usually a closed loop with clean water top up, but precautions are necessary to prevent contamination of clean water systems. Emissions can be minimised by appropriate techniques for handling and spillage containment, and residual levels of pollution can be treated with standard techniques.

In considering the overall environmental impact of the sector it is useful to consider some of the environmental benefits associated with the products. The production of mineral wool requires relatively little energy, compared to the potential saving during the use of the products. In less than one month following installation, mineral wool products can save the entire quantity of energy used for their manufacture. After 50 years of use, which is common for buildings, the amount of energy saved can be 1000 times greater than that consumed during production. If compared to typical CO₂ emissions from fossil fuel derived power generation, after 50 year's use, a product can also save 1000 times the quantity of CO₂ emitted during its production. At higher temperatures, for example, in pipes, boilers and process plant, the savings can be significantly higher, and the environmental return on the investment can be days rather than weeks.

1.9 Ceramic Fibre

1.9.1 Sector Overview

[tm40 ECFIA]

There are currently six plants in the EU, employing approximately 800 people. Estimated production in 1997 was approximately 42000 tonnes (0.15 % of the Glass Industry total), arising predominantly from the UK and France. There are only three companies operating in the EU Thermal Ceramics (3 installations), Carborundum - part of the Saint-Gobain Group - (2 installations), and Rath (1 installation). In this document only the production of ceramic fibres

by melting minerals substances is discussed. Some fibres (e.g. crystalline alumina fibres) can be produced by chemical means, but these activities do not fall within the definitions given in Sections 3.3 or 3.4 of Annex 1 of Directive 96/61/EC

Member State	Number of Installations
France	2
Germany	1
Italy	1
United Kingdom	2
Total	6

Table 1.17: Distribution of ceramic fibre installations in Member States

1.9.2 Products and Markets

[tm40 ECFIA]

Ceramic fibre is a vitreous, siliceous, fibrous material used mainly as a high temperature insulation material (1000 - 1460°C). Its main uses and the market splits are: furnace and heater linings (50 %); appliances (20 %); metals processing (10 %); general industrial insulation (10 %); automotive uses (5 %); and fire protection (5 %). The main product forms are bulk fibre, blanket (felt or modules), board, paper, vacuum formed articles, and textiles. All of these forms originate from bulk fibre.

Many of the products are sold into traditional heavy industries such as petroleum, petrochemical, iron and steel, ceramics, glass, non-ferrous metals, cement etc. Ceramic fibre products are relatively high value and can be economically transported to most markets in the world. The products are often converted into or incorporated in other products such as automotive catalytic converters, gaskets, piston linings, heat shields and brake linings. Around 30 - 40 % of primary products are used as components in secondary applications.

1.9.3 Commercial Considerations

[tm40 ECFIA]

The fact that there are currently only three companies producing ceramic fibre in the EU is a result of a consolidation within the sector. Most significant was the purchase of Carborundum by Saint-Gobain and its merger with the existing holding Kerlane. The main factors affecting the sector are production costs (energy, raw materials and labour), and the activity in the customer industries. There are significant exports from the EU and imports are relatively low.

The estimated cost of a new factory of typical capacity is 3 to 8 million euros. Furnaces are electrically heated and have a lifetime of 3 to 5 years, furnace costs are estimated at 1 to 2 million euros.

In the refractory lining market ceramic fibres compete directly with other refractory materials such as bricks. In other applications the main competition is from mineral wool, and a range of specialist silica and alumina fibres. Stone and glass wool products are substantially cheaper than those made from ceramic fibre, but less durable, whereas those produced from specialist fibres are considerably more expensive. Owing to the unique thermal and physical properties of ceramic fibres the immediate competitive threat from substitutes is not considered to be substantial.

1.9.4 Main Environmental Issues

Unlike other sectors of the Glass Industry the Ceramic Fibre Sector uses exclusively electrically heated furnaces and consequently direct emissions from the furnace are very low and readily controlled. The main environmental issue is the emission into air of particulate matter, which may contain fibre. Under the definitions of the Dangerous Substances Directive 67/548/EEC ceramic fibre has recently been classified as a category 2 carcinogen, therefore fibre emissions in the work place and to the environment must be carefully controlled. Generally, waste levels are relatively low and low levels of aqueous emissions containing suspended solids and some organic compounds may arise from secondary processing operations. Emissions levels of ceramic fibre are very low from the installations in the EU, which are all fitted with dust abatement equipment where necessary.

1.10 Frits

1.10.1 Sector Overview

[tm46 ANFFECC]

The Frits Sector is more usually associated with the Ceramic Industry, but falls within the scope of this document because it is covered under the definition in Section 3.4 of Annex 1 of Directive 96/61/EC. Production in the EU is estimated at 1 - 1.25 million tonnes per year making Frits one of the smallest sectors of the Glass Industry. The number of employees is difficult to establish because for many companies frits production is only a small part of the business. The sector covers the production of frits for glazes and enamels, which are used for decorating ceramic materials and metals.

It is estimated that there are around 60 installations in the EU mostly in Spain and Italy. Spain is the largest producer in the world accounting for more than half of the total EU output. Italy has more installations but production volumes are smaller. The three main producers in the EU are Cerdec, Ferro and Cookson Matthey. These three companies own a range of operating companies and there are a number of independent companies for example, Colorobbia in Spain.

Member State	Number of Installations
Spain	17
Italy	32 (estimated)
Portugal	1
Belgium	1
Germany	4
Netherlands	1
United Kingdom	4
Total	60 (estimated)

Table 1.18: Distribution of frit installations in Member Stated (estimated)

Production Range (Tonnes/day)	<80	80 to 150	>150
Number of Installations In Each Range	>14	>5	>5

Table 1.19: Number of frit installations in specified production ranges (estimates)

Note: no information is available concerning the size of installations in Italy.

1.10.2 Products and Markets

[tm46 ANFFECC, tm8 S23.03]

The principal application of glass frit is in the manufacture of ceramic glazes and pigments. These glazes, when applied to the surface of ceramic bodies such as tiles and tableware, and then fired, provide an impervious, protective and decorative coating. Frits may be sold in the pure form to the ceramic ware manufacturers who create their own glazes, or the frit manufacturers may produce and supply the glazes themselves. Across the sector typically over half the frit manufactured is used internally in the production of glazes.

Enamel frits are used in the manufacture of enamel glazes, the principal application of which is the coating of metal surfaces to provide a chemically and physically resistant covering. The principal market for enamels is in the manufacture of cooking equipment, and as a coating for hobs, ovens, grills etc. Other applications for enamels include storage tanks, silos, baths, electronic components and signs.

Frits are relatively high value, low volume products and transport costs generally comprise a relatively small proportion of the total product price. World-wide consolidation in the industry is resulting in relatively fewer but larger plants serving wider international markets.

1.10.3 Commercial Considerations

[tm46 ANFFECC, tm8 S23.03]

Production volumes have shown reasonable growth overall, with Spain showing an increase in sales in 1997 of over 15 %, a significant proportion of this is thought to have been in the EU.

There is fierce competition between the producers in the EU both within, and between Member States. Most of the frits produced in the EU are used internally but exports are an important market for EU producers and are generally significantly higher than imports from non EU countries. The performance of the Frits Sector closely follows the success of the Ceramic Sector as a whole, and if the latter declines, then the Frits Sector that serves it, will also suffer. Imports into the EU of products using frits is potentially a greater threat than imports of frits themselves

The production of glass frit is a well established industry and has served the ceramics sector for many years. Competition from raw glazes, which do not contain frit, is limited by their relatively poor leaching properties. Plastic coatings have been developed for tableware, but these suffer from the same leachability problems as raw glazes, particularly in the presence of organic acids, which are commonly found in food. It is not known to what extent plastic coatings may influence the market for fritted tile glazes. Threats to enamel glazes from substitutes are small. Alternatives, such as paints, could potentially be used in similar applications, but they cannot match the properties of enamels, in terms of heat, chemical and scratch resistance, and "cleanability".

1.10.4 Main Environmental Issues

The main environmental problem associated with frit production is that it is a high temperature, energy intensive process. This results in the emission of products of combustion and the high temperature oxidation of atmospheric nitrogen; i.e. sulphur dioxide, carbon dioxide, and oxides of nitrogen. Furnace emissions also contain dust (arising from the volatilisation and subsequent condensation of volatile batch materials) and traces of chlorides, fluorides and metals present in the raw materials. Frits produced for enamel glazes may result in substantial fluoride emissions due to the use of fluoride containing materials in the batch. Technical solutions are possible for minimising all of these emissions, but each technique has associated financial and environmental implications.

Water is used mainly for cooling and cleaning but also for shattering the molten glass to produce the frit (quenching) and for wet milling. Generally, these water circuits are closed circuits with a purge. Water used for quenching and milling may not need a purge, but will require the solids to be separated.

Waste levels are very low arising mainly from the solids collected from the water circuits. In many cases, waste from dust abatement equipment can be recycled to the furnace.

2 APPLIED PROCESSES AND TECHNIQUES

The first three general sections of this chapter cover the common raw material and melting considerations that apply to most of the sectors in the Glass Industry. The following sections then describe separately the specific issues for each of the sectors. Three of the sectors, namely stone wool, frits and ceramic fibre, differ in some of the materials and techniques utilised. These differences have been covered in the sections relating to each sector.

2.1 Materials Handling

The diversity of the Glass Industry results in the use of a wide range of raw materials. The majority of these materials are solid inorganic compounds, either naturally occurring minerals or man-made products. They vary from very coarse materials to finely divided powders. Liquids and, to a lesser extent, gases are also used within most sectors.

The gases used include hydrogen, nitrogen, oxygen, sulphur dioxide, propane, butane and natural gas. These are stored and handled in conventional ways for example, direct pipelines, dedicated bulk storage, and cylinders. A wide range of liquid materials are used, including some which require careful handling such as phenol and strong mineral acids. All standard forms of storage and handling are used within the industry e.g. bulk storage, intermediate bulk containers (IBCs), drums and smaller containers. Potential techniques for minimising emissions from liquid storage and handling are discussed in Chapter 4.

Very coarse materials (i.e. with particle diameter > 50 mm) are only used in stone wool production. These materials are delivered by rail or road haulage and conveyed either directly to silos or stockpiled in bays. Storage bays can be open, partially enclosed or fully enclosed, there are examples of all within the sector. Where coarse material is stored in silos they are usually open and are filled by a conveyor system. The materials are then transferred to the furnace by enclosed conveyor systems. Materials are mixed simply by laying them on the feeder conveyor simultaneously.

Granular and powdered raw materials are delivered by rail or road tanker and are transferred either pneumatically or mechanically to bulk storage silos. Pneumatic transfer of the materials requires them to be essentially dry. Displaced air from the silos is usually filtered. Lower volume materials can be delivered in bags or kegs and are usually gravity fed to the mixing vessels.

In large continuous processes the raw materials are transferred to smaller intermediate silos from where they are weighed out, often automatically, to give a precisely formulated "batch". The batch is then mixed and conveyed to the furnace area, where it is fed to the furnace from one or more hoppers. Various feeder mechanisms are found in the industry ranging from completely open systems to fully enclosed screw fed systems. To reduce dust during conveying and "carry-over" of fine particles out of the furnace, a percentage of water can be maintained in the batch, usually 0 - 4 % (some processes e.g. borosilicate glass production use dry batch materials). The water content can be introduced as steam at the end of the mixing operation but the raw materials may have an inherent water content. In soda-lime glass, steam is used to keep the temperature above 37°C and so prevent the batch being dried by the hydration of the soda ash.

Due to its abrasive nature and larger particle size, cullet is usually handled separately from the primary batch materials and may be fed to the furnace in measured quantities by a separate system.

In discontinuous processes the batch plant is much smaller and is often manually operated. Following mixing, the batch can be stored in small mobile hoppers each containing one charge

for the melter. Several charges will be made up, sometimes of different formulation, and stored close to the melter for use during a specific melting period. Common with large scale melting the mixed batch cannot be stored for too long before use, because the different components can settle-out, which makes it difficult to obtain an homogenous melt. The presence of water in the batch helps to mitigate this tendency.

2.2 Glass Melting

Melting, the combination of the individual raw materials at high temperature to form a molten glass, is the central phase in the production of glass. There are numerous ways to melt glass depending on the desired product, its end use, the scale of operation, and the prevailing commercial factors. The glass formulation, raw materials, melting technique, fuel choice and furnace size will all depend on these factors.

2.2.1 Raw Materials for Glass Making

[tm18 CPIV, tm21 Schott]

Table 2.1 shows the most important glass making raw materials. A more detailed table is given in Chapter 3.

Glass forming materials
Silica sand, process cullet, post consumer cullet
Intermediate and modifying materials
Soda ash (Na_2CO_3), limestone (CaCO_3), dolomite ($\text{CaCO}_3.\text{MgCO}_3$), feldspar, nepheline syenite, potassium carbonate, fluorspar, alumina, zinc oxide, lead oxide, barium carbonate, basalt, anhydrous sodium sulphate, calcium sulphate and gypsum, barium sulphate, sodium nitrate, potassium nitrate, boron containing materials (e.g. borax, colemanite, boric acid), antimony oxide, arsenic trioxide, blast furnace slag (mixed calcium, aluminium, magnesium silicate and iron sulphide)
Colouring/Decolouring agents
Iron chromite ($\text{Fe}_2\text{O}_3.\text{Cr}_2\text{O}_3$), iron oxide (Fe_2O_3), cobalt oxide, selenium/zinc selenite

Table 2.1: Important glass making raw materials

Sand is the most important raw material for glass making, being the principal source of SiO_2 . It is a common raw material but most deposits are not of sufficient purity for glass making. The melting point of sand is too high for economic melting and a fluxing agent, usually sodium oxide, is needed to reduce the melting temperature.

Soda ash (Na_2CO_3) is the main source of the fluxing agent sodium oxide (Na_2O). During melting the sodium oxide becomes part of the melt and the carbon dioxide is released. Sodium sulphate is added as a refining and oxidising agent and is a secondary source of sodium oxide. The sodium oxide is incorporated into the glass and the sulphur oxide gases are released through the melt. Potassium carbonate (K_2CO_3) acts as a flux and is used in some processes especially for special glass. The potassium oxide is incorporated into the melt and the carbon dioxide is emitted.

Other metal oxides are added to the glass to reinforce the structural network to improve the hardness and chemical resistance. Calcium oxide (CaO) has this effect and is added to the glass as calcium carbonate (CaCO_3) in the form of limestone or chalk. It can also be added as dolomite, which contains both calcium carbonate and magnesium carbonate (MgCO_3).

Aluminium oxide (Al_2O_3) is added to improve chemical resistance and to increase viscosity at lower temperatures. It is usually added as nepheline syenite ($\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$), feldspar, or alumina, but is also present in blast furnace slag and feldspatic sand.

Lead oxides (PbO and Pb_3O_4) are used to improve the sonority and to increase the refractive index of the glass to give better brilliance in products such as lead crystal. Barium oxide (derived from barium carbonate), zinc oxide, or potassium oxide may be used as alternatives to lead oxide, but they produce lower levels of density and brilliance than those associated with lead crystal. There is also a penalty in the workability of handmade glass.

Boron trioxide (B_2O_3) is essential in some products, particularly special glass (borosilicate glasses) and in glass fibres (glass wool and continuous filaments). The most important effect is the reduction of the glass expansion coefficient, but in fibres it also changes viscosity and liquidity to aid fiberisation, and confers resistance to attack by water.

Table 2.2 below shows some of the elements used to impart colour to the glass. The colouring materials can be added either in the main batch or into the canal following the furnace (in the form of coloured frit).

Element	Ion	Colour
Copper	(Cu^{2+})	Light blue
Chromium	(Cr^{3+})	Green
	(Cr^{6+})	Yellow
Manganese	(Mn^{3+})	Violet
Iron	(Fe^{3+})	Yellowish-brown
	(Fe^{2+})	Bluish-green
Cobalt	(Co^{2+})	Intense blue, in borate glasses, pink
	(Co^{3+})	Green
Nickel	(Ni^{2+})	Greyish-brown, yellow, green, blue to violet, depending on the glass matrix.
Vanadium	(V^{3+})	Green in silicate glass; brown in borate glass
Titanium	(Ti^{3+})	Violet (melting under reducing conditions).
Neodymium	(Nd^{3+})	Reddish-violet
Selenium	(Se^0)	Pink (also Se^{2+} , Se^{4+} , and Se^{6+} , depending on glass type)
Praseodymium	(Pr^{3+})	Light green

Table 2.2: Elements used to impart colour

Fluoride containing materials (e.g. fluorspar CaF_2) are used to make certain products opaque. This is achieved by the formation of crystals in the glass, which render it cloudy and opaque. Fluoride is also used in the continuous glass filament sector to optimise surface tension and liquidity properties to aid fiberisation and minimise filament breakage.

An increasingly important raw material in glass making is glass cullet, both in-house cullet and external or foreign cullet. Virtually all processes recycle their in-house cullet, but for some processes quality constraints mean it may not be possible to secure a supply of foreign cullet of sufficient quality and consistency to make its use economically viable. In the container glass sector cullet usage at over 80 % of the batch is sometimes used. Cullet requires less energy to melt than virgin raw materials, and every 1 tonne of cullet replaces approximately 1.2 tonnes of virgin material.

2.2.2 The Melting Process

[tm21 Schott]

The melting process is a complex combination of chemical reactions and physical processes. This section only represents a brief summary of some of the important aspects of the process. Melting can be divided into several phases which all require very close control.

Heating

The conventional and most common way of providing heat to melt glass is by burning fossil fuels above a bath of batch material, which is continuously fed into, and then withdrawn from the furnace in a molten condition. The temperature necessary for melting and refining the glass depends on the precise formulation, but is between 1300°C and 1550°C. At these temperatures heat transfer is dominated by radiative transmission, in particular from the furnace crown, which is heated by the flames to up to 1650 °C, but also from the flames themselves. In each furnace design heat input is arranged to induce recirculating convective currents within the melted batch materials to ensure consistent homogeneity of the finished glass fed to the forming process. The mass of molten glass contained in the furnace is held constant, and the mean residence time is of the order of 24 hours of production for container furnaces and 72 hours for float glass furnaces.

Primary melting

Due to the low thermal conductivity of the batch materials the melting process is initially quite slow allowing time for the numerous chemical and physical processes to occur. As the materials heat up the moisture evaporates, some of the raw materials decompose and the gases trapped in the raw materials escape. The first reactions (decarbonisation) occur around 500°C. The raw materials begin to melt between 750°C and 1200°C. First the sand begins to dissolve under the influence of the fluxing agents. The silica from the sand combines with the sodium oxide from the soda ash and with other batch materials to form silicates. At the same time large amounts of gases escape through the decomposition of the hydrates, carbonates, nitrates and sulphates; giving off water, carbon dioxide, oxides of nitrogen, and oxides of sulphur. The glass melt finally becomes transparent and the melting phase is completed. The volume of the melt is about 35 - 50 % of the volume of the virgin batch materials due to the loss of gases and the elimination of interstitial spaces.

Fining and Homogenisation

The glass melt must be completely homogenised and free of bubbles before it can be formed into the products. This involves the complete dissolution and even distribution of all components and the elimination of all bubbles by refining.

During the melting process gas bubbles are formed mainly from carbon dioxide given off by the decomposition of the carbonate materials (principally soda ash and limestone) and to a much lesser extent from air trapped in the raw materials. These bubbles must be eliminated from the glass melt as they potentially cause defects in the finished product affecting mechanical strength and appearance. The upward movement of bubbles contributes to the physical mixing of the melt necessary to obtain a homogenous material with optimal physical properties. The bubbles rise at speeds determined by their size and the viscosity of the glass. Large bubbles rise quickly and contribute to mixing, while small bubbles move slowly, at speeds that may be small with respect to the larger scale convection currents in the furnace and are thus more difficult to eliminate. Small bubbles remaining in the finished glass are termed "seeds".

Carbon dioxide and the components of air have limited solubility in the glass melt and it is usually necessary to use chemical fining agents to effectively eliminate the small bubbles generated by the melting process. The general principle of chemical fining is to add materials which when in the melt will release gases with the appropriate solubility in the glass. Depending on the solubility of the gas in the glass melt (which is generally temperature dependant) the

bubbles may increase in size and rise to the surface or be completely reabsorbed. Small bubbles have a high surface to volume ratio, which enables better exchange between the gas contained in the bubbles and the glass.

The most frequently used fining agent in the glass industry is sodium sulphate. At approximately 1450°C (1200°C if reducing agents are present) the sodium sulphate decomposes to give sodium oxide (which is incorporated into the glass), gaseous oxides of sulphur, and oxygen. The oxygen bubbles combine with or absorb other gases, particularly carbon dioxide and air, thereby increasing in size and rising to the surface. The gaseous oxides of sulphur are absorbed into the glass, or join the furnace waste gas stream.

In flat glass and container glass production sodium sulphate is by far the most common fining agent. The predominance of sodium sulphate as the fining agent is due to its parallel action as an oxidising agent for adjusting the redox state of the colouring elements in the glass. It is also the least expensive effective fining agent for mass produced glass. Other fining agents include carbon materials and oxides of arsenic and antimony. These are more expensive, have associated environmental and health issues, and tend to be used mainly for the production of special glass. Sodium nitrate can also be used as a fining/oxidising agent particularly if a high degree of oxidation is required. Calcium sulphate and various nitrates are sometimes used for coloured flat glass.

Homogenisation can also be aided by introducing bubbles of steam, oxygen, nitrogen or more commonly air through equipment in the bottom of the tank. This encourages circulation and mixing of the glass and improves heat transfer. Some processes, for example optical glass, may use stirring mechanisms to obtain the high degree of homogeneity required. Another technique for use in small furnaces (especially special glass) is known as plaining; and involves increasing the temperature of the glass so it becomes less viscous and the gas bubbles can rise more easily to the surface.

The maximum crown temperatures encountered in glass furnaces are: container glass 1600°C, flat glass 1620°C, special glass 1650°C, continuous filament 1650°C, and glass wool 1400°C.

Conditioning

A conditioning phase at lower temperatures follows the primary melting and fining stages. During this process, all remaining soluble bubbles are reabsorbed into the melt. At the same time, the melt cools slowly to a working temperature between 900°C and 1350°C.

In batch melting, these steps occur in sequence, but in continuous furnaces the melting phases occur simultaneously in different locations within the tank. The batch is fed at one end of the tank and flows through different zones in the tank and forehearth where primary melting, fining, and conditioning occur. The refining process in a continuous furnace is far more delicate.

Glass does not flow through the tank in a straight line from the batch feeder to the throat where the glass reaches the working temperature for processing. It is diverted following thermal currents. The batch pile, or the cold mixture of raw materials, is not only melted at the surface, but also from the underside by the molten glass bath. Relatively cold, bubbly glass forms below the bottom layer of batch material and sinks to the bottom of the tank. Appropriate convection currents must bring this material to the surface, since fining occurs in tank furnaces primarily at the surface of the melt, where bubbles need to rise only a short distance to escape. If thermal currents flow too fast, they inhibit fining by bringing the glass to the conditioning zone too soon. Guiding walls or weirs can be built into the inner tank structure to create ideal glass flow paths.

2.3 Melting Techniques

[tm18 CPIV]

This section summarises the most important melting techniques used within the glass industry. Different techniques are used within the stone wool and frits sectors, and these techniques are discussed separately within the specific sections for each sector. As mentioned above the choice of melting technique will depend on many factors but particularly the required capacity, the glass formulation, fuel prices, existing infrastructure and environmental performance. For example, as a general guide (to which there are inevitably exceptions):

- For large capacity installations (> 500 t/d) cross-fired regenerative furnaces are almost always employed.
- For medium capacity installations (100 to 500 t/d), regenerative end port furnaces are favoured, though cross-fired regenerative, recuperative unit melters, and in some cases oxy-fuel or electric melters may also be used according to circumstances.
- For small capacity installations (25 to 100 t/d) recuperative unit melters, regenerative end port furnaces, electric melters and oxy-fuel melters are generally employed.

The table below gives an estimate of the different types of furnace existing in the EU, with the numbers and capacities for each type.

Type of furnace	Number of units	Melting capacity (t/y)	Average melting capacity (t/d)
End-fired	265	13100000	135
Cross-fired	170	15300000	250
Electric	100	1100000	30
Oxygen	30	1200000	110
Others	335	4300000	35
Total	900	35000000	110

Table 2.3: Estimate of EU furnace types in 1997 [tm18 CPIV]

Glass furnaces are generally designed to melt large quantities of glass over a continuous period of up to twelve years and range in output from 20 tonnes of glass per day to over 600 tonnes of glass per day. The glass is contained in a tank constructed of blocks of appropriate refractory materials and generally of overall rectangular form closed by a vaulted ceiling or crown. Electrical furnaces tend to be more square with a flat ceiling and open on one side, for batch access. The refractory blocks are maintained in position by an external steel framework. There are many furnace designs in use, and they are usually distinguished in terms of the method of heating, the combustion air preheating system employed, and the burner positioning.

Glass making is a very energy intensive activity and the choice of energy source, heating technique and heat recovery method are central to the design of the furnace. The same choices are also some of the most important factors affecting the environmental performance and energy efficiency of the melting operation. The three main energy sources for glass making are natural gas, fuel oil and electricity. In the first half of the century many glassmakers used producer gas, made by the reactions of air and water with coal at incandescent temperatures.

The use of natural gas is increasing in the Glass Industry due to its high purity, ease of control and the fact that there is no requirement for storage facilities. Many companies are now using gas in preference to oil in order to reduce emissions of sulphur dioxide even where there is a cost penalty.

In recent decades the predominant fuel for glass making has been fuel oil. There are various grades from heavy to light, with varying purity and sulphur content. The generally held opinion within the industry is that oil flames, being more radiant than gas flames, give better heat transfer to the melt. As the industry has developed more experience with gas firing it is thought that the efficiency and operational control achieved with gas firing is progressively approaching that of oil firing.

Many large furnaces are equipped to run on both natural gas and fuel oil, with only a straightforward change of burners being necessary. In many cases gas supply contracts are negotiated on an interruptible basis during peak demand, which necessitates the facility for fuel changeover. The main reason for the periodic change between gas and fuel oil is the prevailing relative prices of the fuels. In order to enhance control of the heat input, it is not uncommon for predominantly gas-fired furnaces to burn oil on one or two ports.

The third common energy source for glass making is electricity. Electricity can be used either as the exclusive energy source or in combination with fossil fuels, this is described in more detail later. Electricity can be used to provide energy in three basic ways: resistive heating, where a current is passed through the molten glass; induction heating, where heat is induced by the change in a surrounding magnetic field; and the use of heating elements. Resistive heating is the only technique that has found commercial application within the Glass Industry, and it is the only technique considered within this document.

2.3.1 Regenerative Furnaces

[tm18 CPIV, tm1 UKDoE]

The term regenerative refers to the form of heat recovery system. Burners firing fossil fuels are usually positioned in or below combustion air/waste gas ports. The heat in the waste gases is used to preheat air prior to combustion. This is achieved by passing the waste gases through a chamber containing refractory material, which absorbs the heat. The furnace fires on only one of two sets of burners at any one time. After a predetermined period, usually twenty minutes, the firing cycle of the furnace is reversed and the combustion air is passed through the chamber previously heated by the waste gases. A regenerative furnace has two regenerator chambers, while one chamber is being heated by waste gas from the combustion process, the other is preheating incoming combustion air. Most glass container plants have either end-fired or cross-fired regenerative furnaces, and all float glass furnaces are of cross-fired regenerative design. Preheat temperatures up to 1400 °C may be attained leading to very high thermal efficiencies.

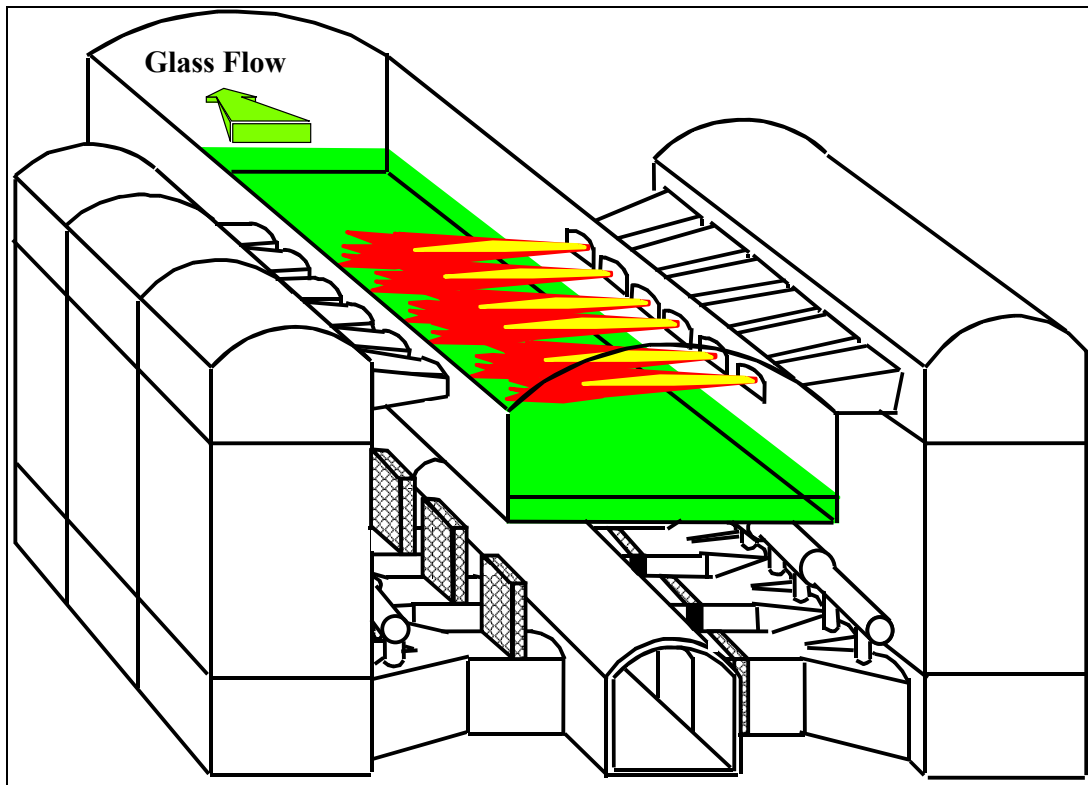


Figure 2.1: A cross-fired regenerative furnace

In the cross-fired regenerative furnace, combustion ports and burners are positioned along the sides of the furnace, regenerator chambers are located either side of the furnace and are connected to the furnace via the port necks. The flame passes above the molten material and directly into the opposite ports. The number of ports (up to 8) used is a function of the size and capacity of the furnace and its particular design. Some larger furnaces may have the regenerator chambers divided for each burner port.

This type of design using effectively a multiplicity of burners is particularly suited to larger installations, facilitating the differentiation of the temperature along the furnace length necessary to stimulate the required convection currents in the glass melt.

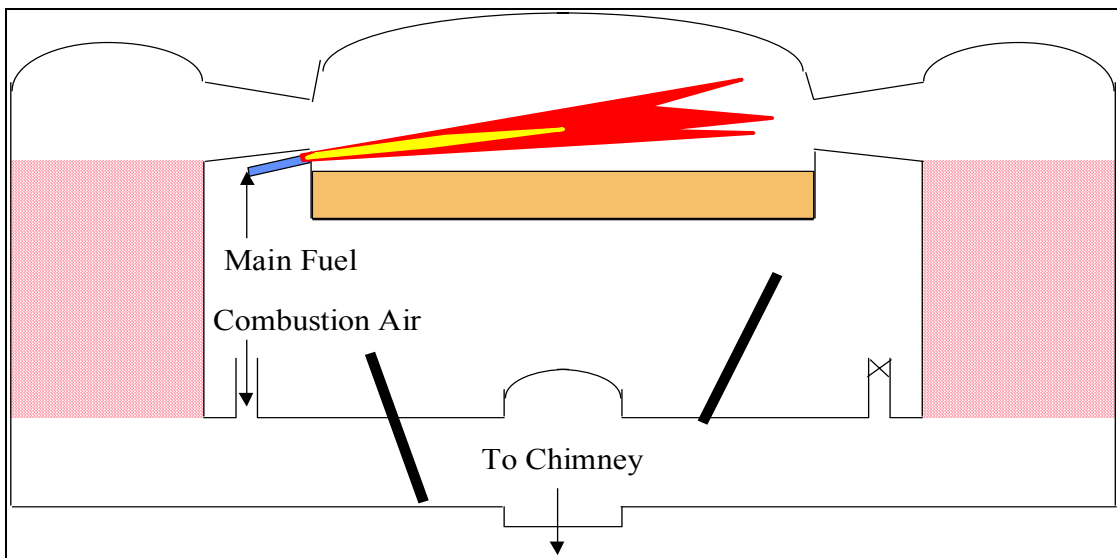


Figure 2.2: Cross section of a regenerative furnace

In the end-fired regenerative furnace the principles of operation are the same, however, the two regenerative chambers are situated at one end of the furnace each with a single port. The flame path forms a U shape returning to the adjacent regenerator chamber through the second port. This arrangement enables a somewhat more cost effective regenerator system than the cross-fired design but has less flexibility for adjusting the furnace temperature profile and is thus less favoured for larger furnaces.

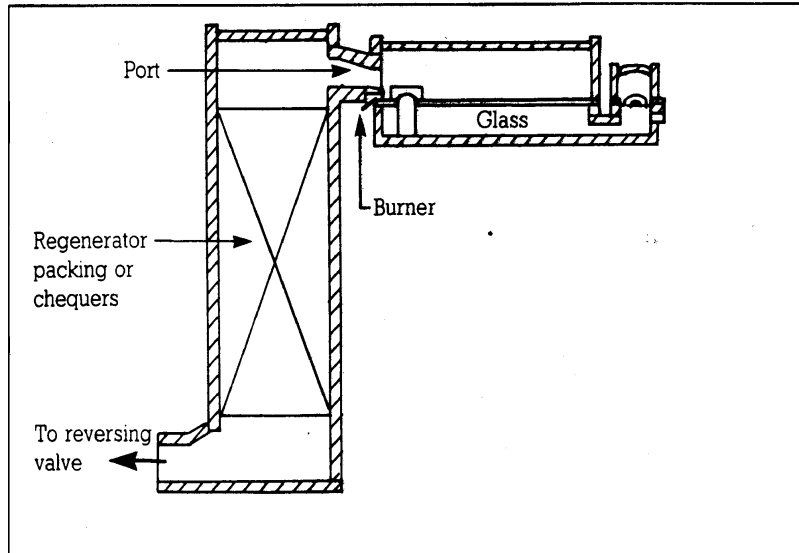


Figure 2.3: Single pass end-fired regenerative furnace

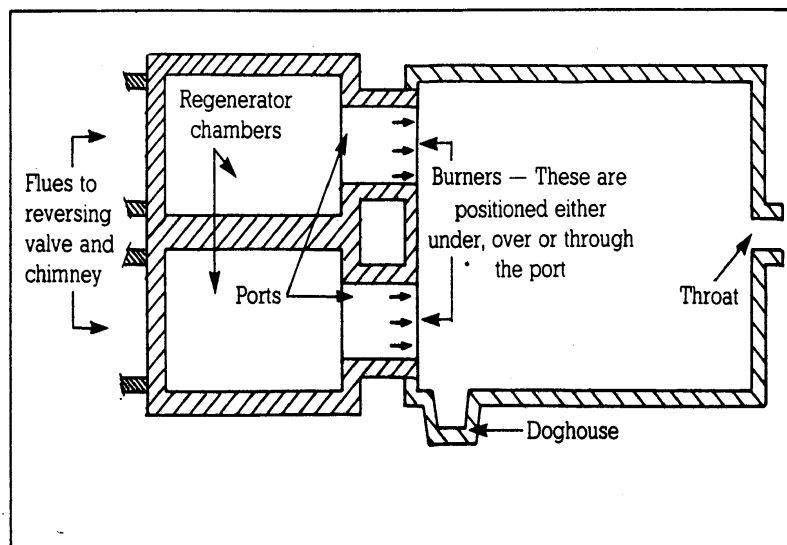


Figure 2.4: Plan view of end-fired regenerative furnace

2.3.2 Recuperative Furnaces

[tm18 CPIV]

The recuperator is another common form of heat recovery system usually used for smaller furnaces. In this type of arrangement the incoming cold air is pre-heated indirectly by a continuous flow of waste gas through a metal (or, exceptionally, ceramic) heat exchanger. Air preheat temperatures are limited to around 800°C for metallic recuperators, and the heat

recovered by this system is thus lower than for the regenerative furnace. The lower direct energy efficiency may be compensated by additional heat recovery systems on the waste gases, either to preheat raw materials or for the production of steam. However, one consequence is that the specific melting capacity of recuperative furnaces is limited to 2 tonnes/m²/day compared to typically 3.2 tonnes/m²/day for a regenerative furnace in the Container Glass Sector. This lack of melting capacity can be partially compensated by the use of electric boosting.

Although originally unit melters (or direct fired) furnaces were not necessarily equipped with recuperators this is now exclusively the case and the term unit melter has become synonymous with the recuperative furnace. The burners are located along each side of the furnace, transverse to the flow of glass, and fire continuously from both sides. This allows better control and more stable temperatures than in end-fired furnaces. By controlling the burners to create a temperature gradient along the furnace, the convective currents generated draw the hot combustion gases over the batch surface and up through the exhaust port at the upstream end of the furnace.

This type of furnace is primarily used where high flexibility of operation is required with minimum initial capital outlay, particularly where the scale of operation is too small to make the use of regenerators economically viable. It is more appropriate to small capacity installations although higher capacity furnaces (up to 400 tonnes per day) are not uncommon.

2.3.3 Oxy-fuel Melting

This technique involves the replacement of the combustion air with oxygen (>90 % purity). The elimination of the majority of the nitrogen from the combustion atmosphere reduces the volume of the waste gases, which are composed almost entirely of carbon dioxide and water vapour, by about two thirds. Therefore, energy savings are possible because it is not necessary to heat the atmospheric nitrogen to the temperature of the flames. The formation of thermal NO_x is greatly reduced, because the only nitrogen present in the combustion atmosphere is the residual nitrogen in the oxygen, nitrogen in the fuel, nitrogen from nitrate breakdown, and that from any parasitic air.

In general oxy-fuel furnaces have the same basic design as unit melters, with multiple lateral burners and a single waste gas exhaust port. However, furnaces designed for oxygen combustion do not utilise heat recovery systems to pre-heat the oxygen supply to the burners.

The principle of oxy-fuel furnaces is well established, particularly in the frits sector. The technique is still considered by some sectors of the glass industry, as a developing technology with potentially high financial risk. However, considerable development work is being undertaken and the technique is becoming more widely accepted as the number of plants is increasing. This technique is discussed further in Chapter 4.

2.3.4 Electric Melting

[tm18 CPIV, tm8 S2 3.03, tm1 UKDoE]

An electric furnace consists of a refractory lined box supported by a steel frame, with electrodes inserted either from the side, the top or more usually the bottom of the furnace. The energy for melting is provided by resistive heating as the current passes through the molten glass. It is, however, necessary to use fossil fuels when the furnace is started up at the beginning of each campaign. The furnace is operated continuously and has a lifetime of between 2 and 7 years. The top of the molten glass is covered by a layer of batch material, which gradually melts from the bottom upwards, hence the term cold top melter. Fresh batch material is added to the top of the furnace, usually by a conveyor system that moves across the whole surface. Most electric furnaces are fitted with bag filter systems and the collected material is recycled to the melter.

The technique is commonly applied in small furnaces particularly for special glass. The main reason for this is the thermal efficiency of fossil fuel fired furnaces decreases with furnace size and heat losses per tonne of melt from small furnaces can be quite high. Heat losses from electric furnaces are much lower in comparison, and for smaller furnaces the difference in melting costs between electrical and fossil fuel heating is therefore less than for larger furnaces. Other advantages of electric melting for small furnaces include lower rebuild costs, comparative ease of operation and better environmental performance.

There is an upper size limit to the economic viability of electric furnaces, which is closely related to the prevailing cost of electricity compared with fossil fuels. Electric furnaces can usually achieve higher melt rates per square metre of furnace, and the thermal efficiency of electric furnaces is two to three times higher than fossil fuel fired furnaces. However, for larger furnaces this is often not sufficient to compensate for the higher costs of electricity.

The absence of combustion in electric melting means that the waste gas volumes are extremely low, resulting in low particulate carry over and reduced size of any secondary abatement equipment. The emission of volatile batch components is considerably lower than in conventional furnaces due to the reduced gas flow and the absorption and reaction of gaseous emissions in the batch blanket. The main gaseous emission is carbon dioxide from the carbonaceous batch materials.

The complete replacement of fossil fuels in the furnace eliminates the formation of combustion products, namely sulphur dioxide, thermal NO_x, and carbon dioxide. However, if a global view is taken these benefits should be considered against the releases arising at the power generation plant, and the efficiencies of power generation and distribution.

A complication with electric melting is the use of sodium nitrate or potassium nitrate in the batch. The general view of the glass industry is that nitrate is required in cold-top electric furnaces to provide the necessary oxidising conditions for a stable, safe and efficient manufacturing process. The problem with nitrate is that it breaks down in the furnace to release oxides of nitrogen, but at levels lower than those associated with conventional fossil fuel firing.

2.3.5 Combined Fossil Fuel and Electric Melting

[tm18 CPIV, tm8 S2 3.03]

There are two principal approaches to the use of this technique: predominantly fossil fuel firing with electric boost; or predominantly electrical heating with a fossil fuel support. Clearly the proportion of each type of heat input can be varied with each technique.

Electric boosting is a method of adding extra heat to a glass furnace by passing an electric current through electrodes in the bottom of the tank. The technique is commonly used within fossil fuel fired furnaces in the Glass Industry. Traditionally, it is used to increase the throughput of a fossil fuel fired furnace to meet periodic fluctuations in demand, without incurring the fixed costs of operating a larger furnace. The technique can be installed while a furnace is running, and it is often used to support the pull rate of a furnace as it nears the end of its operating life or to increase the capacity of an existing furnace.

Electric boosting can also be used to improve the environmental performance of the furnace by substituting electrical heating for combustion for a given glass pull rate. Usually 5 % to 20 % of total energy input would be provided by electric boost although higher figures can be achieved. However, a high level of electric boost is not used as a long-term option for base level production due to the associated high operating costs. Variable levels of electric boost are frequently used in coloured glass due to the poor radiant heat transfer in green and amber glass.

A less common technique is the use of gas or oil as a support fuel for a principally electrically heated furnace. This simply involves firing flames over the surface of the batch material to add heat to the materials and aid melting. The technique is sometimes referred to as over-firing and is often used to overcome some of the operational difficulties encountered with 100 % electric melting. Clearly the technique reduces some of the environmental benefits associated with combustion free cold top melting.

2.3.6 Discontinuous Batch Melting

[tm21 Schott]

Where smaller amounts of glass are required, particularly if the glass formulation changes regularly, it can be uneconomical to operate a continuous furnace. In these instances pot furnaces or day tanks are used to melt specific batches of raw material. Most glass processes of this type would not fall under the control of IPPC because they are likely to be less than 20 tonnes per day melting capacity. However, there are a number of examples in domestic glass and special glass where capacities above this level exist, particularly where more than one operation is carried out at the same installation.

A pot furnace is usually made of refractory brick for the inner walls, silica brick for the vaulted crown and insulating brick for the outer walls. Basically a pot furnace consists of a lower section to preheat the combustion air (either a regenerative or a recuperative system), and an upper section which holds the pots and serves as the melting chamber. The upper section holds six to twelve refractory clay pots, in which different types of glass can be melted.

There are two types of pots open pots and closed pots. Open pots have no tops and the glass is open to the atmosphere of the furnace. Closed pots are enclosed and the only opening is through the gathering hole. With open pots the temperature is controlled by adjusting furnace firing, with closed pots firing is at a constant rate, and the temperature is controlled by opening or closing the gathering hole. The capacity of each pot is usually in the range 100 kg to 500 kg, with a lifetime of 2 to 3 months under continuous operation.

The furnace is heated for 24 hours each day but the temperature varies (glass temperature only for closed pots) according to the phase of the production cycle. Generally, the batch is loaded into the pots and melted in the afternoon, and the temperature is increased overnight to refine the melt so the glass can be processed the next morning. During melting the temperature climbs to between 1300°C and 1600°C, depending on the glass type, and during the removal and processing of the glass the furnace temperature is in the range 900°C to 1200°C.

Day tanks are further developed from pot furnaces to have larger capacities, in the region of 10 tonnes per day. Structurally they more closely resemble the quadrangle of a conventional furnace, but are still refilled with batch each day. The melting is usually done at night and the glass goes into production the next day. They allow a change in glass type to be melted at short notice and are primarily used for coloured glass, crystal glass and soft special glasses.

2.3.7 Special Melter Designs

[SORG LoNO_x, SORG Flex]

The attention paid to limiting NO_x emissions has led some furnace designers to propose unit melter type furnaces that integrate various features intended to permit lower flame temperatures. The best known of this type of furnace is the Sorg LoNO_x melter.

The Sorg LoNO_x melter uses a combination of shallow bath refining and raw material preheating to achieve reduced NO_x levels, potentially without the penalty of reduced thermal performance. The shallow bath refiner forces the important critical current path close to the surface of the glass bath, thereby reducing the temperature differential between it and the

furnace superstructure. The furnace can be operated at lower temperatures than a comparable conventional furnace. This technique is described more fully in Chapter 4.

Another new furnace design is the Sorg Flex Melter, which is principally marketed as an alternative to pot furnaces and day tanks. It uses a combination of electricity and natural gas resulting in a compact furnace with low operating temperatures and low energy consumption. The furnace is divided into melting and refining zones, which are connected by a throat. The refining area consists of a shallow bank followed by a deeper area. The melting end is electrically heated and the refining zone is gas heated, but electrodes may be added at the entrance. The waste gases from the refining zone pass through the melting area and over the batch. A number of low arches prevent radiation from the hotter part of the furnace reaching the colder areas, so that a large part of the energy in the waste gases is transferred to the batch.

The separation of the melting and refining zones is the basis of the furnace's flexibility. During standstill periods temperatures are lowered and volatilisation from refining is reduced. No drain is needed and due to the low glass volume, normal operating temperature is re-established quickly. The low volume also helps to make faster composition changes.

2.4 Container Glass

[tm18 CPIV, tm1 UKDoE]

This section deals with the manufacture of packaging glass based on soda-lime and modified soda-lime formulations by fully automated processes. The manufacture of other products is covered in the Domestic and Special Glass Sectors. Typical container glass composition is given in Table 2.4 below. Due to the diversity of the sector almost all of the melting techniques described in Section 2.3 are found in container glass production.

Component	Percentage
Silicon Oxide (SiO ₂)	71 – 73
Sodium Oxide (Na ₂ O)	12 - 14
Calcium Oxide (CaO)	9 – 12
Magnesium Oxide (MgO)	0.2 – 3.5
Aluminium Oxide (Al ₂ O ₃)	1 – 3
Potassium Oxide (K ₂ O)	0.3 – 1.5
Sulphur trioxide (SO ₃)	0.05 – 0.3
Colour modifiers etc.	Traces

Table 2.4: Typical container glass composition

Glass containers are produced in a two stage moulding process by using pressing and blowing techniques. There are five essential stages in automatic bottle production.

1. Obtaining a piece of molten glass (gob) at the correct weight and temperature.
2. Forming the primary shape in a first mould (blank mould) by pressure from compressed air or a metal plunger.
3. Transferring the primary shape (parison) into the final mould (finish mould).
4. Completing the shaping process by blowing the container with compressed air to the shape of the final mould.
5. Removing the finished product for post forming processes.

The molten glass flows from the furnace along a forehearth to a gathering bowl (spout) at the end. From the bottom of the gathering bowl one to four parallel streams of glass are formed through appropriately sized orifices. These glass streams, modulated by a mechanical plunger system, are cut into accurate lengths by a shear mechanism to form primitive, sausage shaped,

glass "gobs". The complete system for forming the gobs is termed the feeder mechanism. Gobs are cut simultaneously from the parallel glass streams, to be formed simultaneously in parallel moulds on the forming machine. These are termed single, double, triple or quadruple gob machines, the latter being adapted to high volume production of smaller containers. Double gob is the most common. Container glass furnaces feed two or more such forming machines, each via a dedicated forehearth.

A mixture of water and soluble oil is sprayed onto the shears to ensure they do not overheat and that the glass does not stick to them. From the feeder mechanism the gobs are guided by a system of chutes into the blank moulds on the forming machine.

The forming process is carried out in two stages as shown in Figure 2.5. The initial forming of the blank may be made either by pressing with a plunger, or by blowing with compressed air, according to the type of container. The final moulding operation is always by blowing to obtain the finished hollow shape. These two processes are thus respectively termed "press and blow" and "blow and blow". The formed containers are presented for post forming production stages on a continuous conveyor. Press and blow forming is particularly adapted to producing jars, but is also widely used for producing lightweight bottles. Blow and blow forming is more versatile and is preferred for producing standard weight bottles and more complex forms. Simplified diagrams of the two main forming processes are shown in Figure 2.5.

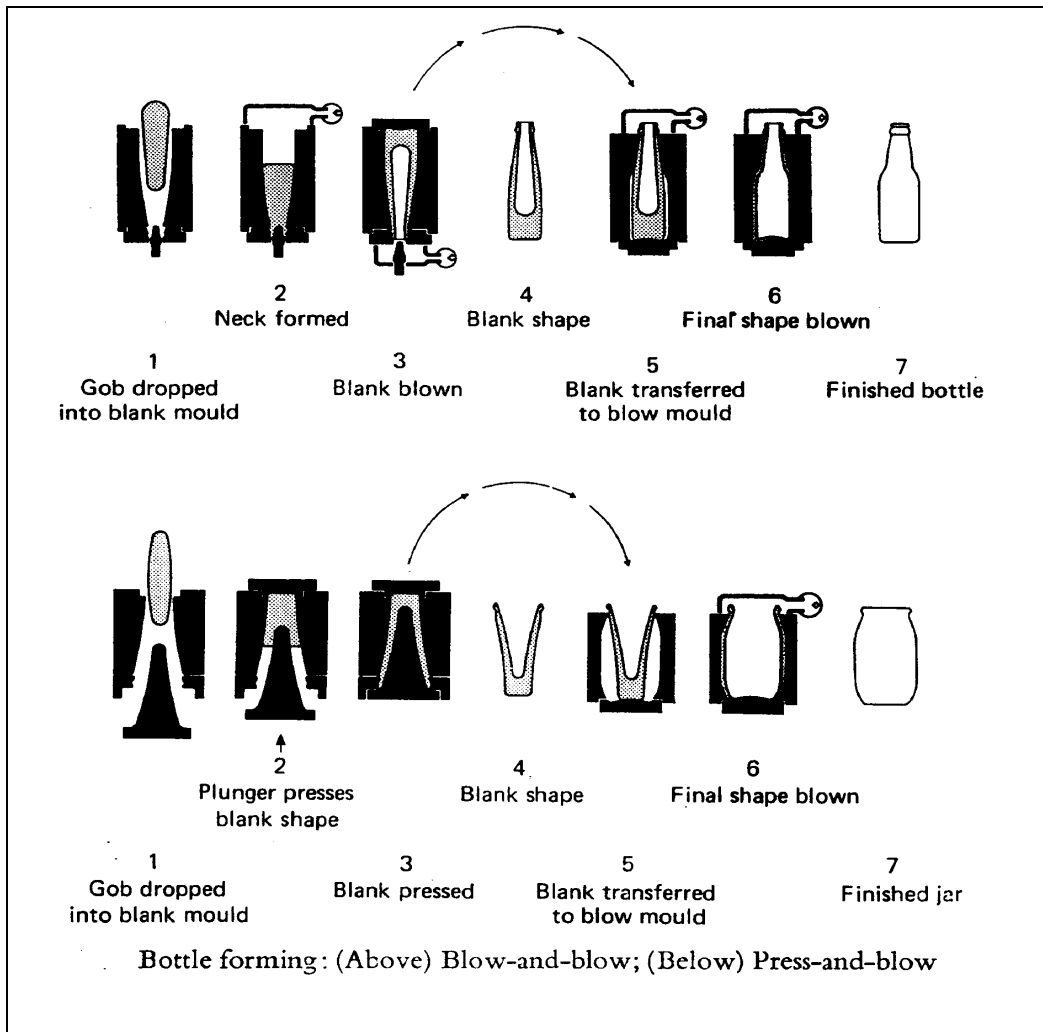


Figure 2.5: Press and blow forming and blow and blow forming

During the forming process the glass temperature is reduced by as much as 600°C to ensure that the containers are sufficiently solidified when taken away by conveyor. The extraction of heat is achieved with high volumes of air blown against and through the moulds. To prevent glass sticking to the moulds various high temperature graphite based release agents are applied manually and automatically to specific mould parts (“swabbing”). The moulds require periodic cleaning and maintenance.

Glass flow from the forehearth must be held constant in order to maintain the necessary temperature stability, viscosity and homogeneity of the glass fed to the forming process. If the forming process is interrupted on one of the sections the gobs of hot glass are diverted by chutes to the basement, where they are cooled with water, fragmented, and returned to the batch house along with all other production rejects to be recycled as process cullet.

The earliest automatic machines were of rotating design, and although forming machines for tableware still use this principle, container production is almost exclusively by the more flexible in line IS (Individual Section) machines. The IS machine consists of multiple individual container making units (sections) assembled side by side. Each section has mould cavities corresponding to the number of gobs to be formed in parallel. The gobs are delivered sequentially to the different sections via a scoop and trough system (gob distributor and delivery). Typically IS machines are made up of from 6 to 20 sections, depending on the volume and type of market served. One major advantage of IS machines is the possibility of independently stopping the sections for adjustments or replacing mould parts.

Automatic container manufacture can be used to produce bottles and jars of almost any size, shape and colour. The simpler the shape the faster the production rate; lightweight round beer bottles are produced at up to 750 /minute (on IS 12 section, quadruple gob machines).

Rapid cooling of the containers on the outside surface creates high differential stresses in the glass and consequent fragility. To eliminate these the containers are passed through a continuous annealing oven (lehr), where they are re-heated to 550°C then cooled under controlled conditions to prevent further stresses being set up. Lehrs are heated by gas or electricity but once brought to operating temperature the heat from the incoming containers provides the majority of the heating energy. Once sufficiently cool all containers are inspected automatically with automatic rejection for out of tolerance and other quality concerns. After inspection the product is assembled onto pallets either in cartons or in bulk and packed and stored before shipment to the customer.

The overall efficiency of the production is measured as a "pack to melt" ratio, i.e. the tonnage of containers packed (for shipment) as a percentage of the tonnage of glass melted in the furnace. Installations making containers for foodstuffs and beverages generally attain pack to melt ratios between 85 % and 94 %. Higher value perfume and pharmaceutical products are subject to more stringent controls, and pack to melt ratios average around 70 %.

To improve the performance of the products, surface coatings can be applied either immediately after forming, while the articles are still at a temperature over 500°C (“hot end coating”), or after annealing (“cold end coating”). Practically always a combination of hot end and cold end treatments are employed.

Glass containers are conveyed through various inspection, packaging, unpacking, filling and re-packaging systems. To prevent damage between containers and to enable them to slide through guide systems without damage; lubricating treatments can be applied to the product at the cold end of the annealing lehr. The materials used are food safe oleic acid and polyethylene based products applied by spraying a dilute aqueous suspension, or by contact with vapours. These treatments do not, in general, give rise to significant environmental emissions.

Hot surface coatings, usually a very fine coating of tin oxide or titanium oxide can be applied to the glass containers immediately after leaving the forming machine. In combination with

subsequent lubricating cold surface coating, this prevents glass surface damage during subsequent handling. The metal oxide coating acts as a substrate to retain the lubricating organic molecules on the glass surface, and this permits a high level of scratch resistance to be developed with simple food safe lubricants. The hot end treatment also improves mechanical resistance.

The treatments themselves must be invisible and are thus extremely thin. The thickness of the hot surface treatment is generally $< 0.01 \mu\text{m}$. To obtain uniform coatings of this thickness the treatment is most frequently made by chemical vapour deposition (CVD), using the anhydrous chlorides of tin or titanium, or specific organo-metallic compounds. Application by spray is also employed. The quantity of material involved is in all cases low, in the order of 2 to 10 kg/day per production line according to production speed.

Once manufactured glass containers may in certain cases go through a secondary process to add decoration and identity before being sent to the customer. This can take the form of a pressure sensitive or heat shrink label or heat applied ceramic decoration.

2.5 Flat Glass

[tm18 CPIV]

The term flat glass strictly includes all glasses made in a flat form regardless of the form of manufacture. However, for the purposes of this document it is used to describe float glass and rolled glass production. Most other commercially produced flat glasses are either covered in the Special Glass Sector (e.g. ceramic hobs) or the scale of production is below the 20 tonnes/day specified in Directive 96/61/EC. Other methods of producing large quantities of flat glass for building and automotive applications are considered obsolete in the European Union. These products are referred to as sheet glass and plate glass, and are discussed briefly in Chapter 1. Most flat glass is produced with a basic soda lime formulation, a typical float glass composition is given in Table 2.5. Float glass and rolled glass are produced almost exclusively with cross-fired regenerative furnaces.

Component	Percentage
Silicon oxide (SiO_2)	72.6
Sodium oxide (Na_2O)	13.6
Calcium oxide (CaO)	8.6
Magnesium oxide (MgO)	4.1
Aluminium oxide (Al_2O_3)	0.7
Potassium oxide (K_2O)	0.3
Sulphur trioxide (SO_3)	0.17
Minor materials (colour modifiers and incidental impurities from raw materials)	Traces

Table 2.5: Typical flat glass composition

2.5.1 The Float Glass Process

The basic principle of the float process is to pour the molten glass onto a bath of molten tin, and to form a ribbon with the upper and lower surfaces becoming parallel under the influence of gravity and surface tension.

The float tank (or bath) consists of a steel casing supported by a steel framework, and lined with refractory blocks which contain the molten tin. The float tank is about 55m to 60m long, 4m to 10m wide and divided into 15 to 20 bays. The tank is airtight and a slightly reducing atmosphere is maintained by the injection of a mixture of nitrogen and hydrogen. This is

essential to prevent the oxidation of the tin surface, which would damage the crucial contact surface between the glass and the tin. Molten tin is used as the bath liquid because it is the only substance which remains liquid and without a significant vapour pressure over the required temperature range.

The molten glass flows from the furnace along a refractory lined canal, which can be heated to maintain the correct glass temperature. At the end of the canal the glass pours onto the tin bath through a special refractory lip ("the spout") which ensures correct glass spreading. The glass flow is controlled by means of an adjustable suspended refractory shutter in the canal (the front "tweel"). Where the glass first makes contact with the tin, the temperature of the metal is about 1000°C cooling to about 600°C at the exit of the bath. As it passes over the surface of the bath the glass develops a uniform thickness and assumes the almost perfect flatness of the molten tin.

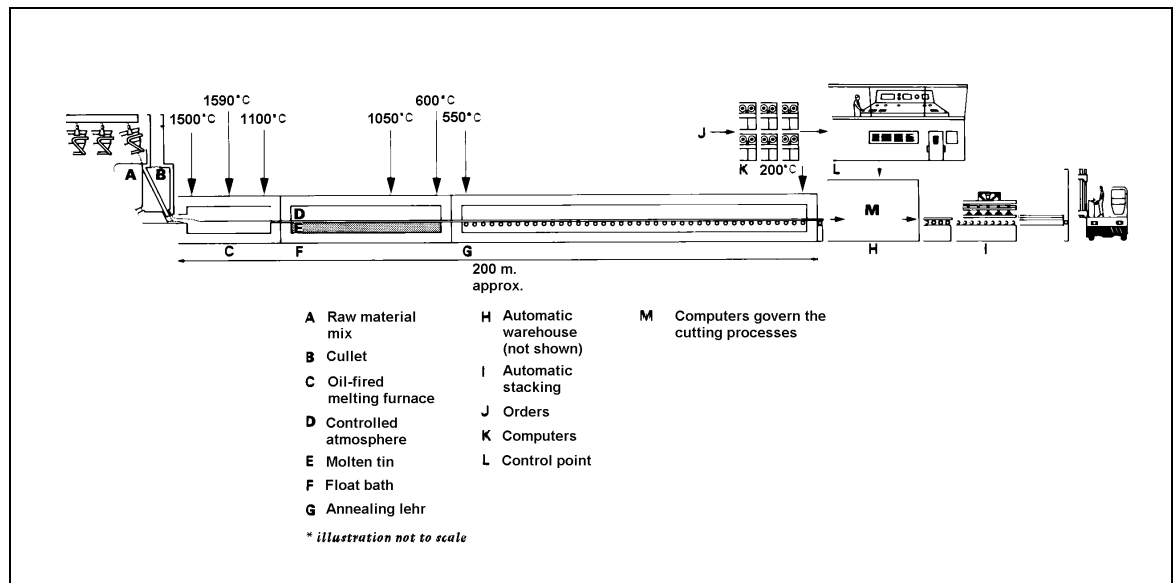


Figure 2.6: The Float Glass Process

Inside the float tank are several pairs of water-cooled top rollers, adjustable in direction, height, penetration and angle. These rollers catch the glass sheet on both edges by cog-wheels and draw it in length and width. The rate of glass flow and the rotation speeds of the rollers help to govern the thickness of the glass, typically from 1.5 mm to 19 mm. The glass has a maximum natural thickness on the tin surface and graphite barriers can be introduced in order to produce the thicker glasses.

At the exit of the float bath the glass ribbon is taken out by lift-out rollers, and is passed through a temperature controlled tunnel, the lehr, to be annealed. At the beginning of the lehr, SO_2 is sprayed on both sides of the ribbon, providing a surface treatment to protect the glass against the contact of the rollers. The lehr is divided in sections in which there is heating and indirect or direct cooling by forced and natural convection. Glass is thus gradually cooled from 600°C to 60°C in order to reduce residual stresses, caused during the forming process, to an acceptable level. This operation needs time and space, from the pouring of glass onto the float bath to the cutting line, there is a continuous 200 m ribbon of glass.

The cooled glass ribbon is cut on-line by a travelling cutter, the angle of the cutter against the line depends on the speed of the line (90° if it was not moving). The edges of the ribbon that bear roller marks are cut off and recycled to the furnace as cullet. The glass sheets are then inspected, packed and stored, either for sale or for secondary processing.

On-line coatings can be applied to improve the performance of the product (e.g. low emissivity glazing). On-line coating processes are case specific and the total number of plants within the

industry with on-line coating facilities is very low. A moving ribbon of glass is coated whilst hot by the impingement onto its surface of silica or tin compounds where they react to form the required film. The process generally consists of two separate coating stages, a silicon based undercoat and a separate topcoat, e.g. fluorine doped tin oxide. Due to the nature of the chemicals used, emissions of acid gases and fine particulates can arise, which are generally treated in a dedicated abatement system.

2.5.2 The Rolled Process (Patterned and Wired Glass)

A schematic representation of the Rolled Glass Process is shown in Figure 2.7 below.

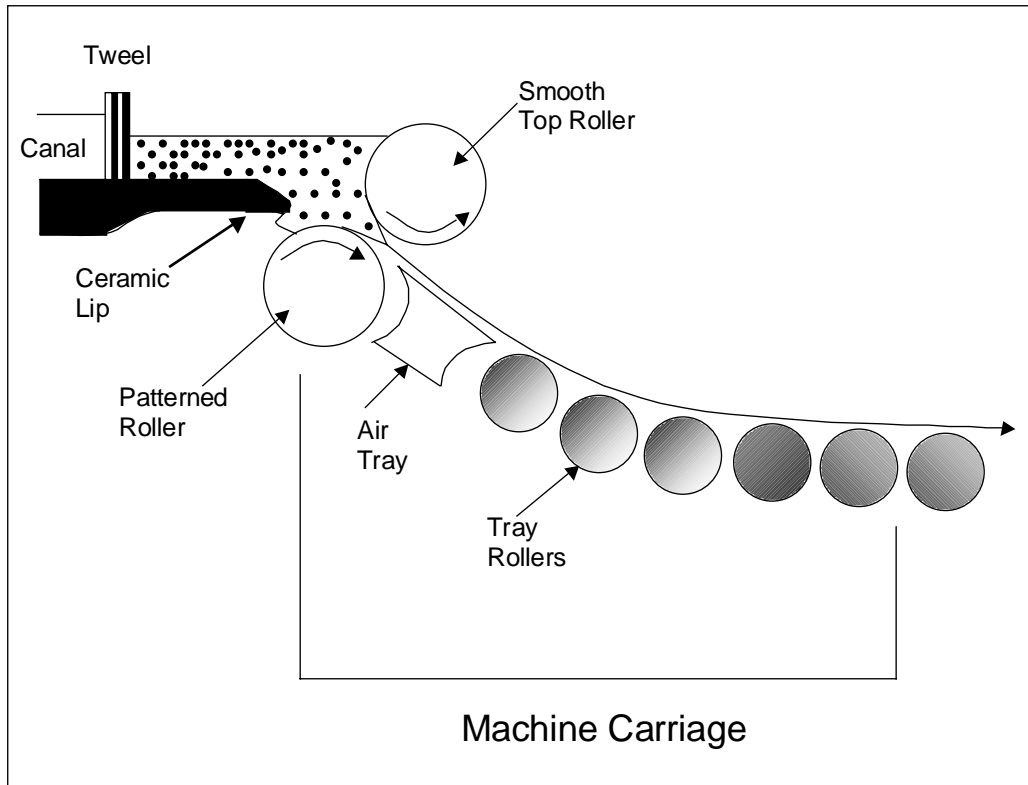


Figure 2.7: The Rolled Glass Process

Rolled glass is formed by a continuous double-roll process. Molten glass at about 1000°C is squeezed between water-cooled steel rollers to produce a ribbon with controlled thickness and surface pattern.

The glass is conveyed from the melting furnace into a forehearth in order to reach the required temperature upstream of the roller pass. Depending on the furnace capacity and the desired output, one or two machines can be fed from one furnace. The rotating rollers pull molten glass into the pass, from which it emerges as a ribbon of thickness determined by the separation between the rollers. A typical ribbon width is about 2 metres. In passing through the water-cooled rollers, heat is extracted. Control of the temperature at the interface is essential to the correct operation of the process and the quality of the product. When emerging from the rollers, the ribbon is viscous enough to avoid significant narrowing and to be carried forward over moving rollers for about 2 metres. There it is further cooled and carried forward into the annealing lehr at about 600°C.

In this process, the rollers serve three functions: to form the ribbon, to imprint the chosen pattern, and to remove heat. The rollers must be very accurately machined with perfect axial symmetry and a uniform pattern without any defect over the whole roller surface.

The range of patterns produced is very wide so that frequent changes must be made to meet market demands. Thus, one important consideration of machine design is the ease with which a pattern roller can be changed. The most usually adopted solution is to set up two rolling machines side by side on a switch rail. In this way, the new pattern rollers can be mounted in the spare machine ready to be pushed into place when the changeover is needed. This operation requires the flow of glass to be stopped by means of a metallic boom placed in the canal upstream of the rollers.

The rolling process has been extended to produce wire-reinforced glass. There are two different techniques employed. In the first, two canals are used to provide two flows of glass to the forming machine, but in the second method only one flow of glass and one canal are required. A wire mesh is fed down from a roll suspended above the machine and guided into the so-called bolster of glass that is formed by the glass flow entering the space between two rollers. Specification, control and conditioning of the wire mesh are of great importance for the quality of the product.

2.6 Continuous Filament Glass Fibre

[tm18 CPIV, tm8 S2 3.03]

The most widely used composition to produce continuous fibres is E Glass, which represents more than 98 % of the sector output. The typical E Glass composition is shown in Table 2.6. Other compositions are also used to produce continuous filaments, but only very small quantities are produced in the EU. The melting techniques used for these other formulations are very specific and are not generally representative of the techniques used in the sector as a whole. For the purposes of this document only E Glass production is considered.

Component	Percentage
SiO ₂	53 - 60
Alkali oxides	< 2
Earth alkali oxides	20 - 24
B ₂ O ₃	5 - 10
Al ₂ O ₃	11 - 16
ZrO ₂	0
TiO ₂	0 - 3
F ₂	0 - 2
Iron oxide	< 1
Zinc oxide	0
Impurities	<1

Table 2.6: Typical E Glass composition

The glass melt for continuous filament glass fibre is generally produced in a cross-fired fossil fuel recuperative furnace. There are also a number of oxy-fuel fired furnaces in Europe, but these have only been operating for a limited period. Regenerative furnaces are not used due to the relatively small furnace sizes, and because at the temperature in the regenerators the borate condensation would be difficult to control. The most commonly used glass formulation in this sector is E Glass, which has a very low alkali content resulting in low electrical conductivity. It is not currently considered economically viable to melt E Glass using 100 % electric melting.

The molten glass flows from the front end of the furnace through a series of refractory lined, gas heated canals to the forehearth. In the base of each forehearth there are bushings to allow the

flow of glass. Bushings are complex box-like structures with a perforated metal plate (bushing plate) at the base, with several hundred calibrated holes (bushing tips). The bushing is electrically heated and its temperature is precisely regulated over the whole surface in order to obtain a consistent rate of flow of molten glass from each hole.

The glass flowing through the bushing tips is drawn out and attenuated by the action of a high-speed winding device to form continuous filaments. Specific filament diameters in the range of 5 μ m to 24 μ m are obtained by precisely regulating the linear drawing speed (which may vary from 5 m/s to 70 m/s). Directly under the bushing, the glass filaments undergo a drastic cooling by the combined effect of water-cooled metal fins, high airflow, and water sprays.

The filaments are drawn together and pass over a roller or belt, which applies an aqueous mixture, mainly of polymer emulsion or solution to each filament. The coating is also referred to as binder or size and serves one or both of two purposes: protecting the filaments from their own abrasion during further processing and handling operations; and for polymer reinforcements, ensuring good adhesion of the glass fibre to the resin. The binder content on the filaments is typically in the range of 0.5 % to 1.5 % by weight. The coating material will vary depending on the end use of the product. Typical coating components are: film formers (e.g. polyvinyl acetate, starch, polyurethane, epoxy resins); coupling agents (e.g. organo-functional silanes); pH modifiers (e.g. acetic acid, hydrochloric acid, ammonium salts); and lubricants (e.g. mineral oils, surfactants).

The coated filaments are gathered together into bundles called strands that go through further processing steps, depending on the type of reinforcement being made. The strands can undergo either conventional or direct processing. In conventional processing, the strands are wound onto the rotating mandrel of the winder to form “cakes” up to 50 kg in weight. The cakes containing the binder up to 1.5 % and water up to 15 %, are labelled and pass forward for fabrication. For some applications the cakes can be processed wet, but for most they have to pass through drying ovens. The ovens are heated by gas, steam, electricity, or indirectly by hot air. The main products are chopped strands, rovings, chopped strand mats, yarns, tissues, and milled fibres.

Chopped strands are produced by unwinding the cakes and feeding the filaments into a machine with a rotating bladed cylinder. The chopped strands are typically between 3 mm and 25 mm, and are conveyed into a variety of packages up to 1 tonne in weight. Rovings are produced by unwinding and combining the strands from multiple cakes, sufficient to achieve the desired weight of glass per unit length.

Chopped strand mat is produced by chopping the strands unwinding from cakes, or rovings, in cylindrical choppers. The choppers are arranged so that chopped strands can be applied to a moving conveyor belt up to 3.5 m wide. The strands are sprayed with a secondary binder, e.g. an aqueous solution of polyvinyl acetate or saturated polyester powder. Total binder content is in the range 2 % to 10 %. The conveyor takes the now wet mat through a drying and curing oven, and then through a pair of compaction rollers before winding the mat onto a mandrel. The mat can be made in various densities and widths and is packed into boxes with a typical weight of 50 kg.

Yarn products are produced from either dried forming cakes or from wet cakes, where the drying of the strands takes place during the twisting operation. The yarn is made on a twisting machine (or twist frame) which holds up to 100 cakes, containing any combination of different strands. The strands are brought together, twisted into a yarn and wound onto a bobbin. This is a complex process similar to that used in the textile industry. Usually the twisting machine will produce only one yarn from a single strand, but (although less common) multiple wound yarns are also produced.

The glass fibre tissue is produced by chopping the strands unwound from the cakes in cylindrical choppers, which feed either directly into a pulper or into intermediate bulk containers for later use. After dispersion in the pulper, the fibres are applied to a wire mesh

conveyer belt by the wet-laid method. An aqueous solution of different types of resins, polyvinyl alcohol and latex is added as a binder at up to 20 % (dry content). The wire takes the web through a drying and curing oven before winding the tissue onto a tambour. The glass fibre tissue can be made in various densities and widths.

Milled fibres are made by milling cakes or chopped strands into lengths of 50 - 300 μm . The milled fibres are conveyed into a variety of packages from 20 kg up to 1 tonne.

Chopped strands, rovings, and continuous filament mats can also be produced by direct processes. Chopped strands are produced by directly introducing the strand, following coating, into a high-speed chopper. The strands are collected and, depending on the product use, either packaged wet or are dried. Direct rovings are produced using a bushing plate with a particular number of holes of different diameters, corresponding to the desired product. The filaments can be coated and the roving dried in the normal way. Continuous filament mat is produced by directly laying the strands onto a moving conveyor and spraying with an aqueous or powder binder. A special device is used to ensure correct deposition of the filaments on the conveyor. The mat passes through a drying oven and compaction rollers, before being wound onto a mandrel and packed.

2.7 Domestic Glass

[tm27 Domestic]

This sector is one of the most diverse sectors of the Glass Industry, involving a wide range of products and processes. Processes range from intricate handmade activities producing decorative lead crystal, to the high volume, highly mechanised methods used to make lower value bulk consumer products. The majority of domestic glass is made from soda-lime glass with formulations close to those of container glass. However, the formulations are generally more complex due to specific quality requirements and the more varied forming processes. As with container glass, colouring agents can be added either in the furnace or in the feeder. The other main types of domestic glass are:

1. Opal (opaque) glasses containing fluoride or phosphate.
2. Full lead crystal, lead crystal and crystal glass, with official definitions (formulation and properties) provided by Directive 69/493/EEC.
3. Borosilicate glass containing boron, particularly adapted for cookware due to a very low thermal expansion coefficient.
4. Glass-ceramic for cookware with even lower expansion coefficient.

The wide range of products and processes means that virtually all of the melting techniques, described in Section 2.3 are likely to be used within the sector, from pot furnaces to large regenerative furnaces. Unlike in container production external cullet is not widely used due to quality constraints, but internal cullet is universally used.

The forming processes fall into two main categories, automatic processing and hand made or semi-automatic processing. Automatic processing is similar to that in the Container Glass Sector. Glass from the furnace is fed via one or more forehearths to the forming machine, where the articles are formed using moulds. The precise forming technique depends on the dimensions of the product being made. The four main techniques are: press and blow; blow and blow; pressing; and spinning. The press and blow, and blow and blow techniques are essentially the same as for the Container Glass Sector and so are not described further here, although the design of the machines and operating conditions (speed, quality requirements) differ.

The pressing process is relatively simple and is used for articles which are quite shallow and where the mouth is wider than or of equal width to the base. It involves pressing a hot glass gob between a mould and a plunger. The temperature of the glass will vary depending on the formulation but for soda-lime glass is typically 1150 $^{\circ}\text{C}$.

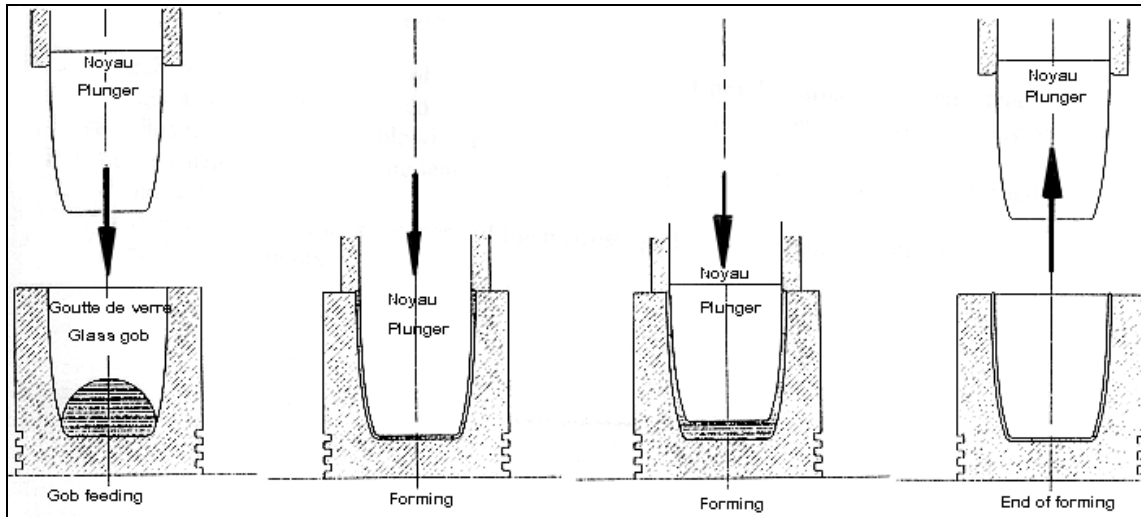


Figure 2.8: The pressing process for the formation of glass articles

The spinning process is used to produce circular articles such as plates and shallow bowls. A hot glass gob is dropped into the mould, which is then rotated and the article is formed by the resulting centrifugal force.

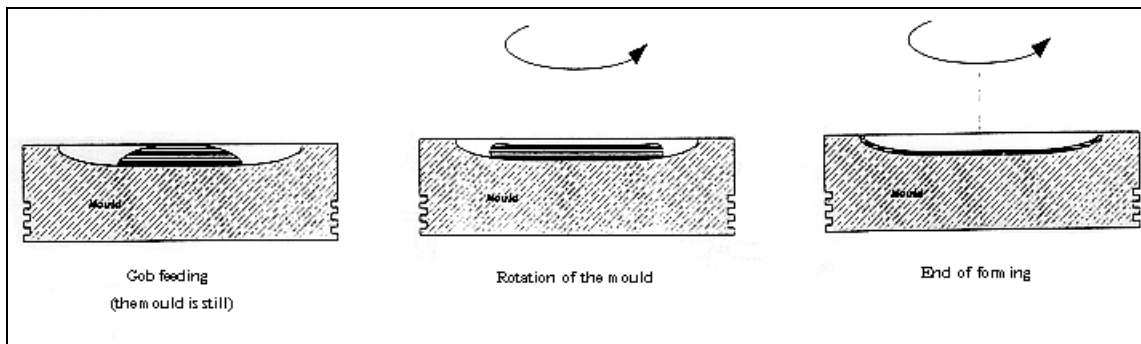


Figure 2.9: The spinning process for the formation of glass articles

The formed articles are generally fire-finished and polished to obtain the required surface quality. Very high temperatures are often necessary and are provided by means of oxy-gas or in some cases oxygen-hydrogen firing. These processes have the advantage of a lower specific energy consumption, easy use and reduction of exhaust gases volumes. Following firing, the articles pass through an annealing lehr and may have surface coatings applied. The annealing and cold coating operations are comparable with those for container glass and so are not described further. In some cases articles do not pass through an annealing lehr but through a tempering furnace in order to increase their resistance to mechanical and thermal shock. The production of certain articles involves joining separately two or more parts after local re-melting. This applies to stems and feet for glasses and handles for cups and glasses. These items are made separately by pressing, drawing or extrusion. Glass stems are often drawn from the bulb of the glass and only the foot is added separately.

For handmade articles, glass is gathered by a person with a hollow pipe, either directly from the furnace or from a feeder. A small hollow body (the parison) is made by giving a short puff into the pipe, and the shape is then formed by turning in a wooden or metal mould. The items are carried to an annealing lehr to eliminate any internal tensions and are fire finished, polished and re-heated. In semi-automatic production some steps of the process (gathering, forming, and

handling) are carried out with machines or robots. In general, the manufacture of handmade articles is likely to only fall under IPPC where it is carried out at an installation where other glass making activities are undertaken.

Following production of the basic items, they can be subjected to one or more cold finishing operations. Some of these are outlined below.

Cutting involves carving precise pre-selected patterns on the blank glass articles using diamond impregnated wheels. This process can be carried out either by hand or automatically depending on the product. Water (sometimes dosed with lubricants etc) is used as a coolant for cutting and also removes the fine glass particles produced. The water is treated and either discharged or recycled. The edges of the articles are sometimes ground and polished using similar but less specialised techniques.

Glass cutting produces a grey, unfinished surface on the glass. The glass surface is restored to its original appearance by immersion in a polishing bath of hydrofluoric and sulphuric acids. The acids smooth the glass surface because the rough areas are dissolved more readily due their greater surface area. A white "skin" (composed of lead sulphate) is formed on the surface of the glass. After rinsing in hot water the glass is restored to a sparkling condition.

Fumes of HF and SiF₄ are released from the surface of the polishing bath. These fumes are treated in scrubbing towers. During this operation, hexafluorosilicic acid (H₂SiF₆) is formed, with typical concentrations up to 35 %, and the acidic washing water is then neutralised. As an alternative, H₂SiF₆ can be recovered and, where feasible, used as a feedstock in the chemical industry. The acidic rinse water also requires periodic neutralisation. Alternative techniques to acid polishing are under development, e.g. mechanical polishing, and high temperature polishing either with flames or lasers

A great variety of other techniques can be used to create attractive patterns: These include: decorating with enamels, frosting by sand blasting or acid etching, and engraving. The volumes of and associated emissions from these operations are small in comparison with the main processing stages.

2.8 Special Glass

[tm25 Special, tm1 UKDoE, tm21 Schott]

The Special Glass Sector is extremely diverse, covering a wide range of products that can differ considerably in terms of composition, method of manufacture and end use. Also many of the products could be considered to overlap with other sectors, especially the Domestic Glass Sector for borosilicate glasses. Cathode ray tube glass and borosilicate glass account for about 70 % of special glass production with most other products being of relatively low volume and often significantly below the 20 tonnes/day threshold. However, many of these low volume products are manufactured at installations where the total production of all operations exceeds this figure. Table 2.7 gives the compositions of the main glass types. This section outlines the main production methods used within the sector.

Due to the diversity of the sector a wide range of melting techniques is used, however, the low volumes of production mean that most furnaces are quite small. The most common techniques are recuperative furnaces, oxy-gas furnaces, electric melters and day tanks. In some cases regenerative furnaces are also used, for example in CRT-glass and water glass production. It should be noted that the melting temperatures of special glasses can be higher than for more conventional mass-produced compositions. CRTs, borosilicate glass and glass ceramics, in particular necessitate melting temperatures of more than 1650°C. These high temperatures and complex formulations can lead to higher environmental emissions per tonne than, for example soda-lime products. The lower scale of production coupled with higher temperatures, also

means that energy efficiency is generally lower, and furnace lifetimes are generally shorter in this sector.

The high quality requirements of certain products such as optical glass and ceramic glass mean it is necessary to construct (or cover) components from the refining section onwards with platinum, to prevent contamination.

As in the other sectors, following melting and refining molten glass flows from the furnace along temperature controlled forehearth to the downstream forming apparatus. The main forming techniques used within the sector are:

- a) Press and blow production (borosilicate glass, tableware and kitchen products).
- b) Rotary-mould (past-mould) process (borosilicate glass, lamp units).
- c) Blow down (or settle blow) process (borosilicate glass, domestic glass)
- d) Rolling (ceramic flat glass).
- e) Pressing (CRT glass and lamp units).
- f) Ribbon process (light bulbs).
- g) Spinning process (borosilicate glass,)
- h) Tube extrusion, the Danner and Vello processes (glass tubing including lighting).
- i) Casting (optical glass blocks and some special products).
- j) Drawing process (down draw for thin film glass like display glass, up draw for borosilicate glass)
- k) Floating (borosilicate glass)
- l) Dissolution (water glass solutions).

Press and blow, and blow and blow production is essentially the same as described for the Container Glass Sector. The rolling process used to produce articles such as ceramic hobs for cookers is a scaled down version of the process described for Flat Glass Sector, but with plain rollers. These processes are not described further here and reference should be made to earlier sections.

In the pressing process the glass is in contact with all parts of the metallic mould material. The pressing mould consists of three parts: the hollow mould; a plunger, which fits into the mould leaving a space which determines the thickness of the glass wall; and a sealing ring which guides the plunger when it is removed from the mould. A glass gob is fed into the mould and is hydraulically or pneumatically pressed by the ring-guided plunger until the glass is pressed into all areas of the mould. The plunger and the mould remove much of the heat from the glass, and after solidification the plunger is withdrawn. Most pressing machines operate on turntables which usually have between 4 and 20 moulds (maximum 32, most common for CRT-glass is 11). The turntable takes the glass step by step through the loading, pressing, cooling and removal stages.

Light bulbs can be produced using the ribbon process. A ribbon of glass is formed by rolling molten glass between two water-cooled rollers. On leaving the rollers the ribbon of glass is carried through the machine on a series of orifice plates, which form a continuous belt pierced with holes. As the ribbon moves forward a continuous chain of blow heads meet it from above, each blow head coinciding with a hole in the belt. A puff from the blow head blows the glass through the hole and the glass forms into a bulb inside a rotating mould, which meets and closes around it from below. Moving forward on the ribbon, the shaped bulb is released from its mould, cooled by air and then released from the ribbon and transferred to a conveyor belt. This carries the bulbs through an annealing lehr, and onto cooling, inspection and packing. Production rates in excess of 1000 bulbs a minute can be achieved.

Extrusion can be used for glasses with a steep viscosity curve or for glasses with a tendency to crystallise, to produce items with very close dimensional tolerances. It is an economical method of making various types of full or hollow profiles with sharp-edged cross sections for industrial

use. By using laminate extrusion methods, two or three types of glass can be combined to produce, for example, components sheathed with chemically resistant glass.

The most widely used method for the continuous drawing of glass tubing is the Danner process. A continuous strand of molten glass flows onto a slightly angled, slowly rotating refractory core called the Danner mandrel. At the lower end of the mandrel a hollow bulb forms from which the tubing is drawn. Air is blown through the hollow mandrel shaft maintaining a hollow space in the glass. After being redirected horizontally, the solidifying tube is transported on a roller track to the pulling unit, behind which it is cut into 1.5m lengths, or sometimes longer. These machines can produce more than 3m per second of glass tubing.

The Vello process is the second most widely used process and has about the same rate of output as the Danner process. The glass from the furnace flows along the forehearth and downward through an orifice (the ring), with the hollow space in the glass being maintained by a pipe with a conical opening (the bell) located within the ring. The still soft tube, is redirected horizontally and is drawn off along a roller track, cooled and cut as in the Danner process.

A variation on the Vello process is the down-draw process, which can be used to produce tubing with diameters up to 360 mm. The glass is drawn downwards through a vacuum chamber, and passes through a sealed iris diaphragm, a circular shutter which can be adjusted to different apertures. A fourth process is the up-draw process, where the glass tube is drawn vertically upwards from a rotating bowl. The drawing area is shielded by a rotating ceramic cylinder, one end of which is submerged in the glass. The hollow space is formed by means of an air jet placed below the surface of the glass. This technique is particularly useful for producing tubing with thick walls and large diameters.

Optical glass can be either cast into blocks or extruded into cylinders to form the blanks, which are sold for further processing. Moulds are usually made from refractory materials.

Water glass (sodium silicate, Si:Na ratio 2 - 3.5) is made by melting sand and soda ash (sodium carbonate) in a fossil fuel fired furnace. A potassium silicate derivative can also be made using potash (potassium carbonate). The furnace is very similar to a conventional furnace and can be either regenerative or recuperative depending on the size. The furnace is usually shorter than a conventional furnace with a shorter residence time, because it is not necessary to refine the glass. The molten glass flows from the end of the furnace (forehearths are generally not necessary) and is immediately cooled, usually by direct contact with water or a water-cooled conveyor. The glass can be sold as a solid but is more usually dissolved in water at elevated temperature and pressure (the glass is only sparingly soluble at atmospheric pressure) to give a solution.

Water glass can also be produced by the hydrothermal process, which involves the direct dissolution of sand in sodium hydroxide to produce a crystal silicate solution in one precisely controlled step. The reaction takes place in autoclaves, specially designed to withstand the aggressive conditions. This process is not considered as a glass process but may have to be considered in a permit for an installation, which involves both activities.

Material	CRT Glass		Glass Tube		Borosilicate Glass e.g. chemical glass ware	Other Lighting Glasses		Glass Ceramic	Quartz Glass	Optical Glass		Others e.g. Diodes	Waterglass a)Na silicate b)K silicate
	Panel	Funnel	Earth alkaline	Borosilicate		Opaque Glass	Lamp Bulb			Boron Crown	Fluorine Crown		
SiO ₂	60 - 63	53 - 55	70	70 - 81	70 - 81	67.5	73 - 75	60 - 64	99.9	61.7		35	66 - 88
Al ₂ O ₃	2 - 3.4	1 - 5.2	4	2.3 - 5.5	2.3 - 5.5	5	1 - 4	10 - 20	0.005	0.3 - 3.0	15		0.1
Fe ₂ O ₃				0.01 - 0.03	0.01 - 0.03	0.15							0.03
CaO	0 - 3.2	0.9 - 3.8	4	0.01 - 1	0.01 - 1	9.4	0.5	0.5 - 7.0	0.001	0 - 3.0			0.008
PbO		21 - 23										60	<0.0002
MgO	0 - 1.2	0.6 - 2.2	2	0.01 - 0.5	0.01 - 0.5		0.5	0.0 - 1.0	0.001				0.008
Na ₂ O	6.6 - 9.4	5.8 - 6.7	12.5	3.5 - 6.5	3.5 - 6.5	13.6	3 - 4	0.5 - 10	0.001	0 - 5.0			20 - 34(a)
K ₂ O	6.6 - 8.4	7.8 - 8.1	2.5	0.5 - 1.5	0.5 - 1.5	1.8	1.5 - 2.5			12 - 18		5.0	27 - 32(b)
SO ₃						0.2							0.015
F						4.0					35		
B ₂ O ₃			1	8 - 13	8 - 13		12 - 17			6 - 20			
BaO	8.3 - 13	0 - 2.5	4					1.0 - 2.0		0 - 10	20		
ZnO								0.5 - 6.0					
SrO	2.2 - 8.8	0 - 0.5											
ZrO	0 - 2.3	0 - 0.2		0.01 - 1	0.01 - 1			1 - 2.0					
P ₂ O ₅											20		
LiO ₂								3.0 - 4.0					
TiO ₂				0.01 - 5	0.01 - 5			1.5					

Table 2.7: Chemical composition of the main products of the Special Glass Sector

Some of the glass compositions vary widely from product to product and the figures given above can only be a guide.

2.9 Mineral Wool

[tm26 EURIMA, tm8 S2 3.03]

Mineral wool manufacture consists of the following stages: raw material preparation; melting; fibrisation of the melt; binder application; product mat formation; curing; cooling; and product finishing. Mineral wool can be divided into two main categories: glass wool; and stone or slag wool. The products are used in the essentially same applications and differ mainly in the raw materials and melting methods. Following the melting stage the processes and environmental issues are essentially identical. The characteristic formulations of mineral wool are given in Table 2.8 below.

Mineral Wool	SiO ₂	Alkaline Oxides	Earth Alkaline Oxides	B ₂ O ₃	Iron Oxides	Al ₂ O ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅
Glass Wool	57 - 70	12 - 18	8 - 15	0 - 12	<0.5	0 - 5	Trace	0 - 3
Stone Wool	38 - 57	0.5 - 5	18 - 40	Trace	0.5 - 12	0 - 23	0.5 - 4	0 - 3
Slag Wool	38 - 52	0.5 - 3	30 - 45	Trace	0 - 5	5 - 16	<1	Trace

Table 2.8: Typical mineral wool compositions

2.9.1 Glass Wool

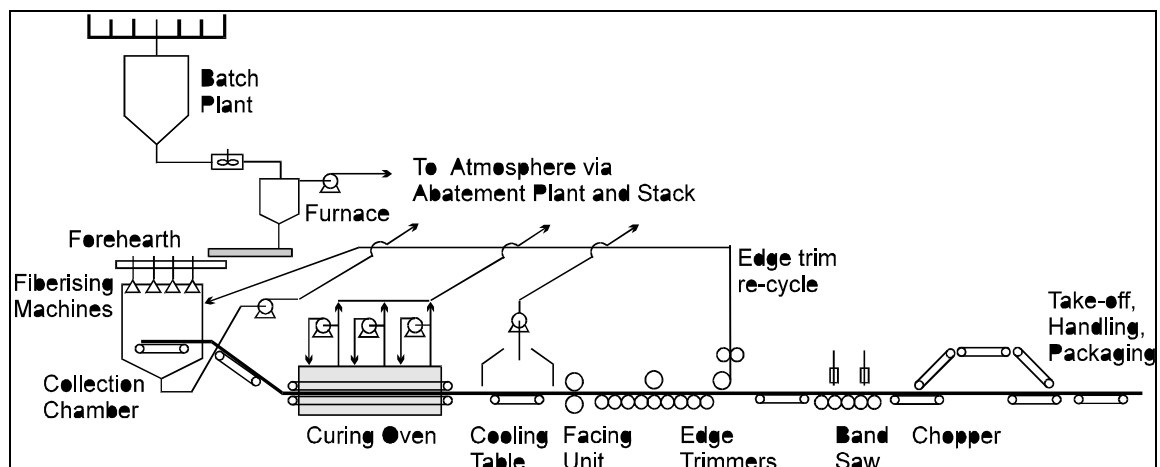


Figure 2.10: A typical glass wool plant

The raw materials for glass wool manufacture are mainly delivered by road tanker and pneumatically conveyed into storage hoppers. Each process will use a range of raw materials and the precise formulation of the batch may vary considerably between processes. The basic materials for glass wool manufacture include sand, soda ash, dolomite, limestone, sodium sulphate, sodium nitrate, and minerals containing boron and alumina.

Most processes also use process cullet as a raw material. This is shattered glass, which has been produced by quenching the molten stream from the furnace in water when the fiberising operation has been interrupted. Process cullet has the same precise formulation as the final product, and is readily recycled to the furnace. Other forms of waste glass e.g. bottle cullet and plate glass cullet are also increasingly used as a feedstock. This type of material is more difficult to recycle and its use depends heavily on cost, composition, purity and consistency of supply.

Several manufacturers also recycle processed fibrous waste and the dust collected from the furnace waste gas stream to the melter.

The fibrous nature of much of the waste makes it impracticable to recycle without further treatment. Glass furnace raw materials are charged as powders or in granular form, and so waste material must be ground or pelletised before charging. This is usually achieved by some form of milling operation. The waste product and the filtered waste contain significant levels of organic binder. In a glass furnace the carbon content of the waste presents a number of potential problems including: reduced heat transfer; foaming; destabilisation of melting conditions; and alteration of the furnace chemistry. These problems can be mitigated but there is a limit to the amount of waste that can be recycled to the furnace. Furthermore, it can be necessary to add sodium or potassium nitrate as an oxidising agent, and the decomposition of these materials can add significantly to the emissions of oxides of nitrogen.

The various raw materials are automatically weighed out and blended to produce a precisely formulated batch. The blended batch is then transferred to an intermediate storage hopper before it is added to the furnace.

The furnace (with a few rare exceptions) will either be an electrically heated furnace, a traditional gas fired recuperative furnace, or less commonly an oxy - gas furnace. These techniques are described in Section 2.3 above.

A stream of molten glass flows from the furnace along a heated refractory lined forehearth and pours through a number (usually one to ten) of single orifice bushings into specially designed rotary centrifugal spinners. Primary fiberising is by centrifugal action of the rotating spinner with further attenuation by hot flame gases from a circular burner. This forms a veil of fibres with a range of lengths and diameters randomly interlaced. The veil passes through a ring of binder sprays that spray a solution of phenolic resin based binder and mineral oil onto the fibres to provide integrity, resilience, durability and handling quality to the finished product.

The resin coated fibre is drawn under suction onto a moving conveyor to form a mattress of fibres. This mattress passes through a gas fired oven at approximately 250°C, which dries the product and cures the binder. The product is then air cooled and cut to size before packaging. Edge trims can be granulated and blown back into the fibre veil, or they can be combined with surplus product to form a loose wool product. Some products are produced without oven curing, e.g. microwave cured, hot pressed, uncured or binder free products. Also certain laminated products are made by the application of a coating e.g. aluminium foil or glass tissue which is applied on line with an adhesive.

Water is sprayed into much of the downstream process ducting: to prevent the build up of fibre and resinous material, which could cause fires or blockages; and to remove entrained material from the flue gas. Water is also used for cleaning the collection belt and other parts of the plant. The process water system is generally a closed loop, it is collected, filtered and reused for duct sprays, cleaning water and binder dilution. A typical process water system is shown in Figure 2.11 below.

A range of secondary products can be produced from manufactured glass fibre. These include granulated insulation wool for blown installation, packaged uncured wool for supply to customers for further processing, and laminated or faced products. Pipe insulation is a significant secondary product usually manufactured by diverting uncured wool from the main process for press moulding and curing. Alternatively, the wool may be wound onto retractable heated mandrels to form the bore and heat-processed to form the outer wall before transfer to an overall curing stage.

The binder is prepared by mixing the partially polymerised resin with certain additives that improve application efficiency, promote resin adhesion to the wool, suppress dust formation, confer water resistance and assist binder dilution. The binder is diluted with a substantial amount of water (process water where this is available) prior to application in the veil.

The most commonly used resin is a thermoset product of phenol, formaldehyde and a catalyst. The resin is water-based and typically contains up to 50 % solids. A more detailed description of the binder chemistry is given in Chapter 4. Resin may be imported from specialist manufacturers or may be made on-site by the mineral wool manufacturer. On-site resin production usually consists of a batch process where the raw materials are reacted under thermal control to give the desired degree of polymerisation and solids. Resin manufacture is considered to be a chemical process and is not covered in this document.

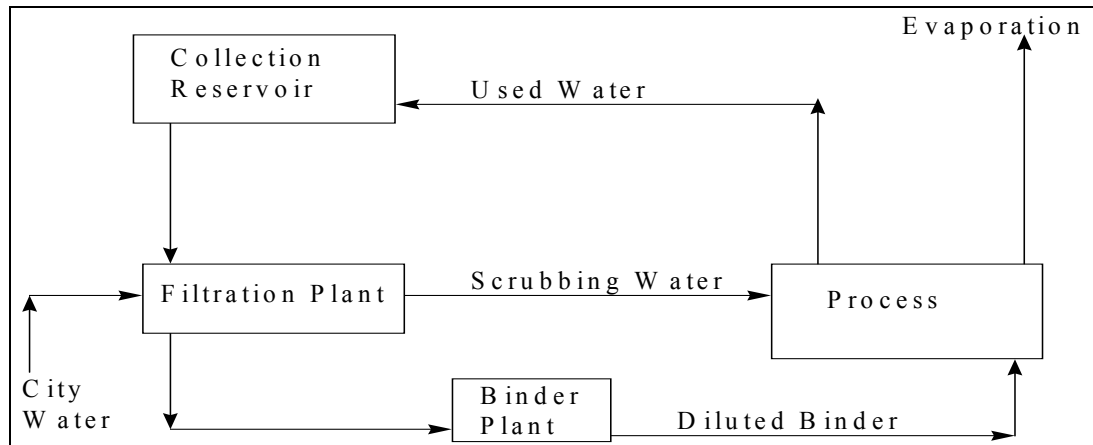


Figure 2.11: A typical mineral wool process water circuit

2.9.2 Stone Wool

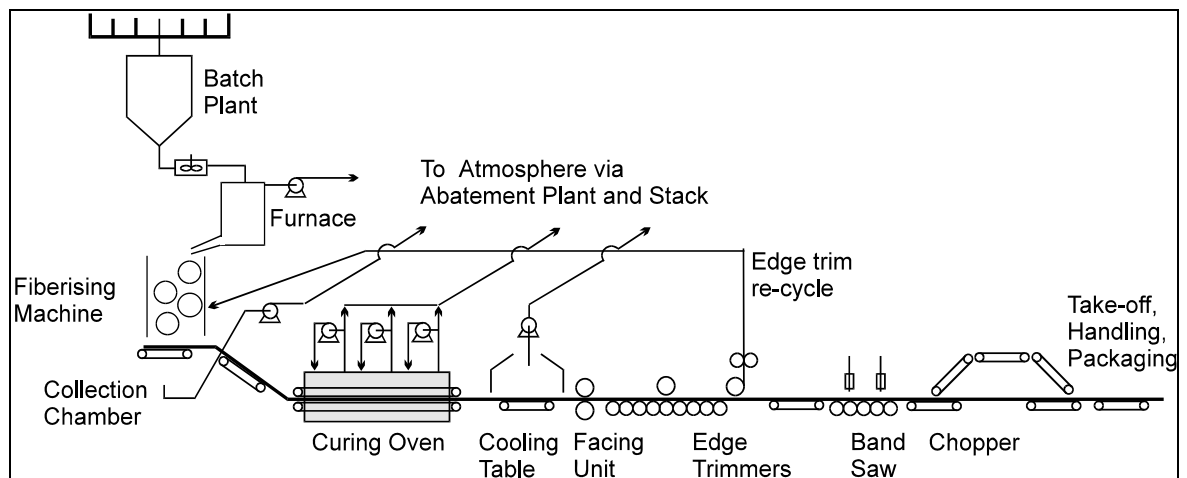


Figure 2.12: A typical stone wool plant

Traditional stone wool is made by melting a combination of aluminosilicate rock (usually basalt), blast furnace slag, and limestone or dolomite. The batch may also contain recycled process or product waste. The most common melting technique is the coke fired hot blast cupola. The cupola consists of a cylindrical steel mantle which may be refractory lined and closed in at the bottom. The whole furnace surface is water cooled by means of an open, convective cooling water loop.

The raw materials and coke are charged to the top of the cupola in alternate layers, or are sometimes mixed. Air, sometimes oxygen enriched, is injected into the combustion zone of the cupola, about 1 to 2 metres from the bottom. This is the hottest part of the cupola at approximately 2000°C. The molten material gathers in the bottom of the furnace and flows out of a notch and along a short trough positioned above the spinning machine. Basalt and to a lesser extent blast furnace slag contain iron as Fe^{3+} and Fe^{2+} . In the reducing conditions of some areas of the cupola

the ferric/ferrous iron is reduced to metallic iron. This collects in the bottom of the cupola, and would damage the expensive spinning machine if it were allowed to build up to the point where it flowed from the notch. To prevent this the iron is periodically drained, by piercing the lowest part in the curved base of the cupola.

In hot blast cupolas any fibrous or dusty material would be carried out of the top of the cupola, or would adversely affect the porosity of the bed and disrupt the flow of blast air. The accepted solution to this problem is to mill the material and produce briquettes of comparable size to the other raw materials. Cement is the usual binder for the briquettes but this can lead to higher emissions of sulphur dioxide due to the sulphur in the cement. However, briquetting provides other advantages e.g. lower energy use and the ability to add other fine materials to the batch, particularly other wastes such as foundry sand.

The melt falls onto the rapidly rotating wheels of the spinning machine, and is thrown off in a fine spray producing fibres. Air is blasted from behind the rotating wheels to attenuate the fibres and to direct them onto the collection belt to form a mattress. An aqueous phenolic resin solution is applied to the fibres by a series of spray nozzles on the spinning machine. The collection belt is under strong extraction, this performs three functions; it draws the fibre onto the belt, it removes the polluted air in the fiberising chamber, and it helps to distribute the phenolic binder across the mattress. The phenolic resin provides strength and shape to the product as in glass fibre insulation. The primary mat is layered to give the required product weight per unit area. The long chamber forming process that generates the product specific weight in a single stage, can also be used but is much less common.

The mat passes through a fossil fuel-fired oven at approximately 250°C, which sets the product thickness, dries the product and cures the binder. The product is then air cooled and cut to size before packaging. Pipe insulation and some secondary products may be manufactured in the way described for the glass wool process in Section 2.9.1.

Water can be sprayed into the ducting to prevent resin and fibre build-up, to reduce the risk of fires, and to remove entrained material from the flue gas. It is also used for a variety of cleaning operations. As in the production of glass fibre insulation the process water is collected, filtered and reused.

Stone wool can also be produced using flame furnaces and immersed electric arc furnaces. The other process operations including fiberising are the same. The design and operation of flame furnaces used for stone and slag wool manufacture is basically comparable to the flame furnaces used for glass wool manufacture. The furnace consists of a refractory tank heated by fossil fuel burners, either cross fired or end fired. Melting areas up to 100 m² are possible. Again metallic iron is reduced from the raw materials and iron tapping is necessary, e.g. by an orifice bushing located at the bottom of the furnace.

An immersed electric arc furnace for stone wool manufacture consists of a cylindrical steel mantle, which can be refractory, lined, and is cooled by means of either oil or water. The electrodes are immersed into the molten mass from the top of the furnace, providing energy for melting by resistive heating. The raw materials are inserted from above to provide a material blanket over the melt surface (cold top). Due to the electrode arrangement, however, there is always an open melt bath around the electrodes. Alternatively the electric furnace can operate with only partial coverage of the melt surface (hot top). Graphite electrodes are used and, as a result, a small amount of free metallic iron is reduced from the raw materials. Iron tapping is necessary, but at a much lower frequency (once per week or less) than for cupola furnaces.

2.10 Ceramic Fibre

[tm8 S2 3.03]

The process can be divided into two parts, the production of the fibre and the conversion of the fibre into other components. Typical chemical compositions for ceramic fibre are shown in Table 2.9.

Oxides of aluminium, calcium, magnesium, silicon and zirconium are delivered in bulk road tankers and pneumatically transferred to bulk storage silos. Smaller volume raw materials, including organic additives, are received in and dispensed from drums or sacks. The bulk raw materials are transferred from storage to the blending plant where they are mixed to give the required composition. The blended material is transferred to the furnace, where it is melted by electrical resistive heating at temperatures up to 2000 °C. The furnaces are about 1 metre deep and 2 - 3 metres in diameter, and have an open top, which is covered in a layer of unmelted batch materials.

A molten stream of the melt flows from the furnace to fall either onto high speed rotating wheels, which throw off a spray of fibres into a collecting chamber, or alternatively, in front of a high pressure air jet which attenuates the molten material into fibres. In neither case are binders added to the fibres, but a small amount of lubricant may be added which aids needling.

If the fibre production is interrupted the molten stream is not stopped, it is quenched in water and where practicable reused in the process.

The fibres are drawn from the collecting chamber on to a continuously moving belt to which a vacuum can be applied. As the resulting fleece comes off the lay-down belt it can be removed, baled and bagged, or allowed to continue down the production line to make blanket. This material can be baled as product or needle felted to knit the fibres together for additional strength. The needle-felted product can be passed through an oven to remove lubricant before being rolled up as blanket or cut into sized pieces.

Further downstream processing may also be carried out. The vacuum forming process consists of supplying a wet colloidal mixture of starch, latex, silica or clay to appropriately shaped moulds. The moulded shape is usually dried in a gas fired oven, and may be buffed or trimmed and cut to size before packing and dispatch. Papers, felts and boards may also be produced. This involves the laying down of an aqueous suspension of fibres onto a vacuum drum, followed by oven drying. A mixture of binders and additives may be added to the aqueous suspension.

Component	High purity alumina-silicate (%)	Zirconia alumina-silicate (%)
SiO ₂	48.5 - 54	47.5 - 50
Al ₂ O ₃	45.5 - 50.5	35 - 36
K ₂ O	< 0.01	<0.01
Na ₂ O	0.2	<0.03
MgO	<0.01	0.01
CaO	<0.05	<0.05
TiO ₂	0.02	0.04
ZrO ₂	0.2	15 - 17
Fe ₂ O ₃	<0.2	<0.05
Cr ₂ O ₃	<0.01	<0.01

Table 2.9: Chemical composition of typical refractory ceramic fibres in weight percent

2.11 Frits

[tm8 S2 3.03, tm46 ANFFECC]

Frit is prepared by fusing raw materials in a melter at high temperature. The molten material is then quenched causing the melt to solidify rapidly and shatter into friable particles termed frit. Glass frit is used as a raw material in the production of ceramic glaze. This is a vitreous coating applied to a ceramic body and fused by the application of heat. Similarly, enamel frit is a raw material used in the production of enamel. This is applied to metals for decorative and/or protective purposes. Glazes and enamels may be applied either dry or wet, the latter predominates and is usually in the form of a slip or slurry.

The process of fritting fuses water soluble raw materials into an insoluble glass, thereby making it easier to keep these materials uniformly distributed in the glaze or enamel suspension during subsequent processing. Furthermore, some of the raw materials used in the manufacture of glazes or enamels are both toxic and soluble. The conversion of these materials into an insoluble glass minimises the dissolution of toxic substances and therefore their potential for release to the environment.

The raw materials used in glass and enamel frit manufacture are essentially the same. They can be divided into four different groups, refractories, fluxes, opacifiers and colouring agents. Refractories include materials such as clay, feldspar and quartz. They are generally acidic in character and provide body to the frit. Fluxes are basic in character and react with the acidic refractories to form the glass. They include materials such as soda ash, potash, borax, cryolite and fluorspar.

Opacifiers provide the white opaque appearance that characterises many enamels. They can be insoluble such as titanium dioxide, tin oxide and zirconium oxide, or devitrification opacifiers such as cryolite or fluorspar. The latter may also act as fluxes rendering enamels more fusible. Opacifiers are not always included at the fritting stage, but may instead be added during slip production. Colouring agents may be oxides, elements or salts. Aside from their colouring properties they may act as either refractories or fluxes, and include materials such as cobalt oxide, chromium oxide and manganese oxide.

Raw materials may be stored in silos and conveyed to the weighing area pneumatically or mechanically. However, due to the relatively small size of some manufacturers many materials are stored in bags and manually dosed to the weighing apparatus. The various raw materials are precisely weighed and mixed to produce a batch that is chemically and physically uniform before being charged to the furnace.

The frit industry utilises both continuous furnaces and discontinuous batch furnaces. The choice of furnace is dependent on the scale of production and the product formulation. The nature of the business is such that it is common for small batches to be produced for a wide range of frit formulations. Frit furnaces are generally natural gas or oil fired, and most modern frit plants in Europe use oxy-fuel firing.

In continuous furnaces the raw materials are charged via a screw-feeder and form a pile at the charging point. Burners located along the sides provide temperature conditions of appropriate stability to enable the face of the pile to melt continuously. Smaller continuous furnaces may be end-fired with a single burner. As the materials melt, they form a shallow layer on the base of the furnace and flow to emerge at the opposite end. Production remains constant due to the continuous feeding of the raw material pile at the inlet. The molten frit can be quenched directly in a water bath, or can be cooled between water cooled rollers to produce a flake product.

Discontinuous batch furnaces are box shaped or cylindrical refractory lined vessels, mounted on bearings to allow a degree of rotation. To avoid contamination such furnaces are normally dedicated to similar types of formulation, though it is possible to purge furnaces between melts. Raw materials are charged through a port at the top of the furnace, and this can result in a short-

term high level of particulate matter emission. Direct water quenching is used almost exclusively in batch manufacture, and the quench water may become contaminated with particulate matter and any soluble components from the melt.

Temperatures in the furnace are typically in the range 1000°C to 1500°C, though lower temperatures are used for high lead frits. During the melting operation metal fume and other particulates may be generated. Residence time in the furnace is typically less than 4 hours.

To produce a slip, the frit must first be finely ground. Grinding is generally carried out in ball mills utilising alumina balls or flint pebbles in water. Further constituents of the glaze or enamel, such as clays, colours, electrolytes and opacifiers, may be added at any desired stage in the grinding cycle. Mill cycle times may vary from 6 to 16 hours. On completion of the milling operation the blended slip is passed over a mesh screen and over a magnet to remove tramp iron. For dry products the resulting slip may be dried or a dry grinding process may be used.

3 PRESENT CONSUMPTION AND EMISSION LEVELS

3.1 Introduction

This chapter provides information on the ranges of consumption and emission levels that are encountered within the Glass Industry across the scope of processes and techniques described in Chapter 2. The inputs and outputs are discussed for the industry as a whole, and then a more specific consideration is made for each sector.

The key emission characteristics, emission sources and energy issues are identified in this chapter and discussed further for each technique in Chapter 4. The information in this chapter is intended to allow the emission and consumption figures for any particular installation being considered for a permit, to be viewed in context against other processes in the same sector or in the Glass Industry as a whole.

The majority of raw materials for the Glass Industry are naturally occurring minerals or manmade inorganic substances. Most of the minerals used occur naturally in abundance and in general there are no major environmental issues associated with the provision of these materials. However, one of the considerations of the IPPC Directive is to minimise the consumption of raw materials commensurate with BAT. The manmade raw materials are generally manufactured in industries that are subject to separate regulation. Process residues and post consumer materials are increasingly important as raw materials for the Glass Industry particularly in the Container Glass and Mineral Wool Sectors.

The main environmental concerns for the Glass Industry as a whole are emissions to atmosphere and energy consumption. Glass making is a high temperature, energy intensive process, and the energy is provided either directly by the combustion of fossil fuels, by electrical heating or by a combination of both techniques. In general the most significant emissions include oxides of nitrogen, particulate matter, sulphur dioxide, halides and in some cases metals. Water pollution is not a major issue for most installations within the glass industry, although clearly there are exceptions. Water is used mainly for cleaning and cooling and is generally readily treated or reused. Process waste levels are relatively low with many solid waste streams being recycled within the process.

The Glass Industry is extremely diverse and the summary above is clearly a very broad generalisation. There are exceptions for specific processing options or for individual plants, and the environmental priorities can differ between sectors. Where these exceptions are inherent in a particular sector they are discussed in the relevant section. However, it is not possible to cover all eventualities for all plants and certain emissions not considered in this document may be encountered at a particular installation. Therefore, the information on process emissions given here should not be considered as exhaustive. The information presented in this section relates to the whole range of plant sizes and operations but does not include special modes such as start-up and shutdown. Some of the lowest emission values relate to the operation of only one plant, which achieves these figures for site specific reasons and the results are not necessarily indicative of BAT for the sector.

Emissions can vary greatly between sectors and between individual installations. The main factors are: inherent differences in the raw materials and products for each sector; the process selection (particularly the melter option); the process scale; and the degree of abatement implemented. When considering the emissions from different sectors and installations it is important to consider, in addition to the emission concentrations, the overall amount of any substance emitted and the mass emitted per tonne of product or melt.

Some of the emission data presented in this chapter is necessarily quite general and may contain quite wide ranges. These ranges are representative but do not necessarily provide enough detail for comparison with a particular installation under consideration. For this reason a number of

case studies that are broadly representative of the given ranges or which represent examples of performance within a particular sector, are presented in Annex 1.

3.2 General Glass Industry Overview

This section gives a qualitative discussion of those issues that are common to most processes and sectors within the Glass Industry. The specific issues relating to each sector are covered in the later sections, which, where possible, present quantitative information for consumption and emission levels. More detailed considerations of the mechanisms of formation of the substances emitted, and of the factors affecting the emission levels are given, where appropriate, in Chapter 4.

3.2.1 Process Inputs

The core process inputs can be divided into four main categories: raw materials (those materials which form part of the product), energy (fuels and electricity), water, and ancillary materials (processing aids, cleaning materials, water treatment chemicals, etc). Energy issues are dealt with separately in Section 3.2.3.

The Glass Industry as described in the document scope includes many different processes with a wide range of products, raw materials and processing options. It is not possible within a document of this type to cover all the process inputs even within the sector specific sections. Therefore, this document concentrates on those inputs that are most common within the industry and those that have greatest effect on the environment.

Glass Industry raw materials are largely solid inorganic compounds, either naturally occurring minerals or man-made products. They vary from very coarse materials to finely divided powders. Liquids and gases are also widely used, both as ancillary materials and as fuels.

Table 3.1 lists the most common raw materials used for the production of glass. Due to the wide range of potential raw materials this table should be viewed as indicative only and not as exhaustive. The raw materials used in product forming and other downstream activities (e.g. coatings and binders) are more specific to each sector and are discussed in later sections. An increasingly important raw material for melting is recycled dust from process abatement systems. The composition of the dust will depend on the nature of the process and whether any absorbents are used.

Raw Material	Form	Description	Source/Comments
Glass forming materials			
Silica Sand	Granular	Principal source of SiO ₂	Quarried either as granular sand or as sandstone, which is subsequently crushed, graded and treated to remove impurities. High purity is required.
Process Cullet	Granular	Glass	Recycled glass from the manufacturing process. Glass composition identical to the glass produced.
Post Consumer Cullet	Granular	Glass	Recycled glass from collection schemes. Cullet purity and colour homogeneity can be variable.
Intermediate and modifying materials			
Nepheline Syenite Na ₂ O.K ₂ O.Al ₂ O ₃ . SiO ₂	Granular	Principle source of aluminium oxide in clear glass.	Quarried, crushed and graded. Low in iron content. Two major sources in the world Norway and China, also Canada.
Sodium Carbonate (Soda Ash – Na ₂ CO ₃)	Granular	Principal source of Na ₂ O.	Manufactured from natural salt using the Solvay process in Europe, and so contains some NaCl. Natural sodium carbonate also imported from the USA. African sources rarely used in Europe.
Limestone (CaCO ₃)	Granular	Principal source of CaO	Natural material quarried/mined, crushed and graded. In stone wool sector limestone is used in larger pieces usually >50mm in diameter.
Dolomite (CaCO ₃ .MgCO ₃)	Granular	Source of CaO and MgO	Natural material quarried, crushed and graded. In stone wool dolomite is used in larger pieces usually >50mm in diameter.
Potassium Carbonate	Granular	Source of K ₂ O	Used in special glass (lead crystal, TV glass, etc). Synthetic product.
Colemanite	Powder	Source of boron.	Natural borate from Turkey, used in continuous glass filaments.
Borax	Granular	Source of boron.	Synthetic sodium borate, mainly from California.
Boric Acid H ₃ BO ₃	Granular	Source of boron.	Synthetic product mainly used in continuous glass filaments.
Feldspar	Granular	Source of Al ₂ O ₃	Main source of alumina in coloured soda-lime glass. Natural product.
Fluorspar CaF ₂	Granular	Source of fluorine.	Natural product used mainly in opal glass.
Lead Oxides	Powder	Source of PbO.	PbO carriers in lead crystal glass, and special glass.
Barium Carbonate	Granular	Source of barium oxide BaO	Manufactured product used mainly in special glass.
Basalt	Granular	Alumino-silicate	In stone wool it is used in larger pieces usually >50mm in diameter.
Anhydrous Sodium Sulphate	Granular	Refining and oxidising agent, source of Na ₂ O	Manufactured product
Calcium Sulphate and Gypsum	Granular	Refining and oxidising agent, secondary source of CaO	Natural material or manufactured product
China Clay	Powder	Source of alumina.	Natural product used mainly in continuous glass filaments.
Sodium Nitrate	Granular	Refining and oxidising agent, source of Na ₂ O	Manufactured product
Potassium Nitrate	Granular	Refining agent, oxidising agent, source of K.	Manufactured product.
Antimony Oxide	Powder	Refining and oxidising agent	Manufactured product, mainly special glass formulations.
Arsenic Trioxide	Powder	Refining and oxidising agent	Manufactured product, mainly special glass and lead crystal formulations.
Slag	Granular	Source of	By-product of blast furnace. Particle size must be

Raw Material	Form	Description	Source/Comments
Mixed Ca, Al, Mg, Fe silicate and sulphide		aluminium oxide, modifying oxides, refining agents, flux and colouring species.	adjusted to glass raw material.
Carbon	Granular or powder	Reducing agent	Manufactured or processed natural product, small amounts used to produce a glass with a reduced oxidation state when manufacturing green, amber and sometimes clear glass.
Sodium chloride	Crystals	Fining agent	Used in some borosilicate glasses.
Colouring agents			
Iron Chromite (Fe ₂ O ₃ .Cr ₂ O ₃)	Powder	Colouring agent	Quarried, crushed and graded. Iron chromite is the colouring agent used for producing green container glasses
Iron Oxide (Fe ₂ O ₃)	Powder	Colouring agent	Manufactured product used mainly as a colouring agent in green and amber glasses.
Cobalt Oxide	Powder	Colouring agent	Manufactured product used both as a decolouriser and as colorant to produce blue glass.
Selenium metal/zinc or sodium selenite	Powder	Colouring agent	Manufactured product, also trace quantities used as a "decolouriser" (colour corrector). Large quantities used for bronze glass.

Table 3.1: Common raw materials utilised in the Glass Industry [tm18 CPIV]

The Glass Industry as a whole is not a major consumer of water, the main uses being cooling, cleaning and batch humidification. Some sectors use water for other purposes, which are discussed further in the sector specific sections. Where practicable water circuits are closed loops with make up of evaporative losses. Water can be taken either from the mains supply or from natural sources.

The term ancillary materials is used to describe those substances which are used in the manufacture of the products but which do not form part of the final product. For example, the tin and hydrogen used in float glass baths, oxygen in oxy-fuel fired systems, sulphur dioxide in flat glass (and occasionally container glass) surface treatment, and the cutting compounds and polishing acids used in lead crystal production. These types of materials are generally quite specific to each sector and are discussed in the later sections. The impact of these materials on process emissions will vary from case to case. Some can be quite significant e.g. acid polishing, while others are very low e.g. tin emissions from float baths.

Glass making is an energy intensive process and therefore fuels can form a significant input to the processes. The main energy sources within the Glass Industry are fuel oil, natural gas and electricity. Energy and fuel issues are discussed in Section 3.2.3 and in the sector specific sections.

3.2.2 Process Outputs

The core process outputs can be divided into five main categories: product, emissions to air, liquid waste streams, solid process residues, and energy. Liquid and solid waste streams can be recycled or disposed of, depending on process specific issues. In general, glass installations do not have significant co-product or by-product streams. However, it is becoming increasingly common for material that would otherwise be disposed of as a waste stream to be converted into a saleable (or no cost) form, for use as either a feedstock for other processes or as an end product.

In general, glass making involves the melting of a significant mass of materials such as metal oxides, carbonates, sulphates and nitrates. On melting these substances decompose and release gases such as carbon dioxide, water vapour, and oxides of sulphur and nitrogen. The batch materials may also contain moisture (between 0 and 4 %, either physically or chemically incorporated), and as the material is heated water vapour is released. In general, between 3 % and 20 % of the batch weight may be emitted as gases. Where high levels of cullet are used the figure will be at the lower end of this range. (1 tonne of cullet replaces approximately 1.2 tonnes of virgin raw material.)

Other outputs from the processes can include noise and odours. Noise arises from a range of activities including: fans, motors, material handling; vehicle movements, engineering activities, and compressed air systems. Noise is not considered to be a particular problem in the Glass Industry. However, noise sources clearly exist and could lead to problems with any close residential developments. In general, any problems are readily dealt with by good design and where necessary, noise abatement techniques. Certain pollution control techniques can also require noise control, which can add to the overall cost of the technique. Odours are not generally a problem within the Glass Industry, but they can arise from certain activities and measures may be required to avoid problems off-site. The main activities that can be associated with odour problems are mineral wool curing, cullet preheating and sometimes oil storage.

3.2.2.1 Emissions to Air

Raw materials

All of the sectors within the Glass Industry involve the use of powdered, granular or dusty raw materials. The storage and handling of these materials represents a significant potential for dust emissions. The movement of materials through systems incorporating silos and blending vessels results in the displacement of air, which if uncontrolled could contain very high dust concentrations. This is particularly true if pneumatic transfer systems are used. The transfer of materials using conveyor systems and manual handling can also result in significant dust emissions.

Many processes in the Glass Industry involve the use of cullet (either internal or external) which may require sorting and crushing prior to use in the furnace. Like all similar processes this has the potential for dust emissions. The level of emissions will depend on factors such as the design of the facility, if extraction is filtered before discharge, how well buildings are sealed, etc. Some processes also involve the use of volatile liquids, which can result in releases to air from tank breathing losses and from the displacement of vapour during liquid transfers.

Melting

For many of the processes falling within the scope of this document the greatest potential for environmental pollution arises from the melting activities. In general, the main environmental pollutants arising from melting are:

- the products of fossil fuel combustion and the high temperature oxidation of nitrogen in the combustion atmosphere (i.e. sulphur dioxide, carbon dioxide, and oxides of nitrogen),
- particulate matter arising mainly from the volatilisation and subsequent condensation of volatile batch materials, and
- gases emitted from the raw materials and melt during the melting processes.

Where 100 % electrical heating is used the emissions of combustion products and thermally generated NO_x are eliminated, and particulate emissions arise principally from batch carry over. The partial substitution of fossil fuel firing with electrical heating will reduce direct emissions from the installation, depending on the level of substitution and the particular combustion conditions. Oxy-fuel firing greatly reduces the level of nitrogen in the furnace and so reduces

the potential for NO_x formation. There are usually off-site emissions associated with the generation of electricity and oxygen, which should be taken into consideration when assessing overall environmental impact.

The furnaces encountered within the Glass Industry, and within each sector, vary considerably in size, throughput, melting technique, design, age, raw materials utilised, and the abatement techniques applied. Therefore, there is considerable variation in the emissions reported. There are also significant differences in the methodologies used for measuring emissions, and this can make direct comparisons of some actual data misleading. The minimum values are not always necessarily indicative of best technology and may only reflect more favourable operating conditions (e.g. high volume stable production, or low emission compositions) or plants with lower output. Clearly many of the lower releases represent those modern plants with advanced abatement measures, or “clean” technologies. The main emissions arising from melting activities within the Glass Industry are summarised in Table 3.2 below.

Emission	Source / Comments
Particulate matter	Condensation of volatile batch components. Carry over of fine material in the batch. Product of combustion of some fossil fuels.
Oxides of Nitrogen	Thermal NO _x due to high melter temperatures. Decomposition of nitrogen compounds in the batch materials. Oxidation of nitrogen contained in fuels.
Oxides of Sulphur	Sulphur in fuel. Decomposition of sulphur compounds in the batch materials. Oxidation of hydrogen sulphide in hot blast cupola operations.
Chlorides/HCl	Present as an impurity in some raw materials, particularly man made sodium carbonate and external cullet. NaCl used as a raw material in some special glasses.
Fluorides/HF	Present as a minor impurity in some raw materials, including external cullet. Added as a raw material in the production of enamel frit to provide certain properties in the finished product. Added as a raw material in the continuous filament glass fibre industry, and in some glass batches to improve melting, or to produce certain properties in the glass e.g. opalescence. Where fluorides are added to the batch, typically as fluorspar, uncontrolled releases can be very high.
Heavy Metals (e.g. V, Ni, Cr, Se, Pb, Co, Sb, As, Cd)	Present as minor impurities in some raw materials, post consumer cullet, and fuels. Used in fluxes and colouring agents in the frit industry (predominantly lead and cadmium). Used in some special glass formulations (e.g. lead crystal and some coloured glasses). Selenium is used as a colourant (bronze glass), or as a decolourising agent in some clear glasses.
Carbon Dioxide	Combustion product. Emitted after decomposition of carbonates in the batch materials (e.g. soda ash, limestone).
Carbon Monoxide	Product of incomplete combustion, particularly in hot blast cupolas.
Hydrogen Sulphide	Formed from raw material or fuel sulphur in hot blast cupolas due to the reducing conditions found in parts of the furnace.

Table 3.2: Summary of emissions to atmosphere arising from melting activities

Heavy metal and trace element emission concentrations can be significant from some processes, and are generally present in the dust. Table 3.3 below is taken from [tm41 VDI2578] and shows some actual examples. The figures below can generally be taken to be illustrative maximum figures and are not indicative of the use of BAT.

Metal	Container Glass	Flat Glass	Lead Crystal Glass
Vanadium (when firing fuel oil)	up to 4 mg/Nm ³	up to 2 mg/Nm ³	
Nickel (when firing fuel oil)	up to 0.5 mg/Nm ³	up to 0.4 mg/Nm ³	
Chromium (green glass)	up to 3 mg/Nm ³		
Selenium	up to 1 mg/Nm ³		
Selenium, gaseous (flint hollow glass)	up to 14 mg/Nm ³		
Lead	up to 4 mg/Nm ³	up to 1 mg/Nm ³	up to 700 mg/Nm ³
Cadmium	up to 0.3 mg/Nm ³	up to 0.1 mg/Nm ³	
Antimony			up to 10 mg/Nm ³
Arsenic			up to 20 mg/Nm ³

Table 3.3: Potential heavy metal emissions from glass processes [tm41 VDI2578]

Downstream Activities

This term is used to describe activities undertaken following melting, for example, forming, annealing, coating, processing, etc. The emissions from downstream activities can vary greatly between the different sectors and are discussed in the sector specific sections. Although many of the sectors share some similar melting techniques the downstream activities tend to be exclusive to each sector. In general, emissions to air can arise from:

- coating application and/or drying (e.g. mineral wool, continuous filament glass fibre, container glass, and some flat glass);
- from any activities performed on the materials produced such as cutting, polishing, or secondary processing (e.g. mineral wool, domestic glass, special glass, ceramic fibre); and
- from some product forming operations (e.g. mineral wool, and ceramic fibre).

3.2.2.2 Emissions to Water

In general, emissions to the water environment are relatively low and there are few major issues that are specific to the Glass Industry. In general water is used mainly for cleaning and cooling and can be readily recycled or treated using standard techniques.

Most activities will use some liquids even if only water treatment chemicals and lubricants or fuel oil. All liquid raw materials pose a potential threat to the environment through spillage or containment failure. In many cases basic good practice and design is sufficient to control any potential emissions. Specific issues relating to aqueous emissions are discussed in the sector specific sections.

3.2.2.3 Emissions of Other Wastes

A characteristic of most of the Glass Industry sectors is that the great majority of internally generated glass waste is recycled back to the furnace. The main exceptions to this are the Continuous Filament Sector, the Ceramic Fibre Sector and producers of very quality sensitive products in the Special Glass and Domestic Glass Sectors. The Mineral Wool and Frits Sectors show a wide variation in the amount of waste recycled to the furnace ranging from nothing to almost 100 % for some stone wool plants. Other waste production includes waste from raw material preparation and handling, waste deposits (generally sulphates) in waste gas flues, and waste refractory materials at the end of the life of the furnace.

In some sectors of the Glass Industry chromium containing refractories are used for the construction of upper walls, crowns and regenerators. The chromium when combined with magnesia to form mag-chrome bricks is very resistant to batch carryover and combustion products at the high temperatures that exist in the regenerator chambers. The chromium used in the preparation of these materials, Cr^{3+} , is essentially non-hazardous, has low solubility and presents little risk. However, at high temperatures under alkaline and oxidising conditions, small amounts of the chromium will convert to Cr^{6+} during the furnace campaign. Cr^{6+} compounds are highly soluble, toxic and carcinogenic.

As with all furnace waste every effort is made at the end of a campaign to have the materials recycled. Where this is not possible, the Cr^{6+} content of the used mag-chrome refractories will be determined to ensure that they are correctly classified and disposed of appropriately. The industry is gradually reducing the amount of chromium containing refractories by development and redesign.

Small tonnages of high purity chromic oxide refractories may also be used. They are generally purchased on the basis that at the end of a campaign they will be taken back by the manufacturer for recycling. In some continuous glass filament furnaces large amounts of this material are used.

3.2.3 Energy

[tm14 ETSU, tm18CPIV]

Glass making is energy intensive and the choices of energy source, heating technique and heat recovery method are central to the design of the furnace. The same choices are also some of the most important factors affecting the environmental performance and energy efficiency of the melting operation. Thus, one of the most important inputs to the glass making process is energy, and the three main energy sources are fuel oil, natural gas and electricity. The exception to this is the manufacture of stone wool where the predominant melting technique is the hot blast cupola, which is fuelled by coke.

In recent decades the predominant fuel for glass making has been fuel oil, although the use of natural gas is increasing. There are various grades of fuel oil from heavy to light, with varying purity and sulphur content. Many large furnaces are equipped to run on both natural gas and fuel oil, and it is not uncommon for predominantly gas-fired furnaces to burn oil on one or two ports. The third common energy source for glass making is electricity, which can be used either as the only energy source or in combination with fossil fuels. Resistive electrical heating is the only technique to have found widespread commercial application within the Glass Industry. Indirect electric heating has only been used for very small tanks and pot furnaces or for heating part of a tank (e.g. the working end or forehearth).

In general, the energy necessary for melting glass accounts for over 75 % of the total energy requirements of glass manufacture. Other significant areas of energy use are forehearths, the forming process, annealing, factory heating and general services. The typical energy use for the Container Glass Sector, which accounts for around 60 % of EU output is: furnace 79 %, forehearth 6 %, compressed air 4 %, Lehr 2 %, and others 6 %. Throughout this document the energy figures relate to energy at the point of use, and are not corrected to primary energy.

Although there are wide differences between sectors and individual plants the example for container glass can be considered as broadly indicative for the industry. The main exception to this generalisation is the Mineral Wool Sector where the fiberising operation and the curing oven are also major energy consumers.

As discussed earlier fuel oil and natural gas are the predominant energy sources for melting, with a small percentage of electricity. Forehearths and annealing lehrs are heated by gas or electricity, and electrical energy is used to drive air compressors and fans needed for the

process. General services include water pumping, steam generation for fuel storage and trace heating, humidification/heating of batch, and heating buildings. Some furnaces have been equipped with waste heat boilers to produce part or all of the steam required.

In order to provide a benchmark for process energy efficiency it is useful to consider the theoretical energy requirements for melting glass. The theoretical energy requirements for the three most common glasses are given in Table 3.4. The calculation assumes all available heat is fully utilised and has three components:

- the heat of reaction to form the glass from the raw materials;
- the heat required, enthalpy, to raise the glass temperature from 20 °C to 1500 °C; and
- the heat content of the gases (principally CO₂) released from the batch during melting.

	Soda-Lime (Flat/Container Glass) GJ/tonne	Borosilicate (8 % B₂O₃) GJ/tonne	Crystal Glass (19 % PbO) GJ/tonne
Heat of reaction	0.49	0.41	0.40
Enthalpy of glass	1.89	1.70	1.69
Enthalpy of gases emitted	0.30	0.14	0.16
Theoretical energy requirement	2.68	2.25	2.25

Table 3.4: Theoretical energy requirements for melting common glass formulations [tm14 ETSU]

The actual energy requirements experienced in the various sectors vary widely from about 3.5 to over 40 GJ/tonne. This figure depends very heavily on the furnace design, scale and method of operation. However, the majority of glass is produced in large furnaces and the energy requirement for melting is generally below 8 GJ/tonne. Energy consumption is considered further for each sector where information is available.

Because glass making is such an energy intensive, high temperature process there is clearly a high potential for heat loss. Substantial progress with energy efficiency has been made in recent years and some processes (e.g. large regenerative furnaces) are approaching the theoretical minimum energy consumption for melting, taking into account the inherent limitations of the processes.

A modern regenerative container furnace will have an overall thermal efficiency of around 50 % (maximum 60 %), with waste gas losses around 20 %, and structural losses making up the vast majority of the remainder. This efficiency compares quite well with other large-scale combustion activities particularly electricity generation which typically has an efficiency of around 30 %. Structural losses are inversely proportional to the furnace size, the main reason being the change in surface area to volume ratio. Electrically heated and oxy-fuel fired furnaces generally have better specific energy efficiencies than fossil fuel furnaces, but have associated drawbacks which are discussed later in this document.

Some of the more general factors affecting the energy consumption of fossil fuel fired furnaces are outlined below. For any particular installation it is important to take account of the site-specific issues which will affect the applicability of the general comments given below. These factors also affect the emissions per tonne of glass of those substances which relate directly to the amount of fossil fuel burned, particularly CO₂, SO₂ and NO_x.

- a) The capacity of the furnace significantly affects the energy consumption per tonne of glass melted, because larger furnaces are inherently more energy efficient due to the lower surface area to volume ratio.

- b) The furnace throughput is also important, with most furnaces achieving the most energy efficient production at peak load. Variations in furnace load are largely market dependent and can be quite wide, particularly for some container glass and domestic glass products.
- c) As the age of a furnace increases its thermal efficiency usually declines. Towards the end of a furnace campaign the energy consumption per tonne of glass melted may be up to 20 % higher than at the beginning of the campaign.
- d) The use of electric boost improves the energy efficiency of the furnace. However, when the cost of electricity, and the efficiency of electrical generation and distribution, are taken into account the overall improvement is lower (or even negative). Electric boost is generally used to improve the melting capability of the furnace rather than to improve energy efficiency.
- e) The use of cullet can significantly reduce energy consumption, because the chemical energy required to melt the raw materials has already been provided. As a general rule each 10 % increase in cullet usage results in an energy saving of 2 - 3 % in the melting process.
- f) Oxy-fuel firing can also reduce energy consumption, particularly in smaller furnaces. The elimination of the majority of the nitrogen from the combustion atmosphere reduces the volume of the waste gases leaving the furnace by 60 - 80 %. Therefore, energy savings are possible because it is not necessary to heat the atmospheric nitrogen to the temperature of the flames.

Energy efficiency is a very complex issue that is dealt with further in the sector specific sections of this chapter and in Chapter 4. Since the 1960s the Glass Industry as a whole has reduced specific energy consumption by approximately 1.5 % per year. Today this figure is lower, as the thermodynamic limits are approached.

Table 3.5 is taken from the German VDI guideline [tm41 VDI2578] and gives a useful summary of specific energy consumption for a range of modern, energy efficient glass furnaces.

Tank furnace type	Glass type	Melting area *) m ²	Glass bath depth Melting end mm	Tank capacity Melting end metric t	Length/width ratio of the tank bath	Output metric t/d	Specific output metric t/m ² d	Specific energy consumption **) kJ/kg glass
Cross-fired furnace with regenerative air preheating	Container glass or water glass	15 – 155	1200 – 1700	50 – 500	1.9 – 3.0 : 1	40 – 500	2.5 – 4.0	4200
Regenerative end fired furnace	Container glass	15 – 140	1200 – 1700	50 – 500	1.9 – 2.5 : 1	40 – 450	2.5 – 4.0	3800
Recuperative furnace	Container glass	up to 250	1100 – 1600	50 – 650	2.0 – 2.8 : 1	40 – 450	2.0 – 3.0	5000
Fuel-oxygen-fired furnace ***)	Container glass	110 – 154	1300 – 1700	390 – 600	2.0 – 2.4 : 1	350 – 425	2.3 – 3.5	3050 – 3500
Cross-fired furnace with regenerative air preheating	Flat glass	100 – 400	1200 – 1400	300 – 2500	2.1 – 2.8 : 1	150 – 900	2.3 – 2.7	6300
Cross-fired furnace with regenerative air preheating	Television tube glass (screen)	70 – 300	900 – 1100	160 – 700	2.0 . 3.0 : 1	100 – 500	1.1 – 1.8	8300
Furnace with recuperative air preheating	Tableware	15 – 60	1100 – 1300	40 – 180	1.8 – 2.2 : 1	15 – 120	1.0 – 2.0	6700
Furnace with recuperative air preheating	Glass fiber	15 - 110	800 - 1500	50 - 200	2.8 : 1	30 - 350	3.4	4300

- *) Surface area of glass furnace for glass melting and refining; normally the area between the doghouse and the throat; in the case of float glass furnaces without the unheated conditioning area.
- **) Specific energy consumption without working end and feeder during start-up and nominal load operation (tank aging 0.1 to 0.2 % per month; without electrical boosting, melt preheating and secondary waste heat utilization)
standardized to 70 % cullet for container glass
 20 % cullet for float glass
 40 % cullet for television tube glass and tableware
- Energy savings per percent of additional cullet used: 0.15 to 0.3 %
- The specific energy consumption figures given are approximate guide values for new medium-size and large plants. They are not suitable for energy balance considerations owing to the large differences which occur in individual cases. The effective specific energy consumption is dependent not only on the cullet content and the tank age, but also, inter alia, on batch composition, air preheating, specific tank loading, insulation of the tank and the required glass quality standard.
- ***) The data indicated are based on the operating experience with two commercial plants using oxy-fuel-technology. The energy required for oxygen production is not included in the specific energy consumption.

Table 3.5: Examples of specific energy consumption for a range of glass furnaces [tm41 VDI2578]

3.3 Container Glass

[tm18 CPIV]

As described in Chapter 1 the Container Glass is the largest sector of the EU Glass Industry representing around 60 % of total production. In 1997 there were 295 furnaces operating at 140 installations. Furnace types include cross fired regenerative, end fired regenerative, recuperative, electrical, and oxy-gas fired furnaces; and the sizes also vary widely from less than 50000 tonnes per year (10000 for perfume bottle production) to over 150000 tonnes per year. Production from an installation with several furnaces can be more than 1000 tonnes per day.

Clearly such a large and varied sector leads to significant variations in the amount and types of process inputs and outputs. However, products of this sector are almost exclusively produced using soda-lime or modified soda-lime formulations, and so the variation in glass making raw materials is limited.

The ratio of raw material input to melt produced will vary depending on the level of cullet used, which affects the amount of gases lost from the raw materials on melting. Degassing and drying of the raw materials can account for between 3 % and 20 % of the input, and 1 tonne of cullet replaces approximately 1.2 tonnes of virgin raw materials. Pack to melt ratio can range from 50 % to over 90 % with most glass waste recycled to the furnace.

Table 3.6 below gives an overview of the major inputs to and outputs from the process. The emissions represent typical midrange furnaces.

	Units/tonne (glass melted)	Range (mean value)			
Inputs					
Post consumer cullet	tonne	0	-	0.85	(0.40)
Silica sand	tonne	0.04	-	0.66	(0.35)
Carbonates	tonne	0.02	-	0.40	(0.20)
Minor mineral ingredients	tonne	0.002	-	0.05	(0.02)
Furnace refractory materials	tonne	0.005	-	0.01	(0.008)
Packaging materials	tonne	0.040	-	0.080	(0.045)
Moulds and other	tonne	0.004	-	0.007	(0.005)
Energy, fuel/gas total (1)	GJ	4	-	14	(6.5)
Energy, electricity total (1)	GJ	0.6	-	1.5	(0.8)
Water	m ³	0.3	-	10	(1.8)
Outputs					
Finished, packed products	tonne	0.75	-	0.97	(0.91)
Atmospheric emissions					
- CO ₂	kg	300.	-	1000.	(430.)
- NO _x	kg	1.2	-	3.9	(2.4)
- SO _x	kg	0.5	-	7.1	(2.5)
- dust (without secondary abatement)	kg	0.2	-	0.6	(0.4)
- dust (with secondary abatement)	kg	0.002	-	0.05	(0.024)
- HCl (without secondary abatement)	kg	0.02	-	0.08	(0.041)
- HCl (with secondary abatement)	kg	0.01	-	0.06	(0.028)
- HF (without secondary abatement)	kg	0.001	-	0.022	(0.008)
- HF (with secondary abatement)	kg	0.001	-	0.0011	(0.003)
- metals (without secondary abatement)	kg	0.001	-	0.011	(0.006)
- metals (with secondary abatement)	kg	0.000	-	0.002	(0.001)
- H ₂ O (evaporation and combustion)	tonnes	0.3	-	10	(1.8)
Waste water	m ³	0.2	-	9.9	(1.6)
Waste to recycling	tonnes	0.002	-	0.006	(0.005)
Other waste	tonnes	0.003	-	0.015	(0.005)

Table 3.6: Overview of Container Glass Sector inputs and outputs [tm18 CPIV]

(1) Total energy (furnace + other) for a typical plant operating fossil fuel fired furnaces.

3.3.1 Process Inputs

Glass forming materials	Silica sand, process cullet, post consumer cullet.
Glass intermediate and modifying materials	Sodium carbonate, limestone, dolomite, sodium sulphate, blast furnace slag, feldspar, nepheline syenite, potassium carbonate, carbon, filter dust.
Glass colouring and decolouring agents	Iron chromite, iron oxide, iron sulphide, cobalt oxide, cerium oxide, selenium or zinc selenite.
Product coating agents (hot coating)	Inorganic or organic metal chlorides. Predominantly tin tetrachloride, titanium tetrachloride and monobutyl tin chloride.
Product lubricants	Polyethylene based lubricants and fatty acids (e.g. oleic acid).
Fuels	Fuel oil, natural gas, electricity, butane, propane.
Water	Mains supply and local natural sources (wells, rivers, lakes etc).
Ancillary Materials	Packaging materials including plastics, paper, cardboard, and wood. Mould lubricants, generally high temperature graphite based release agents. Machine lubricants, predominantly mineral oils. Process gases, oxygen and sulphur dioxide. Water treatment chemicals for cooling water and wastewater.

Table 3.7: Materials utilised in the Container Glass Sector (CPIV Jan98)

The largest inputs to the process are the silica containing materials (sand and glass cullet) and the carbonates (soda ash, dolomite and limestone). The raw materials for the glass batch are blended in the correct proportion to produce the range of glass compositions identified in Chapter 2. In most container glass compositions the oxides of silicon, sodium and calcium account for over 90 % of the glass (SiO_2 71 - 73 %, Na_2O 12 - 14 % and CaO 10 - 12 %). The silicon dioxide is derived mainly from glass cullet and sand. Sodium oxide is derived mainly from glass cullet and soda ash; and calcium oxide mainly from glass cullet, limestone and to a lesser extent dolomite.

Many container glass processes utilise a substantial level of glass cullet in the batch materials, with the sector average at around 48 %, made up of internal cullet and post consumer cullet. The use of post consumer cullet varies greatly (from 0 to >80 %) but almost all processes will recycle their internal cullet which is usually around 10 % of the batch. The inputs of the other glass making materials, particularly sand, soda ash, limestone and dolomite, will vary depending on the amount of cullet used and its composition.

The use of product surface treatment materials, i.e. coatings and lubricating treatments, varies from process to process. However, the amounts of material used are very low relative to glass making raw materials. On average a single production line uses 2 to 10 kg/day of the coating agents and a similarly low level of lubricant treatments.

The fuels used will vary from process to process, but in general, fuel oil, natural gas and electricity are used for glass melting, either separately or in combination. Forehearth and annealing lehrs are heated by gas or electricity, which are also used for heating and general services. Light fuel oil, propane and butane are sometimes used as backup fuels.

The main uses of water in the Container Glass Sector are for cooling circuits and cleaning. Water is frequently used (generally as steam) to humidify the batch materials (0 to 4 % moisture) to avoid raw material separation and to reduce dust carry-over from the furnace. Cooling water is used, usually in closed or open circuits, to cool various equipment and the hot glass from production rejects, with corresponding losses from evaporation and purges. Actual

water consumption and water vapour emissions may vary according to local conditions (e.g. ambient temperature and the hardness of water input).

3.3.2 Emissions to Air

3.3.2.1 Raw Materials

In most modern container glass processes silos and mixing vessels are fitted with filter systems which reduce dust emissions to below 5 mg/m³. Mass emissions from both filtered and unfiltered systems will depend on the number of transfers, granule size, and the amount of material handled.

3.3.2.2 Melting

In the Container Glass Sector the greatest potential environmental emissions are emissions to air from the melting activities. The substances emitted and the associated sources are identified in Section 3.2.2.1. The majority of furnaces in this sector are heated predominantly with fossil fuels, both natural gas and fuel oil. However, due to the large size and wide distribution of the sector there is a particularly wide range of furnaces in operation giving rise to a very wide range of emission levels. In the tables below emission ranges are divided into those with and without secondary measures. At the lower end of the range for installations without secondary measures some of the primary techniques are quite advanced, and conversely at the high end of the range no specific emission reduction measures are likely to have been taken.

Reported emission levels are given in Table 3.8. The source of this table is a statistical study made among members of the container glass trade association FEVE on data from 228 fossil fuel fired furnaces, with and without electric boosting, from the entire spectrum of furnace and product types. Data refers to measurements made in 1996 and 1997. Sampling and measurement techniques are not standardised and the data can only be considered as indicative of the range of actual emissions at the time of the survey. The data for metals emissions was supplied for only 42 % of the furnaces and the metals included may differ.

About 30 % (72/228) of the container glass furnaces in the FEVE study are equipped with secondary abatement. The secondary abatement referred to is in all cases dust abatement, by an EP or (less frequently) a bag filter, generally with upstream desulphuring. Filter dust is recycled in all cases into the glass melt, within the limits imposed by possible substitution of raw materials. Overall reduction of sulphur oxide emissions thus corresponds in current practice to the substitution of sulphate in raw materials. The desulphuring is considered as secondary abatement for other acid gases (HCl & HF) with similar limitations on the overall effect due to recycling of filter dust. Secondary abatement of NO_x (by SCR) is only installed in one EU container plant (4 furnaces), but at least one furnace is thought to have a 3R licence.

Low values for NO_x (<600 mg/Nm³ or <1 kg/t) can be observed on certain furnaces without secondary abatement. The factors enabling these low values are described in Section 4.4.2, with indication of applicability to existing installations. High values (>2000 mg/Nm³) should only be observed in special cases, e.g. where nitrates are required as a refining/oxidising agent, or for certain existing furnace configurations where high local flame temperatures and/or uncontrolled air leakage into the flames are difficult to avoid.

For SO_x, low values (<300 mg/Nm³) represent situations with low sulphur input from fuel, low sulphate in batch and no excess SO_x from cullet. High values are uniquely due to the use of high sulphur fuels, the use of which is progressively declining in the EU.

Low values for dust (<100 mg/Nm³) may be observed without secondary abatement in particular circumstances, but such low values are infrequent at the time of writing. Very high

values ($>400 \text{ mg/Nm}^3$) are observed for example from unabated emissions from borosilicate furnaces. Measurements of dust emissions are particularly subject to errors both in the techniques used and due to the complex nature of the equilibrium between the different sulphur compounds. Some high or low values of dust concentration reported may thus be due to measurement error.

For HCl low values ($<10 \text{ mg/Nm}^3$) may be observed without secondary abatement where low chloride sodium carbonate (from natural deposits) and high cullet levels are employed. Note that in the case of high local recycling rates associated with recycling of filter dust, chloride will progressively build up in the raw waste gas, particularly when chloride from “hot end” surface treatment is abated in the same system. In this case secondary abatement, (in combination with desulphuring) will not necessarily be associated with the lowest emission values, particularly as the conditions used for desulphuring may not be optimal for dechlorination with the same absorbing reagent. High values ($>50 \text{ mg/Nm}^3$) will generally be due to high chloride content of manufactured sodium carbonate.

Fluoride is an incidental impurity in certain natural raw materials. It may be present as an impurity in recycled glass (e.g. from fluoride containing opal glass that, although excluded by cullet specifications, may be present in small quantities). No generalities can be made about low values (without secondary abatement), or high values, which correspond to particularly favourable or unfavourable cases.

Low values for metals ($<1 \text{ mg/Nm}^3$) may be observed on unabated waste gases in favourable cases, particularly low cullet levels (for lead impurities), low vanadium fuel or gas firing and in the absence of selenium in raw materials (which is the case for all except certain white flint glasses). High values ($>5 \text{ mg/Nm}^3$) are generally associated with high cullet rates (lead), fuel firing or white flint glass production (selenium).

The data for Table 3.9 is from the same FEVE study as for Table 3.8, split into populations with and without secondary abatement (72/228 and 156/228 furnaces respectively for the main case of dust abatement). The 80 % middle range (P10 to P90) is as an indication of the performance of the majority of EU-wide installations in 1996 – 1997.

Total Range of Container Glass Melting Furnaces				
Emission type	Without Secondary Abatement With or without primary measures		With Secondary Abatement	
	mg/Nm ³	kg/t glass melted	mg/Nm ³	kg/t glass melted
NO _x (as NO ₂)	400 – 5000	0.6 - 11.7	<400	<0.74
SO _x (as SO ₂)	100 – 4500	0.2 - 9.8	100 - 1637	0.2 - 3.4
Dust	40 – 800	0.1 - 1.9	1 - 32	0.002 - 0.22
HCl	5 – 62	0.01 - 0.12	7 - 30	0.01 - 0.07
HF	1 – 70	≤ 0.16	≤ 1 - 6	≤ 0.02
Metals	≤ 1 – 16	≤ 0.017	≤ 1 - 3	≤ 0.003
Cullet Rate	5 - 95 %			
Typical Load	25 - 600 t/day			
Specific Energy Melting only incl. Boosting	3.2 - 12.2 [GJ/t]			

Table 3.8: Total emission ranges reported for Container Glass Sector furnaces with primary and secondary abatement measures.

(See remarks for Table 3.9 below)

Emission type	Middle 80 % (P10 to P90) of Container Glass Melting Furnaces Without Secondary Abatement With or without primary measures		Middle 80 % (P10 to P90) of Container Glass Melting Furnaces With Secondary Abatement	
	mg/Nm ³	kg/t glass melted	mg/Nm ³	kg/t glass melted
NO _x (as NO ₂)	600 - 2000	1.2 - 3.9	<400	<0.74
SO _x (as SO ₂)	250 - 3200	0.5 - 7.2	230 - 1500	0.4 - 2.8
Dust	100 - 270	0.2 - 0.6	2 - 32	0.002 - 0.05
HCl	10 - 40	0.02 - 0.08	7 - 30	0.01 - 0.06
HF	1 - 11	≤ 0.027	≤ 1 - 5	≤ 0.011
Metals	0.2 - 8	≤ 0.016	≤ 1	≤ 0.002
Cullet Rate	18 - 80 %			
Typical Load	100 - 360 t/day			
Specific Energy Melting only Inc. Boosting	3.9 - 6.4 [GJ/t]			

Table 3.9: Mid 80 percentile emission ranges for Container Glass Sector furnaces with primary and secondary abatement measures

Remarks:

- Relation between emissions in mg/Nm³ and kg/tonne is given by volume factor Nm³ waste gas/tonne glass obtained from fuel consumption, fuel type and cullet rate (the cullet rate gives a correction to degassing of raw materials)
- Reference conditions are: dry, temperature 0°C (273K), pressure 101.3 kPa, 8 % oxygen by volume.

3.3.2.3 Downstream Activities

The application of hot surface coatings and cold surface treatments can give rise to emissions of fume and vapours, principally HCl and tin compounds. The levels of emissions will vary between processes and will depend on many factors. The German VDI Guidelines (VDI 2578) quote the following concentrations found in waste gases from hot coating activities.

HCl	30 to 95 mg/m ³ .
Tin (particulate matter)	0.006 to 10 mg/m ³ .
Tin (gaseous)	0.4 to 15 mg/m ³ .

Mass emissions are quite low due to the low amounts of substance used, and concentrations will depend heavily on the amount of extraction air applied. Methods for controlling these emissions are discussed in Chapter 4. To date, the control of these substances seems to have concentrated on the control of workplace exposure levels. Wherever, HCl containing waste gas from hot end coating is combined with waste gas with a significant organics content, consideration must be given to the potential for the formation of dioxins and furans.

The forming processes are highly mechanised which can give rise to mists of lubricating oils but these are controlled according to workplace exposure levels and do not represent a significant emission to air. However, they do represent a potential hydrocarbon contamination of wastewater discharges.

3.3.3 Emissions to Water

[tm18 CPIV]

As discussed earlier the main uses of water in this sector are cleaning, cooling water systems, hot glass rejects cooling and batch humidification. The aqueous emissions are limited to the cooling water system purges, cleaning waters and surface water run off. The cleaning waters do

not present any particular issues that would not be common with any industrial facility i.e. inert solids and potentially oil. Cooling system purges will contain dissolved salts and water treatment chemicals. Surface water quality will depend on the degree of drainage segregation and site cleanliness.

Only the circuit for cooling and fragmenting hot glass rejects is particular to the sector. This recycled water may contain fine particles of glass from fragmentation and from the action of mechanical scraper systems used to dredge the glass from the water troughs. The chutes bringing the glass to the collection system may also bring small quantities of oil from the machines and oil or soluble oil/water mixtures used in the shear and delivery mechanisms. The circuit thus generally includes a solids and oil separator, which also serves to give suitable thermal inertia to the system during mould changing or incidents on forming machines, when large quantities of glass must be cooled. Separated glass solids are usually recycled in the raw materials. Open circuit cooling is generally used to allow for more rare severe incidents when large quantities of hot glass must be cooled (major furnace leakage or incident causing interruption of forming operations).

Excluding domestic wastewater, discharges generally contain only glass solids, some oil contamination, and cooling water system treatment chemicals. Simple pollution control techniques such as settlement, screening, oil separators, and neutralising can be found within the sector.

3.3.4 Other Wastes

[tm18 CPIV]

It is a characteristic of the Container Glass Sector that in all but exceptional cases, all process waste may be recycled directly on site. This includes glass rejects from the forming and quality control stages, but also waste from raw materials handling, abatement equipment dust, and sulphate deposits in furnace waste gas ducting.

At the end of a furnace campaign, the entire refractory structure is dismantled and replaced. These operations produce some 500 to 2000 tonnes of waste refractory materials, which are sorted and largely valorised. Only a minor quantity of these materials is unfit for any valorisation and is directed to landfill, if necessary after appropriate treatment. Some materials (e.g. silica refractories) may be ground and recycled through the furnace. However, the technical feasibility has been proven, but the cost of this technique is generally higher than alternative approaches such as elimination or valorisation.

Glass raw materials are very generally delivered in bulk and do not give rise to packaging waste. Waste materials from product packaging operations (plastic, cardboard, and wood) are usually reused or recycled through suppliers or other appropriate channels. Other waste not specific to the industry e.g. waste oils, drums and other packaging materials, paper, batteries, oily rags, etc are disposed of by conventional means or if appropriate recycled by an external waste company.

3.3.5 Energy

[tm18 CPIV, tm14 ETSU]

The energy necessary for melting glass accounts generally for over 75 % of the total energy requirements of container glass manufacture. Other significant energy use areas are forehearth, the forming process (compressed air and mould cooling air), annealing, factory heating and general services. The typical energy use by process step is given in Figure 3.1.

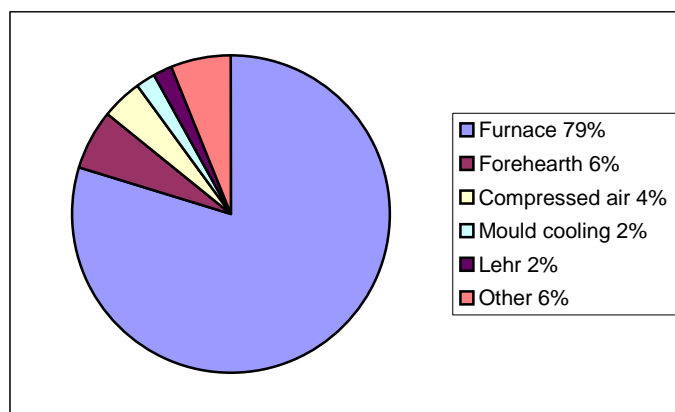


Figure 3.1: Energy usage in a typical container glass plant

Heavy fuel oil or natural gas are the primary energy sources for melting, sometimes with a small percentage of electrical boost (up to 5%). There are a few examples of all electric melting but these are rare. Forehearths and annealing lehrs are heated by gas or electricity. Electrical energy is used to drive air compressors and fans needed for the process. General services include water pumping and, usually steam generation for fuel oil storage and trace heating, humidification/heating of batch and sometimes heating buildings. In some cases, larger furnaces have been equipped with waste heat boilers to produce part or all of the steam required.

The energy consumption of the process will depend on many factors, and the main ones are those outlined in Section 3.2.3. The range of energy consumption encountered within the sector is extremely wide (see Table 3.8). However, it is estimated that the majority of plants fall into the range of 4.5 to 7.0 GJ/tonne of glass melted and 6.5 to 9.0 GJ/tonne of finished products. For some very high quality products this figure may be significantly higher.

3.4 Flat Glass

The main output from a flat glass process is of course the product, which represents approximately 70% of the raw material input. The remainder largely consists of emissions to air 10 - 20%, made up mainly of CO₂ from the decomposition of carbonates; and scrap glass (cullet) around 10 - 20% arising from edge trimming, product changes and breakages. The cullet is usually continuously recycled to the furnace and so the product actually represents closer to 85% of the raw material input.

3.4.1 Process inputs

[tm18 CPIV]

There is generally less variation in the glass composition for flat glass than for the other sectors of the glass industry. However, different producers may choose slightly different ways of achieving the final composition depending on particular preferences or variations in raw material supplies. There may be particular differences in the amount of cullet used, any colourants and in any on-line coating processes. The main basic raw materials utilised in the sector are listed in the table below.

Glass forming materials	Silica sand, process cullet, (sometimes also post consumer cullet).
Glass intermediate and modifying materials	Sodium carbonate, limestone, dolomite, anhydrous sodium sulphate, calcium sulphate and gypsum, sodium nitrate, nepheline syenite, feldspar, blast furnace slag, carbon, filter dust.
Glass colouring agents	Potassium dichromate, iron oxide, cobalt oxide, cerium oxide, selenium metal or zinc selenite.
On-line coating processes	Silicon compounds (e.g. silicon tetrachloride, silicon carbonates), strong acid halides, organic and inorganic tin compounds.
Fuels	Fuel oil, natural gas, electricity, back up light fuel oils
Water	Mains supply and local natural sources (wells, rivers, lakes etc)
Ancillary Materials	Packaging materials including plastics, paper, cardboard, and wood. Machine lubricants, predominantly mineral oils. Process gases nitrogen, hydrogen and sulphur dioxide. Tin in the float bath. Water treatment chemicals for cooling water and wastewater.

Table 3.10: Materials utilised in the Flat Glass Sector

The largest inputs to the process are the silica containing materials (sand and glass cullet) and the carbonates (soda ash, dolomite and limestone). The raw materials for the glass batch are blended in the correct proportion to produce the range of glass compositions identified in Chapter 2. In typical float glass compositions the oxides of silicon, sodium, calcium and magnesium account for around 98 % of the glass (SiO_2 72.6 %, Na_2O 13.6 %, CaO 8.6 %, and MgO 4.1 %). The silicon dioxide is derived mainly from sand and glass cullet, cullet also provides a proportionately smaller level of the other oxides. Sodium oxide is derived mainly from soda ash, the calcium oxide mainly from dolomite and limestone, and the magnesium oxide from dolomite.

In all but exceptional cases, flat glass plants recycle all internal cullet directly to the furnace. Flat glass is generally processed into other products for the building and automotive industries and the cullet coming from this further transformation is also recycled in some cases. The amount of recycled cullet is generally limited by the availability of cullet of the correct quality and chemical compatibility. The total cullet introduced in the furnace is typically around 20 % but can range from 10 % to 40 % for a float furnace, and to over 80 % for other types of flat glass. Increasingly, waste glass from fabrication processors is reused or recycled to flat glass production units, but slightly contaminated waste can be used by glass container manufacturers or manufacturers of other types of glass products. Probably 95 % of waste glass from processors is recycled one way or another.

On-line coating processes are very specialised and case specific, Table 3.10 lists some of the typical raw materials used.

In common with other parts of the Glass Industry the main uses of water are cooling, cleaning and batch humidification. Flat glass is produced in a continuous ribbon, emerging from the annealing lehr at temperatures over 200°C . Most of the water consumed in the factory is used for cooling/washing this hot ribbon, and is not contaminated (may contain some Na_2SO_4). Actual water consumption and water vapour emissions may vary according to local conditions (e.g. ambient temperature and the hardness of water input).

Flat glass furnaces are almost exclusively fired on heavy fuel oil or natural gas, in some cases with electrical boost at up to 5 % of energy input. There are some small scale electrical furnaces

for specialist applications, and there is also one oxy-fuel fired furnace, commissioned recently in the USA.

3.4.2 Emissions to Air

[tm18 CPIV]

3.4.2.1 Raw Materials

In most modern flat glass processes silos and mixing vessels are fitted with filter systems which reduce dust emissions to below 5 mg/m³. Mass emissions from both filtered and unfiltered systems will clearly depend on the number of transfers and the amount of material handled.

3.4.2.2 Melting

In the Flat Glass Sector the greatest potential environmental emissions are emissions to air from the melting activities. The substances emitted and the associated sources are identified in Section 3.2.2.1. Almost all of the furnaces in this sector are fossil fuel fired (both natural gas and fuel oil), cross fired regenerative furnaces.

A summary of the range of emissions to air is given in Table 3.11 below. The table shows figures separately for unabated furnaces and furnaces with secondary abatement techniques installed. The data covers both gas and oil fired furnaces making clear float glass under normal operating conditions and includes measurements from 1996 and 1997 only.

	Unabated Furnaces mg/m ³ (kg/tonne glass melted)	Abated Furnaces Primary/Secondary Methods mg/m ³ (kg/tonne glass melted)
Oxides of Nitrogen (as NO ₂)	1800 - 2870 (1.7 - 7.4)	495 - 1250 (1.1 - 2.9)
Oxides of Sulphur (as SO ₂)	365 - 3295 (1.0 - 10.6)	218 - 1691 (0.54 - 4.0)
Particulate matter	99 - 280 (0.2 - 0.6)	5.0 - 40 (0.02 - 0.1)
Fluorides (HF)	<1.0 - 25 (<0.002 - 0.07)	<1.0 - 4.0 (<0.002 - 0.01)
Chlorides (HCl)	7.0 - 85 (0.06 - 0.22)	4.0 - 30 (<0.01 - 0.08)
Metals	<1.0 - 5.0 (<0.001 - 0.015)	<1.0 (<0.001)

Table 3.11: Emission levels from unabated and abated flat glass furnaces

Reference conditions are: dry, temperature 0°C (273K), pressure 101.3 kPa, 8 % oxygen by volume.

The term unabated furnaces refers to furnaces operating normally with no specific pollution control technology. The values in the table are actual reported measurements, but because the data relates to 1996 and 1997 one important result is missing. This is the Saint Gobain plant at Aniche, which operates the FENIX process and in 1998 was achieving emission levels for NO_x of 510 mg/Nm³ and 1.1 kg/tonne of glass melted, with essentially primary techniques.

For the unabated furnaces the maximum and minimum emission levels were not substantially different from the 80 percentile values, and there were too few abated furnaces to make an 80 percentile analysis meaningful (e.g. there were only 2 furnaces operating deNO_x techniques). Therefore 80 percentile values are not presented.

For unabated furnaces the highest emissions of NO_x were from highly loaded gas-fired plants, and the lowest are from oil-fired plants. The two abated emissions were from a furnace operating 3R on two ports only, and from a furnace with SCR.

The highest emissions of SO_x for unabated furnaces are from oil fired plants with high-sulphur fuel, and the lowest are from low loaded gas-fired plants. The highest emissions of dust for unabated furnaces are from oil fired plants, and the lowest are from low loaded gas fired plants with high cullet levels. For unabated furnaces the highest emissions of HCl and HF are from plants with relatively high levels of Cl and F in the raw materials. The highest emissions of metals from unabated furnaces are from oil fired plants or those using colouring agents (Se, Co, Fe and Cr), and the lowest are from gas fired plants. The ranges of emissions of SO_x, dust, HCl, HF and metals from abated furnaces were associated with installations operating particulate abatement systems in combination with acid gas scrubbing, in order to meet local permit requirements. For metals this meant emissions were beneath detection limits.

3.4.2.3 Downstream Activities

The emission of tin vapour from the float bath has been found to be very low and it is generally monitored only to ensure low workplace exposure levels. The issue is not considered further in this document.

The on-line coating processes applied to flat glass are very case specific and the raw materials used and the pollutants emitted will vary. However, emissions will typically contain acid gases (HF, HCl) and fine particulate matter (e.g. oxides of silicon and tin). This type of process is usually subject to the general local environmental legislation and abatement is installed accordingly. For example, HCl 10 mg/m³, HF 5 mg/m³, particulate 20 mg/m³, and tin compounds 5 mg/m³.

3.4.3 Emissions to Water

As discussed earlier the main uses of water in this sector are cleaning, cooling, and batch humidification. The aqueous emissions are limited to the cooling water system purges, cleaning waters and surface water run off. The cleaning waters do not present any particular issues that would not be common with any industrial facility i.e. inert solids and oil. Cooling system purges will contain dissolved salts and water treatment chemicals. Surface water quality will depend on the degree of drainage segregation and site cleanliness.

Excluding domestic wastewater, discharges generally only contain glass solids, potentially some oil contamination, and cooling water system treatment chemicals. Simple abatement techniques such as settlement, screening, oil separators, and neutralising can be found within the sector.

3.4.4 Other Wastes

Wherever possible, batch plant dusts are returned to the raw material silos and reused in the process. Reject batches are gradually fed back into the process by the inclusion of small amounts in subsequent batches wherever possible. Typically 99 % of the glass waste from the end of the glassmaking process, trims, rejects and damaged glass, is returned to be remelted.

At the end of a furnace campaign, the refractory structure (sometimes not regenerators) is dismantled and replaced. As in the Container Glass Sector as much as practicable of this material is recovered for reuse or sale. The issues concerning chromium containing materials are discussed in Section 3.2.2.3.

Most glass raw materials are generally delivered in bulk and do not give rise to packaging waste. Waste materials from product packaging operations (plastic, cardboard, wood etc) are usually reused or recycled if practicable. Other waste non specific to the industry are disposed of by conventional means.

3.4.5 Energy

[tm18 CPIV, tm14 ETSU]

The energy usage distribution for a typical float glass process is shown in Figure 3.2 below, but energy usage in particular processes may vary slightly. It can be seen that over three quarters of the energy used in a glass plant is expended on melting glass. Forming and annealing takes a further 5 % of the total. The remaining energy is used for services, control systems, lighting, factory heating, and post forming processes such as inspection and packaging.

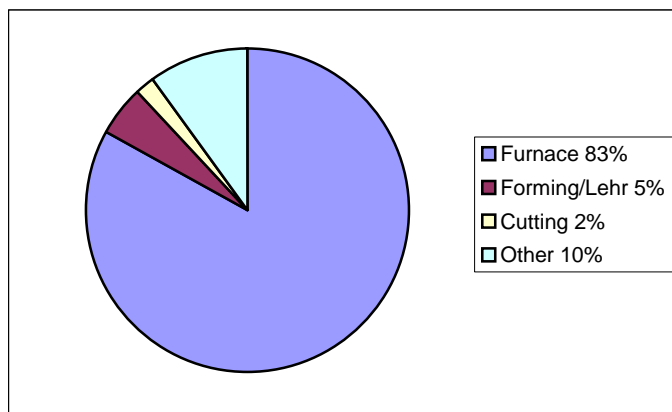


Figure 3.2: Energy usage for a typical float glass process

Float glass furnaces are almost exclusively fired on heavy fuel oil or natural gas, sometimes with electrical boost at up to 5 %. Many furnaces have the capacity to fire on either oil or gas, or potentially both at the same time on different burners. There are some examples of electrical furnaces, but these are small scale and for specialist applications. There is also one oxy-fuel fired furnace in the USA, which began operation in 1998.

Forehearths (in rolled glass) and annealing lehrs are heated by gas or electricity. Electrical energy is used to drive air compressors and fans needed for the process. General services include water pumping, usually steam generation for fuel storage and trace heating, humidification/heating of the batch and sometimes heating buildings. In some cases, larger furnaces have been equipped with waste heat boilers to produce part or all of the steam required.

The energy consumption of the process will depend on many factors, the main ones are those outlined in Section 3.2.3. The range of energy consumption encountered within the sector is quite narrow, because there is relatively little variation in the type of furnace used. Energy levels for melting are typically 5.5 to 8.0 GJ/tonne of glass melted, with specific energy requirements for the process as a whole generally less than 8.0 GJ/tonne.

3.5 Continuous Filament Glass Fibre

The major output mass flow is the product, which may be from 55 % to 80 % of raw material input. The losses arise through emissions to air, solid residues, and aqueous wastes. The molten glass represents around 80 - 85 % of the furnace raw material input. Most of the loss is made up of gaseous emissions particularly CO₂ from the decomposition of carbonates. Waste fibre and

drain glass can be between 10 and 30 % of process inputs. Table 3.12 below shows a typical input/output summary for the manufacture of continuous filament glass fibre.

		Amount/tonne of product			
		Input	Unit	Output	Unit
Raw materials for glass					
	Silica	300 - 457	kg		
	Colemanite	141 - 250	kg		
	Calcium carbonate	300 - 411	kg		
	Clay	395 - 544	kg		
	Fluorspar	0 - 20	kg		
	Others	3 - 153	kg		
Emissions to air					
	Dust without abatement system			1.4 - 4	kg
	Dust with abatement system			0.02 - 0.24	kg
	CO ₂ from raw materials decomposition			120 - 200	kg
	CO ₂ from combustion			450 - 1000	kg
	Water vapour from combustion / raw material decomposition			180 - 800	kg
	Water from drying processes			75 - 200	kg
	NO _x (as NO ₂)			2.6 - 6.7	kg
	SO _x (as SO ₂)			1 - 8	kg
	HF			0 - 2	kg
	HCl			0.03 - 0.12	kg
	Water from evaporative, cooling			3200	kg
	VOC in forming area, ovens...			0.1 - 0.5	kg
Binder products balance					
(as supplied)	Polymers (~50 % solid)	20 - 40	kg		
(as supplied)	Silane	1 - 2	kg		
(as supplied)	Lubricants	1 - 5	kg		
(as supplied)	Others	0 - 10	kg		
(dry solids)	Binder on glass			4 - 20	kg
(dry solids)	Binder in waste water			1 - 13	kg
(dry solids)	Binder in solid waste			<1	kg
	Binder in air (see VOC above)				kg
Water balance	Total	5000 - 20000	kg		
	Added for binder	<200	kg		
	For cooling (added)	>1500	kg		
	For spraying, cleaning	>3000	kg		
	In waste glass			10 - 20	kg
	In sewage			1500 - >6000	kg
	In air (ovens)			100 - 200	kg
Solid wastes (dry solids)					
	Fibre glass			60 - 250	kg
	Binder wastes			1 - 13	kg
Energy	Total	22.3 - 36	GJ		
	Energy for melting (Furnace + Forehearths)	11.2 - 23	GJ		
	Energy for forming (including bushing, winders, direct choppers, etc)	2.5 ⁽¹⁾	GJ		
	Energy for processes (including oven, winders, choppers, etc)	2.2 ⁽¹⁾	GJ		
	Energy for utilities	1.1 ⁽¹⁾	GJ		
	Heat out of the stack			1.8 - 2.9	GJ

**Table 3.12: Overview of Continuous Filament Glass Fibre Sector inputs and out puts [tm18 CPIV]
(1) One example furnace**

3.5.1 Process inputs

The chemical composition of the fibre varies depending on the glass type and the end use, and is usually expressed in terms of the oxides of the elements it contains. It is difficult to identify a “typical” batch composition beyond that given in Table 3.12 above. The basic raw materials are

selected and blended to give the final desired glass compositions following melting. The typical glass types and composition ranges are shown in Chapter 2. Table 3.13 below shows the main raw materials used to achieve these compositions.

Glass forming materials	Silica sand.
Glass intermediate and modifying materials:	Calcium carbonate, calcium oxide, alumina silicate, colemanite, calcium borate, borax, boric acid, feldspar, fluorspar, calcium sulphate, sodium carbonate, potassium carbonate, sodium sulphate, zinc oxide, titanium oxide or rutile, zirconium oxide, dolomite, iron oxide.
Coating materials:	The coating material will vary depending on the end use of the product. Typical coatings are: film formers (e.g. polyvinyl acetate, starch, polyurethane, epoxy resins); coupling agents (e.g. organo-functional silanes); pH modifiers (e.g. acetic acid, hydrochloric acid, ammonium salts); and lubricants (e.g. mineral oils, surfactants).
Binders for secondary products:	Polyvinylacetate, saturated polyester powders, phenolic resin powders.
Fuels:	Fuel oil, natural gas, electricity.
Water:	Mains supply and local natural sources (wells, rivers, lakes etc).
Ancillary Materials:	Packaging materials including plastics, paper, cardboard, etc. Process gases, oxygen. Water treatment chemicals for cooling water and wastewater.

Table 3.13: Materials utilised in the Continuous Filament Glass Fibre Sector

The largest inputs to the process are the silica sand, the alkali/alkali earth metal carbonates and oxides, alumina and the boron containing materials. In the E glass composition the oxides of silicon, sodium, potassium, calcium, magnesium, boron and aluminium account for over 95 % of the glass. The dominant oxides and the main materials from which they are derived are: SiO₂ (53 - 60 % - sand); CaO+MgO (20 - 24 % - limestone, dolomite); B₂O₃ (0 - 10 % - colemanite, borax, etc); Al₂O₃ (11 - 16 % - alumina); and Na₂O+K₂O (<2 % - soda ash/potash).

Coating materials represent a very small proportion of the product mass, typically 0.5 % to 2 %. They consist mainly of aqueous polymer solutions, typically 50 % solids, and smaller amounts of the other materials specified in Table 3.13.

Water is used for cooling, cleaning, coating preparation and in some cases for wet scrubbing systems. One of the main characteristics of the manufacture of glass fibres, is the need for a large amount of water for cooling. Each bushing needs water to reduce the temperature of the filament very quickly from 1250°C to ambient temperature. This cooling is achieved by transferring heat to metallic bars close to the bushing tips, and cooling by circulating water, passing cold air through the filaments, and by water sprays. Cooling water is also required around the furnace and the forehearth, Cooling water is generally in semi-closed circuits and total flows are typically several thousands of m³/h.

Significant amounts of water are also used in coating preparation and wash down in the forming/winding area. The total water consumption per tonne of finished product is typically between 4 and 20 m³, cooling system losses account for around 20 % of this figure.

3.5.2 Emissions to Air

3.5.2.1 Raw Materials

In most modern processes silos and mixing vessels are fitted with filter systems which reduce dust emissions to below 5 mg/m^3 . Mass emissions from both filtered and unfiltered systems will clearly depend on the number of transfers and the amount of material handled. The storage and handling of coating materials may also give rise to emissions of dusts or volatile organic compounds (VOC), but these are generally very low and can be controlled by good practice and local extraction.

3.5.2.2 Melting

{tm18 CPIV]

In the Continuous Filament Glass Fibre Sector the greatest potential environmental emissions are emissions to air from the melting activities. The major substances emitted and the associated sources are identified in Section 3.2.2.1. The predominant furnace type in this sector is a natural gas fired recuperative furnace, with the facility for electric boost (some furnaces are oil fired).

A summary of the range of emissions to air is given in Table 3.14 below. The table shows figures for both primary and secondary abatement methods. The dust emission is predominantly composed of alkali sulphates and borates. (e.g. sodium/potassium sulphate and sodium/potassium borate).

	Primary abatement methods mg/m^3 [kg/tonne glass melted]	Secondary abatement methods mg/m^3 [kg/tonne glass melted]
Oxides of Nitrogen (as NO_2)	670 - 1600 [0.5 - 8.0]	no examples of secondary abatement
Oxides of Sulphur (as SO_2)	150 - 1200 [0.75 - 6.0] (gas fired) up to 3000 [15] (oil fired)	no examples of secondary abatement
Particulate matter	200 - 500 [1.0 - 2.5]	5 - 50 [0.025 - 0.25]
Fluorides (HF)	10 - 50 [0.05 - 0.25] (no added fluoride) 50 - 400 [0.25 - 2.0] (added fluoride)	<20 [<0.1]
Chlorides (HCl)	<10 [<0.05]	<10 [<0.05]
Metals	<5 [<0.025]	<5 [<0.025]

Table 3.14: Emission levels from continuous filament glass fibre furnaces

Reference conditions: dry, temperature 0°C (273K), pressure 101.3 kPa, 8 % oxygen by volume.

The lowest mass emission for NO_x relates to an oxy-fuel furnace and therefore does not relate to the same furnace as the lowest concentration.

Emission levels for a particular furnace can depend on many factors, including batch composition, abatement techniques utilised, and the age of the furnace. Emissions of fluorides are directly related to the use of compounds containing fluorine in the batch. In some cases fluoride is added as a raw material to meet the requirement of the glass composition, in others it is an impurity of some raw materials. Whatever the origin, a portion of the fluoride will be emitted in the waste gases from the furnace. The fluoride concentration can vary significantly depending on the level of fluoride in the batch and the abatement measures used. The amount of fluorine considered necessary will depend on a variety of specific technical factors related to furnace and fibre forming design, throughput and filament diameter requirements of the finished product.

3.5.2.3 Downstream Activities

[tm18 CPIV]

Emissions to air from coating application are usually quite low, due to the general low volatility of the coating materials and the low glass temperatures at the point of application. However, the airflows in the forming area are very high to ensure adequate cooling of the glass and some carry over of droplets or evaporation of organic compounds occurs. In most cases, the extracted cooling air is treated by water scrubbing systems prior to release or partial recycling into the forming area. The high volume of cooling air means that emission concentrations are generally quite low. Limited measurements (including the use of coatings with higher solvent levels) have shown VOC concentrations from very low levels up to 20 mg/m³.

The coating materials are generally water based and the fibre cakes are often dried in ovens. The drying process will give rise to emissions of water vapour and any substances volatile at the drying temperatures. The coatings are chemically bonded to the glass during the drying process and emissions levels are generally relatively low. However, the coating formulations, and so the emissions, can vary widely, and only a limited number of measurements are available from recent years. These show VOC emissions ranging from barely detectable to a maximum of 70 mg/m³, which equated (in this example) to less than 100 g/h.

Emissions can also arise from secondary processing to produce mats and tissues, which involve the use of binders which must be cured or dried. Again very little information is available and this indicates a wide variation depending on the techniques and substances used. Maximum reported VOC emissions were 150 mg/m³ and 270 g/h.

3.5.3 Emissions to Water

[tm18 CPIV]

Emissions arise from the forming area, binder preparation, cleaning, cooling, tissue/mat binder application, and from water based scrubbing systems. The main source of emission is the forming area. Due to the high speed of the winders (centrifugal action) and movement of the filaments during the forming process, a proportion of the applied binder is thrown off and squeezed out. This is collected in the immediate area together with the water used to periodically clean the forming and winding area. The water sprayed on the filaments is also collected in the same place.

Emissions can arise in the binder preparation area from spillages and leaks, which drain to the waste water system. The high volume cooling water systems require a purge stream, which will contain low levels of water treatment chemicals. Most scrubbing systems in use are recirculating water scrubbers, which require either a purge stream or periodic discharge and replacement of the scrubbing medium. The total water consumption per tonne of finished product is typically 4 to 20 m³, cooling system losses (purge and evaporation) account for around 20 % of this figure. With the clear exception of evaporative losses most of this water is discharged as wastewater. The general practice within the sector is to discharge to a sewage treatment works or to treat on-site.

The wastewater pollutant concentrations are usually very low (less than 0.2 % solid content before any treatment), due to the dilution by wash down water, and their content is mostly biodegradable. The chemicals used do not contain any heavy metals, or dangerous listed substances, but the actual composition varies widely from site to site, due to the great variety of binder compositions. For some products a chrome based coupling agent is still used, but this is being gradually phased out.

3.5.4 Other Wastes

[tm18 CPIV]

Wastes can arise in the batch plant from reject batches and spillages or leakages. The process is very sensitive to raw material quality and in general such wastes are sent to landfill (5 to 50 tonnes per year).

The molten glass delivered by the melter to the forehearths may include small quantities of impurities (unmelted particles), which have the potential to cause bushing filament breaks and thus waste glass fibres. In order to reduce such breaks, drain bushings can be installed at the bottom of the channel feeding the forehearths in order to withdraw a small flow of glass containing these denser unmelted particles. When drain bushings are used, this drain glass is typically 1 to 5 % of the melted glass. The drain glass can be processed into cullet and either recycled internally or used in other applications. The internal recycling of this material is not usually desirable, because it involves returning to the furnace the separated impurities that will flow back to the bushings. This could lead to a gradual build up of unmeltable material and potentially a higher level of drain glass.

Waste glass and fibre also arise due to product change over, package change over, and filament breakage, when the glass is still flowing but cannot be converted into saleable product. Manufacture of very low diameter filaments (from 5 μ m to 25 μ m) is difficult without some level of breakage. Consequently the quantity of waste glass fibre can be relatively high, and usually forms one of the main waste streams from the process. The amount of waste can be between 10 and 25 % of the total amount of molten glass that flows out of the furnace, depending on the type of forming process and on the diameter of the filaments. These quantities can be greatly increased when problems occur with raw materials, or in the performance and stability of the furnace. The waste fibre contains up to 25 % water and dilute binder.

The conversion of cake to finished product results in an amount of waste, which varies, depending on the products, from 3 to 10 %. The unusable material is mostly from the inside and outside of the cakes, fuzz, damaged and reject material, test samples, mat trimmings, etc. Commonly the waste contains coating material at a level from 0.5 to 10 % (up to 20 % for tissues), and may contain water up to 15 %.

The dust collected in abatement equipment can be recycled to the furnace. If dry scrubbing techniques are incorporated this may be more difficult requiring blending or processing.

3.5.5 Energy

[tm18 CPIV, tm14 ETSU]

The energy usage distribution for a typical continuous filament process is shown in Figure 3.3 below. Energy usage in particular processes may vary depending on the size of the melter and the type of downstream processes. It can be seen that generally over three quarters of the energy is used for melting. Forming, including bushing heating, and product conversion account for around 15 %, and the remaining energy is used for services, control systems, lighting, and factory heating.

Most furnaces in this sector are gas fired recuperative furnaces some with electric boost (up to 20 % of melting energy). There are also examples of oil fired furnaces, oxygen enriched firing and some oxy-gas furnaces. The air preheat temperature of recuperative furnaces is lower than that of regenerative furnaces and the energy requirements are consequently higher per tonne of glass. In this sector the electrical conductivity of the glass is very low, and currently 100 % electric melting is not considered economically or technically practicable.

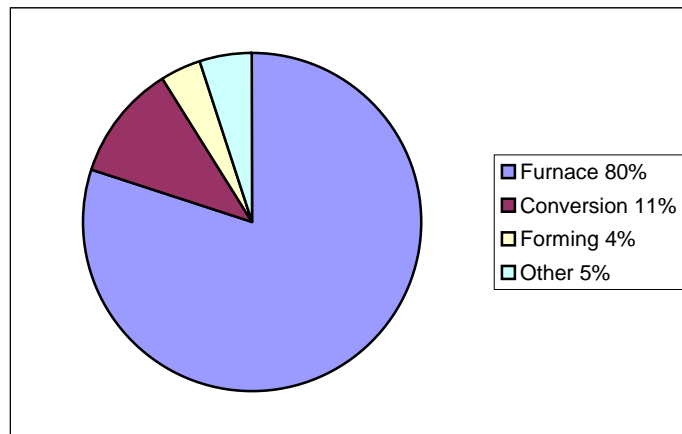


Figure 3.3: Energy usage in a typical continuous filament glass fibre process

The energy consumption of the process will depend on many factors, the main ones are outlined in Section 3.2.3. Energy consumption for melting is typically 11 to 23 GJ/tonne of melt, although for some small furnaces producing specialised compositions this can be up to 30 GJ/tonne. Overall energy consumption is usually in the range 18 to 33 GJ/tonne of product. Maximum crown temperatures in continuous filament glass fibre furnaces are typically around 1650°C, which is up to 50°C higher than container glass and up to 250°C higher than glass wool. The higher melting temperatures contribute to the relatively high specific energy consumption in this sector

3.6 Domestic Glass

[tm27 Domestic]

As described in Chapters 1 and 2 the Domestic Glass Sector is very diverse, producing a wide range of products from different compositions and furnace types. Therefore, there is quite a wide variation in the process inputs and outputs. As in all other sectors the main output from the process is the product. In soda-lime production the product represents 50 to 90 % (average 85 %) of the raw material input, for lead crystal this figure is 35 % to 80 % (average 75 %). The lower figure for lead crystal is due to a range of factors such as more cutting and polishing, and higher quality constraints. The other types of domestic glass (crystal, opal, borosilicate and glass ceramic) have values between the two extremes. Table 3.15 below summarises the main input and output parameters for soda-lime and lead crystal, and again the values for the other domestic glass types lie between the examples given.

		Soda-lime Glass	Lead Crystal
	units/tonne of glass melted	range (mean value)	range (mean value)
Inputs			
Energy, oil / gas	GJ	5 - 14 (9)	0.5 - 5 (3)
Energy, electricity	GJ	1 - 4 (2.5)	1 - 6 (4)
Silica sand	tonne	0.65 - 0.75 (0.6)	0.20 - 0.50 (0.42)
Carbonates	tonne	0.3 - 0.42 (0.34)	0.08 - 0.20 (0.14)
Lead Oxide	tonne		0.08 - 0.21 (0.18)
Minor mineral ingredients	tonne	0.02 - 0.08 (0.04)	0.005 - 0.02 (0.01)
Internal cullet	tonne	0.15 - 0.4 (0.25)	0.25 - 0.65 (0.35)
Packaging materials	tonne	0.06 - 0.20 (0.1)	0.06 - 0.20 (0.1)
Moulds and other	tonne	0.001 - 0.003 (0.002)	0.001 - 0.003 (0.002)
Water	m ³	4 - 9 (7)	3 - 70 (7.5)
Hydrofluoric acid (100 %)	kg/t glass ac. pol. ⁽¹⁾		40 - 130 (65)
Sulphuric Acid (96 %)	t/t HF(100 %) ⁽¹⁾		1 - 10(5)
Sodium hydroxide	t/t HF(100 %) ⁽¹⁾		0 - 0.2(0.1)
Calcium hydroxide	t/t HF(100 %) ⁽¹⁾		1 - 10(4)
Fresh washing water	t/t HF(100 %) ⁽¹⁾		0.025 - 0.07(0.05)
Outputs			
Finished, packed products	tonne	0.5 - 0.9 (0.85)	0.35 - 0.8 (0.75)
Emissions to Air	kg		
CO ₂		150 - 1000(700)	150 - 400(300)
NO _x		0.9 - 11(4.8)	0.9 - 5.0(1)
SO _x		0.1 - 2.8(0.7)	0.1 - 1.0(0.2)
Dust		0.001 - 0.8(0.4)	0.001 - 0.1(0.02)
H ₂ O		60 - 500(300)	60 - 250(120)
Waste water	m ³	3.6 - 9.1 (6.3)	2.7 - 70 (6.8)
Internal cullet	tonne	0.15 - 0.4 (0.25)	0.25 - 0.65 (0.35)
Waste to recycling	kg	10 - 60 (30)	10 - 60 (30)
Other waste	kg	6 - 50 (10)	6 - 50 (10)
Waste to recycling PbSO ₄ O ₂ PbCO ₃	t/t HF(100 %) ⁽¹⁾		0.2 - 1.5(0.8)
CaSO ₄	t/t HF(100 %) ⁽¹⁾		2 - 20(7.5)
Waste to deposition Cutting sludge	t/t HF(100 %) ⁽¹⁾		0.3 - 0.7(0.45)
Heavy metal sludge	t/t HF(100 %) ⁽¹⁾		0.1 - 0.5(0.3)

Table 3.15: Overview of Domestic Glass Sector inputs and outputs

(1) With regard to acid polishing, the consumption of 100 % hydrofluoric acid is the best reference parameter because it takes into account the surface/volume ratio. Consumption of 100 % HF/tonne of glass acid polished will depend on the surface area/volume ratio and consequently on the types of articles being polished.

3.6.1 Process inputs

The inputs to the process will vary depending on the product made and the required glass composition. The main glass types are soda-lime, lead crystal, crystal, borosilicate, opaque, and glass ceramics. The main raw materials utilised within the sector are outlined in Table 3.16 below.

Glass forming materials	Silica sand, process cullet.
Glass intermediate and modifying materials	Sodium carbonate, potassium carbonate, limestone, dolomite, sodium sulphate, alumina, nepheline syenite, sodium nitrate, potassium nitrate, borax, arsenic, antimony carbon, lead oxide, fluorspar.
Glass colouring and decolouring agents	Oxides of chromium, iron, cobalt, copper, manganese, nickel, and selenium or zinc selenite, cerium.
Product coating agents	Inorganic or organic metal chlorides. Predominantly tin tetrachloride, titanium tetrachloride and monobutyl tin chloride.
Product lubricants	Polythene based lubricants and fatty acids (e.g. oleic acid).
Fuels	Fuel oil, natural gas, electricity, butane, propane, acetylene.
Water	Mains supply and local natural sources (wells, rivers, lakes etc).
Ancillary Materials	Packaging materials including plastics, paper, cardboard, and wood. Mould lubricants, generally high temperature graphite based release agents. Machine lubricants, predominantly mineral oils. Process gases oxygen and hydrogen. Polishing materials mainly strong mineral acids (HF, H ₂ SO ₄) also NaOH. Decorating materials, enamels, sands. Water treatment chemicals for cooling water and wastewater.

Table 3.16: Materials utilised in the Domestic Glass Sector

The raw materials for the glass batch are blended in the correct proportion to produce the desired glass composition. For soda-lime glass the oxides of silicon, sodium and calcium account for over 90 % of the glass (SiO₂ 71 - 73 %, Na₂O 12 - 14 % and CaO 10 - 12 %). The silicon dioxide is derived mainly from sand and cullet. Sodium oxide is derived mainly from soda ash, and calcium oxide mainly from limestone. A typical composition range for lead crystal is SiO₂ 54 - 65 %, PbO 25 - 30 %, Na₂O or K₂O 13 - 15 %, plus other various minor components. In crystal glass formulations, lead oxide is partially or totally replaced by barium, zinc or potassium oxides, the limits being defined in Directive 69/493/EEC.

Borosilicate glasses contain boron trioxide (B₂O₃) and a higher percentage of silicon dioxide. A typical composition is 70 - 80 % SiO₂, 7 - 15 % B₂O₃, 4 - 8 % Na₂O or K₂O, and 2 - 7 % aluminium oxide Al₂O₃. The boron trioxide is derived from borax or other boron containing materials, and the aluminium oxide is derived mainly from alumina.

Opaque glasses are composed mainly of the oxides of silicon, sodium, calcium, aluminium and potassium, but they also contain around 4 - 5 % of fluoride derived from minerals such as fluorspar. The predominant oxides of ceramic glass are silicon, aluminium, sodium and calcium with lower levels of magnesium, barium, zinc, zirconium, lithium and titanium. The use of cullet within the sector varies, most processes will recycle internal cullet, but external cullet is not normally used due to quality considerations.

The Domestic Glass Sector uses different types of refining agents nitrates, sulphates, and in some specific cases arsenic and antimony compounds typically As 0.1 - 1 % and Sb 0.1 - 0.4 % of the batch. Selenium is also used, as a decolourising agent typically <1 % of the batch. In lead crystal production it is generally necessary to polish the glass after cutting, currently the most common way of doing this is by dipping in a mixture of strong hydrofluoric and sulphuric acid, and then rinsing with water. Some products receive surface treatments similar to those in the Container Glass Sector described in Section 3.3.

The fuels used will vary from process to process, but in general, natural gas, fuel oil and electricity are used for glass melting, either separately or in combination. Forehearths and annealing lehrs are heated by gas or electricity, which are also used for heating and general services. Light fuel oil, propane and butane are sometimes used as backup fuels and for surface finishing (also acetylene).

In general, the main uses of water in the Domestic Glass Sector are for cooling circuits and cleaning. Cooling water is used, usually in closed or open circuits, to cool various equipment with corresponding losses from evaporation and purges. Water is also used in specific downstream steps of the process (cutting, polishing, washing etc) and for wet scrubber systems. Therefore, actual water consumption may vary according to local conditions (e.g. ambient temperature and the hardness of water input).

3.6.2 Emissions to Air

[tm27 Domestic]

3.6.2.1 Raw Materials

In most modern domestic glass processes silos and mixing vessels are fitted with filter systems which reduce dust emissions to below 5 mg/m³. Mass emissions from both filtered and unfiltered systems will depend on the number of transfers and the amount of material handled. However, a characteristic of this sector is that some batch plants are relatively small and due to the specialised nature and lower volumes of some of the products, there is a higher level of manual (and semi-manual) handling and transfer. Emissions from these activities will depend on how well systems are controlled, this is discussed further in Chapter 4. Clearly where materials containing potentially more toxic compounds (e.g. lead oxide, arsenic, etc) are handled there is the potential for emission of these substances. Usually specific controls are used to prevent emissions (e.g. dust extraction and pneumatic handling) and consequently emissions levels are usually very low.

3.6.2.2 Melting

[tm27 Domestic]

In the Domestic Glass Sector the greatest potential environmental emissions are emissions to air from the melting activities. The main substances emitted and the associated sources are identified in Section 3.2.2.1. In this sector there is a wide range of products and most of the melting techniques described in Chapter 2 can be found. Fuels can be natural gas, oil or electricity. A summary of the range of emissions to air is given in Table 3.17 below. This data is for emissions from soda-lime furnaces and lead crystal furnaces only. These figures taken together are considered to represent the full range of the sector, with emissions from other glass types falling between the examples.

Substance	Soda-lime Glass (mean figure)		Lead Crystal (mean figure)	
	mg/Nm ³	kg/tonne of melt	mg/Nm ³ ⁽¹⁾	kg/tonne of melt
Oxides of Nitrogen (as NO ₂)	140 - 5500 ⁽²⁾ (2300)	0.9 - 11 (4.8)	1000 - 2000 (1500)	0.9 - 5.0 (1)
Oxides of Sulphur (as SO ₂)	50 - 1000 (250)	0.1 - 2.8 (0.7)		0.1 - 1 (0.2)
Particulate Matter	0.5 - 400 (200)	0.001 - 0.8 (0.4)	2 - 10 (5)	0.001 - 0.1 (0.02)
Fluorides (HF)	<5		0.1 - 1.0 (0.5)	0.0002 - 0.004 (0.0003)
Chlorides (HCl)	<10		0.5 - 5.0 (2.0)	0.001 - 0.003 (0.002)
Metals (including lead)	<5		0.05 - 0.5 (0.2)	0.0001 - 0.035 (0.01)

Table 3.17: Summary of emissions to air from domestic glass furnaces

⁽¹⁾ These data relate to conventional furnaces (i.e. not electrical)

⁽²⁾ Some high results relate to the use of nitrates in the batch or to other specific conditions (e.g. very low pull rate).

Emission levels for a particular furnace can depend on many factors, such as batch composition, abatement techniques utilised, and the age of the furnace. Emissions of fluorides, lead and other metals are directly related to the use of compounds containing these substances in the batch. In some cases fluoride is added as a raw material to meet the requirement of the glass composition; in others it is an impurity of some raw materials. Some of the material will be incorporated into the glass but some will inevitably be emitted to air. Fluorine is usually emitted as HF, and metals can be emitted as fumes or more commonly contained in the particulate matter.

3.6.2.3 Downstream Activities

Soda-lime products may have surface treatments applied. The treatments and emissions are similar to those described for container glass in Section 3.3.2. Many products are fire finished which does not give rise to emissions other than the flame combustion products. Acid polishing of lead crystal products can lead to emissions of acid fumes (HF and SiF₄) which are usually treated in scrubbing towers circulating water or an alkali solution (e.g. sodium hydroxide). Emissions from these processes tend to be quite low after scrubbing. Grinding and cutting activities can give rise to dust emissions. These are usually controlled by cutting under liquid or with local air extraction.

3.6.3 Emissions to Water

[tm27 Domestic]

In common with other sectors of the industry, the main water uses are for cooling and cleaning purposes, and aqueous emissions are limited to the cooling water system purges, cleaning waters and surface water run off. The cleaning waters do not, in general, present any particular issues that would not be common with any industrial facility i.e. inert solids and potentially oil. Cooling system purges will contain dissolved salts and water treatment chemicals. Surface water quality will depend on the degree of drainage segregation and site cleanliness.

However, the production of certain products in particular lead containing glasses can give rise to other direct emissions, which may contain lead or other compounds. The main potential sources of contaminated wastewater are: cleaning waters from areas where batch material may have been spilled (may contain lead, arsenic, antimony, etc); and the water used in the cutting and grinding of the products. Most processes will utilise techniques to remove solids e.g. settlement, precipitation, flocculation to achieve compliance with local requirements. Lead levels below 1 mg/l are common.

Acid polishing also results in emissions to water. After dipping in acid the glass has a layer of lead sulphate and hexafluorosilicates on the surface. This is washed off with hot water which will become acidic and will contain lead sulphate. Depending on the chemicals used to neutralise this water the lead sulphate may further react (e.g. to form CaSO_4 with $\text{Ca}(\text{OH})_2$) changing the form of the lead.

The polishing process also results in a small proportion of the glass dissolving, which is partly precipitated from the acid bath as a mixture of salts that after separation gives an "etching sludge". This sludge is processed by filtering and washing in order to obtain lead sulphate, or by reaction with calcium or sodium carbonate in order to obtain lead carbonate. Both products can be reused as raw materials (reintroduced in the batch) or recovered. The liquid fraction from the processing of the etching sludge gives an acidic solution which is reused in the polishing bath.

The fumes from the acid bath react in the water to give hexafluorosilicic acid (H_2SiF_6) at concentrations up to 35 %. This acidic water must be neutralised before discharge. Alternatively the acid can in some circumstances be recovered and sold to the chemical industry.

3.6.4 Other Wastes

Most glass waste (cullet) is recycled back to the furnace and waste levels are generally quite low. General wastes from packaging and furnace repairs are common with other sectors. Waste from dust control systems and dry scrubbing are generally recycled to the furnace. In lead crystal production the sludges separated from the waste water system must be disposed of where they cannot be reused. The formation of the sludge is discussed in Section 3.6.3 above and figures are given in Table 3.15.

3.6.5 Energy

[tm14 ETSU]

The consideration of energy consumption in this sector is quite difficult due to its diversity and the wide range of melting techniques employed. High volume production of soda-lime tableware has much in common with container glass production, see Section 3.3.5, and shows comparable energy usage distribution. However, a higher proportion of energy use is associated with downstream operations (e.g. fire polishing and finishing). Specific energy consumption for melting is higher in this sector than for container glass. This is because furnaces tend to be smaller, melting temperatures are slightly higher, and residence time in the furnace is up to 50 % longer.

Some other processes within the sector, particularly lead crystal production, are carried out on a much smaller scale and pot furnaces may be used. The energy usage distribution for high quality lead crystal manufacture from pot furnaces is shown in Figure 3.4 below. This is not typical of the sector as a whole.

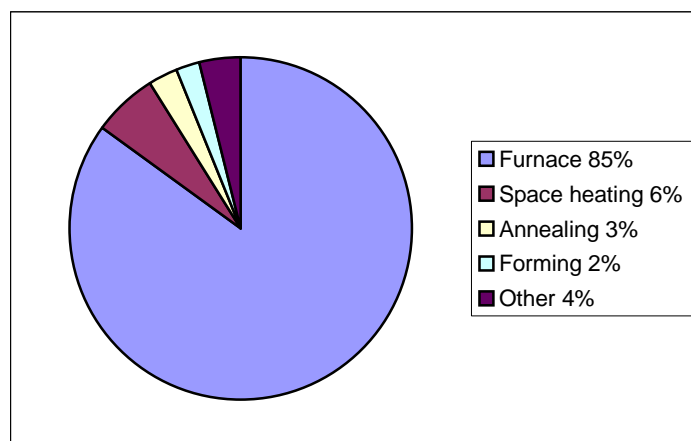


Figure 3.4: Energy usage in lead crystal manufacture (pot furnace)

The overall energy consumption for lead crystal manufacture can be as high as 60 GJ/ tonne of finished product, when the calculated energy requirement is only around 2.5 GJ/tonne. The difference can be due to many factors, but the main ones are:

- High quality requirements may lead to high reject levels. The pot is slowly dissolved by the glass, leading to cords and stones in the product.
- The glass is frequently hand worked and the yield from forming may be below 50 %, and the articles may need reheating during forming.
- The pots have to be “founded” or fired up to high temperature before use, and they have a very limited lifetime compared to continuous furnaces.

Electric melting of lead crystal allows the use of high quality refractories, which give a much higher glass quality and therefore lower reject rate and better yield. The continuous nature of electric melting also means it is often associated with more efficient automated forming. These factors can lead to energy consumption close to the figure of 25 GJ/tonne of product. Other continuous or semi-continuous melting techniques can similarly lead to better energy efficiencies.

3.7 Special Glass

The Special Glass Sector is very diverse with a wide range of products, glass formulations and process techniques. Many installations do not meet the 20 tonnes/day criteria specified in Directive 96/61/EC unless they are associated with other furnaces. Therefore, it is not practicable or indeed necessarily useful to try to summarise the full range of emissions from the whole of the sector. However, over 70 % of the sector capacity is made up of TV glass and water glass. This section attempts, where possible, to cover the entire sector but quantitative information is only provided for TV glass and water glass manufacture.

3.7.1 Process inputs

[tm25 Special]

The chemical composition of the glass varies depending on the glass type and the end use, and is generally expressed in terms of the oxides of the elements it contains. It is difficult to identify “typical” batch compositions for such a diverse sector. The basic raw materials are selected and blended to give the final desired glass compositions following melting. The typical glass types and composition ranges are shown in Chapter 2. Table 3.18 below shows the main raw materials used to achieve these compositions.

More detailed information is given for the inputs for water glass and TV glass in Table 3.19, Table 3.20, and Table 3.21. This data is for three specific example processes.

Glass forming materials	Silica sand, process cullet.
Glass intermediate and modifying materials	Sodium carbonate, potassium carbonate, limestone, dolomite, sodium sulphate, alumina, sodium nitrate, potassium nitrate, borax, boric acid (pure for some applications), arsenic (As ₂ O ₃), antimony (Sb ₂ O ₃), carbon, lead oxide, strontium carbonate, fluorspar, nepheline syenite, feldspars, sodium chloride.
Glass colouring agents	Iron chromite, iron oxide, cobalt oxide, selenium or zinc selenite, cerium.
Fuels	Fuel oil, natural gas, electricity, butane, propane, acetylene.
Water	Mains supply and local natural sources (wells, rivers, lakes etc).
Ancillary Materials	Packaging materials including plastics, paper, cardboard, and wood. Mould lubricants, generally high temperature graphite based release agents. Machine lubricants, predominantly mineral oils. Process gases nitrogen, oxygen, hydrogen and sulphur dioxide. Water treatment chemicals for cooling water and wastewater.

Table 3.18: Materials utilised in the Special Glass Sector

INPUTS / tonne water glass		OUTPUTS	
Raw materials		Product water glass	1000 kg
Sand (dry)	772.1 kg	Air emissions	
Sodium carbonate	399.6 kg	Fluoride (HF)	0.4 g
Ancillary materials		Carbon dioxide	540 kg
Water (steam production)	7.3 kg	Carbon monoxide	0.258 kg
Water treatment chemicals	0.1 kg	Chloride (HCl)	0.024 kg
Water consumption		Oxides of sulphur (as SO ₂)	1.322 kg
Process water	0.28 m ³	Dust	0.212 kg
Cooling water	0.94 m ³	Oxides of nitrogen (as NO ₂)	2.028 kg
Washing water (recycled water)	0.18 m ³	Waste water	0.28 m ³
Energy*		BOD	0.17 g
Total	6053 MJ	COD	0.003 g
Recovered	708 MJ	suspended solids	4.2 g
Consumption	5344 MJ	Solid waste	0.65 kg

Table 3.19: Overview of inputs and out puts for an example water glass process [tm28 EMPA]
(*This process was fitted with a heat recovery boiler)

INPUTS / tonne glass melted		Outputs / tonne glass melted	
Raw materials		Product TV funnels	1000 kg
Sand	327 kg	Air emissions	
Sodium carbonate	53 kg	Dust	6.1 g
Limestone	35 kg	Oxides of nitrogen (as NO ₂)	12000 g
Dolomite	18 kg	Oxides of sulphur (as SO ₂)	71.4 g
Feldspar	35 kg	Lead	1.4 g
Lead oxide	140 kg	Other metals	0.14 g
Potash	70 kg	Chloride (HCl)	9.24 g
Sodium nitrate, Ba,Sb,Zr compounds	47 kg	Fluoride (HF)	1.37 g
Process cullet	20 %	Others	
Other waste (filter dust etc)	20 %	Waste water	
Ancillary materials		BOD	20.9 g
Cooling water (see process water)	-	COD	107.4 g
Process water	3.6 m ³	AOX	0.2 g
Water treatment chemicals	0.43 kg	Solid waste	
Lubricants polishing, grinding	0.33 kg	Total	15.5 g
Energy		Of that heavy metals	2.7 g
Electricity	893 MJ		
Natural gas	268 m ³		
Technical gases	1.4 m ³		

Table 3.20: Overview of inputs and out puts for an example TV funnel glass process

INPUTS / tonne glass melted		Outputs / tonne glass melted	
Raw materials		Product TV panels	1000 kg
Sand	271 kg	Air emissions	
Sodium carbonate	50 kg	Dust	32.6 g
Barium carbonate	63.8 kg	Oxides of nitrogen (as NO ₂)	2700 g
Dolomite	11.7 kg	Oxides of sulphur (as SO ₂)	81.7 g
Feldspar	58.5 kg	Antimony	3.3 g
Strontium carbonate	65 kg	Other metals	-
Potash	46 kg	Chloride (HCl)	2.6 g
Sodium nitrate, Ti, Co, Sb, Zr, Ni, Zn, Ce compounds	50 kg	Fluoride (HF)	1.3 g
Process cullet	50 %	Others e.g. NH ₃ (SCR)	100 g
Other waste (filter dust etc)	%	Waste water	
Ancillary materials		BOD	10.6 g
Process water (inc. cooling top up)	1.82 m ³	COD	54.7 g
Water treatment chemicals	0.33 kg	AOX	0.11 g
Lubricants polishing, grinding	0.21 kg	Solid waste	
Grinding aid	2.64 kg	Total	7.9 g
Energy		Of that heavy metals	1.4 g
Electricity	892 MJ		
Natural gas	174 m ³		
Low sulphur oil	46.8 l		
Technical gases NH ₃ (SCR)	2.0 kg		
O ₂	1.5 m ³		

Table 3.21: Overview of inputs and out puts for an example TV panel glass process (SCR fitted for NOx reduction)

3.7.2 Emissions to Air

3.7.2.1 Raw Materials

In most modern special glass processes silos and mixing vessels are fitted with filter systems which reduce dust emissions to below 5 mg/m³. Mass emissions from both filtered and unfiltered systems will clearly depend on the number of transfers and the amount of material handled. However, a characteristic of this sector is that some batch plants are relatively small and due to the specialised nature and lower volumes of some of the products, there is a higher level of manual (and semi-manual) handling and transfer. Emissions from these activities will depend on how well systems are controlled. Clearly where materials containing potentially more toxic compounds (e.g. lead oxide, arsenic, etc) are handled there is a potential for emission of these substances.

3.7.2.2 Melting

In the Special Glass Sector the greatest potential environmental emissions are emissions to air from the melting activities. The main substances emitted and the associated sources are identified in Section 3.2.2.1. The wide range and specialised nature of the products of the Special Glass Sector lead to the use of a wider range of raw materials than encountered in most other sectors. For example: CRT funnels have a lead oxide content of over 20 % (comparable to lead crystal); certain glass compositions may involve the use of specialised refining agents such as oxides of arsenic and antimony; and some optical glass can contain up to 35 % fluoride and 10 % arsenic oxide. Emissions of fluorides, lead, arsenic and other metals are directly related to the use of compounds containing these substances in the batch

Due to the diverse nature of the sector most of the melting techniques described in Chapter 2 can be found. However, the low volumes of production mean that most furnaces are quite small, and the most common techniques are recuperative furnaces, oxy-gas furnaces, electric melters and day tanks. In some cases regenerative furnaces are also used, for example in CRT-glass and water glass production. The melting temperatures of special glasses can be higher than for more conventional mass-produced compositions. CRTs, borosilicate glass and glass ceramics, in particular, necessitate melting temperatures of more than 1650 °C.

These high temperatures and complex formulations can lead to higher emissions per tonne than, for example, soda-lime products. The higher temperatures favour higher rates of volatilisation and NO_x formation, and the greater use of nitrate refining agents can result in higher NO_x, SO₂, and metal emissions. The lower scale of production coupled with higher temperatures also means that energy efficiency is generally lower.

Water glass melting is generally more conventional than in other special glass processes. The raw materials are basically sand and soda ash only and emissions are generally limited to NO_x, SO₂, CO₂ and dust. There is a degree of overlap between special glass and some other sectors of the Glass Industry, particularly domestic glass for some borosilicate and glass ceramic products. The emissions from these furnaces will also be comparable with those producing domestic glass.

Emission levels for a particular furnace can depend on many factors, but principally batch composition, furnace type, abatement techniques utilised, the operation of the furnace and the age of the furnace. Emission levels (kg/ tonne product) are given in the tables above for three example processes. Examples for emissions of both mass and concentrations are given in Annex 1.

3.7.2.3 Downstream Activities

Emissions from activities downstream of the furnace are very case specific and must be considered for each site. However, there are some general issues.

Water glass is dissolved at high temperature and pressure to produce a solution of sodium silicate. This does not present any major potential for emissions to air, but there is a degree of material handling and processing that may give rise to dust emissions.

TV glass production usually involves an element of grinding and polishing which could lead to emissions of dust (funnel glass contains over 20 % PbO). These operations are usually carried out under liquid or have air extraction and filtration. Thus emission levels are generally very low. Some special glass processes also use secondary NO_x abatement (SCR, SNCR) which can lead to emissions of ammonia.

Several types of products may require varying degrees of cutting, grinding and polishing, which all have the potential to emit dusts and each must be assessed separately.

3.7.3 Emissions to Water

In common with other sectors of the industry, the major water uses include cooling and cleaning, and aqueous emissions will contain the cooling water system purges, cleaning waters and surface water run off. In general, the cleaning waters do not present any particular issues that would not be common with any industrial facility i.e. inert solids and potentially oil. Cooling system purges will contain dissolved salts and water treatment chemicals. Surface water quality will depend on the degree of drainage segregation and site cleanliness.

However, the diversity of the sector means it is not possible to identify all of the potential emissions, and each case must be assessed specifically. The raw materials used for each product and the processing undertaken must be considered. Any potentially harmful raw materials used on site will have the potential to enter wastewater streams, particularly where materials are handled and products are cut or ground. For example, the grinding and polishing of TV glass produces an aqueous stream containing the grinding and polishing aids, and fine glass that may contain for example, lead. In general, solids will be removed and the liquid will be recycled as far as practicable, but there will be a certain level of discharge and a potential for spillage. Some quantitative information is provided in the tables above for three example processes.

3.7.4 Other Wastes

In general, most internally generated glass waste (cullet) is recycled back to the furnace and waste levels are generally quite low. General wastes from packaging and furnace repairs are common with other sectors. Waste from dust control systems and dry scrubbing are recycled to the furnace where practicable. In processes involving grinding and cutting the sludges separated from the water circuits must be disposed of if they cannot be recycled or reused. Some quantitative information is provided in the tables above for three example processes.

3.7.5 Energy

For such a diverse sector it is very difficult to give general information on energy consumption. The tables for the three example processes give an indication of the energy consumption for these examples, but there can be a wide variation depending on the melting technique, the batch formulation and how the plant is designed and operated. The Dutch report on BAT for the Glass Industry quotes a range of 12 - 15 GJ/tonne end product [tm29 Infomil].

The general comments in Section 3.2.3 are applicable to this sector and the discussion of energy efficient techniques in Chapter 4 provides further information. Considerations specific to special

glass are that the melting temperatures for special glasses are generally higher than those for mass produced glasses, and that special glass furnaces are in general smaller than in other sectors of the Glass Industry. Both of these factors result in higher CO₂ emissions and higher specific energy consumption.

3.8 Mineral Wool

The information presented in this section relates to the whole range of plant sizes and operations but does not include special modes such as start-up and shutdown. Some of the lowest emission values relate to the operation of only one plant, which achieves these figures for site specific reasons and the results are not necessarily indicative of BAT for the sector.

The major output mass flow is the product, which may be from 55 % to 85 % of material input, for stone wool processes, and 75 % to 95 % for glass wool processes. An important factor in this is the recycling of process residues which significantly increases the efficiency of raw material utilisation. The losses arise through solid residues, aqueous wastes and emissions to air.

3.8.1 Process Inputs

The chemical composition of mineral wool can vary widely, and is generally expressed in terms of the oxides of the elements it contains. It is difficult to identify a “typical” batch composition for any of the main types of mineral wool i.e. glass wool, stone wool or slag wool. The basic raw materials are selected and blended to give the final desired glass compositions following melting. The percentage of each raw material in the batch can vary significantly particularly where substantial amounts of recycled materials are used.

The characteristic composition ranges for glass wool, stone wool and slag wool are shown in Chapter 2, Table 3.24 and below shows the range of raw materials that may be used to achieve these compositions.

Glass Wool:	Silica sand, process cullet, external cullet, process wastes, nepheline syenite, sodium carbonate, potassium carbonate, limestone, dolomite, sodium sulphate, borax, colemanite.
Stone/Slag Wool:	Basalt, limestone, dolomite, blast furnace slag, silica sands, sodium sulphate, process waste, occasionally wastes from other processes e.g. foundry sand.
Binder Materials:	Phenol formaldehyde resin (in solution), phenol, formaldehyde and resin catalyst if resin produced on site), ammonia, urea, mineral oil, silicone, silane, water
Fuels:	Natural gas, electricity, coke (stone/slag wool only), back up fuels (light fuel oil, propane, butane).
Water:	Mains supply and local natural sources (wells, rivers, lakes, etc)
Ancillary Materials:	Packaging materials including: plastics, paper, cardboard, and wood. Machine lubricants, predominantly mineral oils. Process gases, nitrogen and oxygen. Water treatment chemicals for cooling water and wastewater.

Table 3.22: Materials utilised in the Mineral Wool Sector

In glass wool the main oxides are silicon dioxide, oxides of alkali metals (predominantly sodium and potassium) and oxides of alkali earth metals (predominantly calcium and magnesium). The most significant sources of silicon dioxide are sand and waste glass materials

i.e. cullet and fibrous wastes. The most significant sources of alkali and alkali earth metal oxides are soda ash, potash, limestone, dolomite and to a lesser extent recycled glass.

In stone/slag wool the main oxides are silicon dioxide and oxides of alkali earth metals (predominantly calcium and magnesium). The silicon dioxide is derived principally from basalt, briquetted recycled material and blast furnace slag. The alkali earth metal oxides are derived from limestone, dolomite and briquetted recycled material. Some stone wool and slag wool have significant levels of aluminium oxide which is derived from blast furnace slag, basalt and recycled materials. Some low alumina formulations are produced from batches with significant levels of foundry sand and glass cullet rather than only basalt and slag.

The proportion of mineral wool to binder will vary depending on the product application. Typically mineral wool products contain 95 to 98 % by mass of fibre. Some very rare products will have a maximum of 20 % binder with 1 % mineral oil and 0.5 % of miscellaneous ingredients (e.g. silicone). Stone/slag wool products usually contain lower proportions of binder compared to glass wool products for similar applications. This is because densities of products fulfilling similar application requirements differ between glass wool and stone/slag wool. Stone wool may be up to twice the density of glass wool to achieve the same thermal insulation performance, particularly for low-density products.

In common with all processes in the Glass Industry a significant mass of the raw materials will be released as gases on melting. This will depend mainly on the amount of recycled material used, but for a typical mineral wool process the ignition losses will be generally around 10 %. Higher levels may be observed if high levels of carbonaceous materials are used in the batch.

Binder raw materials are generally manufactured liquid chemicals, although powdered solid chemicals are sometimes used. Binder formulations are generally considered as confidential and are not disclosed. The phenolic resin can be either manufactured on-site or bought from an external supplier. This will have little impact on the emissions from the mineral wool process itself, but clearly there are consumption and emission issues associated with resin manufacture. These issues are not covered within the scope of this document and reference should be made to appropriate guidance material for the Chemical Industry.

Water can be used in the production process for cooling, cleaning, and for binder dilution and dispersion, though the extent and methods of use depend upon the manufacturing technique. The basic processes are net users of water with the potential for release of water vapour and droplets from the forming and curing areas. Also the cullet quench system for glass wool processes will result in water evaporation. Most installations operate a closed loop process water system with a high level of recycling. Water is brought into the process water system from the mains supply or natural sources. Some water is also brought in with raw materials, particularly binder raw materials. The overall water consumption for mineral wool manufacture is: 3 to 10 m³/tonne of product for glass wool; and 0.8 to 10 m³/tonne of product for stone wool.

3.8.2 Emissions to Air

[tm26 EURIMA]

In the Mineral Wool Sector the emissions to air can be divided into three parts; raw materials handling, emissions from melting activities and emissions from downstream processes or line operations (i.e. fiberising and forming, product curing, product cooling, and product finishing). An emission from the downstream processes that is difficult to quantify is odour. Odours arise mainly from the curing operation and are thought to be caused by binder breakdown products. This section provides information on process emissions in concentration and mass per unit output, and the table below gives the waste stream volumes.

Process Activity		(x1000)	Process Exhaust Volume
Raw materials handling		Nm ³ /h	1 to 5
Furnace	Electric	Nm ³ /h	5 to 20
	Flame – glass	Nm ³ /h	5 to 40
	Combination	Nm ³ /h	5 to 40
	Cupola	Nm ³ /h	5 to 30
	Immersed electric arc	Nm ³ /h	3 to 10
	Flame – stone	Nm ³ /h	10 to 50
Line	Fiberising and forming	Nm ³ /h	100 to 400
	Product curing	Nm ³ /h	5 to 40
	Product cooling	Nm ³ /h	10 to 40
	Product finishing	Nm ³ /h	5 to 70

Table 3.23: Mineral wool process exhaust gas volumes

3.8.2.1 Raw Materials

In most modern glass wool processes silos and mixing vessels are fitted with filter systems which reduce dust emissions to below 5 mg/m³. Mass emissions from both filtered and unfiltered systems will clearly depend on the number of transfers and the amount of material handled. It should be noted that glass wool raw material batches tend to be dry and pneumatically conveyed. Therefore, the potential for dust emissions from raw material handling may be higher than in some other sectors.

Stone wool processes generally use coarse raw materials with particle diameters >50mm. The materials are stored in silos or bays and are handled using manual systems and conveyors. There is potential for wind born dust during storage and handling particularly during dry weather. A range of techniques can be used to control dust emissions, e.g. enclosure of bays and conveyors, damping of stock piles etc. The level of releases is difficult to quantify and will depend largely on the amount of material handled and how well these techniques are applied.

3.8.2.2 Melting

[tm26 EURIMA]

Glass wool furnaces are predominantly air-gas fired (usually with electric boost), but with a substantial number of electrically heated furnaces and a smaller number of oxy-gas fired furnaces. Stone wool furnaces are nearly all coke-fired cupolas with a few examples of gas fired or electrically heated furnaces. The substances emitted and the associated sources are identified in Section 3.2.2.1. Where relevant to the pollution control techniques the mechanism of emissions formation is discussed in more detail in Chapter 4.

Stone wool cupola furnaces have several important differences from more conventional glass furnaces, which can affect the emissions from the process. One of the most significant is the fact that cupolas operate under strong reducing conditions. Therefore, emissions of NO_x are relatively low, part of the sulphur released from the fuel or raw materials is reduced to hydrogen sulphide, and the carbon monoxide level is high. Most processes have an after burner system installed which oxidises the hydrogen sulphide to sulphur dioxide and the carbon monoxide to carbon dioxide. The coke and raw materials may contain higher levels of metals, chlorides and fluorides than in some other glass processes, giving rise to higher emissions of these substances.

An increasingly important factor affecting melter emissions is the contribution from recycled materials. If fibre containing binder is recycled to the furnace the organic component must be considered. In cupolas this is not a problem, but in glass furnaces it may be necessary to add oxidising agents such as potassium nitrate, which may have the effect of increasing NO_x emissions.

In stone wool processes cement is often used for briquetting of process residues, and when the briquettes are melted there are consequent emissions of SO₂.

Table 3.24 below shows the full range of emissions from mineral wool plants in the EU, with figures for kg/tonne of melt in brackets. Table 3.25 below shows the estimated middle 80 % of the range, with figures for kg/tonne of melt in brackets.

Substance mg/m ³ . (kg/tonne of melt)	Electric Melting Glass Wool	Flame Fired Furnaces Glass Wool	Combined Fossil fuel / electrical melting	Cupola Furnaces Stone Wool	Immersed Electric Arc Furnace Stone Wool	Flame Fired Furnaces Stone Wool
Particulate matter	2 - 250 (0.004 - 1.0)	10 - 1000 (0.02 - 4.0)	10 - 1000 (0.02 - 4.0)	10 - 3000 (0.03 - 9.0)	10 - 30 (0.01 - 0.03)	10 - 50 (0.02 - 0.1)
Oxides of Sulphur (as SO ₂)		20 - 1000 (0.05 - 4.0)	20 - 1000 (0.05 - 4.0)	150 - 3500 (0.4 - 10.0)	1000 - 3000 (1.0 - 3.0)	30 - 300 (0.06 - 0.6)
Oxides of Nitrogen (as NO ₂)	15 - 500 (0.002 - 0.03)	100 - 1500 (0.5 - 6.0) ⁽¹⁾	100 - 1500 (0.5 - 6.0)	50 - 400 (0.14 - 1.1)	50 - 200 (0.05 - 0.2)	800 - 1500 (1.6 - 3.0)
Fluorides (HF)	0.5 - 5 (0.003 - 0.03)	0.5 - 5 (0.002 - 0.02)	0.5 - 5 (0.002 - 0.02)	1 - 30 (0.003 - 0.09)	1 - 5 (0.001 - 0.005)	0.5 - 5 (0.002 - 0.02)
Chlorides (HCl)	0.2 - 5 (0.001 - 0.03)	1 - 30 (0.004 - 0.08)	1 - 30 (0.004 - 0.08)	10 - 150 (0.03 - 0.4)	10 - 50 (0.01 - 0.05)	1 - 30 (0.002 - 0.02)
Hydrogen Sulphide (H ₂ S)				1 - 500 (0.003 - 1.4)	0 - 5 (0 - 0.005)	
Carbon Monoxide				10 - 100000 (0.03 - 300)	30 - 100 (0.03 - 0.1)	
Carbon Dioxide	30000 - 150000 (100 - 300)	150000 - 190000 (400 - 500)	150000 - 190000 (400 - 500)	130000 - 260000 (400 - 800)	20000 - 200000 (20 - 200)	150000 - 200000 (400 - 500)
Metals ⁽²⁾				0.1 - 30 (0.0003 - 0.09)		

Table 3.24: Full range of emissions from mineral wool melting activities

(1) The lower levels of NO_x are from an oxy-gas fired furnace.

(2) Metals are emitted mainly as particulate matter.

Substance mg/m ³ . (kg/tonne of melt)	Electric Melting Glass Wool	Flame Fired Furnaces Glass Wool	Combined Fossil fuel / electrical melting	Cupola Furnaces Stone Wool	Immersed Electric Arc Furnace Stone Wool	Flame Fired Furnaces Stone Wool
Particulate matter	25 - 220 (0.08 - 0.9)	30 - 200 (0.06 - 0.8)	30 - 200 (0.06 - 0.8)	20 - 100 (0.06 - 0.3)	10 - 30 (0.01 - 0.03)	10 - 50 (0.02 - 0.1)
Oxides of Sulphur (as SO ₂)		20 - 100 (0.05 - 0.4)	20 - 100 (0.05 - 0.4)	400 - 2500 (1.1 - 7.1)	1000 - 3000 (1.0 - 3.0)	30 - 250 (0.06 - 0.5)
Oxides of Nitrogen (as NO ₂)	200 - 400 (0.02 - 0.025)	500 - 1200 (2.5 - 4.8)	500 - 1200 (2.5 - 4.8)	80 - 250 (0.25 - 0.7)	50 - 200 (0.05 - 0.2)	1150 - 1250 (2.3 - 2.5)
Fluorides (HF)	0.5 - 1.0 (0.003 - 0.006)	1.0 - 5.0 (0.004 - 0.02)	1.0 - 5.0 (0.004 - 0.02)	1.0 - 15.0 (0.003 - 0.03)	1.0 - 5.0 (0.001 - 0.005)	1.0 - 5.0 (0.004 - 0.02)
Chlorides (HCl)	0.5 - 1.0 (0.003 - 0.006)	1.0 - 15.0 (0.004 - 0.04)	1.0 - 15.0 (0.004 - 0.04)	10 - 50 (0.03 - 0.2)	10 - 50 (0.01 - 0.05)	1.0 - 25 (0.002 - 0.015)
Hydrogen Sulphide (H ₂ S)				1.0 - 200 (0.003 - 0.6)	0 - 5.0 (0 - 0.005)	
Carbon Monoxide				30 - 80000 (0.1 - 250)	30 - 100 (0.03 - 0.1)	
Carbon Dioxide	30000 - 150000 (100 - 300)	150000 - 190000 (400 - 500)	(400 - 500)	130000 - 260000 (400 - 800)	20000 - 200000 (20 - 200)	150000 - 200000 (400 - 500)
Metals				0.1 - 2.0 (0.0003 - 0.006)		

Table 3.25: Middle 80 % of emissions from mineral wool melting activities

3.8.2.3 Emissions from Non-Melting Activities

[tm26 EURIMA]

As discussed in Chapter 2 mineral wool products usually contain a proportion of phenolic resin based binder. The binder solution is applied to the fibres in the forming area and is cross-linked and dried in the curing oven. The forming area waste gas will contain particulate matter, phenol, formaldehyde and ammonia.

The particulate matter consists of both organic and inorganic material, often with a very small particle size. Lower levels of VOCs and amines may also be detected if they are included in the binder system. Due to the nature of the process the gas stream has a high volume and high moisture content. The releases from the oven will consist of volatile binder materials, binder breakdown products, water vapour and combustion products from the oven burners.

After exiting the oven the product is cooled by passing a large quantity of air through it. This gas is likely to contain mineral wool fibre and low levels of organic material. Product finishing involves cutting, handling and packaging, which can give rise to dust emissions.

An important factor that has a major impact on emissions from forming, curing and cooling is the level of binder applied to the product, as higher binder content products will generally result in higher emission levels. Binder derived emissions depend essentially on the mass of binder solids applied over a given time, and therefore high binder content, and to a lesser extent high density products may give rise to higher emissions.

Table 3.26 below shows the full range of emissions from downstream operations of mineral wool plants in the EU, with figures for kg/tonne of product in brackets. Table 3.27 below shows the estimated middle 80 % of the range.

Substance mg/Nm ³ (kg/tonne of product)	Combined fiberising, forming and curing	Fiberising and forming	Product curing	Product cooling	Product finishing
Particulate matter	10 - 200 (0.3 - 6.0)	10 - 200 (0.3 - 6.0)	5.0 - 55 (0.01 - 0.18)	10 - 50 (0.04 - 0.3)	1.0 - 50 (0.005 - 0.4)
Phenol	2.0 - 50 (0.05 - 1.6)	2.0 - 50 (0.05 - 1.5)	2.0 - 40 (0.004 - 0.11)	1.0 - 10 (0.004 - 0.06)	
Formaldehyde	2.0 - 30 (0.05 - 1.2)	2.0 - 30 (0.05 - 1.0)	2.0 - 60 (0.004 - 0.17)	1.0 - 10 (0.004 - 0.06)	
Ammonia	20 - 250 (0.6 - 8.8)	20 - 250 (0.5 - 7.6)	30 - 460 (0.06 - 1.9)	1.0 - 50 (0.004 - 0.3)	
Oxides of Nitrogen (NO _x)			50 - 200 (0.1 - 0.6)		
Volatile Organic Compounds (VOC)	5.0 - 150 (0.1 - 5.0)	5.0 - 150 (0.1 - 4.6)	5.0 - 150 (0.01 - 0.43)	1.0 - 30 (0.004 - 0.2)	
Carbon Dioxide	(40 - 230)		20000 - 80000 (40 - 230)		
Amines	1.0 - 40 (0.1 - 1.3)	5.0 - 40 (0.1 - 1.2)	5.0 - 20 (0.01 - 0.06)	1.0 - 5.0 (0.004 - 0.03)	

Table 3.26: Full range of mineral wool line emissions in mg/m³

Substance mg/Nm ³ (kg/tonne of product)	Combined fiberising, forming and curing	Fiberising and forming	Product curing	Product cooling	Product finishing
Particulate matter	10 - 50 (0.9 - 1.9)	10 - 50 (0.6 - 3.5)	5.0 - 25 (0.01 - 0.07)	10 - 30 (0.04 - 0.2)	5.0 - 20 (0.03 - 0.16)
Phenol	5.0 - 25 (0.2 - 1.3)	5.0 - 25 (0.1 - 0.8)	5.0 - 15 (0.01 - 0.04)	1.0 - 5.0 (0.004 - 0.03)	
Formaldehyde	5.0 - 20 (0.15 - 0.43)	5.0 - 20 (0.1 - 0.6)	5.0 - 30 (0.01 - 0.09)	1.0 - 5.0 (0.004 - 0.03)	
Ammonia	40 - 150 (1.8 - 5.4)	40 - 150 (1.0 - 4.5)	50 - 200 (0.1 - 0.6)	2.0 - 20 (0.007 - 0.12)	
Oxides of Nitrogen (NO _x)			50 - 150 (0.1 - 0.4)		
Volatile Organic Compounds (VOC)	10 - 80 (0.2 - 2.7)	10 - 80 (0.3 - 2.4)	10 - 80 (0.02 - 0.23)	1.0 - 10 (0.004 - 0.06)	
Carbon Dioxide	(40 - 230)		20000 - 60000 (40 - 170)		
Amines	5.0 - 20 (0.1 - 1.0)	5.0 - 20 (0.1 - 0.6)	5.0 - 10 (0.01 - 0.03)	1.0 - 5.0 (0.004 - 0.03)	

Table 3.27: Middle 80 % range of mineral wool line emissions

3.8.3 Emissions to Water

Under normal operations the processes are net consumers of water and aqueous emissions are very low. Most processes operate a closed loop process water system, and where practicable cooling water blow down and cleaning waters are fed into that system. If they are incompatible or if the volumes are too great they may have to be discharged separately, but many plants have a holding tank to accommodate volume overloads, which can then be bled back into the system. At some plants clean warmed cooling water is discharged to sewer or a natural water course. Small amounts of contaminated wastewater may arise from chemical bunds, spillages and oil interceptors etc, and these are usually discharged to the process water system, transported for off-site treatment, or discharged to sewer.

The large volume of the process water system causes a potential for contamination of clean water circuits such as surface water and cullet quench water. If systems are poorly designed or not properly controlled more serious emissions may arise. If wet scrubbing techniques are used, particularly chemical scrubbing, the effluent may not be compatible with the process water system, giving rise to a further waste stream.

3.8.4 Other Wastes

[tm26 EURIMA]

The main sources of solid waste are:

- Spillages from batch raw materials handling.
- Process cullet produced by quenching hot melt in water during fiberising machine by-pass in glass wool production.
- Unfiberised melt from stone wool processes during fiberising machine by-pass.
- Dust collected from abatement systems, mainly electrostatic precipitators and bag filters.
- Shot from stone wool fiberising. This is heavy non-fibrous and semi-fiberised material that is too heavy to reach the collection belt, and is collected below the fiberising machine. Around 10 to 20 % of the melt hitting the fiberising machine forms shot.
- Product edge trims.
- Waste wool created during product changeovers, line stoppages or out of specification products.
- Waste from stone wool filters, which has a high organic content, often around 50 %.
- Iron and melt from stone wool cupola tap outs.
- Mixed melt and stone from cupola shut downs.

- k) Solid waste from process water circuit filtration. This represents 0.5 to 2.0 % of process throughput and consists of fibre, binder solids and up to 50 % moisture.
- l) Packaging waste and other general waste.
- m) Refractory waste from furnace rebuilding.

In glass wool production it is common to recycle directly to the furnace, batch spillages, glass wool cullet and dust collected from abatement systems. In stone wool processes shot, by-pass melt, and abatement system dust is generally recycled if a briquetting process is in use. Fibrous waste can be recycled by grinding and inclusion in briquettes, but again this only occurs if a briquetted recycling system is in operation. However, edge trims are usually shredded and recycled to the forming area, and in some cases the dry waste product can be shredded to produce a blowing wool product.

Cupola shut down and tap out waste can theoretically be recycled through a briquetting system, but this is not common, because it is inert and can be used as filling material (e.g. road fill). It is also possible to separate the metallic iron from the waste and sell it as scrap iron, but there is little financial incentive to do this.

An estimate of the percentage of waste recycled in the mineral wool sector is not currently available. However, Table 3.28 below gives an indication of current practice at the time of writing.

	Glass Wool	Stone and Slag Wool
Total waste generated as a percentage of product output.	5 to 25 %	20 to 60 %
Percentage of total waste recycled.	10 to 100 %	0 to 100 %
Percentage of total waste disposed of off-site.	0 to 90 %	0 to 100 %

Table 3.28: Mineral Wool Sector solid waste generation and disposal

3.8.5 Energy

[tm26 EURIMA, tm14 ETSU]

The predominant energy sources for glass wool melting are natural gas and electricity. Stone wool is predominantly produced in cupolas which are fuelled by coke, and there are some examples of gas fired and electrically heated furnaces. Natural gas is also used in substantial quantities for fiberising and curing. Electricity is used for general services and light fuel oil, propane and butane are sometimes used as back up fuels. There are a number of oxy-gas fired furnaces in the sector.

The three main areas of energy consumption are melting, fiberising and curing. The split can vary greatly between processes and is very commercially sensitive. Table 3.29 shows the total energy consumption in mineral wool production, with a breakdown into the main process areas. The figures for fiberising, curing and other consumption are estimates made by the EIPPCB, based on discussions with industry and figures from [tm14 ETSU].

	Glass Wool	Stone and Slag Wool
Total energy consumption, GJ/tonne of finished product.	11 to 22	7 to 18
Melting, % of total energy.	20 to 45 %	30 to 70 %
Fiberising, % of total energy.	25 to 35 %	25 to 35 %
Curing and drying, % of total energy.	25 to 35 %	25 to 35 %
Others, % of total energy.	6 to 10 %	6 to 10 %

Table 3.29: Energy use in mineral wool production

Direct energy consumption for electrical melting is in the range 3.0 to 5.5 GJ/tonne of finished product. Energy consumption for electrical melting is approximately one third of that required for 100 % air-gas melting, and the relative energy consumption of each process stage can be estimated accordingly. With these figures the inherent error in such an estimate is very high, but they give an indication of the energy consumption.

3.9 Ceramic Fibre

[tm8 S23.03, tm40 ECFIA]

The main output is the product. The yield from raw materials to melt is generally greater than 90 % and the yield from melt to finished product (blanket/bulk) ranges from 55 % to 85 %. However, it is important to note that the yield from melt to finished product is an estimate and may vary according to the type, nature, volume and duration of the production. In particular, the lowest level corresponds to specific and technically more difficult productions.

3.9.1 Process inputs

There are two main product formulations high purity alumina-silicate and zirconia alumina-silicate, the compositions of which are given in Chapter 2. The main raw materials are given in the table below, they are a combination of natural (usually processed) and man-made substances.

Raw materials for melting	Oxides of aluminium, calcium, magnesium, silicon and zirconium. Also smaller levels of oxides of potassium, sodium, titanium, iron and chromium.
Secondary processing	For vacuum forming a wet colloidal mixture of starch, latex, silica or clay is used. Other activities may use similar substances and sometimes fillers and organic polymers or resins.
Fuels	Electricity, natural gas, sometimes light fuel oils (back up, heating)
Water	Mains supply and local natural sources (wells, rivers, lakes etc)
Ancillary Materials	Packaging materials including plastics, paper, cardboard, and wood. Mineral oils (fibre coating and other general uses). Water treatment chemicals for cooling water and wastewater.

Table 3.30: Materials utilised in the Ceramic Fibre Sector

The raw materials for the melt are blended to give the required compositions on melting. In general over 90 % of the composition is derived from the oxides of silicon, aluminium and zirconium. Silicon dioxide is derived mainly from high-grade silica sand, and aluminium oxide (alumina) can occur naturally but is usually derived by processing bauxite. Zirconium dioxide occurs naturally as baddeleyite or can be manufactured.

Waste materials are recycled if possible either directly to the furnace as powders and sometimes into the products as fibre. Secondary processing can be very specific the substances identified in the table for vacuum forming are common but others may vary widely.

The main uses of water in the Ceramic Fibre Sector are for cooling circuits and cleaning. Cooling water is used, usually in closed circuits, to cool various equipment, with corresponding losses from evaporation and purges. Water is also used in vacuum forming operations and for boards and papers. Actual water consumption and water vapour emissions may vary according to local conditions (e.g. ambient temperature and the hardness of water input).

The energy source for melting is exclusively electricity but natural gas is often used for downstream activities particularly drying.

3.9.2 Emissions to Air

3.9.2.1 Raw materials

In most modern ceramic fibre processes silos and mixing vessels are fitted with filter systems which reduce dust emissions to below 5 mg/m³. Mass emissions from both filtered and unfiltered systems will depend on the number of transfers, and the amount of material handled.

3.9.2.2 Melting

Emissions from melting are generally very low consisting mainly of dust from raw materials. The raw materials are usually very pure and consist almost exclusively of oxides; therefore there is little degassing and no significant emissions of gaseous compounds. Most furnaces are served by an extraction system that vents via a bag filter. Dust emissions are generally below 20 mg/m³.

3.9.2.3 Downstream Activities

Dust and fibre releases can be generated from a number of areas within the process, these include: fibrisation and collection, needling, lubricant burn off, slitting, trimming, cutting, packaging, and areas of secondary processing. All areas where particulate or fibre releases may be generated, are usually served by an efficient extraction system which vents to a fabric filter system. Dust emissions are generally below 20 mg/m³ and fibre emissions are in the range 1 - 5 mg/m³. Low levels of organic emissions may also occur from some secondary processing activities, usually less than 50 mg/m³.

3.9.3 Emissions to Water

As discussed earlier the main uses of water in this sector are cleaning, cooling, and for vacuum forming and other secondary processing. The aqueous emissions are limited to the cooling water system purges, cleaning waters and surface water run off. The cleaning waters do not present any particular issues that would not be common with any industrial facility i.e. inert solids and oil. Cooling system purges will contain dissolved salts and water treatment chemicals. Surface water quality will depend on the degree of drainage segregation and site cleanliness. Water used for vacuum forming is recycled with a purge, which may contain low levels of organic substances. Simple abatement techniques such as settlement, screening, oil separators, and neutralising can be found within the sector.

3.9.4 Other Wastes

[tm40 ECFIA]

Waste levels are generally low. Wherever possible waste materials (batch, cullet, edge trims etc) are recycled either directly to the furnace (requires processing for fibres) or into the products. Waste is also produced in the form of the material collected in the dust abatement equipment. In general, this material is not recycled directly to the furnace. Potential contamination and uncertainty over composition make this difficult but some initiatives are underway to address the issue. Due to the nature of the material it can be expensive to dispose of and this helps to provide an incentive to find alternatives.

Most mineral raw materials are delivered in bulk and do not give rise to packaging waste. Waste materials from product packaging operations (plastic, cardboard, wood etc) are usually reused or recycled if practicable. Other waste non-specific to the industry is disposed of by conventional means, or recycled where local or national schemes permit. At the end of a furnace campaign, the refractory structure is dismantled and replaced. Where practicable this material is recovered for reuse or sale.

The EU Ceramic Fibre Sector as a whole produces around 700 - 900 tonnes per year of fibre containing waste, and 100 - 700 tonnes of other waste.

3.9.5 Energy

[tm40 ECFIA]

There is little information available on energy use within this sector. Melting is exclusively electrically heated with very low volatile losses. Therefore, the direct melting efficiency (excluding off-site issues) is quite high, although the composition has a high melting energy requirement and the furnaces are relatively small. The energy consumption ranges from 6.5 - 16.5 GJ/tonne of melt. The energy consumption for the other activities ranges from 3.5 - 9.5 GJ/tonne product (based on 75 % conversion raw materials to finished product).

3.10 Frits

The main output is the product, and the melt yield from raw materials is 75 - 80 % depending on the precise formulation. Most of this loss is made up of CO₂ emitted during melting. The processes do not produce cullet as such; and the only material generally recycled is dust from abatement equipment, which does not significantly affect the yield. The basic product yield from melt is very high because the material is simply quenched, the only losses are solids that cannot be separated from the water.

3.10.1 Process inputs

[tm46 ANFFECC]

The main raw materials used for the most common formulations are given in the table below, along with an indicative batch composition. The precise figures will vary but those in the table are broadly indicative.

Frit Type	Raw Materials	Approximate % in batch
Ceramic/Glass Frits	Zirconium compounds	7.7
	Feldspar	26.8
	Quartz	25.9
	Boric acid	6.8
	Zinc oxide	8.4
	Dolomite	8.4
	Calcium carbonate	13.4
	Potassium nitrate	2.6
Enamel Frits	Borax	19.1
	Quartz	42
	Sodium nitrate	7.8
	Sodium fluorsilicate	1.2
	Potassium fluorsilicate	7.8
	Sodium phosphate	3.2
	Titanium oxide	18.9
Low melting point frits	Red lead Pb ₃ O ₄	50
	Quartz	19.8
	Zinc oxide	15.1
	Boric acid	15.1

Table 3.31: Main raw materials utilised in frit production

Water is used for cooling and cleaning purposes, but also for cooling and shattering the molten glass (quenching) and for wet milling. All of the water circuits are usually closed circuits with corresponding losses from evaporation and purges. Other water losses are the water content of the product and the water content of the solids collected from the quench water circuit. Water consumption is estimated at 0.5 - 1.5 m³/tonne of frit.

The main fuel used is natural gas, oil is also used in some installations but much less commonly (<10 %). Many installations are oxy-gas fired and so consume a relatively large amount of oxygen.

3.10.2 Emissions to Air

3.10.2.1 Raw materials

In most modern container glass processes silos and mixing vessels are fitted with filter systems which reduce dust emissions to below 5 mg/m³. Mass emissions from both filtered and unfiltered systems will depend on the number of transfers, granule size, and the amount of material handled. Although quite rare and only in low levels some frit processes involve the use of raw materials containing lead or other heavy metals. Where materials containing potentially toxic compounds are handled there is the potential for emission of these substances. Almost invariably effective measures will already be in place to minimise emissions of these substances.

3.10.2.2 Melting

In the Frits Sector the greatest potential environmental emissions are emissions to air from the melting activities. The substances emitted and the associated sources are identified in Section 3.2.2.1. All of the furnaces in this sector are fossil fuel fired (mainly natural gas and some fuel oil). The table below shows the range of emissions from this sector, no statistical breakdown is available.

Substance	Concentration mg/m ³ .	Mass emission kg/tonne melt
Dust	5 - 850	0.1 - 9.0
Oxides of nitrogen (as NO ₂)	290 - 2000	0.4 - 16.0
Oxides of sulphur (as SO ₂)	<50 - 4000	0.4 - 32.0
Chlorides (HCl)	0.1 - 20	<0.01 - 0.16
Fluorides (HF)	0.1 - 100	<0.01 - 0.8
Metals	<1 - 25	<0.01 - 0.2

Table 3.32: Emission levels from frit furnaces

Dust emissions depend on whether abatement is fitted, and most plants will have bag filters. Oxides of nitrogen emissions depend mainly on the combustion system, many furnaces are oxy-gas fired and these represent the lowest mass emission figures given above. Most furnaces are gas fired and emissions of oxides of sulphur are less than 200 mg/m³ depending on the sulphate level of the batch.

3.10.2.3 Downstream Activities

Emissions to air from downstream processes are very low. The vast majority of milling is carried out wet, but dry milling could give rise to dust emissions if not abated.

3.10.3 Emissions to Water

Emissions to water consist of normal cooling, cleaning and surface run off emissions. The quenching and milling circuits are usually closed with fresh water top-up but sometimes have a purge to prevent salts build up. Emission levels are very low but may contain suspended solids and in some circumstances heavy metals may be present in the suspended solids. The metals are usually bound in the glass and can be removed by solids separation techniques.

3.10.4 Other Wastes

Waste levels are generally very low. The main processing waste is the solid material (mainly frit) separated from the water circuits. This material is not usually recycled because the composition is too variable. In most plants the waste to good production ratio will be in the region of 0.5 - 3 %.

Most mineral raw materials are delivered in bulk and do not give rise to packaging waste. Waste materials from product packaging operations (plastic, cardboard, wood etc) are usually reused or recycled if practicable. Other waste non-specific to the industry is disposed of by conventional means, or recycled where local or national schemes permit. At the end of a furnace campaign, the refractory structure is dismantled and replaced. Where practicable this material is recovered for reuse or sale.

3.10.5 Energy

There is very little information available on energy use within this sector. Furnaces are predominantly (>90 %) gas fired although there are some oil fired furnaces and some dual fuel fired furnaces. There are no known examples of electrical melting on a commercial scale. Furnaces tend to be very small relative to most furnaces in the Glass Industry and there are few individual furnaces greater than 20 tonnes per day and many furnaces are smaller batch furnaces. There are usually several small furnaces at a particular installation, each producing different formulations. However, refining requirements are generally less and overall energy

consumption per tonne of melt is comparable to other sectors, approximately 13 GJ/tonne. Non-melting energy use is very low due to the low level of downstream processing, and products are not usually dried.

Many furnaces in Northern Europe are oxy-gas fired and this can result in substantial energy savings. Decreases in gas usage in excess of 50 % have been reported in several cases.

4 BEI DER FESTLEGUNG DER BVT ZU BERÜCKSICHTIGENDE TECHNIKEN

4.1 Einführung

Im vorliegenden Kapitel werden jene Techniken zur Emissionsminderung dargestellt, die als geeignetste Maßnahmen zur Bestimmung der besten verfügbaren Techniken sowohl allgemein als auch für den Einzelfall angesehen werden. Die Glasindustrie verfügt über eine breitgefächerte Palette von Erzeugnissen, Fertigungsverfahren und Techniken, so dass zahlreiche Maßnahmen zur Emissionsminderung eingesetzt werden können. Allerdings können die Eignung und die Wirksamkeit der Techniken je nach den Einsatzfällen wesentlich von einander abweichen.

Dieses Kapitel wird in sieben Hauptabschnitte unterteilt:

- Auswahl der Schmelztechnik
- Materialhandhabung
- Techniken zur Minderung der durch die Schmelzprozesse anfallenden Emissionen in die Luft
- Techniken zur Minderung der durch vor- und nachgeschaltete Betriebsabläufe anfallenden Emissionen in die Luft
- Techniken zur Minderung von Emissionen in das Wasser
- Techniken zur Minderung anderer Abfälle
- Energie

Die Hauptursache für die Beeinträchtigung der Umwelt durch die Glasindustrie als Ganzes entsteht aufgrund der Emissionen in die Luft durch die Schmelzprozesse. Techniken zur Verminderung dieser Emissionen werden in Abschnitt 4.4 dargestellt, der den ausführlichsten und umfangreichsten Abschnitt dieses Kapitels bildet. Der größte Teil der beschriebenen Techniken bezieht sich in der Regel auf die meisten Anlagen in der Glasindustrie und beruht auf einer gemeinsamen Basis. Daher ist Abschnitt 4.4 stoffbezogen gegliedert und für jeden Stoff werden die verschiedenen Techniken zur Emissionsminderung näher erläutert. Die jeweiligen Techniken sind in dem Abschnitt beschrieben, der sich auf den Stoff bezieht, auf den sie den höchsten Minderungseffekt haben. Nichtsdestoweniger wirken viele dieser Techniken mindernd auf mehrere Stoffe gleichzeitig. Wo sinnvoll, werden die Einflüsse auf andere Stoffe veranschaulicht und es wird auf Überschneidungen mit anderen Abschnitten Bezug genommen.

In verschiedenen Teilen des Dokuments werden die Begriffe Primär- und Sekundärmaßnahmen benutzt. Diese Begriffe sind zwar nicht präzise, helfen aber, einige Techniken einzuordnen. Im Allgemeinen sind Primärmaßnahmen solche, die zur Minderung oder Vermeidung der Bildung von Schadstoffen dienen und Sekundärmaßnahmen wiederum solche, die auf die Schadstoffe einwirken und sie umweltverträglicher machen (zum Beispiel durch Umwandlung in andere Stoffe) oder sie so zu fassen, dass sie wiederverwendet, recycelt oder deponiert werden können. Einige der dargestellten Verfahren fallen weder in die eine noch andere Kategorie und soweit angebracht, wird es im Text verdeutlicht.

Falls erforderlich, werden die Informationen zu diesen Techniken in einheitlicher Weise dargestellt und unter fünf Hauptrubriken zusammengefasst. Allerdings ist diese Methode bei einigen Prozessen (insbesondere bei einigen Primärmaßnahmen) weder von der Logik noch von der Wirksamkeit der beste Weg Informationen darzustellen; wenn es angebracht ist, werden diese Rubriken deshalb unterschiedlich gegliedert. Die fünf Hauptrubriken lauten wie folgt:

- Beschreibung der Technik – Erörterung der Funktionsweise der Technik und wie diese Technik in der Glasindustrie eingesetzt werden kann.
- Auswirkung auf die Umwelt – Beschreibung der erzielten Emissionswerte.
- Finanzielle Aspekte – mit Informationen über den Kostenaufwand (Investitions-, Betriebs- und Infrastrukturkosten) soweit verfügbar.
- Anwendbarkeit und Fragen zu den unterschiedlichen Anwendungsmöglichkeiten.

- Zusammenhängende Betrachtungen einschließlich der inter- und intramedialen Konsequenzen und Auswirkungen auf andere Dinge, abgesehen von Emissionswerten und Kosten (z.B. Energieverbrauch, Prozessflexibilität, Produktqualität, Lebensdauer der Wanne, externe Emissionen (off-site Emissionen) und Entstehung von Verunreinigungen während des Prozessablaufs).

Ein wichtiger Punkt für dieses Kapitel ist, dass eine für eine bestimmte Anwendung erfolgreiche Technik sehr unterschiedliche Auswirkungen haben kann, wenn sie in einem anderen Sektor oder selbst auf einer anderen Anlage in demselben Sektor eingesetzt wird. Die Kosten, die Umweltleistung und die damit verbundenen Vor- und Nachteile können für verschiedene Sektoren und einzelne Anlagen sehr unterschiedlich sein. Für jede Technik wird jeweils die Verfügbarkeit und wahrscheinliche Anwendbarkeit für eine Anzahl von Situationen dargestellt.

Zur Beurteilung der Anwendbarkeit einer in diesem Kapitel beschriebenen Technik für den kontinuierlichen Schmelzprozess bedarf es der Überlegung, ob diese während der Wannenerneuerung oder nur (oder am besten) bei einer Wannenerneuerung angewendet werden kann. Eine wichtige Charakteristik der Glasindustrie besteht darin, dass Schmelzwannen eine begrenzte Betriebsdauer haben, nach der sie bis zu einem gewissen Grad repariert oder erneuert werden müssen. Im Allgemeinen sind mit Heizöl beheizte Wannen zur Herstellung von Behälterglas, Flachglas, Mineralwolle, Endlosglasfaser und Wasserglas von 8 bis zu 12 Jahren kontinuierlich in Betrieb. Heizöl beheizte Wannen für Spezialglas und Wirtschaftsglas sind gewöhnlich 3 - 8 Jahre in kontinuierlichem Einsatz. Elektrisch beheizte Wannen haben kürzere Betriebszeiten bei allen Anwendungen, d.h. 2 - 7 Jahre. Einige andere Öfen, wie Kupolöfen und Chargenschmelzöfen mit diskontinuierlicher Beschickung haben weitaus kürzere Betriebszeiten, von wenigen Tagen bis zu einigen Wochen.

Es gibt zwei Hauptkategorien bei der Erneuerung von kontinuierlich beschickten Schmelzwannen:

- Bei einer „normalen“ Erneuerung wird das Feuerfestmaterial, und falls notwendig auch die Regeneratoren durch den vollständigen oder teilweisen Ersatz des Materials repariert. Der Wannenrahmen wird nicht wesentlich erweitert und die Wannengröße bleibt im Wesentlichen unverändert. Solange sich die Anforderungen an die Wanne oder an die Technologie nicht wesentlich ändern, handelt es sich hier um die üblichste Art der Wannenerneuerung zwischen Produktionskampagnen.
- Eine „vollständige“ Erneuerung verlangt gewöhnlich eine weitgehende Angleichung oder den Ersatz des Rahmens neben dem Austausch des Feuerfestmaterials. Dies ist mit dem Bau einer neuen Wanne vergleichbar, obwohl in vielen Fällen der größte Teil der bestehenden Infrastruktur und insbesondere die Regeneratoren erhalten bleiben können. Diese Art der Erneuerung ist weniger üblich und wird normalerweise durchgeführt, wenn eine wesentliche Änderung der Anforderungen an die Wanne (zum Beispiel Erhöhung der Schmelzfläche oder wesentliche Veränderungen bei der Feuerungswärmeleistung) oder der Technologie vorgenommen werden. Eine vollständige Erneuerung verursacht in der Regel wesentlich höhere Kosten als eine normale Erneuerung.

Während des laufenden Betriebes ist die Gelegenheit für Änderungen an der Schmelzwanne begrenzt, obwohl oftmals Reparaturen in heißem Zustand zur Erneuerung oder Abstützung von beschädigtem Feuerfestmaterial durchgeführt werden. Änderungen am Brenner oder ein Austausch können ebenfalls relativ schnell vorgenommen werden. Größere Änderungen, die sich auf die Schmelztechnologie auswirken, sind im Allgemeinen am wirtschaftlichsten, wenn sie mit einer Erneuerung der Wanne verknüpft werden. Dies kann auch bei umfassenden Sekundärmaßnahmen zur Emissionsminderung der Fall sein. Dennoch sind viele Verbesserungen an der Wannenerneuerung möglich, einschließlich der Installierung von Sekundärmaßnahmen während des laufenden Betriebes. Wenn es zweckmäßig ist, werden diese Fragen bei der Anwendbarkeit der einzelnen Techniken in Betracht gezogen.

Das unterscheidende Merkmal zwischen einer „normalen“ Erneuerung und einer „vollständigen“ Erneuerung ist nicht ganz und gar eindeutig, denn es gibt viele Möglichkeiten zwischen der einfachsten, normalen Erneuerung und der vollständigen Demontage und dem vollständigen Ersetzen einer Wanne. Zum Beispiel kann eine kleine Reparatur zur Behebung eines bestimmten Schadens oder zur Durchführung einer kleineren Änderung entweder in heißem oder in kaltem Zustand durchgeführt werden. Auch können kleinere Erneuerungen bei einer geplanten Reparatur in kaltem Zustand auftreten, aber das meiste Feuerfestmaterial bleibt erhalten und nur die beschädigten Teile werden ersetzt. Der Hauptunterschied, der sich sowohl auf die Kosten als auch auf die Möglichkeit der Einführung einer neuen Technologie auswirkt, besteht in der Frage, ob eine wesentliche Veränderung des Wannenrahmens und demzufolge der Wannengröße vorgenommen wird.

Bei kleineren Wannen mit häufigeren Erneuerungen und geringeren Investitionskosten sind die Vorteile einer Koordinierung von Umweltverbesserungen und Wannenreparaturen weniger ausschlaggebend, aber die Verbesserungsmaßnahmen zum Schutz der Umwelt können bei einer Koordinierung mit anderen Investitionen wirtschaftlicher sein.

4.2 Wahl der Schmelztechnik

Die in der Glasindustrie angewendeten Schmelzverfahren werden in Kapitel 2 beschrieben. Sie reichen von kleinen Hafenoöfen bis zu großen Regenerativwannen mit einer Schmelzleistung von über 600 Tonnen Glas/Tag. Die Wahl der Schmelztechnik hängt von vielen Faktoren ab, insbesondere aber von der geforderten Schmelzleistung, der Glasrezeptur, den Brennstoffkosten und der bestehenden Infrastruktur. Die richtige Wahl ist eine der wichtigsten, technischen und ökonomischen Entscheidungen für den Bau einer neuen Anlage oder für eine Wannenerneuerung. Die vorrangigen Faktoren sind die geforderte Schmelzleistung und die Glasart.

Die Wahl zwischen einer Wanne mit regenerativer oder rekuperativer Luftvorwärmung ist eine wirtschaftliche und technische Entscheidung, die allgemein bei der Festlegung der BVT keine wesentliche Berücksichtigung findet. Daher werden die Umweltaspekte hier nur kurz erwähnt. Die Wahl zwischen einer herkömmlichen Luft-Brennstoff-Feuerung und einem elektrischen oder Oxy-Fuel-Schmelzprozess ist dagegen ein wichtiger Faktor für die Festlegung der BVT, diese Techniken werden in getrennter Form beschrieben. Ähnlich werden bestimmte andere Schmelzverfahren, wie zum Beispiel die SORG-LoNO_x Schmelzwanne in den nach stoffbezogenen Abschnitten getrennt behandelt.

Jedes in Kapitel 2 beschriebene Verfahren hat seine eigenen Vor- und Nachteile sowie Grenzen. Zum Zeitpunkt der Niederschrift ist beispielsweise die beste technische und wirtschaftlichste Art und Weise der Serienfertigung von Floatglas mit großen regenerativ beheizten Querbrennerwannen zu erzielen. Die Alternativen sind entweder noch nicht vollständig erprobt (zum Beispiel Sauerstoff-Brennstoff-Schmelzprozess) oder gefährden die wirtschaftlichen bzw. technischen Ziele des Unternehmens (elektrischer Schmelzprozess oder rekuperative Luftvorwärmung).

Die Umweltverträglichkeit der Wanne ergibt sich aus einer Kombination der ausgewählten Schmelztechnik, der Betriebsmethode und der Anwendung von Sekundärmaßnahmen. Aus der Perspektive des Umweltschutzes werden Schmelztechniken, die von Hause aus weniger umweltschädigend sind oder bei denen Primärmaßnahmen eingesetzt werden können, allgemein bevorzugt im Gegensatz zu solchen, die Sekundärmaßnahmen erfordern. Allerdings muss die wirtschaftliche und technische Anwendbarkeit berücksichtigt werden und die endgültige Wahl sollte ausgewogen sein.

Die Umweltverträglichkeit der einzelnen Schmelzverfahren hängt wesentlich von der produzierten Glasart, der Betriebsmethode und der Auslegung ab. Zum Beispiel haben die Emissionen (vor Sekundärmaßnahmen) einer Rekuperativwanne für TV-Glas mit Nitratzusatz und die fast am Ende ihrer Betriebszeit ist, wenig Ähnlichkeit mit den Emissionen einer neu konstruierten Rekuperativwanne zur Herstellung von Endlosfasern mit einer optimalen Geometrie, Rezeptur und Feuerung. Diese Faktoren machen einen direkten, quantitativen Vergleich der einzelnen Schmelzverfahren schwierig und sind von begrenztem Wert. Die nachfolgenden Abschnitte fassen nur die wichtigsten Umweltaspekte für jede der in Kapitel 2 beschriebenen Technik zusammen. Sauerstoff-Brennstoff-Schmelzwannen und Spezialausführungen werden jeweils in den Abschnitten 4.4.2.5 und 4.4.2.3 behandelt. Die Emissionsunterschiede von den einzelnen Wannentypen werden, wenn erforderlich, in den stoffspezifischen Abschnitten dieses Kapitels behandelt.

Der elektrische Schmelzprozess unterscheidet sich von den anderen, unten beschriebenen Verfahren, weil es sich um eine grundlegende Änderung der Technologie handelt, die wesentliche Auswirkungen auf die Emissionen hat. Der elektrische Schmelzprozess wird als eines der spezifischen Verfahren zur Berücksichtigung bei der Festlegung der BVT dargestellt. Allerdings ist dies angesichts seiner Auswirkung auf alle Emissionen nicht in angemessener Weise in den stoffbezogenen Ansatz dieses Kapitels einzuordnen, daher wird diese Technik in diesem Abschnitt dargestellt.

Regenerativwannen

Diese Wannen sind allgemein energieeffizienter als andere konventionelle, mit fossilen Brennstoffen beheizte Wannen aufgrund der wirksameren Verbrennungsluftvorwärmung. Der geringe Energieeinsatz pro Tonne geschmolzenes Glas führt zur Verminderung vieler Schadstoffe, die mit der Verbrennung in Verbindung zu bringen sind. Allerdings begünstigen die hohen Vorwärmtemperaturen die Bildung höherer NO_x-Werte. Diese Wannen haben sehr gute Ergebnisse beim Einsatz von Primärmaßnahmen zur Emissionsminderung gezeigt, insbesondere bei NO_x. Von den zwei Bauarten von Regenerativwannen tendieren U-Flammenwannen zu einer besseren Energieeffizienz und geringeren Emissionen. Allerdings können in gewissen Fällen die Primärmaßnahmen zur NO_x-Minderung bei Querbrennerwannen höhere Minderungsraten ergeben.

Die hohen Investitionskosten für Regenerativwannen sind normalerweise nur wirtschaftlich tragbar für die großtechnische Herstellung von Glasprodukten (gewöhnlich >100 Tonnen pro Tag, obwohl es Beispiele für kleinere Wannen gibt). Für Produktionsraten von >500 Tonnen pro Tag werden in der Regel Querbrennerwannen eingesetzt, um eine gute Temperaturverteilung über die gesamte Länge der Wanne zu erzielen.

Rekuperativwannen

Diese Wannen sind weniger energieeffizient als Regenerativwannen, ermöglichen dennoch eine wesentliche Rückgewinnung der Wärme über das Wärmeaustauschsystem. Weitere Verbesserungen der Energieeffizienz sind mit zusätzlichen Maßnahmen, wie zum Beispiel elektrische Zusatzheizung, Abhitzekegel, Gasvorwärmung und Gemenge/Scherben-Vorwärmung möglich. Die Vorwärmtemperaturen sind niedriger als bei Regenerativwannen und mit Primärmaßnahmen zur NO_x-Überwachung können gute Ergebnisse erzielt werden.

Kombinierte Schmelztechnik durch fossile Brennstoffe und Elektroenergie

Es gibt prinzipiell zwei Ansätze für den Einsatz dieser Technik, vorwiegende Beheizung mit fossilem Brennstoff mit elektrischer Zusatzheizung oder vorwiegende elektrische Beheizung mit Unterstützung durch fossilen Brennstoff. Bei vielen Wannen ist die Elektrozusatzheizung vorgesehen und kann mit 2 bis 20 % zur Gesamtenergiezufuhr beitragen. Im Allgemeinen ist bei Behälterglas- und Floatglas-Wannen der Anteil der elektrischen Zusatzheizung angesichts der hohen Kosten für Elektrizität äußerst begrenzt (<5 %). Die Elektrozusatzheizung vermindert die direkten Emissionen aus der Wanne durch den teilweisen Ersatz der Verbrennung durch Elektroheizung bei einem bestimmten Glasdurchsatz. So wie unten in Abschnitt 4.2.1 erläutert, müssten bei einer ganzheitlichen Betrachtung die vor Ort erzielten Emissionsminderungen mit den durch die Energieerzeugung verursachten Emissionen verglichen werden.

Die hohen Kosten für die Elektrozusatzheizung machen deutlich, dass diese Maßnahme im Allgemeinen keine langfristige Lösung zur Emissionsminderung für die Basisproduktion sein kann. Es handelt sich vielmehr um ein Betriebsverfahren, dessen Einsatz von wirtschaftlichen und technischen Fragen abhängig ist. Die elektrische Zusatzheizung hat eine günstige Auswirkung auf Emissionen aus der Wanne und kann in Verbindung mit Techniken wie NO_x-armen Brennern zur Verbesserung der Schmelze und der Emissionsminderung eingesetzt werden, aber es handelt sich bei einem Einsatz in alleiniger Form nicht um eine kostengünstige Möglichkeit. Die Elektrozusatzheizung kann auch zur Verbesserung der Konvektivströmung in der Wanne eingesetzt werden, was die Wärmeübertragung unterstützt und die Läuterung begünstigen kann. Die fossile Brennstoffzusatzfeuerung bei vorwiegend elektrisch beheizten Wannen ist eine viel weniger eingesetzte Technik. Dieses Verfahren ermöglicht die Realisierung zahlreicher Umweltvorteile der elektrischen Schmelztechnik durch die Überwindung technischer und wirtschaftlicher Grenzen dieser Technik. Der Einsatz von Brennern erhöht die Schmelzrate der Rohstoffe. Es gibt selbstverständlich Emissionen in Verbindung mit der Brennstoffverbrennung, die von dem Verhältnis zur Wärmezufuhr abhängen. Zahlreiche der in diesem Kapitel beschriebenen Maßnahmen zur Emissionsminderung können bei diesen Wannen eingesetzt werden, einschließlich NO_x-arme Brenner und Sauerstoff-Brennstoff-Schmelztechnik.

Chargen-Schmelzverfahren (Diskontinuierliches)

Das herkömmliche Verfahren zum diskontinuierlichen Schmelzen kleiner Mengen ist der Hafenofen, obwohl andere Verfahren wie Tageswannen und Flex-Melterwannen immer üblicher werden. Die Wahl der Technik ist normalerweise abhängig von der Logistik der spezifischen Anlage, insbesondere von dem Produktionsumfang, der Anzahl der verschiedenen Glasrezepturen und von den Kundenanforderungen. Viele der in diesem Kapitel beschriebenen Primärmaßnahmen zur Emissionsminderung sind für diese Öfen in mehr oder weniger großem

Umfang anwendbar. Die wirksamsten Verfahren sind offenbar die Optimierung der Gemengerezepturen und Verbrennungsmethoden. Angesichts der Auslegung von Hafeno-fen liefern diese Verfahren normalerweise bessere Ergebnisse bei Tageswannen und halb-kontinuierlichen Schmelzwannen. Wenn der Einsatz von Tageswannen oder kontinuierlichen bzw. halbkontinuierlichen Schmelzprozessen möglich ist, werden normalerweise eine bessere Energieeffizienz und geringere Emissionen erreicht.

Steinwolle Schmelztechnik

Bei der am häufigsten eingesetzten Technik zu Steinwolleherstellung handelt es sich um den Kupolofen, obwohl es Beispiele für elektrische und gasbeheizte Schmelzwannen gibt. In einigen Fällen wurden diese speziellen Optionen bei Pilotanlagen zur Untersuchung der langfristigen Zuverlässigkeit dieser Herstellungsprozesse entwickelt, oder aber aufgrund von standortspezifischen Umständen gewählt. Der Kupolofen bietet zahlreiche Betriebsvorteile und gilt als bevorzugte Technik in diesem Sektor. Die Alternativen zeigen entweder keine wesentlichen Umweltvorteile oder haben sich technisch und wirtschaftlich für eine breitere Anwendung nicht als erprobt erwiesen.

4.2.1 Elektrischer Schmelzprozess

Beschreibung der Technik

Die Technik wird in Kapitel 2 beschrieben, weil es sich um eine grundlegende Schmelztechnik in mehreren Sektoren der Glasindustrie handelt. Der elektrische Schmelzprozess hat beträchtliche Auswirkungen auf die Schadstoffemissionen und wird daher in diesem Kapitel als „Primär“-Maßnahme zur Emissionsminderung dargestellt.

Umweltverträglichkeit

Durch den vollständigen Ersatz fossiler Brennstoffe in der Wanne wird die Bildung von Verbrennungsprodukten, wie Schwefeloxiden, thermischem NO_x und Kohlendioxid vermieden. Die übrigen Emissionen entstehen durch ausgetragene Gemengebestandteile und Zersetzung von Gemengebestandteilen, insbesondere CO_2 aus Karbonaten, NO_x aus Nitraten und SO_x aus Sulfaten. Bei den meisten Anwendungen ist der Sulfateinsatz gering, weil er für die Läuterung keine wesentliche Bedeutung hat und vorwiegend als Oxidationsmittel eingesetzt wird.

Es können ebenfalls geringe Mengen an Halogen-Emissionen oder Metallen entstehen, wenn diese Stoffe in den Rohstoffen vorhanden sind. Allerdings können die Emissionswerte von Rezepturen, die Fluorid als Zusatzstoff enthalten, erheblich sein. Die Emission aller flüchtigen Gemengebestandteile ist wesentlich geringer als bei herkömmlichen Wannen, aufgrund der reduzierten Abgasmenge und aufgrund der Absorption, Kondensation und Reaktion gasförmiger Emissionen in der Gemengedecke, die normalerweise die gesamte Schmelzfläche abdeckt.

Die Wannen sind gewöhnlich an einer Seite offen und es bilden sich erhebliche Luftströme aufgrund der gasförmigen Emissionen und der Hitze aus der Schmelze. Normalerweise ist eine Art Belüftung notwendig, damit Staub, Abgase und Hitze entweichen können, ohne zum Arbeitsplatz zu gelangen. Dies wird entweder durch normale Zugluft oder Absaugung erzielt. Das durch natürliche Zugluft beseitigte Abgas hat ein sehr geringes Volumen, kann aber eine hohe Staubkonzentration und geringe Dispersionseigenschaften aufweisen.

Staubemissionen können durch Absaugung in eine Entstaubungsanlage gemindert werden, und aufgrund des geringen Abgasvolumens wird normalerweise ein Schlauchfilter eingesetzt. Auf diese Weise ergeben sich sehr geringe Staubemissionen und es ist ebenfalls möglich, die HF-Emissionen durch Trocken-Absorption zu behandeln, sofern dies notwendig ist. Siehe Abschnitte 4.4.1.3. und 4.4.4.2.

Die gegenwärtig erreichten Emissionswerte sind wesentlich abhängig von der Gemengerezeptur ferner kann durch die geringen Abgasvolumenströme ein Vergleich der Emissionskonzentrationen zu irreführenden Darstellungen führen. Allerdings werden nach grober Schätzung die gesamten direkten Emissionen durch einen Faktor zwischen 10 und 100 reduziert im Vergleich zu einer herkömmlichen Luft-Brennstoff-beheizten Wanne mit vergleichbarem Durchsatz. In Kapitel 3 und in den Fallstudien in Anhang 1 werden einige quantitative Angaben für Mineralwollanlagen gemacht.

Finanzielle Aspekte

Die Wirtschaftlichkeit von elektrischen Schmelzwannen hängt hauptsächlich von der Preisdifferenz zwischen Elektroenergie und fossilem Brennstoff ab. Zum Zeitpunkt der Niederschrift sind die durchschnittlichen Kosten für Elektrizität pro Energie-Einheit 4 bis 5 mal so hoch wie die Kosten von Heizöl. Die Stromkosten können bis zu 100 % innerhalb der Mitgliedstaaten schwanken, wogegen die Kosten für fossilen Brennstoff zu einem geringeren Preisunterschied tendieren. Die Brennstoffpreise und ihre Schwankung werden in Abschnitt 4.4.3.1. diskutiert. Elektrowannen haben einen sehr hohen thermischen Wirkungsgrad, der allgemein 2- bis 4-mal besser ist als bei Luft-Brennstoff beheizten Wannen. Der Vergleich für große energieeffiziente Wannen ist im unteren Bereich, und für kleinere Wannen im oberen Bereich der Größenordnung angegeben.

Die Investitionskosten für Elektrowannen sind weitaus geringer als bei konventionellen Wannen, die über das Jahr verteilt teilweise die höheren Betriebskosten ausgleichen. Allerdings haben diese Wannen eine kürzere Betriebsdauer, bevor sie erneuert oder repariert werden müssen, d.h. von 2 bis 4 Jahren im Vergleich zu 10 bis 12 Jahren für konventionelle Wannen. Bei kleinen traditionellen Luft-Brennstoff-Wannen (bis zu etwa 50 Tonnen/Tag) sind die Wärmeverluste relativ hoch im Vergleich zu größeren Wannen. Im Bereich von 10 bis 50 Tonnen/Tag können Elektrowannen konkurrenzfähiger sein, angesichts der höheren spezifischen Wärmeverluste von Luft-Brennstoff-Schmelzwannen.

Nach bisheriger Erfahrung wird Folgendes als allgemeingültige Regel für die Größe von Elektrowannen, die wirtschaftlich tragbar sind, d.h. für Wannen, die möglicherweise eine Alternativlösung darstellen, empfohlen. Ausnahmen hierzu sind aufgrund ortsspezifischer Umstände unvermeidbar.

- Schmelzwannen unter 75 Tonnen/Tag sind allgemein wirtschaftlich vertretbar.
- Schmelzwannen im Bereich von 75 bis 150 Tonnen können unter gewissen Umständen wirtschaftlich vertretbar sein.
- Schmelzwannen über 150 Tonnen/Tag sind wahrscheinlich normalerweise nicht wirtschaftlich vertretbar.

Die finanziellen Aspekte können ebenfalls durch anlagenspezifische Faktoren stark beeinflusst werden, einschließlich durch: aktuelle Energiekosten, Anforderungen an die Produktqualität, Platzbedarf, Kosten für alternative Emissionsminderungsmaßnahmen, geltende Gesetzgebung, einfache Betriebsweise und die voraussichtliche Betriebsdauer von alternativen Wannensystemen.

In den Mitgliedstaaten, in denen die Preisdifferenz zwischen fossilem Brennstoff und Elektrizität im oberen Bereich der angegebenen Werte liegt, scheint die Wahl des elektrischen Schmelzverfahrens weniger attraktiv zu sein. Dies könnte den Betreiber in solchen Fällen dazu veranlassen, eine Kombination anderer Verfahren anstelle der elektrischen Schmelztechnik zu wählen.

Anwendbarkeit

Der elektrische Schmelzprozess ist in vielen Teilen der Glasindustrie anwendbar und wird in verschiedenen Sektoren weitgehend eingesetzt einschließlich Keramikfaser, Mineralwolle, Spezialglas, Wirtschaftsglas und in geringerem Umfang Behälterglas. Das elektrische Schmelzverfahren kann natürlich nur bei einer Wannenerneuerung installiert werden. Auf dem Flachglassektor oder bei der Frittenherstellung gibt es keine bekannten Beispiele für den großflächigen Einsatz der Elektroschmelztechnik. Dieses Verfahren wird gewöhnlich zur Herstellung potentiell hochflüchtiger, schadstoffhaltiger Glasarten (wie z.B. Bleikristall und Opalglas) und zur Produktveredelung angewendet.

Der Einsatz dieser Technik auf breiterer Ebene ist durch die Betriebskosten und gewisse technische Erwägungen begrenzt. Wie zuvor erwähnt, liegt das Hauptproblem bei den Betriebskosten und in Abhängigkeit von einer Reihe einzelner Faktoren setzt dies eine obere Grenze für die Wirtschaftlichkeit. Die Tatsache, dass die Technik möglicherweise realisierbar ist, will noch lange nicht heißen, dass sie zwangsläufig die BVT für eine bestimmte Anwendung darstellt.

Zum Zeitpunkt der Niederschrift wird diese Technik nicht zur Herstellung großer Glasmengen (> 300 Tonnen pro Tag) eingesetzt und kann daher weder technisch noch ökonomisch als völlig ausgereift angesehen werden.

Endlosglasfasern werden aus E-Glas mit einem niedrigen Natriumgehalt hergestellt und besitzen daher eine sehr niedrige elektrische Leitfähigkeit. Die Herstellung von E-Glas unter Verwendung von 100 % Elektroenergie wird derzeit nicht als technisch und ökonomisch vertretbar angesehen.

In England ist gegenwärtig eine Versuchsanlage für Floatglas mit einer elektrisch beheizten Wanne in Betrieb. Diese Anlage wurde gebaut, um das Prinzip der Cold-Top-Elektroschmelztechnik zur Floatglasherstellung zu veranschaulichen. Das Werk war mit dieser Pilotanlage zur Herstellung einer Reihe außergewöhnlicher Glasarten erfolgreich, denn die Emissionsminderung einer konventionell beheizten Wanne wäre sehr schwierig gewesen. Das Experiment hat ebenfalls gezeigt, dass es gegenwärtig wirtschaftlich nicht tragbar ist, eine vollständige Floatglas-Anlage (über 500 Tonnen/Tag) mit einer elektrischen Wanne zu betreiben. Zu den Hauptfaktoren zählen hohe Betriebskosten, begrenzte Wannenauslegung und eine kurze Wannebetriebsdauer.

Zusammenhängende Betrachtungen

Die direkten Emissionen aus der Wanne werden beim Einsatz dieser Technik weitestgehend reduziert und der thermische Wirkungsgrad ist ausgesprochen hoch. Allerdings bei einer übergreifenden Betrachtung der gesamten Umweltverträglichkeit, kann die Umweltbelastung durch die Stromerzeugung einige der Vorteile wieder kompensieren. Eine umfassende quantitative Analyse ist im Rahmen der Reichweite dieses Dokuments nicht möglich. Die Umweltprobleme in Verbindung mit der Energieerzeugung sind sehr vielfältig und unterscheiden sich weitgehend innerhalb der EU-Länder und manchmal auch zwischen den einzelnen Anlagen.

Die Elektrizitätsversorgung kann entweder von staatlicher Seite oder durch eine örtliche Versorgungsstelle oder durch eigene Anlagen erfolgen, wodurch sowohl die Kosten als auch die Wirksamkeit der Versorgung beeinflusst werden können. Wenn die Energiezufuhr über das staatliche Versorgungsnetz erfolgt, kann sie aus sehr unterschiedlicher Quelle stammen. Die Stromerzeugung aus Kohle, Öl, Gas, Kernkraftwerken, Wasserkraft und anderen erneuerbaren Ressourcen hat insgesamt sehr unterschiedliche Umweltauswirkungen, die jeweils damit verbunden sind.

Der Unterschied beim thermischen Wirkungsgrad zwischen dem elektrischen Schmelzprozess und dem Schmelzen mit fossilen Brennstoffen verringert sich ebenfalls, sobald der Wirkungsgrad der Elektrizitätserzeugung in Betracht gezogen wird. Dies hängt wie gesagt weitgehend von der Elektrizitätsquelle ab, aber bei einem herkömmlichen fossil befeuerten Kraftwerk liegt der aus Primärbrennstoff erzielte Wirkungsgrad gegenüber dem Einsatzpunkt der Elektrizität in einem Bereich von 30 bis 35 %. Bei einem mit Erdgas betriebenen Gasturbinenkraftwerk mit Kraft-Wärme-Kopplung läge dieser Wert näher an 50 %.

Angesichts der geringen Abgasvolumenströme in Verbindung mit diesem Verfahren werden die Kosten für sämtliche nachgeschalteten Minderungsmaßnahmen erheblich reduziert und die geringen Mengen an gesammeltem Staub können unmittelbar in den Schmelzprozess zurückgeführt werden. Der geringe Verlust an flüchtigen Stoffen vermindert ebenfalls den Rohstoffverbrauch, wodurch die Emissionen und die Kosten reduziert werden. Dies ist insbesondere bei einigen kostenintensiven und/oder toxischen Stoffen wie Bleioxiden, Fluoride, Arsenverbindungen, Borax, usw. vorteilhaft.

Im Allgemeinen entsteht durch den elektrischen Schmelzprozess eine sehr homogene und hochwertige Glasqualität. Für bestimmte Wirtschaftsglas- und Spezialglas-Anwendungen kann dies einer der Hauptgründe für die Wahl der elektrischen Schmelztechnik sein.

Nach herkömmlicher Auffassung innerhalb der Glasindustrie ist Natriumnitrat oder Kaliumnitrat bei Cold-Top-Elektrowannen notwendig, um die notwendigen Oxidationsbedingungen für einen stabilen, sicheren und wirksamen Fertigungsprozess zu erzielen. Die Anwendung von Nitraten hat eine direkte Auswirkung auf die NO_x-Emissionen und obwohl diese nicht für alle Anwendungen notwendig sind, können dadurch gewisse Umweltvorteile der elektrischen Schmelztechnik verringert werden. Die Anwendung von Nitraten als Oxidationsmittel gewinnt an Bedeutung, wenn Reststoffe, die organische Verbindungen enthalten, in die Schmelzwanne zurückgeführt werden. Die Verwendung hoher Mengen an Fremdscherben (oder anderer recycelter Materialien) kann zuweilen Geruchsprobleme verursachen.

Vorteile

- sehr geringe direkte Emissionen
- potentiell erhöhte Schmelzleistung pro m² Wannenfäche
- höhere direkte Energieeffizienz
- in einigen Fällen geringere Rohstoffkosten
- in vielen Fällen ergibt der elektrische Schmelzprozess ein homogeneres Glas von besserer Qualität
- geringerer Investitionsaufwand und Platzbedarf für die Wanne
- potentiell einfachere Betriebsweise

Nachteile

- hohe Betriebskosten
- verkürzte Wannelaufzeit
- zur Zeit technisch und ökonomisch nicht tragbar bei sehr hohen Produktionsmengen
- weniger Flexibilität und ungeeignet bei starken Durchsatzschwankungen für hochwertige Qualitätsgläser
- Umweltauswirkungen im Zusammenhang mit der Elektrizitätserzeugung

Tabelle 4.1: Wesentliche Vor- und Nachteile der elektrischen Schmelztechnik

Installationsbeispiele

Schott Glas, Mainz, Deutschland – Spezialglas

Pilkington Glass Technology, St. Helens, England – Flachglas (Versuchsanlage/Spezialist)

Thermal Ceramics, Merseyside, England – Keramikfaser

British Gypsum Isover, Runcorn, England – Glaswolle

Saint-Gobain-Desjonquères, Mers-les-Bains, Frankreich – Behälterglas

4.3 Techniken zur Handhabung von Werkstoffen

Durch die Vielseitigkeit der Glasindustrie ergibt sich der Einsatz einer breiten Palette von Rohstoffen. Bei der Mehrzahl dieser Stoffe handelt es sich um feste, anorganische Verbindungen, entweder aus in der Natur vorkommenden Mineralien oder aus künstlich hergestellten Produkten. Sie reichen von äußerst grobkörnigen Stoffen bis zu fein gemahlten Pulvern. Flüssigkeiten und in geringerem Maße Gase werden auch in den meisten Sektoren angewendet. Die allgemeinen Methoden zur Materialhandhabung werden in Kapitel 2, Abschnitt 2.1. beschrieben. In der Glasindustrie gibt es sehr wenige spezifische Probleme, die sich aus Emissionen in die Luft durch die Rohstoff-Handhabung ergeben. Daher werden in diesem Abschnitt nur solche Verfahren zusammengefasst, die sich allgemein in der Praxis für die Handhabung dieser Art von Werkstoffen gut bewährt haben.

Lose pulverförmige Stoffe werden gewöhnlich in Silos gelagert und die Emissionen sind durch die Verwendung gekapselter Silos, die mit einem entsprechenden Staubabscheidesystem wie Gewebefilter, entlüftet werden, weitgehend zu reduzieren. Wenn es durchführbar ist, können die erfassten Stoffe in die Silobehälter oder als Rezyklat in die Wanne zurückgeführt werden. Sofern die verwendete Rohstoffmenge den Einsatz von Silos überflüssig macht, können die fein gemahlten Stoffe in verschlossenen Containern oder dicht verschlossenen „Big Bags“ gelagert werden. Anhäufungen von staubigen, grobkörnigen Rohstoffen können bei entsprechender Abdeckung gelagert werden, um Emissionen durch Windstöße zu vermeiden. Wenn Staub ein besonderes Problem darstellt, ist bei gewissen Anlagen der Einsatz von Wasser-Sprühfahrzeugen angebracht.

Wenn das Material über oberirdische Förderbänder läuft, ist zur Vermeidung größerer Materialverluste eine Art Windschutzverkleidung notwendig. Diese Verkleidungen können derart ausgelegt sein, dass das Förderband von allen Seiten abgeschirmt wird. Bei Verwendung eines pneumatischen Fördersystems ist der Einsatz eines hermetisch abgeschlossenen Filters zur Reinigung der Transportluft vor der Freisetzung besonders wichtig. Um den Staub beim Transport und das „Mitreißen“ von Feinpartikeln aus der Wanne zu verringern, kann ein gewisser Prozentsatz an Wasser im Gemenge, gewöhnlich 0 - 4 % beibehalten werden. Bei einigen Prozessen (wie z.B. Borosilikatglasherstellung) werden trockene Gemengestoffe eingesetzt, in diesen Fällen ist die Gefahr von Staubemissionen größer, daher ist hier mehr Sorgfalt geboten.

Ein Bereich, in dem Staubemissionen gewöhnlich vorkommen, ist der Gemengeeinlegebereich der Wanne. Die Haupttechniken zur Emissionsminderung in diesem Bereich lauten wie folgt:

- Gemengefeuchtigkeit
- Leichter negativer Druck in der Wanne (nur als integrierte Maßnahme des gesamten Prozesses anwendbar)
- Vorsorgliche Absaugung über ein Filtersystem (üblich bei Cold-Top-Schmelzwannen).
- Gekapselte Schneckenförderer
- Gekapselte Becherwerke (Kühlung kann erforderlich sein).

Staubemissionen können direkt in der Atmosphäre oder in den Produktionsgebäuden vorkommen. Wenn dies der Fall ist, kann sich der Staub innerhalb des Gebäudes anreichern, und durch die Zirkulation von Luftströmen innerhalb und außerhalb des Gebäudes zu diffusen Emissionen führen. In eventuell sehr staubigen Bereichen wie Gemengehäusern, können die Gebäude mit einem Minimum an Öffnungen und Zugängen geplant und wenn notwendig mit Staubvorhängen ausgestattet werden. In den Wannenhallen ist es oftmals notwendig, für eine gewisse natürliche Abkühlung zu sorgen, daher sind Gebläse usw. angebracht. Es ist wichtig, eine gute, ordnungsgemäße Reinigung zu gewährleisten, und darauf zu achten, dass sämtliche Staubminderungsmaßnahmen (Abdichtungen, Absaugung usw.) einwandfrei funktionieren.

Prozessbereiche, in denen höchstwahrscheinlich Staub erzeugt wird (wie z.B. beim Öffnen von Säcken, Mischen von Frittengemenge, Beseitigung von Gewebefilterstaub, usw.), können mit einer Absauganlage für eine geeignete Staubminderung ausgerüstet werden. Dies kann bei kleineren Anlagen, bei denen mehr manuelle Handhabung stattfindet, besonders wichtig sein. Alle genannten Verfahren sind insbesondere dort von Bedeutung, wo mehr giftige Rohstoffe gehandhabt und gelagert werden, wie z.B. Bleioxid und Fluorverbindungen.

Flüchtige Rohstoffe können so gelagert werden, dass die Emissionen in der Luft minimiert werden. Im Allgemeinen sollten die Temperaturen für die Lagerung loser Rohstoffe so niedrig wie möglich sein. Dabei sollten Temperaturschwankungen durch Sonnenwärme berücksichtigt werden. Bei Rohstoffen, die unter erheblichem Dampfdruck stehen oder bei Substanzen mit Geruchsbelästigung sind besondere Maßnahmen notwendig. Dadurch wird die Schadstoffabgabe vermindert, die durch die Entlüftung von Behältern oder die Verdrängung von Dampf beim Abfüllen von flüssigen Stoffen entsteht.

Die technischen Maßnahmen zur Reduzierung der Verluste aus Lagerbehältern unter atmosphärischem Druck beinhalten Folgendes:

- Behälterfarbe mit geringer Licht-Absorption,
- Temperaturkontrolle,
- Behälterisolierung,
- Bestandsüberwachung,
- Schwimmdachtank,
- Dampf-Rückführsysteme,
- Festschichttank mit innenliegender Schwimmdecke,
- Vakuum-Druckventile für Behälter, die für Druckschwankungen ausgelegt sind
- Spezielle Verfahren bei der Schadstofffreisetzung z.B. Adsorption, Absorption, Kondensation,
- Befüllung unterhalb der Oberfläche.

4.4 Techniken zur Minderung der durch Schmelzprozesse anfallenden Emissionen in die Luft

4.4.1 Partikelförmige Stoffe

[tm18 CPIV,tm30 Staub]

Für die Zwecke des vorliegenden Dokuments wird der Begriff „partikelförmige Stoffe“ benutzt. Damit ist alles Material gemeint, das zum Zeitpunkt der Messung fest vorliegt. Ebenso sind die Emissionen beim Schmelzen

gemeint, die unter dem Begriff Staub zusammengefasst werden. Beide Begriffe werden abwechselnd in diesem Kapitel benutzt. Unter dem Begriff gesamte partikelförmige Stoffe sind alle organischen und anorganischen Feststoffe gemeint (ohne unteres Größenlimit) sowie Tropfen und Aerosole. Die Temperatur am Messpunkt ist insbesondere bei Glaswannen wichtig, da einige der staubbildenden Stoffe (insbesondere Borat) sich bei sehr niedrigen Temperaturen verflüchtigen können. Auch die Art der Stäube aus diesen Prozessen macht eine genaue Messung äußerst schwierig. Die Art der Staubemission aus Glaswannen schwankt bei den einzelnen Verfahren, ist aber hauptsächlich von der Wannenauslegung und der Betriebsweise sowie der Glasrezeptur abhängig. Die drei Hauptquellen für Staub aus Schmelzprozessen lauten wie folgt:

- Gemenge-Transport.
- Verflüchtigung und Reaktion von Bestandteilen aus Gemengestoffen und Glasschmelze.
- Metallische Verunreinigungen in Brennstoffen.

Bei fossil beheizten Wannen stellt die Verflüchtigung und anschließende Kondensations-Reaktion der von der heißen Glasfläche freigesetzten flüchtigen Stoffe bei weitem den größten Teil der Staubemissionen dar. Im Allgemeinen werden 80 % bis 95 % der Staubemissionen auf diese Weise erzeugt. Daher ist es wichtig zu gewährleisten, dass alle flüchtigen Stoffe vor der Abgasbehandlung oder -messung kondensiert werden. Dies ist bei Natriumsulfat kein Problem (Schmelzpunkt ca. 888°C), aber bei borathaltigen Rauchgasen ist dieser Umstand zu berücksichtigen.

Ausgetragene Gemengebestandteile tragen normalerweise weniger als 5 % zu den endgültigen Emissionen einer modernen gut gefahrenen Wanne bei. Dieser Staub ist aus den Gemengebestandteilen zusammengesetzt und wird von den leichtesten Stoffen dominiert.

Metallische Verunreinigungen in den Brennstoffen (Vanadium und Nickel) tragen zu den Staubemissionen bei, aber im Allgemeinen zu einem Prozentsatz, der insgesamt weit unter 5 % liegt. Diese Verunreinigungen entstehen hauptsächlich aus dem Heizöl. Zusätzlich könnte aus der Heizöl-Verbrennung auch eine geringe Menge an Asche entstehen, die zur Gesamtemission beiträgt. Metallische Verunreinigungen sind ebenfalls in den Scherben und anderen Rohstoffen enthalten.

Die Mechanismen bei der Verdampfung von Stoffen und der Bildung von Partikeln ist für alle Glasarten noch nicht völlig bekannt. Annähernd 90 % der gesamten Glasproduktion in der EU bestehen aus Kalknatronglas und die meisten Informationen sind für diese Zusammensetzungen erhältlich. Staub aus Kalknatronglas-Schmelzwannen besteht vorwiegend aus Natriumsulfat. Bis zu 98 % des Staubes sind lösliche Stoffe, die aus 80 - 90 % Natriumsulfat bestehen. Der Rest ist von der genauen Glaszusammensetzung abhängig, enthält aber hauptsächlich Sulfate, insbesondere K_2SO_4 . Der unlösliche Anteil enthält vorwiegend Silizium mit geringen Anteilen an metallischen Stoffen (wie z.B. Al, Fe und Cr). Bei Verwendung von Fremdscherben kann der Staub andere Bestandteile enthalten (z.B. Blei). Der Korndurchmesser liegt allgemein in einem Bereich von 0.02 bis 1 μm , aber die kleinen Teilchen agglomerieren sogleich zu größeren Partikeln. Es ist zwischen einer Reihe unterschiedlicher Verdampfungsprozesse zu unterscheiden, die unten in Abschnitt 4.4.1.1. erörtert werden.

Bei Glas mit wesentlichen Boratanteilen in der Zusammensetzung (z.B. Endlosglasfasern, Glaswolle und Borosilikatglas) stellt Borat den Hauptbestandteil des freigesetzten Staubes dar. Das Verhältnis von Natriumsulfat zu Borat in dem Staub ist von der Glaszusammensetzung abhängig. Bei niedrigen Alkaligehalten, wie z.B. bei E-Glas und Glaswolle stellen borathaltige Verbindungen über 85 % der gesamten Staubemissionen dar. Der Rest wird gebildet aus Sulfaten, Silizium und Verbindungen, die von weniger bedeutenden Gemengebestandteilen und Verunreinigungen abhängig sind.

Bei Bleiglas (TV- und Kristallglas) führt die Verdampfung von Blei zu Bleioxid oder manchmal zu Bleisulfat-Kondensationen.

Bei Cold-Top-Elektrowannen ist die Staubemission weitaus geringer und entsteht fast ausschließlich durch Austrag von Gemengebestandteilen. Das Fehlen der hohen Verbrennungsluft-Temperatur schließt die Bildung partikelförmiger Stoffe durch reaktive Verdampfung aus. Bei Steinwollekupollöfen bestehen die Staubemissionen aus einer Kombination von Rohmaterialstaub, Verbrennungsprodukten und während der Schmelze freigesetzten, flüchtigen Kondensationsstoffen.

Die Emissionen in die Luft von Metallen aus Glasschmelzprozessen sind weitgehend in den partikelförmigen Stoffen enthalten. Aus diesem Grund werden Metalle in diesem Kapitel nicht getrennt behandelt, sondern im Rahmen der Staubemissionen, und wenn es zweckmäßig erscheint, wird auf andere Abschnitte Bezug genommen. Allerdings können unter gewissen Umständen wesentliche gasförmige Metallemissionen entstehen, beispielsweise Selen aus Bronze- oder entfärbtem Glas und Blei aus Bleikristall- oder Spezialglasverfahren.

Der Hauptursprung für Metalle sind Verunreinigungen in Rohstoffen, Metalle in Rohstoffen/Additiven, die für ganz spezifische Eigenschaften verwendet werden (z.B. Bleioxide und Farbstoffe/Entfärbungsmittel), Scherben und Brennstoff. Fremdscherben sind eine bedeutende Quelle für die Belastung durch Metalle, insbesondere durch Blei (in einigen Fällen > 400 ppm). Aber auch durch andere Metalle, wie zum Beispiel durch Quecksilber, kann eine Schadstoffbelastung entstehen, wenn die Scherben Anteile von Quecksilberdampf-Leuchtstoffröhren enthalten. Einzelheiten zu den Metallemissionswerten werden in den sektorspezifischen Abschnitten in Kapitel 3 und in Tabelle 3.3 angeführt.

Es gibt drei Hauptmethoden zur Minderung von Metallemissionen entweder zusammen mit dem Staub oder als gasförmige Bestandteile.

1. Rohmaterialauswahl zur Minimierung der Kontamination und wenn möglich, Anwendung alternativer Zusatzmittel. Die Rohmaterialauswahl beinhaltet Scherben-Beschaffung und Sortierung.
2. Staubminderungstechniken, insbesondere Schlauchfiltersysteme und Elektrofilter. Wenn Emissionen wesentliche Metallkonzentrationen enthalten, können hochwirksame Staubabscheidetechniken allgemein die Emissionen auf weniger als 5 mg/Nm³ reduzieren.
3. Gasförmige Metallemissionen (wie Selen) können durch Trocken- oder Quasi-Trocken-Absorptionsverfahren in Verbindung mit Staubvermeidungsmaßnahmen wesentlich reduziert werden, siehe Abschnitt 4.4.3.3.

In einigen Fällen, insbesondere in Deutschland, ist die Vermeidung von Metallemissionen die treibende Kraft für die Installierung von Staubminderungsmaßnahmen zusammen mit einer Trocken- oder Quasi-Trockensorption.

4.4.1.1 Primärmaßnahmen

[tm18CPVIV,tm30 Staub]

Eine Glasschmelzwanne ist ein sehr dynamisches System und jede Änderung der Chemie oder der Betriebsbedingungen kann Folge-Auswirkungen auf den Schmelzprozess und auf andere Emissionen haben. Aus diesem Grund ist es wichtig, sämtliche in diesem Dokument beschriebenen Primärmaßnahmen zusammenfassend als Paket anstatt einfach nur als individuelle Maßnahmen zu betrachten. Allerdings werden die Verfahren zum besseren Verständnis notwendigerweise getrennt beschrieben, aber die Folge-Auswirkungen werden wo möglich an entsprechender Stelle erörtert.

Durch die Beibehaltung einer gewissen Feuchtigkeit in den Rohstoffen und durch Überwachung der Gemenge-Abdeckung, Partikelgröße, Gasgeschwindigkeit und Brenneranordnung können die durch den Austrag von Gemenge verursachten Emissionen auf ein geringes Maß reduziert werden. Für Prozesse, die trockene Gemengestoffe und/oder sehr feine Gemengestoffe benötigen, können die Werte etwas höher sein. Allerdings ist der Beitrag zu der gesamten Emission immer noch geringer im Vergleich zu dem Beitrag durch flüchtige Stoffe. Problemstellungen in Bezug auf die Entstehung von Staub durch die Gemengeeinlage werden in obigem Abschnitt 4.3 behandelt.

Da Staubemissionen hauptsächlich durch flüchtige Stoffe entstehen, konzentrieren sich die hier beschriebenen Primärmaßnahmen auf diese Quelle. Aus einer Staubanalyse von Kalknatronglas-Wannen ist zu schließen, dass Natrium-Verbindungen die Hauptbestandteile sind, die zur Staubbildung in Abgasen führen. Flüchtige Verbindungen aus dem Gemenge (z.B. NaCl) und aus der Schmelze (z.B. NaOH) reagieren mit Schwefeloxiden und bilden Na₂SO₄, das in dem Abgas unter 1100°C kondensiert. In den meisten Fällen wird Natriumsulfat als Läutermittel verwendet. Die Dissoziation von Natriumsulfat aus dem geschmolzenen Glas führt zu Schwefeloxid-Konzentrationen, die weitaus höher sind als die Konzentrationen der Natriumkomponente in der Verbrennungskammer und in den Abgasen. Die Schwefeloxide aus der Brennstoffverbrennung oder

Gemengesulfate sind in stöchiometrischem Übermaß verfügbar im Vergleich zum dampfförmigen Natrium, das als vorwiegende Kenngröße für die Staubbildung gilt. Die Hauptquellen für Natrium sind Scherben oder Pottasche und das Natrium in dem Natriumsulfat ist kein Faktor von wesentlicher Bedeutung.

Bei sehr schwefelarmen Abgasen können Partikel aus Natriumchlorid, Natriumfluorid oder Natriumkarbonat bei der Abkühlung von Abgasen bis unter 900°C gebildet werden. Dies ist nicht allgemein üblich und kann nur auftreten, wenn Erdgas verwendet wird und wenn Natriumsulfat durch ein anderes Läutermittel wie Antimon ersetzt wird. Dies ist bei Behälterglas oder Flachglas niemals der Fall, könnte sich aber bei Spezialanwendungen ergeben.

Eine Reihe verschiedener Verdampfungsprozesse können bei Kalknatronglas unterschieden werden:

- (a) Reaktive Verdampfung von der geschmolzenen Glasfläche. Das Natriumoxid in der Silikatschmelze reagiert an der Oberfläche mit Wasserdampf: Na_2O (Schmelze + $\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{NaOH}$ (g)). Diese Art der Verdampfung kann die Hauptursache für Staubemissionen bei Natronglas-Schmelzwannen sein.
- (b) Verdampfung von NaCl , das stets als Verunreinigung in synthetischem Soda vorhanden ist. Diese Verdampfung führt nicht nur zu Natriumsulfatstaub sondern auch zur Bildung von HCl .
- (c) Verdampfung von Natriumsulfat aus der geschmolzenen Glasoberfläche.
- (d) Reaktive Verdampfung durch chemische Reaktionen an der Oberfläche der Gemengeabdeckung mit Bestandteilen in der Wannenatmosphäre. Der Wasserdampf in der Verbrennungskammer wird als wesentlich für die Reaktion von Natriumkarbonat zur Bildung von Natriumhydroxid-Dämpfen mit ähnlichen Reaktionen für Kaliumverbindungen angesehen: $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{NaOH}(\text{g}) + \text{CO}_2$.
- (e) Die Verdampfung von Rohstoffbestandteilen von der Oberfläche der Gemengeabdeckung (z.B. Sand, Feldspat, Kalk, Natriumkarbonat, Dolomit und Natriumsulfat) ist im Allgemeinen geringfügig. Der Dampfdruck ist unter 1200°C sehr gering und über 1000°C hat bereits eine Reaktion der Einzelbestandteile zur Bildung von Silikaten stattgefunden.
- (f) Die Verdampfung von Natrium-Verbindungen in den Gasblasen während der Läuterung ist ebenfalls von relativ geringer Bedeutung.
- (g) Bei Verwertung von Fremdscherben (Behälterglaswannen) können Emissionen aus Bleiverbindungen entstehen (PbO , PbCO_3 , PbSO_4), bedingt durch Bleiglas, Spiegelglas und eine Bleibelastung in den Scherben

Bei anderen Glasarten ist die Situation unterschiedlich. Bei Borglas mit niedrigem Alkaligehalt (z.B. E-Glas und Glaswolle) wird die reaktive Verdampfung als Hauptquelle für Partikelemissionen angesehen. Der freigesetzte Staub besteht hauptsächlich aus den Reaktionsprodukten von Metaborsäure mit Natrium und Kalium. Metaborsäure wird aus der Reaktion von Borsäure mit Wasserdampf gebildet – B_2O_3 (l) + $\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{HBO}_2$ (g). Die Staubbildung durch Verdampfung findet bei borhaltigen Glasarten sehr leicht statt und die Konzentration unbehandelter Emissionen ist im Allgemeinen höher als bei Kalknatronglas. In einigen Fällen sind die Werte um ein Zehnfaches höher.

Die einzelnen für Kalknatronglas beschriebenen Verdampfungsmechanismen bilden die allgemeine Grundlage für die Verdampfung der meisten anderen Glasarten, aber je nach der chemischen Zusammensetzung gibt es eindeutig Abweichungen.

Zu den Hauptfaktoren für die Verdampfung zählen Temperatur, Wasserdampfanteil in der Wannenatmosphäre und die Gasgeschwindigkeiten an der Schmelzoberfläche. Die Verfügbarkeit reaktiver Stoffe ist ebenfalls ein wichtiger Faktor, insbesondere Natrium und Sulfate in Kalknatronglas und Bor in Borglas. Allerdings ist dieser Faktor oftmals begrenzt durch die Glaschemie.

Die wichtigsten Primärmaßnahmen zur Reduzierung von Staubemissionen werden unten hervorgehoben:

Rohstoffänderungen

Natriumchlorid kann ein wesentlicher Faktor für Staub- und Chlorid-Emissionen sein. Es wird bei einigen Spezialgläsern als Läutermittel verwendet, ist aber in der Regel eher als geringe Verunreinigung in Soda vorzufinden, das nach dem Solvay-Verfahren hergestellt wurde. Der Druck aus der Glasindustrie führte die Hersteller von Soda dazu, den Gehalt an NaCl in den letzten Jahren wesentlich zu reduzieren (gegenwärtig allgemein etwa 1 kg/Tonne). Eine weitere kurzfristige, wesentliche Reduzierung würde wahrscheinlich weiteren technischen Aufwand notwendig machen und zu einer Preissteigerung führen. Natürliches Soda, das nahezu kein NaCl enthält, ist ebenfalls verfügbar, aber dieser Rohstoff ist normalerweise in der EU aufgrund von Steuern und Kosten für den Transport aus den Ursprungsländern generell deutlich teurer.

Bei den meisten modernen Wannern sind die Sulfatanteile im Gemenge bis auf eine notwendige Mindestmenge reduziert worden, um eine gute Läuterung und eine korrekte Oxidation des Glases sicherzustellen. Alternativen zu Natriumsulfat können ein größeres Umweltproblem darstellen, wie z.B. Läutermittel auf der Basis von Arsen und Antimon. Von weiteren Fortschritten in diesem Bereich sind keine wesentlichen Emissionsminderungen zu erwarten. Es wird angenommen, dass es sich bei dem einschränkenden Faktor um die Konzentration von natriumhaltigen Dämpfen handelt, aber bei gasbeheizten Wannern würden erheblich verminderte Sulfatkonzentrationen die Reaktion in der Gasphase begrenzen.

Bei borhaltigen Glasarten ist Bor für die Formgebung der Produkte und die Produkteigenschaften von wesentlicher Bedeutung. In den vergangenen Jahren sind wesentliche Minderungen des Borgehaltes erzielt worden, aber weitere Fortschritte sind schwierig ohne die Produktivität, den Energieverbrauch und die Qualität zu beeinträchtigen. Borhaltige Stoffe sind relativ kostspielig und es wird alles getan, um den Verbrauch zu reduzieren. Zum Zeitpunkt der Niederschrift sind keine glaubwürdigen Alternativen zu Bor verfügbar und diese Schwierigkeiten haben viele Betreiber zur Installierung von Sekundärmaßnahmen veranlasst, insbesondere für Glaswolle- und Borsilikatglas-Öfen. Normalerweise werden die aus dem Abgas abgeschiedenen Stäube in die Wanne zurückgeführt.

Eine Reihe Unternehmen auf dem Endlosglasfasersektor haben Glasrezepturen entwickelt, die geringe Bor- und Fluoranteile enthalten oder diese Substanzen nur als geringe Verunreinigungen in den Rohstoffen enthalten. Es wird über Emissionen von weniger als 50 mg/m³ berichtet, wodurch die Bedeutung von Bor bei der Staubbildung bewiesen ist. Diese Art Glas benötigt eine höhere Schmelztemperatur, die Verarbeitung zu Fasern ist schwieriger, und die langfristigen Auswirkungen auf die Lebensdauer des Feuerfestmaterials müssen noch ermittelt werden. Die Einzelheiten der Technik sind patentgeschützt und daher kann diese äußerst vielversprechende Technik noch nicht als allgemein verfügbar angesehen werden. Die Fortschritte der einzelnen Hersteller sind unterschiedlich, aber einige dieser Rezepturen werden jetzt vermarktet.

Temperatursenkung an der Schmelzoberfläche

Die Gewölbetemperatur ist ein wichtiger Faktor für die Entstehung partikelförmiger Stoffe, da bei höheren Temperaturen die Erzeugung flüchtiger Stoffe größer ist. Eine Wechselbeziehung zwischen der Gewölbetemperatur und der Bildung partikelförmiger Stoffe hat sich bei Kalknatronglas-Wannen herausgestellt. Eine Senkung der Wannentemperatur muss mit der Glasqualität und der Wannenleistung im Gleichgewicht stehen. Maßnahmen mit der größten Wirkung auf die Staubminderung pro Tonne Glas sind solche, die den energetischen Wirkungsgrad und insbesondere die Wärmeübertragung in das Glas verbessern und daher eine niedrigere Gewölbetemperatur ermöglichen. Die Hauptpunkte lauten:

- Wannenauslegung und Geometrie zur Erhöhung der Konvektivströmungen und der Wärmeübertragung. Diese Änderungen können nur bei einer Wannenerneuerung durchgeführt werden. Größere Wannen sind im Allgemeinen energieeffektiver, wodurch sich auch geringere Emissionen pro Tonne Glas ergeben.
- Die Elektrozusatzheizung hilft bei der Senkung der Gewölbetemperatur durch die direkte Energiezufuhr in die Schmelze und die Erhöhung der Konvektivströmungen. Die Anordnung der Elektroden ist wichtig, aber eine Änderung ist schwierig, außer bei der Wannenerneuerung. Der Einsatz einer Elektrozusatzheizung ist normalerweise begrenzt durch die Stromkosten.
- Der erhöhte Scherbeneinsatz vermindert den Schmelzenergiebedarf, wodurch ein Betrieb mit niedrigeren Temperaturen und geringerem Brennstoffverbrauch ermöglicht wird. Da die Scherben bereits eingeschmolzen waren, unterstützt ihr Einsatz die Minderung einiger der flüchtigen und reaktiven Stoffe, die zur Staubbildung beitragen, wie Natriumchlorid und Gemengesulfate. In ölbeheizten Wannen vermindert der Scherbeneinsatz ebenfalls den Brennstoffbedarf und daher die SO₂-Konzentration. Der Scherbeneinsatz ist begrenzt durch die Verfügbarkeit von Scherben in ausreichender Qualität und Zusammensetzung. Bei Behälterglaswannen beispielsweise werden 5 bis 95 % Scherben (Eigenscherben und Fremdscherben) verwendet, Wannen für Wirtschaftsglas und Flachglas verwenden im Allgemeinen 10 bis 40 % Scherben (normalerweise nur Eigenscherben) und bei Wannen für Endlosglasfasern kommen Scherben nur selten zum Einsatz.

Brenneranordnung

Ein weiterer wichtiger Faktor für die Höhe der Verdampfungsrate aus der Schmelze ist die Geschwindigkeit, mit der die Abgase über der Schmelze abgezogen werden. Eine hohe Abgasgeschwindigkeit oder starke Turbulenzen an der Schmelzoberfläche erhöhen den Verdampfungsanteil. Fortschritte sind bei der Brenneranordnung für eine optimale Verbrennungsluftgeschwindigkeit und -richtung und für die Brennstoffgeschwindigkeit und -richtung zu verzeichnen. Weitere Anstrengungen wurden ebenfalls unternommen, um diese Veränderungen mit Änderungen an der Wannenbreite und -länge des ungefeuerten Deckenbereichs zu kombinieren. Änderungen, die eine Veränderung der Wannenauslegung zur Folge haben, können nur bei einer Wannenerneuerung durchgeführt werden. Andere Änderungen sind manchmal am kostengünstigsten, wenn sie mit einer Neuauslegung der Wanne verknüpft werden.

Umstellung auf Gasbeheizung (oder schwefelarme Brennstoffe)

Eine Umstellung von Heizölfeuerung auf Erdgasfeuerung kann eine beträchtliche Minderung der Staubemissionen zur Folge haben. Die Gründe hierfür sind wahrscheinlich die besonderen Kondensationsreaktionen der Partikel bei Gasfeuerung, obwohl in einigen Fällen die verminderten SO_x-Konzentrationen auch als Faktor in Betracht kommen. Aus dem Flachglas-Sektor wird beispielsweise über Staubemissionsminderungen von über 25 % berichtet, bei der Umstellung von Heizöl- auf Gasbeheizung. Der Flachglas-Sektor hat ebenfalls eine wesentliche Auswirkung durch die Senkung des Schwefelgehalts von Heizöl bekannt gegeben (Staubminderung von 20 mg/Nm³ je 1 % weniger Schwefelgehalt von Heizöl). Eine ähnliche Wirkung wurde bei Wirtschaftsglas mit schwefelarmem Heizöl (<1%) beobachtet. Die Umstellung auf Erdgas wird in Abschnitt 4.4.3.1. ausführlicher behandelt. Die Hauptpunkte werden unten zusammengefasst:

- Die meisten Anlagen sind bereits für den Einsatz beider Brennstoffe ausgerüstet, obwohl einige keinen Zugang zu einer Erdgasversorgung haben.
- Die Kosten der Technik sind hauptsächlich von den aktuellen Brennstoffkosten abhängig.
- Seitens der Industrie besteht die Befürchtung, dass die Wärmeübertragung in die Schmelze geringer ist als bei Heizöl aufgrund der geringeren Flammenintensität.
- Erdgas kann im Vergleich zu Heizöl höhere NO_x-Emissionen ergeben.
- In einigen Fällen von Mischfeuerungen werden gleichzeitig beide Brennstoffe in einer Wanne eingesetzt. Dieser Kompromiss kann interessante Effekte ergeben (geringe NO_x- SO_x- und Staub-Emissionen).

Weitere Betrachtungen

Emissionen aus Cold-Top-Elektroschmelzwannen können durch die Reduzierung der Luftmassenströme und Turbulenzen bei der Rohstoffzufuhr sowie durch Optimierung der Rohmaterial-Korngröße und -Feuchtigkeit minimiert werden. Primärmaßnahmen für Staubemissionen aus Steinwollekuppelöfen werden selten

durchgeführt. Die zu unternehmende Hauptmaßnahme wäre eine Rohstoffwäsche zur Staubbeseitigung. Allerdings sind die meisten Kupolöfen mit Schlauchfiltern ausgerüstet und daher besteht wenig Anreiz zur Durchführung von Primärmaßnahmen, da sie offenbar an der Notwendigkeit von Sekundärmaßnahmen nichts ändern.

Umweltleistung von Primärmaßnahmen

Die mit Primärmaßnahmen erreichbaren Emissionswerte sind quantitativ schwierig zu ermitteln, angesichts der zahlreichen Faktoren, die sich auf die Ergebnisse und die Vielfältigkeit der Wannentypen und Glasrezepturen auswirken können.

Bei flammenbeheizten Wannern werden die niedrigsten Emissionswerte bei alleinigem Einsatz von Primärmaßnahmen durch Wannern zur Herstellung von Kalknatronglaserzielt. Die durchschnittliche Emissionsmasse liegt bei etwa 0,4 kg/Tonne geschmolzenen Glases und die meisten Emissions-Konzentrationen liegen in einem Bereich von 100 bis 300 mg/m³. Es gibt einige Wannern, die für Staub weniger als 100 mg/m³ erreichen, aber diese sind nicht allgemein üblich.

Durch die Optimierung von Primärmaßnahmen (aufgrund derzeitiger Kenntnis und zu erwartender Verbesserungen am Wannernbetrieb) hat die Kalknatronglas-Industrie festgestellt, dass ein Wert zwischen 70 und 100 mg/m³ in absehbarer Zeit eine realistisch erzielbare Staubemission sein dürfte [tm 30 Staub]. Zum Zeitpunkt der Niederschrift haben nur wenige Anlagen Staub-Emissionswerte unter 100 mg/Nm³ ohne Sekundärmaßnahmen und 100 bis 200 mg/Nm³ (<0,4 kg/Tonne Glas) werden gegenwärtig mit Primärmaßnahmen als erreichbar angesehen. Es ist nicht anzunehmen, dass diese Werte für andere Zusammensetzungen als Kalknatronglas erreicht werden können. Im Allgemeinen dürfte für andere Zusammensetzungen zu erwarten sein, dass die Optimierung von Primärmaßnahmen eine Minderung der Emissionen um 10 bis 30 % ergibt.

Finanzielle Aspekte

Über die Kosten von Primärmaßnahmen stehen sehr wenige Angaben zur Verfügung, aber aus Industriekreisen wird berichtet, dass die Kosten der bisher durchgeführten Maßnahmen als gering angesehen werden. Maßnahmen zur Senkung des Energieverbrauchs haben tatsächlich Kosteneinsparungen zur Folge. Die Kosten in Bezug auf Gasfeuerung werden in Abschnitt 4.4.3.1 genannt.

Primärmaßnahmen können je nach Umfang und Zeitpunkt der Durchführung unterschiedliche Kosten verursachen. Die Maßnahmen sind als Gesamtpaket zu betrachten und es ist die Optimierung dieser Gesamtmaßnahmen, die die Kosten und Ergebnisse bestimmen, abzuwägen. Zum Beispiel ist es bei einem niedrigen Chloridgehalt oder der Anwendung von natürlicher Soda unwahrscheinlich, die Staubemissionen bis auf ein mit Sekundärmaßnahmen vergleichbares Niveau zu senken und je nach weiteren Faktoren, können die Kosten in einem disproportionalen Verhältnis zu den Vorteilen stehen. Allerdings ist dies nur ein Aspekt der Gesamtmaßnahmen, denn die Kosten und Ergebnisse hieraus müssen als Ganzes betrachtet werden.

Anwendbarkeit

Die beschriebenen Grundregeln werden allgemein für alle Sektoren der Industrie im Rahmen der identifizierten Einschränkungen als anwendbar angesehen. Allerdings können Verfahren, die mit Erfolg für einen Prozess durchgeführt werden, nicht dieselbe Auswirkung bei anderen Anlagen haben. Kurz- bis mittelfristig scheinen Primärmaßnahmen zur Staubvermeidung bei Kalknatronglas-Rezepturen wesentlich bessere Minderungen zu erzielen als bei anderen Glasarten.

Zusammenhängende Betrachtungen

Vorteile

- Geringe Kosten
- Schwerpunkt auf Vermeidung anstatt Minderung
- Kein Energieeinsatz oder potentielle feste Abfälle in Verbindung mit Sekundärmaßnahmen

Nachteile

- Primärmaßnahmen können die Emissionswerte von Sekundärmaßnahmen wie Elektrofilter nicht erreichen. Daran wird sich wahrscheinlich in absehbarer Zeit nichts ändern
- Primärmaßnahmen stellen zusätzliche Betriebsanforderungen an den Prozess.

Tabelle 4.2: Wesentliche Vor- und Nachteile von Primärmaßnahmen zur Staubminderung

4.4.1.2 Elektrofilter

Beschreibung der Technik

Der Elektrofilter ist innerhalb eines weiten Bereiches von Betriebsbedingungen wie Temperatur, Druck und Staubbelastung betriebsfähig. Er ist nicht besonders empfindlich gegenüber der Korngröße und kann partikelförmige Stoffe unter trockenen sowie feuchten Bedingungen erfassen. Der Elektrofilter besteht aus einer Reihe von Hochspannungsentladeelektroden (auch bezeichnet als Sprühelektroden) und entsprechenden Kollektorelektroden (auch bezeichnet als Niederschlagslektroden). Die Partikel laden sich auf und werden danach unter Einwirkung des zwischen den Elektroden erzeugten elektrischen Feldes aus dem Gasstrom abgeschieden. Das elektrische Feld wird über die Elektroden durch einen Hochspannungsstrom (bis zu 80 kV) aktiviert. In der Praxis sind Elektrofilter in eine Anzahl getrennter Filterzonen unterteilt (Einsatzmöglichkeit bis zu 5 Feldern).

Die Beseitigung der Staubpartikel aus dem Gasstrom erfolgt in vier Stufen:

- Einwirkung einer elektrischen Ladung auf die Staubpartikel,
- Bewegung der Staubpartikel im elektrischen Feld,
- Einfangen der Staubpartikel an den Kollektorelektroden und
- Entfernung der Staubpartikel von der Elektrodenoberfläche.

Die Kollektorelektroden müssen durch Klopfen oder Vibration gereinigt werden, um den Aufbau der Staubpartikel zu verhindern. Die Klopf- oder Vibrations-Übertragung muss der mechanischen Festigkeit der aufgebauten Staubmasse entsprechen. Die mechanische Zuverlässigkeit der Entladungselektroden und des Stützrahmens ist wichtig, da ein einziger defekter Draht ein ganzes Elektrofild des Filters außer Betrieb setzen kann. Bei Nass-Filtern wird die erfasste Staubmasse von der Kollektorplatte durch Auswaschen mit einer geeigneten Flüssigkeit, wie normalerweise Wasser, entweder in regelmäßigen Abständen oder durch kontinuierliche Berieselung beseitigt.

Der Abscheidewirkungsgrad eines Elektrofilters richtet sich nach der Deutsch-Formel, wonach der Staubabscheidegrad auf die gesamte Fläche der Kollektorelektroden, den Abgasvolumenstrom und auf die Bewegungsgeschwindigkeit der Staubpartikel bezogen wird. Für ein bestimmtes Material stellt die Maximierung des Flächenbereichs der Kollektorelektroden und die Verweilzeit in den elektrischen Feldern zwei der wichtigsten Parameter dar. Außerdem gilt, je größer der Abstand zwischen den Kollektorelektroden, desto höher die anwendbare Voltstärke. Dieser Abstand hängt vom Design der Lieferfirma ab.

Ein gutes Gleichrichterkonzept umfasst den Einsatz getrennter Gleichrichterabschnitte für jede Zone oder Teilzone des Elektrofilters. Dadurch lässt sich die angewandte Spannung in den Eingangs- und Ausgangszonen verändern, um die reduzierte Partikel-Beschickung in Ausgangsrichtung zu berücksichtigen und den Betrieb der Zonen unter fortlaufend höheren Spannungen zu ermöglichen. Eine gute Auslegung wird ebenfalls durch den Einsatz automatischer Überwachungssysteme beeinflusst, um zu gewährleisten, dass die Elektroden von der maximalen Höchstspannung erreicht werden. Bei feststehender Höchstspannung ist die Wahrscheinlichkeit gering, einen optimalen Staubabscheidegrad zu erzielen.

Der spezifische Widerstand (Kehrwert der Leitfähigkeit) partikelförmiger Stoffe ist besonders wichtig. Bei zu niedrigem Widerstand verlieren die Partikel bei Erreichen der Kollektorelektrode leicht ihre Ladung und gelangen wieder ins Abgas. Bei zu hohem spezifischem Widerstand der Partikel bildet sich eine Isolierschicht auf der Elektrode, die eine normale Korona-Entladung verhindert und zu einem verminderten Staubabscheidegrad führt. Die meisten in der Glasindustrie vorkommenden Staubpartikel haben einen spezifischen Widerstand im Arbeitsbereich von Elektrofiltern. Allerdings kann die Staubpartikelerfassung nötigenfalls durch Konditionierung der Partikel z.B. mit Ammoniak und Schwefeltrioxid, verbessert werden, aber dies ist bei Glasprozessen normalerweise nicht erforderlich. Der spezifische Widerstand kann auch durch Senkung der Abgastemperatur oder durch zusätzliches Anfeuchten des Abgases gesenkt werden.

Um die bestmögliche Leistung eines Elektrofilters zu erzielen, ist es wichtig, dass der Abgasstrom gleichmäßig durch die Einheit strömt und kein Bypass im elektrischen Feld entsteht. Eine korrekte Auslegung der Einlassrohrleitungen und die Anwendung von Fließverteilersystemen innerhalb des Eingangs-Mundstücks müssen dafür sorgen, dass ein gleichmäßiges Fließen am Einlassstutzen des Filters erreicht wird. Im Allgemeinen muss die Betriebstemperatur unter 430°C betragen. Die Leistungsfähigkeit eines Elektrofilters sinkt bei anhaltender Betriebsdauer. Elektroden können zerreißen, falsch ausgerichtet oder schuppig werden und eine regelmäßige Wartung ist insbesondere bei älteren Anlagen notwendig.

Bei Anwendungen, bei denen der Abgasstrom wesentliche Konzentrationen an sauren Abgasbestandteilen (insbesondere SO_x , HCl und HF) enthält, wird es allgemein als notwendig angesehen, eine Art Wäsche der sauren Abgase vor dem Elektrofilter vorzunehmen. Dieser Prozess besteht im Allgemeinen aus einer trockenen- oder quasi-trockenen Absorbierung saurer Abgase unter Anwendung von Kalziumhydroxid, Natriumkarbonat oder Natriumbikarbonat. Diese Verfahren werden in Abschnitt 4.4.3. erörtert. Die sauren Abgase entstehen durch die Rohstoffe und die Heizölverbrennung. Ohne Beseitigung der sauren Abgase könnten bei dem Elektrofilter Korrosionsprobleme auftreten. Bei einigen borsäurehaltigen Glasarten wird die Beschleunigung flüchtiger Borsäurekomponenten auch durch Alkali unterstützt. Wenn die Abgase keine hohen Konzentrationen an sauren Bestandteilen enthalten, (d.h. bei Gasfeuerung und Rohstoffen mit geringem Schwefelgehalt), ist eine Vorbehandlung nicht unbedingt notwendig, wie z.B. bei den meisten Glaswolle-Produktionsprozessen.

Umweltleistung

Elektrofilter haben eine hohe Wirksamkeit bei der Stauberfassung in einem Korngrößenbereich von 0,1 μm bis 10 μm und der Abscheidegrad kann insgesamt zwischen 95 und 99 % liegen (abhängig von der Rohgaskonzentration und der Elektrofiltergröße). Die jeweils aktuelle Leistungsfähigkeit ändert sich und hängt hauptsächlich von den Abgaseigenschaften und der Elektrofilterauslegung ab, aber Emissions-Konzentrationen in einem Bereich von 5 bis 50 mg/m^3 können erzielt werden. Obwohl ein wichtiger Faktor, hängt die Effektivität nicht ausschließlich von der Anzahl der eingesetzten elektrischen Felder ab. Ein zweistufiger Elektrofilter einer technischen Auslegung kann ebenso wirkungsvoll sein wie ein dreistufiger Elektrofilter anderer Auslegung oder bei einer anderen Anwendung, und die Wahl wird abhängig von der notwendigen Effizienz sein.

Bei den meisten Anwendungen ist von einem modern und gut konstruierten zwei- oder dreistufigen Elektrofilter die Erzielung von 20 mg/m^3 und weniger als 0,1 kg Staub pro Tonne geschmolzenes Glas zu erwarten. In der Glasindustrie handelt es sich bei fast allen Beispielen um zweistufige Elektrofilter und bei einer modernen Konstruktion können die angegebenen Werte erreicht werden. Bei vielen Anwendungen sind Elektrofilter in der Lage, Werte unter diesem Niveau zu erzielen, entweder aufgrund günstiger Bedingungen oder durch Auslegung mit hoher Effizienz. Die Emissionswerte für Elektrofilter können unter Umständen weniger als 10 mg/Nm^3 betragen. Abgesehen von besonders günstigen Bedingungen wäre ein derartiges, dauerhaft gehaltenes Leistungsniveau im Allgemeinen mit höheren Kosten verbunden, als diejenigen, die in diesem Kapitel beschrieben werden.

Bei Anlagen mit mehreren Schmelzwannen ist der Elektrofilter normalerweise üblich.

Finanzielle Aspekte

Die Haupteinflussfaktoren auf die Kosten von Elektrofiltern sind:

- Abgasvolumen,
- erforderlicher Wirkungsgrad
- Anzahl der Felder
- Abgaskonditionierung
- Notwendigkeit saurer Abgaswäsche und
- Kosten für die Staubbeseitigung (wenn keine Recycling-Möglichkeit besteht).

Bei jedem zusätzlichen elektrischen Feld über zwei Felder hinaus, erhöhen sich die Investitionskosten um etwa 15 bis 20 %.

Die nachfolgende Tabelle enthält orientierende Investitions- und Betriebskosten für Elektrofilter für unterschiedliche Schmelzwannengrößen und Volumenströme einschließlich der Absorption saurer Abgase. Die angegebenen Werte hängen von zahlreichen ortspezifischen Faktoren ab und können um $\pm 15\%$ bei den Investitionskosten und um 30 % bei den Betriebskosten schwanken. Die Betriebskosten enthalten die Kosten für Abscheidung saurer Abgasbestandteile, aber weder Zinsen noch Abschreibung. Bei Anlagen, die keine Abscheidung saurer Abgasbestandteile benötigen, sind die Investitionskosten um etwa 30 % und die Betriebskosten zwischen 30 und 40 % geringer. Bei bestehenden Anlagen kann von weiteren Kosten (allgemein 5 bis 20 %) ausgegangen werden, wenn Änderungen an der bestehenden Ausführung notwendig sind.

Größe t/d	Abgasvolumenstrom Nm ³ /h	Investitionskosten (x1000) Euro	Betriebskosten (x1000) Euro/a
50 t/d Behälterglas	6400	565	37
100 t/d Behälterglas	11120	875	53
300 t/d Behälterglas	23000	1420	89
450 t/d Behälterglas	33350	1820	116
600 t/d Floatglas	70000	2750	186
100 t/d Glasfaser	-	-	64

Tabelle 4.3: Kosten für elektrostatische Abscheider (Elektrofilter) mit Abscheidung saurer Abgasbestandteile [tm32 Beerkens]

Die Infrastrukturkosten schwanken je nach der Größe des Elektrofilters und den örtlichen Verhältnissen jeder einzelnen Anlage. Wie oben erwähnt, können Elektrofilter ziemlich groß sein und bei bestehenden Anlagen und begrenzt verfügbarem Platz sind möglicherweise größere Umbauarbeiten notwendig.

Anwendbarkeit

Grundsätzlich ist diese Technik für alle neuen und bestehenden Anlagen in allen Sektoren einsetzbar. Die Kosten sind wahrscheinlich höher bei bestehenden Anlagen, insbesondere bei begrenzt verfügbarem Platz. Allerdings bei Elektrowannen und kleineren herkömmlichen Wannen (unter 200 Tonnen/Tag) können die Betreiber angesichts der hohen Investitionskosten dazu veranlasst werden, alternative Verfahren, insbesondere Schlauchfilter zu wählen. Elektrofilter werden nicht bei Steinwollekuppelöfen eingesetzt, aufgrund der Explosionsgefahr durch Kohlenmonoxid.

Es gibt viele Beispiele für den erfolgreichen Einsatz von Elektrofiltern in der Glasindustrie, in Deutschland sind beispielsweise ca. 80 Wannen mit Elektrofiltern und zusätzlicher Abscheidung saurer Abgasbestandteile ausgerüstet. Der Elektrofilter ist die von der Industrie bevorzugte Technik, wenn Vorschriften der Mitgliedstaaten von den großtechnischen Glasschmelzanlagen das Erreichen von Staubemissionsgrenzwerten verlangen, die Sekundärmaßnahmen erforderlich machen.

Zusammenhängende Betrachtungen

Die Anwendung dieser Technik bedingt einen höheren Energieverbrauch, der jedoch im Vergleich zu dem Energieverbrauch der Wanne mit einem Anteil von weniger als 1 % (1 bis 3 % der Energiekosten) gering ist. Daraus ergibt sich eine Umweltauswirkung am Ort der Elektrizitätserzeugung, die vom Energieträger abhängt.

Bei vielen Anwendungen der Glasindustrie ist die Entfernung saurer Schadstoffe aus dem Abgas vor der Entstaubungsanlage notwendig. Dies wird normalerweise durch Trocken- oder Quasi- Trockensorption erreicht, wodurch ein Materialstrom an festen Stoffen entsteht, der bis zu zehnmal größer ist als die eigentliche Staubemission. Wenn dieser Materialstrom wieder in die Schmelzwanne eingelegt werden kann, wird der Verbrauch an Rohstoffen insgesamt reduziert, andernfalls ist die Verwertung/Beseitigung dieses Materialstroms als Abfall notwendig.

In der Praxis kann der erfasste Staub in den meisten Fällen zurückgeführt werden und je nach dem gewählten Absorptionsmittel, kann das Material einen Teil der anderen Rohstoffe, insbesondere Natriumsulfat (und wenn geeignet, fluorid- und bleihaltige Stoffe) ersetzen. Probleme könnten im Behälterglasbereich entstehen, wo der Bedarf an Sulfat für ein reduziertes Glas, insbesondere bei hohen Scherbenanteilen, sehr gering ist. Dies könnte die Möglichkeit der Staubrückführung einschränken, insbesondere bei der Verwendung von Heizöl mit hohem Schwefelgehalt. Ein Teil der abgeschiedenen Stäube müsste außerhalb des Standortes entsorgt werden. In einigen Sektoren kann die Möglichkeit der Staubrückführung angesichts der Produktqualitätsanforderungen und der Glaschemie begrenzt sein, zum Beispiel wenn eine sehr hohe optische Qualität verlangt wird.

Zum Zeitpunkt der Niederschrift können die Beseitigungskosten für Staub, der nicht zurückgeführt werden kann, oftmals höher sein als die Kosten für Brennstoff mit geringerem Schwefelgehalt (z.B. Heizöl mit niedrigem Schwefelgehalt oder Erdgas). Daher wäre es in vielen Fällen (insbesondere bei Behälterglas) für den Betreiber möglich, den Brennstoff zu ändern anstatt einen festen, zu beseitigenden Abfallstrom zu erzeugen. Allerdings kann eine hohe Kostendifferenz zwischen Brennstoffen (insbesondere Erdgas) mit niedrigem Schwefelgehalt und anderen Brennstoffen für eine derartige Option möglicherweise ökonomisch unattraktiv sein.

Eines der Hauptziele der Abscheidung saurer Schadstoffe ist oftmals die Konditionierung der Abgase vor Eintritt in den Elektrofilter. Dies kann auch insgesamt geringere Gesamtemissionen an sauren Abgasbestandteilen ergeben. Bei der Rückführung von Staub wird ein Teil der sauren Abgase erneut freigesetzt. Allerdings bildet sich ein dynamisches Gleichgewicht, wonach insgesamt die Einbindung im Glas höher ist und die Emissionen niedriger sind.

In der Glasindustrie bilden sich die meisten partikelförmigen Stoffe durch reaktive Verdampfung. Daher ist es wichtig zu gewährleisten, dass die Temperatur des Abgasstroms unter der Temperatur der Partikelbildung liegt. Bei Regenerativwannen beträgt die Abgastemperatur im Allgemeinen etwa 400°C. Normalerweise ist eine Abkühlung nicht notwendig, weder für die Kondensation flüchtiger Stoffe, noch um die Betriebsgrenze des Elektrofilters zu überschreiten. Bei Rekuperativwannen liegt die Abgastemperatur gewöhnlich bei etwa 800°C so dass eine Abkühlung sowohl zur Kondensation der partikelförmigen Stoffe als auch für die Erreichung der Betriebsgrenze des Elektrofilters notwendig ist. Bei borathaltigen Glasarten, (z.B. Glaswolle) kann es erforderlich sein, die Abgastemperatur bis unter 200°C vor den Minderungsmaßnahmen herabzusetzen, um sicherzustellen, dass die Kondensation und die damit verbundene Korrosionsgefahr weitgehend minimiert werden. Die Abgastemperatur von Sauerstoff-Brennstoff-beheizten Wannen ist im allgemeinen >1000°C. Daher besteht hier die Notwendigkeit einer wesentlichen Abkühlung.

Vorteile

- Hoher Staubabscheidegrad
- Abgeschiedener Staub hauptsächlich in einer Form, die eine Wiederverwendung erlaubt.
- Geringer Druckabfall im Vergleich zu Schlauchfiltern und daher relativ geringe Betriebskosten.
- Kann Teil eines integrierten Abgasreinigungssystems sein, wie Absorptionsanlagen und SCR.
- Elektrofilter verstopfen kaum durch höhere Belastung oder höheren Feuchtigkeitsgehalt, dies kann bei Gewebefiltern ein Problem sein.
- Im Allgemeinen (d.h. nicht auf die Glasindustrie eingeschränkt) gibt es mehr Betriebserfahrungen bei hohen Abgastemperaturen als bei Schlauchfiltern.
- Kann so konzipiert werden, dass weitere Felder zu einem späteren Zeitpunkt hinzugefügt werden können.

Nachteile

- Energieverbrauch. Obwohl dieser im Vergleich zur Wannenenergie (<1%) gering ist, sind die Kosten signifikant, weil es sich um elektrische Energie handelt.
- Erzeugung eines festen Abfallstroms, der nicht immer recycelt werden kann.
- Viele Prozesse benötigen eine Abscheidung saurer Abgasbestandteile., In diesen Fällen wird ein Absorptionsmittel verbraucht.
- Elektrofilter können höhere Investitionskosten bedingen als einige andere Systeme.
- Die Aufrechterhaltung des Anlagenprozesses innerhalb der Anlagenauslegung ist kritisch. Der Zustand oder Wirkungsgrad kann sonst deutlich abnehmen.
- Sicherheitsvorkehrungen müssen bei der Anwendung von Hochspannungs-Anlagen beachtet werden.
- Elektrofilter können ziemlich groß sein und der Platzbedarf ist zu berücksichtigen.

Tabelle 4.4: Wesentliche Vor- und Nachteile von elektrostatischen Filtern (Elektrofilter)

4.4.1.3 Schlauchfilter

Beschreibung der Technik

Gewebefiltersysteme werden in der Glasindustrie aufgrund ihres hohen Wirkungsgrades bei der Abscheidung von Feinstaubpartikeln, die in Verbindung mit der Verarbeitung von Mineralien auftreten, für viele Zwecke verwendet. Allerdings gehören sie nicht zu der bevorzugten Wahl für alle Anwendungen aufgrund der unter bestimmten Bedingungen möglichen Verstopfungsgefahr. In vielen Fällen gibt es bei derartigen Schwierigkeiten technische Lösungen, die aber mit entsprechenden Kosten einhergehen.

Das Grundprinzip der Gewebefiltration besteht in der Auswahl einer gasdurchlässigen Gewebemembrane, an welcher der Staub jedoch zurück gehalten wird. Zu Beginn wird der Staub sowohl auf der Faseroberfläche als auch im Gewebe selbst abgelagert. Da sich aber die Oberflächenschicht aufbaut, wird sie selbst zum dominierenden Filtermedium. Bei zunehmender Verdickung des Filterkuchens erhöht sich der Widerstand gegen den Abgasstrom, so dass eine Reinigung des Filtermediums zur Kontrolle des Druckabfalls über dem Filter von Zeit zu Zeit notwendig ist. Der Gasstrom kann entweder von der Innenseite des Schlauchfilters nach außen oder von außen nach innen gerichtet werden.

Die üblichsten Reinigungsmethoden sind Umkehrung des Luftstroms, das mechanische Schütteln, Schwingungen und Druckluftimpulse. Oftmals wird eine Kombination dieser Methoden angewendet. Die normalen Reinigungsmechanismen führen nicht zu einer Rückführung des Filtermaterials in den ursprünglichen Zustand. Es ist nicht sinnvoll, das Gewebe bis in die tiefen Poren zu reinigen, weil die abgelagerten Staubpartikel in der Tiefe des Gewebes dazu beitragen, die Porengröße zwischen den Fasern zu reduzieren, wodurch ein hoher Abscheidewirkungsgrad erreicht werden kann.

Gewebefilter werden auf der Basis der voraussichtlichen Filtrationsgeschwindigkeit konzipiert, die als maximal zulässige Gasgeschwindigkeit für den Durchfluss einer Gewebereinheit definiert ist (ausgedrückt in m/s). Die Filtrationsgeschwindigkeiten liegen normalerweise in einem Bereich von 0,01 bis 0,06 l/s je nach der Anwendung, dem Filtertyp und der Gewebearart. Das Filterkonzept muss das Gleichgewicht zwischen Druckabfall (Betriebskosten) und Größe (Investitionskosten) optimieren. Bei zu hoher Filtrationsgeschwindigkeit ist der Druckabfall hoch und die Partikel dringen in das innere Gewebe ein und

führen zu einer Gewebeerstopfung. Bei zu niedriger Filtrationssgeschwindigkeit ist das Filter sehr effizient, aber sehr kostspielig.

Da die Partikel in dem stromabwärts gerichteten Abgasstrom hinter den Glasschmelzwannen dazu tendieren, an dem Filtermaterial zu haften, ist die Reinigung abgeschiedener Staubpartikel aus dem Filtermaterial häufig mit Schwierigkeiten verbunden. Ein zufriedenstellender, kontinuierlicher Betrieb lässt sich durch die Tendenz der sich anhäufenden Partikel unterstützen, in dem ein Teil der abgereinigten Staubpartikel kontinuierlich in den ungereinigten Abgasstrom zurückgeführt wird.

Bei der Gewebeauswahl müssen die Zusammensetzung der Abgase, die Art und Größe der Staubpartikel, die Reinigungsmethode, der geforderte Wirkungsgrad und die Wirtschaftlichkeit berücksichtigt werden. Die Abgastemperatur muss ebenfalls zusammen mit der Abgaskühlung, sofern vorhanden, und dem entstandenen Wasserdampf sowie dem Säuretaupunkt beachtet werden. Die zu beachtenden charakteristischen Merkmale des Gewebes umfassen die chemische Beständigkeit, Faserform und Garntyp, die Gewebeart, Gewebeausrüstung, die Abrieb- und Biegefestigkeit, die mechanische Festigkeit, der Wirkungsgrad, das Gewebe-Finish und die Gewebedurchlässigkeit.

Es ist wichtig, die Abgastemperatur in der für das Schlauchfiltersystem vorgeschriebenen Größenordnung zu halten. Das Abgas muss über dem Taupunkt aller vorhandenen, kondensationsfähigen Verbindungen (z.B. H_2SO_4 oder Wasser) und unter der oberen Temperaturgrenze des Filtermediums liegen. Wenn die Temperatur zu niedrig ist, erfolgt eine Kondensation, die eine Verstopfung verursachen kann, und bei zu hoher Temperatur kann das Filtermaterial beschädigt werden, was einen kostspieligen Austausch erforderlich macht. Konventionelle Filtergewebe haben gewöhnlich eine maximale Betriebstemperatur von 130°C bis 220°C und in der Regel gilt, je höher die Betriebstemperatur, desto höher die Kosten. Bei den meisten Glasprozessen liegt die Abgastemperatur zwischen 450°C und 800°C . Deshalb muss das Abgas vor dem Filter durch Verdünnung, Quenchen oder durch einen Wärmetauscher abgekühlt werden.

Wenn die Abgase möglicherweise säurehaltige Verbindungen enthalten (insbesondere bei ölbeheizten Wannen), wird es als notwendig angesehen, stromaufwärts vor dem Filter ein Absorptionssystem zu installieren, um eine Säurekondensation zu vermeiden, wodurch die Schlauchfilter und das Filtergehäuse beschädigt würden. In der Praxis ist es nicht ratsam, Heizöl mit mehr als 1 % Schwefelgehalt zu verwenden. Bei borsäurehaltigen Abgasen unterstützt die Absorptionsanlage die Abscheidung flüchtiger, borhaltiger Verbindungen und erleichtert die Staubabscheidung ohne Verstopfen des Filtermediums.

Umweltleistung

Gewebefilter sind hochwirksame Staubabscheidesysteme, von denen ein Abscheidewirkungsgrad von 95 % bis 99 % zu erwarten ist. Staub-Emissionen zwischen $0,1 \text{ mg/m}^3$ und 5 mg/m^3 können erreicht werden. Dies entspricht allgemein einem Wert von weit unter $0,1 \text{ kg}$ pro Tonne geschmolzenen Glases. Die Möglichkeit derart niedrige Werte zu erzielen ist von Bedeutung, wenn Stäube wesentliche Mengen an Metall enthalten und niedrige Metall-Emissionen erzielt werden müssen.

Finanzielle Aspekte

Im Allgemeinen sind die Investitionskosten niedriger als für Elektrofilter, aber die Betriebskosten sind höher. Da jedoch die Konkurrenz unter den Herstellern von solchen Anlagen steigt, wird die Kostendifferenz für Schlauchfilter und Elektrofilter immer geringer, insbesondere bei hohen Abgasvolumenströmen. Die Unterschiede zwischen den Investitionskosten und den Betriebskosten liegen in der Regel in dem Bereich der Kosten für Elektrofilter, wie in Abschnitt 4.4.1.2. angegeben. Bei diesen Angaben handelt es sich von Fall zu Fall um Schätzungen, obwohl bei kleineren Anlagen häufig Schlauchfilter bevorzugt werden, angesichts der niedrigeren Investitionskosten und weil sich die Betriebskosten bei geringem Luftdurchfluss proportional verringern.

Ein spezifisches Beispiel wird in [tm32 Beerrens] genannt, wonach für eine Floatglaswanne von 550 bis 600 t/d Schmelzleistung bei einem Abgasvolumenstrom von $65000 \text{ m}^3/\text{h}$, die Investitionskosten für einen Filter und eine Quasi-Trockenoptionsanlage bei etwa 3 Millionen Euro und die Betriebskosten bei 0,5 Millionen Euro liegen (ohne Zinsen und Abschreibung). Eine vollständige Rückführung des abgeschiedenen Staubes wird vorausgesetzt. Bei einer Behälterglaswanne mit einem Abgasvolumenstrom von $20000 \text{ m}^3/\text{h}$ liegen die Investitionskosten für einen Filter und einen Quasi-Trockenabsorber bei etwa 1,5 Millionen Euro.

Anwendbarkeit

Im Prinzip können Gewebefilter für alle Wannentypen der Glasindustrie eingesetzt werden, sowohl bei neuen als auch bei bestehenden Anlagen. Allerdings wird in vielen Sektoren die Wahl dieser Technik nicht bevorzugt, aufgrund der relativ hohen Wartungsanforderungen und der möglichen Gewebeerstopfung, was zu einem kostenintensiven Austausch des Filtermediums führt. Bei modernen Systemen werden manche Probleme dieser Art überwunden und es gibt Beispiele für Schlauchfilter, die bei Behälterglas-, Borosilikatglas- und bei einer Floatglas-Anlage einwandfrei betrieben werden. Durch eine zusätzliche Absorptionsanlage und schwefelarmes Heizöl wird die Tendenz zur Verstopfung von Schlauchfiltern reduziert.

Filterausfälle durch Gewebeerstopfung sind bei mit fossilen flüssigen Brennstoffen beheizten Glaswolle-Wannen (und einigen anderen borhaltigen Glasarten) von Belang. Ursache ist die klebrige Beschaffenheit der Feinstäube, die es ohne Trocken-Sorption schwierig macht, einen Filterausfall zu vermeiden. Diese Wannen haben normalerweise Gasfeuerung mit sehr geringen Konzentrationen an sauren Bestandteilen und daher besteht bei diesen Wannen für einen Elektrofilter keine Notwendigkeit, einen Absorber zu installieren. Dadurch werden die Investitions- und Betriebskosten wesentlich reduziert und die Staubrückführung erleichtert.

Weitere Bedenken bei Schlauchfiltern bestehen darin, dass die meisten fossil befeuerten Wannen eine sensible Drucküberwachung benötigen. Bei einem Gewebefilter mit einem hohen Druckabfall kann die Überwachung noch schwieriger machen.

Schlauchfilter sind in zahlreichen Sektoren der Glasindustrie weitgehend akzeptiert worden, insbesondere bei kleineren Abgasvolumenströmen. Das Verfahren wird weitgehend in Verbindung mit Elektrowannen, Steinwolle-Kupolöfen, Fritten- und Keramikfaser-Wannen eingesetzt. Bei gewissen kleineren, mit fossilen Brennstoffen beheizten Wannen wurden Schlauchfilter mit Absorber als Verfahrenstechnik gewählt, die zur Minderung der sauren Abgas-Emissionen eingebaut sind. Zudem können bei kleineren Prozessen die niedrigeren Investitionskosten von Schlauchfiltern im Vergleich zu Elektrofiltern sehr attraktiv sein, und stellen somit die Kosten in Verbindung mit einer häufigeren Wartung und die Gefahr der Schlauchfilter-Verstopfung in den Hintergrund.

Zusammenhängende Betrachtungen

Wenn bei dieser Technik Absorber vorhanden sind, werden feste Abfälle erzeugt, die entweder in die Wanne zurückgeführt oder beseitigt werden müssen. Die Absorbierungsphase ergibt normalerweise insgesamt niedrigere Abgas-Emissionen aus sauren Verbindungen (siehe Abschnitte 4.4.3.3. und 4.4.4.2.). Bei einer Staubrückführung werden gewisse saure Verbindungen erneut freigesetzt. Allerdings wird sich ein dynamisches Gleichgewicht einstellen, wobei normalerweise die Einbindung ins Glas höher ist. Einige Rohstoffanteile könnten vermindert sein und die Gesamtemissionen könnten niedriger sein. Die Wirksamkeit der Absorbierung kann bei Schlauchfiltern höher sein als bei Elektrofiltern, weil eine weitere Absorption auf dem Filterkuchen erfolgen kann.

Infolge der allgemein niedrigen Betriebstemperaturen von Schlauchfiltern, stellen derartige Systeme nicht unbedingt die beste Wahl für den Einsatz mit SCR-Systemen dar, weil das Abgas im Normalfall bis etwa 350°C aufgeheizt werden muss, um die beste Wirksamkeit zu erzielen.

Unter normalen Betriebsbedingungen können die Schlauchfilter eine Lebensdauer von 2 bis 4 Jahren haben. Eine der Schwierigkeiten bei Schlauchfiltern besteht darin, dass bei einem Problem an der Anlage eine Verstopfung oder Beschädigung auftreten kann und die Kosten für den Austausch dann hoch sein können. Diese Art von Problemen kann sporadisch auftreten. Es besteht daher ein Risiko für hohe Kosten, welche beim Einsatz eines Elektrofilters nicht auftreten.

Filtergewebe sind empfindliche Materialien. Es bedarf eines gut entwickelten technischen Verfahrens in Verbindung mit einem zuverlässigen und kontinuierlichen, elektronischen Überwachungssystem, um vermeidbare Schäden am Filtergewebe zu verhindern.

Bei beschädigten Schlauchfiltern können die Emissionswerte ziemlich hoch sein und es ist wichtig, eine Vorrichtung zur Schlauchfilter-Fehlererkennung einzubauen. Der wirksamste Weg ist hier die kontinuierliche Staubüberwachung.

Vorteile

- Sehr hoher Abscheidegrad
- Stofffassung in trockenem Zustand
- Geringe Investitionskosten bei einfacheren Anwendungen.

Nachteile

- Erzeugung eines festen Abfallstroms, dessen Rückführung nicht immer möglich ist
- Energieverbrauch aufgrund von Druckabfall
- Abgaskühlung oftmals erforderlich
- Gewebe-Instandhaltung manchmal notwendig
- teilweise teure Gewebe erforderlich
- Platzbedarf kann beträchtlich sein
- Taupunktprobleme mit nachfolgender Gewebeverstopfung
- Reinigungsluft (Umkehr-Durchfluss) muss manchmal erhitzt werden
- Einige Stäube sind sehr schwierig abzuscheiden
- und verursachen Druckverlust über den Auslegungswert hinaus
- Periodische Filterschlauch-Erneuerung notwendig

Tabelle 4.5: Wesentliche Vorteile und Nachteile von Schlauchfiltern**4.4.1.4 Mechanische Abscheider**

Dieser Begriff wird zur Beschreibung von Prozessen benutzt, bei denen mechanische Kraft zum Einsatz kommt (Schwerkraft, Trägheit, Zentrifugalkraft), um eine Trennung von Staub aus dem Abgasstrom zu erzielen, wie z.B.:

- Zyklone – aufgebrachte Gas-Rotation und Staubbrennung durch Zentrifugalkraft,
- Schwerkraftabscheider - Gas strömt in eine große Kammer, die Abscheidung von Staub erfolgt durch die Verringerung der Gasgeschwindigkeit,
- Prallabscheider – Leitbleche verursachen den Richtungswechsel des Gasstroms und hierdurch die Staubabscheidung.
- Leitgitter – Anordnungen kleiner Leitbleche, um den Abgasstrom aufzuteilen und umzulenken und somit den Staub abzuscheiden.

Diese Techniken haben einen geringen Abscheidewirkungsgrad bei kleinen Partikeldurchmessern und angesichts der geringen Partikeldurchmesser der meisten Feinstäube, die in der Glasindustrie auftreten, werden diese Verfahren selten eingesetzt. Eine Ausnahme hierzu bildet der Zyklon, der bei gewissen Anwendungen vorzufinden ist, insbesondere als Vorbehandlungsphase für andere Techniken. Das Betriebsprinzip und die wichtigsten Vor- und Nachteile werden unten zusammengefasst. Allerdings kommen Zyklone nicht als wirkungsvolle Technik für Emissionen aus den Glasschmelzwannen in Betracht und werden daher nicht im Einzelnen beschrieben.

Der Zyklon ist eine Gasreinigungsanlage nach dem Trägheitskraftprinzip. Der Staub wird vom Abgasstrom getrennt, sobald eine Richtungsänderung der Abgasströmung erfolgt. Der Staub hält dabei aufgrund der Trägheitskraft an seiner ursprünglichen Richtung fest und lagert sich auf einer Abscheidefläche ab. Es gibt zwei Arten von Zyklonen, Rückfluss- und Durchfluss-Abscheider. Rückfluss-Zyklonabscheider sind die üblichsten Systeme und bestehen aus einer zylindrischen Schale mit einer konischen Basis, einem Trichter für die Stauberfassung und Luftzufuhr- und Auslassstutzen. Es gibt zwei Hauptarten von Rückfluss-

Zyklonabscheidern, Tangential- und Axial-Abscheider. Diese Einstufung ergibt sich aus der Geometrie der Luftzuführung. Der zugeführte Gasstrom wird zu einem Wirbelstrom kanalisiert und Zentripetalkräfte unterstützen die Kreisbewegung. Staubpartikel oberhalb einer kritischen Korngröße werden von einer Einlassspirale auf eine breitere Umlaufbahn geschleudert und auf der Zyklonwand abgelagert. Die Luftströmung führt den Staub zum Abscheidetrichter und an der Basis des Konus' kehrt der Gasstrom seine Richtung um und Reingas strömt entlang der Mitte des Zyklons in die Auslassspirale.

Im Allgemeinen erhöht sich die Wirksamkeit eines Zyklons bei entsprechender Zunahme von: Dichte der Staubpartikel, Zufuhrgeschwindigkeit, Zyklonlänge, Anzahl der Abgasumdrehungen, Verhältnis von Körperdurchmesser zu Auslassdurchmesser, Partikeldurchmesser, Staubmenge und Glätte der Zyklonabscheiderwand. Die Wirksamkeit verringert sich bei dem Anstieg von: Gasviskosität, Gasdichte, Temperatur, Zyklondurchmesser, Gasauslassdurchmesser, Weite der Einlassgasleitung und Einlassfläche.

Zyklone werden weitgehend in vielen Industriezweigen eingesetzt und eignen sich insbesondere für die Abscheidung von Partikeln mit einem Durchmesser von über 10 µm. Je nach Ausführung, ist mit mittel- bis hochwirksamen Zyklonabscheidern ein Wirkungsgrad von 45 bis 90 % bei 10 µm und 5 bis 30 % bei 1 µm zu erreichen. Diese Systeme werden vielfach vor Anwendung kostspieliger Technologien eingesetzt, um grobkörniges Material aus dem Gasstrom zu entfernen, und um die Staubbelastung vor Beginn der eigentlichen Haupt-Minderungsmaßnahmen zu reduzieren.

Vorteile

- Geringe Investitions- und Betriebskosten (inklusive Wartung)
- Mäßiger Druckabfall
- Weniger Platzbedarf im Vergleich zu anderen Techniken
- Betriebsfähigkeit bei hohen Staubbelastungen
- Einsatzmöglichkeit bei einer ganzen Reihe von Abgasen und Stäuben
- Betriebsfähigkeit bei hohen Temperaturen und Druckverhältnissen
- Produktionsmöglichkeit einer breitgefächerten Palette von Werkstoffen

Nachteile

- Geringer Abscheidewirkungsgrad bei kleinen Partikeln
- Schwierige Entfernung leichter oder nadelförmiger Partikel
- Verstopfungsmöglichkeit beim Unterschreiten des Taupunktes
- Explosionsdruckentlastung bei entflammaren Stoffen schwierig
- Mögliche Probleme bei abrasiven Stäuben

Tabelle 4.6: Wesentliche Vor- und Nachteile von Zyklonabscheidern

4.4.1.5 Hochtemperaturfeste Filtermedien

Eines der Probleme bei konventionellen Schlauchfiltern ist die Notwendigkeit, die Abgastemperatur im Betriebsbereich des Filtermaterials beizubehalten. Wenn die Temperatur die Höchsttemperaturgrenze des Filters übersteigt, ist ein Bypass oder eine Abgaskühlung notwendig, wie zum Beispiel durch Verdünnung. Konventionelle Filtermaterialien haben eine Temperaturgrenze von 120°C bis 180°C, wobei einige Materialien eine Temperaturbeständigkeit bis zu 250° C (Glasfaser) zeigen. Die Kosten für das Filtermaterial steigen erheblich bei Materialien mit einer Einsatzfähigkeit von über 180°C. Bei einzelnen Anwendungen kommen hochtemperaturfeste Medien zum Einsatz, allerdings sind diese Filter keine normalen Schlauchfilter sondern gewöhnlich vergleichbar mit Kerzenfiltersystemen.

Filter mit hoher Temperaturbeständigkeit sind mit Erfolg zur Emissionsminderung einiger Steinwollekupolöfen eingesetzt worden, aber angesichts der hohen Kosten wurde die Anwendung eingestellt. Bei den häufigsten, hochtemperaturfesten Filtern in anderen Industriezweigen handelt es sich um Keramikfilter. Allerdings sind keine Anwendungen dieser Technik in der Glasindustrie bekannt und infolgedessen gibt es gegenwärtig keine Angaben über die Höhe der Kosten oder die Umweltleistung. Die bis zu diesem Zeitpunkt bekannten Anwendungen beziehen sich im Allgemeinen auf Industriezweige mit wesentlich geringeren Abgasvolumenströmen als es bei den meisten Glasschmelzwannen der Fall ist.

4.4.1.6 Nass-Wäscher

Nasswäscher können sowohl zur Überwachung gasförmiger als auch partikelförmiger Emissionen eingesetzt werden. Obwohl die grundlegende Technologie für beide Systeme ähnlich ist, sind die Konstruktionskriterien zur Beseitigung partikelförmiger oder gasförmiger Bestandteile sehr unterschiedlich. Um die Investitionskosten allerdings so niedrig wie möglich zu halten, werden Nass-Wäscher oftmals zur Minderung gemischter

Emissionen aus Partikeln und gasförmigen Bestandteilen eingesetzt. Die Auslegung beruht unvermeidlich auf einem Kompromiss, kann aber als BVT gelten, wenn getrennte Minderungsverfahren unerschwinglich sind. Nass-Wäscher können ebenfalls durch unlösliche Partikel verstopfen ferner wird ein Abfallschlamm erzeugt. Die Technik wird in Abschnitt 4.5.6.1.2 ausführlicher beschrieben.

Bei einigen Anwendungen können Venturi-Wäscher in Betracht kommen. Diese Systeme sind durch einen hohen Druckverlust gekennzeichnet und haben daher einen hohen Energieverbrauch und hohe Betriebskosten. Obwohl in gewissen Fällen mit Venturi-Wäschern eine gute Wirksamkeit bei der Staubabscheidung erreicht wird, ist dieses Verfahren für die meisten Glasprozesse sowohl technisch als auch wirtschaftlich nicht vertretbar. Allerdings kann die Technik im begrenzten Umfang für besondere Anwendungen eingesetzt werden, insbesondere wenn gasförmige Emissionen auftreten.

Bei den meisten Schmelzwannen scheint die Nass-Wäsche keine brauchbare Technik zur Vermeidung partikelförmiger Emissionen zu sein.

4.4.1.7 Zusammenfassung der in Abschnitt 4.4.1 beschriebenen Techniken

Die Emissionsminderung von Feststoffpartikeln aus Schmelzwannen wird sowohl vom technischen als auch wirtschaftlichen Standpunkt gewissermaßen als eine strittige Angelegenheit angesehen. Es gibt eine Reihe Faktoren, die zur Festlegung der BVT für die Abgasentstaubung in Glaswannen eine wichtige Rolle spielen. Die Wichtigsten darunter sind:

- Auswirkung von Staubemissionen auf die Umwelt,
- Primär- und Sekundärverfahren im Verhältnis zur BVT,
- Wirtschaftlichkeit und diesbezügliche Kostenbetrachtungen.

Umweltauswirkung von Staubemissionen

Zu den wesentlichen Aspekten von Staubemissionen gehören aus der Umweltschutzperspektive die Staubemissionen im Allgemeinen, potentielle Emissionen von (Schwer) Metallen und Emissionen von Feinstaubpartikeln.

Bei Kalknatronglas ist der Hauptbestandteil der Staubemissionen Natriumsulfat (bis zu 95 %). Natriumsulfat als solches wird nicht als gefährdend angesehen, jedoch als Feststoff trägt dieser Bestandteil zur Emission von Feststoffpartikeln bei. Derartige Emissionen finden gegenwärtig in umweltpolitischen Kreisen immer mehr Beachtung, insbesondere wenn es sich um Feststoffpartikel mit einem Durchmesser von weniger als 10 µm handelt, was im Allgemeinen bei Emissionen aus Glasschmelzwannen der Fall ist.

Einige Metallarten können ebenfalls in den Feststoffpartikeln von Glasschmelzwannen auftreten. Die hauptsächlich interessierenden Bestandteile sind Selen (Se), Blei (Pb), Chrom (Cr), Kupfer (Cu), Vanadium (V), Nickel (Ni), Antimon (Sb), Arsen (As), Kadmium (Cd), Zink (Zn) und Mangan (Mn). Die Emissionen aus diesen Bestandteilen hängen wesentlich von der Menge und der Qualität des wieder eingesetzten Glases (Scherben) ab, ob Ölfeuerung eingesetzt wird oder nicht, und von dem Zusatz von Metallen in der Glasgemengerezeptur als Färbungs- und/oder Entfärbungsmittel. Die meisten dieser Bestandteile sind vorwiegend in den partikelförmigen Stoffen eingebunden. Allerdings können insbesondere bei Selen, Kadmium, Blei und Zink, die flüchtigen Emissionen aus diesen Bestandteilen gleichfalls von wesentlicher Bedeutung sein. In vielen Fällen ist der Hauptgrund für die Installierung von Entstaubungsanlagen, die Emissionsminderung von flüchtigen, oder im Staub enthaltenen (Schwer)-Metallen. Die Reduzierung gasförmiger Emissionen (SO₂, HCl usw.) ist oftmals ebenfalls eine treibende Kraft.

Ein abschließender Punkt zur Überlegung ist die mögliche Kondensation gasförmiger Bestandteile nach der Freisetzung aus dem Kamin, was insbesondere bei borhaltigen Glasarten der Fall sein kann, wenn ein Teil der gasförmigen Borverbindungen über die Entstaubungsanlage entweicht und nach dem Eintritt in die Atmosphäre kondensiert.

Primär- und Sekundärmaßnahmen im Verhältnis zur BVT

Bei den meisten in der Glasindustrie gut bewährten Sekundärmaßnahmen handelt es sich um Schlauchfilter und Elektrofilter. Beide Techniken kommen weitläufig zum Einsatz, obwohl jeweils mit ihren entsprechenden Möglichkeiten und Grenzen. Gegen Ende 1998 waren etwa 30 % der Schmelzwannen für Kalknatronglas in den EU-Ländern und 100 % der Wannen in einigen Mitgliedstaaten mit Sekundärmaßnahmen zur Staubabscheidung ausgerüstet.

Andererseits ist die Durchführung von Sekundärmaßnahmen mit einem hohen finanziellen Kostenaufwand und bis zu einem gewissen Grad mit Kosten für den Umweltschutz verbunden. Im Allgemeinen liegen die Investitionskosten (von kleinen Behälterglasfirmen bis zu großen Floatglas-Unternehmen) in einem Bereich von 0,5 bis 2,75 Millionen Euro bei einem jährlichen Betriebskostenaufwand von 37 000 bis 186 000 Euro pro Jahr. Es stellt sich die Frage, ob Sekundärmaßnahmen zur Staubabscheidung in allen Fällen notwendig sind. Verständlicherweise sind die Kosten für Primärmaßnahmen weitaus niedriger als für Sekundärmaßnahmen und es wird weder Abfall erzeugt noch Energie verbraucht. Das sind treffende Gründe für die Bevorzugung von Primärmaßnahmen vor Sekundärmaßnahmen sowie für den Anreiz zur Weiterentwicklung von Primärmaßnahmen.

Die europäische Glasindustrie leistet einen enormen Investitionsbeitrag zur Klärung der Staubbildungs-Mechanismen sowie zur Entwicklung von Primärmaßnahmen zur Staubvermeidung. Allerdings sind die Erfahrungen auf diesem Gebiet noch sehr jung. Zum Zeitpunkt der Niederschrift hat nur eine kleine Anzahl an Kalknatronglas-Anlagen Staubemissionswerte unter 100 mg/Nm^3 ohne Einsatz von Sekundärmaßnahmen erreicht. 100 bis 200 mg/Nm^3 (etwa $0,3 \text{ kg/Tonne Glas}$) werden gegenwärtig als allgemein realisierbarer Wert bei Primärmaßnahmen angesehen. Allgemein wird angenommen, dass Emissionswerte in der Größenordnung von 70 bis 100 mg/Nm^3 mittelfristig zu erreichen sind [tm30 Dust]. Der relative Vorteil weiterer Staubreduzierungen sollte in Verbindung mit dem Umweltschutz als Ganzes betrachtet werden.

Die positiven Aspekte von Primärverfahren werden gegenwärtig aus technischer Sicht von der weitaus besseren Leistungsfähigkeit von Sekundärmaßnahmen ($<30 \text{ mg/Nm}^3$ und $<0,1 \text{ kg/Tonne Glas}$) in den Hintergrund gedrängt. Dies geschieht aufgrund der mangelnden Aussicht, derart niedrige Werte in absehbarer Zeit mit Primärmaßnahmen zu erzielen, sowie angesichts der Notwendigkeit, die Staubemissionen, insbesondere Feinstaubpartikel, säurehaltige Bestandteile und (Schwer)Metalle im Rahmen des Umweltschutzes zu reduzieren.

Zusätzlich könnte der ausschließliche Einsatz von Primärmaßnahmen zur Minderung von Staubemissionen die Flexibilität und die Betriebsbedingungen der Wannen in Bezug auf die Qualität der hinzugefügten Stoffe (geringe Verunreinigungen, Fluoride, Chloride, Schwermetalle), die Brennstoffart (wenig Schwefel und Schwermetalle), Produktionsänderungen (Färben oder Entfärben von Gläsern) beeinträchtigen.

In den kommenden Jahren wird die Glasindustrie das Potential von Primärmaßnahmen zur Verminderung der Staubemissionen aus Glasschmelzwannen weiter untersuchen und entwickeln. Aufgrund mangelnder, zuverlässiger Prognosen ist es nicht möglich, die Entwicklungsmöglichkeiten im Voraus abzuschätzen. Deshalb sollte die Entscheidung über die BVT für die Maßnahmen zur Vermeidung von Staubemissionen auf den zurzeit verfügbaren Erfahrungswerten beruhen.

Wirtschaftliche Aspekte und damit verbundene Kostenerwägungen

Die Definition des Begriffes „verfügbare Technik“ in der Richtlinie 96/61/EG erfordert die Entwicklung einer Technik, in einem Maßstab, der die Einführung dem entsprechenden Industriesektor erlaubt. Zu beachten sind wirtschaftliche und technisch machbare Bedingungen unter Berücksichtigung von Kosten und Vorteilen sowie vernünftiger Zugänglichkeit. Im Allgemeinen werden in der Glasindustrie Sekundärmaßnahmen zur Staubabscheidung als verfügbar, technisch vertretbar und in den meisten Fällen als wirtschaftlich tragbar angesehen.

Allerdings ist wie bei jeder Sekundärmaßnahme die Wirtschaftlichkeit von großer Bedeutung. Das heißt, dass bei kleineren Wannen der relative Kostenaufwand (Kosten pro Nm^3 für gereinigtes Abgas) allgemein höher ist als bei großen Wannen. Die Kosten sind abhängig vom Anwendungsfall und insbesondere von dem Abgasvolumenstrom. Die Wirtschaftlichkeit sollte bei der Festlegung eines allgemein gültigen BVT berücksichtigt werden. Abgesehen von der Wirtschaftlichkeit, sollten die gesamten Kostenbetrachtungen für die Entstaubung auch die Umweltvorteile einschließen: Beseitigung von Feinpartikeln, Metallen (sofern vorhanden)

und die Abscheidung saurer Abgasbestandteile (sofern vorhanden) sowie die Nachteile aufgrund der Abfallerzeugung (wenn eine stoffliche Verwertung ausgeschlossen ist) und des Energieverbrauchs.

4.4.2 Stickstoffoxide (NO_x)

Der Begriff Stickstoffoxide (NO_x) umfasst Stickstoffoxid (NO) und Stickstoffdioxid (NO₂) als angegeben als NO₂. Distickstoffoxid (N₂O) ist kein relevanter Schadstoff in der Glasindustrie und fällt nicht unter den Begriff NO_x. Die drei Hauptquellen für NO_x-Emissionen aus Glasschmelzaktivitäten sind Rohstoffe, Brennstoff und thermisches NO_x. Ein vierter Ausgangsstoff, NO_x (aus der Reaktion von Stickstoff über eine komplexe Verbindung mit kurzlebigen Kohlenwasserstoffradikalen) ist relativ unbedeutend.

Bei Vorhandensein von Nitraten im Gemenge wird während des Schmelzprozesses NO_x freigesetzt. Im Allgemeinen werden die meisten Stickstoffverbindungen in Form von NO_x emittiert und nicht im Glas eingeschlossen. Wenn zum Beispiel NaNO₃ geschmolzen wird, bleibt der Natriumbestandteil im Glas als Na₂O eingeschlossen und der restliche Teil wird in Form von Gasen freigesetzt (NO_x, O₂ und N₂).

NO aus dem Brennstoff entsteht durch die Oxidation von im Brennstoff enthaltenem Stickstoff und von Stickstoffverbindungen, jedoch ist der Beitrag insgesamt geringfügig im Vergleich zu dem thermischen NO_x. Bei Erdgasfeuerung, ist NO aus dem Brennstoff effektiv gleich Null.

Infolge der hohen Temperaturen in den Glasschmelzwannen (bis zu 1650°C und 2000°C in der Flamme) ist die Hauptquelle für NO_x das thermisch erzeugte NO_x aus der Oxidation von Stickstoff in der Verbrennungsluft bei Temperaturen über 1300°C. Die Hauptquellen für Stickstoff sind Verbrennungsluft, Zerstäuberluft (bei Wannen mit Ölfeuerung), und Falschluf in der Schmelzwanne. Die vorwiegende Verbindung ist NO (90 – 95 %), die aus der Reaktion von N₂ + O₂ → 2NO entsteht. Die NO₂-Werte sind sehr niedrig und das meiste in den Emissionen festgestellte NO₂ ergibt sich aus der atmosphärischen Oxidation von NO. Die Bedingungen in der Wanne sind derart, dass kein Distickstoffoxid (N₂O) in den Emissionen nachzuweisen ist.

Bei elektrisch beheizten Wannen entsteht NO_x nur aus der Zersetzung von Gemengebestandteilen. Bei Steinwollekuppelöfen herrscht insgesamt eine Reduktionsatmosphäre und NO_x-Emissionen sind im Allgemeinen sehr niedrig. Emissionen können entstehen, wenn ein Nachbrennersystem installiert wird. Zweck eines solchen Systems ist die Oxidation von Kohlenoxid und Schwefelwasserstoff.

Bei Wannen mit fossiler Brennstofffeuerung werden, wenn alle anderen Faktoren gleich sind, thermische NO_x-Emissionen durch Reduzierung des Brennstoffverbrauches gemindert. Daher ergeben Techniken, die den energetischen Wirkungsgrad verbessern, normalerweise insgesamt geringere NO_x-Emissionswerte in kg NO_x pro Tonne geschmolzenem Glas. Allerdings wird die Emissionskonzentration nicht immer vermindert, insbesondere wenn auch die Abgasvolumenströme geringer sind. Die Reduzierung von thermischem NO_x ist das Ergebnis aus einer Kombination von Einflussfaktoren, jedoch hauptsächlich aufgrund niedrigerer Temperaturen und verminderten Verbrennungsluftmengen. Techniken zur Verminderung von NO_x-Emissionen, die jedoch vorwiegend bestimmt sind, den Energieverbrauch zu reduzieren, werden in Abschnitt 4.8 beschrieben und hier nicht erörtert.

4.4.2.1 Feuerungstechnische Maßnahmen

Beschreibung der Techniken

Die Entstehung von thermischem NO_x wird qualitativ durch die nachfolgende Formel ausgedrückt, wobei *A* und *B* unveränderliche Größen sind, *T* ist die Temperatur der Flamme und *t* ist die Verweilzeit bei Temperatur *T*. Für Gase werden die Verhältnisse auf die Konzentrationen bezogen.

$$NO_x = A \times \exp\left(-\frac{B}{T}\right) \times N_2 \times (O_2)^{0.5} \times t$$

Die wesentlichen Einflussfaktoren für die Bildung von NO_x-Emissionen sind daher die Flammentemperatur, der Sauerstoffgehalt in der Reaktionszone und die Verweilzeit in der Hochtemperaturzone der Flamme. Durch die

Primärmaßnahmen zur Minderung der NO_x-Emissionen wird angestrebt, die ungünstigsten Bedingungen für die Bildung von NO_x-Emissionen zu schaffen, d.h. die Vermeidung der gleichzeitigen Anwesenheit von Stickstoff und Sauerstoff bei hoher Temperatur. Die Haupttechniken zur maximalen Minderung von thermischem NO_x werden unten zusammengefasst.

Reduziertes Luft-Brennstoff-Verhältnis

Falschlufft in der Wanne insbesondere im Bereich der Brennerdüsen und der Gemengeeinlegevorrichtung kann zu höheren NO_x-Emissionen führen. Der Brennerblock ist relativ einfach abzudichten und es können Maßnahmen zur Vermeidung von Falschluffteintritten im Gemengeeinlegebereich ergriffen werden. Diese Maßnahmen sind relativ kostengünstig und ziemlich wirksam. Die Verringerung der NO_x-Emissionen ist eindeutig von der Ausgangssituation abhängig, kann allerdings bis zu 10 % betragen.

Im Allgemeinen arbeiten die Schmelzwannen mit einem Luftüberschuss von 5 bis 10 % (d.h. 1 bis 2 % Sauerstoffüberschuss), um eine vollständige Verbrennung zu gewährleisten. Durch die Verringerung des Luft-Brennstoff-Verhältnisses bis nahe an den stöchiometrischen Punkt können wesentliche NO_x-Minderungen erzielt werden. Diese Technik kann ebenfalls zu wesentlichen Energieeinsparungen führen. Für einen wirkungsvollen Einsatz dieser Technik ist die Überwachung der NO, CO und O₂ Werte im Abgas notwendig. Bei unterstöchiometrischer Verbrennung können sich die Kohlenmonoxid-Werte und die Abnutzung des Feuerfestmaterials erhöhen und das Redox-Verhältnis des Glases kann sich verändern und damit die Glasqualität beeinträchtigen.

Diese Art der Änderung muss schrittweise mit Sorgfalt durchgeführt werden, um Probleme zu vermeiden und die besten Ergebnisse zu erzielen. In einigen Fällen (zum Beispiel Rekuperativwannen) kann die ganzheitliche Betrachtung der stöchiometrischen Verhältnisse der Wannen dazu führen, einige mit Brennstoffüberschuss arbeitende Brenner im heißesten Teil des Wanne und andere wiederum mit einem leichten Luftüberschuss in den kühleren Teilen anzuordnen. Insgesamt ist das Brennstoff-Luft-Verhältnis nahezu stöchiometrisch. Je nach der Ausgangsposition, sind mit diesen Techniken Emissionsminderungen von bis zu 40 % erreichbar.

Die Luftkonzentration in der Wanne können weiter reduziert werden durch Anwendung von Erdgas, hohem Druck oder Dampf als Alternative für die Luft zur Ölzerstäubung. Dies reduziert die Sauerstoffkonzentration und somit die Spitzentemperaturen der Flammen. Die Ergebnisse mit dieser Technik sind unterschiedlich und in einigen Anwendungsfällen mit sehr geringem Nutzen verbunden.

Reduzierte Verbrennungsluft-Temperatur

Die Flammentemperatur kann durch Reduzierung der Verbrennungsluft-Vorwärmtemperatur reduziert werden. Zum Beispiel sind die Verbrennungsluft-Temperaturen bei Rekuperativwannen wesentlich niedriger als bei Regenerativwannen, was zu geringeren Flammentemperaturen und niedrigeren NO_x Konzentrationen führt. Allerdings ergibt sich aus den geringeren Vorwärmtemperaturen ein niedriger Wirkungsgrad der Glasschmelzwanne (geringere spezifische Glasschmelzleistung), geringerer feuerungstechnischer - Wirkungsgrad und somit ein höherer Brennstoffbedarf und womöglich höhere Emissionen (kg/t Glas) an NO_x-, CO₂-, Schwefeloxide-, Staubpartikeln, usw. Daher ist diese Technik insgesamt für die Umwelt offenbar nicht vorteilhaft.

Gestufte Verbrennung

Wenn Brennstoff und Luft-Sauerstoff an derselben Stelle in den Brennerport eingedüst werden, entsteht eine Flamme mit einer heißen oxidierenden Primärzone in der Nähe der Öffnung und eine kühlere Sekundärzone etwas weiter entfernt. Das meiste NO_x wird im heißesten Bereich erzeugt. Daher werden durch die Reduzierung entweder des Luftverhältnisses oder des in den Brenner eingespritzten Brennstoffverhältnisses die Höchsttemperatur und die NO_x Bildung vermindert. Der restliche Brennstoff oder die Luft wird später der Verbrennungszone zugeführt.

Luftstufung benötigt eine unterstöchiometrische Feuerung und danach die Zufuhr der Restluft oder des restlichen Sauerstoffs in die Wanne für eine vollständige Verbrennung. Es gibt verschiedene Möglichkeiten, die Luft-Stufung- oder Sauerstoff-Stufung zu erreichen. Erste Erfahrungen mit einer gestuften Heißluft-Verbrennung erwiesen sich als problematisch. Die Techniken der gestuften Blasluftverbrennung (BAS) und der mit Sauerstoff angereicherte Luftstufung (OEAS) sind gegenwärtig in den USA in der Entwicklung und werden

von Combustion Tec vorgeschlagen. Etwa 10 Wannen sind mit diesem System ausgerüstet und nach den Aussagen zeigen die Ergebnisse eine NO_x -Minderung bis zu 70 %.

Die Brennstoffstufung beruht auf folgendem Prinzip: Eine Gasflamme mit niedrigem Impuls (etwa 10 % der Gesamtenergie) wird im Brennerhals erzeugt. Diese Sekundärflamme überdeckt den Ansatz der Primärflamme, wodurch der Sauerstoffgehalt der Primärflamme und ihre Kerntemperatur gesenkt werden.

Dadurch wird die NO_x -Bildung verringert. Diese Technik ist erfolgreicher als die Luftstufung und wird weitgehend angewendet. Emissionsminderungen bis zu 35 % können durch den Einsatz dieser Technik erzielt werden.

Abgasrezirkulation

Abgase aus der Wanne können erneut in die Flamme eingedüst werden, um den Sauerstoffgehalt und damit die Temperatur und NO_x -Bildung zu reduzieren. Die Anwendung dieser Technik im großtechnischen Maßstab führte in der Glasindustrie zu Schwierigkeiten und wird daher offenbar nicht länger eingesetzt. Zum Zeitpunkt der Niederschrift wird diese Technik nicht als technisch ausgereift angesehen.

NO_x -arme Brenner

Unter diesen Begriff fallen eine Reihe rechtlich geschützter bzw. von Glasunternehmen entwickelter Brennersysteme zur Minimierung der NO_x -Bildung. Diese Systeme können im Prinzip voneinander abweichen und beinhalten eine Reihe charakteristischer Merkmale, einschließlich der oben und weiter unten aufgeführten Eigenschaften. Emissionsminderungen von etwa 30 % sind mit diesen optimierten Systemen zu erreichen. Systeme für die Gasfeuerung unterscheiden sich in einiger Hinsicht von solchen für die Ölfeuerung. Die Hauptkennzeichen von NO_x -armen Brennern sind:

- Langsamere Vermischung von Brennstoff und Luft zur Senkung der Flammen-Spitzentemperaturen (Flammenformgebung)
- Mindest-Eindüsgeschwindigkeiten in angemessenem Verhältnis zur vollständigen Verbrennung
- Erhöhte Flammenstrahlung z.B. durch thermische Spaltung gasförmiger Brennstoffe, um eine bessere Strahlung und somit insgesamt eine niedrigere Flammentemperatur zu erreichen.

Brennstoffauswahl

Die allgemeine Erfahrung in der Glasindustrie zeigt, dass bei Wannen mit Gasfeuerung höhere NO_x -Emissionen freigesetzt werden als mit ölbeheizten Wannen. Zum Beispiel werden für eine typisch ausgelegte Floatglaswanne wie in Abschnitt 3.4.2.2 beschrieben, NO_x -Massenkonzentrationen von 2500 mg/m^3 bei Gasfeuerung, und 1800 mg/m^3 bei Ölfeuerung ausgewiesen. Die Unterschiede schwanken in weiten Grenzen je nach Wannentyp und Anwendung, aber eine Schwankung von 25 bis 40 % ist nicht unüblich.

Der Hauptgrund ist, dass Gasflammen eine niedrigere thermische Strahlung besitzen als Ölflammen, höhere Flammentemperaturen benötigen, um dieselbe Wärmeübertragung in die Glasschmelze zu ermöglichen und demnach günstigere Bedingungen für die NO_x -Bildung bestehen. Da die Industrie allerdings über mehr Erfahrung mit Gasfeuerung verfügt, und sich die Auslegung der Wannen weitgehend geändert hat, ist auch der Unterschied zwischen den NO_x -Emissionen und den Brennstoffanforderungen für beide Brennstoffe geringer geworden. In einigen Fällen (zum Beispiel Behälterglas) nähern sich bei Gasfeuerung der feuerungstechnische Wirkungsgrad und die NO_x -Emissionen durch entsprechende Flammeneinstellung immer mehr den Werten der Ölfeuerung an. Der Stickstoffgehalt bei Erdgas ist normalerweise vernachlässigbar, kann jedoch von Region zu Region schwanken mit einer dementsprechenden Auswirkung auf die NO_x -Werte.

Umweltleistung

Die erreichbaren Emissionsminderungen beim Einsatz dieser Verfahren werden in der Beschreibung für jede Technik als Orientierungswerte angegeben. Die Auswirkungen dieser Techniken sind keinesfalls kumulativ, da es normalerweise verschiedene Wege gibt, um im Großen und Ganzen die weitgesteckten Ziele zu erreichen. Demnach kann eine 10 %ige Minderung durch eine Technik nicht ohne weiteres zu den erreichten 10 % einer anderen Technik hinzugefügt werden. Die Gesamt-Emissionsminderungen für optimierte Verbrennungsprozesse schwanken weitgehend von unter 10 % bis zu über 70 %. Für einen Wannen bei dem nur wenige oder noch

keine dieser Maßnahmen angewendet wurden, sind in den meisten Fällen NO_x -Emissionsminderungen von 40 bis 60 % zu erwarten.

Die gegenwärtig mit diesen Techniken erreichbaren Emissionswerte schwanken erheblich in Abhängigkeit vom Ausgangspunkt, dem Alter und der Auslegung der Wanne und insbesondere von der Gewissenhaftigkeit, mit der sie eingesetzt und überwacht werden. Ein Großteil kann bei richtiger Anwendung mit relativ einfachen Maßnahmen erreicht werden. Die Glasindustrie hat in den 90iger Jahren wesentliche Fortschritte gemacht und ziemlich viele Ressourcen wurden dieser Arbeit gewidmet.

U-Flammen-Wannen mit regenerativer Beheizung sind normalerweise gekennzeichnet durch niedrigere NO_x -Werte als regenerativ beheizte Quer-Brennerwannen (siehe Abschnitt 4.2) und die in diesem Abschnitt beschriebenen Techniken sind allgemein erfolgreicher bei U-Brennerwannen. Emissionswerte von 700 bis 1100 mg/m^3 und 0,9 bis 2 kg/Tonne Glas wurden bei Quer-Brennerwannen erreicht. Bei U-Brennerwannen werden 650 bis 800 mg/m^3 und weniger als 1,5 kg/Tonne Glas erzielt. Eine begrenzte Anzahl von Daten unter diesen Werten wurde für einige Anwendungen berichtet.

Die Ergebnisse bei Rekuperativwannen sind verschiedenartiger, aber das mag auf die unterschiedliche Anwendung dieser Wannen zurückzuführen sein. Vergleichbare (oder manchmal geringere) Ergebnisse zu Regenerativwannen wurden bei Rekuperativwannen für Behälterglas und Endlosglasfaser erreicht, aber weniger Erfolg hatte man in der Glaswolleherstellung.

Finanzielle Aspekte

Die Kosten für Änderungen am Verbrennungssystem sind relativ gering und können in manchen Fällen durch niedrigere Betriebskosten aufgrund von Energieeinsparungen ausgeglichen werden. NO_x -arme Brenner kosten zwischen 100 000 und 550 000 Euro pro Wannen, je nach Größe und Typ und weitere 65 000 bis 90 000 Euro müssen für die Überwachungs- und Kontrollsysteme veranschlagt werden. Die Kosten für den Brenner entsprechen den Kosten für einen Ersatzbrenner aber ohne Zusatzkosten. Bei einer neuen Wanne wären die Extrakosten sehr niedrig. Verbrennungssysteme mit Luftstufung können wesentlich kostspieliger sein.

Diese Primärmaßnahmen in Verbindung mit einer optimalen Rezeptur sind im Allgemeinen viel kostengünstiger als Sekundärmaßnahmen. Vergleichbare Kosten werden in Abschnitt 4.4.2.9 angegeben.

Anwendbarkeit

Grundsätzlich (und unter den zuvor genannten Einschränkungen) sind diese Techniken für alle mit fossilen Brennstoffen beheizte Wannen anwendbar. Die meisten Techniken sind für bestehende und neue Wannen anwendbar. Allerdings können die Vorteile einiger Techniken (zum Beispiel NO_x -arme Brenner) nur voll ausgenutzt werden, solange sie in Verbindung mit einer optimalen Wannenauslegung und Geometrie realisiert werden, die nur bei einer neuen Wanne oder bei einer Rekonstruktion erreichbar sind.

Der mit diesen Techniken erzielte Erfolg ist ebenfalls abhängig von der fachlichen Kompetenz des Betreibers und den wissenschaftlichen Ressourcen. Eine Optimierung der Systeme verlangt einen längeren Zeitraum für die wissenschaftlichen Untersuchungen und die Kontrolle sowie einem hohen Grad technischer Kompetenz und Erfahrung. Für Betreiber, die nicht über diese Ressourcen verfügen, gibt es Fachleute und Berater, die ihre Dienste für Änderungen und die Optimierung des Verbrennungssystems anbieten. Der zusätzliche Aufwand für diese Arbeit ist natürlich nicht in den Kosten für diese Techniken enthalten.

Bis zu welchem Grad diese Techniken angewandt werden können, richtet sich auch nach den Produkt- und Prozessanforderungen. Beispielsweise bei der Herstellung einer bestimmten Art von Wirtschaftsglas wird angesichts der Produktqualitätsanforderungen ein höher oxidiertes, sehr klares Glas benötigt. Hierdurch ergeben sich längere Verweilzeiten, höhere Temperaturen und der Gebrauch von Oxidationsmitteln, die alle zu höheren NO_x -Emissionen beitragen und den Einsatz einiger oben beschriebener Techniken einschränken. Dieses Beispiel wird im nachfolgenden Abschnitt 4.4.2.2 weiter erörtert.

Zusammenhängende Betrachtungen

Vorteile:

- Relativ geringe Kosten,
- Wesentliche NO_x-Emissionsminderungen sind für die meisten Wannentypen erreichbar,
- Anwendbar für neue und bestehende Wannen,
- Diese Techniken haben keine wesentlichen negativen Umweltaspekte und führen oftmals zu beachtlichen Energieeinsparungen,
- Die niedrigeren Wannentemperaturen und der verminderte Energieeinsatz führen insgesamt auch zu geringeren Emissionen,

Nachteile:

- Hohes Fachwissen notwendig zur Erzielung bester Ergebnisse,
- Geänderte Wannenkonstruktion kann erforderlich sein, um beste Ergebnisse zu erzielen,
- Sorgfalt ist geboten, um Glasqualitätsprobleme durch Redoxänderung zu vermeiden,
- CO-Werte müssen überwacht werden, um Beschädigungen am Feuerfestmaterial zu verhindern,
- Die erhöhte reduzierende Atmosphäre kann die Bildung von SO₂-Emissionen unterstützen.

Tabelle 4.7: Wesentliche Vor- und Nachteile von Verbrennungssystemänderungen

4.4.2.2 Gemengerezeptur

Nitrate werden in der Glasindustrie als Oxidationsmittel und auch als Läutermittel eingesetzt. Natriumnitrat ist bei weitem das am häufigsten verwendete Nitrat, aber bei gewissen Spezialglasarten wird ebenfalls Kalium- oder Bariumnitrat eingesetzt. Obwohl Natriumnitrat als Läutermittel agiert, wird es hauptsächlich als Oxidationsmittel benutzt und für die meisten Anwendungen ist Natriumsulfat das bevorzugte Läutermittel. Während des Schmelzprozesses lösen sich die Nitrate auf und bilden NO, NO₂, N₂ und O₂. Das O₂ wird zur Oxidation der Schmelze benutzt (insbesondere Eisen Fe²⁺ in Fe³⁺), um ein sehr klares Glas zu erzeugen und zur Oxidation aller organischen Bestandteile in den Gemengestoffen.

Der Einsatz von Nitraten ist zwischen den einzelnen Sektoren der Glasindustrie weitgehend verschieden. Nitrate werden selten für Flachglas oder Behälterglas eingesetzt, außer zur Herstellung einiger qualitativ sehr hochwertiger, farbloser Produkte, oder von Glas mit starker Einfärbung, wie z.B. grau- oder bronzefarbiges Glas. Nitrate werden im Wirtschaftsglassektor für gewisse, qualitativ hochwertige Erzeugnisse verwendet, die eine hohe optische Reinheit und sehr niedrige Fe²⁺ Werte verlangen. Nitrate werden weitgehend im Spezialglassektor für TV-Glas, Borosilikatglas, Glaskeramik und optisches Glas eingesetzt. Bei Elektrowannen zur Herstellung stark oxidierender Glasarten, oder wenn Rohstoffe, die organische Verbindungen enthalten, geschmolzen werden (z.B. Glaswolleabfall), können ebenfalls Nitrate als Oxidationsmittel notwendig sein. Insgesamt werden schätzungsweise bei 7 bis 9 % der EU-Glasproduktion erhebliche Nitratmengen eingesetzt.

Typische Zusatzmengen liegen bei etwa 0,5 bis 1 % Nitrat, d.h. 5 bis 10 kg NaNO₃ für 1 Tonne Glas. Bei einigen Prozessen, wie z.B. TV-Glas kann dieser Anteil bis zu 4 % und darüber hinaus ansteigen. Die beim Schmelzen hauptsächlich freigesetzten Gase sind NO und O₂ mit nur geringen Anteilen an N₂ und NO₂. Bei einer Nitratzugabe von 1 % in das Gemenge beträgt der maximale NO_x-Emissionswert 5,4 kg/Tonne Glas. Dieser Wert ist etwa 2700 mg/Nm³ bei 8 % O₂ gleichzusetzen. Der aktuelle NO_x-Emissionswert aufgrund von Nitraten schwankt zwischen 30 % und 80 % von diesem Maximalwert, mit einem typischen Wert von etwa 50 bis 65 % unter industriellen Bedingungen (obwohl der gesamte Wertebereich häufig vorgefunden wird).

Die NO-Menge, die von den Nitraten ausgeht, ist abhängig von der Aufheizgeschwindigkeit, dem Redox-Zustand des Gemenges und der Wirkung der reduzierenden Gase (reduzierende Flammen), die in Kontakt mit der nitratthaltigen Gemengedecke sind.

Wirksame Alternativen zu Nitraten sind angesichts der umweltrelevanten und wirtschaftlichen Verhältnisse begrenzt. Zum Beispiel können Sulfate eingesetzt werden, aber die benötigte Menge ist bedeutend höher (mehr als das Dreifache), und es wird SO₂ freigesetzt. Arsenoxide können ebenfalls verwendet werden, aber aus Umweltgründen werden sie so weit wie möglich vermieden. Ceroxide kommen in einigen Fällen zum Einsatz,

allerdings sind diese um ein Vielfaches teurer als Natriumnitrat. Einige Prozessänderungen ermöglichen ebenfalls, den Nitratbedarf zu reduzieren, aber diese Maßnahmen werden allgemein, aufgrund von Qualitätsanforderungen, Energiebedarf, sowie Einschränkungen beim Durchsatz oder aufgrund der Erzeugung von thermischem NO_x vermieden.

Abschließend ist man in der Glasindustrie gegenwärtig der Auffassung, dass die Nitratmengen durch Versuche bis zu einem im Hinblick auf die Produkt- und Schmelzanforderungen angemessenen Minimum reduziert werden können, aber angesichts wirtschaftlicher und umweltrelevanter Gründe steht gegenwärtig keine wirksame Alternativlösung zur Verfügung.

In vielen Mitgliedstaaten hat der Gesetzgeber eine Verdoppelung der normalen NO_x -Emissionsgrenzwerte für Glas bei Nitratsatz gestattet. Diese Vorgehensweise steht normalerweise nicht in Einklang mit den Zielsetzungen der Richtlinie 96/61/EG. Sie erlaubt keine großen Variationen bei den Nitratsatzmengen, außerdem bietet diese Regelung wenig Initiative, die Zugabe von Nitraten zu minimieren. Weiterhin kann bei Prozessen mit nur kleinen Mengen an Nitratzugaben, die Verdoppelung der Emissionsgrenzwerte hohe thermische NO_x -Emissionen verbergen und den Anreiz zur Optimierung der Feuerungsbedingungen vermindern.

Die Zugabe von Nitraten kann nicht als getrennte Charakteristik des Schmelzprozesses angesehen werden. Im Allgemeinen haben Glasarten, die Nitratzusätze benötigen, auch bestimmte andere Einschränkungen in Verbindung mit ihrem Einsatz. Zum Beispiel unterscheidet sich der Schmelzprozess für Wirtschaftsglas oder Luxusverpackungen aus Kalknatronglas von der Behälterglasproduktion nicht nur durch die Verwendung von Nitraten, sondern ebenfalls durch: Verweilzeit (mindestens 50 % länger), durch die Erfordernis viel stärkerer Oxidationsbedingungen in der Schmelze und in den Wannen und durch höhere Glasktemperaturen (zwischen 50°C und 100°C höher). Alle diese Probleme tragen zu höheren NO_x -Emissionen pro Glaseinheit bei und können bis zu 2 und 3 mal höher sein als bei regenerativ beheizten U-Wannen zur Herstellung von Behälterglas.

Die Kosten für die Methoden zur Minderung der Nitratzusätze und die erreichbaren Emissionswerte sind sehr schwierig zu quantifizieren, sie hängen hauptsächlich von dem Ausgangspunkt ab und fallen sehr fallspezifisch aus.

4.4.2.3 Spezialausführungen von Schmelzwannen

Die Bedenken angesichts der NO_x -Emissionen veranlasste einige Wannenkonstrukteure, Rekuperativwannen zu entwickeln, in denen verschiedene charakteristische Merkmale integriert sind, um niedrigere Flammentemperaturen und daher niedrigere NO_x -Werte zu erzielen. Der bekannteste unter diesen Wannentypen ist der Sorg LoNO_x® Melter. Ein anderes von Sorg entwickeltes Konzept ist der Flex®-Melter, der im Allgemeinen für den Einsatz bei diskontinuierlichem Schmelzen vorgesehen ist und dem nachgesagt wird, vergleichbare NO_x -Emissionen wie mit dem LoNO_x®-Melter zu erzielen. Eine kurze Beschreibung des Flex®-Melters wird in Kapitel 2 gegeben, aber nur der LoNO_x®-Melter wird hier eingehend behandelt.

Beschreibung der Technik

[Sorg LoNO_x][tm19 5yrsLoNO_x]

Der Sorg LoNO_x®-Melter macht von einer Kombination aus flacher Läuterzone und Rohstoff-Vorwärmung Gebrauch, um verminderte NO_x -Emissionen zu erzielen, ohne den eventuellen Nachteil des verringerten thermischen Wirkungsgrades. Die flache Läuterzone beschleunigt die wichtige kritische Strömung nahe der Glasbadoberfläche, wodurch die Temperaturdifferenz zwischen ihr und der Oberofenstruktur reduziert wird. Die Wanne kann bei niedrigeren Temperaturen als eine vergleichbare herkömmliche Wanne betrieben werden.

Die Verbrennungsluftvorwärmung ist rekuperativ und es wird eine zweistufige Rohstoffvorwärmung angewendet, um die Reduzierung der Verbrennungsluftvorwärmung im Vergleich zu einer Regenerativwanne zu erreichen. Die Abgase aus den Hauptbrennern werden über die in die Wanne eintretenden Rohstoffe in eine ausgedehnte Vorschmelzzone geleitet, bevor sie in die Rekuperatoren gelangen. Beim Verlassen der Rekuperatoren werden die Abgase durch einen externen Scherbenvorwärmer geführt, bevor sie endgültig das System verlassen.

Der LoNO_x[®]-Melter ist grundsätzlich eine lang und schmal gestaltete, dreistufige Spezialausführung. Der erste Teil wird zur Vorwärmung und danach zum Vorschmelzen des Gemenges und der Scherben genutzt. Danach folgt die Läuterzone, in der die Glasbadtiefe auf 400 mm (oder weniger) reduziert ist. Ein Deep-Refiner vervollständigt die Wanne.

Die Hauptfeuerung erfolgt durch Gas- oder Ölbrenner im Schmelzbereich. Die Abgase werden über der Gemenge- und Scherbenoberfläche im ersten Teil der Wanne abgeleitet. Die Wanne ist durch Zwischenwände unterteilt, um zu verhindern, dass die der Wanne zugeführten Rohstoffe nicht direkt durch die Strahlung aus dem heißeren Teil der Wanne aufgeheizt werden. Daher wird eine hohe Temperaturdifferenz zwischen den Rohstoffen und den Gasen aufrechterhalten und eine wirksame Wärmeübertragung erzielt. Ein geringer Anteil an elektrischer Zusatzheizung kann zur Unterstützung der Konvektionsströme im Vorwärmungsbereich eingesetzt werden. Diese Wirkung wird durch die Installierung von Blasdüsen am Ende der Schmelzzone unterstützt.

Der externe Scherbenvorwärmer schließt sich an den Rekuperator an und gilt als wichtiger Teil des LoNO_x[®]-Melters. Es handelt sich um ein direktes Heizsystem, bei dem die heißen Abgase und die aufzuwärmenden Scherben Kontakt miteinander haben. Die Scherben und die Abgase fließen jetzt in entgegengesetzter Richtung. Die Scherben gelangen oben in den Turm und bewegen sich langsam abwärts zum Ausgang. Die Abgase treten unten ein und werden nach oben abgeleitet. Der Vorwärmer hat interne Belüftungsöffnungen, um eine gleichmäßigere Verteilung der Abgase in der Scherbensäule zu gewährleisten. Die Scherbenverweilzeit im Vorwärmer liegt bei etwa 5 Stunden. Die Abgase treten bei einer typischen Temperatur von 500°C in den Vorwärmer ein und bei einer Temperatur von etwa 200°C treten sie aus. Die Scherbenvorwärmung erfolgt bei einer typischen Temperatur von 400°C.

Umweltleistung

Angesichts der geringeren Betriebstemperaturen werden ziemlich niedrige NO_x-Werte erzielt. In [Sorg LoNO_x] wird über kontinuierliche Emissionswerte von 420 bis 440 mg/Nm³ berichtet, was weniger als 1 kg NO_x pro Tonne geschmolzenen Glases gleichzusetzen ist. Geringere Emissionswerte sind bei längerer Betriebserfahrung und der Anwendung von optimalen Verbrennungstechniken möglich.

Finanzielle Aspekte

Nach [tm6 NO_xInd.duVerre] wird geschätzt, dass die Zusatzkosten für den Betrieb einer Wanne mit einer Leistung von 350 Tonnen/Tag Behälterglas unter Einsatz dieser Technik unbedeutend sind, aber die zusätzlichen Investitionskosten können in einer Größenordnung von 1,8 Millionen Euro liegen. Weitere Angaben stehen gegenwärtig nicht zur Verfügung.

Anwendbarkeit

Die Technik beruht auf einer wesentlichen Vorwärmung der Rohstoffe, die ohne hohe Scherbenanteile schwierig zu erreichen ist. Diese Wannen sind tatsächlich nur einsetzbar, wenn hohe Scherbenanteile von beispielsweise über 70 % eingesetzt werden. Daraus lässt sich zum Zeitpunkt der Abfassung dieses Dokuments schließen, dass diese Technik nur für den Behälterglassektor und für Wannen mit einem Scherbenanteil von > 70 % anwendbar ist. Die Technik kann nur bei einer vollständigen Wannenerneuerung angewendet werden. Die Dimensionen der Wanne (lang und schmal) können ebenfalls die Anwendbarkeit bei Platzmangel einschränken.

Zusammenhängende Betrachtungen

Mit dieser Technik ist eine gute Schmelzleistung zu erreichen. In [tm19 5yrs LoNO_x] wird über Werte von etwa 3,3 GJ/Tonne geschmolzenen Glases bei einem Scherbenanteil von 90 bis 95 % und einer elektrischen Zusatzheizung von 3 % berichtet. Diese Angaben sind vergleichsweise vorteilhaft gegenüber modernen Regenerativwannen.

Angesichts der geringen Glasbadtiefen besteht das charakteristische Merkmal der Auslegung darin, dass es sich um eine- lange-, schmale- Wanne handelt und der Wannenbereich wesentlich größer sein kann als bei einer herkömmlichen Konstruktionsweise einer spezifischen Glasschmelzleistung. Dadurch erhöhen sich die Platzanforderungen und möglicherweise auch die Investitionskosten für die Wanne.

In der Behälterglasindustrie kann es schwierig sein, Braunglas mit hohen Anteilen an gemischten Scherben zu erzeugen. Zum Teil ist diese Technik angesichts der geringen Glasbadtiefe relativ wirksam in dieser Hinsicht, und Braunglas wird bis zu 95 % Scherbenanteil mit hohen Mengen an gemischten Scherben aus Farbglas hergestellt.

Wie bei allen Scherben-Vorwärmssystemen besteht die Möglichkeit der Bildung von organischen Emissionen, einschließlich geruchsbelästigender Bestandteile und möglicherweise Dioxine/Furane. Messungen haben ergeben, dass Dioxin-Emissionen unter $0,1 \text{ ng/Nm}^3$ TEQ liegen. Diese Fragen werden weiter in Abschnitt 4.8 behandelt.

Installationsbeispiele

Gerresheimer Glas, Budenheim, Deutschland – Behälterglas [Anm.d.Übersetzer : Inzwischen geschlossen]
Wiegand & Söhne, Steinbach am Wald, Deutschland – Behälterglas

4.4.2.4 FENIX Prozess

Beschreibung der Technik

Der FENIX Prozess beruht auf der Kombination einer Reihe von Primärmaßnahmen zur Optimierung der Verbrennung und Senkung des Energieverbrauchs. Genau wie die in Abschnitt 4.4.2.1 beschriebenen Verfahren, bezieht sich die Optimierung der Verbrennung bei FENIX auf:

- Reduzierung des Luftüberschusses ohne Glasqualitätsprobleme oder ohne Kohlenmonoxid-Emissionen herbeizuführen;
- Beseitigung von Quellpunkten und Homogenisierung der Flammentemperaturen;
- Überwachung von Brennstoff- und Verbrennungsluft-Vermischung

Allerdings verlangt der FENIX-Prozess eine vollständige Änderung des Verbrennungssystems und insbesondere den Einsatz einer neuen Art von Brennerdüsen. Diese Änderungen sind patentiert. Die Technik beinhaltet ebenfalls eine Überholung des Wannenüberwachungssystems und die Installierung von Methoden zur Überwachung bestimmter Wannenparameter. Insbesondere werden Sonden für den Sauerstoffgehalt im oberen Kammerbereich der Regeneratorkammern installiert, um eine bessere Überwachung der Luftüberschusspegel zu gewährleisten.

Die Hauptcharakteristik der Änderungen an dem Verbrennungssystem ist in der Patentanwendung [tm36 FENIXpat] beschrieben und wird unten zusammengefasst.

Temperaturspitzen werden durch die Aufrechterhaltung der Flammenlänge während der Erhöhung des Flammenvolumens begrenzt. Das Verbrennungsstadium wird durch die Überwachung der Brennstoffzufuhr und des Oxidationsmittels über den Kontakt und/oder die Erhöhung des Flammenvolumens erreicht. Eine 100 %ige Sauerstoff-Flamme kann im heißesten Bereich der Wanne eingesetzt werden. Die Kontaktstaffelung wird auch zum Teil durch den Einsatz eines inerten "Puffer" Gases bei mindestens einer Brennerdüse erzielt. Das inerte Gas kann CO_2 oder rezykliertes Rauchgas sein und wird zwischen der Haupt-Brennstoffzufuhr und dem Oxidationsmittel eingedüst. Dadurch wird das Vordringen der Flamme gezielt in die Wannenmitte gerichtet und eine breitere, noch gleichmäßigere Flamme mit größerem Volumen erreicht.

Der Kontakt zwischen dem Oxidationsmittel und dem Brennstoff kann auch durch eine sekundäre Brennstoff-Brenndüse(en) verzögert werden, die in oder nahe der Lufteinlassöffnung über den Brennerdüsen der Hauptbrennstoffzufuhr angeordnet sind. Die Technik kann ebenfalls den Einsatz von Luftdüsen oder Sauerstoffstößen an verschiedenen Stellen beinhalten, um eine oxidierende Atmosphäre über dem Glas aufrechtzuerhalten, ohne einen gesamten - Luftüberschuss zu haben.. Diese Vorrichtungen können auch zur Unterstützung der Verbrennungsüberwachung eingesetzt werden. Ein sehr wichtiger Aspekt dieser Technik ist die Auslegung des Brenners, deren Einzelheiten als vertraulich gelten.

Umweltleistung

Der FENIX Prozess ist ein relativ neues Verfahren und wurde nur bei einer Wanne von Saint-Gobain für eine Floatglas-Anlage in Aniche, Frankreich, entwickelt. Über die Ergebnisse dieser Anlage wird in [tm24 FENIX] berichtet. Die NO_x -Konzentration wurde von 1600 mg/m^3 auf 580 mg/m^3 reduziert und entspricht einer

Minderung von 63 %. Die NO_x-Masse pro Tonne geschmolzenen Glases ist von 4 kg/Tonne auf 1,25 kg/Tonne gesenkt worden, d.h. ein Minderungsanteil von 68 %. Die Durchführung dieses Verfahrens ergibt ebenfalls eine Energieeinsparung von etwa 6 % (5,76 GJ/Tonne auf 5,4 GJ/Tonne bei 21 % Scherben).

Laut Veröffentlichung von [tm24 FENIX] wird bestätigt, dass die NO_x-Emissionswerte von 510 mg/m³ und 1,1 kg/Tonne geschmolzenen Glases konsequent bei der Aniche-Anlage erreicht werden.

Finanzielle Aspekte

Angesichts der erfahrungsgemäßen Energieeinsparungen ergibt sich aus dieser Technik tatsächlich eine gesamte Kostenersparnis. Allerdings ist ein bestimmtes Anfangskapital notwendig, das sich aber innerhalb kurzer Zeit, normalerweise in weniger als zwei Jahren amortisiert hat. Die Investitionskosten enthalten neue Brenner und die verbesserten Überwachungssysteme (etwa 700 000 Euro). Für eine neue Anlage oder eine Erneuerung mit neuen Brennern und einem neuen Überwachungssystem wären die Zusatzkosten sehr gering. Lizenzgebühren und die benötigte Zeit, sowie das notwendige Fachwissen zur Einführung der Technik müssen ebenfalls berücksichtigt werden.

Anwendbarkeit

Zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Dokumentes wurde diese Technik nur bei einer regenerativ beheizten Quer-Brennerwanne zur Floatglasherstellung (600 Tonnen/Tag) eingesetzt unter Verwendung von Schweröl mit einem Schwefelgehalt von weniger als 1 %. Allerdings wird von dem technischen Entwicklungsteam dieses Prozesses angegeben, dass dieses Verfahren im Prinzip für jede Quer-Brennerwanne eingesetzt werden kann, obwohl für Gasfeuerung Modifizierungen notwendig sind.

Das Verfahren ist gegenwärtig bei anderen Schmelzwannen der Gruppe im Begriff der Anwendung, einschließlich einer gasbefeuchten Wanne. Für jede Wanne verlangt die Technik eine sorgfältige Anwendung durch ein geschultes Fachteam. Saint-Gobain erklärt sich bereit, für die FENIX-Technologie eine Lizenz ohne Exklusivität an andere Glashersteller zu vergeben, vorausgesetzt, dass eine Vereinbarung über die Bedingungen einer solchen Lizenz erreicht werden kann.

Zusammenhängende Betrachtungen

Zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Dokuments ist diese Technik nur für einen Prozess eingesetzt worden, obwohl es scheint, dass sie weitverbreitet einsetzbar ist und als technisch erprobt angesehen werden kann. Allerdings können die Ergebnisse wie bei allen Primärmaßnahmen, von Fall zu Fall unterschiedlich ausfallen. Es kann nicht automatisch vorausgesetzt werden, dass die in Aniche erzielten Ergebnisse in allen Fällen zu erreichen sind. Die Ergebnisse bei anderen Anwendungen dürften erwartungsgemäß vergleichbar sein, können aber je nach den ortsspezifischen Verhältnissen besser oder schlechter ausfallen.

Die Hauptfrage bleibt, in wieweit diese Technik als verfügbar und für alle Prozesse als zugänglich angesehen werden kann, und wo sie anwendbar sein könnte. Die Einführung des Verfahrens ist ein schwieriger und zeitraubender Prozess. Saint-Gobain erklärt sich bereit, diese Technologie unter Lizenz zu vergeben, aber die Frage, ob die bestehende Expertise ausreicht, um eine Durchsetzung dieser Technik auf breiter Ebene mittelfristig zu gewährleisten, steht noch offen.

Installationsbeispiele

Saint-Gobain Vitrage, Aniche, Frankreich – Floatglas.

4.4.2.5 Sauerstoff-Brennstoff Schmelztechnik

Beschreibung der Technik

Der Sauerstoff-Brennstoff Schmelzprozess erfordert den Ersatz der Verbrennungsluft durch Sauerstoff (>90 % Reinheit). Die Technik kann entweder mit Erdgas oder Heizöl als Brennstoff eingesetzt werden, obwohl die Anwendung von Erdgas allgemein üblicher ist. Die Beseitigung des meisten Stickstoffs aus der Verbrennungsatmosphäre vermindert das Abgasvolumen (hauptsächlich aus CO₂ und Wasserdampf zusammengesetzt) um 70 % bis 85 %, je nach der Sauerstoffreinheit. Im Allgemeinen haben Sauerstoff-Brennstoff beheizte Wannen die gleiche Grundauslegung wie Rekuperativwannen mit mehrfachen

Seitenbrennern und einem einzigen Abgasabzug. Bei den meisten modernen Wannen ist die Geometrie optimiert, hinsichtlich der Sauerstoff-Brennstoff-Beheizung und der NO_x -Minimierung. Wannen für eine Sauerstoffverbrennung verwenden gegenwärtig kein Wärmerückgewinnungssystem zur Vorwärmung der Sauerstoffzufuhr in die Brenner aufgrund der Sicherheitsbedenken.

Die Technik hat potenziell erhebliche Energieeinsparungen zur Folge, weil eine Erwärmung des atmosphärischen Stickstoffs bis zur Flammentemperatur nicht mehr notwendig ist. Es braucht weniger Gas zur Vorwärmung aufgeheizt werden und daher ist der Energieverlust aus der Wanne geringer. Der Umfang der Energieeinsparungen hängt in hohem Maße von der Wanne ab, die als Vergleich herangezogen wird. Diese komplizierte Frage wird im weiteren Verlauf dieses Abschnitts erörtert.

Die Bildung von thermischem NO_x wird in hohem Maße reduziert, weil die Hauptquelle für Stickstoff in der Wanne weitaus geringer ist, obwohl etwas Stickstoff immer noch in der Verbrennungsatmosphäre vorhanden ist. Dies wird von dem restlichen Stickstoff im Sauerstoff (VSA/PSA 4 bis 6 %, kryogen <0.5 %), von dem Stickstoff im Brennstoff (Erdgas 2 bis 15 %), von dem Stickstoff aus der Nitratzersetzung und aus der Falschluff abgeleitet. Angesichts der hohen Flammentemperaturen wird vorhandenes N_2 einfacher in NO_x umgewandelt und selbst geringe Mengen N_2 können sich als ziemlich erheblich erweisen. Daher ist es wichtig, den Falschluffeintritt in die Wanne auf ein Minimum zu reduzieren.

Die Abgastemperatur der Wanne kann sehr hoch sein (1200 - 1300°C) und erfordert normalerweise eine Abkühlung. Angesichts des hohen Wassergehalts und der Konzentration an korrosiven Substanzen (wie Chloride und Sulfate) erfolgt die Abkühlung normalerweise durch Verdünnung mit Luft. Nach der Verdünnung liegen die Abgasvolumen im Allgemeinen in einem Bereich von 70 bis 150 % des Abgasvolumens einer konventionellen Schmelzwanne, je nach dem notwendigen Verdünnungsgrad.

Der Sauerstoff-Brennstoff-Schmelzprozess fordert andere Brennerauslegungen als sie bei konventioneller Luft-Gas-Beheizung vorgefunden werden. Seit der Einführung dieser Technik sind bei den Brennersystemen wesentliche Fortschritte zu verzeichnen, angefangen von erstmaligen Änderungen der bestehenden Auslegungen für andere Sauerstoff-Brennstoff-Anwendungen bis zu den gegenwärtigen, hochwirksamen Sauerstoff-Brennstoff-Brennersystemen mit geringer NO_x -Emission, die eigens für die Glasherstellung entwickelt wurden. Diese Systeme besitzen einige charakteristische Merkmale anderer, hochwirksamer Brenner mit geringen NO_x -Emissionen für die konventionelle Beheizung. Einige der wichtigen Eigenschaften der hauptsächlich, patentgeschützten Systeme werden unten zusammengefasst.

- Brenner mit längeren, breiteren Flammen und besserer Leuchtkraft zur Erzielung tieferer und gleichmäßigerer Wärmeübertragung,
- Flachere Flammen mit breiterer Überdeckung,
- Verzögerte Sauerstoff-Brennstoff-Vermischung, um die Spitzentemperaturen der Flammen in der O_2 -reichen Zone zu senken,
- keine Wasserkühlung,
- Flammeneinstellung für Impuls und Form
- Variabler Brennstoffeinsatz.

Der zur Verbrennung notwendige Sauerstoff kann entweder durch Anlieferung vor Ort oder durch Eigenproduktion bereitgestellt werden. Ausgenommen bei sehr kleinen Anwendungen (z.B. einige Frittanlagen), ist es normalerweise wirtschaftlicher, die benötigten Sauerstoffmengen vor Ort zu produzieren. Wenn ein Standort in der Nähe einer industriellen Sauerstoffversorgungsleitung liegt, ist es normalerweise kostengünstiger, den Sauerstoff direkt von der Leitung zu beziehen. Es gibt zwei Hauptverfahren zur Herstellung von Sauerstoff vor Ort, durch ein kryogenes oder durch ein Absorbersystem. Die Sauerstoffanlage ist gewöhnlich Eigentum des Vertreibers und der gelieferte Sauerstoff wird in Rechnung gestellt. Einige Betreiber bevorzugen den Besitz einer eigenen Sauerstoffanlage. Bei Sauerstoffanlagen vor Ort ist immer eine Reserve von flüssigem Sauerstoff vorgesehen.

Sauerstoff wird kryogen durch Verdichtung von Luft erzeugt und durch eine Reinigungseinheit zur Beseitigung von Staub, Wasser, Kohlendioxid und Fremdstoffspuren geführt. Die gereinigte Luft wird anschließend gekühlt und durch eine Destillationssäule bei niedriger Temperatur geleitet, wo die Trennung stattfindet. Die getrennten

Gase können in Wärmeaustauschern zur Lieferung von gasförmigem Sauerstoff oder Stickstoff erwärmt werden und wenn notwendig, kann der flüssige Sauerstoff aus den kühleren Teilen der Einheit entnommen werden.

Der Absorptionsprozess erfolgt gewöhnlich entweder nach der Vacuum-Swing-Absorption (VSA) oder der Pressure-Swing-Absorption (PSA). Bei beiden Verfahren handelt es sich um nicht-kryogene Systeme und die Trennung findet bei Raumtemperatur statt. Dieses Verfahren ist normalerweise weitaus kostengünstiger als das kryogene Verfahren, hat aber eine begrenzte Kapazität und wird normalerweise für einen Sauerstoffbedarf von mittlerer Größe gewählt. Die meisten Standorte, die nur eine oder zwei Glaswannen versorgen, werden dieses Verfahren bevorzugen. Bei einer Vielzahl an Schmelzwannen oder bei Wannen mit hohem O₂-Bedarf (z.B. Floatglas) kann der kryogene Prozess bevorzugt werden. Die Wahl hängt hauptsächlich von wirtschaftlichen Aspekten ab, die durch örtliche Verhältnisse beeinflusst werden können.

Verdichtete Luft tritt am Boden von einem oder zwei mit Zeolith gefüllten Absorberbehälter ein, wodurch der meiste Stickstoff absorbiert wird. Der Sauerstoff wird vom oberen Teil des Behälters abgezogen, bis der Zeolith durch Stickstoff gesättigt ist. Der Luftstrom wird anschließend in den zweiten Behälter geleitet, während der Stickstoff aus dem ersten Behälter in die Atmosphäre freigesetzt wird. Im Vakuum-System wird der Stickstoff durch Unterdruck beseitigt und im Drucksystem unter Druck belüftet. Das Vakuumsystem liefert normalerweise den höchsten Wirkungsgrad.

Das Verfahren der teilweisen Sauerstoff-Brennstoff-Beheizung wird seit Jahren in der Glasindustrie eingesetzt. Zwei verschiedene Methoden wurden getestet: Eindüsen von Sauerstoff, was einer zusätzlichen Zugabe von O₂ in eine konventionelle Schmelzwanne mit Luft-Brennstoff-Beheizung zur Erhöhung der Wärmeübertragung entspricht, oder das Hinzufügen eines reinen Sauerstoff-Brennstoff Brenners. Diese Technik wurde hauptsächlich eingesetzt, um Glasqualitäts- und Wannenleistungs-Probleme zu lösen. Dies geschieht durch Anordnung sehr heißer Flammen genau an der Schmelzoberfläche, um den Temperaturgradienten und damit die Konvektionsströmung in der Schmelze zu erhöhen. Dadurch wird auch der Abgasstrom reduziert und man erhält somit die gleiche Energie im System. Die Technik wurde oftmals zur Verlängerung der Betriebsdauer einer Schmelzwanne eingesetzt, sobald Anzeichen von Verschleiß oder Regeneratorproblemen sichtbar wurden. Die Technik wird heutzutage weiterhin verwendet, jedoch ist sie angesichts der potenziell erhöhten NO_x-Emissionen durch die hohen Temperaturen weniger üblich.

Umweltleistung

Im Vergleich zu Luft-Brennstoff beheizten Wannen werden die NO_x-Emissionen im Allgemeinen um 70 bis 90 % vermindert. Dieser Zahlenwert hängt eindeutig von dem Vergleichspunkt ab und kann höher als 95 % und niedriger als 60 % sein. Für Glasfaser- und Behälterglas-Wannen entspricht dieser Wert normalerweise <1 kg/Tonne geschmolzenen Glases. Bei Spezialglas (ohne Nitratzusatz) kann dieser Wert bei 1 bis 2 kg/Tonne geschmolzenen Glases liegen [tm32 Beerrens]. Die letzte Generation der Sauerstoff-Brennstoff Brennersysteme kann in Verbindung mit optimaler Wannenauslegung und bestmöglichem Wannenbetrieb in gewissen Fällen die NO_x-Emissionen bis auf 0,3 bis 0,8 kg/Tonne geschmolzenen Glases vermindern. Für Emissionen von Flachglas sind keine Informationen verfügbar, aber Emissionswerte von 0,5 bis 1,5 kg/Tonne geschmolzenen Glases kommen wahrscheinlich in Betracht.

Die Konzentrationen sämtlicher Schadstoffe können tatsächlich angesichts des reduzierten Gasvolumens höher sein. Eine 8 %ige Sauerstoffkorrektur ist für Sauerstoff-Brennstoff beheizte Schmelzwannen nicht besonders aussagekräftig, obwohl durch die Verdünnung mit Kühlluft die Konzentrationen näher an normale Werte herankommen.

Die Sauerstoff-Brennstoff-Beheizung kann ebenfalls dazu beitragen, die Gesamtmissionen flüchtiger Stoffe aus der Schmelzwanne zu reduzieren (Staubpartikel, Fluoride, Chloride, usw.), durch die verminderte Gasströmung über der Schmelze und in gewissen Fällen aufgrund geringerer Turbulenzen. Partikelförmige Emissionen in Kalknatronglas können von 0,2 bis 0,3 kg/Tonne geschmolzenen Glases reduziert werden, obwohl dies nicht bei allen Anwendungen festgestellt werden kann [tm18 CPIV]. Partikelförmige Emissionen werden am wirksamsten bei borhaltigen Glasarten reduziert (bis zu 50 %). In den USA ist die Motivation zur Umstellung auf den Sauerstoff-Brennstoff-Schmelzprozess in einigen Fällen mehr auf die Reduzierung partikelförmiger Stoffe gerichtet als auf die Minderung der NO_x-Werte. Ein verminderter Brennstoffeinsatz führt ebenfalls zu geringeren SO₂-Emissionen bei Heizöl befeuerten Wannen und die CO₂-Emissionen werden ebenfalls im Verhältnis zu jeglicher Energieeinsparung reduziert.

Finanzielle Aspekte

Die finanziellen Aspekte des Sauerstoff-Brennstoff-Schmelzverfahrens können zwischen den einzelnen Sektoren und von Fall zu Fall höchst unterschiedlich sein. Eine Abschätzung der Kosten ist sehr schwierig, aber orientierende Zahlenangaben werden in Abschnitt 4.4.2.9 genannt. Die Hauptfaktoren für die Kosten lauten wie folgt:

- Investitionskosten im Vergleich zur wahrscheinlichsten Alternative,
- Realisierbare Energieeinsparungen (stark abhängig von Wannengröße und -auslegung),
- Vorherrschende Sauerstoffkosten für diese Anlage,
- Mögliche Auswirkung auf die Wanneneinreise und das damit verbundene finanzielle Risiko

Ein wichtiger Faktor bei den Investitionskosten ist, dass Sauerstoff-Brennstoff beheizte Wannen kein konventionelles Verbrennungsgas-Vorwärmesystem besitzen und daher der Investitionsaufwand im Allgemeinen geringer ist als für Rekuperativ- oder Regenerativwannen von vergleichbarer Glasschmelzleistung. Dies wird vor allem bei neuen Anlagen sehr deutlich, bei denen die gesamten Kosten für das Vorwärmesystem eingespart werden. Die modernsten Sauerstoff-Brennstoff Brenner sind im Allgemeinen teurer als Hochleistungs-LoNO_x-Brenner und die Kosten für das Sauerstoffüberwachungssystem sind ziemlich erheblich (0,3 bis 0,45 Millionen Euro). Allerdings sind bei den meisten Schmelzwannen die Zusatzkosten für die Sauerstoff-Brennstoff-Brenner und die Überwachungssysteme wesentlich geringer als die Kostenersparnis für den Vorwärmer. Bedenken hinsichtlich der Auswirkungen dieser Technik auf die Lebensdauer des Feuerfestmaterials können zum Einsatz kostspieligerer Werkstoffe für das Deckengewölbe führen. Sofern notwendig, könnten diese Sonderkosten die Vorteile des Investitionsaufwands wesentlich reduzieren. In der Fritten-Industrie sind Vorwärmesysteme weniger üblich, aber die Extrakosten für den Investitionsaufwand werden im Allgemeinen innerhalb von zwei Jahren durch die wesentlichen Energieeinsparungen zurückgewonnen [tm8 S23.03].

Die Regeneratorsysteme der Regenerativschmelzwannen können seit dem erstmaligen Bau der Anlage bestehen bleiben. Sie werden repariert, erweitert oder ersetzt, falls notwendig, bei einer vollständigen Wannenreparatur. Obwohl sich eine wesentliche Kosteneinsparung ergibt, ist diese nicht so hoch wie für eine neue Anlage. Bei Rekuperativwannen wird der Rekuperator gewöhnlich bei jeder Wannenerneuerung ersetzt, aber der Stützrahmen kann erneut verwendet werden, wenn die Wannengeometrie und -Anordnung weitgehend unverändert bleiben. Die Investitionersparnis bei neuen Anlagen liegt für Rekuperativwannen in einem Bereich von 20 %, und für Regenerativwannen zwischen 30 und 40 %.

Wenn die Sauerstoffanlage von dem Vertreiberunternehmen betrieben wird, sind die Investitionskosten im Allgemeinen in den Sauerstoffkosten enthalten und werden nicht getrennt berücksichtigt. Die Räumlichkeiten für die Sauerstoffanlage werden normalerweise von dem Glasunternehmen zur Verfügung gestellt, jedoch sind die Kosten geringfügig. Wenn das Glasunternehmen beabsichtigt, die Sauerstoffanlage auf unabhängiger Basis zu betreiben, kann der Investitionsaufwand bis zu 10 % der Kosten für die Schmelzwanne betragen [tm29 Infomil]. Wenn das Stickstoff-Nebenprodukt aus der Sauerstofferzeugung weiter verwendet oder verkauft werden kann, ist dies eine Möglichkeit zur Senkung der Gesamtkosten.

In einigen Unterlagen über die Glasindustrie [z.B. tm3 EPA, tm6 NO_x Ind. Du Verre] werden die Kosten für die Sauerstoff-Brennstoff-Feuerung als höher oder in gleicher Höhe wie für SCR angegeben. Allerdings hat sich dies in der Praxis nicht immer bewahrheitet, denn einige Betreiber berichten über ein neutrales Kostenverhältnis bei der Umstellung oder in einigen Fällen über Einsparungen bei den Betriebskosten. Die meisten positiven Ergebnisse resultieren aus der Umstellung kleinerer Nicht-Regenerativwannen, bei denen kein hoher Scherbenanteil verwendet wird.

Außer den Bedenken hinsichtlich der Lebensdauer des Feuerfestmaterials, liegt in den meisten Fällen der entscheidende Faktor für die Kostenwirksamkeit der Sauerstoff-Brennstoff-Verbrennungstechnik in der Differenz zwischen der Energieersparnis und den Sauerstoffkosten, im Vergleich zu den Kosten für alternative NO_x-Minderungsmaßnahmen. Dies ist fallspezifisch und bei vielen kleineren Schmelzwannen fällt die Bilanz positiv aus. Allerdings sind die Kosteneinsparungen bei größeren Wannen im Allgemeinen geringer und die finanzielle Bilanz hängt viel stärker von den spezifischen Umständen ab und andere Faktoren (insbesondere die jährliche Abschreibung) sind von größerer Bedeutung. Die vorrangigen Energiekosten und insbesondere die Sauerstoffkosten (beide sind Schwankungen ausgesetzt) haben ebenfalls einen unverkennbaren Einfluss.

Anwendbarkeit

Obwohl das Prinzip des 100 %igen Sauerstoff-Brennstoff-Schmelzprozesses gut etabliert ist, insbesondere im Fritten-Sektor, ist seine Anwendung in der gesamten Glasindustrie durch eine Reihe von Faktoren begrenzt. Dieses Verfahren wird immer noch von einigen Sektoren der Glasindustrie als eine in der Entwicklung befindliche Technologie mit einem potenziell hohen finanziellen Risiko angesehen. Allerdings wird stark an der Entwicklung gearbeitet und die Zahl der Anlagen und der Betriebserfahrung wächst zunehmend.

Im Allgemeinen ist es von Vorteil, die Installierung bis zur nächsten Wannenerneuerung zu verschieben, um die potenziellen Vorteile zu vergrößern und alle zu erwartenden Betriebsprobleme zu vermeiden. Grundsätzlich können Sauerstoff-Gasbrenner bei vielen Prozesstechniken installiert werden, ohne den Zeitpunkt einer Kaltreparatur abzuwarten. Ein Einbau im heißen, laufenden Betrieb kann zu Energieeinsparungen und einer erhöhten Glasschmelzleistung führen. Allerdings ist es unwahrscheinlich, geringere NO_x-Emissionen zu erzielen und es kann sich sogar eine Erhöhung der NO_x-Werte ergeben. Es besteht ebenfalls die Gefahr eines erhöhten Verschleißes des Feuerfestmaterials.

Nach Schätzungen werden 5 bis 10 % der weltweiten Glasproduktion nach dem Sauerstoff-Brennstoff-Schmelzprozess erzeugt, allerdings schwankt diese Zahl unter den einzelnen Sektoren. In den USA ist nur eine solche Floatglaslinie in Betrieb. In Europa werden nach [tm17 Ercole] 5,3 % der Behälterglasproduktion nach dem Sauerstoff-Brennstoff-Prozess hergestellt. Bei Glasfasern (Glaswolle und Endlosfaser) und Spezialglas liegen die Zahlen bei 27,5 % und 48,5 %. Schätzungen des französischen Sauerstoffherstellers Air Liquide weisen darauf hin, dass von der gesamten Glasproduktion nach dem Sauerstoff-Brennstoff-Prozess, 25 % in Europa und 56 % in Nordamerika erzeugt werden.

Es gibt verschiedene Beispiele für Sauerstoff-Brennstoff Schmelzwannen, die in den folgenden Sektoren mit Erfolg in Betrieb sind: Behälterglas, Glaswolle, Spezialglas (insbesondere TV-Glas), Endlosglasfaser und Fritten [tm32 Beerkens]. Im Wirtschaftsglassektor wurden Versuche durchgeführt, die eine gute Minderung der NO_x-Emissionen ergaben, jedoch sind Probleme aufgrund starker Schaumbildung aufgetreten. Bei diesem Beispiel wurde jedoch die Glasqualität nicht beeinträchtigt, da der Versuch mit einer Glasrezeptur erfolgte, die weniger empfindlich auf diese Faktoren reagiert. Die bei der Wirtschaftsglasherstellung angetroffenen Probleme haben Ähnlichkeit mit den ursprünglich bei anderen Anwendungen auftretenden Schwierigkeiten, wie zum Beispiel bei Behälterglas. Ähnliche Lösungen sind offenbar möglich, aber die höheren Qualitätsanforderungen machen eine Anwendung schwieriger. Es gibt verschiedene Beispiele, bei denen diese Technik zur Herstellung von Wirtschaftsglas weltweit mit Erfolg eingesetzt wird. Zum Beispiel bei:

Orrefors Kosta Boda, Schweden - < 5 Tonnen/Tag Kristallglas,
Verrerie de la Rochère, Frankreich – 17 Tonnen/Tag Kalknatronglas,
St George Crystal USA, 32 Tonnen/Tag Bleikristall
Nachtmann, Deutschland – 9 Tonnen/Tag Kristallglas

Die einzige im Flachglassektor bekannte Anwendung ist die vor kurzem vorgenommene Umstellung der Pilkington LOF-Anlage in Ohio. Es wird angenommen, dass die Umstellung einer weiteren Floatglas-Anlage in den USA geplant ist. Eines der Hauptprobleme beim Einsatz der Sauerstoff-Brennstoff-Schmelztechnik in der Flachglaserzeugung ist, dass es sich noch nicht um eine völlig ausgereifte Technik für diese Anwendung, weder in technischer noch wirtschaftlicher Hinsicht handelt. Es gibt keine grundlegenden technischen Grenzen für diese Anwendung, aber es bestehen eine Reihe ernsthafter Vorbehalte. Die Hauptbefürchtung liegt in dem möglicherweise hohen Verschleiß an Feuerfestmaterial und einer verkürzten Betriebsdauer, oder der Notwendigkeit einer kostspieligen Reparatur. Die erheblichen Investitionskosten und hohen Qualitätsanforderungen bei Flachglas verursachen ein größeres Risiko als in einigen anderen Sektoren. Auch deutet der hohe thermische Wirkungsgrad in diesem Sektor darauf hin, dass die möglichen Energieeinsparungen weitaus geringer sind.

Allgemein ist man in diesem Sektor der Auffassung, dass, sofern notwendig, andere NO_x-Minderungsmaßnahmen zur Verfügung stehen, und daher die Vorteile die Risiken nicht rechtfertigen, als erster Sektor die Durchführung dieser Technik vorzunehmen. Es gibt bei Pilkington LOF eine Reihe von standortspezifischen Faktoren, wonach diese Technik möglicherweise kostengünstiger ausfällt. Diese Probleme zusammen mit dem gegenwärtigen Stand der Entwicklungsfortschritte und dem Wunsch in Erfahrung zu bringen, welche Leistungsfähigkeit von dieser Technik zu erwarten ist, führte die Unternehmensgruppe zu dem Entschluss der Durchführung dieser Technik. Gegenwärtig sind noch keine Ergebnisse dazu verfügbar.

Zusammenhängende Betrachtungen

Eine der wichtigsten Fragen in Bezug auf diese Technik ist die potentiell erreichbare Energieeinsparung. Wie zuvor erwähnt, kann dies oftmals der entscheidende Faktor für die Wirtschaftlichkeit der Technik bei einer bestimmten Anwendung sein. Bei Betrachtung der Kostenwirksamkeit der Technik muss nicht nur ein Vergleich mit der Ersatzwanne, sondern mit allen verfügbaren Optionen und alternativen Minderungsmaßnahmen gemacht werden.

Die Energieeinsparungen können bei kleinen, thermisch unwirksamen Wannen mehr als 50 % betragen (z.B. Fritten-Wannen). Bei einer Rekuperativwanne mittlerer Größe ohne spezifische Energiesparmaßnahmen, mit Standardisolierung und Verwendung von nur werkseigenen Scherben wäre der Energieverbrauch mit dem Sauerstoff-Brennstoff Schmelzprozess um etwa 20 bis 50 % geringer. Jedoch bei großen, energieintensiven Regenerativwannen mit optimierter thermischer Leistung sind die Einsparungen weitaus geringer (zwischen 5 und 15 % - BOC plc) und liegen möglicherweise im Null-Bereich. In diesen Fällen würden die Energieeinsparungen die Kosten für den Sauerstoff offenbar weniger ausgleichen. Jeder Fall ist einzigartig und muss in Bezug auf die individuellen Verhältnisse betrachtet werden.

Die für herkömmliche Wannen verfügbaren Energiesparmaßnahmen (z.B. Abhitzekeessel, erhöhte Isolierung, hohe Brennerwirksamkeit und Scherbenvorwärmung) werden bei der Sauerstoff-Brennstoff-Beheizung nicht so weitläufig eingesetzt. Es gibt einige Erfahrung mit diesen Techniken und zum Zeitpunkt der Abfassung dieses Dokuments ist anzunehmen, dass zumindest zwei Wannen mit Abhitzekeesseln ausgerüstet sind, und einer mit einer Scherbenvorwärmung. Allerdings mit zunehmender Erfahrung können mehr derartige Maßnahmen in Verbindung mit der Sauerstoff-Brennstoff-Beheizung zum Einsatz kommen. Es gibt keine technischen Gründe, weshalb die meisten Techniken dieser Art nicht bei der Sauerstoff-Brennstoff-Beheizung eingesetzt werden können, aber es gibt wichtige technische Fragen, die angeschnitten werden müssen und deren Lösung Zeit beanspruchen würde (z.B. optimale Isolierung ohne die Lebensdauer des Feuerfestmaterials zu beeinträchtigen).

Eine besondere Frage zur Verbesserung der Wirtschaftlichkeit der Sauerstoff-Brennstoff-Beheizung ist die Wärmerückgewinnung aus den Abgasen. Die hohe Temperatur der Abgase erhöht das Potential der Wärmerückgewinnung, aber es gibt auch eine Reihe von Schwierigkeiten. Die Abgase müssen vor jeglicher Abgasbehandlung abgekühlt werden, um die Betriebstemperatur der Anlage für die Minderungsmaßnahmen zu erreichen, und um zu gewährleisten, dass die Kondensation sämtlicher Staubpartikel aus den flüchtigen Bestandteilen stattgefunden hat. Durch die Art der Abgase aus vielen Wannen ist der Einsatz direkter Wärmetauscher angesichts der Probleme mit den Rückständen durch Partikelkondensation und Korrosion eingeschränkt. Diese Probleme werden verstärkt durch hohe Abgaskonzentrationen in Verbindung mit der Sauerstoff-Brennstoff-Beheizung. Ein besonderes Problem entsteht bei borhaltigen Glasarten, bei denen die Abgase eine schnelle Abkühlung verlangen, um die Bildung klebriger und korrosiver Feststoffe zu verhindern, die Rückstände in den Rohrleitungen und Ausrüstungen hinterlassen, wie beispielsweise Elektrofilter. Aus diesen Gründen ist der Trend zur Abkühlung durch Verdünnung mit Luft unverkennbar.

Unter Umständen wäre der vielversprechendste Weg für die Wärmerückgewinnung von Abgasen aus Sauerstoff-Brennstoff-Wannen für Behälterglas der Einsatz einer Gemenge- und Scherbenvorwärmung (siehe Abschnitt 4.8). Anfangsversuche haben ebenfalls mit der Vorwärmung der Sauerstoffzufuhr stattgefunden. Die Möglichkeiten der Wärmerückgewinnung von Sauerstoff-Brennstoff-Wannen werden in [tm45 Illy] behandelt. Es wird an der Entwicklung von Maßnahmen zur Vorwärmung der Gas- und Sauerstoffzufuhr gearbeitet, aber diese Entwicklungen fanden nicht auf großtechnischer Ebene statt und können nicht als verfügbar angesehen werden.

Bei Betrachtung der gesamten Umweltauswirkung der Sauerstoff-Brennstoff-Technik sollte die Umweltbeeinträchtigung durch die Sauerstoffproduktion berücksichtigt werden. Diese Auswirkung ist äußerst schwierig zu berechnen und kann von Fall zu Fall sehr unterschiedlich sein. Die Umweltauswirkung der Sauerstoffproduktion bezieht sich hauptsächlich auf die Emissionen in Verbindung mit der Erzeugung des Elektrizitätsverbrauchs. Diese Abschätzung ist fast unmöglich, außer für einen bestimmten Fall, bei dem (unter anderem) der Sauerstoffverbrauch, das Verfahren der Sauerstoffproduktion, die Statistiken auf Landesebene für die durchschnittlichen Emissionen aus der Elektrizitätsproduktion und die Energieeinsparungen für diese Anwendung abgeleitet werden können. Im Durchschnitt verbraucht die Sauerstoffproduktion von VSA annähernd 1,44 MJ/Nm³ [private communication BOC].

Allgemein kann gesagt werden, dass wenn die Energieeinsparungen durch den Sauerstoff-Brennstoff-Schmelzprozess die Kosten der Sauerstoffproduktion kompensieren, dann gleichen die verminderten Emissionen in hohem Maße die Emissionen in Verbindung mit der Sauerstoffproduktion aus. Bei Rekuperativwannen ohne zusätzliche Energierückgewinnung (Abhitzeessel oder Scherbenvorwärmung) beträgt die durchschnittliche Energieeinsparung einschließlich der Sauerstoffproduktion zwischen 25 und 35 % und bei großen Regenerativwannen zwischen 5 und 15 %. Bei Hochleistungs-Regenerativwannen kann dieser Wert unter 5 % liegen. Wie bei allen Minderungsmaßnahmen, die den Einsatz von Energie verlangen, werden die vor Ort festgestellten Umweltvorteile aus globaler Sicht zum Teil aufgehoben.

Der Sauerstoff-Brennstoff-Schmelzprozess verlangt höhere Flammentemperaturen, die bei einigen Anwendungen zu höheren Schmelzraten pro Quadratmeter Wannengröße führen (bis zu 25 % Anstieg). Dies ist besonders wichtig, wenn eine höhere Leistungsfähigkeit der Wanne verlangt wird, aber nicht genügend Platz für eine herkömmliche Wanne mit der gewünschten Größe zur Verfügung steht. Diese Situation wird noch unterstützt durch das Nichtvorhandensein eines Vorwärmensystems. In gewissen Fällen kann diese Technik ebenfalls zu einer besseren Prozessüberwachung und erhöhter Glasqualität führen. Das ist besonders bei einigen Spezialglasprozessen der Fall, die hohe Schmelztemperaturen verlangen. Allerdings können sich die höheren Sauerstoff- und Wasserdampf-Werte auf die Glaschemie bei einigen Glasarten auswirken und Änderungen der Gemengerezeptur erforderlich machen.

Es gibt Bedenken, dass die höheren Temperaturen in Verbindung mit dieser Technik zu einem größeren Verschleiß des Feuerfestmaterials führen und daher die Lebensdauer der Wanne verkürzen. In gewissen Fällen kann es ebenfalls zu einem höheren Anteil an fehlerhaftem Glas kommen (z.B. infolge Gewölbeabtropfungen). Eine reduzierte Betriebsdauer kann ebenfalls erhebliche finanzielle Folgen für die Anlage, insbesondere bei größeren Wannern haben, wie zum Beispiel bei Floatglas. Die bisherige Erfahrung ist von Fall zu Fall unterschiedlich und reicht von wenig bis zu vielversprechenden Ergebnissen. In diesem Bereich wurde viel getan und das Problem kann weitgehend reduziert werden. Manche Borosilikathersteller berichten über eine verlängerte Lebensdauer der Wannern und bei einigen Anwendungen wurden nach der Umstellung niedrigere Gewölbetemperaturen festgestellt.

Die neuen Brennersysteme mit hoher Strahlung sind weitaus wirksamer bei der Wärmeübertragung in das Glas. In Verbindung mit einer sorgfältigen Wannensplanung, genauer Brenneranordnung und besserer Feuerfestmaterialqualität ist es mit diesen Brennern einfacher, den Betrieb innerhalb der thermischen Beständigkeitsgrenze des Feuerfestmaterials aufrechtzuerhalten. Der Einsatz von Feuerfestmaterial mit besserer Qualität kann zu höheren Investitionskosten für die Wanne beitragen, und es bestehen Befürchtungen, dass das Material keine ausreichende Festigkeit für sämtliche Anwendungen besitzt. Bei Kalknatronglas kann der starke Wasserdampfdruck hohen NaOH Dampfdruck verursachen, der zum Verschleiß der Feuerfeststeine insbesondere über dem Glasstand beiträgt.

Zur Zeit der Abfassung dieses Dokuments sind die ältesten Sauerstoff-Brennstoff-Wannen noch keine zehn Jahre alt und im Allgemeinen gibt es noch keine ausreichenden Erfahrungen mit dieser Technik bei großen Glaswannen, um von dem Langzeiteffekt auf die Lebensdauer der Wanne überzeugt zu sein. Allerdings wird diese Technik ständig weiterentwickelt und Wannern, die dem neusten Stand der Technik entsprechen, haben offenbar eine längere Lebensdauer als frühere Wannern. Bei einigen Anwendungen wird über Probleme mit Schaumbildung berichtet. Dies kann Qualitätsprobleme verursachen und die Wärmewirksamkeit und -Stabilität vermindern.

In der Glaswolleherstellung können die hohen Sauerstoffanteile in der Wanne die Rückführung von Abfall, der organische Stoffe enthält, erleichtern, ohne die Anwendung von Nitraten.

Angesichts der hohen Wasserdampfkonzentrationen in der Wannennatmosphäre durch die Sauerstoff-Brennstoff-Beheizung ergibt sich ein wesentlicher Vorteil mit dieser Technik. In [tm17 Ercole] wird berichtet, dass wenn ein Weg gefunden wird, um die chemische Absorption des Wassers während der Schmelze zu optimieren, sehr vorteilhafte Änderungen in der Glasstruktur sich hieraus ergeben können. Die Änderungen, die aus der Reaktion mit Wasserdampf resultieren, können die Glasviskosität bei allen Temperaturen senken und eine günstigere Wärmeübertragung von der Flamme in die Schmelze herbeiführen. Daher ist auch die Abkühlung während der Formgebung viel einfacher, was insbesondere für Behälterglas und Wirtschaftsglas von Bedeutung ist.

Installationsbeispiele

Owens Corning Building Products (UK) Ltd, Cwmbran, UK – Glass Wool
Schott Glas, Mainz, Deutschland – Special Glass
Pilkington-LOF, Ohio, USA – Float Glass
Heye Glas, Moerdijk, Niederlande - con
PPG Industries, Hoogezand, Niederlande - Endlosglasfaser
James Kent Ltd., Stoke on Trent, UK – Fritten
Saint Gobain Desjonquères, Mers, Frankreich - Behälterglas

Zusammenfassung

Angesichts der Komplexität mit der diese technischen Probleme umgeben sind, wird eine abschließende Zusammenfassung als nützlich angesehen.

Vorteile

- Wesentlich höhere NO_x-Emissionsminderungen können erreicht werden (70 – 90 %),
- Die Investitionskosten für die Wannen sind allgemein weit geringer,
- Bei manchen Anwendungen verhält sich die Technik kostenneutral oder führt zu Einsparungen,
- Wesentliche Verminderungen des Energieverbrauchs sind in einigen Fällen möglich (insbesondere dort, wo eine Rekuperativwanne ersetzt wird),
- Mögliche geringere Emissionen an flüchtigen Substanzen und Staub,
- Bei reduzierten Abgasvolumen kann sich ein geringerer Kostenaufwand für Minderungsmaßnahmen ergeben,
- Mögliche Produktionsverbesserung / m² und bessere Prozessüberwachung.

Nachteile

- Wenn keine wesentlichen Energieeinsparungen realisiert werden, kann diese Technik sehr kostspielig werden, insbesondere bei großen Kalknatronglas-Wannen,
- Die Kostenwirksamkeit ändert sich beträchtlich je nach Anwendungen und muss individuell beurteilt werden,
- Es gab Probleme mit dem Verschleiß des Feuerfestmaterials, die noch nicht völlig gelöst sind.
- Die Sauerstofferzeugung benötigt Stromenergie,
- Diese Technik ist im Grunde eine Primärmaßnahme, indem sie die NO_x-Bildung vermindert, aber nichts zur Verringerung der NO_x-Emissionen aus nicht thermischem Ursprung beiträgt, z.B. Gemengenitrate,
- Die Technik ist am wirksamsten bei einer Installierung zusammen mit einer Wannenerneuerung,
- Die Erzeugung, Lagerung und Anwendung von Sauerstoff birgt eigene Risiken in sich und entsprechende Sicherheitsvorkehrungen sind notwendig;
- Die Sauerstofferzeugung kann zu einer Lärmerhöhung führen, der gemindert werden muss.

Tabelle 4.8: Wesentliche Vor- und Nachteile der Sauerstoff-Brennstoff-Schmelztechnik (Sauerstoff-Brennstoff-Beheizung)

Der Sauerstoff-Brennstoff-Schmelzprozess kann ein sehr wirksames Verfahren zur NO_x-Minderung und mit Ausnahme von Flachglas und in geringerem Maße Wirtschaftsglas, wird diese Technik als technisch ausgereift angesehen. Grundsätzlich kann die Sauerstoff-Brennstoff-Schmelztechnik in der gesamten Glasindustrie als anwendbar angesehen werden, aber die Probleme der technischen Durchführung sollten nicht unterschätzt werden.

Es gibt immer noch wichtige, unbeantwortete Fragen in Bezug auf die Auswirkung auf die Lebensdauer des Feuerfestmaterials. Offenbar scheinen sich Lösungswege zu dieser Frage anzubahnen, allerdings bedarf es noch einiger Zeit, bis sich die Langzeitauswirkungen als vertrauenswürdig erwiesen haben. Bis dahin bleibt ein gewisses finanzielles Risiko in Verbindung mit dieser Technik bestehen.

Die wirtschaftliche Konkurrenzfähigkeit dieser Technik hängt hauptsächlich von den potenziellen Energieeinsparungen ab sowie von den relativen Kosten für Alternativmaßnahmen zur Erzielung vergleichbarer NO_x-Emissionswerte. Bei vielen Anwendungen, für die kleine bis mittelgroße Wannen erforderlich sind, lassen sich wesentliche Energieeinsparungen erreichen, was die Technik konkurrenzfähiger macht. Bei manchen Anwendungen (insbesondere bei Wannen von <50 Tonnen/Tag) sind die Energieeinsparungen effektiv bereits

eine ausreichende Motivation für den Einbau dieser Technik. Größere Wannen tendieren von vornherein zu einer gesteigerten Energieeffizienz und die potentiellen Verminderungen des Energieverbrauchs sind weitaus geringer, wodurch sich die Gesamtkosten dieser Technik erhöhen. Bei einer Reihe von Anwendungen kompensieren die Einsparungen offenbar nicht die Kosten und die Technik dürfte nicht die kostengünstigste Lösung sein, NO_x -Minderungen zu erzielen.

Die Verbesserungen der Leistungsfähigkeit anderer NO_x -Minderungsmaßnahmen (insbesondere Primärmaßnahmen und 3R) zusammen mit den Fortschritten der Energieeffizienz der Schmelzwanne beginnen sich gegenüber der Konkurrenzfähigkeit des Sauerstoff-Brennstoff-Prozesses bemerkbar zu machen. Allerdings bei Anwendungen, bei denen diese Entwicklungen noch nicht so bedeutend sind, oder wenn andere Faktoren ihren Einsatz begrenzen (z.B. Glaswolle und Spezialglas), ist der Sauerstoff-Brennstoff-Schmelzprozess wahrscheinlich eine sehr attraktive Technik.

Die relativen Vorzüge der Sauerstoff-Brennstoff-Schmelztechnik sind von Fall zu Fall sehr unterschiedlich und die Entscheidung zur Durchführung dieser Technik kann von anderen Faktoren erheblich beeinflusst werden. Beispielsweise, wenn eine gesteigerte Glasschmelzleistung ohne Erhöhung der Wannengröße verlangt wird, oder wenn die Anlage in der Nähe einer kostengünstigen Sauerstoffquelle liegt. Die Wirtschaftlichkeit kann durch standortspezifische Faktoren derart beeinflusst werden, dass jeder Fall nach den individuellen Verhältnissen zu berücksichtigen ist.

Weitere Fortschritte zur Leistungsverbesserung der Sauerstoff-Gasfeuerung sind in der Entwicklung und die Sauerstoffindustrie arbeitet kontinuierlich an Lösungen zur Kostensenkung der Sauerstofferzeugung vor Ort.

Der Sauerstoff-Brennstoff-Schmelzprozess sollte als eine der folgerichtigen Maßnahmen zur wirksamen NO_x -Minderung angesehen werden, der je nach den ortsspezifischen Verhältnissen das geeignetste Verfahren darstellt. Dieser Prozess sollte jedoch als eine der zweckmäßigsten Methoden zur Festlegung der Emissionswerte anerkannt werden, die die BVT in der Glasindustrie darstellen.

4.4.2.6 Chemische Reduktion durch Brennstoff (CRB)

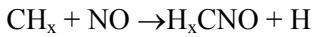
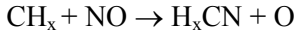
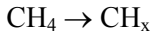
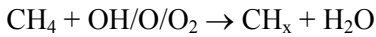
Die chemische Reduktion durch Brennstoff behandelt solche Techniken, bei denen Brennstoff in den Abgasstrom eingespeist wird, um über eine Reihe von Reaktionen eine chemische Reduktion von NO_x in N_2 zu erreichen. Der Brennstoff verbrennt nicht, sondern pyrolysiert zu Radikalen, die mit den Bestandteilen des Abgases reagieren. Die beiden für die Anwendung in der Glasindustrie entwickelten Hauptmethoden sind der 3R-Prozess und das sogenannte „Reburning“. Beide Verfahren begrenzen sich gegenwärtig auf Regenerativwannen. Der 3R-Prozess wurde eigens zur Anwendung in der Glasindustrie entwickelt und zum Zeitpunkt der Erarbeitung dieses Dokuments wird der Reburning-Prozess in einer zweiten Phase großtechnischer Anlagenversuche erprobt und zeigt vielversprechende Ergebnisse.

4.4.2.6.1 Der 3R-Prozess

Beschreibung der Technik

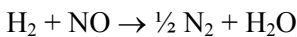
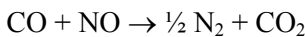
Die Grundlage der 3R-Technik besteht in der Einspeisung von kohlenwasserstoffhaltigem Brennstoff (z.B. Erdgas oder Heizöl) bei entsprechender Überwachung in den Abgasstrom am Eingangshals des Regenerators. Dieser Brennstoff verbrennt nicht, sondern dissoziiert und wirkt als chemische Reduktion des in der Wanne gebildeten NO_x . Die Technologie ist für den Einsatz bei Regenerativwannen entwickelt, bei denen der Regenerator für die notwendigen Temperaturbedingungen, die Vermischung der Turbulenzen und für die Verweilzeit der ablaufenden Reaktionen sorgt. Die Bezeichnung "3R" bezieht sich auf Reaktion und Reduktion in Regeneratoren.

Die beiden Hauptphasen der 3R-Technik sind die deNO_x -Phase und die Ausbrenn-Phase. In der deNO_x -Phase gibt es zwei Hauptmechanismen, wobei der erste die Reaktion zwischen 3R- Brennstoffradikalen und NO verursacht. Die Radikale (CH_x) werden hauptsächlich durch die thermische Zersetzung (Pyrolyse) gebildet, die sehr schnell nach dem Brennstoffeingang in den Regenerator stattfindet. Die Hauptreaktionen in dieser Phase lauten:

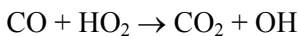
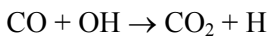
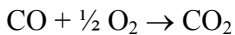


Diese Reaktionen erfolgen sehr schnell und finden hauptsächlich in der Oberkammer des Regenerators statt. Sie machen etwa 25 % der NO_x-Minderung aus.

Der zweite Mechanismus entsteht, sobald die Abgase unten durch das Gitterwerk des Regenerators laufen. Dadurch ist die Verweilzeit relativ lang. Das CO und H₂ (aus Primär- und 3R Brennstoff) haben entsprechend Zeit bei ausreichend hoher Temperatur, um das meiste des restlichen NO in N₂ zu reduzieren. Diese Reaktion findet überall in dem Regeneratorsystem statt, aber vorwiegend am Gitterwerk und ist nachweislich verantwortlich für die meiste NO_x-Minderung durch den 3R Prozess. Die Hauptreaktionen lauten:



Die zweite Phase des Prozesses hat das Ausbrennen der reduzierten Komponenten zur Folge, hauptsächlich unreaktiertes CO und H₂. Diese Komponenten werden durch die kontrollierte Luftzufuhr in dem Rauchabzug unter dem Regenerator oxidiert. Die Hauptreaktionen sind:



Umweltleistung

Der Anteil der NO_x-Minderung durch den 3R-Prozess hängt hauptsächlich von der Menge an zusätzlichem Brennstoff ab und kann in Bezug auf die verschiedenen Emissionsstandards abgestimmt werden. Mit dieser Technik sind Konzentrationswerte von unter 500 mg/Nm³ bei 8 % O₂ trocken erreichbar und bei gewissen Anwendungen sind Werte von nahezu 400 mg/Nm³ erzielt worden. Je nach der Anwendung ist dies mit 1,0 bis 1,5 kg/Tonne geschmolzenen Glases gleichzusetzen, was einer gesamten NO_x-Minderung in der Größenordnung von 70 bis 85 % entspricht.

Finanzielle Aspekte

Die Investitionskosten betragen bis zu 300.000 Euro, sind aber im Allgemeinen wesentlich niedriger. Bei optimalen Schmelzbedingungen liegen die Betriebskosten, um Emissionswerte von 500 mg/Nm³ zu erreichen, bei 1,5 bis 2,0 Euro pro Tonne geschmolzenen Glases. Dies liegt hauptsächlich am zusätzlichen Brennstoffbedarf, was mit nahezu 350 Euro pro Tonne NO_x-Minderung gleichzusetzen ist. Zu diesen Kosten kommen noch die Lizenzgebühren für die Technologie. Die Lizenzkosten-Formel ist ziemlich kompliziert, aber über die Dauer der Lizenz gerechnet, sind diese Gebühren mit etwa 0,5 Euro pro Tonne geschmolzenen Glases gleichzusetzen.

Anwendbarkeit

Dieses Verfahren wird gegenwärtig nur für Regenerativwannen als anwendbar angesehen, allerdings kann es für neue und bestehende Anlagen mit Öl- oder Gasfeuerung eingesetzt werden. Es gibt zurzeit sieben Wannen, bei denen dieses Betriebsverfahren eingesetzt wird und weit mehr Glasunternehmen haben die Lizenz zur Nutzung. Der Hauptgrund, weshalb dieses Verfahren nicht weiter verbreitet ist, liegt darin, dass die gegenwärtigen NO_x-Emissionen der Anlagen, die Primärmaßnahmen nutzen, im Allgemeinen innerhalb der vom Gesetzgeber festgelegten Grenzwerte liegen.

Es besteht die Befürchtung, dass die in den Regeneratoren erzeugte reduzierte Atmosphäre bestimmte Feuerfestmaterialien beschädigen könnte, insbesondere wenn höhere Temperaturen vorkommen. Die meiste Erfahrung mit dieser Technik bezieht sich auf Floatglaswannen, für die normalerweise qualitativ hochwertiges Feuerfestmaterial in den Generatoren eingesetzt wird. Die Wahrscheinlichkeit von Verschleiß des Feuerfestmaterials ist bei Material schlechterer Qualität größer (z.B. solche, die Ca, Fe und Cr enthalten), das bei gewissen Behälterglasanlagen vorzufinden ist. Dies ist sehr fallspezifisch, aber der Ersatz bestehender

Feuerfeststeine durch ein Material mit höherer thermischer und chemischer Beständigkeit könnte wesentlich höhere Kosten zur Folge haben.

Die an der Entwicklung dieser Technik beteiligten Unternehmen nehmen vorweg, dass Reparaturen an den Regeneratoren in den meisten Fällen nicht notwendig sind. In Abschnitt 4.4.2.9 werden die Kosten an den wahrscheinlichen Grenzbereichen mit und ohne Reparatur des Regenerators angegeben.

Zusammenhängende Betrachtungen

Die wichtigsten Schlussfolgerungen bei dem Einsatz des 3R-Prozesses sind, dass die Verwendung kohlenwasserstoffhaltiger Brennstoffe zum Erreichen der notwendigen NO_x -Minderung inhärent anfallende Kosten zur Folge hat und zu einer Erhöhung der CO_2 -Emissionen führt. Das heißt, dass die Kombination des 3R-Prozesses mit herkömmlicheren Primärmaßnahmen zur NO_x -Emissionsminderung attraktiv ist, um den Brennstoffbedarf für den 3R-Prozess zu senken.

Bei Installation eines Abhitzekeessels kann die meiste Energie aus dem Brennstoff für den 3R-Prozess zurückgewonnen werden und die gesamte CO_2 -Erhöhung beschränkt sich auf ein Minimum. Die Anwendung der 3R-Technik besagt nicht unbedingt, dass ein Abhitzekeessel insgesamt kostengünstiger ist, aber wenn bereits einer installiert ist (oder eine Installation vorgesehen ist), ergibt der 3R-Prozess eine nutzbringende Erhöhung im Wannen-Belastungsbereich, über den der Kessel genutzt werden kann. Insgesamt kann dies zu einer wesentlichen Einsparung des Energiebedarfs vor Ort führen und der Einsatz anderer Energiequellen (z.B. mit fossilen Brennstoffen beheizte Kessel) wird weitgehend reduziert. Je nach bestimmter Anwendung bedeutet diese Energieeinsparung, dass der 3R-Prozess erhebliche Kosteneinsparungen zur Folge haben kann (ein Beispiel [tm39 3R-update]) zeigt etwa 600.000 Euro/Jahr).

Ohne Abwärmerückgewinnung der Anlage beträgt der Bedarf an zusätzlichem Brennstoff normalerweise etwa 7 % der Schmelzenergie. Dies würde zu einer erhöhten CO_2 -Emission von 20 bis 30 kg pro Tonne geschmolzenen Glases führen oder 4 bis 6 Tonnen pro Tonne NO_x -Minderung ergeben. In der Praxis kann sich der genaue Brennstoffbedarf, um die gewünschte NO_x -Minderung zu erzielen, je nach den bestimmten Anforderungen der Wanne ändern. Wenn zum Beispiel Oxidationsbedingungen in der Wanne notwendig sind, ist der Brennstoffbedarf höher als unter verstärkten Minderungsbedingungen.

Obwohl der 3R-Prozess manchmal wegen seiner relativen Einfachheit als Primärmaßnahme angesehen wird, beinhaltet diese Technik eine wesentliche Charakteristik der Sekundärmaßnahmen wie SCR und SNCR, da es nicht nur thermisches NO_x , sondern auch NO_x -Emissionen aus anderer Quelle wie z.B. aus Rohstoffen vermindert.

Vorteile

- Beachtliche NO_x -Minderungen sind zu erzielen,
- Anwendbarkeit bei den meisten Regenerativwannen,
- Keine wesentlichen Änderungen der Anlagenauslegung oder des Betriebs,
- Geringe Investitionskosten,
- kann ohne die Notwendigkeit eines Wannenstillstands angewendet werden,
- Keine chemischen Reaktionsmittel erforderlich,
- erhöhter Brennstoffbedarf kann in manchen Fällen durch Abgas-Wärmerückgewinnung ausgeglichen werden,
- Kann als technisch erprobte und verfügbare Technologie angesehen werden,
- NO_x -Minderung aus sämtlichen Emissionsquellen

Nachteile

- Erhöhter Brennstoffverbrauch (im allgemeinen 7 %, lässt sich aber durch Abwärmerückgewinnung reduzieren),
- Erhöhte CO_2 -Emissionen (20 bis 30 kg /t geschmolzenen Glases, kann aber durch Abwärmerückgewinnung reduziert werden),
- Bedenken bei der Auswirkung auf Regenerator-Feuerfestmaterial bei einigen Anwendungen,
- Nicht anwendbar bei Nicht-Regenerativwannen.

Tabelle 4.9: Haupt- Vor- und Nachteile des 3R-Prozesses

Installationsbeispiele:

Pilkington UK Ltd, Greengate Works, St Helens, GB

Flachglas AG, Weiherhammer, Bayern, Deutschland

Flachglas AG, Gladbeck, Nordrhein-Westfalen, Deutschland

Pilkington, Finland

Pilkington LOF, Ohio, Kalifornien

Samsung Corning, Korea

(Alles Floatglasanlagen mit Ausnahme von Samsung Corning, hier handelt es sich um TV-Glas).

4.4.2.6.2 Reburning

[tm53 Gas Reburning], [tm54 Gas Reburning 2], [tm55 Field Test] und [tm56 Gaz de France]

Beschreibung der Technik

Reburning ist eine technologische Änderung des Verbrennungsprozesses, wonach NO_x aus den Verbrennungsprodukten durch den Einsatz von Brennstoff als Reduktionsmittel beseitigt wird. Diese Methode kann zur Emissionsüberwachung aus sozusagen jeder kontinuierlichen Emissionsquelle angewendet werden und ist nicht auf einen bestimmten Brennstoff zugeschnitten, obwohl normalerweise Erdgas eingesetzt wird.

Dieses Verfahren wurde ursprünglich in den frühen 80iger Jahren für große Kesselanlagen eingesetzt und beruht auf dem Prinzip, dass die pyrolysierten CH Brennstoff-Radikalen reagieren, um über eine Reihe von Reaktionen die Reduktion von NO in N_2 zu erzielen. Reburning ist eine erfolgreiche, technisch erprobte Technologie für Kesselanlagen, mit der zwischen 50 % und 65 % der NO_x -Emissionen bei mäßigem Kostenaufwand pro Tonne NO_x -Minderung beseitigt werden können.

Diese Ergebnisse führten zu der Überlegung, den Reburning-Prozess in der Glasindustrie einzusetzen. Glaswannen waren offenbar gute Anwarter für eine erfolgreiche Installation der Reburning-Methode, angesichts der großen nachgeschalteten Volumina (Ofenabzug und Regeneratorgewölbe) und der charakteristischen Merkmale, wie heiße Verbrennungsgase und hohe Anfangs- NO_x -Konzentrationen.

Eine schematische Darstellung der Prozesstechnik wird unten veranschaulicht. Dieses Reburningkonzept kann in drei Zonen eingeteilt werden, nämlich Primärzone, Reburningzone und Ausbrennzone. In der Primärzone werden Brennstoff und Luft durch die vorhandenen Brenner bei normaler oder reduzierter Primär-Brennstoff-Stöchiometrie in die Wanne geführt. Der Grad an NO_x , der die Zone verlässt, entspricht der Zufuhr in den Reburning-Prozess. In der Reburningzone wird der Reburningbrennstoff stromabwärts von der Primärzone eingespeist, um eine brennstoffreiche NO_x -Minderungszone zu erzeugen. Je nach der primären Stöchiometrie beträgt die erforderliche Brennstoffmenge zwischen 5 und 20 % des Primär-Brennstoffs. In der Ausbrennzone wird Luft hinzugefügt, um über der Gesamtfläche brennstoffarme Voraussetzungen zu erzeugen und alle unverbrannten Bestandteile zu oxidieren.

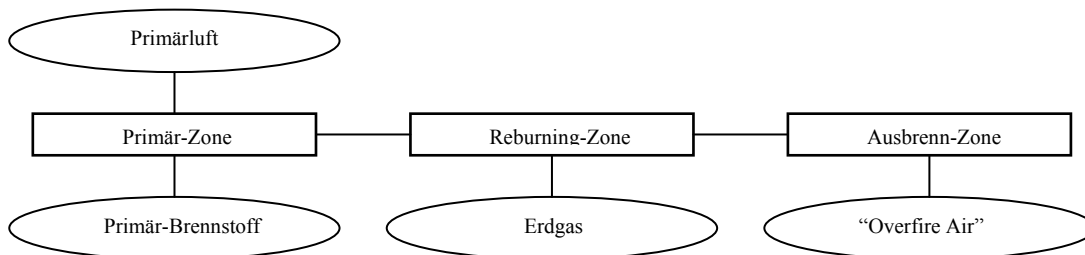
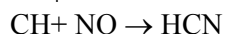
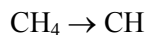


Abbildung 4.1: Reburning-Prozess-Schema

Die aus Erdgas gebildeten Kohlenwasserstoffradikalen in der brennstoffreichen Reburningzone, hauptsächlich CH-Komponenten, reagieren mit dem in der Primärzone gebildeten NO, um andere Stickstoff-Komponenten wie HCN und NH_3 zu bilden. Nach ihrer Bildung reagieren diese Komponenten unmittelbar mit anderen NO-Primärmolekülen und bilden molekularen Stickstoff (N_2). Nachdem der Reburning-Brennstoff vermischt ist und mit den Verbrennungsgasen reagieren konnte, wird Ausbrennluft zugeführt, um die Verbrennung des Reburning-Brennstoffes zu vollenden. In der Ausbrennzone werden alle restlichen reduzierten Stickstoff-

Komponenten vollständig in molekularen Stickstoff (N_2) oder zurück in NO umgewandelt. Hohe Verbrennungsgastemperaturen und hohe NO_x -Primärkonzentrationen haben die Verbesserung der erreichbaren NO_x -Minderung durch Reburning gezeigt. Wenn Reburning unter nahezu isothermischen Bedingungen und bei einer Verweilzeit von etwa 0,5 Sekunden durchgeführt werden kann, sind theoretisch wesentliche NO_x -Minderungen erreichbar.

Der Hauptreaktionsprozess wird unten zusammengefasst:



Zur Anwendung des Reburning-Prozesses bei Glasschmelzwannen wird vorausgesetzt, dass der Reburning-Brennstoff am Ende der Schmelzwanne oder genau stromabwärts von der Schmelzwanne eingedüst wird, um die Auswirkungen auf die Wärmeverteilung über der Schmelze zu minimieren. Für Schmelzwannen mit ausreichender Gasverweilzeit zwischen dem Eindüspunkt des Reburning-Brennstoffs und der Wärmerückgewinnungsanlage (d.h. Regenerator oder Rekuperator), sollte die Ausbrennluft genau stromaufwärts von der Wärmerückgewinnungsanlage eingedüst werden.

Umweltleistung

Diese Technologie wurde im Jahr 1996 bei einer Glaswanne mit einer Leistung von 350 t/Tag in Antioch (Kalifornien, USA) getestet. Wegen der noch anstehenden Verordnungen über die NO_x -Kontrolle wurde eine 50 %ige Emissionsminderung (2,5 kg NO_x /Tonne Glas) als Ziel gewählt. Grundsätzlich betragen die NO_x -Emissionen etwa 3500 mg/ Nm^3 bei 8 % O_2 und durch Reduzierung der Primärluftmenge konnte dieser Wert auf 2500 mg/ Nm^3 gesenkt werden. Nach Einsatz von 5 % Erdgas (im Vergleich zur Primärwärmezufuhr) wurden 1800 mg/ Nm^3 erreicht, und die Erhöhung der Reburning-Gasmenge auf 9 % verminderte die NO_x -Emissionen auf 1000 mg/ Nm^3 . Die Rauchgastemperatur stieg um 40°C bis 80°C, was zu einer erhöhten Luftvormärmtemperatur führte. Daher wurden zwei Drittel der Energie zurückgeführt unter Einsatz von 9 % Erdgas mit einem erhöhten Brennstoffverbrauch von 3 %.

Eine weitere Anwendung ist gegenwärtig bei einer Glaswanne von Glaverbel-France in der Entwicklung. Das Hauptziel besteht in einer Minderung der NO_x -Emissionen um 50 % oder darin, einen Wert von 500 mg/ Nm^3 zu erreichen. Die genutzte Strategie dieses Ziel zu erreichen, besteht darin, sich auf die Auslässe zu konzentrieren, die die höchsten NO_x -Werte generieren, und daher eine Nachbehandlung am einfachsten ist. Je nach Auslegung ist eine Energierückführung von mindestens 50 % zu erwarten. Daher dürfte sich der zusätzliche Brennstoffverbrauch auf etwa 4 % begrenzen.

Finanzielle Aspekte

Die Investitionskosten für den Reburning-Prozess werden auf etwa 800.000 Euro für eine Flachglas-Schmelzwanne mit 500 t/Tag Leistung geschätzt und auf 500.000 Euro für eine 250 t/Tag Behälterglas-Schmelzwanne sowie auf 320.000 Euro für eine Glasfaser-Schmelzwanne mit 125 t/Tag Leistung. Die Betriebskosten richten sich nach der Anzahl der behandelten Auslässe, der verbrauchten Gasmenge und dem Prozentsatz der Wärmerückführung. Diese Kosten liegen bei etwa 0,5 bis 1,5 Euro/Tonne Glas.

Anwendbarkeit

Die Technik ist für neue und bestehende Wannen anwendbar. Allerdings gibt es zum Zeitpunkt der Erarbeitung dieses Dokuments keine Beispiele für eine Langzeitanwendung im großtechnischen Anlagenmaßstab und dieser Prozess wird weiterhin als eine noch in der Entwicklung befindliche Technik angesehen. Der Reburning-Prozess ist für eine Nachrüstung geeignet, da die notwendigen Änderungsmaßnahmen für die Installation der Technologie minimal sind. Der Einsatz des Reburning-Prozesses während einer Wannenerneuerung bietet die Möglichkeit, die Auswirkungen auf die thermische Leistung der Wanne zu minimieren und die NO_x -Minderungen zu erhöhen. Beispielsweise können die Regeneratoren neu ausgelegt werden, um eine erhebliche Rückgewinnung der Reburning-Brennstoffwärme zu gewährleisten und ein fortschrittliches Gas-Reburning-Konzept einzusetzen. Die Reburning-Technologie wird normalerweise nach der Durchführung von Primärmaßnahmen zur NO_x -Minderung eingesetzt und kann NO_x -Minderungen bis zu 70 % erreichen.

Zusammenhängende Betrachtungen

Die hauptsächlichen Auslegungskriterien für den Reburning-Prozess bestehen in der Erzielung einer Stöchiometrie in der Reburning-Zone von 0,9, die als optimale Stöchiometrie für einen Reburning-Betrieb gilt. Für Anwendungen bei Glasschmelzwannen ist anzunehmen, dass der Reburning-Brennstoff in das System stromabwärts von der Schmelzwanne zugeführt wird, um jegliche Beeinträchtigung des Reburning-Prozesses auf die Schmelze zu minimieren. Bei tatsächlicher Anwendung ist es möglich, den Reburning-Brennstoff am Ende der Schmelzzone einzudüsen, allerdings müsste diese Möglichkeit an Ort und Stelle beurteilt werden. Die Zufuhr des Reburning-Brennstoffs stromabwärts von der Schmelze kann die Gesamtleistung der Wanne verringern, wenn die zusätzliche Wärmezufuhr nicht vollständig in den Regeneratoren zurückgewonnen wird. Daher ist es notwendig, um die eingedüste Reburning-Brennstoffmenge und die Beeinträchtigung des Wannenwirkungsgrades auf ein Minimum zu reduzieren, dass die Primär-Stöchiometrie minimiert wird (zwischen 1,01 und 1,05). Diese Werte dürften mit den meisten Glasschmelzwannen erreichbar sein, können aber eine Optimierung der Feuerungsleistung der Schmelzwanne und der Verteilung erforderlich machen. Bei Wannen, bei denen es nicht möglich ist, die Stöchiometrie des Ofens zu verändern, ohne den Schmelzbetrieb oder die Glasqualität zu beeinträchtigen, wird ein Teil der Energie zusammen mit dem Reburning-Brennstoff durch den Regenerator absorbiert, was zu höheren Vorwärmtemperaturen führt. Ein verminderter Primär-Brennstoffverbrauch hat geringere Luftströmungen und verminderte Reburning-Brennstoff- und Überfeuerungsluftanforderungen zur Folge. Daher ist die Festlegung der Reburning-Material-Bilanz eine iterative Berechnung.

Die Eindüsung des Reburning-Brennstoffes stromabwärts von der Wanne erhöht die Rauchgastemperatur in den Regeneratoren um 50°C bis 100°C, je nach Auslegung. Infolgedessen steigt die Luftvorwärmtemperatur und ermöglicht die Rückführung eines Teils der für den Reburning-Prozess verbrauchten Energie. Zur Begrenzung des Temperaturanstiegs in den Regeneratoren wird die Überfeuerungsluftmenge überwacht. Der Anteil an zurückgeführter Energie hängt von der für den Reburning-Prozess eingesetzten Gasmenge und von der eingedüsten Überfeuerungsluftmenge ab. Bis zu zwei Drittel der Energie für den Reburning-Betrieb können wiedergewonnen werden.

Installationsbeispiel

Glaverbel, Frankreich – Floatglas

4.4.2.7 Selektive katalytische Reduktion (SCR)

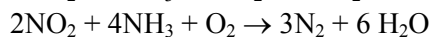
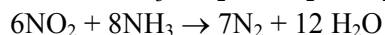
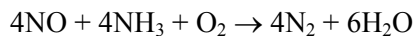
Beschreibung der Technik

SCR benötigt die Reaktion von NO_x mit Ammoniak in einem katalytischen Bereich bei der dazugehörigen Temperatur. Verschiedene Katalysatoren sind verfügbar, die bei leicht unterschiedlichen Temperaturfenstern arbeiten. Bei den geläufigsten Katalysatoren handelt es sich um Vanadium und Titanoxide (normalerweise TiO_2 und V_2O_5), imprägniert auf einen metallischen oder keramischen Träger. Zeolith-Molekularsiebe können ebenfalls eingesetzt werden, wobei die Reaktion in der porösen mikroskopischen Struktur stattfindet. Der Wirkungsgrad von Zeolith lässt sich optimieren durch die Zugabe von Metallen wie Platin oder Palladium in die Struktur. Welcher Katalysator auch zum Einsatz kommt: Es ist wichtig, eine korrekte Arbeitstemperatur aufrecht zu erhalten, normalerweise 200°C bis 500°C mit einem Optimum zwischen 300°C und 450°C.

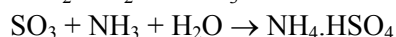
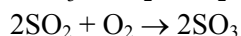
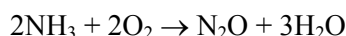
Die in der Glasindustrie verwendeten Katalysatorsysteme sind modulare Wabenstrukturen, obgleich granulatformige oder flache Strukturen gleichfalls in einigen Industriezweigen eingesetzt werden. Die Größe der Struktur hängt von dem Volumen der nachzubehandelnden Abgasanteile und der gewünschten NO_x -Minderung ab. Die modulare Struktur ermöglicht ein leichtes Ersetzen der Teile oder das Hinzufügen eines weiteren Katalysators. Die Lebensdauer der Katalysatoren hängt von vielen Faktoren ab, insbesondere aber von der Abgaszusammensetzung und der Anlagenauslegung. Die meisten Hersteller geben eine Garantie von drei oder mehr Jahren und bei den meisten industriellen Anwendungen kann eine 5 bis 6-jährige Betriebsdauer ohne wesentlichen Aktivitätsrückgang des Katalysators erwartet werden. Bei früheren Anwendungen in der Glasindustrie wurden Katalysatorprobleme beobachtet, wobei nach 3 Jahren bereits eine stark reduzierte Aktivität festzustellen war.

Die Katalysatoren sind normalerweise zur Erzielung einer NO_x -Minderung von 75 bis 95 % ausgelegt. Theoretisch steigt die Wirksamkeit der NO_x -Minderung mit dem Verhältnis von NH_3 : NO_x , aber dieses

Verhältnis wird normalerweise unter 1,1 : 1 gehalten, um den Ammoniakverlust zu minimieren. Das NO_x reagiert mit NH_3 nach den unten angegebenen Gesamtreaktionen. Diese Reaktionen finden normalerweise bei etwa 950°C (SNCR) statt, aber durch den vorhandenen Katalysator wird die Temperatur durch die Absorbierung von NH_3 gesenkt, das mit NO aus der Gasphase reagiert. Ammoniak wird stromaufwärts vom Katalysator entweder als flüssiges NH_3 oder als wässrige Lösung zugegeben. Bei einigen Anwendungen wird Harnstoff eingesetzt, was aber nicht von der Glasindustrie bevorzugt wird.



Einige unerwünschte Reaktionen können sich ebenfalls ergeben:



Mit SCR ist die Erzeugung von N_2O sehr gering und stellt normalerweise kein Problem dar. Die Bildung von SO_3 und die anschließende Reaktion zu Ammoniumbisulfat (NH_4HSO_4) kann problematisch werden, insbesondere bei Brennstoffen mit hohem Schwefelgehalt. Ammoniumbisulfat kann den Katalysator vergiften und Ursache für Rückstände und Korrosionsprobleme an der Ausrüstung sein. Einige Stäube, die alkalihaltige Metalle (beispielsweise MgO , CaO , Na_2O , K_2O) oder Schwermetalle enthalten, können ebenfalls zur Vergiftung des Katalysators führen.

Obwohl es hochwirksame Entstaubungssysteme gibt, ist es bei Glasprozessen notwendig, eine Staubabsorptionsanlage vor der SCR Einheit zu installieren. Diese Anlage muss die Staubkonzentrationen auf 10 bis 15 mg/m^3 reduzieren können und dabei handelt es sich fast immer um einen Elektrofilter (2 oder 3-stufig). Die geringen Betriebstemperaturen eines Schlauchfilters würden es erforderlich machen, das Abgas bis auf die Reaktionstemperatur des Katalysators zu erwärmen, was zu einer übermäßigen Erhöhung der Betriebskosten beitragen und normalerweise als unverhältnismäßig kostspielig angesehen würde. Es ist ebenfalls erforderlich, Luft durch den Katalysatorbereich zu blasen (etwa alle 2 Stunden), um eine Verstaubung und Verstopfungen durch die restlichen Feinstaubpartikel zu vermeiden. Der Einsatz eines Elektrofilters bedeutet, dass in vielen Fällen eine Anlage zur Abscheidung saurer Abgasbestandteile ebenfalls stromaufwärts vor dem Elektrofilter installiert werden muss. Zum Zeitpunkt der Erarbeitung dieses Dokuments bestehen in der Glasindustrie noch keine Erfahrungen mit Schwerölbeheizung und SCR und weitergehende Entwicklungsarbeit ist notwendig, um die Verträglichkeit mit dieser Technik zu ermitteln.

Umweltleistung

Die erzielten NO_x -Emissionswerte hängen hauptsächlich von der Einlasskonzentration und der angewendeten Katalysator- und Ammoniakmenge ab. Der Ammoniakanteil wird gewöhnlich unter 1,1 : 1 gehalten, um die mögliche Ammoniakzersetzung in Grenzen zu halten. Im Allgemeinen sind bei den meisten Anwendungen NO_x -Minderungen von 70 % bis 95 % festzustellen. Einige Anwendungen in der Glasindustrie, wie z.B. bei Spezialglas haben hohe, ungeminderte NO_x -Emissionswerte ($>4000\text{ mg/m}^3$), und rein theoretisch würde eine 90 %ige Minderung einen Konzentrationswert von weniger als 500 mg/m^3 ergeben. Theoretisch sind bei einer ausreichenden Menge an Katalysator sehr niedrige Emissionswerte möglich, jedoch in der Praxis gibt es eine Reihe beschränkender Faktoren, wodurch die Leistungsfähigkeit begrenzt wird.

Ohne ein hohes Maß an Primärmaßnahmen zur Minderung der NO_x -Werte würden die typischen Emissionen einer Schmelzwanne in einem Bereich von 1200 mg/m^3 bis 2000 mg/m^3 liegen und eine Minderung von 80 % bis 90 % würde Werte in einem Bereich von unter 200 mg/m^3 bis 500 mg/m^3 und 0,5 bis 1,0 kg/Tonne geschmolzenen Glases ergeben. In Verbindung mit den in Abschnitt 4.4.2.1 beschriebenen Primärmaßnahmen wären sehr niedrige Werte zu erwarten.

Bei den meisten derzeitigen Anwendungen in der Glasindustrie wird der SCR-Prozess eingesetzt, um die Anforderungen des Gesetzgebers zu erfüllen, die normalerweise nicht unter 500 mg/m^3 liegen. Daher sind bei Glasprozessen, vorbehaltlich der in diesem Abschnitt angegebenen Einschränkungen, NO_x -Emissionswerte von $<500\text{ mg/m}^3$ ($<800\text{ mg/m}^3$ bei hoher Eingangskonzentration) unter Einsatz von SCR zu erreichen. In einigen Industriezweigen sind Werte von $<200\text{ mg/m}^3$ erzielt worden und es ist keinesfalls unrealistisch anzunehmen,

dass Werte in dieser Größenordnung in einigen Fällen in der Glasindustrie erreicht werden könnten. Allerdings muss betont werden, dass zur Zeit der Erstellung dieses Dokuments derart niedrige Werte in der Praxis in der Glasindustrie noch nicht erzielt worden sind und es sollten sowohl technische als auch wirtschaftliche Folgen hierbei berücksichtigt werden. Bei den meisten Anwendungen dieser Technik in der Glasindustrie sind Emissionsminderungen im Bereich von 70 % bis 80 % erreicht worden, aber es könnten möglicherweise 80 % bis 95 % insbesondere bei einer neuen Anlage zu erzielen sein [tm6 NO_x Industrie du Verre].

Finanzielle Aspekte

Die Kosten für SCR sind hauptsächlich von der Größe der Anlage abhängig (nachzubehandelndes Abgasvolumen) und von der erstrebten NO_x-Minderungswirksamkeit. Im Allgemeinen wird diese Technik als ein mit hohen Investitionskosten und mäßig hohen Betriebskosten verbundener Prozess angesehen. Auch weil es sich bei SCR um ein integriertes 3-Stufen-Minderungssystem handelt, hängen die Kosten für diese Technik vorwiegend davon ab, ob der Aufwand für einen Elektrofilter und eine Anlage zur Abscheidung saurer Abgasbestandteile inbegriffen ist oder nicht. In einigen Fällen könnte als Argument vorgebracht werden, dass ohne die Installierung der SCR-Technik die Wanne keine Entstaubungsanlage benötigt, in anderen wiederum könnte dies als bestehende Forderung angesehen werden.

Die verfügbaren Kosteninformationen sind nicht immer einfach zu interpretieren, denn es kommt ganz auf den spezifischen Fall an. Die zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Dokuments verfügbaren Daten werden unten zusammengefasst.

Die ausführlichsten Angaben stammen von Euroglas, Floatglas-Werk in Frankreich. Die unten angegebenen Kosten beruhen auf einem Wechselkurs von 6,6 FF = 1 Euro.

Die Investitionskosten für das gesamte Ausrüstungssystem betragen 3,5 Millionen Euro, wovon 1,3 Millionen Euro auf die SCR-Ausrüstung fielen. Es handelte sich um ein neues Werk und insofern entstanden keine Kosten für eine Nachrüstung. Die Betriebskosten betragen (auf der Basis einer vierjährigen Lebensdauer des Katalysators, unter der Voraussetzung einer vollständigen Staubrückführung und ohne Zinsen und Abschreibung) 542000 Euro (Ammoniak 136000 €, Energiekosten 83000 €, Soda 212000 €, Katalysator-Erneuerung 76000 €, anderweitige Kosten 35000 €). Hierbei handelt es sich um eine Bruttoproduktion von 182500 Tonnen Glas und um 156950 Tonnen Nettoproduktion (Nominal 500 Tonnen/Tagesproduktion). Abgasvolumen etwa 55000 Nm³/h.

Schott-Ruhrglas in Mitterteich, Deutschland, betreibt seit 1989 eine SCR-Anlage für 6 Wannen, die an ein SCR-System angeschlossen sind, mit einem Gesamtabgasvolumen von 60000 Nm³/h. Der für 1990 angegebene Kostenaufwand betrug 1,5 bis 2,0 Millionen Euro an Investitionskosten und 450000 Euro an Betriebskosten (einschließlich Abschreibung und Zinsen von ca. 100000 Euro). Beide Kosten sind nur für den SCR-Prozess zu verstehen, ohne Staub- und saure Abgas-Behandlung [tm32 Beerrens]. Die Investitionskosten für SCR sind in den letzten Jahren angesichts der gestiegenen Konkurrenz unter den Vertreiberfirmen zurückgegangen.

PLM in Bad Münden, Deutschland, hat seit 1994 eine SCR-Anlage für 4 Behälterglaswannen in Betrieb. Die angegebenen Kosten betragen 1,6 Millionen Euro (Wechselkurs 1 Euro = 2 DM, Abschreibung 13 Jahre bei 8 % Zinsen) pro Tonne Glasherstellung, was etwa 450000 Euro pro Jahr gleichzustellen ist. In 1994 betragen die Investitionskosten 2,3 Millionen Euro. Beide Kostenpakete beziehen sich nur auf SCR.

In einem Bericht für das EIPPCB [tm32 Beerrens] sind Kostenschätzungen für eine Reihe von Schmelzwannen enthalten. Diese Angaben werden unten zusammengefasst und mit anderen Techniken in Abschnitt 4.4.2.9. verglichen. Die genannten Kosten enthalten weder Zinsen noch Abschreibung. Die Investitionskosten werden auf ± 15 % geschätzt und die Betriebskosten auf ± 30 %.

Größe Tonnen/Tag	Abgasvolumenstrom Nm ³ /h	Investitionskosten (x1000) Euro	Betriebskosten (x1000) Euro / a
50 t/d Behälterglas	6400	990	74
100 t/d Behälterglas	11120	1500	108
300 t/d Behälterglas	23000	2420	200
450 t/d Behälterglas	33350	3100	260
600 t/d Floatglas	70000	4550	470
100 t/d Glasfaser	12000	2000 - 3000	139

Tabelle 4.10: Kosten für SCR mit Elektrofiltern und Absorption saurer Abgasbestandteile
[tm32 Beerrens]

Anwendbarkeit

Grundsätzlich kann der SCR-Prozess bei den meisten Verfahren der Glasindustrie sowohl bei neuen als auch bei bestehenden Techniken angewendet werden. Allerdings gibt es eine Reihe entscheidender Fragen, wodurch die Anwendbarkeit des Prozesses in gewissen Fällen erheblich begrenzt ist. Diese Fragen werden nachfolgend zusammengefasst.

Die Technik ist nicht bei schwerölbeheizten Anlagen eingesetzt worden, angesichts der hohen SO₂-Werte im Rauchgas, was zur Bildung von Ammoniumbisulfat und zur Vergiftung des Katalysators sowie zur Korrosion führen kann. Diese ist möglicherweise auch für gasbeheizte Schmelzwannen mit hohen Sulfatanteilen zutreffend. Eine der Schlüsselfragen für die Kosten von SCR ist die Lebensdauer des Katalysators, die sich bei einer Vergiftung erheblich verringern könnte. In [tm47 French Submission] wird über einen Versuch mit einem Dieselmotor mit Schweröl-Feuerung und hohem Schwefelgehalt und SCR berichtet. Eine Minderung von 90 % der Emissionswerte über eine Laufzeit von 2500 Stunden wurde nachweislich ohne Betriebsprobleme erzielt.

SCR kommt bei Kraftwerken zur Nachbehandlung der Emissionsgase mit hohen SO₂-Konzentrationen zum Einsatz und das Problem wird durch die Anwendung wirksamer, nachgeschalteter Rauchgas Entschwefelungsverfahren gelöst. Der gegenwärtig in der Glasindustrie angewendete SO₂-Minderungsgrad der Gasreinigungssysteme ist offenbar nicht für SCR geeignet. Eine effizientere SO₂-Minderung würde die Kosten erheblich erhöhen und es schwierig machen, das abgeschiedene Material in die Wanne zurückzuführen und somit würde ein weiterer Abfallstrom erzeugt. Weitere Angaben werden in Abschnitt 4.4.3 dargestellt.

Die SCR-Technik verlangt eine Menge Platz, insbesondere wenn Reinigungs- und Filteranlagen noch nicht installiert worden sind. Bei einigen bestehenden Anlagen mit begrenzt verfügbarem Platz könnte dies zu wesentlichen Mehrkosten beitragen oder in manchen Fällen unverhältnismäßig kostspielig werden.

Allgemein ist es nicht üblich, die SCR-Technik in Verbindung mit einem Schlauchfiltersystem anzuwenden, weil durch die geringe Betriebstemperatur des Schlauchfilters normalerweise eine Abgasaufwärmung notwendig ist. Die Kosten für die Aufwärmung der Abgase auf 400°C sind in der Regel unverhältnismäßig hoch. Nach [tm32 Beerrens] liegen die Schätzungen bei 800000 Euro pro Jahr für 65000 Nm³/h. Daher müssten bei einer bestehenden Anlage mit einer Schlauchfilterausrüstung, diese durch Elektrofilter ersetzt, oder eine Aufwärmung der Abgase vorgenommen werden, wodurch für beide Systeme erhebliche Mehrkosten entstehen. Gleichfalls erfordert SCR sehr niedrige Staubemissionswerte (<15 mg/m³ vorzugsweise <10 mg/m³), und wenn der vorhandene Elektrofilter nicht die Anforderungen erfüllt, ist eine Ertüchtigung oder einen Austausch erforderlich.

Die Technik hat sich bei bestimmten Glasarten mit einem hohen Borgehalt (Borosilikatglas für die pharmazeutische Industrie - Schott-Ruhrglas, Mitterteich) als erprobt erwiesen, wurde aber noch nie für Glaswolle und Endlosglasfasern getestet. Das potentielle Problem bei diesen Verfahren ist das Vorhandensein flüchtiger, borhaltiger Substanzen (insbesondere Borsäure) im Abgas. Bis 60°C können diese Stoffe kondensieren und Salze oder säurehaltige Substanzen bilden. Bei den Temperaturen von SCR können diese Stoffe offenbar in großen Mengen vorhanden sein. Sie könnten die Leistungsfähigkeit des Katalysators wesentlich beeinträchtigen und eine Beseitigung mit einem Rußbläser wäre sehr schwierig.

Zusammenhängende Betrachtungen

Für die Glasindustrie sind, abgesehen von den zuvor genannten Einschränkungen hinsichtlich der Anwendbarkeit, die Kosten das vorwiegende Problem im Vergleich zu anderen Verfahren. In Abschnitt 4.4.2.9 werden die Kosten der einzelnen Verfahren zur NO_x-Minderung verglichen. SCR ist ein relativ kostenintensives Verfahren im Vergleich zu Primärmaßnahmen (einschließlich FENIX), 3R-Prozess von Pilkington, SNCR und in gewissen Fällen im Vergleich zu der Sauerstoff-Brennstoff-Beheizung. Alle diese Verfahren haben in den vergangenen Jahren beträchtliche Fortschritte gemacht und bei vielen Anwendungen, bei denen ohne Minderungsmaßnahmen Emissionswerte unter 2500 mg/m³ festzustellen waren (z.B. wenn weder Nitrate hinzugefügt noch sehr hohe Temperaturen notwendig sind), können Emissionswerte erzielt werden, die sich mit SCR als technisch erprobt erwiesen haben. Daher wird die SCR-Technik, ausgenommen bei sehr hohen Konzentrationen am Einlasspunkt, von der Glasindustrie im Allgemeinen nicht als die kostengünstigste Technik angesehen.

Das NH₃-Reagenz wird unter Druck in das Rauchgas stromaufwärts von dem Katalysator-Bereich eingedüst und es kann entweder flüssiges Ammoniak oder eine wässrige Lösung (gewöhnlich 25 %) verwendet werden. Flüssiges NH₃ ist ein Gefahrstoff und es müssen erhebliche Kosten und Sicherheitsfragen in Verbindung mit der Lagerung und Anwendung berücksichtigt werden. Für die meisten Glasprozesse wird diese Art von Chemikalien nicht eingesetzt und die Betreiber bevorzugen die Anwendung einer wässrigen Lösung, die ebenfalls eine sorgfältige Lagerung und eine gewissenhafte Handhabung verlangt.

Ammoniak-Emissionen geben ebenfalls Anlass zu Bedenken und können ein einschränkender Faktor für die Wirksamkeit der Technik sein. Manche der gegenwärtig betriebenen Anlagen zeigen, dass die NH₃-Emissionen unter einem Wert von 10 mg/m³ liegen und immer noch günstige Wirkungsgrade aufweisen.

Vorteile:

- Sehr hohe NO_x-Minderungsgrad,
- NO_x-Minderung aus sämtlichen Quellen der Wanne nicht nur thermisches NO_x,
- Kann Teil eines integrierten Emissionsminderungssystem sein,
- Einige Beispiele in der Glasindustrie und viele anderweitige Beispiele,
- Leistungsgarantie vom Hersteller oft erhältlich.

Nachteile:

- Technische Belange müssen bei einigen Anwendungen (z.B. ölbeheizte Anlagen und einige borhaltige Glasarten) noch gelöst werden,
- Verbrauch und Freisetzung von Ammoniak, Material-Lagerung und Handhabung gibt Anlass zu Umwelt- und Sicherheits-Bedenken,
- Beachtlicher Energieverbrauch durch dieses System,
- Muss mit Abscheidung für Staub und saure Abgase installiert werden, niedrige Staub- und SO₂-Werte sind Voraussetzung,
- Relativ hohe Investitionskosten, insbesondere bei kleinen Anlagen,
- Erheblicher Platzbedarf,
- Relativer Kostenvorteil durch Aufkommen anderer kostengünstigerer Techniken infrage gestellt,
- Bedenken hinsichtlich der Lebensdauer des Katalysators bleiben bestehen,
- Die Betriebstemperatur begrenzt die Möglichkeiten der Wärmerückgewinnung,
- Abgaskühlung kann bei Rekuperativwannen notwendig sein.

Tabelle 4.11: Haupt- Vorteile und Nachteile von SCR

Installationsbeispiele

Werksname und Standort	Gasvolumen Nm ³ /h	Einlass mg/m ³	Auslass mg/m ³	% Reduktion	NH ₃ mg/m ³
Schott-Ruhrglas, Mitterteich, Deutschland (Borosilikatglas)	60000	5000	1500	70	<20
Euroglas S.A., Homburg, Frankreich (Floatglas)	55000	2000	500	75	<5
PLM Bad Münders, Deutschland (Behälterglas)	60000	1300	<400	>70	<2
Schott Glas GmbH, Mainz, Deutschland (TV Glas)	30000	3500- 4500	650-850	70-80	<10
Philips, Aachen, Deutschland (TV Glas)	30000	4000- 5500	450-850	75-85	<30
Oberland Glas AG, Neuburg, Deutschland (Behälterglas – SCR- Anlage nicht länger in Betrieb – Genehmigungswert mit Primärmaßnahmen erreicht)	50000	1100	<500	55	<30

4.4.2.8 Selektive nicht-katalytische Reduktion (SNCR)

Beschreibung der Technik

Bei der selektiven nichtkatalytischen Reduktion (auch als thermisches DeNO_x Verfahren bekannt) werden die Stickstoffoxide im Abgas zu Stickstoff durch die Reaktion mit Ammoniak oder Harnstoff unter hoher Temperatur reduziert. In der Glasindustrie werden nur Ammoniak und wässrige Ammoniaklösung verwendet. Die chemischen Reaktionen sind dieselben wie die für SCR in obigem Abschnitt 4.4.2.7 beschriebenen Reaktionen. Allerdings erfolgen die Reaktionen bei höherer Temperatur ohne die Notwendigkeit eines Katalysators. Die Betriebstemperatur liegt in einem Bereich von 800 bis 1100°C, aber die höchste Wirksamkeit wird bei 950°C erzielt. Bei manchen Anwendungen wird darauf hingewiesen, dass der Zusatz von Wasserstoff in das Abgas die Reaktion bei niedrigeren Temperaturen unterstützen kann. Bei der SNCR-Technik wird Ammoniak näher an der Schmelzwanne eingedüst als es bei dem SCR-Prozess der Fall ist und gewöhnlich ist ein Trägergas erforderlich. Die Wirksamkeit der Technik hängt von einer Reihe Faktoren ab, die hauptsächlich wie folgt lauten:

- Temperatur,
- Anfangs-NO_x-Konzentration,
- Gleichmäßige Vermischung von Reagenz und Abgas,
- Ammoniak /NO_x-Verhältnis und
- Reaktionszeit (1 – 2 Sekunden erforderlich).

Es ist insbesondere wichtig, den richtigen Temperaturbereich zu wählen (zu niedrige Einstellung führt zum Ammoniakschlupf und verminderter Wirksamkeit, zu hohe Einstellung kann eine weitere NO_x-Bildung zur Folge haben) und darauf zu achten, dass das Reagenz in dem Abgas gleichmäßig verteilt wird. Bei der Erzielung der richtigen Temperatur ist die Anordnung der Ammoniak-Düsen kritisch, aber die Zone mit der richtigen Temperatur ist möglicherweise unzugänglich oder kann sich unter den Betriebsbedingungen ändern (d.h. bei Belastungsänderungen). Diese örtliche Änderung der richtigen Temperaturzone kann durch das Anbringen weiterer Ammoniak-Düsen ausgeglichen werden, jedoch entstehen dadurch höhere Investitionskosten und alles hängt von der Zugänglichkeit ab. Eine gleichmäßige Verteilung kann durch ein gut ausgelegtes Leitungssystem und wenn notwendig, durch die Verwendung von Prallblechen oder anderen Strömungskorrekturmaßnahmen erreicht werden.

Dieses Verfahren leidet an den gleichen, potentiellen Betriebsproblemen wie die SCR-Technik, d. h.: Ammoniakschlupf ; Bildung von N₂O (höher als mit Harnstoff), und Entstehung von Ammoniumbisulfat. Die Bildung von Ammoniumbisulfat kann höher als bei der SCR-Technik sein, weil die Betriebstemperatur ein

Eindüsen stromaufwärts zu jedem Filter- und Reinigungssystem notwendig macht. Es ist kein Katalysator anwesend, aber das Ammoniumbisulfat kann Anbackungsprobleme verursachen.

Umweltleistung

NO_x-Emissionsminderungen in einem Bereich von 30 % bis 70 % werden in der Regel für das SNCR-Verfahren angegeben, obwohl bei gewissen Anwendungen über Werte von über 80 % berichtet wird. Die Haupteinflussgröße ist der Grad, bis zu dem die leistungsabhängigen Kenngrößen optimiert werden können. Bei einem modernen, gut beherrschten Prozess mit optimalen Voraussetzungen sind Emissionsminderungen zwischen 50 % und 75 % möglich. Im Allgemeinen ist diese Technik mit Rekuperativwannen einfacher anzuwenden als mit Regenerativwannen.

Die letztendliche Emissionskonzentration ist abhängig von der Anfangskonzentration und daher werden die besten Ergebnisse erzielt, wenn die Technik in Verbindung mit Primärmaßnahmen zur Emissionsminderung kombiniert wird. Zum Beispiel könnte eine Anfangskonzentration von 1100 mg/m³ je nach den Prozessbedingungen auf einen Wert zwischen 275 und 770 mg/m³ reduziert werden. Eine hohe Anfangskonzentration von 4000 mg/m³ könnte auf einen Wert zwischen 1000 und 2800 mg/m³ gesenkt werden.

In [tm35 SNCR] wird von Vetropack über eine Minderung bei 220 Tonnen pro Tag von 800 auf annähernd 200 mg/m³ berichtet, und bei 340 Tonnen pro Tag auf etwa 60 %. In beiden Fällen war der Ammoniakschlupf gering.

Finanzielle Aspekte

In einem Bericht an EIPPCB [tm32 Beerkens] sind Kostenschätzungen für eine Reihe von Schmelzwannen enthalten. Diese Angaben werden nachfolgend zusammengefasst und mit anderen Verfahren in Abschnitt 4.4.2.9. verglichen. Die genannten Kosten enthalten weder Zinsen noch Abschreibung. Die Investitionskosten werden auf ± 15 % und die Betriebskosten auf ± 30 % geschätzt.

Größe Tonnen/Tag	Abgasvolumen Nm ³ /h	Investitionskosten (x1000) Euro	Betriebskosten (x1000) Euro/Jahr
50 t/d Behälterglas	6400	190	23
100 t/d Behälterglas	11120	280	28
300 t/d Behälterglas	23000	450	73
450 t/d Behälterglas	33350	575	100
100 t/d Floatglas	70000	1350	225

Tabelle 4.12: Kosten für SNCR
[tm32 Beerkens]

Anwendbarkeit

Grundsätzlich ist diese Technik für alle Glassprozesse anwendbar, einschließlich neuer und bestehender Anlagen. Die SNCR-Technik erfordert geringere Investitionskosten und weniger Platz als das SCR-Verfahren und ist von daher attraktiver für Prozesse mit begrenzt verfügbarem Platz. Diese Technik kann auch ohne Abgasreinigung und Entstaubungsanlage betrieben werden. Wenn die richtigen Prozessbedingungen vorhanden sind, ist eine Nachrüstung bestehender Anlagen mit der SNCR-Technik einfacher als mit dem SCR-Prozess. Allerdings beinhaltet diese Technik auch gewisse Einflussfaktoren, wodurch die Anwendbarkeit in der Glasindustrie begrenzt wird. Die wichtigste Frage ist, ob das Reagenz an einem Punkt des Abgassystems zugeführt werden kann, an dem die richtige Temperatur für eine entsprechende Reaktionszeit aufrechterhalten werden kann. Dies ist bei bestehenden Anlagen und für Regenerativwannen von besonderer Wichtigkeit.

Bei bestehenden Anlagen kann der Bereich, in dem die richtige Temperatur herrscht, schwer zugänglich oder derart angeordnet sein, dass der Gasstrom es schwierig macht, eine gute Vermischung mit dem Reagenz zu erzielen. In vielen Fällen können diese Probleme überwunden oder abgeschwächt werden, aber dadurch können erhebliche Mehrkosten entstehen und die Wirksamkeit der NO_x-Minderung aufgehoben werden. Bei Regenerativwannen liegt der richtige Temperaturbereich normalerweise in den Regeneratoren, wodurch ein wirksames Eindüsen von Ammoniak erschwert wird. Dieses Problem kann durch die Anwendung geteilter Regeneratoren und die Zufuhr von Ammoniak zwischen zwei Regeneratorteilen gelöst werden. Geteilte

Regeneratoren können bei der Auslegung einer neuen Anlage eingeplant werden, jedoch bei bestehenden Prozessen kann die Aufteilung der Regeneratoren erhebliche Kosten zur Folge haben und ist nur bei einer Wannenerneuerung möglich.

In der Praxis ist es höchst unwahrscheinlich, dass der SNCR-Prozess bei bestehenden Regenerativwannen zur Anwendung kommt, denn die Kosten und dazu gehörige Schwierigkeiten veranlassen den Betreiber in der Regel, Alternativlösungen zur Verminderung der NO_x-Emissionen zu wählen. Bei kleineren Rekuperativwannen sind die relativen Investitionskosten für den SNCR-Prozess ziemlich hoch und in vielen Fällen bevorzugt die Industrie andere, kostengünstigere Minderungsmaßnahmen. Dies hängt aber von dem geforderten Leistungsniveau ab.

Vorteile:

- SNCR kann bei richtigen Bedingungen einen guten NO_x-Minderungsgrad bewirken,
- Geringe Investitionskosten im Vergleich zu Alternativlösungen,
- Kein Katalysator erforderlich,
- Geringe Energieanforderungen.

Nachteile:

- Eindüsen von Ammoniak innerhalb des richtigen Temperaturfensters ist wesentlich, aber manchmal schwierig oder undurchführbar (insbesondere bei Regenerativwannen),
- Außerhalb des Temperaturfensters können sich NH₃ oder erhöhte NO_x-Emissionen ergeben,
- Gleichmäßiges Vermischen ist wichtig und kann schwierig zu erreichen sein.
- Verbrauch und Freisetzung von Ammoniak und die Lagerung und Handhabung des Materials bereitet Umwelt- und Sicherheits-Bedenken;
- Bedenken hinsichtlich möglicher Schäden an dem Feuerfestmaterial des Regenerators.

Tabelle 4.13: Haupt- Vor- und Nachteile der SNCR-Technik

Installationsbeispiele

Vetropack AG, Bülach, Schweiz - Behälterglas
 PPG Fresko, Kalifornien, USA - Floatglas
 Schott Glas, Mainz, Deutschland - Spezialglas
 Enkel, Düsseldorf, Deutschland - Wasserglas
 Osram, Augsburg, Deutschland - Beleuchtungsglas

4.4.2.9 Kostenvergleich für NO_x-Minderungsmaßnahmen

In diesem Abschnitt werden die Kosten der hauptsächlichen, in diesem Kapitel beschriebenen NO_x-Minderungsmaßnahmen sowie die Kosten für ein Filtersystem und eine Anlage zur Abscheidung saurer Abgasbestandteile verglichen. Die hier dargestellten Informationen beruhen weitgehend auf einem für EIPPCB [tm32 Beerrens] vorbereiteten Bericht. Es gibt eine ganze Reihe anlagenspezifischer Fragen, die in einem Bericht dieser Art unmöglich zu erfassen sind, wie zum Beispiel:

- Energiekosten (insbesondere Elektrizität),
- Steuern,
- Materialkosten (z.B. Kalk, Ammoniak usw.),
- Anreizsysteme durch die Mitgliedstaaten,
- Verhandlungseinzelheiten zwischen Vertreiberfirmen und Prozessbetreibern,
- Entsorgungskosten für feste oder flüssige Abfallstoffe,
- Installation von Infrastruktur.

Die Kosten für eine besondere Technik können ebenfalls je nach Sektor, Glasart und unterschiedlicher Schmelzwannengröße starken Schwankungen unterliegen. Es ist im Rahmen dieses Dokuments unmöglich, sämtliche Kombinationsmöglichkeiten in Bezug auf Größe und Glasart abzudecken. Auch sind für gewisse

Sektoren der Glasindustrie sehr wenige Informationen öffentlich zugänglich. Daher können die hier dargestellten Informationen nur als allgemeine Hinweise aufgrund der verfügbaren Informationen mit einer gewissen Interpretation und Extrapolation angesehen werden. Eine eingehendere und gründlichere Untersuchung würde eine Menge Zeit beanspruchen und den Zugang zu weiteren Informationen erforderlich machen. Dies ist im Rahmen dieser Arbeit nicht möglich.

Es werden fünf typische Beispiele untersucht, bei denen es jeweils um Kalknatronglas-Schmelzwannen geht und sofern möglich wird versucht, Informationen für eine Endlosglasfaserwanne zu geben. Diese Beispiele werden gewählt, weil sie der Mehrzahl der Glasproduktion entsprechen und für Wannen dieser Art das meiste Informationsmaterial verfügbar ist. Die genannten Beispiele gelten für unterschiedliche Produktionsbereiche, jedoch ist bei einem direkten Vergleich mit anderen Glasproduktionsarten Vorsicht geboten. Zum Beispiel ist eine Behälterglaswanne mit 100 Tonnen Tagesleistung bei 48 % Scherbenanteil wesentlich kleiner als eine Wanne mit 100 Tonnen Tagesleistung zur Herstellung von Endlosglasfasern. Daher werden die Rauchgasvolumen für die genannten Beispiele angegeben und diese Angaben ermöglichen Vergleiche mit anderen Bereichen.

Die fünf Beispiele lauten wie folgt:

1. Behälterglasproduktion, 50 t/d geschmolzenes Glas (rekuperativ),
2. Behälterglasproduktion, 100 t/d geschmolzenes Glas (rekuperativ),
3. Behälterglasproduktion, 300 t/d geschmolzenes Glas (regenerativ),
4. Behälterglasproduktion, 450 t/d geschmolzenes Glas (regenerativ),
5. Floatglasproduktion, 600 t/d geschmolzenes Glas (regenerativ).

Die berücksichtigten Verfahren lauten:

1. LoNO_x-Prozess und LoNO_x-Verbrennungsregelung,
2. SCR außer Kosten für Abgas-Vorbehandlung (d.h. außer Filter und Abscheider),
3. SNCR,
4. Pilkington 3R-Prozess (außer Lizenzgebühren und mit und ohne Berücksichtigung von Änderungen des Feuerfestmaterials des Regenerators),
5. 100 % Sauerstoff-Brennstoff-Beheizung
6. SCR plus Abgasaufbereitung (d.h. einschließlich Filter und Abscheider),
7. Filter + Abscheider zur Emissionsminderung partikelförmiger Stoffe und saurer Abgase.

Die Kosten für die SCR-Technik werden mit und ohne Abgasaufbereitung angegeben, um den Aufwand für jede Art Anwendung zu veranschaulichen, bei der Filter und Abscheider bereits installiert sind. Allerdings entstehen verständlicherweise Kosten bei einer Nachrüstung. Die Investitions- und Betriebskosten für Filter und Abscheider sind sowohl für Schlauchfilter als auch Elektrofilter im Rahmen des Zuverlässigkeitsbereichs als Hinweise zu betrachten.

Die nachfolgende Tabelle gibt einen Anhaltspunkt über die Investitionskosten (plus oder minus 15 %) der verschiedenen Techniken und genannten Beispiele. Weitere Informationen sind in den entsprechenden Abschnitten dieses Kapitels zu finden. Die Kosten enthalten keine Zinsbelastungen oder anderweitige Aufwendungen für die Kapitalbeschaffung. Alle Zahlen verstehen sich in Euro. Der negative Kostenfaktor für die Sauerstoff-Brennstoff-Beheizung ist bedingt durch die Einsparungen bei dem Rekuperator- oder Regeneratorsystem. Wie aus Abschnitt 4.4.2.5 für Regeneratorsysteme ersichtlich ist, beziehen sich die Angaben hauptsächlich auf neue Anlagen und können bis zu einem gewissen Grad abweichen, wenn höhere Kosten für das Feuerfestmaterial der Wanne anfallen. Die Kosten für den 3R-Prozess hängen hauptsächlich davon ab, ob Reparaturen am Regenerator vorgesehen sind oder nicht. Diese Frage wird in Abschnitt 4.4.2.6.1 behandelt. In der Regel sind bei Floatglasanlagen keine Reparaturen zu erwarten, aber möglicherweise bei einigen Behälterglas- oder Wirtschaftsglas-Wannen, obwohl diese Wahrscheinlichkeit äußerst gering ist.

Investitionskosten in	50 t/d	100 t/d	300 t/d	450 t/d	600 t/d
Euro					
	Behälter	Behälter	Behälter	Behälter	Float
SCR	430000	615000	1000000	130000	1800000
SNCR	190000	280000	450000	575000	1350000
Lo-NO _x	100000	100000	180000	200000	550000
Sauerstoff-Brennstoff	- 200000	-300000	-1350000	-1750000	-4800000
3R inkl. Reparaturen usw.			270000	350000	680000
3R außer Reparaturen			140000	170000	260000
SCR + Filter	990000	1500000	2420000	3100000	4550000
Filter plus Abscheider	565000	875000	1420000	1820000	2750000
Nm ³ Rauchgas/h	6400	11120	23000	33350	70000

Tabelle 4.14: Investitionskosten für Vermeidungsmaßnahmen
[tm32 Beerrens]

Die nachfolgende Tabelle 4.15 liefert einen Hinweis für die Betriebskosten (plus oder minus 30 %) der einzelnen Verfahren für die genannten Beispiele. Weitere Informationen sind in den diesbezüglichen Abschnitten dieses Kapitels enthalten. In den Kosten sind Reagenzien (z.B. Ammoniak und Kalk), Rauchgasüberwachung, Instandhaltung und zusätzliche Energiekosten für Gebläse usw. enthalten außer Kapitalzinsen und Abschreibung. Für den Sauerstoff-Brennstoff-Schmelzprozess beruhen die Sauerstoffkosten (einschließlich Kapital- und Energiekosten) auf einem Wert von 0.055 Euro/m³ für kleinere Verbraucher und 0.04 Euro/m³ für Großverbraucher. Diese Angaben sind vergleichbar mit den Angaben aus [tm6 NO_x Industrie du Verre]. Die Kosten enthalten ebenfalls die voraussichtlichen Energieeinsparungen für den Sauerstoff-Brennstoff-Schmelzprozess. Bei Rekuperativwannen werden 25 bis 30 % und bei Regenerativwannen 10 bis 15 % veranschlagt.

Euro x 1000	50 t/d	100 t/d	300 t/d	450 t/d	600 t/d	100 t/d
	Behälter	Behälter	Behälter	Behälter	Float	Glasfaser
SCR	42	64	123	166	330	100
SNCR	23	28	73	100	225	23-25 ⁽¹⁾
LoNO _x	15	21	35	46	72	21
3R mit Reparaturen			185	255	285	
3R ohne Reparaturen			106	156	267	
Sauerstoff	135	190	530	1110	1900	227
SCR + Filter	74	108	200	260	470	139
Filter plus Abscheider	37	53	89	116	186	64

Tabelle 4.15: Jährliche Betriebskosten für NO_x-Minderungsmaßnahmen
[tm32 Beerrens]⁽¹⁾ Kostenschätzung

In der nachfolgenden Tabelle werden die Gesamtkosten für jedes Verfahren in Euro pro Tonne Glas (inklusive Abschreibung von 10 Jahren bei 7 % Zinsen) aufgeführt.

Euro/Tonne Glas									
Geschmolzenes Glas t/d	Abgasstrom mm ³ /h	Lo-NO _x	SCR	SNCR	3R + Reparaturen	3R kein Reparatur-Bedarf	Sauerstoff-Brennstoff	SCR + Filter Abscheider	Filter + Abscheider
50	6400	2,36	7,01	3,65	3,96	3,18	6,17	14,25	7,97
100	11120	1,34	4,98	2,35	2,87	2,20	4,06	10,2	5,52
300	23000	0,72	2,83	1,49	2,28	1,35	5,05	5,75	3,01
450	33350	0,57	2,44	1,3	2,02	1,23	5,04	4,92	2,68
100 Faser	12000	1	5	1,5 - 2	4 - 4,5	2,50	7 - 8	13	9
600 Float	70000	0,83	2,99	2,16	1,91	1,50	5,16	5,78	3,06

Tabelle 4.16: Spezifische Kosten für die Minderungsmaßnahmen in Euro/Tonne Glas
[tm32 Beerrens]

Die NO_x-Minderung beruht auf einem NO_x-Anfangswert von 1600 mg/m³ bei Rekuperativwannen und von 2000 mg/m³ bei Floatglas und die Minderungen je nach Verfahren lauten wie folgt: SCR (80 %), SNCR (50%), Lo-NO_x (50%), 3R (65%) und Sauerstoff-Brennstoff (80% massebezogen). Die Minderungswerte bei SNCR und insbesondere bei dem 3R-Prozess können höher sein (bis zu 80 % bei 3R).

Die Kosten für die Sauerstoff-Brennstoff-Beheizung sind offenkundig schwierig im Voraus abzuschätzen und können je nach der Energieeinsparung und den Sauerstoffkosten stark voneinander abweichen. Zum Beispiel werden diese Kosten für Rekuperativwannen auf der Basis einer Energiereduzierung von 25 - 30 % berechnet. In anderen Bereichen mit viel weniger Scherbeneinsatz könnte dies 50 % darstellen. In ähnlicher Weise können die Kosten pro m³ Sauerstoff je nach anlagenspezifischer Vereinbarung wesentlich geringer sein. Dies bewahrheitet sich insbesondere, wenn es sich um mehrere Wannen bei ein und derselben Anlage handelt. Die nachfolgende Tabelle gibt einen Hinweis auf den enormen Kostenunterschied pro Tonne Glas, die für die beiden offenbaren Kostengrenzen festgestellt werden können. Es bestehen auch andere wirtschaftliche Aspekte, die möglicherweise für die Auswahl der Sauerstoff-Brennstoff-Schmelztechnik von Bedeutung sind und in Abschnitt 4.4.2.5 behandelt werden.

geschmolzenes Glas t/d	Extra-Kosten/t geschmolzenes Glas Sauerstoff 0,03 Euro/m ³	Extra-Kosten/t geschmolzenes Glas Sauerstoff 0,06 Euro/m ³
50	- 0,47	7,5
100	- 0,55	6,4
300	2,5	8,7
450	2,5	8,6
600	2,3	10,8

Tabelle 4.17: Kosten für den Sauerstoff-Brennstoff-Schmelzprozess (Euro/Tonne Glas) bei zwei Sauerstoffpreisen
[tm32 Beerrens]

4.4.3 Schwefeloxide (SO_x)

Der Begriff Schwefeloxide (SO_x) beinhaltet Schwefeldioxid (SO₂) und Schwefeltrioxid (SO₃) ausgedrückt als äquivalentes SO₂. Schwefeldioxid ist bei weitem das überwiegende Schwefeloxid in der Glasindustrie und der größte Teil der nachfolgenden Angaben bezieht sich auf diese Komponente. Unter ca. 200°C ist SO₃ normalerweise in Form von saurem Nebel oder Dampf festzustellen. Die beiden Hauptquellen für Schwefeloxid-Emissionen sind die Oxidation von Schwefel in den Brennstoffen und die Zersetzung/Oxidation von Schwefelverbindungen in Gemengestoffen.

Die Aufnahme von Schwefelverbindungen in Glas ist normalerweise gering (<0.35 % als SO₃ in den meisten Industriegläsern) und im Allgemeinen wird der größte Teil des in die Wanne gelangenden Schwefels als SO_x in die Atmosphäre freigesetzt. Ein Teil des SO_x im Abgasstrom reagiert mit anderen Komponenten und erzeugt

Sulfate, die zu Staub kondensieren. Die Sulfatmenge im Staub schwankt je nach Glasart, aber bei Kalknatronglas beträgt sie etwa 98%. Diese Frage wird in Abschnitt 4.4.1 ausführlicher behandelt.

Bei elektrisch beheizten Wannen tendieren die SO₂-Emissionen zu sehr geringen Werten und entstehen nur durch Rohstoffzersetzung. Bei Steinwollekupolöfen bildet sich insgesamt eine reduzierende Atmosphäre und der Schwefel aus den Rohstoffen und dem Brennstoff wird hauptsächlich als SO_x und Schwefelwasserstoff (H₂S) freigesetzt. Bei den Anlagen innerhalb der EU-Mitgliedstaaten werden die Abgase im Allgemeinen in einem Nachbrennersystem aufbereitet, wonach das H₂O zu SO₂ oxidiert.

4.4.3.1 Brennstoffauswahl

Bei ölbeheizten Verfahren entsteht die Hauptquelle für SO_x aus der Oxidation von Schwefel in dem Heizöl. Die von den Gemengerohstoffen abgespaltete SO_x-Menge ändert sich je nach Glasart, aber im Allgemeinen überwiegen bei Heizölverbrennung die SO_x-Emissionen aus dem Brennstoff die Emissionen aus dem Gemengematerial. Der eindeutigste Weg zur Minderung der SO_x-Emissionen besteht in der Reduzierung des Schwefelgehalts im Brennstoff. Heizöl ist mit unterschiedlichem Schwefelgehalt verfügbar (<1 %, <2 %, <3 % und >3 %) und Erdgas ist im Wesentlichen schwefelfrei. Heizölqualitäten mit einem Schwefelgehalt bis zu 3,5 % werden in einigen Schmelzöfen in Europa als Brennstoff eingesetzt, jedoch in den meisten Mitgliedstaaten kommt Heizöl mit mehr als 2 % Schwefel nur selten zur Anwendung. Zur Verbesserung der Ansäuerungskontrolle innerhalb der EU laufen zum Zeitpunkt der Anfertigung dieses Dokuments Verhandlungen über EU-weite Maßnahmen zur Überwachung des Schwefelgehalts von Heizöl, um Werte von 1 % zu gewährleisten, oder nach durchgeführten Maßnahmen ein gleichwertiges Niveau zu erreichen. Die nachfolgende Tabelle veranschaulicht einige typische SO_x-Emissionswerte von Kalknatronglas bei verschiedenen Brennstoffarten. Diese Angaben gelten nur als Anhaltspunkt und derzeitige Werte können deutlich davon abweichen.

Heizöl	SO _x (als SO ₂) mg/m ³
Erdgas	300 - 1000
Heizöl mit 1 % Schwefel	1200 - 1800
Heizöl mit 2 % Schwefel	2200 - 2800

Tabelle 4.18: Beispiele für SO_x-Emissionen in Abgasen von Glasschmelzwannen für verschiedene Brennstoffe

Die Anwendung von Erdgas in der Industrie steigt ständig. Zum Beispiel werden fast alle fossil beheizten Glaswollewannen, die meisten Endlosglasfaserewannen und etwa 50 % aller Behälterglaswannen mit Erdgas betrieben. Allerdings liegt der hauptsächliche Grund in dem Preisunterschied zwischen Erdgas und Heizöl. Nach allgemeiner Erfahrung der Industrie ist festzustellen, dass bei der Umstellung auf Erdgas höhere NO_x-Emissionen, nämlich zwischen 25 und 40 % entstehen, obwohl bei zunehmender Erfahrung das Gefälle abnimmt. Dieses Problem wird in Abschnitt 4.4.2.1 eingehender behandelt (Brennstoffwahl).

Die Umstellung auf einen Brennstoff mit niedrigerem Schwefelgehalt hat keine erhöhten Kosten zur Folge, mit Ausnahme der höheren Brennstoffkosten. Die Umstellung auf Gasbeheizung erfordert andere Brenner und ein unterschiedliches Gaszufuhrsystem für die Brenner sowie Änderungen an den Brennerhals- und Brennstoff-Einlassöffnungen. In manchen Fällen haben die Anlagen keine Verbindung zu einer Erdgasquelle. Die Kosten der einzelnen Brennstoffe ändern sich mit der Zeit und unter den Mitgliedstaaten, aber im Allgemeinen entspricht eine Reduzierung des Schwefelgehalts im Heizöl von 1 %, einem Kostenanstieg von etwa 5 %. In den meisten Mitgliedstaaten ist Erdgas teurer als Heizöl, in anderen Ländern hingegen (z.B. UK 1998) kann es wesentlich kostengünstiger sein. Im Jahr 1998 waren die einzelnen Energiepreise in Frankreich auf einer Basis von 100 folgende: Elektrizität (522), Erdgas (122), Heizöl mit 1 % Schwefel (100), Heizöl mit 2 % Schwefel (94) und Heizöl mit 3,5 % Schwefel (87). Im UK war in 1998 Erdgas 20 bis 30 % preiswerter als Heizöl mit 2 % Schwefelgehalt.

Die nachfolgende Tabelle zeigt die Kostenschwankungen für die einzelnen Energiequellen auf der Basis von Schätzungen, Stichtag 1. Januar 1998. Die Schwankungen bei den Angaben werden im Durchschnitt für jede Energieart, bei einem Ausgangswert von 100 berücksichtigt. Die derzeitigen Durchschnittskosten werden ebenfalls genannt.

	Schweröl	Erdgas	Elektrizität
Durchschnitt Basis 100 (derzeitige Durchschnittskosten Euro /GJ)	100 (300 Euro/GJ)	100 (370 Euro/GJ)	100 (1310 Euro/GJ)
Maximum	122 (Holland)	150 (Schweden)	131 (Österreich)
Minimum	72 (Belgien)	80 (UK)	64 (Finnland)
Maximum/Minimum	1,69	1,87	2,04
EU Durchschnitt (Basis 100 = Schweröl)	100	123	436

Tabelle 4.19: Energiekostenschwankungen in der EU – Quelle (CPIV)

Heißluft-Kupolöfen für Steinwolle werden mit Koks beheizt. Die Schwankung des Schwefelgehalts von Koks, der in diesem Sektor eingesetzt wird, ist gering (0,6 % bis 0,9 %) und vom Fundort abhängig. Aus Koks abgespaltenes SO₂ stellt gewöhnlich 30 % bis 70 % der gesamten Emission dar, je nach Einsatz von Hochofenschlacke und zementgebundenen Abfallstoffen. Koks mit geringem Schwefelgehalt kann angesichts der Transportkosten teuer sein, außer das Werk liegt in der Nähe eines entsprechenden Fundortes, und die Emissionsminderungen stehen offenbar in keinem Verhältnis zu den Kosten. In diesem Sektor werden keine Alternativen mit hohem Schwefelgehalt eingesetzt, wie z.B. Petrolkoks, und in vielen Fällen ist der Schwefelgehalt von Koks, soweit wie unter wirtschaftlichen Voraussetzungen möglich, bereits reduziert.

4.4.3.2 Gemengerezeptur

In der konventionellen Glasherstellung stellen Sulfate die Hauptquelle für SO_x-Emissionen aus den Gemengestoffen dar. Sulfate sind die am weitläufigsten eingesetzten Läutermittel und ebenfalls wichtige Oxidationsmittel. Das bei weitem üblichste Sulfat ist Natriumsulfat, das sich beim Schmelzen aufspaltet und gasförmiges SO_x und Na₂O bildet, was in dem Glas gebunden wird. Kalium- und Kalziumsulfate finden ebenfalls weitläufigen Einsatz. Bei den meisten modernen Glaswannen sind die Sulfatanteile im Gemenge auf eine brauchbare Mindestmenge reduziert, die je nach Glasart Schwankungen unterliegt. Die mit dem reduzierten Sulfatgehalt des Gemenges verbundenen Fragen werden in Abschnitt 4.4.1.1 behandelt, und die mit der Rückführung des Filterstaubes durch Elektrofilter zusammenhängenden Fragen werden in Abschnitt 4.4.3.3. erörtert. Typische Emissionswerte in Verbindung mit Läuter- und Oxidationsmitteln liegen bei 200 bis 800 mg/Nm³ und 0,2 bis 1,4 kg/Tonne geschmolzenen Glases [tm29 Infomil].

In der Steinwolleherstellung bilden sich erhebliche Emissionsquellen an SO₂ (zusätzlich zu Koks) durch die Verwendung von Hochofenschlacke und bindemittelgebundenen Briketts in der Charge. Schlacke enthält normalerweise 0,6 bis 1,5 Gew% Schwefel und der meiste Schwefel wird als H₂S und SO₂ freigesetzt. Bei Einsatz eines Nachbrenners oxidieren die Emissionen weitgehend zu SO₂. Die Beschaffungsmöglichkeiten von Koks und Schlacke mit niedrigem Schwefelgehalt sind gering und normalerweise begrenzt durch die kleine Anzahl nahegelegener Anbieter zu wirtschaftlich vertretbaren Transportentfernungen.

Der prozentuale Anteil an Schlacke in der Charge ist sehr unterschiedlich und reicht von nahezu 100 % Schlackenwolle bis zu 0 % bei einer Reihe herkömmlicher Steinwolleanlagen. Bei den meisten Anwendungen von Schlacke entspricht der Anteil etwa 30 % der gesamten Charge (außer Koks). Die einzige Anwendung, bei welcher der Einsatz von Schlacke notwendig ist, bildet die Herstellung von Weißfaser für Anwendungen wie Faserspritzverfahren und Deckenplatten. Diese Anwendungsbeispiele stellen nur einen geringen Prozentsatz des Gesamtvolumens in diesem Sektor dar, jedoch haben sich einige Anlagen ausschließlich auf diese Produkte spezialisiert. Bei einer Anlage mit einem Anteil von etwa 30 % Schlacke in der Charge sind die SO₂-Emissionswerte vor Minderungsmaßnahmen etwa 2- bis 3-mal höher als bei einer Charge ohne Schlacke. Nach Schätzungen [tm26 EURIMA] zum Zeitpunkt der Abfassung dieses Dokuments verwenden etwa 30 % der in Europa befindlichen Steinwolleanlagen Hochofenschlacke.

Die positive Wirkung auf die SO₂-Emissionen bei der Vermeidung von Schlacke ist deutlich erkennbar. Allerdings bringt der Einsatz von Schlacke eine Reihe Vorteile, die nachfolgend zusammengefasst werden.

- geringerer Energieeinsatz und verminderte CO₂-Emissionen, bedingt durch den teilweisen Ersatz von Kalkstein durch Schlacke. Der Energieverbrauch und die CO₂-Emissionen sind ein typisches Beispiel für 5 bis 15 % niedrigere Werte als bei Basalt-Kalkstein-Chargen.
- Die Charge enthält weniger Eisen, wodurch das wiederholte Ausklopfen reduziert und die Ertragsraten verbessert werden können. Es ergeben sich weniger Produktionsunterbrechungen und eine leichte Verminderung der festen Abfallstoffe.
- In einigen Fällen wird dem Einsatz von Schlacke nachgesagt, dass sich die faserbildenden Eigenschaften der Schmelze verbessern, wodurch ein Beitrag zur gesteigerten Prozesseffizienz und zu niedrigeren Abfallwerten geleistet werden kann angesichts der Reduzierung von Perlen.
- Hochofenschlacke ist ein Abfallprodukt, das bei Nicht-Verwendung sehr wahrscheinlich auf der Deponie abgelagert würde. Außerdem ist dieses Produkt ein Natursteinersatz und vermindert die Nachfrage nach Naturstein.
- Schlacke ist auch allgemein kostengünstiger als die hierdurch ersetzten Produkte.

Es besteht die Möglichkeit, dass die meisten zuvor genannten Vorteile auch durch den gesteigerten Einsatz von stofflich verwertbaren Prozessabfällen erzielt werden können. Eine ortsspezifische Beurteilung der durch den Einsatz von Schlacke herbeigeführten Auswirkungen auf die Umweltverschmutzung als Ganzes wäre in manchen Fällen angebracht. Allerdings dürften bei einer allgemeinen, qualitativen Beurteilung die Vorteile der Anwendung von Schlacke wahrscheinlich kaum die erzeugten Emissionen aufwiegen. Wenn die Anwendung von Schlacke für die Farbgebung der Produkte notwendig ist, kann diese weitgehend durch den Einsatz von intern recycelten Prozessabfällen minimiert werden. Bei der Anwendung von sekundären SO_x-Minderungsmaßnahmen könnte sich die Umweltbilanz bei der Verwendung von Schlacke ändern.

Typische bindemittelgebundene Abfallbriketts haben einen Schwefelgehalt von etwa 0,16 % und werden bis zu 45 % dem Gemenge zugesetzt. Das ergibt etwa 75 % der Schwefelzufuhr aus 0,7 % Schwefelkoks. Bei einem Vergleich zwischen 1% Schwefelschlacke, die zu 30 % in der Charge ist, und 0,16 % Schwefelgehalt in den Briketts, die zu 45 % in der Charge sind, trägt die Schlacke rund dreimal soviel zur Bildung von Schwefel bei als Briketts. Es sind umfangreiche Arbeiten in der Entwicklung, um den Zementgehalt von Briketts zu minimieren oder durch andere Bindemittelsysteme völlig zu ersetzen.

4.4.3.3 Trocken- oder Halbtrocken-Absorption

Beschreibung der Technik

Die Reaktionsprinzipien der Trocken- und Halbtrocken-Absorption sind die gleichen. Das reaktionsfähige Material (das Absorbens) wird in den Abgasstrom eingeführt und verteilt. Dieses Material reagiert mit den SO_x-Komponenten zu einem Feststoff, der mit einem Elektrofilter oder einem Schlauchfiltersystem aus dem Abgasstrom entfernt werden muss. Die zur Beseitigung der Schwefeloxide gewählten Absorptionsmittel sind auch zur Bindung anderer saurer Abgase, wie insbesondere Halogenide (HCl und HF) aber auch gewisse Selenverbindungen wirksam. In einigen Fällen wird das Absorptionsmittel unmittelbar in die Abgasrohre eingedüst, jedoch sind die Verfahren erheblich wirksamer, wenn ein Reaktionsturm (Trockenprozess) oder eine Reaktionskammer (Halbtrocken-Absorbierung) eingesetzt wird.

Bei der Trocken-Absorption besteht das Absorptionsmittel aus einem Trockenpulver (gewöhnlich Ca(OH)₂, NaHCO₃ oder Na₂CO₃, wobei zur Unterstützung der Dispersion die Luftzugabe möglich ist. Bei der Halbtrocken-Absorbierung wird das Absorptionsmittel (gewöhnlich Na₂CO₃, CaO oder Ca(OH)₂) als Suspension oder Lösung zugegeben. Die Wasserverdampfung sorgt für die Abkühlung der Abgasströmung. Bei anderen industriellen Anwendungen wird die Halbtrocken-Absorption wie zuvor beschrieben, oft als „semi-wet“-Wäsche bezeichnet. In diesem Dokument wird aber ausschließlich die Bezeichnung Halbtrocken-Absorption benutzt, da es sich um einen in der Glasindustrie üblichen Begriff handelt.

Die Trocken-Absorption ist in der Glasindustrie häufiger vorzufinden als die Halbtrocken-Absorption. Im Allgemeinen hängt die Minderungsrate stark von der Temperatur ab, jedoch in sehr verschiedenem Ausmaß bei den einzelnen Abgaskomponenten. Darüber hinaus haben die Abgasschadstoffe eine unterschiedliche Reaktionsfähigkeit mit den verschiedenen Absorptionsmitteln und es entstehen zusammenlaufende Reaktionen unter den einzelnen Komponenten insbesondere wenn das Verhältnis des Reaktionspartners gegenüber der sauren Abgase relativ gering ist. Daher hängen die einzelnen Absorptionsraten von der spezifischen Menge des

Absorptionsmittels, der Abgaszusammensetzung (Schadstoffe aber auch Feuchtigkeit und Sauerstoffgehalt) und von der Reaktionstemperatur ab. Ferner sind die Absorptionsraten aufgrund der Gas-/Feststoffreaktion stark abhängig von dem aktiven spezifischen Bereich des Absorptionsmittels und der Verweilzeit. Daher ist normalerweise ein überstöchiometrisches Verhältnis des Absorptionsmittels notwendig. Die spezifische Menge des Absorptionsmittels wird oftmals durch das Molarverhältnis ausgedrückt, das auf zweierlei Art definiert werden kann:

MV1 = Molares Verhältnis von Absorptionsmittel zu SO_x-Minderungsanteil

MV2 = Molares Verhältnis von Absorptionsmittel zu gesamter SO_x-Zufuhr

Sowohl die Trocken- als auch die Halbtrocken-Absorption kann in Verbindung mit Elektrofiltern eingesetzt werden, aber bei Schlauchfiltern müssen die Abgase abgekühlt werden. Die in der Glasindustrie am weitesten verbreitete Technik ist die Trocken-Absorption in Verbindung mit einem Elektrofilter und Ca(OH)₂ als Absorptionsmittel bei einer Betriebstemperatur von etwa 400°C, da mit Ca(OH)₂ bei dieser Temperatur ein relativ guter Minderungsgrad zu erreichen ist und weil 400°C direkt in dem Abgas ohne Abkühlung erzielt werden können und diese Temperatur in dem Betriebsbereich eines Elektrofilters liegt.

Bei Einsatz von Schlauchfiltern muss die Temperatur bis auf weniger als 200°C gesenkt werden. Die Abkühlung ist durch Wärmeaustauscher oder Kühlluftzufuhr zu erreichen und wird bei der Halbtrocken-Absorption auch durch Wasserverdampfung unterstützt. Bei abnehmender Temperatur sinken die Minderungsraten einiger Komponenten (insbesondere HCl und SO₂) drastisch. Das Minimum der Absorptionsraten liegt in einem Bereich von 200 bis 280°C. Bei Temperaturen unter 200°C, welches die bevorzugte Arbeitstemperatur für Schlauchfilter ist, erhöhen sich die Minderungsgrade wieder und können bei den meisten Schadstoffen gute Ergebnisse erzielen, in einigen Fällen sogar bessere Werte als bei 400°C.

Umweltleistung

Wie zuvor erwähnt, hängen die mit den Techniken erzielten Minderungen von einer Reihe Faktoren ab, einschließlich der Abgastemperatur, Menge und Art der zugegebenen Absorptionsmittel (bzw. genauer das Molarverhältnis zwischen Reaktionspartner und Schadstoffen) und der Dispersion des Absorptionsmittels. In der nachfolgenden Tabelle werden die Schätzwerte der mit den einzelnen Absorptionsmitteln und Verfahren erreichten Wirkungsgrade zahlenmäßig veranschaulicht. Die gegenwärtig erzielten Werte sind von Fall zu Fall verschieden, da sowohl höhere als auch niedrigere Werte beobachtet werden.

Angesichts der unterschiedlichen Absorptionsverhältnisse in dem Schlauchfilterkuchen und der verschiedenen Betriebstemperaturen in Verbindung mit Elektrofiltern und Schlauchfiltern, werden für beide Staubfilterarten in Tabelle 4.20 [tm41 VDI2578] getrennte Werte angegeben.

Schadstoff	Elektrofilter		Schlauchfilter
	~ 400°C	200 – 280°C	130 – 240°C
SO ₂	50 %	10 %	10 %
SO ₃	80 %	90 %	95 %
HCl	70 %	35 %	80 %
HF	95 %	95 %	95 %
SeO ₂	90 %	70 %	90 %

Tabelle 4.20: Trocken-Absorptions-Wirkungsgrad für Ca(OH)₂ (Anhaltswerte)

Allgemein werden unter Bezugnahme auf [tm48 ADEME SO_x] die folgenden Ergebnisse für die Trocken-Absorption mit Ca(OH)₂ genannt.

Temperatur	SO _x -Minderungsrate	
	130 – 140°C	170 – 180°C
Molares Verhältnis MV1 Ca/S=1	30 %	22 %
Molares Verhältnis MV1 Ca/S=2	50 %	40 %
Molares Verhältnis MV1 Ca/S=3	70 %	55 %

Tabelle 4.21: SO_x-Minderungsrate bei Trocken-Absorbierung mit Ca(OH)₂.

Im Falle einer Floatglas-Wanne mit einer Trocken-Absorbierung plus Elektrofilter und einem molaren Verhältnis MV1 von 4,4, unter Anwendung von 180 kg/h Ca(OH)₂ und einer Temperatur von etwa 400°C wird über einen Minderungsanteil von 65 % berichtet. Der gesamte Filterstaub wird in die Wanne zurückgeführt (siehe Anhang 1, Abschnitt 8.2, Wanne FG6).

Die Erfahrungswerte mit der Trocken-Absorption unter Anwendung von Na₂CO₃ als Absorptionsmittel werden in der nachfolgenden Tabelle für den Temperaturbereich von 300°C bis 400°C zusammengefasst. Die genannten Minderungsanteile sind erneut weitgehend abhängig von der Temperatur und der verwendeten Absorptionsmittelmenge.

Schadstoff	SO _x -Minderungsrate
SO ₂	< 50 %
SO ₃	90 %
HCl	50 – 75 %
HF	10 – 40 %
SeO ₂	30 – 60 %

Tabelle 4.22: SO_x-Minderungsrate bei Trocken-Absorption mit Na₂CO₃.

Die aus den neuesten Erfahrungen resultierenden Ergebnisse mit NaHCO₃ als Absorptionsmittel stehen jetzt zur Verfügung. Die genannten Absorbierungsanteile können als sehr gut zusammengefasst werden, insbesondere im niedrigeren Temperaturbereich ist eine SO_x-Beseitigung bis zu 90 % möglich.

Nur wenige Wannen sind mit einer Halbtrocken-Absorption ausgerüstet. In Verbindung mit einem Schlauchfilter und der Anwendung einer Na₂CO₃-Lösung als Absorptionsmittel wird über sehr hohe Minderungswerte berichtet. Diese Ergebnisse werden in der nachfolgenden Tabelle zusammengefasst. Die SO₂-Rduzierung von 95 % ist das höchstmögliche Ergebnis. Die gegenwärtig in Industriebetrieben erreichten Minderungswerte liegen gewöhnlich bei einem Wert zwischen 80 % und 90 %.

Schadstoff	SO _x -Minderungsrate
SO ₂	90 – 95 %
HCl	> 90 %
HF	> 85%
SeO ₂	> 90 %

Tabelle 4.23: SO_x-Minderungsrate bei Halbtrocken-Absorption mit einer Na₂CO₃ Lösung

Allgemein werden bei anderen industriellen Anwendungen [tm48 ADEME SO_x] für die Halbtrocken-Absorption mit Ca(OH)₂ normalerweise die in der nachfolgenden Tabelle genannten Ergebnisse erzielt. Allerdings sind Halbtrocken-Absorptionsverfahren unter Anwendung von Kalk in der Glasindustrie gewöhnlich nicht vorzufinden.

	SO _x -Minderungsrate
Molares Verhältnis MV1 Ca/S=1	80 %
Molares Verhältnis MV1 Ca/S= 1,5	90 %
Molares Verhältnis MRV1 Ca/s = 2	92 %

Tabelle 4.24: SO_x-Minderungsrate bei Halbtrocken-Absorption mit Ca(OH)₂

Über die Auswirkung auf die NO_x-Emissionen unter Zugabe von Na₂CO₃ oder NaHCO₃ bei der Halbtrocken-Absorption wird ebenfalls berichtet. Bei NaHCO₃ liegt der optimale Bereich zwischen 120°C und 160°C und die Wirksamkeit der Reaktion hängt von dem molaren Verhältnis SO₂/NO_x ab. Der Minderungsanteil wird durch ein hohes SO₂/NO_x Verhältnis vorteilhaft begünstigt. Bei höheren Temperaturen ist die NO_x-Emissionsreduzierung weitaus geringer. Unter normalen für die Glasindustrie repräsentativen Verhältnissen wird nur eine mäßige Wirkung auf die NO_x-Emissionsminderung beobachtet.

Zusammenfassend hängt die erreichte Emissionsminderung von einer Reihe mit dem Prozess und dem Absorptionsmittel verbundenen Faktoren ab. Unter günstigen Voraussetzungen können hohe Minderungswerte, bestenfalls bis zu 95 % der gesamten SO_x -Emissionen ausgedrückt als SO_2 erzielt werden. Der Wert für den SO_3 -Minderungsanteil liegt im Allgemeinen bei über 80 %.

Die gegenwärtige Emissionskonzentration oder Masse/Tonne Glas hängt von der Einlasskonzentration und der Wirksamkeit der Entschwefelung ab. Diese Einlasskonzentrationen richten sich nach folgenden Faktoren:

1. Zufuhr von schwefelhaltigem Heizöl,
2. Glasart (Farbe, Oxidationszustand und Schwefelgehalt),
3. Technologische Anforderungen an Läuterung, Qualität und Sulfatmenge,
4. Scherbenart und Menge (Eigen- oder Fremdscherben, Schwefelgehalt und Verunreinigungen),
5. Filterstaub-Zusammensetzung und Recyclingquote,
6. Verbrennungsbedingungen (nahstöchiometrische Verbrennung zur NO_x -Reduktion durch Primärmaßnahmen kann sich der Gehalt an SO_2 im Rohabgas erhöhen).

Allerdings erfordert die gesamte Verringerung der SO_x -Emissionen die Beseitigung des aus dem sulfathaltigen Filterstaub erzeugten festen Abgasstroms (durch internes oder externes Recycling oder Deponierung). Im Falle der Deponierung liegen die Kosten schätzungsweise bei 0,5 bis 1,5 Euro/Tonne Glas.

In der Praxis wird eine vollständige stoffliche Verwertung des Filterstaubes einschließlich der sulfathaltigen Reststoffe sehr häufig als vernünftige und wirtschaftliche Maßnahme für den Umweltschutz angesehen, wenn die technische Möglichkeit vorhanden ist. In diesem Fall begrenzt sich die gesamte Verminderung der SO_x -Emissionen (unter Berücksichtigung der Massenbilanz) auf die erzielte Minderung am Entstehungsort, die durch das Ersetzen von Sulfat in den Rohstoffen durch Filterstaub erreicht wird. Dies ist eindeutig eine zusätzliche Maßnahme für weitere entsprechende Primärmaßnahmen zur Minderung der gesamten Schwefelzufuhr in der Schmelze durch die Optimierung der Schwefelanteile in allen zugeführten Stoffen (einschließlich Scherben), wo immer möglich.

Daher kann es zur Reduzierung der sauren Gas-Emissionen erforderlich sein, einen externen Entsorgungsweg für einen Teil des anfallenden Materials ins Auge zu fassen. Eine externe Lösung für das Recycling oder die erneute Verwendung wäre einer Ablagerung auf der Deponie vorzuziehen. Allerdings ist bis zum Zeitpunkt der Abfassung noch keine wirtschaftlich vertretbare Lösung für eine externe Wiederverwertung des Filterstaubes bekannt. Die Festlegung dessen, was für die Umwelt als Ganzes die beste Schutzmaßnahme darstellt, hängt oftmals von standortspezifischen Verhältnissen ab und kann zur Erwägung der Entsorgung eines festen Abfallstroms führen. Wenn dies der Fall ist, verlangt die Festlegung der Emissionswerte nach der BVT unbedingt eine Prozessschwefelbilanz.

Bei einer Filterstaubrückführung im geschlossenen Kreislauf liegen die zur Zeit beobachteten SO_x -Emissionswerte in der Regel in einem Bereich von 200 bis 800 mg/Nm^3 bei Erdgasfeuerung und von 800 bis 1600 mg/Nm^3 bei Verwendung von Heizöl mit einem Schwefelgehalt von 1 %, je nach den zuvor genannten Einflussfaktoren. Insbesondere bei Glasarten mit einem hohen Scherbenanteil und geringer Schwefelaufnahmefähigkeit (z.B. reduzierte Glasarten, gewisse Grün- und Braunglas-Behälter) sind Emissionswerte im oberen Bereich zu erwarten. Es gibt Beispiele in der Glasindustrie, bei denen die reine Entschwefelungswirksamkeit bei vollständiger Rückführung der schwefelhaltigen Staubemissionen fast am Nullpunkt liegt. Allerdings ist in diesen Fällen das Hauptziel nicht die Entschwefelung, sondern die Beseitigung der HCl-, HF-, Metall- und Staubemissionen. Dennoch können selbst in diesen Fällen geringere Werte mit der Erzeugung eines sulfathaltigen Abfallstroms für die externe Entsorgung erreicht werden.

Daher ist es bei der Berücksichtigung des Entschwefelungsprozesses in der Glasindustrie von wesentlicher Bedeutung, die möglichen Gegenwirkungen und die Gefährdung anderer Umweltziele zu berücksichtigen. Die wichtigsten Umweltziele zur Minderung von SO_2 -Emissionen lauten:

- Hohe Scherben-Recycling-Quoten,
- Minimierung der Reststoff-Erzeugung durch internes oder externes Staubrecycling,
- Abwärme-Rückgewinnung
- Reduzierung anderer Emissionen in die Luft.

Altglas-Recycling ist ein wichtiges Umweltziel wegen der Energieeinsparung, Abfallminderung und Reduzierung des Verbrauchs an natürlichen Rohstoffen. Zum Beispiel liegt für Behälterglaswannen die vom Gesetzgeber in Deutschland festgelegte Recycling-Quote bei 72 % Altglas und dieser Anteil wird regelmäßig überschritten. Wenn Scherben mit einem höheren Schwefelanteil als der des produzierten Glases verwendet werden, kann der überhöhte Schwefelanteil zu erhöhten SO_x -Emissionen führen. Dies ist zum Beispiel bei reduzierten Grün- und Braunglas-Arten der Fall, die aus einer Scherbenmischung der Endverbraucher stammen. Gemischte Scherben aus Endverbraucherherkunft sind in manchen Fällen die einzige Bezugsquelle für die Glasindustrie, und ihr Schwefelgehalt ist höher als die des Produktes, angesichts der anwesenden oxidierten Glasarten (wie Weißglas, Flachglas, gewisse Grünglasarten) in der Scherbenmischung. Durch die ständigen Fortschritte bei der selektiven Scherbensammlung und Sortierung verbessert sich die Situation allmählich. Allerdings kann oxidiertes Farbglas ähnlich wie gewisse Grünglasarten auch höhere Schwefelgehalte wegen des Oxidationszustands aufweisen und die Sortierung von Farbglas hat eine geringere Wirksamkeit auf die Verminderung des Schwefelgehalts in den Scherben, wenn erhebliche Anteile derartiger Glasarten vorhanden sind.

Die Filterstaubrückführung ist ebenfalls ein wichtiges Ziel für die Abfallvermeidung. Das Recycling von Filterstaub setzt den Ersatz einiger der in dem Gemenge enthaltenen Sulfate voraus. Grundsätzlich verhält sich Filterstaub wie ein Läutermittel, kann aber in gewissen Fällen eine geringere Wirksamkeit haben und ein 100 %iges Ersetzen ist nicht immer möglich. Je nach den verschiedenen Glasarten (z.B. Farbe, Oxidationszustand) verändert sich die Absorption des aus dem im Filterstaub freigesetzten Schwefels und ist in manchen Fällen begrenzt. Im Hinblick auf eine vollständige Filterstaubrückführung und unter Berücksichtigung der zuvor erwähnten Veränderungen, muss die Schwefel-Massenbilanz sorgfältig beachtet werden und die konstruktive Auslegung der Absorptionsanlage sollte eine geeignete Auswahl der Absorptionsmittel ermöglichen.

Die meisten der installierten Waschanlagen zur SO_x -Absorption arbeiten nach dem Trocken-Absorptionsverfahren auf Kalkbasis bei einer Temperatur von etwa 400°C , die der Abgastemperatur einer leistungsfähigen Regenerativwanne entspricht. Bei diesen Temperaturen kann eine Minderung der SO_x -Emissionen um etwa 50 % erreicht werden. Eine verbesserte SO_x -Reduzierung kann bei Temperaturen um etwa 200°C und der Anwendung einer feuchten Atmosphäre erreicht werden. Dies kann durch Eindüsen eines in Wasser aufgelösten Absorptionsmittels in Verbindung mit Schlauchfiltern erreicht werden. Allerdings sinkt durch diesen Halbtrocken-Prozess die Temperatur der Abgase bis auf ein Niveau, das im Allgemeinen nicht mit der Wärmerückgewinnung durch Sekundärmaßnahmen, oder für nachgeschaltete Anwendungen, die höhere Temperaturen verlangen (z.B. SCR oder Scherben-Vorwärmung) vereinbar ist. In diesen Fällen könnte die herkömmliche (oder "echte") Halbtrocken-Absorption ebenfalls in Betracht kommen, obwohl die Glasindustrie gegenwärtig noch sehr wenig Erfahrung mit dieser Technik hat. Die Notwendigkeit einer integrierten Analyse vor der Anwendung der Entschwefelung wird hierdurch noch unter Berücksichtigung sämtlicher Effekte, Nebeneffekte, Kosten und Prioritäten (z.B. Versauerungs-, Energie- und Abfall-Politik, usw.) unterstrichen.

Es ist zu beachten, dass eine hohe stöchiometrische Rate des Schwefelabsorptionsmittels eine erhöhte Belastung der nachgeschalteten Entstaubungsanlage zur Folge hat. In der Praxis muss die begrenzte Absorptionsverbesserung im Vergleich zu den technologischen Anforderungen und etwaigen Zusatzkosten für eine erhöhte Leistung des Abscheiders in einem ausgewogenen Verhältnis stehen.

Finanzielle Aspekte

Die Kosten für Absorptionsanlagen in Verbindung mit Elektrofiltern und Schlauchfiltern werden in den Abschnitten 4.4.1.2 und 4.4.1.3 angezeigt. Natriumbikarbonat ist wesentlich teurer als die anderen Absorptionsmittel und kommt weniger zum Einsatz.

Nach Schätzungen von [tm29 Infomil] liegen die Investitionskosten bei einer Leistung von $50000 \text{ Nm}^3/\text{h}$ bei Einsatz eines Elektrofilters zwischen 2,5 und 3,5 Millionen Euro, zuzüglich 150000 Euro an jährlichen Betriebskosten außer Zinsen und Abschreibung.

Im Steinwollesektor wird der Kapitalaufwand für eine Trocken-Absorption, außer der Standardtechnik mit Schlauchfiltern, auf 0,6 bis 1,4 Millionen Euro für eine neue Anlage und auf etwa 20 % Mehrkosten für eine bestehende Anlage geschätzt.

Anwendbarkeit

Grundsätzlich sind diese Verfahren für alle (einschließlich neuer und bereits bestehender) Prozesse für Abgase mit sauren Bestandteilen anwendbar. Angesichts der hohen Staubbeladung ist die Staubbeseitigung von wesentlicher Bedeutung. Der Trockenprozess kommt in der Glasindustrie weitaus häufiger zum Einsatz, weil es sich um die kostengünstigste Art zur Erzielung der allgemein geltenden technischen und rechtlichen Vorschriften handelt. Das am häufigsten verwendete Absorptionsmittel ist Löschkalk $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

Diese Techniken beruhen alle auf dem gleichen Prinzip, unabhängig von der Anlagengröße. Allerdings sollte daran erinnert werden, dass sich das Größenverhältnis und daher die gegenwärtigen Kosten und möglicherweise die Kosteneffizienz von Anwendung zu Anwendung erheblich ändern können. Insbesondere sind die Erfahrungen mit der Halbtrocken-Absorption für kleinere Prozesse noch begrenzt.

Zusammenhängende Betrachtungen

Die Verfahren sind auch bei der Minderung gewisser anderer, gasförmiger Schadstoffe, wie Fluoride, Chloride und bestimmte Selenverbindungen wirksam. Sie könnten ebenfalls auf die Vermeidung anderer saurer Emissionen Einfluss haben, jedoch sind keine Informationen über die Minderungswerte vorhanden.

Aus einigen aktuellen Beispielen der Glasindustrie ist eine hohe Motivation für die Installation dieser Techniken zum Schutz der Staubreduktionsausrüstung oder in manchen Fällen (z.B. Endlosfaser, Fritten) zur Vermeidung von Fluorid-Emissionen erkennbar. Eine gewisse Ausnahme hierzu bildet die Steinwolleherstellung. Wenn keine Staub- oder Fluorid-Reduktionsmaßnahmen erforderlich sind, wäre es in vielen Fällen wirtschaftlicher, auf Gasbeheizung umzustellen, anstatt der Installation dieser Techniken.

Diese Verfahren erzeugen erhebliche Mengen an festen Reststoffen, aber bei den meisten Anwendungen können diese Feststoffe in die Schmelzwanne zurückgeführt werden. Probleme können insbesondere bei ölbeheizten Wannen und unter Verwendung hoher Scherbenanteile entstehen. Bei Anwendung von Natriumkarbonat als Absorptionsmittel ist die Rückführung in Kalknatronglas einfacher, weil Natriumsulfat und Natriumkarbonat unbedingt erforderlich sind.

Bei geringen Scherbenanteilen sind die freigesetzten Sulfate gewöhnlich geringer als für die Läuterung notwendig sind und es besteht auch die Möglichkeit, der Schwefeleintrag aus dem erfassten Staub im Glas zu erhöhen (d.h. höherer SO_3 %). Insgesamt werden die Emissionen vermindert und der Verbrauch an Natriumsulfat wird reduziert. Wenn die angesammelte Sulfatmenge größer ist als der erforderliche Anteil im Gemenge, bildet sich ein fester Abfallstrom für eine Entsorgung außerhalb des Standortes. Wenn andererseits das gesamte Material in größeren Mengen als gefordert zurückgeführt wird, entsteht ein Kreislaufsystem in einem dynamischen Gleichgewicht, wobei das Glas und die Emissionen in die Luft die einzigen Schwefelsenken sind. Bei hohen Scherbenanteilen ist die Erfordernis eines Sulfat-Läutermittels wesentlich geringer und die Möglichkeit eines weiteren Eintrages in das Glas sehr gering. Daher steigen die SO_x -Emissionen, außer ein Teil des Staubes wird beseitigt und der gesamte Vorteil der SO_x -Reduktion wird stark vermindert. Das Problem ist überwiegend bei reduzierten Glasarten mit hohem Scherbenanteil am offensichtlichsten.

Käme dies in der Praxis vor, können die Kosten für die Entsorgung von Staub, der nicht zurückgeführt werden kann, oftmals höher sein als der Aufwand für weniger schwefelhaltige Brennstoffe (d.h. schwefelarmes Heizöl oder Erdgas). Daher wird ein Betreiber in vielen Fällen eher geneigt sein, einen Brennstoffaustausch vorzunehmen als einen festen Abfallstrom für die Entsorgung zu wählen. Allerdings besteht eine erhebliche Kostendifferenz zwischen Brennstoff mit geringem Schwefelgehalt (insbesondere Erdgas) und anderen Brennstoffen, sodass eine derartige Option wirtschaftlich keinen Anreiz bietet.

Bei Anwendung von Kalziumhydrat als Absorptionsmittel ist bei den meisten Glaszusammensetzungen eine Grenze gesetzt in Bezug auf die zurückführbare Kalziummenge. Normalerweise ist eine entsprechende Einstellung der Gemengezusammensetzung möglich, um den Filterstaub zu kompensieren, jedoch bei Gemengen mit hohen Scherbenanteilen bleibt die Anpassungsmöglichkeit des Gemenges begrenzt. Bei Gemengen mit hohem Scherbenanteil besteht die Möglichkeit, dass der Kalziumgehalt höher ist als die tolerierte Menge und es entstehen feste Abfallstoffe. In einem solchen Fall kann die Veränderung des Absorptionsmittels und der Übergang zu Natriumkarbonat oder Bikarbonat oder eine Mischung der einzelnen Absorptionsmittel eine Lösung darstellen.

In Gegenden mit hohen Scherben-Recyclingquoten wird das System zu einem noch engeren Kreislaufsystem, da sich die Anteile der einzelnen Komponenten zu einem ständig rezyklierten Glas aufbauen. Das kann bei Metall-, Fluorid- und Chlorid-Anteilen sowie bei Schwefel problematisch werden.

Wenn das Volumen des erfassten Materials Recycling-Schwierigkeiten bereitet, stehen Verfahren zur Wiederverwertung eines Teils des Absorptionsmittels für die gesamte Volumenreduzierung zur Verfügung. Probleme mit der inkonsistenten Bindungsform des abgeschiedenen Staubes stehen gewöhnlich außer Frage. Derartige Probleme sind durch eine sorgfältige Analyse und gegebenenfalls durch Sammlung und Vermischen des Materials vor der stofflichen Verwertung überwindbar.

Bei der Steinwollerzeugung muss die Minderung von SO_x -Emissionen in unmittelbarem Anschluss an den Verbrennungsofen und vor dem Filtersystem erfolgen. Bei gewissen gegenwärtigen Anwendungen ist das Filtersystem vor dem Verbrennungsofen angeordnet, der für eine saubere Gasaufbereitung konstruktiv ausgelegt ist. In diesen Fällen sind für die Installation der Technik bei bestehenden Anlagen Veränderungen an der Verbrennungsanlage notwendig oder ein zweites Filtersystem. Die Wirtschaftlichkeit der Optionen ist abhängig von dem Strukturschema des Abgassystems. Diese Änderungen tragen wesentlich zu den Kosten bei und werden durch den zuvor angegebenen höheren Kostenanteil veranschaulicht. Der Halbtrocken-Prozess hat sich in diesem Bereich nicht als wirtschaftlich erwiesen.

Die Materialrückführung in den Ofen ist bei Steinwolle schwieriger als in anderen Sektoren, weil der Prozess keine Sulfatzusätze benötigt und die Schwefelaufnahme der Schmelze gering ist. Daher würde der Schadstoff in der Mehrzahl erneut freigesetzt. Das heißt, dass der gesammelte Abfall als fester Abfallstrom entsorgt, oder wenn möglich, verwertet werden sollte. Die Wahl des Absorptionsmittels für Steinwolle ist ebenfalls begrenzt, wenn eine stoffliche Verwertung in Betracht kommt. Das Produkt erfordert sehr niedrige Sodawerte, sodass Natriumkarbonat und Natriumbikarbonat nur eingesetzt werden können, wenn keine stoffliche Verwertung des erfassten Materials stattfindet.

Eine in den Niederlanden erprobte Alternativlösung besteht in der Absorbierung von SO_x zur Erzeugung von Schwefelsäure, die als Nebenprodukt kommerzialisiert werden könnte. Für die wirksame Erzeugung von Schwefelsäure ist eine hohe SO_2 -Konzentration, die in das Katalysatorsystem der Schwefelsäureanlage gelangt erforderlich. In diesem Fall war diese Möglichkeit aufgrund der an diesem Standort vorhandenen sechs Kuppelöfen gegeben. Fünf davon waren mit einer Trocken-Absorptionsanlage ausgerüstet und alles anfallende Material wurde in dem sechsten Kupolofen, der mit einer Schwefelsäureanlage ausgerüstet war, stofflich verwertet. Nach fünf Jahren wurde diese Technik aufgrund nachhaltiger Betriebsschwierigkeiten mit unverhältnismäßig hohen Kosten (höher als die Entsorgungskosten) aufgegeben. Dieses Beispiel war ein innovatives Konzept, das sich leider im vorliegenden Fall als unzuverlässig erwies und daher für diesen Einsatzzweck nicht als eine gegenwärtig verfügbare und technisch erprobte Technik angesehen werden kann. Allerdings könnten die technischen Schwierigkeiten bei zukünftigen Anwendungen wahrscheinlich überwunden werden, aber dafür muss die wirtschaftliche Tragbarkeit des Verfahrens eingehend geprüft werden.

Bei der Steinwollerzeugung könnte der Einsatz eines Venturi-Wäschers als Alternative zur Trocken- oder Halbtrocken-Absorption in Betracht kommen. Gute Ergebnisse lassen sich bei der SO_x -Emissionsminderung (90 – 95 %) erzielen, aber die Technik hat eine geringere Wirksamkeit als ein Schlauchfilter zur Staubminderung. Außerdem werden wässrige Abfallstoffe erzeugt, deren stoffliche Verwertung schwierig ist. Bei einer kleinen Anzahl von Anlagen wird diese Technik seit mehr als 20 Jahren mit Erfolg angewendet. Obwohl es allgemein feststeht, dass diese Wäscher heutzutage nicht die bevorzugte technische Wahl darstellen, ist bekannt, dass dort wo sie vorhanden sind, ihr kontinuierlicher Einsatz sicherlich die BVT darstellt.

Vorteile

- Wesentliche Minderung der SO_x-Emissionen (je nach spezifischer Schwefelbilanz und Recycling),
- Verminderte Emissionen anderer Bestandteile (Chloride, Fluoride, Selen-Verbindungen, andere Säuren wie z.B. Borsäure),
- In den meisten Fällen kann der anfallende Staub recycelt werden, wodurch sich der Verbrauch an neuen Rohstoffen reduziert.

Nachteile

- Energiebedarf,
- Erzeugung fester Reststoffe, die bei nicht stofflicher Verwertung, den Abfallanteil erhöhen. In den meisten Fällen können diese Abfallprodukte recycelt werden, aber nicht ohne Prozessangleichung und daher ist die Wirksamkeit der Minderung von SO_x-Emissionen insgesamt begrenzt,
- Die Technik erfordert hohe Investitions- und Betriebskosten.

Tabelle 4.25: Wesentliche Vor- und Nachteile der Trocken- und Halbtrocken-Absorption

Installationsbeispiele

Es gibt viele Beispiele für den Einsatz dieser Verfahren, insbesondere der Trocken-Absorption in Verbindung mit einem Elektrofilter oder einem Schlauchfilter. Bei den meisten Schmelzwannen in Deutschland, die mit sekundären Staubminderungsmaßnahmen ausgerüstet sind, werden diese Techniken eingesetzt.

4.4.4 Fluoride und Chloride (HCl)

In diesem Abschnitt werden sämtliche gasförmigen Fluoride und Chloride als Fluorwasserstoff (HF) bzw. Chlorwasserstoff (HCl) bezeichnet. Die große Mehrheit der freigesetzten Halogenide ist in dieser Form vorzufinden. HF- und HCl-Emissionen entstehen aus Verunreinigungen in der Gemengerezeptur oder aus den gewählten Gemengestoffen, weil sie diese Bestandteile in ausreichenden Mengen enthalten, um die erstrebten Produktqualitäten zu erzielen.

4.4.4.1 Verminderung am Entstehungsort

Bei den meisten Prozessen entstehen HF- und HCl-Emissionen aus Verunreinigungen in den Gemengestoffen, die beim Schmelzen freigesetzt werden. Viele Rohstoffe enthalten sehr geringe Fluorid- und Chlorid-Werte, die wenig Auswirkung auf die endgültigen Emissionswerte haben. Allerdings enthalten einige Rohstoffe beachtliche Mengen dieser Bestandteile als Verunreinigungen, dazu zählen hauptsächlich:

- Von künstlich hergestellten Natriumkarbonat mit einem NaCl- Restgehalt von etwa 0,05 bis 0,15 %,
- Dolomit, bei dem wesentliche Fluorid-Verunreinigungen vorliegen können,
- Glasscherben aus Endverbraucher-Herkunft, die eine Reihe Verunreinigungen in erheblicher Menge enthalten können, insbesondere Chloride, Fluoride und Metalle. Die Menge dieser Bestandteile verändert sich je nach der Reinheit der Scherbenanlieferung, aber in Gegenden mit hohen Recycling-Quoten können sich die Bestandteile allmählich im Glas aufbauen,
- Recycelte Stäube aus Filteranlagen enthalten Fluorid- und Chlorid-Salze, die sich in dem System aufbauen können,
- Manche Brennstoffe (z.B. Koks aus bestimmten Gebieten) können Chloride enthalten.

Die Chlorid-Emissionen aus diesen Prozessen mit einem hohen Anteil an Natriumkarbonat im Gemenge (hauptsächlich Kalknatronglas) sind wesentlich höher als beispielsweise von Glaswolle oder Endlosglasfasern (siehe Kapitel 3). Von den Prozessen, die keine absichtlich hinzugefügten Bestandteile dieser Art im Gemenge enthalten, stammen die höchsten HCl- und HF-Emissionen aus Flachglas- und Behälterglas-Prozessen.

Die Emissionspegel können durch eine sorgfältige Auswahl der Rohstoffe minimiert werden. Fragen zu dem NaCl-Anteil in Natriumkarbonat werden in Abschnitt 4.4.1.1 erörtert. Eine Reihe anderer, in Kapitel 4 behandelten Techniken haben ebenfalls günstige Auswirkungen auf HF- und HCl-Emissionen. Hierbei handelt es sich hauptsächlich um Techniken zur Minderung der Verflüchtigung durch Senkung der Temperaturen, Verminderung der Luftströmung und Minimierung der Turbulenzen. Diese Techniken umfassen:

- Erhöhter Scherbeneinsatz zur Reduzierung von Temperatur und Energieeinsatz, Anwendung von Ersatzstoffen für Natriumkarbonat und der damit verbundenen Verunreinigung durch Chloride. Möglicherweise gibt es eine gegenläufige Wirkung bei Scherben mit hohen HCl- oder HF-Anteilen,
- Elektrische Zusatzbeheizung,
- Verbesserte Wannenauslegung und Schmelzwannengeometrie,
- Brenneranordnung
- Reduziertes Luft-Brennstoff-Verhältnis,
- LoNO_x-Brennersysteme,
- Sauerstoff-Brennstoff-Schmelzprozess,
- Elektrischer Schmelzprozess.

Bei einer Reihe von Produkten der Glasindustrie werden fluoridhaltige Stoffe eingesetzt, um dem Material spezifische Eigenschaften zu verleihen. Die wichtigsten Beispiele hierzu werden unten dargestellt.

Endlosglasfaser

Zur Herstellung von Endlosglasfasern ist normalerweise Fluor erforderlich. Fluor wird hinzugefügt, um die Oberflächenspannung und die Flüssigkeitseigenschaften zu optimieren, die Faserbildung zu unterstützen und die Bruchanfälligkeit der Elementarfäden zu minimieren. Diese Faktoren sind für die Wirtschaftlichkeit und Umweltleistung der Technik von ausschlaggebender Bedeutung. Hohe Bruchanteile führen zu geringerer Ausbeute und erhöhtem Abfall. Die Hauptquelle von zusätzlichem Fluor ist normalerweise Flussspat (CaF₂), wovon wesentliche Mengen auch in Kaolin (Aluminiumsilikat) vorhanden sein können.

Für die Entwicklung von Rezepturen ohne Fluorzusatz ist viel getan worden und in manchen Fällen war diese Arbeit mit hoher Wirkung verbunden. Einige Unternehmen haben eine Methode für den Einsatz einer Gemengerezeptur ohne Fluor für eine Reihe ihrer Schmelzwannen entwickelt. Ein anderes Unternehmen hat in ähnlicher Weise ein Verfahren für den Einsatz eines Gemenges ohne Zusatz von Fluor oder Bor entwickelt, und damit Staubemissionswerte unter 50 mg/Nm³ und HF-Emissionen in einem Bereich von 10 bis 50 mg/Nm³ erzielt. Die Optimierung dieser Prozesstechniken kann Änderungen der Wannenauslegung erforderlich machen, die am besten bei einer Wannenerneuerung durchzuführen sind.

Die Entwicklung von Glasarten mit geringem Fluor- und Boranteil ist das Ergebnis kostspieliger Entwicklungsarbeit, und die Technologie wird von den Unternehmen, die dafür investiert haben, streng geheimgehalten. Daher steht diese Prozesstechnik noch nicht für alle Betreiber zur Verfügung. Hinzu kommen langwierige und kostspielige Genehmigungsverfahren für die Produkt-Registrierung, die für neue Produkte mit Rezepturänderungen notwendig sind.

Fritten-Herstellung

HF-Emissionen stehen in direktem Zusammenhang mit dem Einsatz von Fluorid-Verbindungen im Gemenge. Fluoride kommen vorwiegend bei der Herstellung von Emaille-Fritten zum Einsatz und sind normalerweise nicht in erheblichen Mengen in den Rohstoffen zur Herstellung von Keramik-Fritten vorhanden. Einige Keramik-Frittenhersteller produzieren zeitweise kleinere Mengen an Emaille-Fritten in Keramik-Frittenwannen, wodurch HF-Emissionen entstehen, aber dies stellt nur einen sehr geringen Teil der Gesamtproduktion des Betreibers dar. Fluorid-Emissionen haben offenbar den größten Einfluss auf die Umweltbelastung durch die Herstellung von Emaille-Fritten.

Fluoride verleihen den Fritten einzigartige Eigenschaften, wie erhöhte thermische und chemische Festigkeit und verminderte Blasenbildungsgefahr der Emaille-Oberflächenschicht. Sie werden dem Gemenge in Form von Flussspat, Fluorsilikat, Kryolith oder Natrium-Fluorsilikat zugegeben. Die meisten Hersteller bieten jetzt gewisse Emaillesorten ohne HF oder mit geringem HF-Anteil an und die Verfügbarkeit dieser Produkte nimmt

ständig zu. Zur Zeit der Abfassung dieses Dokuments stellen HF-freie Produkte weniger als 10 % der Produktion dar und Produkte mit geringem Fluoridgehalt entsprechen etwa 30 % des Produktionsaufkommens. Im Allgemeinen können Fluoride im Gemenge nicht in ausreichendem Maße reduziert werden, um Emissionswerte zu erreichen, im Vergleich zu den Absorptionsverfahren oder anderen Frittenarten.

Opalglas

Opalglas wird in den Sektoren Wirtschaftsglas, Spezialglas und gelegentlich im Behälterglas-sektor hergestellt. Die Zugabe von Fluorid bewirkt die Kristallisierung im Glas und verleiht dem Glas auf diese Art und Weise den charakteristischen, undurchsichtigen und opalisierenden Effekt. Die meisten Anlagen für diese Herstellungstechnik verwenden die Trocken-Absorptionstechnik zur Behandlung der HF-Emissionen. Es stehen keine praktikablen Alternativen für die Produktion einer vergleichbaren Qualität zur Verfügung. In vielen Fällen wird Opalglas in Cold-Top-Elektrowannen geschmolzen. Dadurch werden die Emissionen vermindert, weil ein wesentlicher Fluorid-Anteil von der Gemengedecke absorbiert wird und insgesamt weniger Fluoride benötigt werden. Der Einsatz der Elektro-Schmelztechnik vermindert ebenfalls das zu behandelnde Abgasvolumen.

Im Spezialglas-sektor wird ebenfalls fluorhaltiges Kronglas erzeugt, wobei es sich um ein Produkt für die Optik mit sehr hohem Fluoridgehalt handelt. Die Produktionsmenge für diese Art Glas ist äußerst gering und in den EU-Ländern wird hierfür immer eine Abgasbehandlung vorgenommen.

Im Allgemeinen sind Maßnahmen zur Verringerung der Emissionen am Entstehungsort anstelle der Abgasbehandlung zu bevorzugen. Bei fluorhaltigen Glasarten können Maßnahmen zur Verminderung der Fluorgehalte zu erheblichen Einschränkungen der Betriebsbedingungen führen und machen beachtliche Entwicklungsarbeiten erforderlich. In den Fällen, bei denen vom Gesetzgeber Emissionsreduzierungen vorgeschrieben sind, haben sich viele Hersteller für eine Abgasreinigung und insbesondere für die Trocken-Absorption entschieden.

4.4.4.2 Reinigungsverfahren

Die Haupt-Reinigungsmethoden für derartige Emissionen sind die Trocken- und die Halbtrocken-Absorption. Diese Techniken mit den erreichbaren Emissionswerten werden in obigem Abschnitt 4.4.3.3. behandelt. Die Wahl des Absorptionsmittels ist von wesentlicher Bedeutung und manchmal gibt es ein schwieriges Hin und Her zwischen der SO₂-Emissionsminderung und der Reduzierung der HF- und HCl-Emissionen. Insbesondere gibt es ein Konkurrieren zwischen der Reaktion von HCl/HF und SO₂ mit Natriumkarbonat. Die optimale Wahl ist von einer Reihe Fragen abhängig, einschließlich der relativen Anteile der einzelnen Schadstoffe in den Abgasen.

Eine weitere technisch und wirtschaftlich vertretbare Technik für Prozesse in kleinstem Umfang (z.B. manche Fritten-Schmelzwannen) wäre die Nasswäsche unter Anwendung eines Füllmaterialwäschers mit Wasserzirkulation oder noch wirkungsvoller mit einer alkalihaltigen Lösung. Der Hauptnachteil bei einer derartigen Lösung ist die Erzeugung eines wässrigen Abgasstroms.

4.4.5 Kohlenoxide

Kohlenoxide enthalten Kohlendioxid (CO₂) und Kohlenmonoxid (CO). Kohlenmonoxid entsteht aus einer unvollständigen Produktverbrennung und wird selten von Glasproduktionsanlagen in einem Ausmaß freigesetzt, das Umweltbefürchtungen verursachen könnte. Beträchtliche Anteile sind bei Steinwollekuppelöfen anzutreffen, aber die meisten Anlagen sind mit einem Nachbrenner zur Oxidierung der Emissionen vor ihrer Freisetzung ausgerüstet. Kohlendioxid entsteht aus der Verbrennung fossiler Brennstoffe oder anderer organischer Stoffe und aus der Zersetzung von karbonathaltigen Gemengestoffen.

Karbonate wie Natriumkarbonat und Kalk sind die Hauptursachen für alkalihaltige Metalloxide und alkalihaltige Erdmetalloxide bei der Glasherstellung. Die einzige wahre Alternativquelle für diese Oxide ist der Endverbraucherabfall sowie Prozessabfälle. Dieses sind Scherben für Glasprozesse und Prozessabfälle, recycelte Produkte und Schlacke (nur Steinwolle) für Mineralwolle. Die mit diesem Material zusammenhängenden Fragen werden an anderer Stelle dieses Dokuments erörtert, aber in der Regel ist der Hauptfaktor für ihren begrenzten Einsatz die Verfügbarkeit entsprechender Materialmengen mit ausreichender

Qualität und Beschaffungsmöglichkeit. Hohe Verbrauchsmengen dieser Materialien beschränken sich im Allgemeinen auf Behälterglas und Steinwolle.

Kohlendioxid hat weitgehend bekannte Umweltauswirkungen, ist aber nicht eines der Hauptbestandteile der in Anhang III der Richtlinie 96/61/EG aufgeführten Substanzen für die Umweltschädigung. Der zunehmende Einsatz von recyceltem Material in der Glasindustrie beruht auf der Notwendigkeit von Energieeinsparungen und der Abfallreduzierung und die Wirkung durch das Ersetzen karbonhaltiger Stoffe ist ein zusätzlicher Vorteil. In ähnlicher Weise ist die Minderung der CO₂-Emissionen durch den gesenkten Brennstoffverbrauch geprägt von der Notwendigkeit, den Energieverbrauch und die Betriebskosten zu reduzieren und durch den Druck, niedrigere NO_x-Emissionen zu erzielen.

Viele in diesem Kapitel behandelte Prozesse haben erhebliche Auswirkungen auf die CO₂-Emissionen, aber zur Festlegung der BVT für Anlagen der Glasindustrie werden keine Techniken berücksichtigt, die den Rahmen der hier behandelten Fragen in Bezug auf Energie und andere Schadstoffe überschreiten.

4.5 Techniken zur Überwachung von Emissionen in die Luft aus Nicht-Schmelzprozessen

Dieser Abschnitt befasst sich mit Arbeitsvorgängen, die sich nicht auf das Schmelzen oder die Materialhandhabung beziehen. Diese Vorgänge beinhalten die Produktformgebung und alle Aktivitäten, die mit diesen Produkten vorgenommen, und normalerweise als Teil des Hauptprozesses berücksichtigt werden. Bei den meisten Arbeitsvorgängen in der Glasindustrie stellt das Schmelzen der Rohstoffe die Haupttätigkeit dar, und daher werden die nachfolgenden Aktivitäten in diesem Dokument gelegentlich als "nachgeschaltete" Vorgänge bezeichnet.

Angesichts der sehr spezifischen Art der nachgeschalteten Betriebsvorgänge wird die Behandlung auf sektorbezogener Basis vorgenommen.

4.5.1 Behälterglas

Die Hauptursache für Emissionen in die Luft aus Nicht-Schmelzaktivitäten in der Behälterglasfertigung ist die Vergütung am heißen Ende. Diese Vergütung in Form einer sehr feinen Schicht aus Metalloxid erfolgt, nachdem die heißen Behälter direkt nach der Formgebung durch einen Tunnel mit Dämpfen aus Zinn oder Titan-Verbindungen laufen. Die am häufigsten verwendeten Stoffe sind kristallwasserfreies Zinntetrachlorid (SnCl₄), kristallwasserfreies Titantetrachlorid (TiCl₄), und Monobutyl-Zinnchlorid (C₄H₉SnCl₃). Die Emissionen bestehen aus HCl, Oxidchloriden, Zinn- und Titanoxiden (SnO₂, TiO₂) als Feinpartikel, und jeder Art reaktionsfähiger Vergütungsmittel. Geringfügige VOCs können ebenfalls durch Kaltvergütungsprozesse entstehen. Diese Emissionen werden nicht als wesentlich angesehen und daher auch nicht weiter in diesem Dokument beschrieben.

Der erste Schritt zur Emissionsreduzierung besteht darin den Verbrauch an Vergütungsmitteln zu minimieren, die den Produktanforderungen entsprechen. Der Einsatz des Materials kann weiter optimiert werden, indem für eine gute Abdichtung der Anwendungsbereiche gesorgt wird, um Verluste zu minimieren.

Gegenwärtig stehen hauptsächlich vier Optionen zur Abgasbehandlung zur Verfügung, die wie folgt lauten:

- (a) Absaugung und direkte Emission in die Atmosphäre unter Gewährleistung guter Verteilung,
- (b) Absaugung und Behandlung durch Sekundärmaßnahmen, z.B. Nass-Wäsche,
- (c) Kombination der Abgase mit dem Abgas aus der Wanne,
- (d) Kombination der Abgase mit der Wannen-Verbrennungsluft.

Die Option (a) bewirkt keine Emissionsminderung und wird daher hier nicht weiter behandelt. Allerdings bei sehr geringen Emissionen kann diese Option unter gewissen Umständen als geeignet angesehen werden. Durch Option (d) können einige Überwachungsmaßnahmen zur weitgehenden NO_x- und Staubemissions-Minderung

eingeschränkt werden und obwohl offenbar unwesentlich, sollten die Auswirkungen auf die Glaschemie in Betracht gezogen werden. Es sind keine diesbezüglichen Beispiele bekannt, aber unter gewissen Umständen wäre eine entsprechende Berücksichtigung angebracht.

Option (c) ist dann angebracht, wenn Sekundärmaßnahmen zur Vermeidung der Abgase aus der Wanne eingesetzt werden. Bei einer Rückführung der erfassten Stoffe sollte die Auswirkung von Metallen auf das Glas und die Ansammlung von Chloriden in dem System Beachtung finden. Diese Betrachtungen können in manchen Fällen die Staubrückführung einschränken. Wenn keine Sekundärmaßnahmen angewendet werden, kommt nur eine Verdünnung der Emissionen in Betracht.

Wie bereits an anderer Stelle erwähnt, können Nass-Wäscher zur Verringerung gasförmiger Emissionen wirksam sein, jedoch ist ihre Wirksamkeit zur Behandlung von Feinstäuben durch den gesamten Druckabfall begrenzt. Die Leistungsfähigkeit ist abhängig von der Zusammensetzung am Einlasspunkt, jedoch dürfte ein einstufiger Wäscher ausreichen, um die Einhaltung der örtlichen Anforderungen zu gewährleisten. Werden weitere Reduktionsmöglichkeiten erwünscht, dann kann entweder ein Schlauchfilter mit anschließendem Füllmaterialwäscher oder ein Venturi-Wäscher mit nachgeschaltetem Füllmaterialwäscher eingesetzt werden. Bei diesen Techniken ist zu erwarten, dass die HCl-Emissionen auf weniger als 10 mg/Nm³, die Emission partikelförmiger Stoffe auf 5 bis 10 mg/Nm³ und die Gesamtmallemissionen auf insgesamt 1 bis 5 mg/Nm³ vermindert werden. Wenn HCl als Aerosol-Emission vorhanden ist, dürften Emissionswerte von weniger als 30 mg/Nm³ erwartet werden. Die Kosten für diese Alternativen hängen von dem Abgasvolumen ab. Je nach den Umständen vor Ort können vergleichbare Werte mit weniger komplizierten Methoden erreicht werden. Sind weitere Verminderungen erwünscht, kann entweder ein Schlauchfilter mit anschließendem Füllmaterialwäscher oder ein Venturi-Wäscher mit anschließendem Füllmaterialwäscher eingesetzt werden.

4.5.2 Flachglas

Im Allgemeinen sind Emissionen in die Luft aus Nicht-Schmelzprozessen in der Flachglaserzeugung sehr gering und verlangen keine Minderungsmaßnahmen. Bei ordnungsgemäßem Betreiben des Floatglasbads entstehen keine nennenswerten Emissionen aus Zinndämpfen. SO₂ wird am Anfang der Kühlbahn eingesetzt, aber wie erwähnt, bei richtiger Prozessanwendung sind die Emissionen von minimaler Bedeutung. Die einzigen weiteren, potentiellen Emissionen sind Verbrennungsprodukte aus Erdgaswärmern in der Kühlbahn. Eine Ausnahme hierzu bildet die Anwendung von on-line Vergütungsprozessen. Die Emissionen aus diesen Prozessen sind sehr fallspezifisch und zur Beschreibung der verwendbaren Techniken wird hier ein aktuelles Beispiel angeführt.

Die Rohstoffe für diesen Vergütungsprozess lauten: Zinntetrachlorid (SnCl₄), Hydroflusssäure (HF), Methanol (CH₃OH) und ein Silan (SiH₄). Es gibt zwei getrennte Vergütungsstadien, eine SiCO Unterschichtvergütung und eine mit Fluorid angereicherte Zinnoxid-Deckschicht. Emissionen aus der unteren Schicht laufen durch einen thermischen Verbrennungsofen zur Zerstörung sämtlicher organischer Stoffe, das Abgas wird abgekühlt und die Feststoffe (amorphes Silikat) werden durch einen Schlauchfilter beseitigt. Die angesammelten Stoffe werden in den Ofen zurückgeführt.

Im Stadium der Oberflächenvergütung laufen die Abgase, die Halogenide und Zinnverbindungen enthalten, durch einen Reaktor bei hoher Temperatur zum Oxidieren der Zinnverbindungen. Das feste Zinnoxid wird durch einen Elektrofilter beseitigt und die Halogenide werden chemisch durch einen Füllmaterialwäscher entfernt.

Die erzielten Emissionswerte lauten wie folgt:

Partikelförmige Stoffe	15 mg/Nm ³
Chlorwasserstoff	5 mg/Nm ³
Fluoride und deren gasförmige Verbindungen als HF	<1 mg/Nm ³
Metalle	<5 mg/Nm ³

Allgemein können Emissionen dieser Art durch den Einsatz einer Kombination aus den nachfolgenden Prozessverfahren überwacht werden und in einigen Fällen können sich gleichwertige Verfahren als wirksam erweisen.

- Schlauchfilter oder Elektrofilter zur Verminderung der Staubemissionen, obwohl ein Schlauchfilter offenbar niedrigere Emissionswerte (1 bis 5 mg/Nm³) ergibt,
- Obige Techniken sind mit Trocken-Absorption kombinierbar,
- Chemische Nasswäscher,
- Oxidation bei hoher Temperatur, thermische Verbrennung oder Ähnliches.

Die Kosten hängen von standortspezifischen Umständen ab, werden aber allgemein nicht als unverhältnismäßig im Vergleich zu den erzielten Ergebnissen angesehen.

4.5.3 Endlosglasfaser

Die vier Hauptquellen für Emissionen in die Luft aus Nicht-Schmelzprozessen in diesem Sektor sind:

- Aufbringen der Glasfaserbeschichtung,
- Kuchentrocknung,
- Schneiden und Mahlen,
- Sekundärverarbeitung.

Emissionen in die Luft durch die Oberflächenvergütung der Glasfaser sind gewöhnlich ziemlich unbedeutend, angesichts der geringen Verflüchtigung der Schichten und der niedrigen Glastemperaturen beim Auftragen. Ein wichtiger Aspekt ist hier die Auswahl von Schichten mit geringen organischen Lösemittelanteilen. Allerdings sind einige flüchtige Komponenten entweder als Lösemittel oder als Nebenprodukte aus den Reaktionsvorgängen vorzufinden. Die verwendeten Vergütungsmittel richten sich weitgehend nach den Produkten und Anlagen, jedoch ist die Werkstoffauswahl die wirksamste Methode zur Emissionsminderung. Die hohen Luftvolumen, die zur Abkühlung des Glases notwendig sind, machen eine Überwachung der VOC-Emissionen durch Sekundärmaßnahmen äußerst schwierig und kostspielig.

Durch die starken Luftströme werden zeitweise Tropfen von der aufgespritzten Schichte mitgerissen, wodurch die Verflüchtigung vorhandener VOC-Emissionen noch unterstützt wird. Nass-Wäschersysteme kommen häufig zur Überwachung der Abgase zum Einsatz, jedoch begrenzt sich die Wirkung auf die Kondensation der flüchtigen Bestandteile. Nass-Elektrofilter könnten bei dieser Anwendung auch eingesetzt werden, aber hierfür sind keine Beispiele bekannt. Die Kosten für die Nass-Wäsche und die Nass-Elektrofilter sind vergleichbar mit dem Aufwand, der für den Mineralwollesektor gilt. Die erzielten Emissionswerte hängen ausschließlich von den fallspezifischen Anfangswerten ab. Einige Maximalwerte werden in Kapitel 3 genannt.

Die feuchten Kuchen werden gewöhnlich in Öfen getrocknet und alle flüchtigen Bestandteile werden bei diesen Temperaturen mit dem Wasserdampf freigesetzt. Im Allgemeinen ist das jeweilige Molekulargewicht der Stoffe ziemlich hoch und ein erheblicher Teil an flüchtigen Bestandteilen wird beim Aufbringen der Vergütung freigesetzt. Über die Emissionswerte (siehe Kapitel 3) gibt es wenige Informationen und die einzige derzeit eingesetzte Technik zur Minimierung der Emissionen ist die Materialauswahl. Die Abgasvolumen sind ziemlich gering und Standard-Überwachungsmaßnahmen könnten bei der Identifizierung starker Emissionsvolumen verwendet werden, wie zum Beispiel Verbrennung, Adsorption und Wäscher. Keine Kosteninformationen sind für diese Techniken und diese Anwendung bekannt, aber derartige Techniken stehen bereits für geringe Abgasvolumen zur Verfügung. Allerdings wird es immer von Vorteil sein, derartige Emissionen durch eine optimale Rezeptur der Schichte zu überwachen vor Installierung irgendwelcher Minderungsmaßnahmen.

Staubemissionen durch Schneiden und Zerkleinern können mit einem Filtersystem ohne weiteres abgesaugt werden. Dies ist eine überall in diesem Sektor eingesetzte Standardtechnik, und dadurch können Emissionswerte im Bereich von 1 bis 5 mg/Nm³ erzielt werden.

Die Sekundärverarbeitung kann den Einsatz weiterer Beschichtungs- oder Bindemittel erforderlich machen. Die Emissionen sind sehr fallspezifisch und Standard-Reduktionsmaßnahmen zur Vermeidung von VOC-Emissionen und Gasspuren lassen sich einsetzen, falls mit Primärmaßnahmen die geforderten Leistungsniveaus nicht erreicht werden können.

4.5.4 Wirtschaftsglas

Bei den meisten Wirtschaftsglas-Prozessen entstehen keine erheblichen Emissionen in die Luft aus den der Wanne nachgeschalteten Aktivitäten. Eine Reihe von Brennersystemen wird eingesetzt, um die richtige Glastemperatur zum Feuerpolieren und in der Entspannungszone aufrechtzuerhalten, jedoch gibt es keine wesentlichen Emissionen, die spezifische Kontrollmaßnahmen verlangen. Eine Ausnahme bildet die Herstellung von Artikeln, die geschnitten und poliert werden müssen, insbesondere höherwertiges Bleikristall, Bleikristall und Kristallglas.

Glasschneiden setzt die Eingravierung präziser Muster auf der Glasoberfläche mit Diamantwerkzeugen voraus, was entweder von Hand oder maschinell erfolgt. Andere Schneide- und Schleifmethoden, wie beispielsweise das Kantenschleifen können ebenfalls angewendet werden. In der Regel wird Wasser als Kühlmittel zum Schneiden sowie zur Vermeidung von Staubemissionen benutzt. Ein Extraktionssystem zur Reinigung trüber Kühlwasserflüssigkeiten kann ebenfalls benutzt werden. Wenn diese Vorgänge unter Anwendung eines flüssigen Kühlmittels erfolgen, entstehen keine merklichen Emissionen in die Luft, obwohl ein Mittel zur Verhinderung der Schleierbildung mit dem Extraktionssystem notwendig sein kann. Beim Schneiden oder Schleifen in trockenem Zustand kann der Staub abgesaugt und durch ein wirksames Schlauchfiltersystem geführt werden, um Staubemissionen in einem Bereich von 1 bis 5 mg/Nm³ zu erzielen.

Durch das Schneiden von Glas entsteht eine graue, unfertige Glasoberfläche. Durch Eintauchen in ein Polierbad aus HF- und Schwefelsäure wird der ursprüngliche Zustand wiederhergestellt. HF- und SiF₄-Dämpfe werden von der Oberfläche des Polierbads freigesetzt. Die wirksamste Art und Weise, diese Emissionen zu behandeln, ist normalerweise die Nass-Wäsche entweder mit Wasser oder mit einer chemischen Lösung. Bei diesem Vorgang entsteht Hexafluorsiliziumsäure (H₂SiF₆) (bis zu 35 %) und die säurehaltige Waschemulsion muss neutralisiert werden. Als Alternative ist eine Rückgewinnung von H₂SiF₆ möglich und wo es sich anbietet, kann eine Verwendung als Beschickungsmaterial in der chemischen Industrie erfolgen.

Sehr niedrige Emissionswerte können mit Nasswäschern bei diesen Anwendungen <5 mg/Nm³ erreicht werden. Angesichts des sehr hohen Säuregehalts der Emissionen besteht eine hohe Wasserlöslichkeit, so dass eine chemische Wäsche offenbar nicht notwendig ist. Eine chemische Wäsche reduziert den Wasserverbrauch, verhindert aber die Rückgewinnung von H₂SiF₆ aus der ablaufenden Flüssigkeit. Alternative Methoden anstatt Polieren mit Säure sind in der Entwicklung, wie z.B. mechanisches Polieren und Polieren unter hohen Temperaturen, entweder mit Flambrennern oder Laserstrahl, aber zum Zeitpunkt der Abfassung dieses Dokuments können diese Verfahren noch nicht als verfügbar angesehen werden.

4.5.5 Spezialglas

Im Allgemeinen treten in diesem Bereich keine wesentlichen Emissionen in die Luft aus nachgeschalteten Standardverfahren auf. Für die TV-Glaserzeugung sind Schleif- und Poliervorgänge erforderlich, aber diese Arbeitsvorgänge werden unter flüssigen Medien ausgeführt und dürften keine Emissionen in die Luft entstehen lassen. Wenn TV-Glas oder andere Produkte geschnitten, geschliffen oder poliert werden müssen, können die Emissionen durch Absaugung mit einem Schlauchfiltersystem überwacht werden, sodass die Staubemissionen in einem Bereich von 1 bis 5 mg/Nm³ liegen. Hier handelt es sich um einen sehr vielseitigen Sektor, und bei manchen Anlagen werden bestimmte Arbeitsvorgänge vorgenommen, die eine standortspezifische Berücksichtigung verlangen.

4.5.6 Mineralwolle

Emissionen aus Nicht-Schmelzprozessen im Mineralwollesektor entstehen durch vier Hauptvorgänge: Formgebung, Aushärtung, Produktabkühlung und Produktbearbeitung und Verpackung. Kapitel 3 weist darauf hin, dass die Emissionen aus Formgebung und Aushärtung am bedeutendsten sind. Diese Emissionen stehen weitgehend in Zusammenhang mit der Verwendung von Bindemitteln auf Phenolharzbasis.

Die in diesem Sektor üblichen Verfahren werden für den Formbereich und den Aushärtungsbereich zweckmäßigerweise getrennt beschrieben und weil die Art der Abgase unterschiedlich ist. Allerdings sind einige Verfahren für beide Bereiche anwendbar und insbesondere bei der Glaswolleherstellung kann es von

Vorteil sein, die Emissionen für die Minderungsmaßnahmen zu kombinieren. Wo dies der Fall ist, werden die Techniken sehr ausführlich für den Formbereich mit einem Hinweis auf die Aushärtung beschrieben.

Es gibt einige wesentliche Unterschiede zwischen Emissionen aus den Fertigungslinien --aus Glaswolle- und Steinwolle-Prozessen und diese Unterschiede werden in den Abschnitten behandelt, in denen die Techniken am zutreffendsten sind.

4.5.6.1 Formbereich

Im Formbereich wird die Glas- oder Steinschmelze zerfasert und das Bindemittel aufgetragen. Die mit Harz beschichtete Faser wird auf ein Förderband mit einer Ansaugvorrichtung gegeben. Bei Glaswolleprozessen wird Wasser in die Extraktionsrohre und in den Ventilator gesprüht. Dieser Vorgang erfüllt zwei Funktionen, die Vermeidung einer Brückenbildung des Materials in den Rohrleitungen sowie die Beseitigung partikelförmiger und gasförmiger Stoffe aus dem Abgasstrom. Steinwolleprozesse unterscheiden sich durch die Anwendung von Overspray, manche sind vergleichbar mit Glaswolleanlagen, aber viele verwenden überhaupt kein Wassersprühverfahren. Steinwollekuppelkampagnen haben eine Betriebsdauer von nur wenigen Wochen und daher gibt es ausreichend Gelegenheit für die Reinigung der Rohrleitungen und deshalb werden Wassersprühanlagen nicht immer für notwendig gehalten.

Das Abgas im Formbereich enthält offenbar wesentliche Anteile an partikelförmigen Stoffen, Phenol, Formaldehyd und Ammoniak. Die partikelförmigen Stoffe bestehen aus anorganischen und organischen, oft klebrigen Stoffen von geringer Korngröße. Geringere VOC-Werte und Amine werden ebenfalls festgestellt, wenn diese Stoffe im Bindemittel enthalten sind. Aufgrund der Prozessart liegt die Abgasströmung geringfügig über der Umgebungstemperatur, hat ein hohes Volumen und (wenn Overspray verwendet wird) ist mit Wasser gesättigt. Diese Eigenschaften kombiniert mit der Art der Schadstoffe bewirken, begrenzen die Anzahl von Minderungsmaßnahmen, die angewendet werden können.

Die Freisetzungen werden durch eine Reihe von Faktoren wesentlich beeinflusst, jedoch insbesondere durch:

- Bindemittelsystem-Chemie,
- Zerfaserungstechnik,
- Betriebsbedingungen (Temperatur, Luftströmung und Feuchtigkeit),
- Bindemittelanteil und
- Methode des Bindemittelauftrags.

Eine Optimierung dieser Parameter in Verbindung mit Overspray kann die Prozess-Emissionen wesentlich reduzieren. Die Chemie des Bindemittelsystems ist eine der wichtigsten Kenngrößen und hat eine erhebliche Auswirkung auf das Prozesswassersystem und auf die Emissionen aus Zerfaserung, Aushärtung und Abkühlung. Die Bindemittelsysteme unterscheiden sich je nach Betreiber und sind im Allgemeinen außerhalb dieses Sektors wenig bekannt. Diese Systeme können sehr werkspezifisch ausfallen und müssen auf individueller Basis berücksichtigt werden. Im folgenden Abschnitt werden einige der Hauptfragen zusammengefasst.

Harz- und Bindemittel-Chemie

Die Optimierung der chemischen Zusammensetzung des Bindemittels und die Wirksamkeit der Anwendungsmethode können eine wesentliche Einflussnahme auf die Freisetzungen in die Umwelt haben. Das Bindemittel stellt ebenfalls einen hohen Anteil der Kosten des Endproduktes dar. Daher betrachten die Prozess-Betreiber die Entwicklungsfortschritte in der Bindemittel-Chemie und bei den Anwendungstechniken als streng vertraulich.

Das Bindemittel besteht aus Wasser, Phenolharz, Harnstoff, Ammoniumsulfat, Silan, Mineralöl, Silikonöl und möglicherweise anderen Substanzen speziell für den individuellen Prozess. Das Harz ist hauptsächlich eine Phenol-Resolharz-Komponente und besteht aus einer Mischung von Trimethylolphenol, Dimethylolphenol, Formaldehyd, geringfügiger Reaktionsprodukte aus Phenol- und Formaldehyd und aus Phenolspuren. Das Harz basiert auf Wasser und typischerweise aus 50 % Feststoffen. Eine Überdosis an Formaldehyd wird für die Reaktion eingesetzt, um einen geringen Wert an freiem Phenol zu erzielen.

Manche Harze sind aminkatalysierte Formulierungen und können hohe Werte an gasförmigen Aminen im Abgas verursachen. Diese Emissionen lassen sich im Prinzip durch den Einsatz anderer Katalysatorsysteme für die Harzherstellung beseitigen. Eine Reihe Bestandteile können verwendet werden, aber genaue Einzelheiten für optimale Harzsysteme sind normalerweise Firmeneigentum. Bei dem Einsatz von nicht-aminkatalysierten Harzsystemen können Emissionswerte von weniger als 5 mg/Nm³ erreicht werden. Bei nicht ausreichender Eigenerfahrung mit aminfreien Harzsystemen stehen spezialisierte Herstellerfirmen zur Verfügung.

Durch die Reaktion von Harnstoff mit Harz wird das Harz verlängert, um die Werte von freiem Formaldehyd zu reduzieren, und dies bewirkt ebenfalls eine erhöhte Brandfestigkeit des Endproduktes. Harnstoff reagiert mit dem freigesetzten Formaldehyd und bildet Methylol-Harnstoffe, die wiederum mit den aktiven Gruppen des Phenolharzes reagieren und an dem Vernetzungsmechanismus während der Härtung teilnehmen. Der Harnstoff verhält sich wie ein Ersatzstoff für Phenol und führt zu einem kostengünstigeren Bindemittel. Daher besteht seitens der Betreiber ein Anreiz, die Harnstoffmenge im Harz so hoch wie möglich zu halten und zwar bis zu dem Punkt, an dem die Produktqualität oder die Verarbeitungsparameter gegenteilig beeinflusst werden.

Harnstoff hat zwei wesentliche Nachteile, er vermindert die Löslichkeit des Harzes und kann sich sowohl im Formbereich als auch im Härteofen zersetzen und Ammoniak bilden. Aus der Umweltschutz-Perspektive ist eine maximale Harnstoffanwendung von Vorteil, da hierdurch die Freisetzung von Formaldehyd verringert und Phenol ersetzt wird, und weil die mit Harnstoff zersetzten Produkte im Vergleich zu Phenolharzderivaten und teilweisen Verbrennungsprodukten vorzuziehen sind, die andernfalls freigesetzt würden.

Ammoniak spielt mehrere wichtige Rollen im Bindemittelsystem und ermöglicht eine gewisse Flexibilität, die zur Optimierung des Prozesses als Ganzes sehr wichtig ist. Ammoniak erhöht die Löslichkeit des Bindemittels, wodurch mehr Harnstoff hinzugefügt werden kann und eine längere Topfzeit erreicht wird. Ammoniak verhilft ebenfalls, den pH-Wert im richtigen Bereich zu halten und reagiert mit freiem Formaldehyd. Angesichts der Prozessbeschaffenheit ist es möglich, dass höhere Ammoniakmengen als normalerweise üblich über kurze Zeit freigesetzt werden. Die Auswirkungen infolge verminderter Ammoniakmengen in dem Prozess können in einem nichtproportionalen Verhältnis zu den Auswirkungen auf den restlichen Prozess sein und die Freisetzung größerer Mengen Ammoniak kann insgesamt geringere Emissionen ergeben.

Ammoniumsulfat wird zur Überwachung der Aushärtung des Harzes zugesetzt. Silane sind sehr wichtig für das Grenzflächenverhalten zwischen dem anorganischen Glas und dem organischen Bindemittel. Hydroxyle Silangruppen stehen in Wechselwirkung mit den Glas-Oxiden, und die funktionellen organischen Gruppen reagieren mit dem Harz und es entsteht eine starke Bindung. Mineral- und Silikonöle werden zugesetzt, um die Handhabung des Produktes zu verbessern und die Staubbildung zu verhindern und, um bis zu einem gewissen Grad, wasserabweisende Eigenschaften zu verleihen.

Wenn das Bindemittel im Formbereich auf das heiße Glas aufgetragen wird, verdampfen die flüchtigen Bestandteile (d.h. Ammoniak, Formaldehyd und Phenol) und werden bis zu dem Freisetzungspunkt entzogen. Der Freisetzunganteil an flüchtigen Bestandteilen ist von der Menge flüchtiger, unreaktierter Stoffe im Bindemittel abhängig sowie von der Verdünnung des Bindemittels, der Temperatur im Formbereich und von der Glastemperatur. Das Bindemittel wird als Feinschicht aufgesprüht und eventuelle Tropfen, die nicht zurückgehalten werden, werden mit der abgesaugten Luft von der Matte entfernt. Die Dauer der Bindemittelverweilzeit auf dem Produkt ist abhängig von Tropfengröße und -verteilung, von der Mattendicke und dem verwendeten Unterdruck.

Verschiedene Alternativen zu Bindemitteln auf Phenolharzbasis wurden getestet, aber keine davon lieferte eine annehmbare Produktqualität.

4.5.6.1.1 Wasserstrahlreiniger und Zyklonabscheider

Beschreibung der Technik

Ein wichtiges Element bei der Untersuchung geeigneter Minderungsmaßnahmen im Formbereich ist der Wassergehalt des Abgasstroms. Die kontinuierliche Glaswolleherstellung erfordert den Einsatz eines Reinigungssystems zur Vermeidung des Aufbaus klebriger, organischer Stoffe und Fasern in den Absaugleitungen und im Ventilator. Bei der normalerweise eingesetzten Technik handelt es sich um Overspray, das unterschiedliche Formen annehmen kann. Die nichtkontinuierliche Art der Steinwolleherstellung in Kupolöfen (Betriebsdauer 1 bis 3 Wochen) bietet Gelegenheit zur Reinigung der Rohrleitungen, falls

notwendig. Auch zur Steinwolleproduktion ist relativ wenig Bindemittel pro Produktvolumeneinheit erforderlich und daher verläuft die Brückenbildung langsamer. Bei einigen Steinwolle-Prozessen werden Wassersprüher im Formbereich eingesetzt, aber die bevorzugte Technik ist jeweils weitgehend abhängig von dem Betreiber oder von ortsspezifischen Betriebsanforderungen.

Bei der Anwendung von Wassersprühern zur Reinigung der Rohrleitungen ist es logisch, deren Einsatz zu optimieren, um auch das Abgas zu reinigen. In dieser Situation ergänzen sich die beiden Ziele durchaus, denn je mehr Stoffe aus den Abgasen beseitigt werden, je wirksamer ist die Reinigungsfunktion. Die Anpassung des Systems geht im Allgemeinen über die erforderliche Mindestleistung hinaus, um einen nicht annehmbaren Aufbau in den Rohrleitungen zu vermeiden. Im Rahmen dieses Sektors wird der Begriff Wasserstrahlreiniger zur Beschreibung dieser optimierten Technik benutzt.

Für eine optimale Wirksamkeit der Abgasreinigung können hohe Wassermengen unter starkem Druck eingesetzt werden, jedoch wird hierdurch kein wesentlicher Druckabfall erzeugt. Die gestalterische Konstruktion der Wasserstrahlreiniger unterscheidet sich zwar je nach Prozesstechnik, ist aber für eine optimale Wirksamkeit der Technik ausgelegt, sowohl für die Rohrreinigung als auch für die Abgaswäsche. Um das mitgeführte Wasser aus dem Abgasstrom zu beseitigen, werden Wasserstrahlreiniger immer in Verbindung mit Zyklonen (oder anderen Varianten) kombiniert, die sich auch auf die Partikelwerte auswirken, je nach der in Abschnitt 4.4.1.4. beschriebenen Auslegung.

Partikelförmige Stoffe und Tropfen werden durch Schlag/Stoß und in geringerem Maße durch Diffusion beseitigt. Einige Systeme zeichnen sich durch eine Leitungsverengung aus, um die Beseitigungswirksamkeit zu erhöhen, jedoch ist die Wirksamkeit der Beseitigung vorwiegend abhängig von dem Druckabfall, der bei allen Systemen dieser Art gering ist.

Gasförmige Substanzen werden zum Teil durch den Kontakt mit Wasser absorbiert. Die Wirksamkeit der Gasabsorption ist abhängig von: der Differenz zwischen dem Partialdruck des Gases im Abgasstrom und dem Dampfdruck des Gases in der Flüssigkeit; der Löslichkeit des Gases in der Flüssigkeit; der Kontaktfläche; und in geringerem Maße von der Kontaktzeit. Es entsteht ebenfalls eine Kondensationswirkung, die, wenn das Abgas warm ist, von Bedeutung sein kann.

Im Allgemeinen wird für die Wasserstrahlreiniger Prozesswasser benutzt, das bereits die meisten der im Abgasstrom befindlichen Bestandteile in unterschiedlichen Mengen enthält. Hierdurch wird insbesondere die Wirksamkeit der Beseitigung gasförmiger Bestandteile beeinflusst. Das Kreislaufwasser wird vor seiner erneuten Verwendung gefiltert, enthält aber noch wesentliche Anteile an löslichen Stoffen. Das System beruht auf einem dynamischen Gleichgewicht und das Prozesswasser wird im weiteren Verlauf dieses Dokuments erläutert.

Umweltleistung

Aufgrund des geringen Druckabfalls ist die Beseitigungswirksamkeit feiner Staubpartikel und Tröpfchen ziemlich gering. Allerdings ist im Formbereich ein Großteil an Feststoffen ziemlich grob und faserig und kann leicht durch Wasserstrahlreiniger und Zyklonen beseitigt werden. Die endgültigen Emissionen sind stark abhängig von dem Bindemittel und der Prozesswasser-Chemie sowie von der verwendeten Bindemittelmenge. Die mit dieser Technik erreichten Werte sind in Tabelle 4.29 angegeben.

Finanzielle Aspekte

Die Kosten für diese Technik sind in Tabelle 4.30 genannt und hängen weitgehend vom Luftstrom und der Anlagengröße ab. Der Kostenaufwand für diese Technik als Minderungsmaßnahme ist schwierig zu ermitteln, weil in den Fällen der Anwendung von Wasserstrahlreinigern, eine gewisse Form von Selbst-Reinigung vorausgesetzt wird. Die in der Tabelle genannten Kosten entsprechen den Gesamtkosten für das System. Es gibt keine Beispiele, bei denen das Reinigungssystem nur für die Rohrleitungen eingesetzt wird, sondern die Installation erfolgt immer für den zweifachen Zweck. Nach Schätzungen stellt das Gasreinigungselement 60 % der Gesamtkosten dar. Allerdings ist diese Kostenanalyse etwas akademisch, weil in den meisten Mitgliedsstaaten völlig unbehandelte Emissionen nicht erlaubt sind und weitere Kosten für Emissionsminderungsmaßnahmen hinzugefügt werden müssten.

Anwendbarkeit

Im Prinzip ist diese Technik für alle Glaswolle- und Steinwolle-Prozesse anwendbar. Sie wird bei vielen Steinwolleanlagen nicht eingesetzt, weil sie für die Prozessreinigung nicht als notwendig erachtet wird und im Gegenzug andere im Einsatz befindliche Emissions-Minderungsmaßnahmen beeinflussen könnte. Für Emissionen im Formbereich werden Wasserstrahlreiniger und Zyklone in etwa 90 % aller Glaswolleanlagen und in 10 % aller Steinwolleanlagen eingesetzt.

Zusammenhängende Betrachtungen

Außer bei Anwendung einer anderen Technik wie Füllmaterialwäscher, sind Zyklone (oder manchmal Alternativen) mit in den Wasserstrahlreinigern inbegriffen, um das mitgerissene Wasser zu beseitigen. Dies ist zur Senkung des Wasserverbrauchs notwendig und um annehmbare Werte für die Sichtbarkeit und Dispersion der Abgasfahne zu erreichen. Bei der Anwendung anderer nasser Techniken (z.B. elektrostatische Nassabscheider oder Füllmaterialwäscher) werden Wasserstrahlreiniger im Allgemeinen vorgeschaltet.

Installationsbeispiele

Diese Technik wird so weitläufig angewendet, dass die Angabe von Beispielen nicht notwendig ist.

4.5.6.1.2 Nass-Wäscher

Beschreibung der Technik

Nass-Wäscher können zur Überwachung gasförmiger und partikelförmiger Emissionen eingesetzt werden. Während die grundlegende Technologie für beide Verfahren vergleichbar ist, sind die Konstruktionskriterien zur Beseitigung gasförmiger oder partikelförmiger Emissionen sehr unterschiedlich. Um jedoch die Investitionskosten auf einem niedrigen Niveau zu halten, werden Nass-Wäscher häufig zur Überwachung gemischter Emissionen aus Feinstaubpartikeln und Abgas-Emissionen eingesetzt. Die konstruktive Auslegung entspricht unvermeidlich einer Kompromisslösung, kann aber als BVT gelten, wenn sich getrennte Überwachungssysteme als außerordentlich kostenaufwendig herausstellen. Die Nass-Wäsche ist eine gut dokumentierte Technik und hier werden nur die Hauptprinzipien und die spezifischen Themen für diesen Sektor diskutiert.

Die Partikelerfassung durch Nass-Wäsche erfolgt nach einem 3-Stufensystem: inertes Aufschütteln, Abfangen und Verteilen. Die Beseitigung von Abgasspuren wird durch Absorption und in geringerem Maße durch Kondensation erreicht. Die Absorption bedingt die Masseübertragung zwischen einem löslichen Gas und einem Lösemittel in einer Gas-Flüssigkeits-Kontaktvorrichtung.

Die Wirksamkeit der Partikelerfassung von Nass-Wäschern ist erheblich von dem Gesamtenergieverbrauch und insbesondere von dem Druckabfall über der Erfassungszone abhängig. Wenn die Flüssigkeit gleichmäßig in dem Wäscher verteilt wird, ergeben gleiche Druckabfallerscheinungen oftmals eine gleichartige Wirksamkeit für den gleichen Staub bei völlig anderer Auslegung des Wäschers. Daher ist es nicht möglich, einen Nass-Wäscher zu konzipieren, der eine hohe Wirksamkeit bei Partikelgrößen von 1 µm und darunter hat und keinen hohen Druckabfall zeigt. Hochleistungs-Wäscher haben eine gute Erfassungswirksamkeit bei Partikelgrößen von <0.5 µm, aber die hohen Betriebskosten bewirken, dass Alternativlösungen wirtschaftlicher sein können.

Die Wirksamkeit der Gasabsorption ist abhängig von: der Differenz zwischen dem Partialdruck des löslichen Gases im Abgasstrom und dem Dampfdruck des Gases in der Flüssigkeit; der Löslichkeit des Gases in der Flüssigkeit; der Kontaktfläche und in geringerem Maße von der Kontaktzeit. Es entsteht ebenfalls ein Kondensationseffekt, der bei warmem Abgas von Bedeutung sein kann. Die Löslichkeit ist eindeutig abhängig von dem Gas und der Flüssigkeit. Wasser eignet sich zur Absorption flüssiger, saurer Abgase wie Wasserstoffchlorid, Wasserstoff-Fluorid, Silikonhexafluorid und Ammoniak. Alkalische oder saure Lösungen eignen sich für die Absorption weniger löslicher Gase und bei manchen Anwendungen können organisch bedingte Gerüche durch oxidierende Lösungen überwacht werden. Der Oberflächenbereich wird bestimmt durch die Füllkörper oder die Tropfengröße.

Füllkörper-Wäscher bestehen aus einer äußeren Schale mit einem Bett aus Füllmaterial auf einer Gitterunterlage, aus Flüssigkeitsverteilern, Abgas- und Flüssigkeits-Ein- und Auslässen und einem Tropfenabscheider. Die Flüssigkeit wird kontinuierlich über dem Füllkörper verteilt und es entsteht ein Film,

der einen großen Oberflächenbereich für den Gas/Flüssigkeitskontakt bewirkt. Der ungereinigte Abgasstrom fließt durch die Füllkörperschüttung und die Flüssigkeit und der Gasstrom können entweder entgegengesetzt, parallel oder im Kreuzstrom verlaufen.

Es gibt verschiedene Arten von Füllkörpern, die willkürlich oder regelmäßig angeordnet werden können. Der flüssige Film über dem Füllkörper sorgt für einen großen Oberflächenbereich für den Stoffaustausch. In Gegenstromrichtung angeordnete Füllkörper-Wäscher maximieren die Triebkraft für die Absorption, weil das aus dem Füllkörper ausströmende Gas auf eine frische Absorptionsflüssigkeit stößt. Füllkörperschüttungen können durch unlösliche Feinpartikel, durch Anwachsen und biologischen Bewuchs erheblich blockiert werden.

Bei manchen Anwendungen können Venturi-Wäscher in Betracht gezogen werden. Das charakteristische Merkmal eines Venturi-Wäschers ist die Rohrverengung (Venturi-Düse), wodurch sich die Abgasgeschwindigkeit erhöht. Die Flüssigkeit strömt in den Wäscher und bildet einen Film an den Wänden, der durch die Strömung der Abgase in der Venturi-Düse sehr fein zerstäubt wird. Die Wirksamkeit des Venturi-Wäschers ist von dem Druckabfall abhängig und daher haben diese Systeme einen hohen Energieverbrauch und hohe Betriebskosten. Venturi-Wäscher sind im Allgemeinen die wirksamsten Nass-Wäscher für die Erfassung von Feinstoffen, weil sie für sub-mikrone Partikel geeignet sind. Sie können ebenfalls für die Beseitigung von Abgasspuren eingesetzt werden, aber ihr Wirkungsgrad ist durch die geringe Kontaktzeit begrenzt.

Die am häufigsten angewendeten Nass-Wäscher in diesem Sektor sind Füllkörper-Wäscher, gewöhnlich mit vorgeschalteten Wasserstrahlreinigern. Die Wasserstrahlreiniger beseitigen die größeren Staubpartikel und unterstützen die Vermeidung des Verstopfens des Füllkörpers. Einige Betreiber haben ionisierende Nass-Wäscher (IWS) installiert, um die Vorteile der niedrigen Investitionskosten für Nass-Wäscher mit den niedrigen Betriebskosten der elektrostatischen Abscheider zu kombinieren. Bei IWS handelt es sich grundsätzlich um einen Füllkörper-Wäscher, der unter ladungsfreien Bedingungen betrieben wird und einen vorgeschalteten ionisierenden Teil für die Aufladung der Partikel hat. Das Bett besteht normalerweise aus einer Kunststoff-Füllung. Die Gasgeschwindigkeiten durch das Bett sind niedrig, damit die Partikel so lange wie möglich in unmittelbarer Nähe der Füllelemente bleiben.

Wenn das Abgas im Formbereich mit Wasser und einem wirksamen Waschsystem in Kontakt kommt, ereignet sich Folgendes:

- Ein Teil der mitgerissenen Partikel, vorwiegend die größeren Partikel und Tropfen, werden in Suspension gehalten,
- Ein Teil aller löslichen, harzförmigen Stoffe wird durch das Wasser absorbiert, und
- die flüchtigen Bestandteile bilden ein Gleichgewicht zwischen der gasförmigen und wässrigen Phase.

Prozesswasser ist die am häufigsten verwendete Waschflüssigkeit in diesem Sektor. Hierdurch wird das potentielle Problem der Aufrechterhaltung ausreichend niedriger Konzentrationen an flüchtigen Stoffen in dem Wasch-Medium dargestellt, um eine wirksame Absorption zu vereinfachen und eine Rückkehr in die Gasphase zu verhindern. Die Mineralwolleherstellung ist ein reiner Verbraucher von Wasser und die Leistungsfähigkeit des Wäschers kann durch die Zufuhr von sauberem Nachfüllwasser in das System und den Wäscher erhöht werden. Dieser Vorteil lässt sich durch den Einsatz eines kombinierten, mehrstufigen Waschprozesses optimieren, wobei Wasser von Stufe zu Stufe im Gegenstrom zur Abgasströmung fließt. Auf diese Art und Weise wird das am stärksten verunreinigte Wasser zur Wäsche des einfließenden (schmutzigsten) Abgasstroms verwendet und das saubere Wasser wird für die Endwäsche genutzt.

Eine mögliche Lösung dieses Problems wäre, das Waschmedium von dem Prozesswassersystem zu trennen und entweder: sauberes Wasser mit einem ausreichend hohen Reinigungsgrad zu verwenden, um eine wirksame Absorption aufrechtzuerhalten, oder die Wäscher-Flüssigkeit mit Chemikalien so zu dosieren, dass es zu einer Reaktion mit den flüchtigen Bestandteilen kommt. Allerdings gibt es wesentliche Einschränkungen bei beiden Lösungsmöglichkeiten. Um eine wesentlich bessere Leistung durch den Einsatz von sauberem Wasser zu erzielen, wäre das Reinigungswasservolumen zu groß, um als Prozesswasser aufbereitet zu werden und somit würde ein neuer Abfallstrom entstehen, wofür eine getrennte Aufbereitung erforderlich wäre. Das Wasservolumen aus den Wasserstrahlreinigern würde dieses Problem noch vergrößern.

Der Wassergehalt und die harzförmige Beschaffenheit der Abgase würden Verstopfungen und Probleme mit dem Waschwasservolumen in einem chemischen Wäscher verursachen, außer bei Einsatz einer groß

ausgelegten Wasserreinigung. Aufgrund der darin enthaltenen, chemischen Substanzen würde keine dieser Möglichkeiten es zulassen das Waschwasser wieder zu Prozesswasser aufzubereiten. Dadurch würde ein neuer Abfallstrom entstehen, der eine getrennte Aufbereitung erforderlich macht. Eine weitere Komplikation besteht darin, dass die für die Abscheidung von Phenol-Formaldehyd und Ammoniak notwendigen chemischen Reagenzien unverträglich sind und getrennte Aufbereitungsstufen benötigen. Die chemischen Reinigungsstufen könnten serienweise mit einem Prozesswasser-Wäscher angeordnet werden, aber das würde die Kosten erheblich erhöhen und solange es nicht extremwirksam wäre, würde dies die dargestellten Probleme nicht überwiegen. Auch unter Berücksichtigung der wässrigen Abfallströme scheint die Differenz der Gesamtemissionen zwischen einer solchen Technik und einem Prozesswasser-Wäscher mit einer guten Prozessüberwachung begrenzt zu sein.

Ein Mehrstufen-Wäscher entweder als kombinierte Einheit oder in Form von getrennten Einheiten ist theoretisch eine mögliche Option für den Formbereich und für kombinierte Emissionen aus dem Formbereich und dem Härteofen. Allerdings arbeiten keine Mineralwolleprozesse mit mehrstufigen Wäschern und daher gibt es keine Informationen über die Umweltleistung, die Kosten oder etwaige Betriebsprobleme. Daher kann die Technik zurzeit nicht als vollständig verfügbar angesehen werden. Sie könnte jedoch als Option in Betracht kommen, wenn die Linien-Emissionsquellen bei einer besonderen Anlage umfangreich sind.

Umweltleistung

Die erreichbaren Emissionswerte mit Füllkörper-Wäschern (mit Prozesswasser als Reinigungsflüssigkeit) in der Mineralwolleindustrie werden in Tabelle 4.29 dargestellt. Die Leistungsfähigkeit ist bei partikelförmigen Stoffen durch den geringen Druckabfall begrenzt, und bei gasförmigen Substanzen, durch den Einsatz von Prozesswasser als Waschmedium. Wesentlich geringere Emissionswerte für Phenol, Formaldehyd und Ammoniak sind mit einer Reinigung durch sauberes Wasser zu erwarten. Das Prozesswasser-Gleichgewicht ist ein kritischer Faktor und in ganz seltenen Fällen besteht die Möglichkeit (d.h. wenig Bindemittel gefolgt von einer längeren Periode mit hohem Bindemittelsatz), dass die Wirksamkeit des Wäschers bei gasförmigen Bestandteilen negativ sein kann.

Einige Betreiber haben in den letzten Jahren ionisierende Nass-Wäscher eingesetzt, aber die Gesamtheit der Ergebnisse war enttäuschend. Verbesserungen der Wirksamkeit gegenüber Füllkörper-Wäschern erreichten im Allgemeinen weniger als 10 %.

Es bestehen keine Erfahrungen für chemische oder mehrstufige Wäscher in diesem Sektor. Aus den Erfahrungen der chemischen Industrie lässt sich schließen, dass Emissionswerte unter 10 mg/Nm³ bereits für Phenol, Formaldehyd und Ammoniak zu erreichen sind, sofern die damit verbundenen Probleme überwunden werden können. Im Vergleich zu den in Tabelle 4.29 genannten Werten stellt dies nur für Ammoniak eine wesentliche Verbesserung dar.

Finanzielle Aspekte

Die in Tabelle 4.30 angegebenen Kosten für diese Technik sind weitgehend abhängig von der Luftströmung und der Anlagengröße. Die Einbeziehung einer Ionisierungsstufe wie in den IWS hat höhere Investitionskosten von etwa 75 % und ca. 10 % höhere Betriebskosten zur Folge. Eine chemische Mehrstufenreinigung würde die in der Tabelle genannten Zahlen bis um das Doppelte überschreiten. Die Kosten für eine kombinierte mehrstufige Reinigung sind wahrscheinlich eher vergleichbar. Allerdings wäre es notwendig, die einzelnen Stufen vollständig zu trennen, was zusätzliche Kosten und kostspieligere, korrosionsbeständige Werkstoffe benötigen würde.

Anwendbarkeit

Im Prinzip sind Füllkörper-Wäscher für die Prozesswasser-Zirkulation bei allen Prozessen in diesem Sektor anwendbar. Die Technik begrenzt sich nicht nur auf neue Anlagen oder erhebliche Veränderungen, sondern bei bestehenden Anlagen sind die Kosten offenbar höher. Bei gewissen Anwendungen, insbesondere bei Steinwolle, können andere Techniken eingesetzt werden, um ähnliche oder geringere Emissionswerte zu erzielen.

In der Glaswolleherstellung sind etwas weniger als 20 % der Anlagen mit Füllkörper-Wäschern entweder für kombinierte Emissionen aus dem Formbereich und dem Härteofen oder nur aus dem Formbereich ausgerüstet. In der Steinwolleherstellung werden Füllkörper-Wäscher bei etwa 10 % der Anlagen für Emissionen aus dem

Formbereich und dieselbe Anzahl für den Härtebereich eingesetzt. Emissionen aus beiden Bereichen werden im Allgemeinen bei Steinwolleanlagen nicht zusammengeführt.

Zusammenhängende Betrachtungen

Ein wesentlicher Gesichtspunkt bei Nass-Wäschern ist das Potential der medienübergreifenden Wirkung auf die Erzeugung einer wässrigen Abgasströmung, die aufbereitet werden muss. Im Mineralwollesektor konnte dieses Problem durch die Anwendung von Prozesswasser als Reinigungsmittel durch eine 100 %ige Rückführung in das Prozesswassersystem vermieden werden. Die Anwendung von sauberem Wasser oder chemischen Wäschern würde einen wässrigen Abfallstrom ergeben.

Von Vorteil ist bei dieser Technik, dass die Emissionen aus dem Formbereich und aus dem Härteofen in einem einzigen Aufbereitungsstadium miteinander vermischt werden können. Das Abgasvolumen aus dem Formbereich ist allgemein zehnmal größer als das des Härteofens. Bei einer Durchführung zum Zeitpunkt der konstruktiven Auslegung hat die kombinierte Abgaslösung keine wesentliche Erhöhung der Gesamtkosten für die Technik zur Folge.

Installationsbeispiele

Owens Corning Building Products (UK) Ltd. St Helens, UK.
Pfleiderer Delitzsch, Deutschland
Isover, Orange, Frankreich

4.5.6.1.3 Elektrostatische Nass-Abscheider

Beschreibung der Technik

Das Grundprinzip für den Betrieb von Elektrofiltern wird in Abschnitt 4.4.1.2 dargestellt. Bei Nass-Abscheidern werden die angesammelten Stoffe von den Kollektorplatten durch Ausspülen mit einer geeigneten Flüssigkeit, allgemein Wasser, entweder durch intermittierende oder kontinuierliche Besprühung beseitigt. Die drei Haupttypen, nämlich Platte und Draht, Platte und Platte, Rohr und Draht sind alle für den Nass-Betrieb geeignet. Bei flachen Platten verläuft der Abgasstrom horizontal, bei Rohren vertikal, mit einem Flüssigkeitsstrom in entgegengesetzter Richtung zur Abgasströmung. Bei gewissen robusteren Konstruktionen werden die Drähte durch Stäbe ersetzt. Im Allgemeinen ist eine Vorrichtung zur Beseitigung der Wassertropfen vorgesehen, vor der Entleerung kann entweder ein Tropfenabscheider benutzt oder manchmal kann das letzte Feld trocken betrieben werden.

Während normalerweise Trocken-Abscheider bevorzugt werden, ist der Einsatz von Nass-Abscheidern zur Staubbeseitigung aus feuchten Abgasen mit einer Temperatur nahe der Taupunktgrenze und zur Erfassung flüssiger Sprühprodukte und klebriger Stoffe wie beispielsweise harzförmige Partikel und Teerbestandteile sehr nützlich. Die Leistungsfähigkeit von Nass-Abscheidern ist weniger abhängig von den Partikeleigenschaften, da sich die im Abgas enthaltene Feuchtigkeit unmittelbar niederschlägt und die Abscheidung schwieriger Staubpartikel unterstützt.

Rohrförmige Einheiten werden meistens für Nass-Anwendungen eingesetzt und bei Vorhandensein von Teer ist es einfacher, diese Systeme gegen Explosionsgefahr abzusichern. Allerdings besitzen rohrförmige Systeme allgemein nur ein einziges elektrisches Feld und eignen sich weniger zur Erzielung sehr hoher Wirkungsgrade. Alle drei Ausführungen werden zur Mineralwolleherstellung eingesetzt, aber die Systeme aus Platten und Draht oder aus Rohr und Draht werden jetzt bevorzugt. In der Regel wird ein Überflutungssystem zur Feuerlöschung installiert.

Am Einlasspunkt des elektrostatischen Nass-Abscheiders müssen die Abgase gut verteilt werden, um eine gleichmäßige, niedrige Abgasgeschwindigkeit zwischen allen Elementen zu erzielen. Das Abgas wird durch die dem Elektrofilter vorgeschalteten Wasserstrahler konditioniert, Fasermaterial wird weitgehend beseitigt und das Abgas wird gesättigt und abgekühlt. Um den Betrieb im Rahmen der Konstruktionsparameter zu gewährleisten, wird ebenfalls sauberes Wasser benutzt und am Einlasspunkt des Elektrofilters versprüht, um die Sättigung zu gewährleisten und es wird ebenso zur Reinigung der Elektroden benutzt. Bei Glaswolleprozessen ist das Volumen dieses Wassers normalerweise niedrig genug, um in den Prozesswasserkreislauf abgelassen zu werden. Es kann das Hauptelement für das Kreislaufsystem am oberen Ende darstellen. Bei den meisten

Steinwolleprozessen ist das Verdampfungspotential aus dem Formprozess viel geringer und es besteht keine Möglichkeit, ein derartiges Volumen an sauberem Wasser zu verwenden.

Umweltleistung

Elektrostatische Nass-Abscheider sind wirksam bei der Beseitigung von Feststoff-Partikeln, Sprühmitteln und Tropfen in dem Bereich von 10µm bis 0.01µm. Die Leistung hängt von einer Reihe Faktoren ab, insbesondere von der Gasgeschwindigkeit. Ein neuer, zweckmäßig ausgelegter Nass-Elektrofilter würde einen Wirkungsgrad von >98% für die gesamten partikelförmigen Stoffe >1µm Durchmesser erreichen, obwohl die Abscheidungsrate bei Partikeln von >1µm rapide abfällt. Die Leistungsfähigkeit kann über die Lebensdauer der Anlage absinken. Die Instandhaltung ist sehr wichtig.

In der Regel haben elektrostatische Nass-Abscheider eine begrenzte Wirksamkeit bei der Beseitigung gasförmiger Bestandteile. Das hängt in hohem Maße von der Produktspektrum, dem Bindemittelsystem und der Prozesswasserchemie ab. Allerdings findet angesichts des hohen Sättigungsgrades und durch die Verwendung einer erheblichen Menge an sauberem Wasser, eine gewisse Absorption gasförmiger Bestandteile statt.

Die erreichbaren Werte bei Einsatz dieser Technik sind in Tabelle 4.29 dargestellt.

Finanzielle Aspekte

Die Kosten für diese Technik werden in Tabelle 4.30 aufgeführt und sind weitgehend abhängig vom Luftstrom und der Anlagengröße.

Anwendbarkeit

Grundsätzlich ist diese Technik für neue und bestehende Glas- und Steinwolle-Prozesse anwendbar. Der Hauptnachteil bei Steinwolle ist die mögliche Schwierigkeit, die austretende Wassermenge zu handhaben. Die Technik eignet sich für beide Emissionen, aus dem Formbereich und aus dem Härteofen sowie für gemischte Emissionen aus der Wanne. In 1997 wurde diese Technik bei ca. 30 % der Glaswolleanlagen eingesetzt, entweder für getrennte oder gemischte Emissionen aus dem Formbereich und aus dem Härteofen. Keine Steinwolleanlage arbeitet mit elektrostatischen Nass-Abscheidern.

Zusammenhängende Betrachtungen

Vorteile:

- Gute Wirksamkeit bei der Beseitigung von Partikeln und Tröpfchen/Aerosolen, <20 mg/Nm³ erreichbar,
- Absorption gasförmiger Substanzen möglich, bei hoher Sättigung und Verwendung von sauberem Wasser,
- Anwendbarkeit für Emissionen aus dem Formbereich und aus dem Härtebereich,
- Geringer Druckabfall, daher relativ niedrige Betriebskosten sowie Energieverbrauch,
- Verstopfungen sind selten bei Einsatz von Wasserstrahlreinigern zur Beseitigung großer Mengen faseriger Stoffe,
- Lange Betriebsdauer bei geringer Instandhaltung.

Nachteile:

- Erzeugung Abwässern, die allgemein bei der Herstellung von Glaswolle, aber weniger bei Steinwolle recycelt werden können,
- Energieverbrauch, aber relativ wenig im Vergleich zu anderen Prozessanforderungen,
- Relativ hohe Investitionskosten,
- Erheblicher Platzbedarf,
- Wenig aber heikle Instandhaltung, bei wenig Wartung erheblicher Leistungsabfall,
- Hochspannung, daher Sicherheitsanforderungen.

Tabelle 4.26: Haupt- Vor- und Nachteile bei elektrostatischen Nass-Abscheidern

Installationsbeispiele

Owens Corning Building Products (UK) Ltd. St Helens, England
 G+H, Speyer, Deutschland
 Isover Etten-Leur, Niederlande

4.5.6.1.4 Steinwolle-Filter

Beschreibung der Technik

Konventionelle, passive Filterprozesse (z.B. Schlauchfilter) sind zur Aufbereitung von Abgasen aus dem Formbereich oder aus dem Härteofen ungeeignet. Die anhaftende und manchmal feuchte Beschaffenheit des Abgases würde zu einer schnellen Verstopfung selbst bei intensiver Reinigung und Wartung führen. Bei der Steinwolleherstellung, wo es sich häufig um Trocken-Formprozesse handelt, können Steinwolle-Plattenfilter eingesetzt werden. Diese Systeme bestehen aus einem Stahl- oder Betongehäuse, in dem Steinwolleplatten auf Kassetten montiert sind und wie ein Filtermedium arbeiten. Diese Art Filter hat eine gute Abscheiderate für Feststoffpartikel und Bindemitteltröpfchen, jedoch eine geringe Wirksamkeit bei der Abscheidung gasförmiger Bestandteile. Die Filtermedien müssen in bestimmten Zeitabständen ausgetauscht werden, um die Wirksamkeit der Partikelabscheidung aufrecht zu erhalten und einen zu hohen Widerstand gegen die Luftströmung zu vermeiden. Die gebrauchten Filterplatten können in der Regel erneut in den Ofen eingelegt werden, wenn eine Brikettiervorrichtung am Standort zur Verfügung steht.

Der Betrieb kann auf halbtrockener Basis erfolgen, jedoch wird die Wirksamkeit insgesamt erheblich verbessert bei einem Trockenbetrieb. Keines der Systeme erzeugt einen flüssigen Abfallstrom und die feuchten Filterplatten können ebenfalls direkt durch Brikettier-Verfahren wiederverwertet werden.

Eine frühere Version dieser Auslegung beruhte auf einem Turmfilter mit Steinwollerollen als Filtermedium. Diese Technik ist weniger wirksam und wird weitgehend durch die auf Kassetten montierten Platten ersetzt. Das Turmfilterkonzept erweist sich als geeigneter bei Abgasen mit einem höheren Bindemittelgehalt und mehr Feuchtigkeit, konnte jedoch keine Abgase behandeln, die durch Wasserstrahlreinigung behandelt wurden.

Umweltleistung

Steinwollefilter zeigen eine hohe Wirksamkeit bei der Beseitigung von Feststoff-Partikeln und Sprühtropfen/Aerosole. Die Emissionswerte, die mit dieser Technik erreicht werden können, sind in Tabelle 4.29 angegeben. Diese Technik hat keinen wesentlichen Einfluss auf die gasförmigen Substanzen, jedoch in Verbindung mit Primärmaßnahmen (z.B. Trockenbetrieb) und einer geringen Aerosol-Emission können die in der Tabelle genannten Werte erreicht werden. Dies führt ebenfalls zu einer sehr geringen Sichtbarkeit der Rauchfahne aus diesem Filter.

Finanzielle Aspekte

Die Kosten für diese Technik werden in Tabelle 4.30 angegeben und sind weitgehend abhängig von der Luftströmung und der Größe der Anlage. Die Investitionskosten sind besonders niedrig und der geringe Druckabfall führt zu niedrigen Betriebskosten im Vergleich zu anderen konventionellen Filtersystemen.

Anwendbarkeit

Diese Technik begrenzt sich hauptsächlich auf den Formbereich bei Steinwolleprozessen, obwohl es auch einige Anwendungen bei Steinwolle-Härteöfen gibt. Die Technik ist jeweils für neue und bestehende Steinwolleprozesse anwendbar. 90 % der Steinwolleprozesse verwenden diese Technik zur Aufbereitung der Abgase aus dem Formbereich und etwas weniger als 10 % nutzen sie für Emissionen aus dem Härteofen. Der begrenzte Einsatz bei Steinwolle-Härteöfen liegt teilweise an der hohen Abgastemperatur, aber auch an dem weitverbreiteten Einsatz von Verbrennungsanlagen.

Für die Anwendung dieser Technik bei Glaswolleprozessen sind keine Beispiele bekannt. Die Hauptgründe, weshalb diese Technik nicht für Glaswolleprozesse eingesetzt wird, werden im weiteren Verlauf dargestellt.

Der kontinuierliche Prozess der Glaswolleherstellung erfordert den Einsatz eines kontinuierlichen Reinigungssystems, um einen Materialaufbau in den Absaugleitungen und in den Lüftern zu vermeiden. Bei der normalerweise verwendeten Technik handelt es sich um Wasserstrahlreinigung. Dieses Verfahren wird

allgemein für die Steinwolleherstellung nicht eingesetzt, weil die nichtkontinuierliche Art des Prozesses Gelegenheit für die Reinigung der Leitungen bietet. Auch werden für die Steinwolleherstellung relativ weniger Bindemittel verwendet und daher wird der Aufbau des Materials verzögert.

Bei dem Steinwolleprozess wird die Faser gewöhnlich in Form einer Matte von konstanter Dicke erfasst und anschließend auf einem separaten Schachtband aufgeschichtet, um die gewünschten Produkteigenschaften zu erreichen. Die erste Matte ist dünn und verlangt nur einen geringen, konstanten Druckabfall und dadurch wird nur ein einziges relativ geringes Volumenextraktionssystem benötigt. Bei der Glaswolleherstellung wird ein einziges Schachtbandsystem verwendet. Die Mattendicke erhöht sich in Längsrichtung des Schachtbandes und ändert sich je nach Produkt. Die Veränderung des Differenzialdrucks entlang der Formvorrichtung erfordert die Anwendung mehrerer Absaugsysteme von unterschiedlicher Kapazität und die gesamte Luftabsaugung muss unter verhältnismäßig hohem Druck variierbar und kontrollierbar sein. Die Extraktions-Verteilung und die Absaugmenge sind wichtige Kontrollwerkzeuge für den Prozess, der vom Betriebspersonal häufig geändert wird. Die unterschiedlich hohen Volumen- und Druckverhältnisse der aus der Glaswolle anfallenden Abgase sind für Filtersysteme nicht als ideal anzusehen.

Der mit Wasser gesättigte, hohe Bindemittelgehalt der Abgase aus dem Formbereich der Glaswolle würde eine schnelle Verstopfung der Steinwollefilter verursachen. Die Filtermedien müssten daher häufig ausgewechselt werden und daraus würde eine erhebliche Menge an feuchten Reststoffen entstehen, die zurückgeführt oder entsorgt werden müssten.

Eine weitere Komplikation bei dem Einsatz von Mineralwollefiltern für Glaswolleprozesse ist die größere Schwierigkeit der Materialrückführung in den Ofen. Die Wiederverwertung zerfaserner Abfallprodukte in Mineralwollewannen wird in Abschnitt 4.7 eingehend behandelt.

Zusammenhängende Betrachtungen

Vorteile:

- Gute Abscheidungswirksamkeit partikelförmiger Emissionen, $<20 \text{ mg/m}^3$ erreichbar,
- Gebrauchte Filterplatten können, wenn entsprechende Einrichtungen vorhanden sind, in den Prozess zurückgeführt werden,
- Keine Erzeugung wässriger Abfallstoffe,
- Geringe Investitionskosten,
- Geringer Druckverlust, daher relativ geringe Betriebskosten und Energieverbrauch.

Nachteile:

- Energie wird verbraucht, jedoch relativ gering im Vergleich zu anderen Sekundärmaßnahmen,
- Begrenzte Abscheiderate bei gasförmigen Substanzen,
- Nicht als anwendbar für Glaswolleprozesse betrachtet.

Tabelle 4.27: Haupt- Vor- und Nachteile von Steinwolle-Filtern

Installationsbeispiele

Rockwool Lapinus, Roermond, Niederlande
Partek Rockwool, Hallkis, Schweden

4.5.6.2 Härteofen

Die feuchte Produktmatte gelangt in den Ofen bei etwa 250°C . Die Feuchtigkeit wird zusammen mit jeglichen flüchtigen Stoffen ausgetrieben und das Bindemittel beginnt auszuhärten. Die Temperatur und die Verweilzeit im Ofen sind ein kritischer Punkt. Das Bindemittel muss ausreichend vernetzt aber nicht zu stark ausgehärtet sein, da sonst die Produktqualität in Mitleidenschaft gezogen wird. Die vom Ofen ausgehenden Emissionen bestehen aus flüchtigen Bindemittelstoffen, Bindemittelzersetzung und aus Verbrennungsprodukten von den Ofenbrennern. In der Regel enthalten Glaswolleprodukte relativ höhere Bindemittelgehalte als Steinwolleprodukte, wodurch sich höhere Emissionswerte ergeben. Emissionen aus dem Ofen tendieren ebenfalls zu Geruchsproblemen, wenn sie nicht behandelt werden.

Der Ofen wird normalerweise mit Erdgas gefeuert und ist mit einer Absaugung ausgerüstet. Emissionen aus dem Ofen sind klebrig und stellen, aufgrund der Ablagerung von brennbaren Materialien in dem Absaugsystem, insbesondere bei Glaswollewanne ein mögliches Brandrisiko dar. Um die Brandgefahr zu vermeiden, muss der Gasstrom entweder mit Wasser oder durch Zufuhr zusätzlicher Wärme behandelt werden, damit die klebrige Beschaffenheit der Schadstoffemissionen abgebaut werden kann. Bei derartigen Prozessen ohne Verbrennung wird gewöhnlich Wasser in die Absaugleitungen gesprüht, um einen Aufbau der harzförmigen Stoffe und die Brandgefahr zu vermeiden. Die Wassersprüher dienen ebenfalls zur Beseitigung mancher im Abgasstrom mitgeführten Stoffe.

4.5.6.2.1 Wasserstrahlreiniger und Zyklon

Diese Technik wird in dem obigen Abschnitt 4.5.6.1.1 beschrieben, aber es gibt einige weitere Fragen, die einer näheren Betrachtung bedürfen. Das Abgas aus dem Ofen hat ein weit geringeres Volumen und eine höhere Temperatur als das Abgas aus dem Formbereich. Daher stellt der bei Glaswolleprozessen insbesondere festgestellte Aufbau von harzförmigen Stoffen in den Rohrleitungen ein Brandrisiko und sogar eine Explosionsgefahr dar. Das in das Gas gesprühte Wasser hat einen erheblichen Abkühlungseffekt und einige Bestandteile aus dem Abgas werden kondensiert. Das bedeutet nicht notwendigerweise, dass die Bestandteile beseitigt sind und die Stoffe sich im Frühstadium aus dem verschmutzten Prozesswasser verflüchtigt haben.

Umweltleistung

Angesichts des geringen Druckabfalls ist die Wirksamkeit der Abscheidung von Feinstaubpartikeln ziemlich gering. Wie im Formbereich befindet sich das System in einem dynamischen Gleichgewicht und gasförmige Emissionen sind stark abhängig von dem Prozesswasser und der Chemie des Bindemittels. Die mit dieser Technik erzielten Werte sind in Tabelle 4.29 aufgeführt.

Finanzielle Aspekte

Die in Tabelle 4.30 angegebenen Kosten für diese Technik sind in hohem Maße abhängig von der Luftströmung und der Anlagengröße. Die Thematik inwieweit diese Kosten als Kosten für Minderungsmaßnahmen anzusehen ist, ist dieselbe wie für den Formgebungsbereich.

Anwendbarkeit

Wie für den Formbereich ist diese Technik im Prinzip für alle Mineralwolleprozesse anwendbar. Sie wird bei vielen Steinwolleanlagen nicht verwendet, weil sie für die Prozessreinigung nicht als notwendig angesehen wird und könnte ganz im Gegenteil die Leistungsfähigkeit anderer Techniken beeinträchtigen. Für Emissionen aus dem Härteofen werden Wasserstrahlreiniger und Zykclone bei nahezu 90 % aller Glaswolleanlagen eingesetzt (oftmals für kombinierte Emissionen aus dem Formbereich und aus dem Ofen) und ca. 10 % der Steinwolleanlagen setzen diese Systeme entweder getrennt oder in Verbindung mit anderen Nass-Verfahren ein.

4.5.6.2.2 Nass-Wäscher

Die Technik für den Formbereich wird in Abschnitt 4.5.6.1.2 behandelt und ist gleichfalls für Ofen-Emissionen anwendbar. Die Hauptaspekte für Emissionen aus dem Ofen zeichnen sich dadurch aus, dass das Volumen viel kleiner ist und die Schadstoffkonzentrationen unterschiedlich sind. Im Allgemeinen sind die Werte für partikelförmige Stoffe niedriger, für Phenol vergleichbar, für Ammoniak und Formaldehyd hingegen sind sie wesentlich höher.

Die mit Füllkörper-Wäschern erreichbaren Emissionswerte (mit Prozesswasser als Reinigungsflüssigkeit) in der Mineralwolleindustrie werden in Tabelle 4.29, siehe Abschnitt 4.5.6.1.2, zur Diskussion gestellt. Emissionen aus dem Ofen sind relativ höher bei gasförmigen Emissionen im Vergleich zu Emissionen aus dem Formbereich, sodass die gesamte Wirksamkeit höher sein dürfte. Wie bereits vermerkt, ist dies von der verwendeten Menge an sauberem Wasser, von dem Bindemittel und von der Prozesswasser-Chemie abhängig.

Die Kosten für diese Technik werden in Tabelle 4.30 angegeben und sind weitgehend abhängig von der Luftströmung und der Anlagengröße. Die Kosten gelten für miteinander vermischte Emissionen aus dem Formbereich und aus dem Härteofen. Die meisten Beispiele für die aus dem Ofen ausgehenden, und durch Nass-

Wäsche behandelten Emissionen gelten für miteinander vermischte Emissionen, und angesichts des geringen Volumens sind die zusätzlichen Kosten normalerweise gering. Die Schwankungsbreite der Kosten steht weitgehend im Verhältnis zu der Luftströmung und eine grobe Einschätzung der für die Behandlung der aus dem Härteofen ausgehenden Emissionen alleine kann durch Herabsetzen der Kosten ermittelt werden, jedoch verläuft das Kostenverhältnis nicht linear.

Grundsätzlich ist diese Technik für alle Anlagen anwendbar, siehe Abschnitt 4.5.6.1.2 zur Diskussion gestellt.

4.5.6.2.3 Elektrostatische Nass-Abscheider

Die Technik für den Formbereich wird in Abschnitt 4.5.6.1.3 beschrieben und die Diskussion ist ebenfalls für Emissionen aus dem Ofen anwendbar. Der Einsatz von elektrostatischen Nass-Abscheidern zur alleinigen Behandlung von Emissionen aus dem Ofen ist nicht üblich und normalerweise gelten die Systeme für kombinierte Emissionen. Angesichts der relativ höheren Konzentrationen gasförmiger und geruchshaltiger Substanzen der Abgase aus dem Ofen ist der elektrostatische Nass-Abscheider nicht als erste alleinige Maßnahme zur Minderung von Emissionen aus dem Ofen zu betrachten. Allerdings in Verbindung mit den aus dem Formbereich ausgehenden Emissionen und der dazugehörigen Verdünnung kann ein elektrostatischer Abscheider eine logische Option darstellen.

Die mit dieser Technik erzielten Emissionswerte werden in Tabelle 4.29 und die Kosten in Tabelle 4.30 angegeben. Im Prinzip ist diese Technik für neue und bestehende Anlagen anwendbar.

4.5.6.2.4 Abgasverbrennung

Beschreibung der Technik

Die Verbrennung wird weitläufig zur Minderung organischer Emissionen aus Industrieprozessen eingesetzt. Sie hat die Nachteile der stofflichen Zerstörung (Verhinderung der Rückgewinnung), verlangt oftmals den zusätzlichen Einsatz von Energie und erzeugt Kohlendioxid und Stickstoffoxide. Allerdings kann sie energiewirksam ausgelegt werden und einen integrierten Teil der Wärmezufuhr für Trocken- oder Aushärtungsprozesse darstellen. Es gibt zwei Arten von Verbrennungsöfen, nämlich thermische ($>750^{\circ}\text{C}$) oder katalytische Verbrennungsöfen (von 350°C bis 400°C).

Die thermische Verbrennung verursacht eine Zerstörung der organischen Verbindungen durch thermische Oxidation in Kohlendioxide, Wasser, Schwefel- und Stickstoff-Oxide und andere Verbrennungsprodukte. Die Hauptanforderungen für eine wirksame Verbrennung lauten wie folgt:

- Die Verweilzeit in der Verbrennungskammer muss lang genug sein, um eine vollständige Verbrennung zu gewährleisten. Eine wirksame Zerstörung von 99 % benötigt in der Regel eine Verweilzeit von 1 bis 4 Sekunden bei entsprechender Temperatur.
- Die Betriebstemperatur sollte 200 bis 400°C über der Selbstentzündungstemperatur der hitzebeständigsten Bestandteile liegen, typische Betriebstemperaturen liegen bei etwa 800°C . Bei einem Gasstrom mit chlorhaltigen und aromatischen Substanzen muss die Temperatur bis auf $1100\text{-}1200^{\circ}\text{C}$ erhöht werden und zur Vermeidung der Dioxinbildung ist eine schnelle Rauchgasabkühlung erforderlich.
- Turbulenzen sind notwendig, um für eine wirksame Wärme- und Massenübertragung im Verbrennungsbereich zu sorgen sowie zur Vermeidung "kalter Stellen". Das wird gewöhnlich durch den Einsatz von Brennern, die eine Wirbelwirkung der Verbrennungsflamme erzeugen, und durch Installation von Leitblechen in der Verbrennungskammer erreicht.

Die katalytische Verbrennung ist offenbar wegen der hohen Partikel-Ladung keine zweckmäßige Option für diesen Sektor und das Vorhandensein harzförmiger Stoffe kann zu einer Vergiftung des Katalysators führen.

Umweltleistung

Die Verbrennung ist zwar eine hochwirksame Technik zur Beseitigung organischer Substanzen aus den Abgasströmen, jedoch leistet sie keinen Beitrag zur Senkung der anorganischen Staubanteile. Durch die Oxidation organischer Stoffe steigen die CO_2 - und NO_x -Emissionen, die angesichts der freigesetzten Mengen gegenüber zerstörter Substanzen vorzuziehen sind. Das aus den Härteöfen anfallende Abgas enthält ebenfalls

Ammoniak und weitere stickstoffhaltige Substanzen, die teilweise oder vollständig oxidiert sind und NO_x-Emissionen erzeugen. Ein konstruktiv gut ausgelegter Verbrennungsofen ist in der Lage, sämtliche organischen Verbindungen bis auf ein Niveau von weniger als 10 mg/m³ zu reduzieren. Die mit dieser Technik erreichbaren Emissionswerte sind in Tabelle 4.29 angegeben.

Finanzielle Aspekte

Die Kosten für diese Technik sind in Tabelle 4.30 aufgeführt und hängen weitgehend von der Luftströmung und der Anlagengröße ab. Die Wirtschaftlichkeit der Verbrennung ist in hohem Maße abhängig von den Möglichkeiten der Wärmerückgewinnung. Die Kosten hängen von einer Reihe Faktoren ab, dazu zählen insbesondere:

- zu behandelndes Abgasvolumen, wodurch die Größe der Verbrennungskammer bestimmt wird,
- Abgastemperatur, wodurch die Auslegung der Verbrennungsausrüstung und die Zusatzbrennstoff-Anforderungen bestimmt werden,
- Heizwerte, der den Zusatzbrennstoffbedarf beeinflusst,
- Verbrennungstemperatur, die für das Konstruktionsmaterial ausschlaggebend ist,
- Messinstrumente,
- Wärmerückgewinnungs-Optionen und
- Installationsanforderungen, innerhalb und außerhalb der Anlage, auf Boden- oder Dachfläche, usw.

Anwendbarkeit

Zur Zeit der Abfassung dieses Dokuments wird diese Technik nur zur Aufbereitung der von Steinwollehärteöfen ausgehenden Emissionen eingesetzt. 60 bis 70 % der Anlagen verwenden diese Technik. Angesichts des hohen Volumens, der geringen Konzentrations- und Temperatur-Verhältnisse und manchmal aufgrund des hohen Feuchtigkeitsgehalts wird diese Technik als äußerst kostspielig für eine Abgasbehandlung im Formbereich angesehen. Prinzipiell ist diese Technik für neue und bestehende Prozesse anwendbar.

Steinwolle-Härteöfen sind ausgelegt, um mit relativ hohem Differenzialdruck zu arbeiten, wegen der geringeren Luftdurchlässigkeit des Produktes. Dies führt zu einer relativ anspruchsvollen Drucküberwachung und ergibt eine hohe Temperatur und geringen Strömungsabzug, der je nach dem Herstellungsprodukt schwankt und die Verbrennung attraktiv gestaltet.

Glaswolle-Härteöfen benötigen einen geringeren Differenzdruck und keine so umfangreichen Überwachungsmaßnahmen und das Abgas hat normalerweise ein höheres Volumen und eine niedrigere Temperatur. Daher ist die Verbrennung eine weniger attraktive Option und in Verbindung mit der Verfügbarkeit von Brauchwasser wird von der Industrie die Nass-Wäsche anstelle der Verbrennung bevorzugt. Bei Glaswolleprozessen besteht in der Regel die Option, die von dem Härteofen ausgehenden Emissionen mit den Emissionen aus dem Formbereich zur Behandlung durch einen einzigen Prozess zu vermischen, was oftmals wirtschaftlicher ist. Im Prinzip gibt es keinen technischen Grund, weshalb die aus dem Härteofen ausgehenden Emissionen bei Glaswolle nicht durch Verbrennung reduziert werden können. Allerdings ist diese Technik allgemein mit höheren Kosten verbunden als bei Steinwolleprozessen und dürfte daher nicht die kostengünstigste Lösung darstellen.

Zusammenhängende Betrachtungen

Vorteile:

- Hoher Wirkungsgrad bei der Zerstörung organischer Schadstoffe und Gerüche,
- Keine Erzeugung wässriger oder fester Reststoffe,
- Relativ geringe Kosten bei geeigneten Anwendungen.

Nachteile:

- Energie wird Verbrauch, weil der Heizwert von Erdgas für die Verbrennung nicht ausreicht,
- Freisetzung von Kohlendioxid und Stickstoffoxiden,
- Geringe Wirksamkeit bei der Beseitigung anorganischer Partikelemissionen,
- Wesentlich höhere Kosten bei Glaswolleprozessen.

Tabelle 4.28: Hauptvorteile und Nachteile bei der Verbrennung

Installationsbeispiele

Rockwool Lapinus, Roermond, Niederlande
Partek Rockwool, Hallekis, Schweden
Owens Corning, Queensferry, UK

4.5.6.3 Produkt-Kühlung

Große Mengen an Luft (typischer Weise 10000 bis 40000 m³/h) müssen durch das Produkt strömen, um die Temperatur nach dem Verlassen des Ofens bis auf ein akzeptable Temperatur abzukühlen. Dieses Abgas enthält offenbar Fasern, Partikel aus ausgehärtetem Bindemittel und geringe Mengen an organischen Dämpfen, die den Geruch beeinträchtigen können. Dieser Gasstrom ist zwar kein wesentliches Problem innerhalb des Sektors, kann aber zu örtlichen Schwierigkeiten führen. Es bestehen drei Hauptmethoden zur Abgasaufbereitung, wovon überall Beispiele in diesem Sektor vorzufinden sind und alle werden als verfügbar und bezahlbar angesehen. Mit allen drei Lösungen sind relativ niedrige Emissionswerte zu erzielen und die bevorzugte Option hängt von den örtlichen Verhältnissen ab. In einigen Fällen, wenn die Emissionen sehr niedrig sind, kann es sein, dass Sekundärmaßnahmen nicht notwendig sind.

- Ein Filtersystem zur Beseitigung von Staub in Verbindung mit einer ausreichenden Beseitigungsgeschwindigkeit und Höhe, um Gerüche auf Bodenebene zu vermeiden,
- Ein Nass-Waschsystem in Verbindung mit entsprechender Dispersion. Ein System wie der Venturi-Wäscher würde die geringsten Staub- und Rauchgas-Emissionen gewährleisten.
- Eine Kombination der Kühlluft mit dem Formbereich oder der Abgasbehandlung aus dem Härteofen.

Die Kombinationswahl ist wahrscheinlich die umweltfreundlichste und wirtschaftlichste Methode.

4.5.6.4 Produkt-Bearbeitung und Verpackung

Mineralwolle-Prozesse verlangen eine Reihe von Bearbeitungsvorgängen wie Besäumen, Quer- und Längsschneiden, wodurch Staubemissionen erzeugt werden. Der beste Weg zur Behandlung dieser Emissionen besteht in einer wirksamen Stauberfassung und Absaugung und anschließend wird die abgesaugte Luft durch ein wirksames Entstaubungssystem, normalerweise durch einen Schlauchfilter, geleitet. Verpackungsvorgänge sind ebenfalls mögliche Quellen für Staubbefreiungen und sollten in gleicher Weise behandelt werden.

Gasvolumina aus diesen Betriebsvorgängen können stark variieren (5000 bis 70000 m³/h). Um die Investitions- und Betriebskosten für die Minderungsmaßnahmen zu minimieren, sollten die angesaugten Luftvolumen bis auf eine angemessene Mindestmenge im Sinne einer guten Stauberfassung reduziert werden.

4.5.6.5 Geruchsbeeinträchtigung durch Mineralwollerzeugung

Eine technische Geruchsbeurteilung ist schwierig, kostspielig und möglicherweise subjektiv und es gibt wenig Informationen hierzu. Allerdings können Mineralwollanlagen der Grund für Beschwerden der Anlieger wegen Geruchsbeeinträchtigung sein. Dieses Problem ist in den letzten Jahren zurückgegangen, angesichts verbesserter Betriebs- und Überwachungsbedingungen, dennoch ist dies immer noch ein Problem bei vielen Anlagen. Dieser Abschnitt befasst sich mit Gerüchen aus allen Teilen der Prozessvorgänge einschließlich der Schmelztechnik.

Bei konventionellen Luft-Gas-beheizten und Sauerstoff-Gas-beheizten Schmelzwannen entstehen in der Regel aufgrund der hohen Temperaturen keine Geruchsprobleme, selbst wenn Rezyklat-Material geschmolzen wird. Elektrische Cold-Top-Wannen verursachen selten Geruchsprobleme, aber wenn Mineralwolleabfälle wieder eingelegt werden, kann dies der Fall sein. Binder enthaltende Werkstoffe können während des Schmelzvorgangs einer teilweisen thermischen Zersetzung unterliegen und einige geruchsbeeinträchtigende Substanzen können freigesetzt werden. Dieses Problem lässt sich durch die Zugabe von Oxidationsmitteln oder durch eine Faservorbehandlung minimieren.

Bei Kupolschmelzöfen entstehen erhebliche Mengen an geruchsbeeinträchtigenden Schwefelwasserstoffen. Eine annehmbare Lösung hierzu ist die Verbrennung durch ein Nachverbrennungssystem, mit dem ebenfalls andere unangenehm riechende Emissionen aus Rezyklat-Material oder Rohstoffen behandelt werden können.

Die Hauptquellen für die Geruchsbeeinträchtigung sind nachgeschaltete Betriebsvorgänge, insbesondere die Formgebung und Aushärtung. Gerüche können ebenfalls bei der Produktkühlung, vor allem durch verdichtete oder hochkonzentrierte Bindemittelprodukte entstehen, oder aber wenn eine übermäßige Aushärtung stattgefunden hat. Gerüche aus den verwendeten Chemikalien werden nicht als stark beeinträchtigend angesehen. Gerüche ergeben sich vorwiegend aus den chemischen und thermischen Reaktionen des in dem Prozess angewendeten organischen Bindemittels. Der charakteristische Geruch erinnert an "verbranntes Bakelit". Beschwerden über Formaldehyd- oder Ammoniak-Gerüche außerhalb der Anlage sind sehr selten.

Die meisten Gerüche stammen offenbar aus dem Härteofen, wo hauptsächlich die chemischen Reaktionen und thermischen Prozesse stattfinden. Bei der Trocknung entsteht ebenfalls eine gewisse Menge an Destillationsdämpfen aus den Bindemittelverbindungen und Zwischenprodukten. Im Innenbereich der meisten Härteöfen ist eine dicke Aufbauschicht faseriger und harzförmiger Stoffe zu erkennen, wodurch sich ebenfalls Gerüche unter dem Einfluss der Ofentemperatur bilden können. Kleine Feuerstellen und örtliches Ausglühen sind gleichfalls nicht ungewöhnlich bei Härteöfen und der Rauch kann sehr unangenehm riechen.

Die Entstehung von Rauch kann weitgehend durch eine gute Ofenwartung und Reinigung, durch Nass-Reinigungssysteme, entsprechende Dispersion und Vorsorgemaßnahmen zur unmittelbaren Feuerlöschung reduziert werden. Die Verbrennung von Abgasen aus dem Härteofen ist eine sehr wirksame Problemlösung.

Die Vorgänge im Formbereich können ebenfalls Geruchsbildung verursachen, insbesondere wenn das Bindemittel auf die heißen Fasern gesprüht wird. Allerdings ist die Atmosphäre kühler und daher feuchter als der Härteofen und die Abgasvolumen sind sehr viel höher und die Konzentrationen von Geruchs-Ausdünstungen werden aufgelöst. Obwohl eine erhebliche Menge an Gerüchen aus dem Formbereich freigesetzt werden kann, "besteht" nur Geruchsbeeinträchtigung, wenn die Konzentration über dem Geruchs-Grenzwert liegt und somit sind Emissionen aus dem Formbereich in der Regel weniger geruchsstörend als Emissionen aus dem Härteofen. Wenn Emissionen aus dem Formbereich Geruchsprobleme verursachen, können sie durch Nass-Wäsche und entsprechende Dispersion minimiert werden. Problematische Gerüche können durch Nass-Wäsche mit einem Oxidationsmittel beseitigt werden, aber dieser Vorgang ist getrennt von dem Prozesswassersystem vorzunehmen. Die Fragen der chemischen Nass-Wäsche werden in Abschnitt 4.5.6.1.2 erörtert.

Substanz mg/Nm ³ (kg/To Produkt)	Partikel	Phenol (1)	Formaldehyd (1)	Ammoniak (1)	NOx	CO ₂	VOC's (1) (2)	Amine (1) (4)
Zerfaserungs- und Formbereich								
Primärmaßnahmen	100 (3,6)	20 (0,8)	15 (0,5)	125 (4,0)			50 (2,2)	20 (0,7)
Steinwolle Filter	20 (0,7)	15 (0,5)	10 (0,4)	75 (2,5)			25 (1,0)	10 (0,4)
Wasserstrahl + Zyklon	50 (1,8)	15 (0,6)	8 (0,3)	65 (3,0)			30 (1,8)	15
Wasserstrahl + Zyklon + WEP	20 (1,2)	15 (0,6)	8 (0,3)	65 (3,0)			30 (1,8)	15
Wasserstrahl + Zyklon + PBS	50 (1,8)	12 (0,5)	5 (0,25)	50 (2,5)			25 (1,6)	10
Komb. Aushärtung und Formgebung								
Primärmaßnahmen	100 (4,0)	20 (0,9)	15 (0,6)	125 (8,0)			50 (2,5)	20 (0,8)
Wasserstrahl + Zyklon	50 (2,0)	15 (0,7)	8 (0,4)	65 (5,0)			30 (2,0)	15 (0,6)
Wasserstrahl + Zyklon + WEP	20 (1,3)	15 (0,7)	8 (0,4)	65 (5,0)			30 (2,0)	15 (0,6)
Wasserstrahl + Zyklon + PBS	50 (2,0)	12 (0,6)	5 (0,3)	50 (4,0)			25 (1,7)	10 (0,4)
Nur Aushärtung								
Primärmaßnahmen	30 (0,4)	25 (0,1)	25 (0,1)	400 (4,0)	150 (0,5)	60000 (200)	50 (0,3)	10 (0,03)
Verbrennung	20 (0,1)	5 (0,02)	5 (0,02)	100 (0,4)	200(3) (0,6)	80000(3) (230)	10 (0,04)	5 (0,02)
Wasserstrahl + Zyklon	30 (0,2)	10 (0,1)	8 (0,1)	65 (2,0)	150		20 (0,2)	5 (0,02)
Wasserstrahl + Zyklon + WEP	20 (0,1)	10 (0,1)	8 (0,1)	65 (2,0)	150	60000 (200)	20 (0,2)	5 (0,02)
Wasserstrahl + Zyklon + PBS	30 (0,2)	8 (0,1)	5 (0,1)	50 (1,5)	150		15 (0,1)	4

Tabelle 4.29: Allgemein erreichbare Werte für Linienemissionsquellen in die Luft (mg/Nm³)

Anmerkung : WEP = Elektrostatische Nass-Abscheider, PBS = Füllkörper-Wäscher, VOC = Flüchtige Organische Verbindungen

- 1) Die Emission von bindemittelbezogenen Verbindungen ist abhängig von der Bindemittelrezeptur, Prozess-Technologie, Betriebsbedingungen, Produktionsraten, spezifischen Produktanforderungen, usw. Diese Zahlen entsprechen den Emissionswerten, die bei den weitaus meisten Anlagen erreicht werden können, bei denen diese Technik eingesetzt wird. Primärmaßnahmen bestehen hauptsächlich aus Änderungen der Harz- oder Bindemittelrezepturen und diese Änderungen können nicht für alle Produkte und alle Betriebsbedingungen angewendet werden. Unter ungünstigen Bedingungen können die Emissionen wesentlich höher sein als die hier angegebenen Werte, insbesondere wenn nur Primärmaßnahmen eingesetzt werden.. Allerdings sind unter günstigen Verhältnissen und Einsatz von Sekundärmaßnahmen Emissionswerte erzielt worden, die erheblich unter diesen Werten liegen.
- 2) Die Anzahl der VOC Messungen ist begrenzt.
- 3) Hervorgerufen durch die Verbrennung ist der obere Wert höher als bei Primärmaßnahmen.
- 4) **Diese Werte veranschaulichen die Wirksamkeit verschiedener Techniken bei einer Amin-Einlasskonzentration von etwa 20 mg/Nm³, aber wie in Abschnitt 4.5.6.1 erörtert, können durch eine Neuformulierung des Harz-Bindemittelsystems Amin-Emissionswerte von <5 mg/Nm³ erzielt werden.**

Reduktionsmaßnahmen	Typischer Volumenstrom (Nm ³ /h)	Investitionskosten für einen neuen Prozess (Mio Euro)	Investitionskosten für eine bestehende Anlage (Mio Euro)	Betriebskosten (MioEuro/Jahr)
Formen und Aushärten				
Primärmaßnahmen	-	-	-	-
Wasserstrahl + Zyklon	200000 (-50000, + 100000)	1,3 ± 30 %	1,6 ± 40 %	0,1 ± 0,02
Wasserstrahl + Zyklon + El. Nass-Abscheider	200000 (-50000, + 100000)	3,8 ± 30%	4,6 ± 40 %	0,12 ± 0,02
Wasserstrahl + Zyklon + PBS	200000 (-50000, + 100000)	3,5 ± 30 %	4,2 ± 40 %	0,21 ± 0,02
Nur Formgebung				
Steinwolle-Plattenfilter	200000 (± 50000)	1,3 ± 30 %	1,5 ± 30 %	0,2 ± 0,1
Nur Aushärtung				
Verbrennungsöfen	20000 (-5000, + 10000)	1,3 ± 40 %	1,6 ± 30 %	0,2 ± 0,1
Kamin	250000 (-50000 + 100000)	0,7 ± 40 %	0,8 ± 40 %	

Tabelle 4.30: Investitions- und Betriebskosten für Reduktionsmaßnahmen

4.5.7 Keramikfaser

Die Haupt-Umweltbedenken bei Keramikfaser-Prozessen ist die Freisetzung partikelförmiger Stoffe in die Atmosphäre, die Keramikfasern enthalten können. Darüber hinaus können durch einige sekundäre Betriebsprozesse VOC-Emissionen entstehen, insbesondere während der Trocknungs- und Aushärtungsphase.

Partikel- und Faser-Emissionen können von einer Reihe Prozessbereiche erzeugt werden, dazu gehören: Zerkleinerung und Erfassung, Vernadelung, Schlichtemittelverbrennung sowie Schlitzeln, Schneiden, Besäumen, Zuschneiden, Verpacken und Bereiche der Sekundärverarbeitung. Sämtliche Bereiche, in denen Partikel- oder Faser-Freisetzungen erzeugt werden, können durch ein wirksames Absaugsystem über ein damit verbundenes Gewebefiltersystem behandelt werden.

Es gibt zwei Möglichkeiten für die Absaugung und Filterung von partikelangereicherter Luft, nämlich:

- Bereitstellung geeigneter Filteranlagen nahe der Freisetzungsquelle und
- Absaugung der Luft aus einer Reihe von Quellen in eine gemeinsame Filteranlage über ein Rohrverteilersystem.

Das wirksamste Filtersystem besteht aus einem Vorfilter, gefolgt von einem hochwirksamen zweiten Filter mit einem Druckabfall-Monitor und kontinuierlicher Überwachung der Emissionen in die Luft. Hochwirksame Zweitfilter ergeben geringere Freisetzungen und sind eine Sicherheit für den Fall des Versagens des Erstfilters. Wenn die Absaugung aus vielen Quellen in ein gemeinsames System erfolgt, kann die Installation eines Zweitfilters unverhältnismäßig aufwendig sein. Die hieraus entstehenden, starken Luftströmungen und die hohe Festigkeit des Zweitfilters würden einen großen und starken Lüfter mit hohen Energieanforderungen notwendig machen. Ein gut ausgelegtes und wirksam betriebenes Vorfiltersystem bietet die Möglichkeit, Emissionswerte in einem Bereich von 1 bis 5 mg/Nm³ (< 1 mg/Nm³ für Fasern) zu erzielen.

Wenn ein Prozess nur auf Vorfiltern beruht, dann sorgt eine Art Schlauch-Versagens-Vorrichtung für die notwendige Sicherheit. Viele Anlagen sind mit Alarm-Druckabfall-Monitoren ausgerüstet, aber man sollte sich nicht ausschließlich auf diese Lösung verlassen.

Filter mit einem Absaugsystem auf der sauberen Seite des Gewebefilters (negative Drucksysteme) werden im Allgemeinen bevorzugt. Positive Drucksysteme mit dem Lüfter auf der beschmutzten Seite sind möglicherweise gefährlich, weil bei undichten Stellen des Lüfters stromabwärts Stoffe freigesetzt werden.

Die Reinigungsperioden für Gewebefilter können zur Gewährleistung einer maximalen Filterwirkungsrate optimiert werden. Bei einigen Anwendungen, insbesondere bei der Freisetzung von Faserstoffen können Schüttelmechanismen wirksamer sein als Umkehrstrahlsysteme. Angesichts der Beschaffenheit der abgeschiedenen Stoffe ist es von wesentlicher Bedeutung, dass diese Abfallstoffe so behandelt und entsorgt werden, dass jede Art von Freisetzung in die Luft oder in das Wasser vermieden wird. In einigen Fällen besteht die Möglichkeit, die erfassten Stoffe in die Wanne zurückzuführen.

Die Freisetzung organischer Stoffe kann bei der Schlichtemittelausbrennung oder durch Aushärtungs- oder Trocknungsprozesse während der Nachbearbeitung erfolgen. Betriebserfahrungen haben gezeigt, dass solche Freisetzungen äußerst gering sind. Allerdings, können diese bei erheblichen Emissionen (z.B. >100 g/h), entweder durch Primärmaßnahmen oder durch Standard-Reduktionsmaßnahmen, wie beispielsweise Verbrennung oder Absorption überwacht werden.

4.5.8 Fritten

Bei der Frittenherstellung entstehen keine erheblichen Emissionen in die Luft aus nachgeschalteten Betriebsvorgängen. Das Schleifen und Mahlen wird in der Regel im Nassverfahren durchgeführt, jedoch sind Staubüberwachungsmaßnahmen bei Trockenmahlen notwendig und möglicherweise in den Bereichen der Trockenproduktverpackung. Das wirksamste Verfahren ist offenbar die Absaugung mit einem anschließenden Schlauchfiltersystem.

4.6 Prozesse zur Überwachung von Emissionen in das Wasser

Im Allgemeinen sind die Emissionen in Gewässer relativ gering und es gibt einige wenige Probleme, die speziell in der Glasindustrie auftreten. Dieses Dokument befasst sich nicht mit den allgemeinen Problemen der Wasserverschmutzung und den Gemeinsamkeiten vieler industrieller Prozesse, die in der technischen Literatur sehr ausführlich behandelt werden. In diesem Abschnitt sind diese allgemeinen Probleme kurz zusammengefasst und wenn angebracht, werden weitere Informationen zu den Fragen, die speziell die Glasindustrie angehen, bereitgestellt. Im Allgemeinen wird Wasser in der Hauptsache für die Reinigung und Kühlung eingesetzt und kann problemlos zurückgeführt oder mit Standardtechniken behandelt werden. Die wichtigsten potentiellen Quellen der Wasserverschmutzung sind nachstehend aufgeführt:

- Oberflächenwasserentwässerung
- Leckagen bei der Rohstoff-Lagerung
- Sickerwässer von mit flüssigen oder festen Stoffen verunreinigten Gebieten
- Wässer aus Produktreinigungsprozessen
- Kühlwasser und Abschlammwässer aus geschlossenen Kreislaufsystemen
- Abwässer aus Nass-Wäschern

Mit Ausnahme von Sanitärabwässern enthalten die anfallenden Mengen im Allgemeinen nur Glasfeststoffe, geringe Ölverschmutzungen, einige lösliche Stoffe aus der Glasherstellung (z.B. Natriumsulfat) sowie Chemikalien zur Behandlung des Kühlwassersystems. Bei dem potentiellen Einsatz schädlicher Stoffe können Maßnahmen ergriffen werden, damit diese Stoffe nicht in den Wasserkreislauf gelangen. Wenn möglich sollten immer geschlossene Kühlsysteme eingesetzt werden und die Abschlammung lässt sich weitgehend reduzieren. Standardmaßnahmen zur Überwachung der Verschmutzung sind möglich, um nötigenfalls die Emissionen weiter zu reduzieren. Zum Beispiel: Ausfällung, Siebung, Ölabscheider, Neutralisierung und Entleerung in öffentliche Abwasser-Systeme.

Gute Standardverfahren können eingesetzt werden, um die Emissionen aus der Lagerung flüssiger Rohstoffe und Zwischenprodukte zu überwachen.

- Bereitstellung entsprechend dimensionierter Schutzvorrichtungen (Schutzdämme)
- Inspektion und Prüfung von Tankbehältern und Schutzdämmen zur vollständigen Absicherung
- Überfüllsicherung (Absperrventile, Alarmsignale, usw.)
- Anordnung von Auslass- und Füllpunkten in Schutzdämmen oder anderen Absperrsystemen

Spezifische Probleme der Glasindustrie :

- Mineralwolle-Prozesswassersysteme
- Abwässer aus der Endlosglasfaserherstellung
- Spezialglas (TV-Glas)
- Wirtschaftsglas (Bleikristall, Kristallglas).

Mineralwolle

Mineralwolleprozesse sind unter normalen Umständen reine Netto-Wasserverbraucher mit erheblichen Mengen an Wasserdampfemissionen in die Luft aus dem Formbereich und in geringerem Ausmaß aus dem Härtebereich. Es gibt keine wesentlichen Probleme bei der Abwasserableitung mit Ausnahme der oben genannten Themen allgemeiner Art. Die meisten Verfahren arbeiten nach einem geschlossenen Prozesswasserkreislaufsystem (siehe Abbildung 2.11) und wenn möglich, werden Wässer aus der Kühlwasserabschlammung und Reinigungswässer dem Kreislaufsystem zugeführt. Prozessreinigungswässer und Bindemittelverluste werden in der Regel in den Prozesskreislauf zurückgeführt.

Das Prozesswassersystem hat ein begrenztes Volumen. Es kann aber so ausgelegt werden, dass durch einen Vorratsbehälter eine Zwischenspeicherung für übermäßige Wasservolumen ermöglicht wird, das anschließend in das System zurückgeführt werden kann. Die meisten der in dem Prozess verwendeten Stoffe sind mit der Prozesswasser-Chemie verträglich. Geringe Mengen an verschmutztem Abwasser können durch chemische Bindemittel, Verschüttung und Ölabscheider entstehen. Wenn derartige Stoffe nicht mit dem Prozesswassersystem kompatibel sind, können sie in einen Auffangbehälter abgeleitet werden. Angesichts der sehr geringen Volumina dieser Stoffe, werden sie normalerweise in den öffentlichen Abwasserkanal eingeleitet oder außerhalb des Standortes entsorgt. Die in Tabelle 4.31 angegebenen Verfahren könnten eingesetzt werden, scheinen aber aufgrund der sehr kleinen Mengen wirtschaftlich nicht vertretbar zu sein.

Das umfangreiche Prozesswassersystem stellt eine mögliche Quelle für die Verschmutzung von sauberen Wasserkreisläufen dar, wie beispielsweise Oberflächenwässer und Abschreckwässer. Derartige Systeme können so ausgelegt und betrieben werden, dass dieses Risiko weitgehend beseitigt wird. Zum Beispiel sollten Reinwasser-Systeme dort abgedichtet werden, wo sie durch Gebiete mit etwaiger Wasserverschmutzung laufen.

Endlosglasfaser

Die Emissionen entstehen aus dem Formbereich, bei der Bindemittelvorbereitung, Reinigung, Abkühlung, sowie beim Auftragen der Bindemittel auf Glasgewebe und Matten und aus den mit Wasser betriebenen Waschanlagen. Die Hauptemissionsquelle liegt im Formbereich. Angesichts der hohen Geschwindigkeit der Wickelmaschinen und der Einzelfaden-Bewegung während des Formprozesses wird ein Teil des aufgetragenen Bindemittels ausgeschleudert und ausgepresst. Die hauptsächlichen Schadstoffe in dem unbehandelten Abwasser sind eigentlich die Bindemittel selbst. Durch sorgfältige Maßnahmen bei der Handhabung, insbesondere bei der Bindemittelvorbereitung, kann das Emissionsniveau aus anderen Bereichen erheblich reduzieren werden.

Die Schadstoffvarianten und Konzentrationen sind aufgrund der verschiedenen Bindemittelsysteme und Verarbeitungsmethoden weitgehend unterschiedlich. Die Schadstoffkonzentrationen in dem Abwasser sind in manchen Fällen durch die Verdünnung mit dem Wasser aus dem Waschvorgang äußerst gering, jedoch enthalten sie hohe organische Schadstoffkonzentrationen infolge der verwendeten Bindemittel. Das Abwasser muss allgemein entweder in das öffentliche Kanalisationssystem eingeleitet, oder vor Ort mit einer geeigneten Kombination aus den in Tabelle 4.31 dargelegten Verfahrenstechniken behandelt werden. Wenn das Abwasser

direkt in einen Wasserstrom entsorgt wird, ist offenbar die wirksamste Art der Behandlung vor Ort eine biologische Behandlung. Allerdings ist eine sorgfältige Auslegung und Fahrweise des Behandlungssystems erforderlich, weil die Wirksamkeit der biologischen Behandlung in manchen Fällen angesichts geringer Konzentrationen und dem hohen Anteil an Polymeren infrage gestellt werden kann.

Spezialglas

Der Spezialglassektor ist sehr vielseitig und es ist nicht möglich, sämtliche potentiellen Emissionen in das Wasser und die geeigneten Vermeidungsmaßnahmen zu identifizieren. Die meisten Betriebsvorgänge in diesem Bereich sind nur von den allgemeinen, zuvor erörterten Abwasserproblemen betroffen. Allerdings beinhaltet die Herstellung gewisser Produkte wie insbesondere TV-Glas, das Nass-Schleifen oder Polieren. Daraus entsteht ein wässriger Strom mit Schleif- und Polierresten und feinen Glaspartikeln, die Blei enthalten können. Dieser Abwasserstrom kann durch eine kombinierte Standard-Feststoffbeseitigungstechnik wie in Tabelle 4.31 dargestellt, behandelt werden. Das im Glas enthaltene Blei ist in der Hauptsache unlöslich und der gesamt Bleigehalt ist abhängig von dem Feststoffgehalt.

Wirtschaftsglas

Allgemeinen sind im Wirtschaftsglassektor sehr geringe Emissionen in die Gewässer festzustellen. Wie bei anderen Branchen der Industrie besteht ein Großteil der Abwässer aus Kühlwasser und Wasser für die Reinigung. Diese wässrigen Emissionen werden Kühlwasser- und Reinigungsbestandteile enthalten sowie abfließendes Oberflächenwasser. Allerdings erzeugen gewisse Vorgänge, darunter insbesondere die Herstellung von Bleikristall und Kristallglas spezifischere Emissionen, nämlich:

- Wasser zum Schneiden enthält Prozessreste und feine Glaspartikelanteile. Dieses Abwasser kann mit Standard-Feststofftrennverfahren behandelt werden. Das Wasser lässt sich erneut zum Schneiden verwenden, um das Emissionsniveau so weit wie möglich zu vermindern, obwohl eine geringe Menge an Reststoffen aus dem Kreislauf zu entfernen bleibt. Das in dem Glas enthaltene Blei ist im Wesentlichen unlöslich.
- Nach dem Eintauchen in Säure ist das Glas mit einer Bleisulfatschicht überzogen. Diese Schicht wird unter heißem Wasser abgewaschen, das hierdurch versauert und lösliche Bleisulfate enthält. Diese Abwässer können durch kombinierte chemische und physikalische Verfahren aufbereitet werden. Zur Abscheidung von Blei kann das Bleisulfat zur Reaktion aktiviert werden (z.B. mit Kalziumkarbonat woraus Bleikarbonat entsteht), das normalerweise anschließend durch Koagulation und Flockung gefolgt von einer physikalischen Trennung, beseitigt werden kann. Bei Einsatz dieser Techniken ist es möglich, die Bleigehalte bis auf < 0,5 mg/l zu reduzieren.
- Die säurehaltigen Abfallstoffe aus den Nass-Wäschern müssen vor der Entleerung neutralisiert werden. Als Alternative gilt die Rückgewinnung von Hexafluorkieselsäure, die als chemischer Ausgangsstoff kommerzialisiert werden kann.

<u>Physikalisch/Chemische Behandlung</u>	
<ul style="list-style-type: none">• Sieben• Abschöpfen (Skimmen)• Ausfällen• Zentrifugieren• Filtration	<ul style="list-style-type: none">• Neutralisation• Belüftung• Abscheidung• Koagulation und Flockung
<u>Biologische Behandlung</u>	
<ul style="list-style-type: none">• Belebtschlamm• Biofiltration	

Tabelle 4.31: Liste möglicher Abwasseraufbereitungsprozesse zur Anwendung in der Glasindustrie

4.7 Prozesse zur Minimierung anderer Abfälle

Ein charakteristisches Merkmal der Glasindustrie besteht darin, dass bei den meisten Betriebsvorgängen nur relativ geringe Mengen an festen Abfällen anfallen. Die meisten Prozesse verlaufen ohne wesentliche Nebenproduktströme. Die wichtigsten Prozessrückstände sind ungenutzte Rohstoffe und nicht verarbeitete Glasreste aus der Produktion. Die Hauptprozessreststoffe aus der Glasindustrie und die zur Überwachung verwendeten Techniken werden weiter unten genannt.

Gemengeabfallstoffe

Diese Reststoffe entstehen durch die Materialhandhabung und die Lagerung, und soweit es die Qualitätsanforderungen zulassen, werden diese Abfälle/Reststoffe unmittelbar in den Prozess zurückgeführt. Im Falle eines Materialaufbaus besteht die Möglichkeit, dass die Reinheit dieser Reststoffe für eine Wiederverwendung nicht ausreicht, jedoch kann der Anteil der Reststoffrückführung durch die in Abschnitt 4.3 angegebenen Techniken auf ein Mindestmaß reduziert werden.

Staubabscheidung aus den Abgasströmen

In den meisten Fällen können diese Rückstände in den Prozess zurückgeführt werden. Bei dem Einsatz von Absorptionsmitteln für saure Abgase kommen in der Regel Produkte zur Auswahl, die mit den Rohstoffen verträglich sind, um eine Wiederverwendung zu gewährleisten, obwohl die Gemengezusammensetzung angeglichen werden sollte. Diese Frage wird in Abschnitt 4.4.1 näher erörtert.

Bei Regenerativwannen wird im Laufe der Betriebszeit eine wesentliche Staubmenge in den Regeneratoren abgelagert. Während einer Erneuerung oder einer Reparatur werden diese Rückstände beseitigt und an dafür vorgesehener Stelle entsorgt. In der Regel ist eine Rückführung dieser Rückstände nicht durchführbar.

Nicht zu Produkten umgewandelte Schmelze

Dieser Abfallstrom entsteht in der Hauptsache durch Unterbrechungen der Formgebungsprozesse, die entweder auf Funktionsstörungen oder Produktänderungen zurückzuführen sind. Die üblichste und wirksamste Methode besteht in der Abkühlung und Aufsplitterung der Schmelze in Wasser und der direkten Verwendung der auf diese Art und Weise erhaltenen Scherben als Rohmaterial. Es gibt eine Menge Beispiele wonach diese Methode nicht praktikierbar oder durchführbar ist.

Bei der Floatglasherstellung ergeben sich gewöhnlich Prozessunterbrechungen nach dem Floatbad und somit bilden die Abfälle/Reststoffe normalerweise eine feste Glasmasse, die in Bruchstücke zerlegt und als Scherben zurückgeführt werden kann. Ähnlich entstehen bei der Endlosglasfaserherstellung im Allgemeinen Produktionsunterbrechungen nach der Faserbildung und die Abfälle/Reststoffe bestehen aus Glasfasern. Eine weitere Quelle für diese Art Abfall ist ausgelaufenes Glas, bei dem ein Strom geschmolzenen Glases aus dem unteren Kanal entfernt werden muss, um die dichteren, ungeschmolzenen Partikel zu beseitigen. Bei Nicht-Beseitigung sind diese Partikel in der Lage, Zerkleinerungsprobleme zu verursachen, die auf einen erheblichen Schaden und erhöhte Reststoffe hinauslaufen können. Eine interne Verwertung dieser Stoffe ist in der Regel nicht erstrebenswert, weil dadurch die abgesonderten Unreinheiten in die Wanne zurückgeführt werden, die in den Düsen zusammenströmen und Faserbündel bilden. Dies könnte zu einem stufenweisen Aufbau unschmelzbarer Stoffe und möglicherweise zu einem höheren Abfallanteil angesichts der Probleme durch die Faserbildung führen. In einigen Fällen besteht die Möglichkeit der stofflichen Verwertung dieser Abfälle/Reststoffe in anderen Teilen der Glasindustrie.

Bei der Keramikfaser besteht wenig finanzieller Anreiz für eine stoffliche Verwertung der Restschmelze, jedoch aufgrund der steigenden Entsorgungskosten wird dieser Prozess immer häufiger angewendet.

In der Steinwolleherstellung ist eine Rückführung feiner Reststoffe in den Kupolofen nicht möglich, weil dadurch eine Unterbrechung der Luftströmung in dem Materialbett entstehen würde. Dieses Problem lässt sich überwinden, indem die Reststoffe zu Briketts in der Größe der Standard-Rohstoffe verpresst werden. Diese Technik kommt jetzt weitgehend zum Einsatz und kann technisch und ökonomisch als ausgereift angesehen werden, obwohl die Einsparungen je nach Umfang Schwankungen unterliegen. Steinwolle-Perlen (siehe Abschnitt 3.8.4) können ebenfalls auf diese Art erneut verwertet werden.

Abfall-Produkt

Diese Kategorie schließt Material außerhalb der Norm ein, wie Randstreifen, Reststoffe aus der Produktionsumstellung, Bruchstücke und Muster zur Qualitätsbestimmung. Wenn die Möglichkeit besteht, sollten immer Maßnahmen zur Minimierung dieser Art Abfallprodukte bevorzugt werden anstelle von Recycling, zum Beispiel können abgetrennte Randstreifen auf eine Mindestbreite reduziert werden.

„Harter“ Abfall wie beispielsweise Flachglas, Randstreifen und Behälterglasrückstände werden sofort nach dem Zerkleinern in Form von Scherben wiederverwertet. Bei manchen Anlagen kann dies nicht vorkommen, entweder aufgrund von Schwankungen bei der Produktzusammensetzung oder einfach weil nicht genug wirtschaftliche Attraktivität vorhanden ist. Theoretisch lassen sich alle "harten" Glasabfälle auf diese Art stofflich verwerten.

Im Sektor Mineralwolle haben solche Produktabfälle eine faserige Struktur und können daher nicht direkt in die Wanne zurückgeführt werden. Dieses Problem kann durch Mahlen oder Schleifen des Materials gelöst werden, bevor es als Pulver in Wannen, oder in Form von Briketts für Steinwollekuppelöfen zurückgeführt wird. Obwohl diese Technik im Prinzip einfach erscheint, ist sie ziemlich kostspielig und erst seit jüngster Zeit aufgrund der steigenden Entsorgungskosten wirtschaftlich tragbar. Zum Zeitpunkt der Abfassung wird dieses Verfahren nicht allgemein praktiziert. Ein weiteres Problem bei der Glaswolleherstellung ist der organische Anteil dieser Stoffe, die in der Wanne oxidiert werden müssen. Dadurch wird in der Regel ein erhöhter Einsatz von Nitraten erforderlich, die nach ihrer Zersetzung NO_x -Emissionen freisetzen. Wenn möglich, sollten Faserabfälle immer verarbeitet und als Einblaswolle kommerzialisiert werden. Abfälle aus Randstreifen werden in der Regel zerkleinert und direkt in den Faserschleier zurückgeführt. Der Abfallanteil, der auf diese Weise zurückgeführt werden kann, ist begrenzt (nur Randstreifen) und in der Regel können diese Reststoffe nicht für Produkte mit hohen Festigkeitsanforderungen eingesetzt werden.

Bei faserigen Reststoffen aus dem Keramikfasersektor entstehen die gleichen Probleme wie bei Mineralwolle. Zum Zeitpunkt der Abfassung sind keine Beispiele für die stoffliche Verwertung von faserigen Reststoffen bekannt, obwohl dies im Prinzip möglich sein dürfte. Die Reststoffe könnten zu Pulver gemahlen und dann, sofern notwendig, alle organischen Stoffe durch Ausbrennen beseitigt werden. Die damit verbundenen Umweltprobleme und wirtschaftlichen Konsequenzen machen daraus keine attraktive Lösung. Die Arbeiten auf diesem Gebiet laufen weiter.

Die Endlosglasfaserherstellung stellt sehr hohe Qualitätsanforderungen und zum Zeitpunkt der Abfassung sind auf breiter Ebene keine Beispiele für die Rückführung von Glasfaserabfällen in die Wanne bekannt. Das Problem liegt offenbar an der Faserbeschichtung durch organische Stoffe.

Feste Abfälle/Reststoffe aus Abwassersystemen

Im Allgemeinen werden aus dem Brauchwasser getrennte Reststoffe nicht zurückgeführt sondern es erfolgt die Ablagerung auf einer Deponie. In einigen Sektoren, insbesondere bei Wirtschaftsglas (Bleiglas-Schneidschlamm) werden Initiativen zur Rückgewinnung und Aufwertung dieser Reststoffströme ergriffen. In den meisten Sektoren ist eine Rückgewinnung dieser Reststoffe finanziell nicht vertretbar, weil es sich entweder um geringe Volumen oder nicht abzuschätzende stoffliche Belastungen handelt.

Die stoffliche Verwertung von Abfällen aus dem Endverbraucherbereich (beispielsweise aus Sammelcontainern) wird in diesem Abschnitt nicht behandelt, weil es sich nicht um einen Abfallstromprozess handelt und daher diese Frage außerhalb des Geltungsbereich der IVU in diesem Zusammenhang liegt. Allerdings hat die Verwendung dieser Abfälle beträchtliche Auswirkungen auf die Prozesstechnik und wird in den Abschnitten 4.4 und 4.8 näher betrachtet. Darüber hinaus wird durch diese Art der Verwertung der Verbrauch an neuen Rohstoffen reduziert, was nach der IVU als positiv zu bewerten ist.

4.8 Energie

Die Glasherstellung ist ein sehr energieintensiver Prozess und die Auswahl der Energiequelle, Heiztechnik und der Methode der Wärmerückgewinnung sind ausschlaggebend für die Konstruktion der Wanne und die wirtschaftliche Leistungsfähigkeit des Prozesses. Die dafür gewählten Varianten gehören ebenfalls zu den wichtigsten Faktoren, die sich auf die Umweltverträglichkeit und den energetischen Wirkungsgrad des

Schmelzprozesses auswirken. Im Allgemeinen macht der für das Einschmelzen des Glases benötigte Energieanteil mehr als 75 % der Gesamtenergieanforderungen der Glasherstellung aus.

Dieser Abschnitt konzentriert sich auf die Prozesse zur Reduzierung des Energiebedarfs bei Schmelzvorgängen.

Die Energiekosten für den Schmelzvorgang bilden einen der größten Posten bei den Betriebskosten von Glasproduktionsanlagen und es besteht ein wesentlicher Anreiz für die Betreiber, den Energieverbrauch zu reduzieren. Die Wirtschaftlichkeit ist traditionsgemäß eine Motivation zur Durchführung von Energiesparmaßnahmen, aber in jüngster Zeit haben die Umweltaspekte in Zusammenhang mit dem Energieverbrauch wesentlich an Bedeutung zugenommen. Bei fossil beheizten Wannen hat der Energieverbrauch pro Tonne Glas ebenfalls Auswirkungen auf die Emissionen derartiger Bestandteile, die in direktem Zusammenhang mit der Menge an verbrauchtem fossilem Brennstoff stehen, insbesondere CO₂, SO₂ und NO_x und auch partikelförmige Emissionen. Diese Probleme werden in den stoffspezifischen Abschnitten dieses Kapitels erörtert.

Der Energieverbrauch und die wichtigsten Faktoren, die sich auf den energetischen Wirkungsgrad auswirken, werden in Kapitel 3 dargestellt. Dieses Kapitel befasst sich mit den Techniken für eine verbesserten Wannenwirkungsgrad.

4.8.1 Schmelztechnik und Wannenkonstruktion

[tm18 CPIV, tm5 EEO, tm14 ETSU]

Die Auswahl des Schmelzprozesses kann einen wesentlichen Einfluss auf den energetischen Wirkungsgrad haben. Die Wahl wird weitgehend durch eine Reihe ökonomischer Überlegungen bestimmt. Der Hauptfaktor gilt der gewünschten Produktionsrate und den damit in Verbindung stehenden Investitions- und Betriebskosten im Laufe der Lebensdauer der Wanne. Ein wichtiger Aspekt bei den Betriebskosten ist der Energieverbrauch und in der Regel wird der Betreiber eine Wannenkonstruktion mit dem höchstmöglichen, energetischen Wirkungsgrad wählen.

Bei herkömmlichen, mit fossilen Brennstoffen beheizten Wannen besteht der Hauptunterschied bei der Wannenkonstruktion in der Frage, ob die Wärmerückgewinnung durch Regeneratoren oder Rekuperatoren vorgenommen wird. Die Unterschiede bei der Auslegung und der Betriebsweise werden in Kapitel 2 näher erörtert. Einer der wichtigsten Parameter bei der zu treffenden Wahl ist die Wannengröße, die in Abschnitt 4.2 behandelt wird.

Regenerativwannen erreichen eine höhere Vorwärmtemperatur für die Verbrennungsgase, nämlich bis zu 1400°C im Vergleich zu 800°C bei Rekuperativwannen, was eine bessere Schmelzwirkungsgrad zur Folge hat. Die allgemein erhebliche Größe von Regenerativwannen bewirkt auch einen höheren energetischen Wirkungsgrad als es bei kleineren Rekuperativwannen der Fall ist. Dies hängt damit zusammen, dass sich die strukturellen Verluste proportional umgekehrt zur Wannengröße verhalten, wobei der Hauptgrund in der Änderung der wirksamen Oberfläche im Verhältnis zu dem Volumen liegt. Ein moderne Regenerativwanne für Behälterglas hat eine thermische Gesamteffizienz von etwa 50 %, mit Abgasverlusten um 20 % und die strukturbedingten Verluste machen den größten restlichen Anteilen aus. Der thermische Wirkungsgrad einer Rekuperativwanne ohne Wärmerückgewinnung liegt nah bei 20 %.

Regenerativwannen können aus U-Wannen oder Querbrennerwannen bestehen. U-Wannen haben einen höheren thermischen Wirkungsgrad (bis zu 10 % höher), aber die Steuerung der Verbrennung ist stärker begrenzt und es besteht eine Obergrenze für die Wannengröße (zur Zeit etwa 150m² bei Behälterglas). Floatglaswannen haben einen niedrigeren Wirkungsgrad als Behälterglaswannen, weil die spezifische Schmelzdurchsatzleistung einer Floatglaswanne aufgrund der Qualitätsanforderungen weitaus geringer ist.

Die Energierückgewinnung durch die Regeneratoren kann durch eine erhöhte Menge an Feuerfestmaterial gesteigert werden. In der Praxis können diese Steine in erweiterten Regeneratorkammern oder in getrennten, aber miteinander verbundenen Strukturen angeordnet werden, woraus der Begriff Mehrkammerregeneratoren entstanden ist. Der Wirkungsgrad des Regenerators erreicht asymptotisch sein Maximum. Daher nehmen die Zugewinne der Wärmerückführung ab. Die Hauptgründe für den begrenzten Einsatz liegen in den Kosten für das zusätzliche Feuerfestmaterial, und bei bestehenden Wannen liegt die Begründung in dem begrenzt verfügbaren Platz und den zusätzlichen Kosten für die Infrastrukturenänderungen der Wanne. Dieses Prinzip wird häufiger bei U-Flammenwannen aufgrund ihrer einfachen Regenerator-Geometrie angewandt, obwohl

einige Anwendungen bei Querbrennerwannen zu verzeichnen sind. Eine Änderung der Regeneratorstrukturen bei bestehenden Wannan (sofern dies technisch und ökonomisch bei einer gegebenen Anlagenauslegung durchführbar ist), kann nur bei einer Neukonstruktion der Wannan durchgeführt werden. Der Energieverbrauch kann bis zu 15 % reduziert werden, im Vergleich zu einer Wanne mit typischen Einkammerregeneratoren.

Die einzige negative Konsequenz ist das erhöhte Feuerfestmaterialvolumen, das am Ende der Lebensdauer der Wannan abtransportiert werden muss. Dieser negative Aspekt hält sich aber in Grenzen, da ein Großteil der zusätzlichen Feuerfeststeine zwei oder mehr Wannanreisen überdauern kann und im weiteren Verlauf der Entwicklung bieten sich Lösungen für die stoffliche Verwertung dieses Feuerfestmaterials an. Obwohl die erhöhten Luftvorwärmtemperaturen der mit Mehrkammerregeneratoren ausgestatteten Wannan möglicherweise einen Faktor für eine erhöhte Flammentemperatur darstellen, und somit die Bildung von NO_x-Emissionen unterstützen, haben diese Wannan in der Praxis keine höheren NO_x-Emissionswerte bei entsprechenden Maßnahmen zur Reduzierung am Entstehungsort gezeigt.

Es gibt eine Reihe von Werkstoffen, die als Wärmespeicher und Packlagen für Regenerativkammern zur Verfügung stehen. Die einfachste Lösung besteht in der Anwendung von Feuerfestmaterial, das nach offenem Muster oder nach dem "Korbgritter"-System gestapelt wird, und dadurch wird im Allgemeinen bei den Regeneratoren ein Wirkungsgrad von etwa 50 % erzielt (Wärmerückgewinnung durch Luft im Vergleich zu der in dem Abgasstrom enthaltenen Wärme). Allerdings kann die Wärmeübertragung noch durch den Einsatz speziell geformter Packlagen und von schmelzgegossenem Feuerfest-Material erhöht werden. Zum Beispiel kann die Wärmeaustauschwirkung durch ein profiliertes, schmelzgegossenes Kreuzgrittersystem gesteigert werden im Vergleich zu Standard-Packlagen und Brennstoffeinsparungen von 7 % sind als typisch zu bezeichnen. Hinzukommt, dass dieses Material eine hohe Chemikalienbeständigkeit bei flüchtigen Anteilen des Abgasstroms aufweist und (im Vergleich zu Ziegelsteinen) während der gesamten Betriebsdauer ist kaum eine Verschlechterung der Gebrauchseigenschaften zu verzeichnen. Bisher sind etwa 320 Anlagen weltweit mit einem Kreuzgrittersystem ausgestattet, wovon sich 120 in den EU-Ländern befinden.

Der maximale theoretische Wirkungsgrad eines Regenerators beträgt 80 %, weil die Masse der Abgase aus der Wanne das Volumen der eintretenden Verbrennungsluft übersteigt und die Wärmekapazität der Abgase das Wärmevermögen der Verbrennungsluft überschreitet. Die Wirksamkeit wird also praktisch durch die Kosten eingeschränkt und die Verluste aufgrund der Struktur werden erheblicher, sobald die Regeneratoren an Größe zunehmen. Es ist schwierig, einen kostengünstigen Regenerator mit einem Wirkungsgrad von mehr als 70 bis 75 % zu konstruieren.

Bei der Wannengeometrie werden ständig technische Verfeinerungen zur Optimierung der thermischen Strömung und der Wärmeübertragung vorgenommen, beides im Hinblick auf eine bessere Glasqualität und zur Einsparung von Energie. Die Weiterentwicklungen werden oft mit den Fortschritten auf dem Gebiet der Verbrennungssysteme zur Emissionsminderung und für Energieeinsparungen verbunden. Änderungen der Wannengeometrie sind nur bei neuen Wannan oder Wannanerneuerungen möglich.

Der teilweise oder 100%ige elektrische Schmelzprozess verbessert die Energiewirksamkeit bei Berücksichtigung vor Ort, aber bei Berücksichtigung der Wirksamkeit der Stromerzeugung und der Leitungsverluste ist die Situation nicht mehr so eindeutig klar. Diese Techniken werden in Abschnitt 4.2 ausführlicher beschrieben. Der Sauerstoff-Brennstoff-Schmelzprozess hat auch einen geringeren Energieverbrauch zur Folge, aber dies ist ein kompliziertes Thema und wird in Abschnitt 4.4.2.5 eingehender erörtert.

Die in den vergangenen Jahrzehnten erzielten Fortschritte bei Feuerfestmaterialien haben es ermöglicht, dass die Wannan eine längere Wannanreisezeit und eine bessere Isolierung zugelassen. Die Temperatur bis zu welcher der Oberofen ausgesetzt werden konnte, war in der Vergangenheit ein einschränkender Faktor für eine hohe Isolierung. Heutzutage muss die Isolierung sorgfältig und genau nach dem Wannenteil und den Betriebsbedingungen (Temperatur, Glasart, usw.) geplant werden. Nicht alle Teile der Wanne können isoliert werden. Die Glasspiegellinie und der Durchlass dürfen aus Gründen der Abkühlung und auch zur Verlängerung der Lebensdauer der Wanne nicht isoliert werden. Das meiste Feuerfestmaterial in Kontakt mit Glas und dem Oberofen ist schmelzgegossenes Material von hoher Dichte und geringer Porosität und beständig gegen flüssiges Glas und flüchtige Verbindungen im Oberofen. Dieses Material besitzt eine hohe thermische Leitfähigkeit und verlangt in der Regel eine gute Isolierung für eine wesentliche Energieeinsparung. Bei Kalknatronglas besteht das Feuerfestmaterial für das Gewölbe aus Silika und ist sehr stark isoliert. Durch dieses Material wird die Wannentemperatur auf 1600 bis 1620°C begrenzt. Jede Steigerung der Wannentemperatur hat

eine nachteilige Wirkung auf die NO_x -Emissionen sowie auf alle aus dem Gemenge entstehenden flüchtigen Bestandteile und Emissionen.

Eine zusätzliche Isolierung kann in gewissen Bereichen der Wanne ohne großes strukturelles Schadensrisiko erfolgen. Eine Isolierung durch aufgespritzte Fasern trägt wesentlich zu geringeren Wärmeverlusten bei, wenn diese Sprühschicht auf die Struktur des Regenerators aufgetragen wird. Diese einfache, kostengünstige Methode kann die Wärmeverluste des Regenerators bis zu 50 % reduzieren und Energieeinsparungen im Bereich von 5 % ermöglichen. Ein noch weiterer Vorteil ist, dass durch dieses Material sämtliche Risse an der Struktur des Regenerators abgedichtet werden und dadurch das Eintreten von Kaltluft und das Austreten von Heißluft reduziert werden.

4.8.2 Verbrennungs-Überwachung und Brennstoffauswahl

[tm5 EEO, tm14 ETSU]

Seit den letzten Jahrzehnten wird vorwiegend Heizöl zur Glasherstellung eingesetzt, obwohl Erdgas an Popularität zunimmt. Erdgasbeheizung führt zu geringeren SO_x -Emissionen, aber in der Regel steigen dafür die NO_x -Werte. Das hängt damit zusammen, dass die Erdgasflamme eine geringere Strahlung hat und allgemein einen höheren Energieverbrauch von etwa 7 bis 8 % benötigt. Allerdings werden im Laufe der zunehmenden Erfahrungen mit der Erdgasfeuerung Fortschritte gemacht und es können Leistungswerte erzielt werden, die nahe an den Werten von Heizöl liegen. Erdgas hat ein höheres Wasserstoff-Kohlenstoff-Verhältnis und führt zu einer Minderung der gesamten CO_2 -Emissionen bis zu 25 % bei einer bestimmten Durchsatzleistung.

Die Entwicklungsfortschritte bei LoNO_x -Brennersystemen führen ebenfalls zu Energieeinsparungen. Durch die Reduzierung des Verbrennungsluftanteils bis zum stöchiometrischen Verhältnis geht weniger Energie in das Abgas verloren. Die Verbesserungen des Verbrennungssystems, die Wärmeübertragung und die allgemeine Prozessüberwachung mit dem Ziel einer weiteren NO_x -Emissionsminderung haben in vielen Fällen auch Verbesserungen in Bezug auf den Wannenbetrieb und die Wirksamkeit herbeigeführt.

Eine in der Vergangenheit häufig eingesetzte Technik zur Verbesserung der Energieeffizienz und der Durchsatzleistung besteht in der Sauerstoffanreicherung der Verbrennungsluft. Die reduzierten Gasvolumina und höheren Flammentemperaturen steigern den energetischen Wirkungsgrad, aber wenn dieser Prozess nicht Teil eines sorgfältig überwachten, allgemein geringen NO_x -Verbrennungssystems ist, können sich die NO_x -Werte wesentlich erhöhen. Der Einsatz dieser Technik in isolierter Form ist weniger üblich angesichts der Umweltprobleme.

4.8.3 Scherbeneinsatz

[tm29 Infomil, tm14 ETSU]

Der Einsatz von Scherben bei Glaswannen ermöglicht eine wesentliche Reduzierung des Energieverbrauchs und wird in der Regel bei allen Wannentypen vorgenommen, d.h. bei fossil beheizten Wannen, Sauerstoff-Brennstoff beheizten Wannen und elektrisch beheizten Wannen. In den meisten Sektoren der Glasindustrie werden alle intern anfallenden Scherben verwertet. Die Hauptausnahmen bilden Endlosglasfasern (die aufgrund qualitativer Anforderungen nicht in Betracht kommen) und Steinwolle sowie Fritten (bei denen Scherben als solche nicht anfallen). Grundsätzlich liegt der interne Scherbenanteil im Gemenge in der Regel in einem Bereich von 10 bis 25 %.

Scherben haben eine geringere Schmelzenergieanforderung als die Rohmaterialbestandteile, aufgrund der vollendeten, endothermischen chemischen Reaktionen in Verbindung mit der Glasbildung und die Masse ist deshalb um 20 % geringer als die entsprechenden Gemengerohstoffe. Daher ist durch einen erhöhten Scherbenanteil im Gemenge eine Energieeinsparung möglich, denn als Allgemeinregel gilt, bei jeweils 10 % erhöhtem Scherbenanteil reduziert sich der Energieverbrauch der Wannen um 2,5 bis 3 %. Der Einsatz von Scherben führt zu wesentlichen Kosteneinsparungen als Folge der verminderten Energie- und Rohstoffanforderungen.

Es muss unterschieden werden zwischen Eigenscherven (verwertetes Glas aus Eigenproduktion) und Fremdscherben (stofflich verwertete Scherben aus der Endverbraucher-Rückholung oder Fremdscherben aus industrieller Herkunft). Die Zusammensetzung der Fremdscherben ist unbestimmt und daher ist ihre Anwendung begrenzt. Hohe Anforderungen an die Endproduktqualität können den Anteil an Fremdscherben

einschränken. Allerdings ist der Behälterglassektor in der einzigartigen Lage, wesentliche Mengen an Fremdscherben aus den Container-Sammelbehältern zu verwerten. Zum Zeitpunkt der Abfassung begrenzt sich der Hauptverbrauch an Fremdscherben, mit Ausnahme von eingerichteten besonderen Sammelsystemen, auf den Behälterglassektor und auf einige Bereiche des Mineralwollesektors. Glassektoren mit höheren Qualitätsansprüchen und geringer Verfügbarkeit an Fremdscherben (beispielsweise Flachglas) sollten versuchen, mit Großabnehmern Vereinbarungen für die Verwertung der erzeugten Glasabfälle zu treffen.

Der Einsatz von Scherben in der Behälterglasindustrie bewegt sich zwischen <20 % bis zu <90 %, bei einem Durchschnitt innerhalb der EU in einem Bereich von 48 %. Die Recycling-Quoten unterliegen starken Schwankungen innerhalb der Mitgliedstaaten, je nach den bereitgestellten Möglichkeiten zur Scherbensammlung durch die Verbraucher. Behälterglas mit hohen Qualitätsanforderungen hat einen geringeren Scherbenanteil als Standardprodukte.

Im Wirtschaftsglassektor ist der Einsatz von Fremdscherben aufgrund der geforderten Qualitätseigenschaften in der Regel nicht möglich. Die Verwendung von Eigenschcerben ist begrenzt, angesichts der geringen Verfügbarkeit von Scherben mit entsprechender Zusammensetzung und den geforderten Qualitätseigenschaften. Der durchschnittliche Anteil an verwendeten Eigenschcerben beträgt 25 % bei Kalknatronglas und 35 % bei Bleiglas.

Zur Herstellung von Weißglas (farbloses Glas) werden nur sehr geringe Mengen an farbigen Scherben zugelassen, weil Farbglas nicht entfärbt werden kann. Daher sind hier Recyclingsysteme wirksamer, bei denen eine Farbtrennung vorgenommen wird. Innerhalb der EU gibt es riesige Mengen an Grünglas- und Braunglas-Scherben, allerdings sind Weißglas-Scherben weniger üblich und aufgrund dieser Sachlage arbeiten Wannen zum Schmelzen von Farbglas mit einem höheren Scherbenanteil. Die Lage ändert sich wesentlich unter den Mitgliedstaaten aufgrund regionaler Unterschiede, so ist diese Situation beispielsweise in Großbritannien ein Problem, da die Mehrheit der Produktion aus Weißglas besteht, obgleich ein wesentlicher Scherbenanteil aus farbigen Glas aufgrund der Weinflaschen-Importe festzustellen ist. Demzufolge sind die Scherbenanteile in den Schmelzwannen Großbritanniens durchschnittlich geringer.

In Sachen Wannenbetrieb haben hohe Scherbenanteile auch noch andere Vorteile, wie z.B. geringe Feststoff-Emissionen zu bieten. Die Vorwärmung von Scherben ist einfacher als von der Glasschmelze. Die Wannenleistung kann ebenfalls erheblich erhöht werden, aber es werden eine Menge Anforderungen an den Hersteller bei einem Betrieb mit hohen Scherbenanteilen gestellt:

- Metallische Verunreinigungen wie Flaschenverschlüsse oder Metallfolien von Weinflaschen können das Feuerfestmaterial stark beschädigen und die Lebensdauer der Wanne verkürzen. Die Metallteilchen sinken auf den Boden, wo ein sogenanntes "Blasenbohren" stattfindet. Durch die chemische Reaktion bohren die Metallteile tatsächlich Löcher in den Boden der Wanne.
- Einschlüsse von Teilen aus Keramik, wie beispielsweise Steingut oder Tonwaren, die in der Glasschmelze unlöslich sind, kommen als "Steine" im Endprodukt zum Vorschein und führen zu Ausschussware.
- Bei hohen Scherbenanteilen kann die Überwachung der Glaszusammensetzung und daher der physikalischen Eigenschaften der Glasschmelze erschwert werden und möglicherweise zu Qualitätsproblemen des Endproduktes führen. Der unterschiedliche Inhalt an organischen Stoffen, insbesondere (Nahrungsmittelreste, Papieretikette, Kunststoffe), kann zu Problemen in Bezug auf den Oxidations-/Reduktionszustand und zu Farb- und Läuterschwierigkeiten führen.
- Aluminium Kapseln und Folien sind starke lokale Reduktionsmittel und verursachen, dass Siliziumdioxid aus dem Glas zu metallischen Silizium reduziert wird. Das Silizium bildet kleine Schmelzperlen, wodurch die mechanische Festigkeit des Glases erheblich geschwächt wird, durch die Spannungen, die auf die enorme Differenz des thermischen Expansionskoeffizienten zwischen Glas und Silizium zurückzuführen sind.

Zusätzlich zu der Möglichkeit wesentlicher Energieeinsparungen durch den Einsatz von Scherben gibt es eine Menge weiterer wichtiger Umweltvorteile. Die CO₂, SO_x, NO_x und Staub-Emissionen werden in hohem Maße durch den reduzierten Brennstoffeinsatz und die niedrigeren Wannentemperaturen vermindert. Allerdings können Scherbenverunreinigungen höhere HCl-, HF- und Metall-Emissionswerte zur Folge haben. Dies ist in Gegenden mit hohen Recycling-Raten, bei denen sich die Verunreinigungen im Recyclingmaterial aufbauen können, von besonderer Bedeutung. Bei vielen der in der Glasherstellung eingesetzten Rohstoffe handelt es sich

um Karbonate und Sulfate, die beim Schmelzen CO_2 und SO_x freisetzen. Der gesteigerte Scherbeneinsatz vermindert diese von den Rohstoffen ausgehenden Emissionen und verringert den Verbrauch an neuen Rohstoffen.

4.8.4 Abhitzeessel

Das Prinzip dieser Technik besteht darin, dass die Abgase unmittelbar durch ein entsprechendes Rohrregister zur Dampferzeugung laufen. Der Dampf kann für Wärmezwecke (Raumheizung und Dampfbegleitheizung) oder über einen geeigneten Dampfmotor oder Turbine zur Stromerzeugung für den Betrieb von Werksanlagen wie Luftkompressoren oder Ventilatoren für IS-Maschinen genutzt werden.

Einströmende Gase aus Regeneratoren/Rekuperatoren haben in der Regel eine Temperatur im Bereich von 600°C bis 300°C . Die Auslasstemperatur bestimmt die verfügbare, zurückgewinnbare Wärme, die auf etwa 200°C begrenzt ist, angesichts der Kondensationsgefahr in dem Kessel, und um einen einwandfreien Betrieb des Kamins zu gewährleisten. Es ist möglich, dass die Kesselrohre durch die Abgase der Wanne und die Kondensationsstoffe mit einer Schicht überzogen werden (z.B. Natriumsulfat je nach Rezeptur) und daher müssen sie von Zeit zu Zeit gereinigt werden, um die Rückgewinnungs-Effizienz aufrechtzuerhalten (weniger ausschlaggebend bei Kesseln, die den Entstaubungsanlagen nachgeschaltet sind). Die Selbstreinigung erfolgt durch automatische Dampfreinigung, mechanische Reinigung oder periodische Wartung.

Die Anwendbarkeit und wirtschaftliche Durchführbarkeit ist abhängig von dem erreichbaren Gesamtwirkungsgrad (einschließlich der tatsächlich genutzten Stromerzeugung). In der Praxis kommen Abhitzeessel nur dem Regenerator/Rekuperatorsystem nachgeschaltet zur Rückgewinnung der Restwärme in Betracht und es gibt dafür zumindest zwei Beispiele mit Sauerstoff-Brennstoff beheizten Wannen. In vielen Fällen ist die rückgewinnbare Energie für eine wirksame Energieerzeugung gering und kann in der Regel nur eine Möglichkeit für Rekuperativwannen oder für größere Anlagen sein, oder wenn es möglich ist, die Abgase aus mehreren Wannen zusammenzulegen. Abhitzeessel werden bei einigen Behälterglasanlagen industriell genutzt, aber die meisten Anwendungen sind bei Floatglaswannen vorzufinden. Sämtliche Floatglaswannen in Deutschland sind mit Abhitzeesseln ausgerüstet.

Die Investitionskosten können 1 Million Euro bei unterschiedlicher Amortisationszeit überschreiten, je nach Leistung und vorwiegender Energiekosten. Die kontinuierlichen Verbesserungen des primären Energiewirkungsgrades verschlechtern die Kosteneffektivität der Abhitzeessel. In einigen Fällen ist möglicherweise die Dauer der Amortisation nicht attraktiv, aber dies ist von Fall zu Fall verschieden. Der 3R-Prozess kann bei bestehenden Abhitzeesselsystemen zu einer höheren Effektivität verhelfen und würde wahrscheinlich die Wirtschaftlichkeit eines jeden neuen zur Installation vorgeschlagenen Systems verbessern. Allerdings wenn aus irgendeinem Grund die Installierung eines Abhitzeessels als nicht geeignet oder wirtschaftlich nicht attraktiv angesehen wird, lässt sich diese Situation durch die Installierung des 3R-Prozesses nicht unbedingt ändern.

4.8.5 Gemenge- und Scherben-Vorwärmung

[tm29 Infomil]

Beschreibung der Technik

Normalerweise wird die Wanne mit kaltem Gemenge und Scherben beschickt, aber durch die Nutzung der Restwärme aus den Abgasen zur Vorwärmung des Gemenges und der Scherben sind wesentliche Energieeinsparungen möglich. Dies bezieht sich nur auf mit fossilen Brennstoffen beheizte Glaswannen. In der Steinwolleherstellung kommen vorwiegend Kupolöfen zum Einsatz, die so konstruiert sind, dass aufgrund ihrer gestalterischen Auslegung die Rohstoffe erheblich aufgeheizt werden.

Gemenge/Scherben Vorwärmer sind von GEA/Interprojekt (Direkte Vorwärmung), Zippe (indirekte Vorwärmung) und Sorg (direkte Vorwärmung) entwickelt und installiert worden. Kürzlich wurde von Edmeston ein kombinierter, direkter Scherbenvorwärmer und ein Elektrofilter entwickelt und installiert. Die drei verfügbaren Systeme werden im Folgenden beschrieben.

Direkte Vorwärmung

Diese Art der Vorwärmung erfordert den direkten Kontakt zwischen dem Rauchgas und dem Rohstoff (Scherben und Gemenge) im Kreuzstrom. Die Abgase werden in den Vorwärmer von der Abgasleitung hinter dem Regenerator eingespeist. Sie laufen durch die Hohlräume in den Vorwärmer und kommen dadurch direkt in Kontakt mit dem Rohmaterial. Die Auslasstemperatur der Scherben geht bis zu 400°C. Das System umfasst einen Bypass, der den Wannenbetrieb weiterhin ermöglicht, wenn der Einsatz des Vorwärmsystems entweder ungeeignet oder nicht möglich ist. Direkte Vorwärmsysteme werden von Interprojekt (zuvor von GEA) und von Sorg entwickelt und installiert.

Indirekte Vorwärmung

Das indirekte Vorwärmungssystem ist im Prinzip ein Kreuzstrom-Plattenwärmetauscher, in dem das Material indirekt vorgewärmt wird. Es besitzt eine modulare Form und besteht aus einzelnen, übereinanderliegenden Wärmetauscherblöcken. Diese Blöcke sind erneut aufgeteilt in horizontale Abgas- und vertikale Werkstoff-Schächte. In den Werkstoff-Schächten fließt die Masse durch die Schwerkraft von oben nach unten. Je nach dem Durchlauf erreicht die Werkstoffmasse eine Geschwindigkeit von 1 bis 3 m/h und wird normalerweise von der Raumtemperatur bis auf etwa 300°C aufgewärmt. Die Rauchgase bleiben unteren Bereich des Vorheizsystems und fließen in den oberen Teil mit Hilfe von Spezial-Umleitschächten. Die Abgase fließen horizontal durch die einzelnen Module. Typischerweise werden die Rauchgase abgekühlt bis auf etwa 270° bis 300°C. Der indirekte Scherben-Vorwärmer ist eine Entwicklung von Zippe.

Edmeston EGB-Filter

Das „Edmeston Electrified Granulate Bed“(EGB)-Filtersystem ist ein Hybridsystem zwischen einem Elektrofilter zur Staubbeseitigung und einem direkten Scherben-Vorwärmer. Das heiße Abgas tritt am oberen Ende des Systems ein und läuft durch eine Ionisationsstufe, wodurch eine elektrische Ladung auf die Staubpartikel aufgeprägt wird. Das Gas läuft anschließend durch ein granulatförmiges Scherbenbett, das durch eine Hochspannungselektrode polarisiert wird. Die aufgeladenen Staubpartikel werden von den Scherben angezogen und dort abgelagert. Die Scherben befinden sich in einem Schacht und werden ständig oben nachgefüllt und vom unteren Bereich entnommen. Die vorgeheizten Scherben (bis auf 400°C) werden mit dem anhaftenden Feststoff in die Wanne eingespeist.

Umweltleistung

Diese Techniken haben zahlreiche Umweltauswirkungen, die sich von Fall zu Fall ändern können. Im Allgemeinen sind folgende Verbesserungen erzielt worden:

- Energieeinsparungen zwischen 10 % und 20 %,
- NO_x-Emissionsminderung (durch geringeren Brennstoffbedarf und geringere Wammentemperaturen),
- Bei direkter Vorheizung wird eine Reduzierung der sauren Bestandteile, SO₂, HF und HCl von jeweils 60 %, 50% und 90% festgestellt (Differenz vor und nach dem Scherbenbett).

Finanzielle Aspekte

Die Wirtschaftlichkeit von Gemenge/Scherben Vorwärmern hängt stark von der Leistung der Wanne und des Vorwärmers ab. Als Beispiel und Kostenhinweis sei erwähnt, dass für einen indirekten Vorwärmer für eine 370 Tonnen/Tag Behälterglaswanne Investitionskosten von 2,5 Millionen Euro (inklusive Elektrofilter) anfallen. Davon beziehen sich 0,8 Millionen Euro auf den Vorwärmer. Wenn beträchtliche Energieeinsparungen möglich sind, ist die Amortisierung nach 3 bis 10 Jahren erreichbar. Das kann weniger sein, wenn die elektrische Zusatzbeheizung wesentlich reduziert wird. Zum Zeitpunkt der Abfassung ist die Mehrheit der Behälterglashersteller in der EU nicht der Ansicht, dass die Scherbenvorwärmung einen wirtschaftlichen Anreiz bietet. Allerdings kann die Einstellung von Gegend zu Gegend unterschiedlich sein und wird laufend beobachtet, da sich die Energiekosten und andere Faktoren (beispielsweise Emissionsgrenzen) ändern.

Anwendbarkeit

Scherben/Gemenge Vorwärmsysteme können theoretisch bei allen bestehenden Glasschmelzwannen mit mehr als 50 % Scherben im Gemenge installiert werden. Die alleinige Vorwärmung des Gemenges ist problematisch und wird nicht als technisch ausgereift angesehen. Der Einsatz eines direkten Vorwärmers verursacht höhere

Werte bei den partikelförmigen Emissionen (bis zu 2000 mg/Nm³) und Sekundärmaßnahmen zur Emissionsvermeidung sind notwendig. Die erfassten Stäube können normalerweise in die Wannen zurückgeführt werden.

Um den Wärmeverlust des Transportsystems unter dem Wärmeaustauscher so niedrig wie möglich zu halten, sollte der Vorwärmer so nah wie möglich am Doghouse liegen. Der ideale Platz wäre direkt über der Gemengebeschickung. Aus ökonomischen Gründen sollte das verfügbare Abgas eine Temperatur von mindestens 400 bis 450°C haben. Außerdem ist eine Abkühlung der Rauchgase von mindestens 200 bis 250°C notwendig. Zur Vermeidung einer Materialzusammenbackung sollte die maximale Einlasstemperatur der Rauchgase einen Wert von 600°C nicht überschreiten.

Zusammenhängende Betrachtungen

Durch diese Technik kann eine Erhöhung der Wannenleistung von 10 % bis 15 % erreicht werden, ohne die Lebensdauer der Wanne zu beeinträchtigen. Wenn die Schmelzleistung nicht erhöht wird, dann ist eine geringe Steigerung der Lebensdauer der Wanne möglich. Durch Zufuhr von mehr Wärme in die Wanne kann diese Technik ebenfalls reduzierte Anforderungen an die elektrische Zusatzbeheizung ermöglichen.

In einigen Fällen sind angesichts der freigesetzten organischen Gase bei der Scherbenvortrocknung Geruchsprobleme durch die Scherbenvorwärmung entstanden. Diese Schwierigkeiten werden durch das Verbrennen der Nahrungsmittelpartikel und anderer organischer Stoffe in den Fremdscherben verursacht. Lösungen für diese Probleme sind in der Entwicklung (zum Beispiel Veraschung).

Die Vorwärmung der Stoffe verbraucht Elektroenergie, insbesondere bei der direkten Vorwärmung, die einen Elektrofilter notwendig macht. Ein Teil der Energieeinsparung wird dadurch wieder aufgehoben, verursacht aber keine nennenswerte Beeinträchtigung.

Es besteht die Möglichkeit, dass die direkte Vorwärmung zu Dioxin-Emissionen führen kann, insbesondere wenn HCl enthaltende Abgase von der Heiß-End-Vergütung vorhanden sind. Allerdings gibt es derzeit noch keine klaren Beweise hierfür.

Installationsbeispiele

(Alle Behälterglas-Hersteller)

Direkte Vorwärmung:

Vier Wannen bei Nienburger Glas, Nienburg, Deutschland
 Gerresheimer Glas, Düsseldorf, Deutschland
 Wiegand Glas, Steinbach am Wald, Deutschland
 Gerresheimer Glas, Budenheim, Deutschland

Indirekte Vorwärmung:

PLM Glasindustrie Dongen BV, Dongen, Niederlande
 PLM Glass Division, Bad Münden, Deutschland
 Vetropack, ST. Prex, Schweiz, nicht mehr in Betrieb.

Edmeston EGB Filter:

Irish Glass, Dublin, Irland
 Leone Industries, New Jersey, USA (Sauerstoff-Brennstoff beheizte Wanne).

5 BVT SCHLUSSFOLGERUNGEN

5.1 Einführung

Zum Verständnis dieses Kapitels und des Inhalts wird die Aufmerksamkeit des Lesers auf das Vorwort dieses Dokuments gelenkt und insbesondere auf den fünften Abschnitt des Vorworts: “Wie dieses Dokument zu verstehen und anzuwenden ist”. Die in diesem Kapitel dargestellten Techniken und die damit verbundenen Emissions- und/oder Gebrauchswerte oder Größenwerte sind durch einen wiederholten Prozess unter Berücksichtigung folgender Schritte festgelegt worden:

- Identifizierung der umweltrelevanten Schlüsselthemen für diesen Sektor, in diesem Fall die von Schmelzwannen ausgehenden Emissionen in die Luft;
- Untersuchung der bestmöglichen Techniken als Antwort auf diese Schlüsselfragen;
- Identifizierung des besten Leistungsniveaus zum Schutz der Umwelt auf der Grundlage von Daten, die innerhalb der europäischen Mitgliedstaaten und weltweit zur Verfügung stehen;
- Untersuchung der Voraussetzungen, unter denen diese Leistungswerte erzielt wurden, wie beispielsweise Kostenaufwand, medienübergreifende Auswirkungen, federführende Kräfte für den Einsatz dieser Techniken;
- Auswahl der Besten Verfügbaren Techniken (BVT) und die damit verbundenen Emissions- und/oder Gebrauchswerte für diesen Sektor im Allgemeinen und nach Artikel 2(11) und Anhang IV der Richtlinie.

Die Beurteilung durch die Experten des EIPPC Bureau und der zuständigen technischen Arbeitsgruppe hat bei der Festlegung dieser Schritte und bei der Art und Weise, wie hier die Darstellung der Informationen erfolgt, eine wesentliche Schlüsselrolle gespielt.

Auf der Basis dieser Beurteilung werden die Techniken und soweit wie möglich die Emissions- und Verbrauchswerte in Verbindung mit dem Einsatz der BVT in diesem Kapitel dargestellt, die für den Sektor insgesamt gelten und in vielen Fällen die gegenwärtige Leistungsfähigkeit einiger Anlagen in diesem Sektor widerspiegeln. In den Fällen, in denen Emissions- oder Verbrauchswerte „in Verbindung mit den Besten Verfügbaren Techniken“ dargestellt werden, ist dies so zu verstehen, dass derartige Werte die Umweltleistung darstellen, die als Ergebnis der Anwendung der dargestellten Techniken in diesem Sektor zu erwarten sind, wohlgeachtet unter Berücksichtigung des Gleichgewichts zwischen den Kosten und Vorteilen im Rahmen der für die BVT geltenden Definition. Allerdings handelt es sich weder um Emissions- noch Verbrauchsgrenzwerte und sollten auch nicht als solche verstanden werden. In einigen Fällen ist es technisch durchaus möglich, bessere Emissions- oder Verbrauchswerte zu erzielen, aber in anbetracht der Kosten oder medienübergreifenden Überlegungen, werden sie nicht als geeignete BVT für den Sektor insgesamt angesehen. Allerdings können derartige Werte in spezifischeren Fällen als gerechtfertigt angesehen werden, bei denen besondere Triebkräfte gelten.

Die mit dem Einsatz der BVT geltenden Emissions- und Verbrauchswerte müssen zusammen mit allen spezifischen Referenzbedingungen (zum Beispiel Durchschnittsperioden) betrachtet werden.

Das oben beschriebene Konzept der „mit der BVT bestimmten Emissionswerte“ muss von dem in anderen Teilen des Dokuments benutzten Begriff „erreichbarer Wert“ unterschieden werden. In den Fällen, in denen ein Wert als „erreichbar“ bezeichnet wird unter Anwendung einer besonderen Technik oder einer Kombination von Techniken, ist darunter zu verstehen, dass zu erwarten ist, dass der Wert über einen längeren Zeitraum bei einer gut gewarteten und betriebenen Anlage oder einem Prozess bei Einsatz dieser Techniken erreicht wird.

Wenn es möglich ist, werden die Daten über die Kosten zusammen mit der Beschreibung der im vorigen Kapitel erörterten Techniken angegeben. Diese Daten ermöglichen einen groben Überblick über die Höhe des Kostenaufwands. Allerdings sind die gegenwärtigen Kosten für die Anwendung einer Technik in hohem Masse abhängig von einer bestimmten Situation wie beispielsweise Steuern, Abgaben und von den technischen Daten der betreffenden Anlage. Es ist nicht möglich, derart ortspezifische Faktoren in diesem Dokument in vollem Umfang zu berücksichtigen. Bei fehlenden Angaben bezüglich der Kosten werden aus den Bemerkungen über bestehende Anlagen Schlussfolgerungen gezogen hinsichtlich der wirtschaftlichen und technisch vertretbaren Verhältnisse.

Es wird beabsichtigt, dass die allgemeine BVT in diesem Kapitel als Bezugspunkt für die Beurteilung der gegenwärtigen Leistungsfähigkeit einer bestehenden Anlage oder als eine Empfehlung für eine neue Anlage dienen soll. Auf diese Weise wird die Festlegung geeigneter Bedingungen nach der BVT für die Installation oder für die Aufstellung allgemein verbindlicher Regeln gemäß Artikel 9(8) unterstützt. Es ist vorgesehen, dass neue Anlagen so geplant werden können, um vergleichbare oder sogar höhere Leistungswerte zu erzielen als es bei den hier dargestellten Werten nach der BVT der Fall ist. Es wird ebenfalls beabsichtigt, dass bestehende Anlagen sich an die mit der BVT realisierten Werte anlehnen, oder noch besser, je nach Fall, sich nach der technischen und wirtschaftlichen Anwendbarkeit der Techniken richten.

Obwohl die BVT Glasprozesse (BREF) keine gesetzlich bindenden Standards festlegen, sind sie dazu bestimmt, Informationen zur Orientierung der Industrie, der Mitgliedstaaten und der Öffentlichkeit für die erreichbaren Emissions- und Verbrauchswerte bei Anwendung bestimmter Techniken zu geben. Die geeigneten Grenzwerte für einen spezifischen Fall müssen noch festgelegt werden, unter Berücksichtigung der Zielsetzungen der IVU-Richtlinie und der örtlichen Umstände.

In diesem Kapitel wird die BVT für die hauptsächlichen Emissionen für jeden Sektor der Glasindustrie in den Abschnitten 5.3 bis 5.10 getrennt erörtert. In den meisten Sektoren begrenzen sich die Angaben auf die Emissionen in die Luft, weil diese für die Glasindustrie im Vordergrund stehen. Im Rahmen jeder dieser sektorenbezogenen Abschnitte werden die Emissionen für jeden Bestandteil der Schmelze getrennt behandelt und danach im Allgemeinen für nachgeschaltete Betriebsabläufe dargestellt. Normalerweise sind die wässrigen Emissionen relativ gering und gelten nicht als typisch für die Glasindustrie. Eine allgemeine Betrachtung wässriger Emissionen und anderer Abfälle/Reststoffe wird in den Abschnitten 5.11 und 5.12 vorgenommen.

5.2 Allgemeines

Eine wichtige Charakteristik für viele Anlagen in der Glasindustrie ist die periodische Erneuerung der Schmelzwannen. Es gibt zwei Hauptkategorien der Erneuerung, die normale Erneuerung und die vollständige Erneuerung, die in Abschnitt 4.1 beschrieben sind. Für eine Reihe der in Kapitel 4 dargestellten Techniken kann es nicht nur technisch sondern auch ökonomisch von Vorteil sein, die Realisierung bestimmter Techniken mit dem Zeitpunkt einer Erneuerung zu koordinieren. Bei einigen Techniken kann der Einsatz nur bei einer (normalen oder vollständigen) Erneuerung durchgeführt werden, aber bei anderen Techniken bietet eine derartige Verzögerung wenig Vorteile. Diese Fragen werden in Abschnitt 4.1 eingehend behandelt und bei der Betrachtung der einzelnen Techniken in Kapitel 4 näher beschrieben.

Ein anderer wichtiger Faktor für die Entscheidung, welche Technik für eine einzelne Anlage geeignet ist, besteht in dem Alter einer Wanne. Die geeignete Maßnahme für eine Wanne, von der eine Betriebsdauer von weiteren 8 bis 12 Jahren erwartet wird, kann sich von der für eine Wanne, die in 1 oder 2 Jahren erneuert werden muss, wesentlich unterscheiden. Dies kann sich insbesondere auf das Gleichgewicht auswirken zwischen einer Technik, die beispielsweise eine wesentliche Änderung der Technologie (z.B. Sauerstoff-Brennstoff-Heizung) erforderlich macht und nur bei einer Erneuerung durchgeführt werden kann, und einer Sekundärmaßnahme, mit der eine bestehende Anlage nachgerüstet werden kann.

Für gewisse Parameter und insbesondere für die NO_x-Emissionen einiger Sektoren ist das Potential von Primärmaßnahmen noch nicht am Ende der Entwicklung. In der Richtlinie 96/61/EG werden Maßnahmen zur Vermeidung der Umweltverschmutzung bevorzugt, und wenn diese Primärmaßnahmen weiter entwickelt werden, sind sie in der Lage, die BVT in noch besserer Form darzustellen als einige der in diesem Kapitel behandelten Sekundärmaßnahmen. In vielen Fällen stellt die Durchführung sämtlicher in diesem Kapitel erörterten Maßnahmen eine substantielle Investition für die Glasindustrie dar und die damit verbundenen Kosten sind untragbar, wenn sie nicht über einen sinnvollen Zeitraum verteilt werden können.

Sofern nicht anders angegeben, lauten die Referenzbedingungen für die in diesem Kapitel angegebenen Werte wie folgt:

- Für die Verbrennungsgase: trocken, Temperatur 0°C (273 K), Druck 101,3 kPa, 8 Vol.-% Sauerstoff (Schmelzwannen mit kontinuierlicher Beschickung), 13 Vol.-% Sauerstoff (Chargen-Öfen). Für Anlagen mit Sauerstoff-Brennstoff-Beheizung ist die Darstellung der auf 8 % Sauerstoff korrigierten Emissionen nur von geringem Wert, und die Emissionen derartiger Anlagen sollten massebezogen ausgedrückt werden.

- Für andere Abgase (einschließlich Emissionen aus Härte- und Trockenöfen ohne Abgasverbrennung): Temperatur 0°C (273 K), Druck 101,3 kPa ohne Korrektur für Sauerstoff oder Wasserdampfkonzentration.

Die in diesem Kapitel angegebenen Emissionswerte beruhen auf Durchschnittswerten, nicht auf kurzzeitigen maximalen Spitzenwerten, für die ein höherer Wert zu erwarten ist. Die angegebenen Emissionswerte beruhen auf einer typischen, durchschnittlichen Dauer von nicht weniger als 30 Minuten und nicht mehr als 24 Stunden.

Umrechnungsfaktoren

Die mit der BVT realisierten Emissionswerte werden als Größenwerte sowohl für die Emissionskonzentration (mg/m^3) als auch für die massenbezogenen Emissionen (kg/Tonne geschmolzenes Glas) dargestellt. Diese Methode der zweifachen Darstellung ermöglicht einen Vergleich zwischen den Wannentechniken und liefert Angaben über die relativen Auswirkungen auf die Umwelt der atmosphärischen Emissionen. Für Emissionen aus mit fossilem Brennstoff beheizten Schmelzwannen, hängt das Verhältnis zwischen der Emissionskonzentration und emittierter Masse pro Tonne geschmolzenen Glases in der Hauptsache von dem spezifischen Energieverbrauch für den Schmelzprozess ab:

Massenbezogene Emission [$\text{kg}/\text{Tonne Glas}$] = Umrechnungsfaktor x Emissionskonzentration [mg/Nm^3]

wobei: Umrechnungsfaktor = $(Q/P) \times 10^{-6}$

und $Q = \text{Abgasvolumen in Nm}^3/\text{h}$.

$P = \text{Durchsatz in Tonne Glas/h}$.

Das Abgasvolumen hängt in der Hauptsache von dem Energieverbrauch, der Brennstoffart und der Verbrennung (Luft oder O_2) ab. Der Energieverbrauch ist eine komplexe Funktion aus (vorwiegend) Wannentyp, Glasart und Scherbenanteil.

Allerdings können mehrere Faktoren das Verhältnis zwischen der Konzentration und dem spezifischen Massenstrom beeinflussen, einschließlich:

- Wannentyp (Luftvorwärmtemperatur, Schmelztechnik)
- Glasart (Energiebedarf für die Schmelze)
- Kombinierte Energiezufuhr (Fossiler Brennstoff/elektrische Zusatzbeheizung)
- Art des fossilen Brennstoffs (Heizöl, Gas)
- Verbrennungsart (Sauerstoff, Luft, sauerstoffangereicherte Luft)
- Scherbenanteil
- Gemengezusammensetzung
- Alter der Wanne
- Wannengröße

Es gibt also keinen direkten Weg für die Definition der allgemeingültigen Umrechnungsfaktoren. Daher werden in diesem Kapitel die Emissionskonzentrationen (mg/Nm^3) als Grundbasis für die mit der BVT realisierten Emissionswerte dargestellt. Um Bereiche für die massebezogenen Emissionen (kg/Tonne geschmolzenes Glas) anzugeben, die diesen Emissionskonzentrationen „im allgemeinen gleichzusetzen sind“ wurden eine Reihe von Umrechnungsfaktoren entwickelt, die den neuen Luft-Brennstoff-Wannen mit hohem energetischen Wirkungsgrad entsprechen. Auf diese Weise ist ein optimierter Energieverbrauch angenommen und der Energieverbrauch nach der BVT berücksichtigt. Diese Umrechnungsfaktoren sind in der nachfolgenden Tabelle angegeben.

Bei vielen Beispielen können höhere Werte für den Energieverbrauch festgestellt werden, aber in diesen Fällen sollte die Leistungsfähigkeit der mit den BVT erzielten Emissionswerten, als Konzentrationen ausgedrückt, verglichen werden.

In einigen Fällen (Elektrowannen, Sauerstoff-Brennstoff-Heizung) ist es notwendig, die Leistungsfähigkeit nur in den massebezogenen Emissionen (kg/Tonne geschmolzenes Glas) zu bewerten.

		orientierende Umrechnungsfaktoren mg/Nm ³ in kg/Tonne geschmolzenes Glas
Flachglas		2,5 x 10 ⁻³
Behälterglas	Allgemeinfall	1,5 x 10 ⁻³
	Sonderfälle ⁽²⁾	3,0 x 10 ⁻³
Endlosglasfaser		4,5 x 10 ⁻³
Wirtschaftsglas	Kalknatronglas	2,5 x 10 ⁻³
	Spezifische Fälle ⁽³⁾	Fall zu Fall Studie (oftmals 3,0 x 10 ⁻³)
Mineralwolle		2 x 10 ⁻³
Steinwollekupolofen		2,5 x 10 ⁻³
Spezialglas TV Glasschirm		3 x 10 ⁻³
Spezialglas TV Glastrichter		2,5 x 10 ⁻³
Borosilikatglas (Rohr)		4 x 10 ⁻³
Glaskeramik		6,5 x 10 ⁻³
Wasserglas		1,5 x 10 ⁻³
Beleuchtungsglas (Kalknatron)		2,5 x 10 ⁻³

Tabelle 5.1: Orientierende Umrechnungsfaktoren mg/m³ in kg/Tonne geschmolzenes Glas⁽¹⁾

1. Diese Tabelle bezieht sich nur auf ausschließlich Luft-Brennstoff beheizte Wannen.
2. Spezifische Fälle entsprechen weniger günstigen Fällen (kleinere Spezialwannen mit einer Glasleistung von gewöhnlich unter 100 Tonnen /Tag und einem Scherbengehalt unter 30 %). Diese Kategorie stellt nur 1 oder 2 % der Behälterglasproduktion dar.
3. Spezifische Fälle entsprechen weniger günstigen Fällen und/oder Nicht-Kalknatronglas: Borosilikatglas, Glaskeramik, Kristallglas und weniger häufig Bleiglas.

5.2.1 Materiallagerung und Handhabung

Die in Kapitel 4 beschriebenen Techniken für die Lagerung und die Handhabung von Rohstoffen können in einer Kombination entsprechend einer bestimmten Anlage eingesetzt werden, um zu gewährleisten, dass Emissionen aus diesen Betriebsvorgängen unbedeutend sind. Wenn bei einer bestimmten Anlage Probleme entstehen, kann die richtige Anwendung dieser Techniken normalerweise Abhilfe schaffen.

5.2.2 Partikelförmige Stoffe

Im Allgemeinen ist die BVT zur Überwachung von Staubemissionen in der Glasindustrie entweder durch den Einsatz eines elektrostatischen Abscheiders oder einer Schlauchfilteranlage zu erzielen, sofern notwendig, zusammen mit einer Anlage zur Trocken- oder Halbtrocken-Absorbierung saurer Abgasbestandteile. Die Leistungsfähigkeit in Verbindung mit diesen Techniken wird in Kapitel 4 dargestellt.

Einige Vertreter der Glasindustrie der technischen Arbeitsgruppe kamen zu der Feststellung, dass nach ihrer Auffassung, die Umweltvorteile von Sekundärmaßnahmen im Vergleich zu Primärmaßnahmen die höheren Kosten für die Kalknatronglasherstellung nicht in allen Fällen rechtfertigen. Dieser Punkt kam besonders stark zum Ausdruck bei Kalknatronglas-Wannen mit geringer Leistung und relativ niedrigen Staubemissionen sowie geringen Metallemissionswerten.

Es ist durchaus möglich, dass die Kostenwirksamkeit bei Primärmaßnahmen (Kosten pro kg Staubminderung) günstiger ausfällt als bei Sekundärmaßnahmen. Allerdings wird allgemein davon ausgegangen, dass unter dem Gleichgewicht im Hinblick auf die Definition von „Beste“ in der IVU-Richtlinie die „wirksamste Methode zur Erzielung eines allgemein hohen Umweltschutzniveaus als Ganzes“ zu verstehen ist, wodurch die Auswahl von Sekundärmaßnahmen als BVT unterstützt wird. Entscheidende Faktoren sind die bessere Umweltleistung von Sekundärmaßnahmen bei Staub-, Metall-, Feinstaub- und gasförmigen Emissionen und der weitläufige Einsatz dieser Techniken unter normalen, ökonomischen Verhältnissen für sämtliche Wannentypen und -leistungen.

Des Weiteren kommt allgemein in Betracht, dass wesentliche Einsparungen bei der Festlegung der BVT selbst für kleinste Wannen, die unter die BVT fallen, keine entscheidende Rolle spielen.

Das Für und Wider von Primär- und Sekundärmaßnahmen wird in Abschnitt 4.4.1.7. behandelt. Allerdings kommt in diesem Kapitel zum Ausdruck, dass Sekundärmaßnahmen zur Vermeidung von Staubemissionen für die meisten Schmelzwannen als BVT angesehen werden, außer wenn gleichwertige Emissionswerte mit Primärmaßnahmen zu erreichen sind.

5.2.3 Schwefeloxide

Bei den meisten Glasrezepturen ist der Sulfatgehalt im Gemenge bereits weitestgehend vermindert und steht in einem angemessenen Verhältnis zur Glasrezeptur und den Produktqualitätsanforderungen. Es ist vorgesehen, dass bei den meisten Beispielen für die Behandlung von Staubemissionen nach der BVT der Einsatz einer Entstaubungsanlage oftmals in Verbindung mit einer Anlage zur Abscheidung saurer Abgasbestandteile eingesetzt wird. Die erzeugten sulfathaltigen Abfälle können in der Regel mit den Rohstoffen in das Gemenge zurückgeführt werden, um die Entstehung eines festen Abfallstroms zu vermeiden. Sofern notwendig, wird dies bei den vorgeschlagenen Emissionswerten in Verbindung mit BVT berücksichtigt. Die Hauptfaktoren für die Bildung von SO_x -Emissionen werden daher durch die Auswahl des Brennstoffes, der Glasart und der Staubrückführungsmaßnahmen bestimmt. Die Abgasreinigungsanlage kann auch optimiert werden zur Reduzierung anderer saurer Abgasbestandteile und die in den folgenden Abschnitten angegebenen Werte beruhen im allgemeinen auf dem Einsatz einer derartigen Anlage.

Bei sehr niedrigem Sulfatgehalt im Gemenge (oder sogar bei Null) und bei Verwendung von Erdgas als Brennstoff, ist eine Anlage zur Abscheidung saurer Abgasbestandteile nicht unbedingt notwendig. Allerdings sind unter diesen Umständen die SO_x -Emissionen gewöhnlich niedriger als die angegebenen Emissionswerte für sulfathaltige Gemenge mit einer Anlage zur Abscheidung saurer Abgasbestandteile.

Die Wahl zwischen einer Öl- oder einer Gasfeuerung ist hauptsächlich abhängig von den vorwiegenden ökonomischen Bedingungen und eine Empfehlung für einen Brennstoff nach der BVT würde den Rahmen des Zuständigkeitsbereichs dieses Dokuments überschreiten. Wenn die Möglichkeit einer Erdgasversorgung besteht und die wirtschaftlichen Verhältnisse es zulassen, führt die Anwendung von Erdgas in der Regel zu niedrigeren SO_x -Emissionswerten. Bei der Anwendung von Heizöl gilt ein Schwefelgehalt von 1 % und weniger als BVT. Allerdings wird ein höherer Schwefelgehalt im Heizöl ebenfalls akzeptiert, wenn dies mit einer Abgasreinigungsanlage verbunden ist, um einen vergleichbaren Emissionswert zu erreichen, und wenn ein dementsprechender Entsorgungsweg für die erfassten Stoffe identifiziert wird. Es ist bekannt, dass in einigen Mitgliedstaaten aufgrund der wirtschaftlichen Verhältnisse, die Anwendung von Heizöl mit niedrigem Schwefelgehalt schwieriger ist.

5.2.4 Andere Bestandteile

Für die Zwecke dieses Dokuments beziehen sich die Klassifizierungen in der nachfolgenden Tabelle auf Metalle und deren Verbindungen. Metalle, die sich außerhalb dieser Gruppe befinden, werden entweder aufgrund ihrer höheren Toxizität einzeln aufgeführt, oder einfach in der Kategorie Staub erfasst, weil ihre geringe Toxizität im allgemeinen eine spezifische Betrachtung nicht rechtfertigt.

Dort wo Emissionswerte für Metalle in diesem Dokument angegeben werden, umfassen diese das Vorhandensein von Metallen, die gasförmig vorliegen und an Staub angebunden sind (siehe 4.4.1.7). .

Gruppe 1 Metalle und deren Verbindungen	Gruppe 2 Metalle und deren Verbindungen
Arsen	Antimon
Kobalt	Blei
Nickel	Chrom III
Selen	Kupfer
Chrom VI	Mangan
	Vanadium
	Zinn

Tabelle 5.2: Klassifizierungen von Metallen und deren Verbindungen

5.3 Behälterglas

5.3.1 Staub

Im Behälterglassektor werden im Allgemeinen die mit der BVT realisierten Emissionswerte für Staub in Verbindung mit Elektrostatischen Abscheidern oder Schlauchfiltern eingesetzt und wo notwendig, mit einer Anlage zur Trocken- oder Halbtrocken-Absorbierung saurer Abgasbestandteile. Der mit diesen Techniken nach der BVT erzielte Emissionswert beträgt 5 bis 30 mg/Nm³, was normalerweise mit weniger als 0,1 kg/Tonne geschmolzenen Glases gleichzusetzen ist. Die Werte im unteren Teil der angegebenen Bereiche sind im Allgemeinen für Schlauchfilteranlagen zu erwarten. In einigen Fällen kann die Anwendung der BVT für Metallemissionen zu geringeren Emissionswerten für Staub führen.

5.3.2 Stickstoffoxide

In der Behälterglasindustrie wird eine breitgefächerte Palette an Wannentypen und Wannengrößen eingesetzt und es gibt viele Primär- und Sekundärmaßnahmen, mit denen sehr gute Effizienz der Reduzierung von NO_x-Emissionen erzielt werden können. Es sind ebenfalls eine Reihe von Techniken entwickelt worden, mit denen sehr geringe NO_x-Emissionswerte erzielt werden können, die aber nur unter gewissen Umständen anwendbar sind. In Kapitel 4 werden die einzelnen Verfahren ausführlich beschrieben, z.B. den LoNO_x-Melter, den FlexMelter oder die Elektroschmelze. Es gibt ebenfalls Verfahren, die grundsätzlich branchenweit einsetzbar sind, aber nicht unbedingt die geeignetste Prozesswahl unter sämtlichen Bedingungen darstellen, wie beispielsweise die Sauerstoff-Brennstoff-Feuerung und die Gemenge/Scherben-Vorwärmung.

Die Auswahl der Techniken nach der BVT ist wesentlich abhängig von den standortspezifischen Umständen. Die Haupttechniken (oder Kombinationen hieraus), die als repräsentativ für die BVT in diesem Sektor gelten können, sind Primärmaßnahmen (Änderungen des Verbrennungsprozesses), 3R- und Reburning Verfahren (für Regenerativwannen), Sauerstoff-Brennstoff-Verbrennungsprozess, SNCR oder SCR. Der als BVT geltende Emissionswert für Stickstoffoxide (angegeben als NO₂) in Verbindung mit diesen Techniken beträgt im allgemeinen 500 bis 700 mg/Nm³, was normalerweise mit 0,5 bis 1,1 kg/Tonne geschmolzenen Glases gleichzusetzen ist. Der niedrigste Wert in diesem Bereich bezieht sich in der Regel auf Sekundärmaßnahmen oder auf den Sauerstoff-Brennstoff-Verbrennungsprozess. Wenn allerdings mit anderen Techniken Werte in diesem Bereich erzielt werden können und sowohl technisch als auch wirtschaftlich tragbar sind, gelten diese Verfahren ebenfalls als BVT.

Wenn die geeignetsten Techniken für eine bestimmte Situation einen Aufschub bis zur nächsten Erneuerung der Wanne erforderlich machen (beispielsweise Sauerstoff-Brennstoff-Verbrennungsprozess oder Revision der Wannengeometrie), sind solche Werte möglicherweise erst nach der Erneuerung erreichbar. Mit der alleinigen Nutzung von Primärmaßnahmen können die für viele Luft-Brennstoff beheizten Schmelzwannen zu erwartenden Emissionswerte 600 bis 850 mg/Nm³ betragen, was normalerweise mit 0,9 bis 1,3 kg/Tonne geschmolzenen Glases gleichzusetzen ist.

Bei Prozessen mit einem hohen Anteil an Nitratverbindungen im Gemenge, besteht die Möglichkeit, dass die oben genannten Emissionswerte ohne Sekundärmaßnahmen schwer zu erreichen sind. Wenn der Einsatz von Nitraten sehr häufig oder ständig vorgenommen wird, oder bei der Entstehung sehr hoher Emissionswerte, kann die Anwendung von Sekundärmaßnahmen erforderlich werden. In diesem Sektor fallen nur Spezialprodukte (z.B. einige Parfümflaschen) unter diese Kategorie, die weniger als 1 % der Produktion darstellen. Mit Ausnahme von außergewöhnlichen Umständen ist zu erwarten, dass der als BVT geltende Emissionswert weniger als 1000 mg/Nm³ beträgt, was normalerweise mit weniger als 3,0 kg/Tonne geschmolzenen Glases gleichzusetzen ist. Bei nicht häufiger Anwendung von Nitraten ist der Kostenaufwand für Sekundärmaßnahmen (wenn nicht anderweitig erforderlich) nicht gerechtfertigt. Wann immer anwendbar sollte der erste Schritt immer in der Minimierung von Nitraten im Gemenge anstelle von Sekundärmaßnahmen sein.

5.3.3 Schwefeloxide

Bei den unten angegebenen Emissionswerten zur Senkung der Staubemissionen wird der Einsatz von Sekundärmaßnahmen und wenn erforderlich, mit einer Anlage zur trockenen oder halbtrockenen Abscheidung

saurer Abgasbestandteile angenommen. Daher werden normalerweise die in diesem Sektor als BVT geltenden Emissionswerte für Schwefeloxide (angegeben als SO₂) wie folgt angegeben:

- Für Gasfeuerung 200 bis 500 mg/Nm³, was normalerweise mit 0,3 bis 0,75 kg/Tonne geschmolzenen Glases gleichzusetzen ist.
- Für Ölfeuerung 500 bis 1200 mg/Nm³, was im Normalfall mit 0,75 bis 1,8 kg/Tonne geschmolzenen Glases gleichzusetzen ist.

Diese Werte entsprechen Situationen, bei denen die Prioritäten auf der Senkung der SO_x-Emissionen liegen und in vielen Fällen eine vollständige Staubrückführung ermöglichen. Geht man allerdings von einem integrierten Umweltansatz aus, hat die Abfallminimierung durch eine Filterstaub- und Scherbenrückführung höchste Priorität und von der damit verbundenen Massenbilanz-Bewertung sind diese Werte nicht erreichbar. Daher gelten als BVT die nachfolgend angegebenen Emissionswerte:

- Für Gasfeuerung bis zu 800 mg/Nm³, was normalerweise mit 1,2 kg/Tonne geschmolzenen Glases gleichzusetzen ist.
- Für Ölfeuerung bis zu 1500 mg/Nm³, was im Normalfall mit 2,25 kg/Tonne geschmolzenen Glases gleichzusetzen ist.

Diese Aspekte werden in den Abschnitten 4.4.3.3 und 5.2.3 und im Anhang „Schwefelbilanz“ eingehend erörtert.

5.3.4 Andere im Schmelzprozess anfallende Emissionen

Als BVT in diesem Sektor gilt im Allgemeinen die Rohstoffauswahl zur Minimierung der Emissionen, sofern angebracht, in Verbindung mit einer Anlage zur Abscheidung saurer Abgasbestandteile. Die Abscheidung saurer Abgasbestandteile ist nicht in jedem Fall erforderlich, um die Entstaubungsanlagen zu schützen oder die zuvor für SO_x angegebenen Emissionswerte zu erreichen. Wo dies aber der Fall ist, gilt eine Anlage zur Abscheidung saurer Abgasbestandteile als BVT, wenn die unten aufgeführten Werte nicht durch Primärmaßnahmen gewährleistet werden können. Die mit der BVT realisierten Emissionswerte für die nachstehend bezeichneten Schadstoffe lauten wie folgt:

- Chloride (angegeben als HCl) <30 mg/Nm³
- Fluoride (angegeben als HF) <5 mg/Nm³
- Metalle (Gruppe 1 + 2) <5 mg/Nm³
- Metalle (Gruppe 1) <1 mg/Nm³

Die Klassifizierungen für Metalle und deren Verbindungen sind in Tabelle 5.2 angegeben.

5.3.5 Nachgeschaltete Prozesse

Die Hauptemissionsquelle aus nachgeschalteten Prozessen entsteht durch die Heißendvergütung. Eine Reihe der in Kapitel 4 beschriebenen Techniken können zur Behandlung der Emissionen eingesetzt werden und die gewählten Techniken hängen von anlagenspezifischen Problemen ab. Die als BVT geltenden Emissionswerte für die nachfolgend bezeichneten Schadstoffe werden wie folgt angegeben:

- Chloride (angegeben als HCl) <30 mg/Nm³
- Partikelförmige Stoffe <20 mg/Nm³
- Zinn <5 mg/Nm³
- Organo-Zinn <1 mg/Nm³

Die Behandlung der Emissionen am heißen Ende kann auch mit den aus der Wanne ausgehenden Abgasen durch gemeinsame Reduktionsmaßnahmen für Staub und saure Abgasbestandteile erfolgen.

5.4 Flachglas

5.4.1 Staub

Als BVT im Sektor Flachglas gilt im Allgemeinen der Einsatz eines elektrostatischen Abscheiders oder einer Schlauchfilteranlage, soweit angebracht, in Verbindung mit einer trockenen- oder halbtrockenen Abscheidung saurer Abgaskomponenten. Der mit diesen Techniken erzielte Emissionswert nach der BVT beträgt 5 bis 30 mg/Nm³, was normalerweise mit weniger als 0,1 kg/Tonne geschmolzenen Glases gleichzusetzen ist. Im Allgemeinen sind für Schlauchfilteranlagen Werte im unteren Teil des angegebenen Bereiches zu erwarten. In einigen Fällen führt die Anwendung für Metallemissionen nach der BVT zu niedrigeren Emissionswerten für Staub.

5.4.2 Stickstoffoxide

Als BVT zur Senkung der Stickstoffoxide (angegeben als NO₂) in diesem Sektor beträgt der Emissionswert im Allgemeinen 500 bis 700 mg/Nm³, was normalerweise mit 1,25 bis 1,75 kg/Tonne geschmolzenen Glases gleichzusetzen ist. Diese Werte beruhen hauptsächlich auf der Anwendung von Primärmaßnahmen oder der 3R- bzw. Reburning Verfahren in Verbindung mit Primärmaßnahmen. Allerdings, soweit angemessen, können ebenfalls andere Techniken (zum Beispiel SCR und SNCR) auch eingesetzt werden, um diese Werte zu erzielen und können als BVT angesehen werden. Bei Prozessen, bei denen 3R- bzw. Reburning Verfahren oder SCR eingesetzt werden, sind Emissionswerte im unteren Teil des angegebenen Bereiches zu erwarten.

Wenn die geeignetsten Techniken für eine bestimmte Situation erst bei der nächsten Erneuerung der Wanne (zum Beispiel Sauerstoff-Brennstoff-Beheizung oder Revision der Wannegeometrie) eingesetzt werden können, sind derartige Werte möglicherweise erst nach der Erneuerung zu erreichen. Allein durch Änderungen des Verbrennungsprozesses sind bei vielen Luft-Brennstoff-beheizten Wannen Emissionswerte von weniger als 850 mg/Nm³ zu erwarten, was mit weniger als 2,2 kg/Tonne geschmolzenen Glases gleichzusetzen ist. Das 3R-Verfahren kann normalerweise während der Wannenlaufzeit eingebaut werden.

Bei Prozessen, für die wesentliche Mengen an Nitratverbindungen im Gemenge erforderlich sind, ist es schwierig, die oben genannten Emissionswerte ohne Sekundärmaßnahmen zu erreichen. Bei häufiger Anwendung von Nitraten, oder bei der Entstehung sehr hoher Emissionswerte, kann der Einsatz von Sekundärmaßnahmen erforderlich sein. Für solche Anwendungsfälle beträgt der erzielte Emissionswert nach BVT weniger als 850 mg/Nm³, was normalerweise mit weniger als 2,2 kg/Tonne geschmolzenen Glases gleichzusetzen ist. Bei unregelmäßigem Einsatz von Nitraten sind die Kosten für Sekundärmaßnahmen (sofern nicht anderweitig erforderlich) nicht gerechtfertigt. Wo immer möglich, sollte der erste Schritt die Reduzierung des Nitratgehalts im Gemenge sein, bevor Sekundärmaßnahmen in Betracht kommen.

5.4.3 Schwefeloxide

Für die unten angegebenen Emissionswerte ist der Einsatz von Sekundärmaßnahmen zur Senkung der Staubemissionen erforderlich und wo notwendig, in Verbindung mit einer Anlage zur trockenen- oder halbtrockenen Abscheidung saurer Abgaskomponenten. Daher werden die in diesem Sektor im Allgemeinen erzielten Emissionswerte nach der BVT für Schwefeloxide (angegeben als SO₂) wie folgt betrachtet:

- Bei Gasfeuerung 200 bis 500 mg/Nm³, was normalerweise mit 0,5 bis 1,25 kg/Tonne geschmolzenen Glases gleichzusetzen ist.
- Bei Ölfeuerung 500 bis 1200 mg/Nm³, was im Normalfall mit 1,25 bis 3 kg/Tonne geschmolzenen Glases gleichzusetzen ist.

Diese Werte gelten für Situationen, bei denen die Priorität auf der Reduzierung von SO_x-Emissionen liegt und in vielen Fällen eine vollständige Staubrückführung möglich ist. Wenn allerdings bei einem integrierten Umweltansatz Abfallreduzierung durch Filterstaub- und Scherbenrückführung als vordringlich angesehen wird und von einer begleitenden Massenbilanzabschätzung diese Werte nicht erreicht werden, können die folgenden Emissionsniveaus als BVT angesehen werden:

- Für Gasfeuerung bis zu 800 mg/Nm^3 , was normalerweise 2 kg/Tonne geschmolzenen Glases gleichzusetzen ist.
- Für Ölfeuerung bis zu 1500 mg/Nm^3 , was normalerweise mit $3,75 \text{ kg/Tonne}$ geschmolzenen Glases gleichzusetzen ist.

Diese Aspekte werden in den Abschnitten 4.4.3.3 und 5.2.3 und im Anhang „Schwefelbilanz“ erörtert.

5.4.4 Andere im Schmelzprozess anfallende Emissionen

Im Allgemeinen gilt in diesem Sektor die Rohstoffauswahl zusammen mit einer Anlage zur Abscheidung saurer Abgasbestandteile in Verbindung mit Staubreduktionsmaßnahmen als BVT zur maximalen Senkung der Staubemissionen. Daher werden die mit BVT verbundenen Emissionswerte für die nachstehend bezeichneten Schadstoffe wie folgt angegeben:

- Chloride (angegeben als HCl) $<30 \text{ mg/Nm}^3$
- Fluoride (angegeben als HF) $<5 \text{ mg/Nm}^3$
- Metalle (Gruppe 1 + Gruppe 2) $<5 \text{ mg/Nm}^3$
- Metalle (Gruppe 1) $<1 \text{ mg/Nm}^3$

Die Klassifizierungen für Metalle und deren Verbindungen sind in Tabelle 5.2 aufgeführt.

5.4.5 Nachgeschaltete Prozesse

Zahlreiche in Kapitel 4 angegebene Techniken können zur Behandlung von Emissionen aus nachgeschalteten Prozessen eingesetzt werden und die Wahl der Techniken ist abhängig von anlagenspezifischen Fragestellungen. Die mit BVT verbundenen Emissionswerte für die nachfolgend bezeichneten Schadstoffe werden wie folgt angegeben:

- Chloride (angegeben als HCl) $<30 \text{ mg/Nm}^3$
- Fluoride (angegeben als HF) $<5 \text{ mg/Nm}^3$
- Partikelförmige Stoffe $<20 \text{ mg/Nm}^3$
- Metalle (Gruppe 1 + 2) $<5 \text{ mg/Nm}^3$
- Metalle (Gruppe 1) $<1 \text{ mg/Nm}^3$

Die Klassifizierungen für Metalle und deren Verbindungen sind in Tabelle 5.2 angegeben.

5.5 Endlosglasfaser

5.5.1 Staub

Im Allgemeinen gilt für diesen Sektor als BVT der Einsatz eines elektrostatischen Abscheiders oder Schlauchfilters, sofern angemessen, in Verbindung mit einer Anlage zur Trocken- oder Halbtrocken-Reinigung saurer Abgasbestandteile. Die mit der BVT realisierten Emissionswerte in Verbindung mit diesen Techniken betragen 5 bis 30 mg/Nm^3 , was normalerweise mit weniger als $0,14 \text{ kg/Tonne}$ geschmolzenen Glases gleichzusetzen ist. Werte an der unteren Grenze dieses Bereichs sind im Normalfall für Schlauchfilteranlagen zu erwarten. In einigen Fällen kann die Anwendung der BVT für Metallemissionen zu niedrigeren Emissionswerten für Staub führen.

In diesem Sektor ist mit der Staubart gemeint, dass die Abkühlung der Abgase und die Einstellung der Staubreduktionsanlage von wesentlicher Bedeutung für einen optimierten Wirkungsgrad sind. In einigen Fällen ist möglicherweise bereits eine Einrichtung zur Staubvermeidung installiert worden, die zwar den Anforderungen der BVT von der Auslegung her entspricht, aber weniger von den geforderten Zielsetzungen und somit keine ideale Einstellung hat. Wenn mit einer bestehenden Anlage ein Emissionswert von 50 mg/Nm^3 anstatt der zuvor angegebenen 30 mg/Nm^3 erreichbar ist, dann stehen die Kosten für eine neue Ersatzanlage

oder für wesentliche Änderungen vor der nächsten Erneuerung in keinem Verhältnis zu den erreichten Vorteilen.

Gewisse hochentwickelte Rezepturen führen zu Emissionswerten, die nahezu im Bereich der zuvor angegebenen Werte liegen ohne den Einsatz von Sekundärmaßnahmen. Wo dies der Fall ist, muss eine ortsspezifische Beurteilung in Bezug auf die BVT erfolgen.

5.5.2 Stickstoffoxide

Zum Zeitpunkt der Abfassung befindet sich dieser Sektor in einer Übergangsperiode für die NO_x -Kontrolle, die es schwierig macht, konkrete Schlussfolgerungen für die Emissionswerte gemäß BVT zu formulieren. Die Emissionswerte liegen im Allgemeinen bei einem Wert von mehr als 1000 mg/Nm^3 und mehr als $4,5 \text{ kg/Tonne}$ geschmolzenen Glases. Es wurde viel an den Änderungen des Verbrennungsprozesses gearbeitet und eine Reihe guter Ergebnisse erzielt. Allerdings ist es aufgrund gewisser sektorbezogener Probleme, wie hoher Energiebedarf nicht vorgesehen, dass die Emissionswerte bis weit unter 800 mg/Nm^3 gesenkt werden können. Dies ist normalerweise mit $3,6 \text{ kg/Tonne}$ geschmolzenen Glases gleichzusetzen und könnte für die meisten Prozesse allein mit konventionellen Änderungen des Verbrennungsprozesses erreicht werden.

Es sind keine Beispiele für SNCR oder SCR in diesem Sektor bekannt. Es ist mit ziemlicher Sicherheit anzunehmen, dass die selektive katalytische Reduktion (SCR) in absehbarer Zeit aufgrund der Bedenken wegen der Boratkonzentration im Katalysator nicht anwendbar ist. Für den Einsatz der selektiven nichtkatalytischen Reduktion (SNCR) scheint es weniger unüberwindliche technische Hindernisse in diesem Sektor zu geben und bei der Installierung dieser Technik dürfte je nach bestimmter Anwendung eine Minderung der Emissionswerte von 40 bis 70 % zu erreichen sein.

Es gibt derzeit in Europa 6 Beispiele für Sauerstoff-Brennstoff-Schmelzwannen (von 26) und einige weitere in anderen Teilen der Welt. Die Zahl der Sauerstoff-Brennstoff-Schmelzwannen nimmt zu und es bestehen keine unüberwindlichen technischen Hindernisse für ihren Einsatz. Allerdings besteht immer noch eine gewisse Ungewissheit in bezug auf die wirtschaftlichen Folgen dieser Technik und es gibt auch Bedenken hinsichtlich der Auswirkungen auf die Lebensdauer des Feuerfestmaterials. Diese Technik wird auf breiterer Ebene in anderen Sektoren eingesetzt und gewinnt allmählich an allgemeiner Akzeptanz. Bei Anwendung der Technik in diesem Sektor ist ein Wert von $0,5$ bis $1,25 \text{ kg/Tonne}$ geschmolzenen Glases zu erwarten.

Im Allgemeinen wird in diesem Sektor der Sauerstoff-Brennstoff-Schmelzprozess als BVT zur Senkung der Stickstoffoxide (angegeben als NO_2) angesehen und der mit der BVT erreichte Emissionswert beträgt $0,5$ bis $1,5 \text{ kg/Tonne}$ geschmolzenen Glases. Diese Feststellung ist keine verbindliche Schlussfolgerung, sondern vielmehr eine ausgewogene Beurteilung der zum Zeitpunkt der Abfassung verfügbaren Informationen. Es ist bekannt, dass dieser Prozess immer noch ein finanzielles Risiko darstellt, aber es ist zu erwarten, dass diese Technik mittelfristig immer häufiger als BVT akzeptiert wird. Viele Betreiber beabsichtigen die Einführung dieser Technik bei Erneuerungen und in den meisten Fällen gibt es in diesem Sektor gegenwärtig keine andere Technik, mit der dieselben Emissionswerte bei vergleichbaren Kosten zu erzielen wären. In den Fällen, in denen andere Techniken eingesetzt werden, wird als vergleichbarer Emissionswert nach BVT 500 bis 700 mg/Nm^3 angesehen.

5.5.3 Schwefeloxide

Für die nachfolgend angegebenen Emissionswerte ist die Anwendung von Sekundärmaßnahmen zur Verhinderung von Staub erforderlich und sofern angebracht, in Verbindung mit einer Anlage zur trocken- oder halbtrockenen Reinigung saurer Abgasbestandteile. Im Allgemeinen werden daher die mit der BVT realisierten Emissionswerte für Schwefeloxide (angegeben als SO_2) in diesem Sektor wie folgt angegeben:

- Für Gasfeuerung weniger als 200 mg/Nm^3 was normalerweise mit weniger als $0,9 \text{ kg/Tonne}$ geschmolzenen Glases gleichzusetzen ist. Bei der Verwendung von Sulfaten als Läuterungsmittel kann diese Konzentration bis zu 800 mg/Nm^3 ergeben, was im Normalfall mit weniger als $3,6 \text{ kg/Tonne}$ geschmolzenen Glases gleichzusetzen ist.
- Für Ölfeuerung 500 bis 1000 mg/Nm^3 , was mit $2,25$ bis $4,5 \text{ kg/Tonne}$ geschmolzenen Glases gleichzusetzen ist.

Die Zahlen im oberen Teil des angegebenen Bereichs beziehen sich auf Anlagen mit einer Rückführung des anfallenden Staubes in die Wanne. Wenn der Staub nicht zurückgeführt wird, sind niedrigere Emissionswerte als die angegebenen Höchstwerte zu erwarten.

5.5.4 Andere im Schmelzprozess anfallende Emissionen

Als BVT in diesem Sektor gelten im Allgemeinen entweder Primärmaßnahmen oder eine Anlage zur Abscheidung saurer Abgasbestandteile in Verbindung mit Staubreduktionsmaßnahmen. Die mit der BVT erzielten Emissionswerte für die nachstehend bezeichneten Schadstoffe lauten wie folgt:

- Chloride (angegeben als HCl) <math><30 \text{ mg/Nm}^3</math>
- Fluoride (angegeben als HF) $5 - 15 \text{ mg/Nm}^3$
- Metalle (Gruppe 1 + 2) <math><5 \text{ mg/Nm}^3</math>
- Metalle (Gruppe 1) <math><1 \text{ mg/Nm}^3</math>

Die Klassifizierung von Metallen und deren Verbindungen werden in Tabelle 5.2 angegeben.

Einige Rezepturen mit niedrigem Fluoridgehalt oder ohne Fluorid können ohne Sekundärmaßnahmen Emissionswerte für HF ergeben, die nahezu - aber nicht unbedingt - die oben angegebenen Werte erreichen. Wo dies der Fall ist, muss eine standortspezifische Beurteilung unter Berücksichtigung der BVT erfolgen.

5.5.5 Nachgeschaltete Prozesse

Die in Verbindung mit nachgeschalteten Prozessen entstehenden Emissionen können sehr unterschiedlich sein und eine ganze Reihe von Primär- und Sekundärmaßnahmen können eingesetzt werden. Die mit der BVT verbundenen Emissionswerte betragen 5 bis 20 mg/Nm^3 für partikelförmige Stoffe und 5 bis 50 mg/Nm^3 für flüchtige organische Verbindungen.

5.6 Wirtschaftsglas

Allgemein wird in der Bleikristallglas-, Kristallglas- und Opalglasherstellung, sofern es wirtschaftlich tragbar ist, vorwiegend die Elektroenergie zum Schmelzen eingesetzt und als BVT angesehen, da diese Technik eine wirksame Kontrolle für potentielle Emissionen flüchtiger Bestandteile ermöglicht. Bei der Kristallglasherstellung mit einer geringeren Bildung an flüchtigen Bestandteilen, können andere Techniken zur Bestimmung der BVT für eine besondere Anlage in Betracht kommen.

5.6.1 Staub

Als BVT zur Senkung der Staubemissionen in diesem Sektor gilt im Allgemeinen der Einsatz eines elektrostatischen Abscheiders oder Schlauchfilters, sofern angebracht, in Verbindung mit einer Anlage zur trocken- oder halbtrockenen Reinigung saurer Abgasbestandteile. Der mit diesen Techniken verbundene Emissionswert nach BVT beträgt 5 bis 30 mg/Nm^3 , was normalerweise mit weniger als $0,1 \text{ kg/Tonne}$ geschmolzenen Glases gleichzustellen ist. Werte im unteren Teil dieses Bereichs sind normalerweise für Schlauchfilteranlagen zu erwarten. In einigen Fällen kann die Anwendung der BVT für Metallemissionen niedrigere Emissionswerte für Staub ergeben.

Für Kalknatronglas-Rezepturen sollte ebenfalls auf den obigen Abschnitt 5.2.2 und Abschnitt 4.4.1.7 Bezug genommen werden. Diese Fragen sind für diesen Sektor besonders wichtig wegen der Besonderheit dieses Sektors, die im nachfolgenden Abschnitt 5.6.2 unterstrichen wird.

5.6.2 Stickstoffoxide

Zur Zeit der Abfassung stehen relativ wenig Informationen über die NO_x-Reduktionsmaßnahmen in diesem Sektor zur Verfügung, weshalb es schwierig ist, verbindliche Schlussfolgerungen für die BVT zu formulieren. Die NO_x-Emissionswerte für Luft-Brennstoff beheizte Wannen liegen gewöhnlich in einem Bereich von 1500 bis 2000 mg/Nm³, was im Allgemeinen mit 3,75 bis 5 kg/Tonne geschmolzenen Glases gleichzusetzen ist.

Die Besonderheit diesem Sektor gibt Anlass zu einer Reihe von Fragen, wodurch die Wahlmöglichkeiten für die Überwachung der NO_x-Emissionen beeinflusst werden können. Zum Beispiel bei einem Vergleich dieses Sektors mit dem Behälterglassektor gibt es eine Menge wesentlicher Unterschiede, die in der Hauptsache auf Produktqualitätsanforderungen und geringeren Produktionsmengen beruhen. Die Wannen sind im Durchschnitt wesentlich kleiner (<160 Tonnen/Tag Leistung), nur Eigenscherben werden gewöhnlich eingesetzt, höhere Oxidationsbedingungen sind erforderlich (deshalb kommen höhere Nitratanteile zum Einsatz), die Wannentemperaturen sind gewöhnlich etwas höher und es ergibt sich eine bis zu 50 % längere Verweilzeit. Alle diese Faktoren führen zu einem höheren spezifischen Energieverbrauch und erhöhen die Möglichkeit der NO_x-Bildung.

Es wurden umfangreiche Arbeiten für die Änderungen des Verbrennungsprozesses durchgeführt und in manchen Fällen sind wesentliche NO_x-Minderungen erzielt worden. Allerdings konnten die in einigen Sektoren erzielten Reduktionswerte für Wirtschaftsglas nicht erreicht werden, aber es ist zu erwarten, dass weitere Entwicklungsschritte möglich sind. Aus der Erfahrung in anderen Sektoren ist anzunehmen, dass die strenge Durchführung von Primärmaßnahmen für den Verbrennungsprozess zu einer Reduzierung der NO_x-Emissionswerte von 20 bis 40 % führen kann, d. h. in einem Bereich von 1000 bis 1500 mg/Nm³, was mit 2,5 bis 3,75 kg/Tonne geschmolzenen Glases gleichzusetzen ist.

Zahlreiche elektrisch beheizte Wannen werden in diesem Sektor eingesetzt, jedoch gibt es eine obere Grenze für ihre wirtschaftliche Tragbarkeit. Im Allgemeinen wird in den Bereichen, in denen das Schmelzen mit elektrischer Energie (entweder 100 % oder überwiegend elektrisch) wirtschaftlich tragbar ist, und insbesondere in der Bleiglas-, Kristallglas- und Opalglas-Herstellung, diese Technik als BVT angesehen. Die NO_x-Emissionen sind jedoch begrenzt durch die Nitratersetzung und der mit BVT verbundene Emissionswert entspricht im allgemeinen 0,2 bis 1,0 kg/Tonne geschmolzenen Glases, je nach dem Nitratanteil. Wie oben erläutert, können für Kristallglasrezepturen mit weniger flüchtigen Emissionen andere Techniken zur Festlegung der BVT für eine spezielle Anlage eingesetzt werden.

Es sind in diesem Sektor keine Beispiele für die SCR, SNCR oder 3R-/Reburning-Verfahren bekannt. Es gibt einige Beispiele für die Sauerstoff-Brennstoff-Technik bei Wirtschaftsglaswannen, aber sie sind in der Regel von der Größe her keine repräsentativen Beispiele für typische Luft-Brennstoff beheizte Anlagen, d.h. von 50 bis 160 Tonnen/Tag Leistung. Es bestehen keine unüberwindlichen Hindernisse für den Einsatz dieser Techniken und es ist anzunehmen, dass die meisten Schwierigkeiten im Laufe der Zeit und der Betriebserfahrungen überwunden werden könnten.

Wie zuvor erläutert ist es schwierig, verbindliche Schlussfolgerungen für NO_x-Werte im Sektor Wirtschaftsglas zu formulieren. Bei Prozessen, bei denen das Schmelzen mit elektrischer Energie wirtschaftlich nicht tragbar ist, können eine Reihe anderer Techniken angewandt werden. In diesem Sektor wird eine breite Palette von Wannentypen eingesetzt und die Wahl der geeignetsten Technik ist abhängig von den spezifischen Eigenschaften einer bestimmten Anlage. Es ist anzunehmen, dass im Laufe der notwendigen Zeit für die Entwicklung und Anwendung der Techniken, der mit der BVT verbundene Emissionswert für Stickstoffoxide (angegeben als NO₂) 500 bis 700 mg/Nm³ beträgt, was mit 0,5 bis 1,75 kg/Tonne geschmolzenen Glases gleichzusetzen ist. Die Haupttechniken (oder die daraus abgeleiteten Kombinationen), die als BVT in diesem Sektor gelten können, sind Primärmaßnahmen (Änderungen des Verbrennungsprozesses), 3R-/Reburning Verfahren (für Regenerativwannen), Sauerstoff-Brennstoff-Beheizung, SNCR oder SCR. Es wird behauptet, dass bei einer kleinen Anzahl von Fällen, die Anwendung der 3R-/Reburning Verfahren eine Ertüchtigung des Feuerfestmaterials notwendig machen könnte, wodurch sich die Gesamtkosten erhöhen und möglicherweise die Wahl der BVT beeinflusst werden könnte. Bei kleineren Schmelzwannen wäre gleichfalls der Einsatz innovativer Konstruktionsmöglichkeiten wie z.B. der FlexMelter zu überlegen.

Es ist bekannt, dass diese Leistungswerte eine wesentliche Verbesserung der gegenwärtigen Leistungsfähigkeit zahlreicher Anlagen darstellen und daher im Allgemeinen mittelfristig als Lösung in Betracht kommen können.

Es empfiehlt sich mit allem Nachdruck, an der Entwicklung von Vorschlägen zu Festlegung der möglichen Senkung von NO_x-Emissionen durch Primärmaßnahmen für Luft-Brennstoff beheizte Wannen zu arbeiten.

Bei Prozessen, bei denen wesentliche Mengen an Nitratverbindungen im Gemenge eingesetzt werden, ist es möglich, dass die oben angegebenen Emissionswerte ohne Sekundärmaßnahmen schwierig zu erreichen sind. Bei sehr häufiger oder ständiger Anwendung von Nitraten, oder bei Entstehung sehr hoher Emissionswerte, können Sekundärmaßnahmen notwendig sein. Wenn der Einsatz von Nitraten unregelmäßig ist oder die Kosten für weitere Sekundärmaßnahmen wirtschaftlich nicht tragbar sind, dann kann als BVT ein höherer Emissionswert gelten. Auf alle Fälle sollte die Anwendung von Nitraten immer so weit wie möglich auf eine Mindestmenge reduziert werden. Mit Ausnahme von außergewöhnlichen Umständen ist zu erwarten, dass der mit der BVT verbundene Emissionswert weniger als 1500 mg/Nm³ beträgt, was normalerweise mit weniger als 3 kg/Tonne geschmolzenen Glases gleichzusetzen ist.

5.6.3 Schwefeloxide

Für die nachfolgend angegebenen Emissionswerte ist die Anwendung von Sekundärmaßnahmen zur Staubminderung erforderlich und sofern angebracht, in Verbindung mit einer Anlage zur trocken- oder halbtrockenen Reinigung saurer Abgasbestandteile. Als BVT zur Senkung der Schwefeloxide (angegeben als SO₂) in diesem Sektor gelten daher im Allgemeinen die nachfolgend erzielten Emissionswerte:

- Für Gasfeuerung 200 bis 500 mg/Nm³, was mit 0,5 bis 1,25 kg/Tonne geschmolzenen Glases gleichzusetzen ist. Bei Einsatz geringer Sulfatmengen beträgt dieser Wert weniger als 200 mg/Nm³, was allgemein mit weniger als 0,5 kg/Tonne geschmolzenen Glases gleichzusetzen ist.
- Für Ölfeuerung 500 bis 1300 mg/Nm³, was im Normalfall mit 1,25 bis 3,25 kg/Tonne geschmolzenen Glases gleichzusetzen ist.

Die Zahlen im oberen Teil dieser Bereiche beziehen sich auf Anlagen mit einer Staubrückführung in die Wanne. Wenn keine Staubrückführung besteht, ist zu erwarten, dass die Emissionswerte unter den angegebenen Maximalwerten liegen.

5.6.4 Andere im Schmelzprozess anfallende Emissionen

Als BVT in diesem Sektor gilt im Allgemeinen die Rohstoffauswahl zur weitestgehenden Minderung der Emissionen in Verbindung mit einer Anlage zur Abscheidung saurer Abgasbestandteile. Die Abscheidung saurer Abgaskomponenten muss nicht immer notwendig sein, um die Entstaubungsanlage zu schützen oder die oben genannten Werte für SO_x-Emissionen zu erreichen. Wo dies der Fall ist, gilt als BVT die Abscheidung saurer Abgasbestandteile, sofern die unten angegebenen Werte mit Primärmaßnahmen nicht erreicht werden können. Die als BVT angesehenen Emissionswerte für die nachfolgend bezeichneten Schadstoffe lauten wie folgt:

- Chloride (angegeben als HCl) <30 mg/Nm³
- Fluoride (angegeben als HF) <5 mg/Nm³
- Metalle (Gruppe 1 + 2) <5 mg/Nm³
- Metalle (Gruppe 1) <1 mg/Nm³

Die Klassifizierungen für Metalle und deren Verbindungen sind in Tabelle 5.2 angegeben.

In der Bleikristall- und Kristallglasherstellung wird bei Werten von <5 mg/Nm³ und <1 mg/Nm³ für Metalle gewöhnlich der Einsatz von Schlauchfiltern oder einem hocheffizienten elektrostatischen Abscheider erforderlich.

5.6.5 Nachgeschaltete Prozesse

Potentielle Emissionen aus nachgeschalteten Prozessen bestehen in der Hauptsache aus Staub und sauren Abgasdämpfen aus der Bleikristallglas- und Kristallglasherstellung. Bei potentiell staubigen Arbeitsprozessen

gilt als BVT, sofern durchführbar, das Schneiden unter fließendem Wasser und bei Trockenschneiden oder Schleifen gilt die Anwendung einer Schlauchfilter-Absauganlage. Bei der Erzeugung saurer Abgasbestandteile oder Dämpfe gilt als BVT die Nasswäsche. Die als BVT angesehenen Emissionswerte für die unten bezeichneten Schadstoffe lauten wie folgt:

- Fluoride (angegeben als HF) <math><5 \text{ mg/Nm}^3</math>
- Partikelförmige Stoffe <math><10 \text{ mg/Nm}^3</math>
- Metalle (Gruppe 1 + 2) <math><5 \text{ mg/Nm}^3</math>

In diesem Sektor treten bedeutende Emissionen in das Wasser auf, die in den Kapiteln 3 und 4 erörtert werden und die als BVT geltenden Emissionswerte für diese Arbeitsprozesse werden in Abschnitt 5.11 aufgeführt.

5.7 Spezialglas

Die in der Tabelle 5.1 angegebenen Umrechnungsfaktoren für diesen Sektor liegen in einem Bereich von $1,5 \times 10^{-3}$ (Wasserglas) bis zu $6,5 \times 10^{-3}$ (Glaskeramik). In diesem Abschnitt wäre es irreführend, die Massenemissionen anzugeben, die normalerweise mit der Emissionskonzentration für jeden der sechs getrennten Umrechnungsfaktoren gleichzusetzen sind. Daher werden die Emissionswerte nur als Konzentrationen dargestellt und zur Festlegung der entsprechenden Massenemission für jede Produktart sollte auf Tabelle 5.1 Bezug genommen werden.

5.7.1 Staub

Als BVT zur Senkung der Staubemissionen in diesen Sektor gilt im allgemeinen der Einsatz entweder eines elektrostatischen Abscheiders oder eines Schlauchfilters, soweit angebracht in Verbindung mit dem Betrieb einer trocken- oder halbtrocken Reinigungsanlage zur Abscheidung saurer Abgasbestandteile. Der mit diesen Techniken verbundene BVT-Emissionswert beträgt 5 bis 30 mg/Nm^3 . Für Schlauchfilteranlagen sind im allgemeinen Werte im unteren Teil des angegebenen Bereichs zu erwarten. In einigen Fällen kann die Anwendung von BVT für Metallemissionen zu geringeren Emissionswerten für Staub führen.

5.7.2 Stickstoffoxide

Der mit der BVT verbundene Emissionswert zur Senkung der Stickstoffoxide (angegeben als NO_2) in diesem Sektor beträgt im Allgemeinen 500 bis 700 mg/Nm^3 . Diese Werte beruht hauptsächlich auf dem Einsatz des Sauerstoff-Brennstoff-Schmelzprozesses und SNCR- oder SCR. Der Spezialglassektor nutzt eine breite Palette von Wannentypen und Wannengrößen. Es gibt andere Techniken zur Minderung der NO_x -Emissionen auf ein vergleichbares Niveau und die geeignetste Technik hängt überwiegend von den standortspezifischen Bedingungen ab. Es gibt auch zahlreiche Techniken, mit denen Werte erreicht werden, die unter den genannten Angaben liegen. Allerdings sind diese Techniken nicht für alle Anlagen anwendbar. Wo hohe Nitratwerte auftreten, sollte deren Einsatz ebenfalls soweit wie möglich im Rahmen der Prozess- und Produkthanforderungen reduziert werden.

Bei der Wasserglasherstellung beträgt der mit BVT verbundene Emissionswert für Stickstoffoxide (angegeben als NO_2) 500 bis 700 mg/Nm^3 . Diese Zahl beruht auf dem Einsatz von Primär- oder Sekundärmaßnahmen. In den Fällen, in denen die geeignetsten Techniken für eine bestimmte Situation nicht vor der nächsten Erneuerung angewandt werden können (zum Beispiel Sauerstoff-Brennstoff Schmelzprozess oder Neuauslegung der Wannengeometrie), können derartige Werte erst nach der Erneuerung erzielt werden. Bei Luft-Brennstoff beheizten Wannen sind mit dem alleinigen Einsatz von Primärmaßnahmen Emissionswerte von 600 bis 850 mg/Nm^3 können erwartet werden.

5.7.3 Schwefeloxide

Für die unten angegebenen Emissionswerte ist der Einsatz von Sekundärmaßnahmen erforderlich und sofern angebracht, in Verbindung mit Trocken- oder Halbtrocken-Reinigungsanlagen zur Abscheidung saurer Abgasbestandteile. Aus diesem Grunde betragen die mit BVT verbundenen Emissionswerte für Schwefeloxide (angegeben als SO₂) in diesem Sektor im Allgemeinen:

- Für Gasfeuerung 200 bis 500 mg/Nm³, und bei geringeren Mengen an Sulfat weniger als 200 mg/Nm³.
- Für Ölfeuerung 500 bis 1200 mg/Nm³.

Die Zahlen im oberen Teil dieser Bereiche beziehen sich auf Anlagen mit Rückführung des Staubes in die Wanne. Bei Anlagen ohne Staubrückführung sind niedrigere Emissionswerte als die oben genannten Maximalwerte zu erwarten.

5.7.4 Andere im Schmelzprozess anfallende Emissionen

Als BVT zur maximalen Minderung der Emissionen in diesem Sektor gilt die Rohmaterialauswahl in Verbindung mit der Abscheidung saurer Abgasbestandteile. Die Abscheidung saurer Abgaskomponenten ist nicht überall notwendig, um die Entstaubungsanlage zu schützen oder die oben genannten Werte für die SO_x-Emissionen zu erzielen. Wo dies der Fall ist, gilt als BVT der Einsatz einer Anlage zur Abscheidung saurer Abgasbestandteile, wenn die unten angegebenen Werte nicht mit Primärmaßnahmen erzielt werden können. Die mit BVT verbundenen Emissionswerte für die unten bezeichneten Schadstoffe lauten wie folgt:

- Chloride (angegeben als HF) <30mg/Nm³
- Fluoride (angegeben als HF) <5 mg/Nm³
- Metalle (Gruppe 1 + 2) <5 mg/Nm³
- Metalle (Gruppe 1) <1 mg/Nm³

Die Klassifizierungen für Metalle und deren Verbindungen sind in Tabelle 5.2 angegeben.

5.7.5 Nachgeschaltete Prozesse

Die Emissionen in Verbindung mit nachgeschalteten Prozessen können sehr unterschiedlich sein und eine weitreichende Palette von Primär- und Sekundärmaßnahmen kann genutzt werden. Für potentiell staubige Betriebsvorgänge gilt als BVT die höchstmögliche Minderung von Staub durch Schneiden, Schleifen oder Polieren unter Flüssigkeiten und bei trockenen Betriebsvorgängen kommt der Einsatz einer Schlauchfilteranlage mit einer Absaugvorrichtung in Betracht. Die mit BVT verbundenen Emissionswerte für die unten bezeichneten Schadstoffe lauten wie folgt:

- Fluoride (angegeben als HF) <5 mg/Nm³
- Partikelförmige Stoffe <5 mg/Nm³
- Metalle (Gruppe 1 + 2) <5 mg/Nm³
- Metalle (Gruppe 1) <1 mg/Nm³

Die Klassifizierungen für Metalle und deren Verbindungen sind in Tabelle 5.2 angegeben.

In diesem Sektor gibt es möglicherweise wesentliche Emissionen in das Wasser, die in Kapitel 3 und 4 behandelt werden und die mit BVT verbundenen Emissionswerte für diese Betriebsvorgänge werden in Abschnitt 5.11 dargestellt.

5.8 Mineralwolle

5.8.1 Staub

Als BVT zur Senkung der Staubemissionen in diesem Sektor gilt im Allgemeinen der Einsatz eines elektrostatischen Abscheiders oder eines Schlauchfilters. In der Glaswolleherstellung ist der Einsatz von Trocken- oder Halbtrocken-Reinigungsanlagen zur Abscheidung saurer Abgasbestandteile nicht allgemein notwendig, um die Entstaubungsanlage zu schützen, weil es sich fast immer um gasgefeuerte oder elektrisch beheizte Wannen handelt. Der mit der BVT verbundene Emissionswert in Verbindung mit diesen Techniken wird mit 5 bis 30 mg/Nm³ angegeben, was in der Regel mit weniger als 0,1 kg/Tonne geschmolzenen Glases gleichzusetzen ist. Werte im unteren Teil des angegebenen Bereiches sind allgemein für Schlauchfilteranlagen zu erwarten. In einigen Fällen kann die Anwendung der BVT für Metallemissionen zu niedrigeren Emissionswerten für Staub führen. Heiße Kupolöfen sind in der Regel aufgrund der Explosionsgefahr mit Schlauchfiltern anstelle von Elektrofiltern ausgerüstet.

In der Glaswolleherstellung bedeutet die Staubart, dass die Abkühlung der Abgasbestandteile und die Anordnung der Staubvermeidungsanlage für einen optimalen Wirkungsgrad von wesentlicher Bedeutung sind. In gewissen Fällen kann bereits eine Anlage zur Staubvermeidung vorhanden sein, die konstruktiv den Anforderungen der BVT zwar entspricht, aber nur für eine niedrigere Zielsetzung ausgelegt wurde und daher keine ideale Position hat. Wenn mit einer bestehenden Anlage die Möglichkeit besteht, einen Emissionswert von 50 mg/Nm³ anstelle der zuvor genannten 30 mg/Nm³ zu erzielen, dann stehen die Kosten für eine Erneuerung oder größere Änderungen vor der nächsten Erneuerung der Wanne in einem unverhältnismäßigem Verhältnis zu den erzielten Vorteilen.

5.8.2 Stickstoffoxide

Als BVT für Stickstoffoxide (angegeben als NO₂) in der Glaswolleherstellung gilt im allgemeinen der Einsatz einer Sauerstoff-Brennstoff-Beheizung oder vorwiegend eine elektrische Beheizung. Der mit BVT verbundene Emissionswert für Stickstoffoxide liegt in einem Bereich von 500 bis 700 mg/Nm³, was in der Regel mit 0,5 bis 1,4 kg/Tonne geschmolzenen Glases gleichzusetzen ist. In den meisten Fällen ist zu erwarten, dass mit der Sauerstoff-Brennstoff-Beheizung oder vorwiegend mit der elektrischen Schmelztechnik Emissionswerte von weniger als 1 kg/Tonne geschmolzenen Glases zu erzielen sind. Allerdings sind konventionelle Luft-Gasfeuerungs-systeme bei Anwendung von Primär- oder Sekundärmaßnahmen möglicherweise in der Lage, Emissionswerte in den genannten Bereichen zu erzielen. Wo dies der Fall ist, können derartige Systeme ebenfalls als repräsentativ für die BVT beurteilt werden.

Wenn Nitrate in wesentlichen Mengen im Gemenge erforderlich sind (beispielsweise zur Rückführung von Materialien mit einem hohen Anteil an organischen Bestandteilen) kann es schwierig sein, die oben genannten Emissionswerte ohne Sekundärmaßnahmen oder durch Umrüstung in einen Schmelzprozess mit Sauerstoff-Brennstoff-Beheizung oder elektrische Energie zu erzielen. Bei sehr häufiger oder ständiger Anwendung von Nitraten, oder wenn sehr hohe Emissionswerte entstehen, dann können derartige Techniken wahrscheinlich die BVT definieren und es ist zu erwarten, dass ein Wert von weniger als 700 mg/Nm³ erzielt wird, was normalerweise mit weniger als 1,4 kg/Tonne geschmolzenen Glases gleichzusetzen ist.

Steinwollekupolöfen sind gewöhnlich keine Quelle für wesentliche NO_x-Emissionen, wobei Emissionen unter 0,5 kg/Tonne Schmelze ohne spezifische Reduktionsmaßnahmen erreicht werden können. In Bereichen, in denen Schmelzwannen eingesetzt werden, wird der mit der BVT verbundene Emissionswert dem der Glaswolleherstellung gleichgesetzt.

5.8.3 Schwefeloxide

Bei der Glaswolleherstellung sind die Emissionswerte für Schwefeloxide (angegeben als SO₂) in der Regel sehr niedrig. Fast alle Wannen sind gasgefeuert oder elektrisch beheizt und es werden nur sehr geringe Mengen an Sulfat eingesetzt. Unter diesen Umständen ist zu erwarten, dass die SO_x-Emissionen unter 50 mg/Nm³ liegen, was im Normalfall mit weniger als 0,1 kg/Tonne geschmolzenen Glases gleichzusetzen ist, ohne jegliche

spezifische Reinigungsmaßnahmen. Bei einer Ölfeuerung ist im allgemeinen die Abscheidung saurer Abgasbestandteile notwendig, um die Entstaubungsanlage zu schützen und in diesem Fall beträgt der mit der BVT verbundene Emissionswert 300 bis 1000 mg/Nm³, was normalerweise mit 0,6 bis 2,0 kg/Tonne geschmolzenen Glases gleichzusetzen ist.

In der Steinwolleherstellung beträgt der mit der BVT verbundene Emissionswert für Schwefeloxide (angegeben als SO₂) weniger als 600 mg/Nm³, was im Normalfall mit weniger als 1,5 kg/Tonne geschmolzenen Glases gleichzusetzen ist. Diese Werte entsprechen Situationen, in denen der Schwerpunkt auf der Rückführung von Prozessabfällen/Reststoffen und der Vermeidung weiterer fester Abfälle für die Entsorgung liegt. Wenn bei einem integrierten Umweltansatz der Schwerpunkt bei der Reduktion der SO_x-Reduktion liegt und von einer begleitenden Massenbilanzabschätzung diese Werte nicht erreicht werden können, kann der Einsatz einer Reinigungsanlage für saure Abgaskomponenten als BVT angesehen werden. Diese Systeme haben einen wesentlichen Kostenaufwand zur Folge. Im Allgemeinen können die anfallenden Reststoffe nicht wirkungsvoll zurückgeführt werden und es entstehen feste Abfälle, die entsorgt werden müssen. In den Fällen, in denen die Abscheidung saurer Abgasbestandteile als BVT angesehen wird, stellt die Trocken-Absorption möglicherweise die kostengünstigste Lösung dar. In solchen Fällen beträgt der mit der BVT verbundene Emissionswert für Schwefeloxide (angegeben als SO₂) weniger als 200 mg/Nm³, was in der Regel mit weniger als 0,5 kg/Tonne geschmolzenen Glases gleichzusetzen ist.

Die oben genannten Werte beziehen sich hauptsächlich auf Schmelzprozesse mit Steinchargen, aber wenn die Chargen zementgebundene Briketts enthalten, ist ein Beitrag des Zementbinders zum Schwefelgehalt festzustellen. Die Auswirkung auf die SO₂-Emissionen hängt deutlich von der zurückgeführten Materialmenge als Briketts ab. Zum Beispiel bei 45 % Steinersatz durch Briketts beträgt der mit BVT verbundene Emissionswert weniger als 1100 mg/Nm³, was im Normalfall mit weniger als 2,7 kg/Tonne geschmolzenen Glases gleichzusetzen ist. In den Fällen, in denen die SO₂-Minderung als Priorität gilt, kommt die Abscheidung saurer Abgasbestandteile im allgemeinen als BVT in Betracht und der damit verbundene Emissionswert beträgt weniger als 350 mg/Nm³, was in der Regel mit weniger als 0,8 kg/Tonne geschmolzenen Glases gleichzusetzen ist. Ein Ersatz von über 45 % ist selten und für jede Anlage sollte eine Schwefelbilanz erstellt werden, um die mit der BVT angemessenen Emissionswerte zu bestimmen.

Wenn die Briketts ebenfalls durch den Einsatz von Reduktionsmaßnahmen zurückgeführten Staub enthalten, entsteht hier wiederum zusätzlicher Schwefel. Die Schwefelkonzentration in dem anfallenden Staub schwankt wesentlich von Anlage zu Anlage und beträgt allgemein 0,05 bis 0,28 %. Die mit der BVT verbundenen Emissionswerte werden unten angegeben. Wie oben erläutert, sollte für jede Anlage eine Schwefelbilanz erstellt werden, um die der BVT entsprechenden Emissionswerte festzulegen.

- Dort, wo die höchstmögliche Minderung von Reststoffen Priorität hat, liegt der Wert bei 1400 mg/Nm³, was in der Regel mit 3,4 kg/Tonne geschmolzenen Glases gleichzusetzen ist.
- In den Fällen, in denen die Minderung der SO₂-Werte Priorität hat, liegt der Wert bei 400 mg/Nm³, was in der Regel mit 1,0 kg/Tonne geschmolzenen Glases gleichzusetzen ist.

Der Einsatz von Hochofenschlacke wird im Allgemeinen nicht als Teil der BVT angesehen und in den Fällen, in denen deren Einsatz aus Produkt- oder Prozess-spezifischen Gründen erforderlich ist, gilt die BVT in Verbindung mit einem Trocken-Absorber.

5.8.4 Andere im Schmelzprozess anfallende Emissionen

Halogenid- und Metall-Emissionen aus diesen Prozessvorgängen tendieren zu äußerst geringen Emissionen und die nachfolgend genannten Emissionswerte können in der Regel durch die Rohstoffauswahl erzielt werden. Bei Steinwollekupolöfen können starke Schwefelwasserstoff- und Kohlenmonoxid-Emissionen entstehen. Als BVT für Schwefelwasserstoff-Emissionen gilt die Rohstoffauswahl oder die thermische Oxidation. Als BVT für Kohlenmonoxid-Emissionen wird die thermische Oxidation angesehen. Die allgemein in diesem Sektor mit der BVT verbundenen Emissionswerte für die unten bezeichneten Schadstoffe werden wie folgt angegeben:

- Chloride (angegeben als HCl) <30 mg/Nm³
- Fluoride (angegeben als HF) <5 mg/Nm³

- Schwefelwasserstoff (als H₂S) <5 mg/Nm³
- Kohlenmonoxide (CO) <200 mg/Nm³
- Metalle (Gruppe 1 + 2) <5 mg/Nm³
- Metalle (Gruppe 1) <1 mg/Nm³

Die Klassifizierungen für Metalle und deren Verbindungen werden in der Tabelle 5.2 dargestellt.

5.8.5 Nachgeschaltete Prozesse

Emissionen aus dem Formbereich und kombinierte Emissionen aus dem Form- und Härtebereich

Im Anschluss an die Optimierung der Primärmaßnahmen gilt als BVT entweder der Einsatz eines nass arbeitenden elektrostatischen Abscheiders, eines Füllkörperwäschers oder eines Steinwolle-Filters (allgemein nur für Steinwolle-Prozesse). Die Leistungsfähigkeit dieser einzelnen Techniken ist unterschiedlich. Bei nass arbeitenden elektrostatischen Abscheidern und Steinwolle-Filtern wird eine höhere Wirksamkeit bei der Abscheidung fester Abgasstoffe und Tröpfchen erzielt und bei einem Füllkörperwäscher wird ein höherer Wirkungsgrad bei der Abscheidung gasförmiger Bestandteile erreicht. Diese Themen, zusammen mit der entsprechenden Leistungsfähigkeit jeder einzelnen Technik, werden in Kapitel 4 dargestellt. Der Einsatz beider Techniken zusammen wird als nicht durchführbar angesehen. Die mit der BVT verbundenen Emissionswerte für die unten bezeichneten Schadstoffe werden wie folgt angegeben:

- Gesamtstaub 20 – 50 mg/Nm³
- Phenol 5 – 15 mg/Nm³
- Formaldehyd 5 – 10 mg/Nm³
- Ammoniak 30 – 65 mg/Nm³
- Amine <5 mg/Nm³
- Gesamte flüchtige, organische Verbindungen (VOC) 10 – 50 mg/Nm³

Im Allgemeinen sind keine höheren Emissionswerte als die in allen Bereichen genannten Werte zu erwarten. In den Fällen, in denen elektrostatische Nassabscheider oder Steinwollefilter zum Einsatz kommen, sind die Gesamtemissionen partikelförmiger Stoffe im unteren Bereich der genannten Werte zu erwarten und bei Einsatz eines Füllkörperwäschers sind gasförmige Emissionen im unteren Bereich der angegebenen Werte zu erwarten.

Emissionen aus Härteöfen

In der Glaswolleherstellung gelten im allgemeinen die mit der BVT verbundenen Emissionswerte wie oben angegeben, außer bei Emissionen von Phenol, bei denen der Emissionswert 5 bis 10 mg/Nm³ beträgt.

Bei Steinwolleprozessen gilt als BVT der Einsatz einer thermischen Nachverbrennung, und die mit der BVT verbundenen Emissionswerte für die unten bezeichneten Schadstoffe werden wie folgt angegeben:

- Gesamtstaub 5 - 30 mg/Nm³
- Phenol <5 mg/Nm³
- Formaldehyd <5 mg/Nm³
- Ammoniak <20 – 65 mg/Nm³ oder <0,4 kg/Tonne Fertigprodukt (bis zu einem Höchstwert von 100 mg/Nm³).
- Amine <5 mg/Nm³
- Flüchtige organische Verbindungen (VOC) <10 mg/Nm³

Die oben als BVT genannten Werte für Emissionen aus dem Formbereich und dem Härteofen sind möglicherweise mit diesen Techniken nicht unter allen Umständen zu erreichen. Bei der Herstellung von Produkten mit einer hohen Rohdichte oder hohem Bindemittelgehalt, können die mit diesen Techniken verbundenen Emissionswerte nach der BVT in diesem Sektor im Allgemeinen wesentlich höher sein. Wenn

solche Produktarten den größten Teil der Produktion einer bestimmten Anlage darstellen, dann sollten andere Techniken in Betracht gezogen werden.

Sowohl für Emissionen aus dem Formbereich als auch aus dem Härteofen beruht der für Amine ($<5 \text{ mg/Nm}^3$) genannte Wert auf der Anwendung von aminfreien Bindemitteln und aminfrei katalysierten Harzsystemen.

Emissionen aus der Produktabkühlung können getrennt oder zusammen mit den Emissionen aus dem Formbereich oder aus dem Härteofen behandelt werden. Bei einer getrennten Behandlung sind die mit der BVT verbundenen Emissionswerte vergleichbar oder niedriger als die Werte aus dem Formbereich. Als BVT für partikelförmige Stoffe aus anderen nachgeschalteten Betriebsvorgängen, wie maschinelle Bearbeitung oder Verpackung gilt der Einsatz einer Schlauchfilteranlage. Der als BVT geltende Emissionswert beträgt weniger als 5 mg/Nm^3 .

5.9 Keramikfaser

5.9.1 Schmelzprozess

Als BVT für die Schmelze in diesem Sektor gilt der Einsatz des elektrischen Schmelzprozesses in Verbindung mit einer Schlauchfilteranlage. Die mit der BVT verbundenen Emissionswerte für die unten bezeichneten Schadstoffe lauten wie folgt:

- Partikelförmige Stoffe $<10 \text{ mg/Nm}^3$
- Stickstoffoxide (angegeben als NO_2) $<0,1 - 0,5 \text{ kg/Tonne Schmelze}$
- Schwefeloxide (angegeben als SO_2) $<0,1 - 0,5 \text{ kg/Tonne Schmelze}$
- Chloride (angegeben als HCl) $<10 \text{ mg/Nm}^3$
- Fluoride (angegeben als HF) $<5 \text{ mg/Nm}^3$
- Metalle (Gruppe 1 + 2) $<5 \text{ mg/Nm}^3$
- Metalle (Gruppe 1) $<1 \text{ mg/Nm}^3$

Die Klassifizierungen für Metalle und deren Verbindungen werden in der Tabelle 5.2 dargestellt.

5.9.2 Nachgeschaltete Prozesse

Als BVT gilt für alle Bereiche mit möglicher Staubbildung in diesem Sektor die Stauberfassung und Absaugung durch eine Schlauchfilteranlage. Die als BVT geltenden Emissionswerte für die unten bezeichneten Schadstoffe lauten wie folgt:

- Partikelförmige Stoffe $<5 \text{ mg/Nm}^3$
- Keramikfaser (Anmerkung 1) $< 1 \text{ mg/Nm}^3$
- Flüchtige organische Verbindungen (VOC) $10 - 20 \text{ mg/Nm}^3$

Anmerkung 1

Die diesbezügliche Definition für eine Faser lautet: eine Länge von mehr als $5 \mu\text{m}$, eine Breite von weniger als $3 \mu\text{m}$ und ein Verhältnis von Länge/Breite von über 3: 1.

5.10 Fritten

5.10.1 Staub

Als BVT zur Senkung der Staubemissionen in diesem Sektor gilt im Allgemeinen der Einsatz entweder eines elektrostatischen Abscheiders oder der Betrieb eines Schlauchfilters und sofern angebracht, in Verbindung mit einer Trocken- oder Halbtrocken-Reinigung zur Abscheidung saurer Abgasbestandteile. Der BVT-Emissionswert, der mit diesen Techniken verbunden ist, beträgt 5 bis 30 mg/Nm³, was im Normalfall mit weniger als 0,1 kg/Tonne geschmolzenen Glases gleichzusetzen ist. Für Schlauchfilteranlagen sind im allgemeinen Werte im unteren Teil des angegebenen Bereichs zu erwarten. In einigen Fällen kann die Anwendung von BVT für Metallemissionen zu geringeren Emissionswerten für Staub führen.

Es ist erwiesen, dass diese Leistungswerte eine wesentliche Verbesserung im Vergleich zu der gegenwärtigen Leistungsfähigkeit zahlreicher, kontinuierlich betriebener Schmelzwannen darstellen und sie daher mittelfristig eine Lösung für derartige Wannen darstellen könnten. Es gibt keine unüberwindlichen technischen Hindernisse für die Realisierung von 30 mg/Nm³ und im Laufe der Zeit dürften diese Werte aufgrund der Entwicklung und Durchführung geeigneter Techniken zu erreichen sein.

5.10.2 Stickstoffoxide

Im Allgemeinen gilt in diesem Sektor als BVT für Stickstoffoxide (angegeben als NO₂) der Einsatz des Sauerstoff-Brennstoff-Schmelzprozesses. Der mit der BVT verbundene Emissionswert beträgt 0,5 bis 1,5 kg/Tonne geschmolzenen Glases oder 500 bis 700 mg/Nm³, wenn konventionelle Luft-Gas-Systeme in der Lage sind, diesen Wert mit Primär- oder Sekundärmaßnahmen zu erreichen.

Es ist anerkannt, dass diese Leistungswerte eine wesentliche Verbesserung im Vergleich zu der gegenwärtigen Leistungsfähigkeit zahlreicher, kontinuierlich betriebener Schmelzwannen darstellen und sie daher mittelfristig eine Lösung für derartige Wannen darstellen könnten. Es gibt keine unüberwindlichen technischen Hindernisse für die Realisierung der oben genannten Emissionswerte und im Laufe der Zeit dürften diese Werte aufgrund der Entwicklung und Durchführung geeigneter Techniken zu erreichen sein.

5.10.3 Schwefeloxide

In der Frittenherstellung gilt als BVT zur Senkung der Schwefeloxide (angegeben als SO₂) im Allgemeinen die Brennstoffauswahl (sofern durchführbar) und die Überwachung der Gemengezusammensetzung. Der mit der BVT verbundene Emissionswert beträgt 0,1 bis 0,5 kg/Tonne geschmolzenen Glases, was in der Regel mit weniger als 200 mg/Nm³ gleichzusetzen ist. Bei einer Ölfeuerung, oder wenn das Gemenge wesentliche Sulfatanteile enthält, beträgt der als BVT angesehene Emissionswert 500 bis 1000 mg/Nm³.

5.10.4 Andere im Schmelzprozess anfallende Emissionen

Die im Allgemeinen mit der BVT verbundenen Emissionswerte in diesem Sektor für die unten bezeichneten Schadstoffe werden wie folgt angegeben:

- Chloride (angegeben als HCl) <10 mg/Nm³
- Fluoride (angegeben als HF) (Anmerkung 1) 5 mg/Nm³
- Metalle (Gruppe 1 + 2) 5 mg/Nm³
- Metalle (Gruppe 1) <1 mg/Nm³

Die Klassifizierungen für Metalle und deren Verbindungen werden in Tabelle 5.2 angegeben.

Anmerkung 1

Wenn die Gemengestoffe einen hohen Fluoridgehalt aufweisen, beruht die Wertangabe auf der Anwendung einer Anlage zur Abscheidung saurer Abgasbestandteile.

5.10.5 Nachgeschaltete Prozesse

Die einzige potentielle Emission aus diesen Aktivitäten ist Staub und als BVT gilt der Einsatz einer Schlauchfilteranlage. Die mit der BVT verbundenen Emissionswerte werden für partikelförmige Stoffe mit 5 bis 10 mg/Nm³ und für Metalle (Gruppe 1 + 2) mit <5 mg/Nm³ angegeben.

5.11 Emissionen in das Wasser

In der Glasindustrie treten normalerweise Emissionen in das Wasser als Folge von Betriebsvorgängen nur in geringem Maße auf und sind nicht typisch für diesen Industriezweig. Die nachstehend aufgeführten Emissionswerte gelten in der Regel als Werte, die dem Gewässerschutz gerecht werden und sind als Orientierungswerte für die Emissionen anzusehen, die normalerweise mit den allgemein als BVT geltenden Techniken erzielt würden. Sie entsprechen nicht unbedingt den gegenwärtig in diesem Industriezweig erreichten Werten, sondern beruhen auf dem fachmännischen Urteil der Technischen Arbeitsgruppe.

- Abfiltrierbare Stoffe <30 mg/l
- Chemischer Sauerstoffbedarf (Anmerkung 1) 100 – 130 mg/l
- Ammoniak (nach Kjeldahl) <10 mg/l
- Sulfat <1000 mg/l
- Fluorid <15 – 25 mg/l
- Arsen <0,3 mg/l
- Antimon <0,3 mg/l
- Barium <3,0 mg/l
- Cadmium <0,05 mg/l
- Chrom (gesamt) <0,5 mg/l
- Kupfer <0,5 mg/l
- Blei (Anmerkung 2) <0,5 mg/l
- Nickel <0,5 mg/l
- Zinn (Anmerkung 3) <0,5 mg/l
- Zink <0,5 mg/l
- Phenol <1,0 mg/l
- Borsäure 2 – 4 mg/l
- pH 6,5 – 9
- Mineralöl <20 mg/l

Anmerkung 1: Für den Endlosglasfasersektor ist dieser Wert bei 200 mg/l. Im Allgemeinen ist der chemische Sauerstoffbedarf verhältnismäßig gering und der tatsächliche, mit der BVT verbundene Wert kann von dem aufnehmenden Gewässer abhängen. Wenn das Gewässer besonders empfindlich ist, müssen die Werte möglicherweise unter diesem genannten Wert liegen.

Anmerkung 2: Für Wirtschaftsglasanlagen, in denen bedeutende Anteile von Bleiverbindungen eingesetzt werden, wird der Wert von 1,0 mg/l gegenwärtig als sachgerechter angesehen. Der Erreichung von 0,5 mg/l stehen keine unüberwindlichen Hindernisse im Wege und wenn man davon ausgeht, dass die erforderliche Zeit für die Entwicklung und Realisierung geeigneter Techniken zur Verfügung steht, ist dieser Wert erreichbar.

Anmerkung 3: Für Behälterglasprozesse, in denen Wäscher zur Behandlung der in nachgeschalteten Einrichtungen anfallenden Emissionen eingesetzt werden, ist ein Emissionswert von <3 mg/l angemessener.

Unter gewissen Umständen kann die BVT ebenfalls in der Einleitung in ein Klärwerk oder eine andere externe Behandlungsanlage bestehen.

5.12 Andere Abfälle

Wenn möglich, gilt die Vermeidung von Abfällen als BVT und wo dies nicht durchführbar ist, gilt als BVT die höchstmögliche Verminderung von Abfällen durch Primärmaßnahmen.

Wo die Möglichkeit besteht, gelten die Scherbenrückführung oder andere Techniken zur Rückführung der Reststoffe in den Prozessvorgang als BVT. Die Rückführung von Feinstäuben in einen heißen Kupolofen erfordert normalerweise eine vorherige Behandlung, z.B. Brikettierung. Bei der Endlosglasfaserherstellung hat sich die Rückführung von Prozessreststoffen als schwierig erwiesen und weitere Entwicklungsarbeit ist empfohlen.

Wo anwendbar, gilt die Rückführung partikelförmiger Stoffe aus dem Abgasstrom in den Prozessablauf als BVT (dies beinhaltet keine Abfälle aus Regeneratoren). Bei den meisten Schmelzvorgängen, bei denen trockene Abscheidesysteme zur Anwendung kommen, ist nur eine einfache Angleichung der Gemengerezeptur erforderlich, um die notwendige Zusammensetzung des abgeschiedenen Materials zu ermöglichen. Die Schwierigkeiten in Verbindung mit der Rückführung von anfallenden Materialien aus den trockenen Abscheidesystemen werden in Kapitel 4 eingehend erörtert. Unter gewissen Umständen muss eine Kompromisslösung zwischen den genannten Werten für Emissionen in die Luft und der maximalen Verminderung der Erzeugung eines festen Abgasstroms getroffen werden. Wenn eine solche Situation vorhanden ist, muss das Problem auf der Basis anlagenspezifischer Verhältnisse untersucht werden sowie unter der Berücksichtigung der relativen Prioritäten zur weitestgehenden Verminderung der Umweltschädigung als Ganzes.

Sofern es die Voraussetzungen ermöglichen, gilt die maximale Verwertung von Scherben und zurückgeführtem Abfall (sowohl intern als auch extern) als ergänzende Maßnahme für die BVT und beruht auf folgenden Kriterien:

- Verminderte Abfallerzeugung (nur am Standort)
- Allgemein verbesserte Energieeffizienz
- Beitrag zur Vermeidung bestimmter anderer Emissionen
- Reduzierter Verbrauch an natürlichen Ressourcen.

6 EMERGING TECHNIQUES

The Glass Industry can be very innovative in its products and applications, especially in the low volume, high value areas of the industry. The innovations in the melting operations tend to be more gradual and incremental, and are sometimes based on the adaptation of existing concepts. The investments in glass furnaces are substantial and modifications are difficult before the next rebuild. If problems occur during the campaign lost production time and repairs can be very costly, especially if the furnace has to be allowed to cool. Therefore, major modifications carry quite a high risk and companies need to be quite confident of performance before they implement new designs and technology. Similarly the effects of any new technology can only be fully assessed over the period of a full campaign.

The increasing pressure to improve environmental performance has proven to be a strong stimulus for innovation, particularly in developing alternatives to potentially expensive conventional secondary abatement equipment. For example:

- The 3R process was developed from the chemical reduction by fuel principle, which has been conventionally used in large combustion plants. Although it is based on the adaptation of an existing principle, substantial development and innovation was required to apply the principle successfully to glass furnaces.
- The FENIX system is an optimisation of the combustion conditions in the furnace based on burner modifications and a detailed knowledge of the factors that affect NO_x formation and how they interact in the furnace environment.
- Low NO_x burner systems that were originally developed for other applications have been modified specifically for glass furnaces.
- The Sorg LoNO_x melter is an innovative redesign of a conventional glass furnace to minimise NO_x formation and maximise heat recovery.

There are no major breakthroughs in technology expected in the medium term, but a number of techniques are undergoing constant developments to optimise their benefits, which may make them more attractive to industry in the long term. There are also a number of completely new concepts under development, but these are not expected to find application in the industry within the foreseeable future.

This chapter briefly discusses those techniques that are available and cannot be considered as emerging but which are likely to undergo further developments (Sections 6.1 to 6.6), and also those more innovative long-term techniques that are still at pilot scale.

6.1 Low NO_x Burner Systems

New burner systems are still undergoing developments and further incremental advances can be anticipated. The application of these new burners combined with advanced combustion control methods, using exhaust gas analytical methods shows a potential for further reduction in NO_x formation. Also furnaces are being designed to optimise the geometry to the new combustion systems. However, there are some technological issues to be considered as the developments continue, for example:

- there is a potential risk of refractory damage by the reducing parts of flames touching the combustion chamber refractories; and
- the reducing conditions above the melt or batch blanket could affect glass quality and may cause early sulphate decomposition requiring extra sulphate to be added to assure complete fining, which may lead to increased SO_x emissions.

6.2 Oxy-fuel melting

This cannot be considered as an emerging technique and is described in detail in Chapter 4. However, it is certainly still undergoing development even in those sectors where it is well established. Most of the early full-scale furnaces are still less than 10 years old, but the most recent furnaces have incorporated modifications based on the experience to date. There have also been developments with the burner systems to apply the benefits of low NO_x burners.

The existing installations are still based on a conventional recuperative style cross-fired furnace. As mathematical modelling techniques are applied and experience grows further developments are likely with this technique, particularly in regard to furnace geometry. Also with time it will become clearer to which applications the technique is most suited, and in which applications it offers little or indeed no overall benefits. As discussed in Chapter 4 a further area of potential development is the use of heat recovery systems with oxy-fuel melting.

6.3 Cullet and Batch Preheating

The main examples of these techniques are described in Chapter 4 and again are not considered as emerging techniques, but they are undergoing significant development. It is anticipated that the use of these techniques will become more widespread as operating problems are solved and experience increases. Many sectors are working on initiatives to increase the use of post consumer and secondary processor waste. If these developments continue as expected then the applicability of these techniques may increase further.

6.4 Batch Formulations

There are currently a number of interesting developments regarding batch formulation and these are summarised below

As discussed in Section 4.4.1.1, glass formulations that, in combination with other techniques, reduce dust emissions are being developed within the soda-lime glass sectors of the Glass Industry. It is claimed that emission levels in the range 70 - 100 mg/m³ could be possible in many applications.

In Germany and the Netherlands research projects have been initiated for the development of new selenium raw materials with a lower volatility and an improved decolourising efficiency. Application of these new selenium raw materials could limit selenium emissions in the future during production of tableware and flint glass. No further information is currently available.

A new glass composition for continuous filament glass fibre has been developed by one producer. This glass composition addresses two main air emission components typical of E-glass melting i.e. particulates and fluorides. This glass composition does not include boron or added fluorine. The fluoride emission reduction is due to the fact that, having no added fluorides in the glass composition, fluoride emissions are limited to the tramp fluorides present in raw materials, resulting in fluoride emissions below 50 mg/m³. The particulate formation mechanism in standard E-glass formulations is governed by the volatilisation of borate species. Over 85 % of the particulate matter emitted from the furnace is related to boron and the removal

of the borate species from the glass results in a substantial reduction in particulate formation to generally below 50 mg/m³.

The elimination of boron and added fluoride render this glass more difficult to melt (higher melting temperature) and to fiberise, and can lead to some increase in energy requirements. More experience is necessary to determine the long term resistance of furnace refractories. The implementation of this glass formulation also requires the qualification of the various product types and modifications to the melting and forming operations. It is, however, considered as a promising route to achieve significant emission reductions by primary means. This technique has been developed by one company and is covered by patents, and therefore is not generally available within the sector.

6.5 Integration of Frit Processes

A technique has been patented in Spain, which involves the designing of multi-furnace frit installations on a modular basis to group together similar types of operations. The approach allows the use of recuperators to preheat combustion air and also can make dust abatement and recycling more economical.

6.6 Flue Gas Recirculation

Waste gas from the furnace could in principle be re-injected into the flame to reduce the oxygen content and therefore the temperature and the NO_x formation efficiency. This kind of process is widely used in combustion technology, including more recently in the metallurgical industry. For the Glass Industry, it seems to raise potential difficulties regarding flame stability, combustion efficiency as well as CO, unburned hydrocarbons and solids emissions. The stability of the refractories of the checkers could also be a source of problems for application in regenerative furnaces. Encouraging results were obtained at lab scale and on a pilot furnace, but difficulties have been encountered when applying this technique at industrial scale, and more research still seems necessary to fully evaluate the potential of this technology.

The recent concept of "synthetic air", based on the combination of flue gas recirculation and the use of oxygen firing, is also potentially a valuable emerging technique. At the time of writing there is no practical experience of this process.

6.7 Glasulin Research Program

This is a joint project between 17 glass companies and 4 research institutes and has the objective of developing new methods for the reduction of sulphate levels in the batch. This work involves using sulphur sensors, improving understanding of the sulphate fining process and controlling the redox state (which allows lower addition of sulphate but retaining the required fining efficiency). The reduction of SO₂ emissions that can be achieved by controlling sulphate addition and redox state, depend very much on the cullet quality, the cullet/batch ratio, the required glass quality and the type of fuel used. In some case SO₂ emissions could be reduced by as much as 30 - 40 %.

Nitrates are often added to glass melting processes using antimony oxides or arsenic oxides as fining agents. Nitrates (as oxidants) are also added to the batches that contain scrap or other recycled materials rich in organic components. The nitrates oxidise the organic compounds in the batch blanket between about 500 - 900°C. More research is necessary to optimise the redox state of batches without the excessive use of nitrates. Some companies have developed incinerator or pyrolysis techniques to burn off organic components before recycling the internal

scrap (waste wool or fibres) into the glass melting furnace, thus limiting the amount of required nitrates.

6.8 New Melter Designs

6.8.1 The Seg-Melter

The segmented melting concept seeks to capitalise on the different melting requirements of the two main raw materials used in container glass manufacture, batch and cullet. Pure batch is melted at approximately 1400°C with a dwell time of 24 hours, while cullet requires a melting temperature of only 1100°C and a dwell time of 1 - 2 hours.

Batch is charged into an all-electric pre-melting furnace capable of converting 75 % of the raw material into glass. The pre-melted batch then moves via a throat into an enlarged doghouse where cullet is added (cullet comprises at least 60 % of the raw material). The batch/cullet mix then enters the second melting chamber. This is gas or oil-fired, uses oxy-fuel burners, and has a glass depth which is less than that of the pre-melting section.

The system potentially offers a number of advantages:

- emissions during the all-electric pre-melt stage are almost eliminated;
- fuel consumption in the second melting chamber is lower because cullet melts at a lower temperature than the batch;
- the use of oxy-fuel burners minimises NO_x emissions from the second melting chamber;
- the second melting chamber can be smaller in size because of the reduced dwell time required.

For a 230 tonne/day furnace converted to a Seg-melter, thermal efficiencies are more than 25 % higher than those achieved using conventional melting. Maintenance requirements, however, can be higher. Although a complete campaign has been estimated at 15 years, the electric melting section of the Seg-melter is expected to require repairs approximately every three years, with the fuel-fired section continuing to operate at reduced load. [tm5 EEO]

6.8.2 The Advanced Glass Melter

The Advanced Glass Melter (AGM), which is currently under development, employs a totally different concept for batch pre-heating and melting. Batch materials are injected into the reaction zone of the flame in a natural gas-fired combustor. Rapid heating occurs while the materials are in suspension, and both the products of combustion and the heated batch materials are then discharged via a high velocity nozzle into the melt chamber and on to a “centre body”, off which the molten glass flows into a reservoir. Because the flame temperature is quenched by the presence of the batch in the flame, one major advantage of this system is its potential for low NO_x emissions.

6.8.3 The Plasma Melter

The British Glass Research Group is currently developing a rapid melting process, which makes use of the electrical conductivity of molten glass. The system comprises three electric arc torches positioned at 120 °C to one another. These are fed with a supply of high purity argon gas that is ionised and forced out of the torch nozzles in the form of a low energy plasma flame. An insulating crucible containing molten glass is situated below the torches. Batch or cullet is fed into this melting bath from above, while molten glass is continuously drawn from the base.

The system can operate as either a pre-melter or a final melter. Pre-melting on non-conducting glass cullet and batch is achieved when the torches are brought into close proximity. Current is transferred from one torch to another through the ionised plasma jet, and convective heat from the expanding gas and radiative heat from the plasma combine to create a molten pool of glass. In final melting mode the torches are repositioned so that the plasma current flows from torch to torch via the molten glass. The resistance of glass is sufficiently low at these high temperatures to permit this mode of operation.

The system offers a number of potential benefits:

- batch and cullet can be melted in minutes to produce partly refined glass;
- the furnace can be turned on and off at will;
- the composition and colour of the glass can very rapidly be altered;
- operation is virtually pollution free - SO_x, NO_x and dust emissions are negligible.

This type of melting could be available for very small-volume melts within the next few years. It is not expected to be a viable technique for melting more than 20 tonnes a day within the foreseeable future.

7 ABSCHLIESSENDE BEMERKUNGEN

Dieses Kapitel enthält die Schlussfolgerungen und Empfehlungen des Informationsaustausches über die besten verfügbaren Techniken in der Glasindustrie. Unberücksichtigt bleiben die in Kapitel 5 behandelten Schlussfolgerungen zu den BVT.

7.1 Informationsaustausch

Die Arbeiten am vorliegenden Dokument begannen im Januar 1998 mit der Erarbeitung von Vorschlägen zum Umfang und zu den Kernpunkten. Am 29. und 30. Januar 1998 fand die erste Zusammenkunft (das „Kickoff-Meeting“) der technischen Arbeitsgruppe statt. Dabei einigte man sich über die Struktur des Dokuments, den Umfang der Arbeit und die grundlegende Methodik für den Informationsaustausch. Es wurden die wesentlichen Umweltprobleme und die Arbeitsschwerpunkte benannt, und die Mitgliedstaaten sowie die Branche legten ihre Auffassungen zu einer Reihe von Fragen vor.

Im Zeitraum Januar-Oktober 1998 wurden Informationen für die Kapitel 1 bis 4 zusammengetragen und die Kapitel 1 bis 3 im Entwurf erarbeitet. In diesem Stadium erfolgte der Informationsaustausch vornehmlich in Form von Betriebsbesichtigungen und Treffen der Untergruppen der technischen Arbeitsgruppe (TWG). Ein Entwurf des Dokumentes, der die Kapitel 1 bis 3 umfasste, wurde im November 1998 zur Konsultation vorgelegt. Von November 1998 bis Februar 1999 wurde die Informationssammlung fortgesetzt und der erste vollständige Entwurf des Dokumentes unter Berücksichtigung der gegebenen Hinweise zu den Kapiteln 1 bis 3 erstellt. Die Konsultation zu dieser Fassung fand im März und April statt. Die während der Konsultationsphase gegebenen Hinweise wurde von der EIPPCB erörtert, woraufhin im September 1999 ein zweiter vollständiger Entwurf zur Beratung vor der zweiten Sitzung der Arbeitsgruppe vorgelegt wurde.

Die meisten Sektoren der Branche und verschiedene Mitgliedstaaten, namentlich die Niederlande, Frankreich, Deutschland, Italien und Österreich, lieferten eine Fülle von Informationen. Angaben zu Fritten und Keramikfasern standen erst zu einem späteren Zeitpunkt zur Verfügung und waren nicht so detailliert. Das Gros der Informationen zum Thema Fritten wurde von der spanischen Glasindustrie bereitgestellt.

Die Informationen wurden durch Betriebsbesichtigungen, Konsultationen mit Mitgliedern der Arbeitsgruppe und Nachprüfungen innerhalb des EIPPCB validiert. Sie waren in der Regel von hoher Qualität und wurden im weiteren Verlauf des Informationsaustausches weiter präzisiert. Allerdings sind sie an einigen Stellen lückenhaft, und in manchen Bereichen wären detailliertere Angaben wünschenswert. Auf diese Fragen wird in Abschnitt 7.3 näher eingegangen.

Die zweite Sitzung der technischen Arbeitsgruppe fand vom 17. bis 19. November 1999 statt. Dabei kamen eine ganze Reihe von Fragen, vor allem aber die mit Kapitel 5 zusammenhängenden Punkte, zur Sprache, und es konnte ein hohes Maß an Übereinstimmung erzielt werden. Eine kleine Zahl wichtiger Probleme wurde zur weiteren Erörterung an mehrere Arbeitsgruppen verwiesen, die von der TWG eingesetzt worden waren, um zu einem Konsens über die restlichen Punkte des Kapitels 5 zu gelangen. Die Ergebnisse dieser Arbeitsgruppen fanden Eingang in das überarbeitete Dokument, so dass festgestellt werden kann, dass keine größeren offenen Fragen verbleiben, über die sich die TWG nicht einigen konnte.

7.2 Allgemeine Schlussfolgerungen

Der Informationsaustausch über die besten verfügbaren Techniken in der Glasindustrie erwies sich insgesamt als sehr erfolgreich, und nach der zweiten Sitzung des TWG konnte ein hoher Konsensgrad erreicht werden. Es waren ein breites Informationsangebot und eine aktive Teilnahme der meisten Sektoren und Mitgliedstaaten zu verzeichnen. Die TWG bot ausgewiesenen Sachverständigen ein Forum für den Meinungs- und Informationsaustausch und für die Erörterung von Fragen in einem Klima der Unvoreingenommenheit.

Von Anfang an stand fest, dass die Glasindustrie, wie sie in Abschnitt 3.3 und 3.4 von Anhang 1 der Richtlinie definiert wird, im Hinblick auf Umfang und eingesetzte Technologien eine äußerst breit gefächerte Branche darstellt. Deshalb lautet eine der wichtigsten Schlussfolgerungen, dass es aufgrund dieser Vielfalt oft nicht sinnvoll ist, bestimmte Techniken als BVT für sämtliche Verfahren und Sektoren zu benennen. Im vorliegenden Dokument wird grundsätzlich so verfahren, dass zunächst die mit BVT zu erreichenden Umweltstandards ermittelt und anschließend jene Techniken benannt werden, die für einen bestimmten Sektor am geeignetsten erscheinen. Im gesamten Kapitel 5 wird davon ausgegangen, dass die optimale Methode zur Erreichung dieser Standards je nach Verfahren unterschiedlich sein kann.

In den letzten Jahren wurde viel getan, um die Umweltsituation in der Branche zu verbessern. Diese Entwicklung setzt sich weiter fort, so dass mit weiteren Verbesserungen zu rechnen ist. Wie in Kapitel 5 dargelegt, beruhen diese Erwartungen weniger auf der Einführung völlig neuer Verfahren als vielmehr auf der Vervollkommnung von Primärmaßnahmen und herkömmlichen Sekundärmaßnahmen.

Angesichts der steigenden Umwelterwartungen und -anforderungen sieht sich die Branche mit möglicherweise hohen Umweltschutzkosten konfrontiert. Für die Branche stellt dies einen Anreiz dar, kostengünstigere Methoden zur Erreichung der Vorgaben zu entwickeln. Bisher hat sich die Glasindustrie den Herausforderungen als durchaus gewachsen gezeigt. Als kostengünstigste Techniken erweisen sich vielfach Primärmaßnahmen, die Schadstoffemissionen gar nicht erst entstehen lassen. Im Hinblick auf die Gesamtauswirkungen auf die Umwelt sind Primärmaßnahmen in der Regel vorzuziehen, wenn damit vergleichbare Emissionswerte erreicht werden können. Besonders erfolgreich war der Einsatz von Primärmaßnahmen, darunter der Sauerstoff-Brennstoff-Beheizung, bei der Senkung der NO_x -Emissionen. Bei partikelförmigen Emissionen hingegen lassen sich in der Regel mit Primärmaßnahmen keine ebenso günstigen Emissionswerte erreichen wie mit Sekundärmaßnahmen.

7.3 Empfehlungen für die weitere Arbeit

Wie bereits vermerkt, wurden in der Regel Informationen sehr hoher Qualität vorgelegt, doch in einer Reihe von Bereichen wären weitere Angaben hilfreich, um die BVT noch präziser bestimmen zu können. Das Ziel des Projekts bestand darin, den Informationsaustausch über BVT zu koordinieren und darüber zu berichten. Es gehörte nicht zur Aufgabenstellung, neue Untersuchungen anzustellen, um bestehende Informationsdefizite abzubauen. Allerdings gibt es Beispiele dafür, dass das EIPPCB oder Mitglieder der TWG neue Informationen beschafften oder korrelierten. Nachstehend folgen Empfehlungen zu den Bereichen, in denen weitere Arbeiten stattfinden sollten, und zu Bereichen, die bei der Überarbeitung des Dokumentes einer Prüfung unterzogen werden sollten.

Zu empfehlen sind weitere Arbeiten, um medienübergreifende Fragen gründlicher zu erforschen. Insbesondere wäre es von Nutzen, eine Methodik zur Bewertung der Auswirkungen von Emissionen in verschiedene Medien auf die Umwelt insgesamt zu entwickeln. Bei manchen Anlagen besteht ein potentieller Zielkonflikt zwischen der Abfallminimierung und der Reduzierung der SO_2 -Emissionen in die Luft, wenn der Einsatz von Trockensorption oder Quasi-Trockensorption in Betracht kommt, aber nur begrenzte Möglichkeiten zur internen Rückführung des absorbierten Materials bestehen.

Ebenso wichtig wäre eine Methode zur Bewertung der Auswirkungen von Emissionen verschiedener Stoffe in das gleiche Medium. Beispielsweise verringert sich bei einer Umstellung von Öl- auf Gasbeheizung der SO_2 -Ausstoß, aber bisweilen steigen dafür die NO_x -Emissionen und der Brennstoffverbrauch leicht an. Es besteht auch die Möglichkeit, dass sich beim Abbau des überschüssigen Sauerstoffes zur Reduzierung der NO_x -Bildung der Redoxzustand des Glases ändert und höhere SO_2 -Emissionen anfallen.

Die Bestimmung der BVT kann durch die Bewertung der Umweltverträglichkeit von Aktivitäten außerhalb des Standortes weiter erschwert werden. Beispielsweise bewirkt das Schmelzen mit elektrischer Energie eine spürbare Senkung der von der Wanne ausgehenden Emissionen. Zweckmäßig wäre aber eine Beurteilung der Umweltauswirkungen der zur Emissionsreduzierung erforderlichen Stromerzeugung und -verteilung, um die aus Sicht des Umweltschutzes günstigste Variante bestimmen zu können.

Es erscheint ratsam, bei der Überarbeitung des Dokumentes ausführlicher auf die Kosten der einzelnen Techniken einzugehen. Die in Kapitel 4 gemachten finanziellen Angaben sind zu einem großen Teil nicht präzise. Sie sind lediglich als Richtwerte anzusehen. Aufgrund der Unterschiedlichkeit der Anlagen, der betriebswirtschaftlichen Sensibilität finanzieller Daten und vielfach auch der sehr geringen Zahl von Beispielen ist dies gar nicht zu vermeiden. Professor Beerkens vom TNO erstellte einen Bericht für das EIPPCB [tm32 Beerkens], in dem er die verfügbaren Informationen zusammenfasste. Ein Großteil der finanziellen Angaben beruht auf diesem Bericht. Verbessern ließe sich die Lage möglicherweise durch eine Reihe von Fallstudien, um die Kosten und die Wirksamkeit der verschiedenen Varianten in einer konkreten Anlage gegenüberzustellen. Damit könnten einige der Schwierigkeiten, die sich bei einem Kostenvergleich zwischen verschiedenen Anlagen ergeben, ausgeräumt werden, doch wären dazu Informationen erforderlich, die derzeit nicht vorliegen.

Hilfreich wären weitere Arbeiten zur Bewertung der Techniken, die bei der Festlegung der BVT für Emissionen in die Gewässer und für den Energieverbrauch in Betracht kommen. Da Mittel und Zeit nur begrenzt zur Verfügung standen, wurden diese Fragen beim BREF nicht so eingehend erörtert wie bestimmte andere Punkte.

Die im Dokument behandelten Techniken befanden sich zum Teil noch in der Entwicklung, so dass in den nächsten Jahren weitere Informationen hinzukommen dürften. Bei einer Überarbeitung sind diese Entwicklungen ebenso zu berücksichtigen wie die Frage, wie sich weitere Informationen auf die Schlussfolgerungen des vorliegenden Dokumentes auswirken.

Der Einsatz der Sauerstoff-Brennstoff-Beheizung befindet sich noch in einem relativ frühen Stadium. Zwar sind viele technische Probleme gelöst, doch einige Fragen lassen sich erst beantworten, wenn Angaben über den Langzeitbetrieb vorliegen. Mit zunehmender Erfahrung sollte insbesondere der Effekt der Sauerstoffbeheizung auf die Lebensdauer des Feuerfestmaterials bewertet werden. Diese Frage ist in einigen Sektoren für die Wirtschaftlichkeit dieser Technik sehr wichtig und birgt derzeit ein finanzielles Risiko in sich, das einige Unternehmen vom Einsatz des Verfahrens abhält. Auch die direkten Kosten der Technik sollten einer erneuten Bewertung unterzogen werden, vor allem im Hinblick auf ein ausgewogenes Verhältnis zwischen Energieeinsparungen und dem Kostenaufwand für den Sauerstoff. Für die wirtschaftliche Attraktivität der Technik ist dies möglicherweise ein kritischer Punkt, und gegenwärtig ergibt sich in Europa ein sehr uneinheitliches Bild.

Zu nennen sind auch eine Reihe anderer Techniken, bei denen einzelne Punkte unbewiesen oder strittig sind, und zwar für die Branche insgesamt oder bestimmte Anwendungsgebiete. Als Beispiele seien die selektive katalytische Reduktion, die selektive nichtkatalytische Reduktion, der Reburning- Prozess und die Scherben-/Gemenge-Vorwärmung genannt. Auch die Entwicklung in diesen Bereichen ist neu zu bewerten, wenn weitere Betriebserfahrungen vorliegen.

Es erwies sich als schwierig, für die Sektoren Wirtschaftsglas und Endlosglasfasern zu gesicherten Erkenntnissen über BVT für den NO_x-Ausstoß zu gelangen. Bei der Überarbeitung des Dokumentes sollten die im Hinblick auf diese Sektoren eingenommene Position und die mit den vorgeschlagenen Techniken gemachten Fortschritte überprüft werden.

Es wird empfohlen, das Dokument in vier Jahren zu überarbeiten.

8 ANNEX I: EXAMPLE INSTALLATION EMISSION DATA

This information is presented to supplement the information given in Chapter 3. These plants are real examples and the data represents actual measured emissions. Most of the data relates to 1997. These examples are presented as being representative or typical examples from around the EU they are **not** presented as indicative of BAT. The majority of the fossil fuel furnaces have provision for electric boosting.

8.1 Container Glass Sector

The data presented is generally for a single furnace in each installation. Most container glass installations have 2 or more furnaces. Abatement systems are generally common to more than one furnace; in this case (e.g. CG6) the emission data is also common to other furnaces.

Furnace	Furnace Type	Fuel	Capacity (tonnes/day)	Cullet (%)	Abatement Techniques/Comments
CG 1	Cross-fired regenerative	Gas	370	72	Cullet/batch preheater, Primary NOx measures, Electrostatic precipitator
CG 2	Cross-fired regenerative	Gas	370	28	
CG 3	Cross-fired regenerative	Oil	400	50	Low NOx burners Switch to low sulphur FO planned
CG 4	End-fired regenerative	Oil	70	41	High quality flint glass for perfumery
CG 5	End-fired regenerative	Gas	244	10	Recent switch to natural gas firing
CG 6	End-fired regenerative	Oil	300	80	Acid gas adsorption tower, electrostatic precipitator, waste heat boiler (system common to another furnace).
CG 7	Unit melter oxygen fired	Gas	80	38	Borosilicate glass for pharmacy No batch sulphate Electrostatic precipitator
CG 8	Recuperative	Gas	400	not known	Primary measures – low NOx burners
CG 9	Unit melter oxygen fired	Gas	350	65	Bag filter and waste heat boiler
CG 10	Unit melter oxygen fired	Gas	310	84	Indirect cullet preheater, bag filter and waste heat boiler

Furnace	Melting Energy (GJ/tonne)	Dust mg/Nm ³ (kg/tonne)	NOx as NO ₂ mg/Nm ³ (kg/tonne)	SOx as SO ₂ mg/Nm ³ (kg/tonne)	HCl mg/Nm ³ (kg/tonne)	HF mg/Nm ³ (kg/tonne)
CG 1	3.49	24 (0.032)	708 (0.955)	402 (0.542)	7.2 (0.010)	ND
CG 2	4.12	127 (0.22)	772 (1.31)	645 (1.10)	NM	NM
CG 3	4.54	169 (0.29)	1080 (1.9)	2640 (4.3)	62 (0.106)	1 (0.002)
CG 4	7.16	175 (0.56)	700 (2.2)	950 (3.0)	NM	NM
CG 5	5.35	160 (0.28)	1528 (2.7)	198 (0.4)	25 (0.045)	2 (0.004)
CG 6	3.94	3 (0.005)	800 (1.25)	1300 (2.04)	11 (0.017)	0.3 (0.0005)
CG 7	5.98	< 5 (< 0.005)	2158 (0.61)	ND	NM	NM
CG 8	5.22	100 (0.22)	360 (0.8)	810 (1.8)	NM	NM
CG 9	3.35	NM	(0.7)	(0.8)	NM	NM
CG 10	3.35	(0.0006)	(0.5)	(0.6)	(0.013)	(0.0007)

ND = < detection limit

NM = not measured

8.2 Flat Glass Sector

These plants are all float glass furnaces.

Furnace	Furnace Type	Fuel	Capacity (tonnes/day)	Abatement Techniques/Comments
FG 1	Cross-fired Regenerative	Oil (<2 %S)	600	1° NOx (FENIX), 1998 data. Waste heat boiler
FG 2	Cross-fired Regenerative	Oil (2.3 %S)	450	1° NOx Reduction to 2.4 % S oil
FG 3	Cross-fired Regenerative	Gas or oil (1 %S)	650	1° NOx, EP + dry scrubber with 100 % dust recycle Waste heat boiler
FG 4	Cross-fired Regenerative	Gas	600	1° Controls
FG 5	Cross-fired Regenerative	Gas	810	1° NOx and 3R (only 2/6 ports with 3R), EP + dry scrubber with 100 % dust recycle Waste heat boiler
FG 6	Cross-fired Regenerative	Gas	500	SCR, EP + dry scrubber with 100 % dust recycle
FG 7	Cross-fired Regenerative	50:50 Gas and oil	550	Bag filter with dry scrubbing (soda ash)

Furnace	Melting Energy GJ/tonne	Dust mg/Nm ³ (kg/tonne)	NO _x as NO ₂ mg/Nm ³ (kg/tonne)	SO _x as SO ₂ mg/Nm ³ (kg/tonne)	HCl mg/Nm ³ (kg/tonne)	HF mg/Nm ³ (kg/tonne)
FG 1	5.4	196 (0.43)	510 (1.1)	3381 (7.57)	39 (0.087)	4.8 (0.011)
FG 2	7.74	213 (0.68)	1473 (4.22)	2400 (6.87)	19 (0.062)	0.06 (0.0002)
FG 3	6.16	15 (0.04) average	1300 (2.7) average	830 (2.1)	30 (0.082)	4 (0.011)
FG 4		156 (0.41)	2578 (6.82)	748 (1.98)	<10 (<0.03)	<1 (<0.003)
FG 5		11 (0.024) average	1294 (2.94) ⁽¹⁾ average	545 (1.24) average	9 (0.02) average	0.4 (0.0008) average
FG 6	6.14	<10 (0.02)	495 (1.12)	295 (0.67)	<5	<1
FG 7	NM	<10 (<0.03)	2200 (6)	200 (0.56)	<30 (<0.08)	<5 (<0.02)

(1) 3R was only operational on 2 out of 6 ports. If all ports had been operating with 3R the emission level would have been <500 mg/Nm³ and < 1.0 kg/tonne of glass melted.

8.3 Continuous Filament Glass Fibre Sector

Furnace	Furnace Type	Fuel	Capacity (tonnes/day)	Abatement Techniques/Comments
CF 1	Cross-fired recuperative	Gas	>40	No 2 ^o abatement, added fluoride batch.
CF 2	Cross-fired recuperative	Gas	>40	No 2 ^o abatement, "reduced" added fluoride batch.
CF 3	Cross-fired recuperative	Gas	>40	No 2 ^o abatement, no added fluoride batch
CF 4	Cross-fired recuperative	Gas	>75	1 ^o NO _x , wet scrubber with alkaline reagents, no added fluoride batch.
CF 5	Cross-fired recuperative	Gas	>40	No 2 ^o abatement, new proprietary no added fluoride or boron.
CF 6	Cross-fired recuperative	Gas	>55	1 ^o NO _x , EP, no added fluoride.
CF 7	Cross-fired recuperative	Gas	>75	No 2 ^o abatement, added fluoride batch.
CF 8	Cross-fired recuperative	Gas	50	EP/Bag filter with lime injection?

Furnace	Melting Energy GJ/tonne	Dust mg/Nm ³ (kg/tonne)	NO _x as NO ₂ mg/Nm ³ (kg/tonne)	SO _x as SO ₂ mg/Nm ³ (kg/tonne)	HCl mg/Nm ³ (kg/tonne)	HF mg/Nm ³ (kg/tonne)
CF 1	14.9	158 (1.22)	1009 (7.8)	136 (1.31)	3 (0.03)	123 (0.94)
CF 2	18.2	218 (1.23)	968 (5.5)	133 (0.85)	3 (0.02)	93 (0.53)
CF 3	13	300 (1.2)	1140 (4.6)	56 (0.22)	4 (0.02)	17 (0.07)
CF 4	10.5	20 (0.22)	1100 (12.44)	270 (1.85)	0	0
CF 5	18.2	13 (0.05)	1070 (3.9)	135 (0.5)	5 (0.02)	21 (0.08)
CF 6	8.75	9.5 (0.04)	1350 (6.8)			
CF 7		294 (1.6)	672 (3.52)			258 (1.42)
CF 8	16.2	4.1 (0.02)	1020 (5.0)	620 (3.0)		1.0 (0.0005)

8.4 Domestic Glass Sector

Furnace	Furnace Type	Fuel	Capacity (tonnes/day)	Abatement Techniques/Comments
DG 1	Regenerative end-fired.	Mainly gas, can use oil.	165	1° NO _x
DG 2	Regenerative end-fired.	Gas	65	1° NO _x
DG 3	Recuperative mixed melter	Gas and electricity	30	Bag filter.
DG 4	Electric melter	Electricity	28	Bag filter
DG 5	Regenerative end-fired. Extra white soda-lime glass.	Gas	165	Primary NO _x control, 1998 data
DG 6	100 % Electrical Opal Glass	Electricity	65	Cold top electrical melting with bag filter and optimised batch formulation.
DG 7	100 % Electrical Crystal Glass	Electricity	32	Lead free crystal glass. 35 % cullet.
DG 8	100 % Electrical Soda-lime extra white	Electricity	48	Wet scrubber 405 cullet
DG 9	Recuperative	Gas	34	EP

Furnace	Melting Energy GJ/tonne	Dust mg/Nm ³ (kg/tonne)	NOx as NO ₂ mg/Nm ³ (kg/tonne)	SOx as SO ₂ mg/Nm ³ (kg/tonne)	HCl mg/Nm ³ (kg/tonne)	HF mg/Nm ³ (kg/tonne)
DG 1	4.8	109 (0.23)	2314 (4.9)	186 (0.58)		
DG 2	6.5	171 (0.7)	2087 (8.7)	3.1 (0.01)		
DG 3	9.5	<1.0 (<0.003)	1400 (3.5)			
DG 4	4.1	0.6 (<0.01)				
DG 5	4.96	108 (0.25)	1243 (2.9)	126 (0.29)		
DG 6	3.42	(0.02)	(1.0)	(0.02)		(0.001)
DG 7	3.8	1.7 (0.035)	11 (0.23)	0.36 (0.007)	0.42 (0.008)	0.05 (0.001)
DG 8	3.7	2.3 (0.02)	117 (1.07)	1.3 (0.011)	1.0 (0.009)	0.15 (0.0014)
DG 9		<1.0				

8.5 Special Glass Sector

Furnace	Furnace Type	Fuel	Capacity (tonnes/day)	Abatement Techniques/Comments
SG 1	Cross-fired Regenerative TV Panel Glass	Gas or oil	230	EP and SCR
SG 2	Cross-fired Regenerative TV Funnel Glass	Gas or oil	180	Bag filter
SG 3	Cross-fired Regenerative Borosilicate Glass	Gas up to 40 % light oil	50	Non-sulphate refining, EP with lime injection, SCR
SG 4	100 % Electrical Borosilicate Glass	Electricity	40	Cold top electric melter, nitrate refining, bag filter. 1998 data.
SG 5	Recuperative Borosilicate Lighting Glass	Gas	34	Emissions from these two furnaces are combined and treated in a 4 stage EP and SNCR. 1 ⁰ NOx controls are also applied to SG 6.
SG 6	Cross-fired Regenerative Soda-lime Lighting Glass	Gas	150	
SG 7	Cross-fired Regenerative Water Glass	Gas and oil 50:50	320	EP and SNCR
SG 8	Cross-fired Regenerative CRT Panel Glass	Gas	220	EP and SCR
SG 9	Cross-fired Oxy-gas CRT Funnel and Panel	Gas	420	EP and oxy-gas firing
SG 10	Cross-fired Oxy-gas CRT Funnel	Gas	280	EP, oxy-gas firing and SNCR

Furnace	Melting Energy GJ/tonne	Dust mg/Nm ³ (kg/tonne)	NOx as NO ₂ mg/Nm ³ (kg/tonne)	SOx as SO ₂ mg/Nm ³ (kg/tonne)	HCl mg/Nm ³ (kg/tonne)	HF mg/Nm ³ (kg/tonne)
SG 1	7.7	10 (0.033)	800 (2.7)	70 (0.082)	1 (0.003)	0.6 (0.001)
SG 2	5.8	3 (0.006)	4300 (12)	50 (0.07)	2 (0.009)	0.3 (0.001)
SG 3	17.0	45 (0.47)	900 (9.44)	<1 (<0.01)	1 (0.01)	4.5 (0.05)
SG 4	7.99	10 (0.06)	85 (0.54)	<1 (<0.01)	10 (0.06)	0.5 (0.003)
SG 5	9.55	5 (0.02)	800 (3.33)	50 (0.2)	8 (0.03)	2 (0.01)
SG 6	6.01					
SG 7	1020	10 (0.016)	500 (0.8)	350 - 500 (0.56 - 0.8)	15 (0.02)	-
SG 8	1400 - 1800	<<15 (<<0.06)	360 (1.5)	<10 (<0.04)	<<30 (<<0.1)	<<5 (<<0.02)
SG 9 19 % O ₂	1556 Panel 1389 Funnel	1 (0.003)	1800 (5)	2 (0.005)	0.4 (0.001)	0.4 (0.001)
SG 10 20 % O ₂	1388	0.9 (0.004)	510 (2.08)	3.2 (0.014)	1.6 (0.007)	0.4 (0.002)

8.6 Mineral Wool Sector

Most forming and curing operations in glass wool have impact jets and cyclones in addition to primary measures and the abatement techniques described.

Furnace	Furnace Type	Fuel	Capacity (tonnes/day)	Abatement Techniques/Comments
GW 1	Oxy-fuel tank	Oxy-gas	82 - 165	EP and oxy-gas for melting. Wet scrubber for cooling.
GW 2	Electrical melt	Electricity	165 - 274	Bag filter with dust recycling on furnace. Wet scrubbers on forming and curing. Furnace has >70 % foreign cullet.
GW 3	Electrical melt	Electricity	165 - 274	EP on furnace, venturi scrubber on curing. No foreign cullet.
GW 4	Recuperative (end-fired)	Gas	27 - 82	Venturi scrubber on curing.
GW 5	Recuperative	Gas	82 - 165	EP on furnace, wet EP on forming and curing.

Furnace	Particulate mg/Nm ³ (kg/t)	NOx as NO ₂ mg/Nm ³ (kg/t)	SOx as SO ₂ mg/Nm ³ (kg/t)	HCl mg/Nm ³ (kg/t)	HF mg/Nm ³ (kg/t)	Phenol mg/Nm ³ (kg/t)	Formalde -hyde mg/Nm ³ (kg/t)	Ammonia mg/Nm ³ (kg/t)
GW 1 Melting Forming/ Curing	7.5 (0.004) 15.7(0.078)	102 (0.63)	18 (0.035)	1.2(0.002)	0.2(0.0003)	2.1(0.164)	2 (0.141)	28 (2.16)
GW 2 Melting Forming/ Curing	1 (0.002) 25 (1.5)	30 (2.0)				12 (0.3)	2 (0.1)	60 (3.5)
GW 3 Melting Forming/ Curing	5 (0.02) 41 (2.61)	59 (0.14)			0.01	5.3 (0.34)		87 (5.56)
GW 4 Melting Forming/ Curing	1065 (7.51) 2548 (50)	704 (4.96)	1.5 (0.01)	70 (0.49)	0.8(0.005)	761 (21.7)	89 (1.75)	3046 (68)
GW 5 Melting Forming/ Curing	293 (0.373)	1706 (6.5) 371 (7.7)	0.9(0.004)	19 (0.081)	1 (0.005)	16 (1.114)	4.3(0.306)	43 (3.116)

Furnace	Furnace Type	Fuel	Capacity (tonnes/day)	Abatement Techniques/Comments
SW 1	Tank	Natural gas	82 - 165	EP with dust recycle on furnace. Wet EP on forming and curing.
SW 2	Tank	Electricity		Incinerator and bag filter on furnace Stone wool filter on forming and incinerator on curing.
SW 3	Cupola	Coke		Cyclone on furnace, stone wool filter on combined forming and curing.
SW 4	Cupola	Coke	>165	Incinerator, bag filter and dry scrubbing on furnace. Filter on forming and incinerator on curing.
SW 5	Cupola	Coke	82 - 165	Incinerator and bag filter on furnace Stone wool filter on forming and incinerator on curing.
SW 6	Cupola	Coke	82 - 165	Incinerator and bag filter on furnace Stone wool filter on forming and incinerator on curing. Slag in charge.

Furnace	Particulate mg/Nm ³ (kg/t)	NOx as NO ₂ mg/Nm ³ (kg/t)	SOx as SO ₂ mg/Nm ³ (kg/t)	HCl mg/Nm ³ (kg/t)	HF mg/Nm ³ (kg/t)	Phenol mg/Nm ³ (kg/t)	Formalde -hyde mg/Nm ³ (kg/t)	Ammonia mg/Nm ³ (kg/t)
SW 1 Melting Forming/ Curing	30 (0.1)	1210 (2.9)	165 (0.3)	1 (0.002)	0.4(0.001)	28 (6.9)		14(0.4)
SW 2 Melting Forming Curing	10 (0.002) 10 (0.3)	150 (0.03) 30 (0.15)	3000 (0.6)			30 (0.9) 0.2(0.002)	3 (0.1) 0.4(0.002)	60 (1.8) 20 (0.1)
SW 3 Melting Forming/ Curing	2600 (3.6) 12 (0.4)	300 (0.45) 4 (0.16)	930 (1.4) 2 (0.07)	H ₂ S 300 (0.4)		30 (1.1)	3 (0.1)	18 (0.7)
SW 4 Melting Forming Curing	6 (0.02) 19.5 (0.5)	159 (0.5) 160 (0.3)	385 (1.4)	15 (0.05)	2 (0.01)	18 (0.4) 7 (0.01)	7 (0.15) 7 (0.01)	55 (1.3) 45 (0.1)
SW 5 Melting Forming Curing	12.7 (0.02) 14.4(0.33) 13.2 (0.02)	169 (0.23) 89 (0.14)	1046 (1.4)		1 (0.001)	5 (0.11) 1 (0.002)	2 (0.05) 1 (0.002)	60 (1.4) 90 (0.15)
SW 6 Melting Forming Curing	57 (0.1) 44.5 (0.8) 14 (0.04)	175 (0.32)	1951 (3.6)	1.9(0.003)	1.1(0.002)	3.3 (0.06) 0.9(0.002)	10.9 (0.2) 2.8(0.005)	43 (0.78) 172 (0.31)

9 ANNEX II: EXAMPLE SULPHUR BALANCES FOR INDUSTRIAL GLASS FURNACES

In Chapters 4 and 5 references are made to the use of sulphur balances for the determination of installation specific conditions, or as the basis of comparisons between various process options. This annex provides two examples of sulphur balances and explains the related issues for these examples. The examples chosen are soda-lime furnaces (1 flat glass, 1 container glass) with complete and partial internal recycling of collected dust from a filter unit incorporating acid gas scrubbing. The figures used are examples only, and in particular the emission levels given in the examples should not be taken to be indicative of BAT.

The total recycling of filter dust depends on the type of glass, its oxidation state, its ability to absorb the SO_3 and more generally on the furnace running conditions (in particular the content of sulphur in the fuel). The best way to illustrate these aspects is to examine a complete sulphur balance as given in the figures below. For a specific case, the flow can be given in kg/h of a coherent unit (SO_2 , SO_3 , or S) or alternatively as mg/Nm^3 of SO_2 , because for a specific furnace it is straight forward to calculate the conversion factor between concentration and mass flow.

For the furnace sulphur balance, inputs are:

- Sulphur input by batch material
- Sulphur input by cullet (internal + external)
- Sulphur input by the fuel
- Sulphur input by recycled filter dust

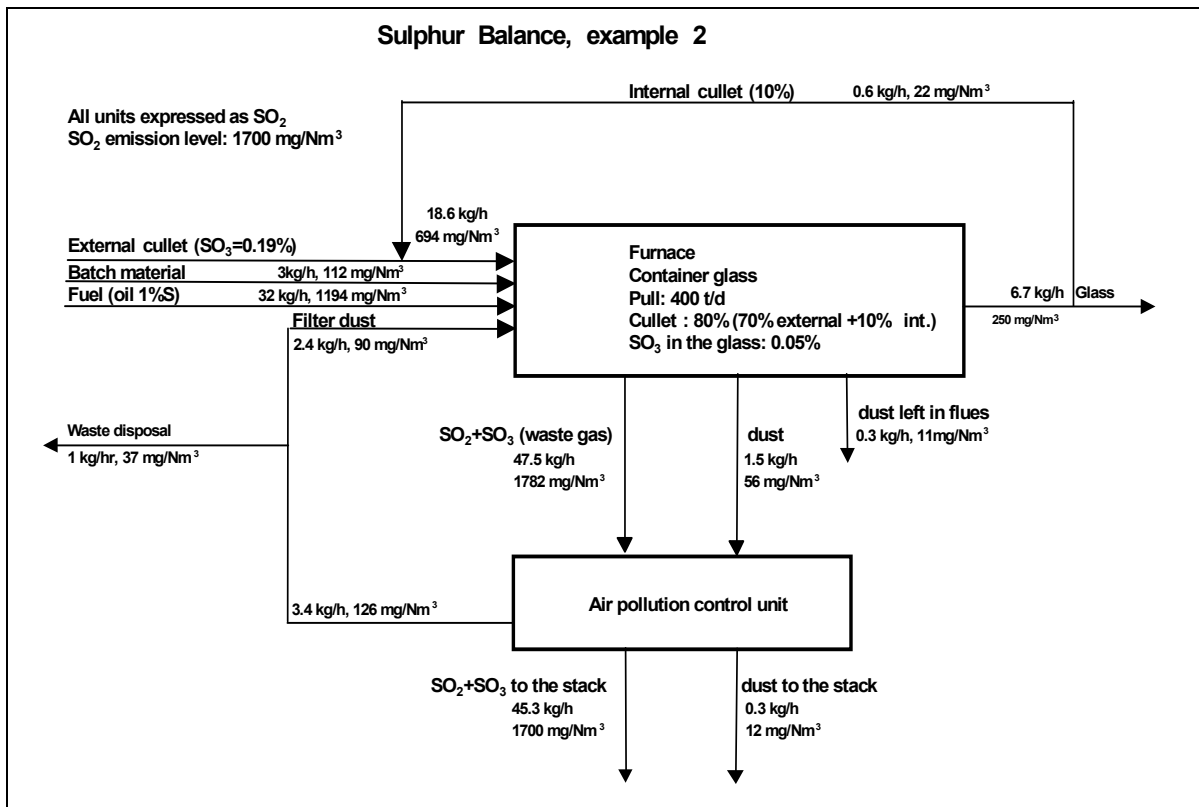
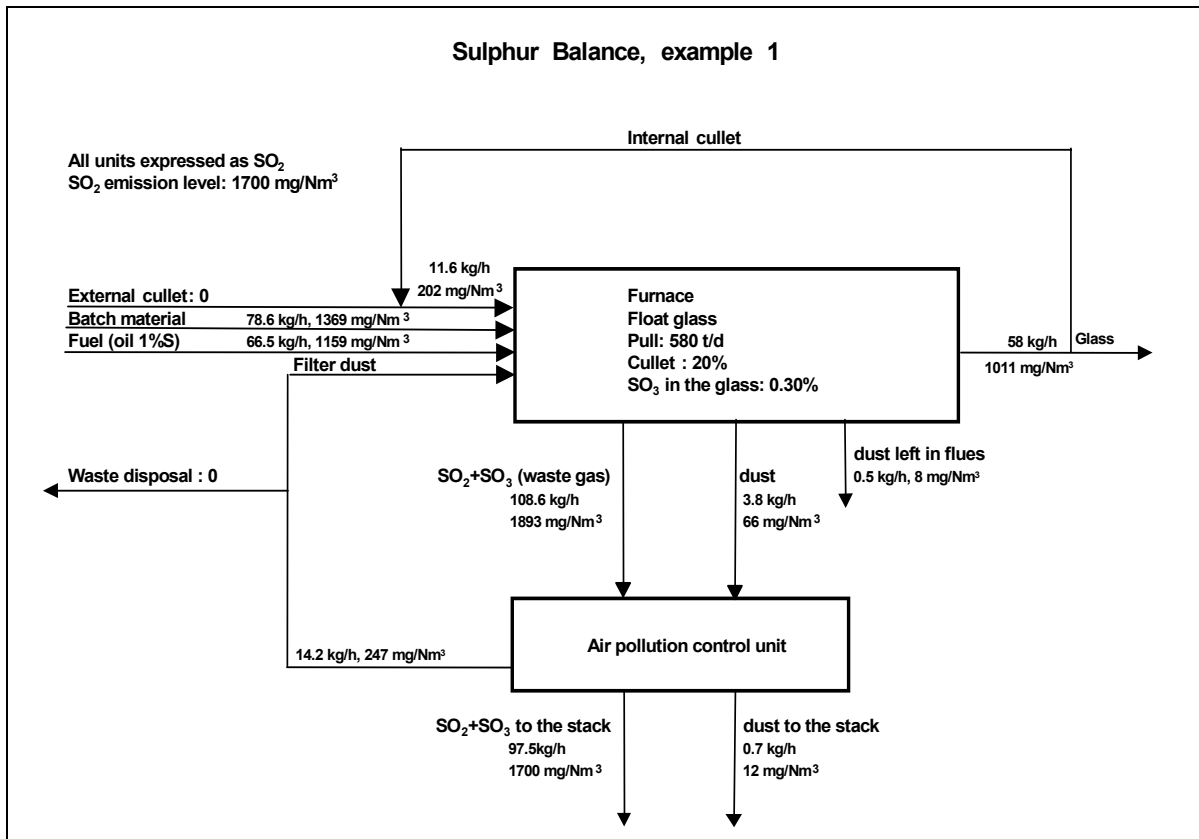
Outputs are:

- Sulphur in glass pull
- Sulphur in the flue gas ($\text{SO}_2 + \text{SO}_3$)
- Sulphur contained in dust
- Sulphur in the dust deposited in regenerators and flues (estimated to be 1 to 5 %)

The overall sulphur balance must include the sulphur balance for the pollution control unit, i.e. outputs at the stack and the filter dust. If the filter dust quantity is not compatible with the type of glass, an external disposal route (generally landfill) must be used for at least part of the dust. Alternatively in order to minimise waste disposal, the sulphur content of the fuel can be reduced. This latter option is generally the preferred choice both in terms of protection of the environment as a whole and on economic grounds.

Recycling of filter dust implies the substitution of sodium sulphate or gypsum in the batch material. The potential amount of dust that can be recycled depends on the sulphate quantity required for refining and the possibility of substituting this sulphate by the filter dust. The dust properties and potential for recycling will depend on the running conditions and the type of absorbent (scrubbing material) used. Recycling is generally more difficult with lime injection because the abatement efficiency is lower and the dust is less oxidised. Dust arising from scrubbing with sodium carbonate or sodium bicarbonate is generally easier to recycle.

The external cullet and its average composition will also influence the SO_3 input. If the furnace is oil fired, the oil will give rise to about 1200 mg/Nm^3 of SO_2 per 1 % of sulphur in the oil. The quantity of sulphur that can be absorbed into the glass varies from almost zero for some reduced glasses, up to about 500 to 700 mg/Nm^3 for oxidising flint glasses. These figures are indicative only.



10 ANNEX III: EMISSION MONITORING

This annex gives general recommendations for the measurement of emissions from glass production processes, in order to obtain representative and comparable results. A number of national and international methods and procedures can be applied for the measurement of emissions but their use can lead to significantly different results due to the inappropriate application of general methods to a very specific case like the glass manufacturing process.

10.1 Main Pollutants

The main source of pollution from the Glass Industry is atmospheric emissions from the melting process. However, in some sectors the downstream activities can also give rise to substantial emissions. A summary of the main pollutants, indicated for the sectors identified within the Glass Industry, is given in the following Table:

Sector/Activity	Pollutants
Container Glass	
Materials handling	Dust, crystalline silica
Melting process	Dust, CO, NO _x , SO _x , HF, HCl, Heavy metals
Hot-end coating or treatment	Dust, organic and inorganic tin, HCl, SO _x
Flat Glass	
Materials handling	Dust, crystalline silica
Melting process	Dust, CO, NO _x , SO _x , HF, HCl, heavy metals (for coloured glasses)
Surface treatment	SO _x
Continuous Glass Filament	
Materials handling	Dust, crystalline silica
Melting process	Dust, CO, NO _x , SO _x , HF, HCl, gaseous boron compounds
Downstream activities	Dust, VOC, formaldehyde, ammonia, waste water
Domestic Glass	
Materials handling	Dust, crystalline silica, heavy metals
Melting process	Dust, CO, NO _x , SO _x , HF, HCl, heavy metals
Downstream activities	HF, waste water (from polishing and grinding)
Special Glass	
Materials handling	Dust, crystalline silica, heavy metals
Melting process	Dust, CO, NO _x , SO _x , HF, HCl, heavy metals, boron compounds
Downstream activities	Dust, waste water (from polishing and grinding)
Mineral Wool	
Materials handling	Dust, crystalline silica
Melting process	Dust, CO, NO _x , SO _x , HF, HCl, gaseous boron compounds, H ₂ S
Downstream processes	Dust, VOC, phenols, amines, ammonia, formaldehyde, VOC, NO _x (curing), waste water
Ceramic Fibre	
Materials handling	Dust, crystalline silica
Melting process	Dust, CO, NO _x , SO _x , H ₂ S, HF, HCl
Downstream activities	Dust, fibres, waste water
Frits	
Materials handling	Dust, crystalline silica, heavy metals
Melting process	Dust, CO, NO _x , SO _x , HF, HCl, heavy metals, boron compounds
Downstream activities	Dust, waste water

Table 10.1: Main pollutant likely to be considered for measurement in the Glass Industry

10.2 Monitoring of Emissions

Emission monitoring is universally used for ensuring compliance with permit emission limits. The mode and the frequency should be related to the extent of emissions to be verified and to the control technology being used. The methods most commonly applied are the following:

- Monitoring of abatement technique performance (e.g. bag filter pressure drop)
- Continuous monitoring of pollutants
- Discontinuous measurements of pollutants;
- Mass balance calculation.

Monitoring of abatement technique performance

In general, this is the minimum requirement imposed for emission monitoring. In some cases, (e.g. a well understood stable emission situation) the assessment of abatement technique performance could be sufficient to determine the compliance with the requirement of a permit. In many cases, automatic techniques capable of detecting the failure or malfunction of the abatement equipment are applied (e.g. measurement of pressure drop, temperature, pH, etc.).

Continuous and/or discontinuous measurement of pollutants

Emission monitoring requires the determination of all relevant parameters capable of influencing the measurement of the different pollutants, or the interpretation and reporting of results. In addition to the regulated substances (Dust, NO_x, SO_x, HCl, HF, etc.) it is necessary to determine the characteristic parameters of the emitting source e.g.:

- Flue gas velocity and mass flow
- Temperature
- Humidity
- Oxygen concentration
- Carbon dioxide concentration
- Carbon monoxide concentration

The measurement of emissions can be affected by several factors, some of which are particularly important in the case of glass melting processes. In most cases, the critical parameters can be identified as follows:

- Waste gas temperature
- Size distribution of dust
- Waste gas velocity
- Waste gas moisture
- Gaseous and particulate form of pollutants
- Sampling time
- Reference conditions

Waste gas temperature

The flue gas temperature from the furnace can vary substantially (generally 100 to 850 °C at the stack), depending on the heat recovery system (regenerators, recuperators or gas quenching) and the abatement technique applied. The higher temperatures generally correspond to recuperative type furnaces and/or oxy-fuel melting. The lower temperatures are typical of highly diluted waste gases (discontinuous furnaces, all electric melting, some furnaces with abatement

equipment, etc.). The possible measuring errors due to the waste gas temperature can be minimized as follows:

- Use of appropriate filters and probes for dust measurements (quartz or glass fiber filters without organic binders, high temperature gaskets, etc.).
- Appropriate conditioning of the filters before use at high temperature. A previous conditioning phase at temperature up to 400 - 600 °C is recommended in order to avoid further weight losses during the measurements.
- Use of heated probes and filters at low waste gas temperatures, particularly in the presence of high humidity, in order to avoid acid and water condensation.

Size distribution of dust

The particle diameter of dust generated by the melting process is normally very small (less than 1 µm, and generally 0.02 - 0.5µm). During sampling the particles easily agglomerate and, when alkaline filtering materials are used, tend to react with the acid gaseous substances present in the flue gas. In order to avoid the phenomena, chemically inert filters should be selected for sampling. When particulate matter is measured continuously, the fine particles can be difficult to remove from the optical parts of the measuring equipment, leading to erroneous results of dust concentration. A suitable cleaning system should be applied.

Waste gas velocity

Although dust emitted from the glass melting process is made up of extremely fine particles, the measurements should be carried out isokinetically. The geometry of the duct and the position of the sampling point should be selected in order to allow a correct measurement of the flue gas velocity.

Waste gas moisture

The presence of high percentages of water in the waste gases is very common in the case of oxy-fuel melting and air/gas furnaces when water is used as the coolant prior to abatement equipment. The determination of the gas dew point should be carried out in order to avoid condensation during sampling. Gaseous pollutants should be measured by using heated probes any time there is a risk of condensation, especially in SO₃-rich flue gases. This is also the case for some downstream processes employing wet scrubbers, such as for continuous glass filament, glass fibre, etc. Where water condensation does occur, the resulting liquid should be checked to determine the possible absorption of gaseous pollutants, e.g. oxides of sulphur.

Gaseous and particulate form of pollutants

Some pollutants can be released into the atmosphere in both particulate and gaseous form. This is the case for some substances from the melting process, e.g. certain boron compounds (particularly, boric acid), selenium, arsenic, mercury (if cullet from lighting is used), but also tin chloride from the hot-end coating activities for container glass. Boric acid is mainly released into the atmosphere in its gaseous form, due to its high vapour pressure and low condensation temperature (below 160 °C). Selenium used for colouring or decolouring the glass can result in a high gaseous emission, due to the formation of extremely volatile compounds, with condensation temperatures as low as 60 - 100 °C. In these cases, in order to avoid evaluating errors, the sampling train should be equipped with a combined system for the simultaneous collection of both particulate and gaseous components.

Sampling time

In case of regenerative furnaces, in addition to the standard procedures, which require an adequate sampling time for collecting a representative sample, a good practice should take into consideration the reversal cycle of the regenerators. In fact, emissions from the melting process can vary substantially with the temperature cycle of the chambers, which increases during the cycle. In order to carry out measurements with comparable results the sampling time should cover an even number of firing cycles. This can also be an issue with cleaning cycles on abatement equipment.

Reference conditions

Normally, the emission limit values are given in concentration, referred to 0 °C, 101.3 kPa and other specific conditions e.g.:

- Continuous melting furnaces: 8 % oxygen by volume, dry
- Discontinuous furnaces: 13 % oxygen by volume, dry
- Other sources of emissions: no correction for oxygen or water vapour

In general, the concentration of pollutants is used to define compliance with the emission limit values. This is because it is directly measured and does not require the acquisition of additional information concerning the production process, which is usually needed for the definition of the emission factors or specific emissions (e.g. kg emission per tonne of molten glass). However, emission limit values are sometimes given both in concentration (mg/m^3) and emission factor (kg/tonne glass, kg/h, g/h). This is particularly the case for highly diluted waste gases (e.g. electric furnaces) and, in general, in the presence of high percentages of oxygen (oxy-fuel combustion). The correction to 8 or 13 % oxygen would yield results that would not be comparable with furnaces using fossil fuels and air instead of oxygen for the melting process.

Continuous monitoring

The application of continuous monitoring is generally limited to the emissions generated by the melting furnace, it being the most relevant mass flow and having a relatively constant level of emissions. Continuous monitoring of emissions can be carried out by “in situ” or extractive measuring equipment. “In situ” measurements are performed across the stack/chimney, at flue gas temperature and the humidity of the sampling point. Extractive measurements are based on the conditioning of the flue gas sample and subsequent determination of the pollutant concentration on dry gas. Both systems require careful maintenance and periodic calibration by means of discontinuous measuring methods. In particular, measurements carried out by “in situ” instruments can be affected by colour and particulate size distribution, which vary according to the different glass produced in the furnace (green, brown, half-white) and the type of fuel used for combustion.

The parameters that could be measured continuously and the suggested methods are given in the table below.

Parameter	Method
Oxygen	Paramagnetic, zirconium oxide cell
Dust	Light opacity, light scattering
Nitrogen Oxide (NO)	Infrared or UV photometry, chemi-luminescence
Nitrogen Oxides (NO + NO ₂)	Infrared or UV photometry, chemi-luminescence equipped with converter (NO ₂ to NO)
Sulphur Dioxide	Infrared or UV photometry
Carbon Monoxide	Infrared photometry
Total Hydrocarbons	Flame Ionization Detector (FID)

Table 10.2: Continuous monitoring techniques

Other pollutants could be measured continuously, such as HF and HCl by potentiometry and IR photometry respectively or by the potentiometric method. However, these measurements are not easy to perform and require frequent re-calibration of the analyzers. Continuous monitoring of these pollutants could be appropriate for particular glass processes that imply the use of chlorine and fluorine compounds in the batch composition, and result in emissions after the abatement system.

In some Member States, national legislation requires continuous monitoring of emissions to be applied for mass flows higher than the following values:

Substance	Mass flow (kg/h)
Dust	2 - 25
Sulphur Dioxide	50 - 150
Nitrogen Oxides, as NO ₂	30 - 150
Carbon Monoxide, for evaluating the efficiency of combustion	5
Carbon Monoxide, all other cases	100
Fluorine compounds, as HF	0.5
Chlorine compounds, as HCl	3 - 20

Note: The ranges indicated in the table are examples of German and French legislative requirements, the lower values being the German requirements.

Table 10.3: Mass flows for continuous monitoring (France and Germany)

Discontinuous measurements

Individual measurements may be carried out by separating the different pollutants (generally dust, SO_x, HCl, HF, metals) on appropriate filtering materials or in adsorbing solutions, or with the use of continuous extractive measuring instruments (e.g. IR, UV photometry for NO_x, SO₂, etc.). The number of measurements required is generally established on the basis of the emission variability and the length of the operation to be controlled. In some cases, the operation is carried out in a limited amount of time that only allows a single measurement (e.g. raw materials handling). However, in most cases for a continuous process characterized by stable emissions, a minimum of three separate measurements is required, and for variable emissions five separate measurements. In special cases, up to 8 - 10 measurements can be necessary.

A general indication of the most common methods used is given in the table below.

Pollutant/Parameter	Method
Dust	Filtration and gravimetric determination
Nitrogen Oxides (NO + NO ₂)	IR or UV photometry, chemi-luminescence. Absorption in suitable solution and chemical determination (colorimetry, ion chromatography, etc.)
Sulphur Dioxide (SO ₂)	IR or UV photometry
Oxides of Sulphur (SO ₂ + SO ₃)	Absorption in suitable solution and chemical determination (titration, ion chromatography, ICP)
Sulphur Oxide (SO ₃)	Absorption in suitable solution and chemical determination (titration, ion chromatography)
Metals (As, Pb, Cd, Se, Cr, Cu, V, Mn, Ni, Co, Sb, etc.)	Filtration and/or absorption in suitable solution. Determination by AAS, ICP.
Chlorides as HCl	Filtration and absorption in suitable solution. Determination by ion chromatography, titration
Fluorides, as HF	Filtration and absorption in suitable solution. Determination by ion specific electrode, ion chromatography
Hydrogen Sulphide	Filtration and absorption in suitable solution. Ion chromatography, colorimetric determination or back titration
Formaldehyde	Absorption in suitable solution. Colorimetric or HPLC determination
Phenol	Absorption in suitable solution. Gas (liquid) Chromatography or colorimetric determination
Ammonia	Absorption in suitable solution. Ion chromatography, colorimetric or ion selective electrode determination
Amines	Absorption in suitable solution or silica gel. GC, HPLC or GC-MS determination
Volatile Organic Compounds	Flame Ionisation Detector (FID)
Oxygen	Paramagnetic, zirconium oxide cell
Carbon Monoxide	IR photometry
Carbon Dioxide	IR photometry

Note: The techniques listed are examples and do not cover all the analytical techniques that might be used for the determination of the different pollutants in the Glass Industry.

Table 10.4: Discontinuous monitoring techniques

In general, national and international standardized methods (ISO, CEN, VDI, EPA, etc.) are available for measuring most of the relevant emission parameters. However, for a number of substances there is no such standardized methodology. This is the case for most organic substances (phenol, formaldehyde, amines, etc.) but also for many inorganic compounds that can be released to the atmosphere in both particulate and gaseous form (e.g. boron compounds). As already indicated, good common practice suggests performing combined sampling (filtration and adsorption) in order to identify and quantify the different fractions.

Mass balance calculation

In some cases, and for certain pollutants, a mass balance calculation can provide a good evaluation of process emissions. When the input and output of a specific substance in a process step (e.g. the melting process), together with any chemical and/or physical changes are known with sufficient accuracy, the mass balance can be used as a quantitative method to evaluate emissions. For example this might be the case for SO₂ arising from melting, HF in opal glass production, or selenium in bronze or flint glass production. In general, the mass balance calculation is used to make a comparison with the measured emissions level.

Interpretation and reporting of measurement results

To give a reasonable standard of interpretation in reporting the results of emission measurements, it is important to specify the following information, as a minimum:

- the monitoring method applied;
- the precision of the method applied;
- the relevant operating conditions (process data);
- the reference conditions (humidity, temperature at measuring point, etc.); and
- the results of all separate measurements or, in the case of continuous monitoring, the frequency distribution of all half-hourly, hourly or daily average concentrations.

Conclusions

This annex does not attempt to give any standard methodology for the monitoring of emissions in the Glass Industry. Where appropriate established methods are normally available and should be evaluated for each application. The objective of this annex is to give general information and to point out the potential sources of erroneous evaluation of the emission levels that can be obtained by the application of different BAT.

11 ANNEX IV: NATIONAL LEGISLATION

The following is the legislation as it was submitted by Member States. No editing work was made on the information received.

11.1. Luxembourg legislation

Emission limit values for float glass furnaces based on permits:

Pollutant	Plant 2	Unit	Average period
Dust	50	mg/Nm ³	daily average
SO ₂	500	mg/Nm ³	hour average
NO _x	500*	mg/Nm ³	daily average
HCl	30	mg/Nm ³	hour average
HF	5	mg/Nm ³	hour average

* target value to be respected after rebuilt of furnace and optimisation of 3R.

Reference conditions:

0 °C, 1013 mbar, dry, 8 % O₂

Measuring interval:

- dust and NO_x: continuously
- all other substances: once per year

11.2. Relevant Dutch legislation and regulation

Framework legislation

The Netherlands has two main framework environmental acts, being the “Environmental Management Act” and the “Surface Water Pollution Act”. These acts together provide the framework for environmental permitting and allow for setting conditions to the permit. The acts comply with the requirements of the IPPC Directive and integrated permitting is guaranteed by a co-ordinated licensing procedure from the competent authorities.

Both framework acts govern a number of Decrees and Regulations that provide requirements with regard to potentially polluting activities.

Regulations

Netherlands emission regulations (NeR)

The Netherlands Emission Regulations (NeR) are concerned with process emissions to air and apply as guidelines for the issuing of licences or for the adjustment of licensing conditions. The NeR should be used for guidance in the granting of licences from 1 May 1992.

The NeR follows the same basic concept as the German TA-Luft, except that the classification of some substances has been adjusted in the light of recent toxicological findings. In addition, the emission standards for some classes of substance have been adjusted in line with current knowledge with regard to best available techniques.

In the NeR, concentration standards for different substances are given, which constitute upper limits for distinct point sources, depending on mass flow. The “special regulations” comprise measures to limit emissions from incidental discharges or diffuse sources. Furthermore, in the “special regulations” rules departing from the “general emission standards” for certain industries or specific installations are given.

Both the glass industry and the mineral wool industry are covered by a special regulation. The special regulation for the mineral wool industry was issued in May 1992. It requires the following:

“Oxides of sulphur

The emission of sulphur dioxide from melting furnaces must be reduced depending on the SO₂ concentration. For concentrations below 1500 [mg/Nm³], lime injection is a possibility.

For concentrations above 1000 [mg/Nm³], conversion to sulphuric acid should be considered as an alternative. The concentration of SO₂ in emitted waste gases may not exceed 400 [mg/m³] after treatment.

Particulates:

The emission of particulates must be controlled by the use of fabric filters or some other technique by which a comparable residual concentration can be achieved.

Organic substances:

The general standards of the NeR, including the cumulation rule, are applicable to the emission of organic substances”.

The special regulation for the glass industry was issued in December 1993. A full translation of the “Special regulation for the glass industry” is found in the Dutch Notes on BAT for the Glass and Mineral Wool Industry. This regulation is not applicable to flat glass, continuous filament fibre and glass wool. However, the regulation states that “in order to control emissions arising from these processes, the technologies mentioned in this regulation are, in principle, applicable with the exception of oxy-fuel in sheet glass manufacture”.

The essentials of the special regulation for the glass industry lie in the fact that there are two possible routes to be followed by the glass industry. One route implies the introduction of oxy-fuel technology before 2003 and introduction of dedusting and absorbent injection before 2010. The other route implies introduction of dedusting and absorbent injection before 2003 and NO_x-abatement before 2010. Here an essential citation of the regulation is given:

Package of measures 1) utilisation of an electrostatic filter \ absorbent injection in conjunction with burner measures in accordance with existing technology, followed by measures aimed at controlling NO_x emissions

As soon as possible, and in any case before the year 2003 at the latest, utilisation of an electrostatic filter with absorbent injection in conjunction with improved burner technology. During the subsequent furnace overhaul, and in any case before the year 2010, implementation of measures to limit NO_x emissions. The choice of which measures are to be implemented to limit NO_x emissions will depend on technological developments.

Non-normative indication of the trend in emission factors resulting from package of measure 1:

component	present level		until 2003	until 2010
NO _x (kg/tonne molten glass)	5.0	(- 20 %)	4.0	p.m.
SO ₂ (kg/tonne molten glass)	2.5	(- 60 %)	1.0	1.0

p.m.: The reduction in emissions that can be achieved using measures against NO_x during the period 2003-2010 depends very much on technological developments and will be specified later.

Package of measures 2) utilisation of oxy-fuel technology, followed by measures aimed at SO₂, dust, fluorine and chlorides

As soon as possible, and in any case before the year 2003 at the latest, switch-over to the oxy-fuel process. After 2003, or as soon as possible, and in any case before the year 2010, state-of-the-art control technology, for example an electrostatic filter with absorbent injection, or an equivalent emission-limiting technology, must be implemented.

Non-normative indication of the trend in emission factors resulting from package of measures 2:

component	present level	until 2003		until 2010
NO _x (kg/tonne molten glass)	5	1		1
SO ₂ (kg/tonne molten glass)	2.5	2.5	(- 60 %)	1
dust (kg/tonne molten glass)	0.4	0.3		0.1

The consequence of first implementing the oxy-fuel process as a means of limiting emissions is that the deadline by which the other emissions (particularly lead, HF and HCl) have to fulfil the general requirements and conditions of the Dutch Emission Guidelines must be in line with the implementation schedule of the measures to be introduced in a second phase.

The implementation of the aforementioned measures will - in view of the developments in technology being made - have to be evaluated by the competent authority in more and more detail when the time comes to overhaul the furnaces and/or review the permits. Moreover, situations may arise in individual glass furnaces that enable accelerated and/or combined implementation of measures in the shorter term. Generally speaking, if the results of practical research show that, for example, essential cost factors of the technologies studied deviate from present knowledge (in a positive sense), this will give rise to a re-assessment of the feasibility of combined measures before the year 2003.

The emissions standards in the NeR are not legally binding and the NeR does not replace existing binding agreements. However, if the licensing authority wishes to depart from the NeR, the reasons for doing so must be stated explicitly in the preamble to the licence.

Voluntary agreements

Voluntary agreements or covenants (in Dutch: "Convenanten") are declarations of intent on the implementation of environmental policy for certain industrial sectors. The declarations of intent are agreements between the authorities and the industry. The participation in a covenant gives the advantage for both competent authorities and companies of a more transparent, coherent and predictable path of environmental improvement and investments. The covenants are nowadays applied in three fields:

- General environmental performance on 'traditional' pollutants.
- Energy efficiency
- CO₂ reduction

General environmental performance on 'traditional' pollutants

In the declaration of intent of this voluntary agreement, the authorities have drawn up an Integral Environmental Target Plan (IETP), based on the National Environmental Policy Plan (NEPP), the Memorandum on Water Management, the North Sea Action Plan, The Rhine Action Programme, the Memorandum on Energy Conservation and other official plans at the time of signature.

The Integral Environmental Target Plan is concerned with environmental pollution of the 'traditional' pollutants (SO_x, NO_x, VOC, heavy metals, PAH, etcetera) caused by the relevant industrial sector. The IETP has been drawn up for the years 1994/1995, 2000 and 2010.

Apart from the reduction in emissions into the air, water and soil, the IETP also incorporates policy with regard to energy conservation, water conservation, soil clean up, hazard risk, odour nuisance, noise and internal management systems. However, especially for energy conservation and CO₂ reduction, two other covenants have been agreed upon.

For the "chemical industry", a declaration of intent was signed on 2nd April 1993. A significant factor is the understanding that in view of the wide range of disparate companies in the chemical industry, the contribution of each individual company to the implementation of the IETP in the industry may vary. The responsibility of individual companies to contribute to the implementation of the IETP in the industry requires that these companies take an active stance. The contribution of a company will be defined in Company Environmental Plans ("BMP's"), which are drawn up by each company. These BMP's are renewed every four years and must be agreed upon by the licensing authority.

Energy efficiency: Long-Term Agreements on Energy Efficiency

In the Netherlands, "Long-Term Agreements on Energy Efficiency (MJA's)" have been made between the Ministry of Economic Affairs and representative organisations of many industrial sectors. The most important aspect of the MJA's is the target value for improvement of energy efficiency in the relevant industrial sector within a certain time frame. For the elaboration of the MJA's, bilateral agreements are made between the individual companies and the facilitating agency, which is NOVEM. In the Netherlands, "Long-Term Agreements on Energy Efficiency" (in Dutch: MJA's) have been made between the Ministry of Economic Affairs and representative organisations of many industrial sectors.

The most important aspect of the MJA's is the target value for improvement of energy efficiency in the relevant industrial sector within a certain time frame.

For the collaboration of the MJA's, bilateral agreements are made between the individual companies and the facilitating agency, which is the Dutch Agency for Energy and Environment (in Dutch: NOVEM).

For the glass industry, an MJA was signed on 17 July 1992 and the agreed improvement of energy efficiency was 20 % over the period 1989 - 2000 [78]. The improvement of the energy efficiency was founded by the technological long-range plan 1990 - 2010 of the Dutch glass producing industry [7]. In this plan the following energy saving measures were proposed to be carried out in the period 1990 - 2000:

- batch and cullet preheating;
- raising the cullet percentage in the raw materials;
- new furnace designs with a lower energy consumption;
- burners with a better heat exchange;
- increase of product quality (less production loss);
- light-weight products
- oxy-fuel combustion systems.

It is expected that the agreed 20 % improvement of energy efficiency will lead to extra investments of approximately 45 million EUR₁₉₉₈ in the period 1989 - 2000 [7]. Currently, negotiations are being made for the second generation of long-term agreements on energy efficiency. Both the targets and the scope are not yet fixed and there might also be some glass companies that join the 'benchmarking covenant' (see next item) instead of the long-term agreement.

CO₂ reduction: Benchmarking covenant

In the light of the Kyoto agreements, the Netherlands has to reduce the emission of CO₂. Improvement of the energy efficiency is one of the most important measures to reduce the CO₂ emissions. The Benchmarking covenant is an agreement between the Dutch authorities and the Dutch energy intensive industry. The industry agrees to belong to the world top in energy

efficiency and the authorities will then refrain from impairing additional CO₂ reduction measures. The agreement is open to all companies with an energy use of 0.5 PJ per year or more.

The principle agreement was signed on 6 July 1999 between the industrial organisations and the authorities. Now that the principle agreement has been signed, the agreement is open to individual companies to sign in on the covenant.

For those companies that do not want to join or that have an energy use of < 0.5 PJ per year, the 'traditional' long-term agreements on energy-efficiency route (see above) will be followed [43,44]

11.3. Current legislation – Austria

Emissions to air are regulated by an ordinance (Federal Legal Gazette No. 498/1994) which contains emission limit values for the different processes, fuels and raw materials. Furthermore it states how often monitoring reports have to be provided to the local authorities.

Dust in total: 50mg/Nm³

Therefrom solid and gaseous substances:

Cd: 0.1 mg/Nm³

As: 0.1 mg/Nm³, exception for lead glass: As: 0.5 mg/Nm³

Co, Ni, Se each 1.0 mg/Nm³ but As, Cd, Co, Ni, Se in total 1mg/Nm³

Sb, Pb, Cr, Cu, Mn each 5,0 mg/Nm³, but total metals : 5mg/Nm³

SO₂ : 500 mg/Nm³

HCl: 30 mg/Nm³

HF: 5 mg/Nm³

NO_x when mass emission 2.5 kg/h or more:

1500mg/Nm³ for end fired and cross fired glass tanks with regenerative preheating
or ceramic recuperative preheating

900mg/Nm³ for cross fired glass tanks with other recuperative preheating

800mg/Nm³ for day tanks and

500mg/Nm³ for other melting technologies

- Monitoring of emissions has to comply with VDI Guidelines;
- waste gas volume is restricted to unavoidable waste gas stream;
- Compliance Monitoring for gaseous emissions: Average of three half hour mean values – one measured at operating conditions referring to a maximum of emissions, all measured at regular operating conditions
- Already permitted installations must ensure compliance five years after announcement (coming in force) of the ordinance

Emissions to water: emission limit values as well as monitoring methods are set by a comprehensive ordinance (Federal Legal Gazette No. 888/1995) dealing with the different types of glass products and related processes.

Usually cooling water and process water are kept in separate circuits. Cooling water systems are operated in closed circuits, with a low demand of make-up water. Process water can be recirculated several times and is treated on site (oil separator, sedimentation) before being discharged to the river (running water) or to a municipal waste water treatment plant. There are different emission limits for both cases.

Waste Glass (Post Consumer Cullet)

In Austria the recycling rate of waste glass is about 77-79 %. This means that 200000t of waste glass are recycled in the container glass production.

- The sorting of the post consumer cullet in Austria is done on site.

Preheating of the cullet

In the Austrian plants the cullet is not preheated.

But there are plants in Germany and Switzerland, where cullet or cullet and batch (mixed raw materials) are preheated.

Are there problems with waste in the post consumer cullet?

- Organic wastes in the cullet lead to increasing demand of oxygen in the melting process and to emissions of organic substances to air.
- The separation of ceramics and stones in the waste glass is done automatically by optical methods. The amount of ceramics/stones broken with the cullet and brought into the melting tank depends on the efficiency of these optical inspection devices. This leads to an increasing number of rejected articles. Quality is determined by the number of inclusions per tonne glass.

Are there problems with heavy metals in the waste glass?

With a few exceptions, the limit of 250ppm lead in container glass as laid down in Directive 94/62/EC (concerning packing materials) can be met. The limit of 100 ppm lead in the glass, which will be valid from June 30th 2001 can not be guaranteed with the high recycling quotes of more than 50% as currently achieved in Austrian container glass production.

Emissions and Monitoring

Emissions to air are regulated by an ordinance (Federal Legal Gazette No. 498/1994) which contains emission limit values for the different processes, fuels and raw materials. Furthermore it states how often monitoring reports have to be provided to the local authorities.

Continuous monitoring of the following emissions to air is carried out in some of the glass production plants in Austria: dust, NO_x, SO₂,
Oxygen is also continuously monitored for process regulation.

In addition, Discontinuous monitoring of following parameters is done:
HCl, HF, heavy metals

Emissions to water: emission limit values as well as monitoring methods are set by a comprehensive ordinance (Federal Legal Gazette No. 888/1995) dealing with the different types of glass products and related processes.

Usually cooling water and process water are kept in separate circuits. Cooling water systems are operated in closed circuits, with a low demand of make-up water. Process water can be recirculated several times and is treated on site (oil separator, sedimentation) before being discharged to the river (running water) or to a municipal waste water treatment plant. There are different emission limits for both cases.

Wastes: filter dust, regenerator dust, oil separator waste, waste from refractories

Electric furnaces

In Austria there are currently three tanks with an electric furnace.

Capacity of the tanks: 2 tanks with about 20 - 30 tonnes per day
 1 tank with about 75 tonnes per day

Products: lead glass (domestic glass, table ware)
glass wool
special glass for automobil industry

Providers of electric furnaces for glass melting tanks (companies' names):
Sorg, Grob, Horn

Reasons for the use of electric furnaces given by the operators:

- tank geometry,
- feeding of the glass-batch (cold top / cold crown),
- ratio: electricity consumption/price,
- specific energy consumption,
- air emissions (NO_x emissions)

NO_x Emission Values

Emission Limit Value for regenerative or ceramic recuperative horseshoe fired and cross fired glass tanks in Austria: 1500mg/Nm³, (8% O₂) as laid down in the Federal Legal Gazette No. 498/1994:

emission value for regenerative horseshoe fired, glass tanks applying only primary reduction measures: 900 – 1100 mg NO_x/Nm³ (discontinuous monitoring);

emission value for regenerative horseshoe fired glass tanks applying only primary reductions measures: 1100 – 1300 mg NO_x/Nm³ (continuous monitoring);
a pilot test for further reduction of NO_x emissions by applying “staged combustion” is planned by the operator

NO_x emissions from electric furnaces: 15 mg/Nm³ #)

NO_x emissions from electric furnaces using sodium nitrate as a refining agent:
(lead glass): 240 mg/Nm³ #)

average of several (minimum 3) half hourly mean values, discontinuous monitoring.

11.4. Legislation and regulation in Finland

There is no specified regulation concerning glass manufacturing in Finland.

The environmental permits are based on case-by-case consideration. A starting point for determining permit conditions are the local circumstances such as geographical location and the local environmental conditions.

The environmental legislation is composed of a number of individual acts. A new Environmental Protection Act is currently under preparation and will combine the environmental acts according to the requirements of the Council Directive 96/61/EC of September 1996 concerning integrated pollution prevention and control. The new act will be valid since 1.3.2000.

Presently, the integrated approach is included in the two separate permit procedures: the environmental permit procedure according to the Environmental Permit Procedure Act (735/1991) and Decree (772/1992) and the water discharge permit procedure according to the Water Act (264/1961) and Decree (282/1962).

Already at the moment The Environmental Permit Procedures Act combines the permit procedures of the Air Pollution Control Act and Decree, the Waste Act and Decree, the Health Protection Act and Decree and the Adjoining Properties Act. An application for permit including the documents and emissions are public and the persons and organisations affected by the project have a right to comment on them.

HELCOM Recommendation 14/3, 1993 (The Baltic Sea Area Commission, Helsinki Convention) is used when writing the environmental permits. Some environmental permits to glass manufacturer are made before HELCOM Recommendation came in force. Mostly the permits for the glass industry are rather old and they will be reconsidered along with the new Environmental protection act. Emission limits used in permits are:

Glass furnaces

Dust	50 mg/Nm ³
NOx	2.5-4 kg/tonne

Downstream Processing in Mineral Wool

Phenol	0.7 kg/tonne
Fomaldehyde	015 kg/tonne
Ammonia	1.5 kg/tonne

In all environmental permits the obligatory monitoring is included. Generally the regular measurement concerning all the emissions are obliged to do every one or three years. In addition the installations are obliged:

- to minimize the hazards to human health and to the environment from toxic, persistent and bioaccumulative substances.
- to substitute hazardous substances as far as possible
- to minimize the amount of waste and recycle the waste as much as possible
- to recirculate the process waters if possible
- to keep registers of the emissions and waste
- to report about the emissions and waste to the competent authority every year.

11.5. French legislative and regulatory framework

The French legislative framework is based on the 9 July 1976 act, called the act on registered installations for environment protection, and its two application decrees.

The decree of 21 September 1977 specifies the procedure which has to be followed to obtain an operation permit.

The second decree indicates the type of installations or plants needing a permit.

It depends on the sector and the activity level.

This text defines also if a site-specific permit (authorisation procedure) or a general procedure (declaration procedure) is required.

Some activities do not need any authorisation because of a negligible environmental impact.

The site-specific permit is delivered by the local authorities (the prefect of the department where the plant is located) after a public inquiry.

The permit which defines operating conditions, emission limit values and monitoring requirements takes into account:

- national regulations issued for a specific activity or a group of sectors,
- the local environmental impact of the plant.

The site-specific permit, elaborated by an integrated approach, can only be more stringent than the national regulations.

For the glass industry, a national regulation issued in 1993. The ordinance of the 14 may 1993 applies to the plants having a production capacity of more than 5 t/day for sodalime glass and 0.5 t/day for special glasses. These plants need also a specific permit.

The ordinance of the 14 may 1993 is joined in annex 1 and the main requirements for air pollution control are given below.

One of the two emission limit values expressed in concentration (mg/Nm^3 of dry gases with an oxygen content of 8 %) or in mass per tonne of glass produced (kg/tv) has to be respected.

Dust (for glass production capacity higher than 50 tonnes per day)

- 0.2 kg/tv or $50 \text{ mg}/\text{Nm}^3$
- 0.35 kg/tv or $50 \text{ mg}/\text{Nm}^3$ for special glasses

SO_x (in SO₂)

Non-oxidized glasses:

- 1 kg/tv or $500 \text{ mg}/\text{Nm}^3$ for gas firing
- 3 kg/tv or $1500 \text{ mg}/\text{Nm}^3$ for liquid fuel firing

Oxidized glass

- 1.5 kg/tv or $750 \text{ mg}/\text{Nm}^3$ for gas firing
- 3.6 kg/tv or $1800 \text{ mg}/\text{Nm}^3$ for liquid fuel firing
- 0.5 kg/tv or $250 \text{ mg}/\text{Nm}^3$ for electric furnaces

NO_x (in NO₂):

- Regenerative furnaces:

End fired furnaces

- 3 kg/tv or $1500 \text{ mg}/\text{Nm}^3$ for gas firing
- 2.6 kg/tv or $1300 \text{ mg}/\text{Nm}^3$ for liquid fuel firing

Cross fired furnaces

- 4 kg/tv or $2000 \text{ mg}/\text{Nm}^3$ for gas firing
- 3 kg/tv or $1500 \text{ mg}/\text{Nm}^3$ for liquid fuel firing

- Recuperative furnaces:

- 2.7 kg/tv or $900 \text{ mg}/\text{Nm}^3$ for gas firing
- 2.1 kg/tv or $700 \text{ mg}/\text{Nm}^3$ for liquid fuel firing

- Electric furnaces:

- 1 kg/tv or $500 \text{ mg}/\text{Nm}^3$

For special glasses and glasses oxidized by nitrate compounds NO_x emission limit values are doubled.

The application of these emission limit values are scheduled as indicated below.

New installations		Date of installation
Capacity extension over 25%		Date of extension
Increase of emissions over 10%		Date of emission increase
Old installations	SOx	9 July 1998
	NOx	9 July 2001
	Dust	9 July 2003

The 14 May 1993 ordinance also stipulates requirements concerning heavy metals, HCl HF ... and water pollution, noise...

This text has an integrated approach to prevent and control glass industry pollution. This ordinance was modified in 1996.

If a furnace can respect the following NOx emission limit values:

- Recuperative furnaces: 1 kg/tv or 500 mg/Nm³,
- Regenerative furnaces:
 - End-fired furnaces: 1.5 kg/tv or 700 mg/ Nm³
 - Cross-fired furnaces: 2 kg/tv or 1100 mg/ Nm³

the dust emission limit values permitted are 0.35 kg/tv or 150 mg/ Nm³ until 2004.

A tax on atmospheric pollution completes this legislative and regulatory framework.

The first air pollution tax was created in 1985, for a 5 year period. At first, it only concerned sulphur oxides. Then it was renewed twice, once in 1990 and then again in 1995.

Only the installations submitted to an authorization procedure are -concerned by the tax.

The sources presently taxed are:

- combustion installations of more than 20 MW,
- municipal solid waste incinerators of more than 3 t/h,
- other types of registered installations emitting more than 150 t/year of SO₂ (or H₂S expressed as SO₂), NOx, counted in equivalent NO₂ equivalent, HCl or non methanic VOCs.

The present tax rate is 180 FF/tonne of SO₂, H₂S (expressed as SO₂), HCl, NOx (as NO₂), N₂O and VOCs. Since January 1st 1998, the rates for NOx and VOCs have been raised to 250 FF/tonne.

The tax revenue is about 250 MFF/year

The tax on atmospheric pollution is a redistribution tax.

- 60%, at least of the collected funds are used to subsidize the installation of prevention or treatment equipment.

Only those industries concerned by the above criteria are eligible for these subsidies. They are required either to reach emissions far below national or EU ELV'S or to carry out modifications significantly before the date of enforcement of national or EU ELV'S. The rate of the subsidy depends on the efficiency and the innovation of the techniques.

The amount of collected funds, which are not redistributed for the prevention of atmospheric pollution (a maximum of 40 % of the collected money) can be used in order to:

- support applied research and development initiatives in the field of measurement or abatement techniques (prevention or treatment),
- finance the air quality monitoring networks (equipment and operating costs),
- carry out technical or economic studies related to emission. inventories, development strategies, ...

The tax rate is not high enough to be incitative (it is generally less costly to pay for the tax than to install an efficient abatement technique). However, due to the rather high rate of subsidies allowed (particularly in the past) this redistribution tax system has proved to be an efficient and flexible tool, as a complement to the regulations encouraging the installation of the best available technologies.

11.6. Italian legislation

The legislation in force is based on Environment Ministry Decree of July 12, 1990, concerning existing plants.

General emission limit values, applied to most industrial sectors:

For carcinogenic substances:

Substances of Class 1: normally not present in the glass industry.
If mass flow ≥ 0.5 g/h the emission limit is 0.1 mg/m^3 .

Substances of Class 2: Arsenic, Chromium (VI), Cobalt, Nickel, etc.
If mass flow ≥ 5 g/h the emission limit is 1 mg/m^3 .

Substances of Class 3: normally not present in the glass industry.
If mass flow ≥ 25 g/h the emission limit is 5 mg/m^3 .

For inorganic substances in particulate form:

Substances of Class 1: Cadmium, mercury, etc.
If mass flow ≥ 1 g/h the emission limit is 0.2 mg/m^3 .

Substances of Class 2: Selenium, etc.
If mass flow ≥ 5 g/h the emission limit is 1 mg/m^3 .

Substances of Class 3: Antimony, Chromium (III), Lead Quartz, Copper, Tin, Vanadium.
If mass flow ≥ 25 g/h the emission limit is 5 mg/m^3 .

For inorganic substances in the gaseous form

Substances of Class 1: normally not present in the glass industry
If mass flow ≥ 10 g/h the emission limit is 1 mg/m^3 .

Substances of Class 2: Fluorides as HF, etc.
If mass flow ≥ 50 g/h the emission limit is 5 mg/m^3 .

Substances of Class 3: Chlorides as HCl, etc.
If mass flow ≥ 0.3 Kg/h the emission limit is 30 mg/m^3 .

Substances of Class 4: Ammonia.
If mass flow ≥ 2 Kg/h the emission limit is 250 mg/m^3 .

Substances of Class 5: Nitrogen oxides as NO₂; Sulphur oxides as SO₂
 If mass flow ≥ 5 Kg/h the emission limit is 500 mg/m³.

For organic substances in gaseous and particulate form

Substances of Class 1: methylacrilate, Isocyanate, etc.
 If mass flow ≥ 25 g/h the emission limit is 5 mg/m³.

Substances of Class 2: Phenols, Formaldehyde, etc
 If mass flow ≥ 0.1 Kg/h the emission limit is 20 mg/m³.

Substances of Class 3: Iso butyl alcohol, etc.
 If mass flow ≥ 2 Kg/h the emission limit is 150 mg/m³.

Substances ≥ 3 Kg/h the emission limit is 300 mg/m³.

Substances of Class 5: Acetone, etc.
 If mass flow ≥ 4 Kg/h the emission limit is 600 mg/m³.

Dust

If mass flow ≥ 0.5 Kg/h the emission limit is 50 mg/m³.
 If mass flow ≥ 0.1 Kg/h and < 0.5 Kg/h, the emission limit is 150 mg/m³.

Specific emission limit values, applied to furnaces for the production of glass

Nitrogen Oxides as NO₂

	Fuel oil mg/m ³	Natural gas mg/m ³
Pot furnaces	1200	1200
Continuous tanks with recuperative heat recovery	1200	1400
Day tanks	1600	1600
Regenerative furnaces, end fired (U-flame)	1800	2200
Regenerative furnaces, cross fired	3000	3500

The use of nitrates in the batch, due to quality reasons, allows to double the limit value.

Sulphur Oxides as SO₂

Day tanks and pot furnaces 1100 mg/m³

Continuos glass tanks 1800 mg/m³

Total dust

If pull ≥ 250 t/day, the emission limit is 80 - 100 mg/m³

If pull < 250 t/day and mass flow ≥ 0.1 Kg/h, the emission limit is 150 mg/m³

For glass fiber, continuous filament, borosilicate tube the emission limit is 350 mg/m³.

The values are referred to dry gas volumes, at 8 % oxygen for continuous glass tanks at 13 % oxygen for discontinuous furnaces

Note: The emission limit values are applied for existing plants.

Normally, a furnace running at emission levels lower than the official limits, is required to maintain those values. For specific areas and/or reasons, lower values may be applied.

For new plants, regional authorities can decide to use the same limits (quite rare) or, normally, stricter limits are applied, based on the “best available technologies”.

11.7. STANDARD EMISSION LIMITS FOR GLASS INDUSTRY IN WALLOON REGION OF BELGIUM (VOLUNTARY AGREEMENT)

		Container and Flat Glass Capacity ≥ 5 t/day				Glass Fibre and Special Glass					
		Capacity ≥ 5 t/day		Capacity ≥ 50 t/day		Capacity ≥ 50 t/day		0.5 t/day < Capacity < 50 t/day			
DUST		5 \leq --- \leq 50 t/day		> 50 t/day		50		5 < ----> 10 t/day < ----> 50			
		mg/Nm ³		50		50					
		kg/t. melt		0.2		0.35		14 < ----> 1.1 < ----> 0.35			
SO _x											
Sulphates = 0		Fuel	Gas			Fuel	Gas	Fuel	Gas		
		g/Nm ³				1.5 0.5		1.5 0.5			
		kg/t. melt				3 1		3 1			
Sulphates > 0		Fuel	Gas		Elect	Fuel	Gas	Elect.	Fuel	Gas	Elect.
		g/Nm ³			0.25	1.8 0.75		0.25	1.8 0.75		0.25
		kg/t. melt			0.5	3.6 1.5		0.5	3.6 1.5		0.5
NO _x		CF	EF	R	E			R			
Nitrates = 0		Fuel/Gas	Fuel/Gas	Fuel/Gas				Fuel/Gas			
(*)		g/Nm ³		1.5/2.0 1.3/1.5 0.7/0.9		0.5		0.7/0.9		0.7/0.9	
(*)		kg/t. melt		3.0/4.0 2.6/3.0 2.1/2.7		1		2.1/2.7		2.1/2.7	
Nitrates > 0		Fuel/Gas	Fuel/Gas	Fuel/Gas				Fuel/Gas			
(**)		g/Nm ³		3.0/4.0 2.6/3.0 1.4/1.8		1.0		1.4/1.8		1.4/1.8	
(**)		kg/t. melt		6.0/8.0 5.2/6.0 4.2/5.4		2		4.2/5.4		4.2/5.4	
HCl (***)		mg/Nm ³		50/100		50/100		50/100		50/100	
		kg/t. melt		0.175/0.350		0.175/0.350		0.175/0.350		0.175/0.350	
HF (***)		mg/Nm ³		5.0/2.0		5.0/2.0		5.0/2.0		5.0/2.0	
		kg/t. melt		0.035/0.14		0.035/0.14		0.035/0.14		0.035/0.14	
		mg/Nm ³		50		50		50		50	
NH ₃ (****)		mg/Nm ³		kg/t. melt		mg/Nm ³		kg/t. melt		mg/Nm ³	
HEAVY METALS (*****)						0.2		0.0014		0.2 0.0014	
Cd						1		0.007		1 0.007	
As _{soil} , Co, Ni, Se, Cr ⁶⁺						3		0.021		3 0.021	
Sb						5		0.035		5 0.035	
As _{gas} , Cr _{tot} , Pb, V											
(Cr ⁶⁺ +Pb+Cd+Sb+Ni+Co+Se+V)		≤ 5		≤ 0.035		≤ 5		≤ 0.035		≤ 5 ≤ 0.035	
(Cr _{tot} +Pb+Cd+Sb+Ni+Co+Se+V)											

< --->: Lin. interpolation; CF=Cross-Fired furnaces; EF=End-Fired furnaces (Regenerative); R=Unit Melter, pot furnaces (Recuperative); E=Electrical Melters.

Emission limit values: at 20.8 % O₂ (electrical melters), 13 % O₂ (pot furnaces) or 8 % O₂ (others), to be complied with either (mg or g)/Nm³ or kg/t.melt.

(*) Not for Glass Fibre.

(**) For Glass Fibre only, use yyy in xxx/yyy

(***) Raw materials without Cl or F / with Cl or F.

(****) For denitrification.

(*****) Container and Flat Glass > 50 t/day using fuel, with recycling > 80 wt% raw materials, (Sum elements) ≤ 10 mg/Nm³ or 0.07 kg/t.melt.

GLOSSARY

Abbreviations			
ac.pol.	acid polishing/polished	IPPC	Integrated Pollution Prevention and Control
BAT	Best Available Techniques	IS	Individual Section
BOD	Biological Oxygen Demand	NL	Netherlands
COD	Chemical Oxygen Demand	RCF	Refractory Ceramic Fibre
CPIV	Comité Permanent des Industries du Verre	SCR	Selective Catalytic Reduction
CRF	Chemical Reduction by Fuel	SNCR	Selective Non Catalytic Reduction
CRT	Cathode Ray Tube	tpd	tonnes per day
CVD	Chemical Vapour Deposition	TV	Television
EC	European Commission	UK	United Kingdom
EP	Electrostatic Precipitator	USA	United States of America
EU	European Union	VOC	Volatile Organic Compound(s)
EURIMA	European Insulation Manufacturers Association	WEP	Wet Electrostatic Precipitator

Elements			
Ag	Silver	Li	Lithium
Al	Aluminium	Mg	Magnesium
Ar	Argon	Mn	Manganese
As	Arsenic	Mo	Molybdenum
B	Boron	N	Nitrogen
Ba	Barium	Na	Sodium
Be	Beryllium	Ni	Nickel
Bi	Bismuth	O	Oxygen
C	Carbon	P	Phosphorus
Ca	Calcium	Pb	Lead
Cd	Cadmium	Pd	Palladium
Ce	Cerium	Pt	Platinum
Cl	Chlorine	S	Sulphur
Co	Cobalt	Sb	Antimony
Cr	Chromium	Se	Selenium
Cs	Cesium	Si	Silicon
Cu	Copper	Sn	Tin
F	Fluorine	Sr	Strontium
Fe	Iron	Ti	Titanium
H	Hydrogen	V	Vanadium
Hg	Mercury	W	Tungsten (Wolfram)
K	Potassium	Zn	Zinc
		Zr	Zirconium

Chemical formula commonly used in the document			
Al ₂ O ₃	Aluminium oxide, alumina	MgCO ₃	Magnesium carbonate
B ₂ O ₃	Boron trioxide,	MgO	Magnesium oxide, magnesia
CaCO ₃	Calcium carbonate, limestone	N ₂	Molecular nitrogen
CaF ₂	Calcium fluoride, fluorspar	Na ₂ CO ₃	Sodium carbonate, soda ash
CaO	Calcium oxide, lime	Na ₂ O	Sodium monoxide
Ca(OH) ₂	Calcium hydroxide, slaked lime	Na ₂ SO ₄	Sodium sulphate,
CaSO ₄	Calcium sulphate	N ₂ O	Nitrous oxide
CO	Carbon monoxide	NO	Nitric oxide
CO ₂	Carbon dioxide	NO ₂	Nitrogen dioxide
Fe ₂ O ₃	Iron oxide, ferric oxide	NO _x	Oxides of nitrogen (NO and NO ₂ only)
HCl	Hydrogen chloride	PbO	Lead oxide, yellow lead, litharge
HF	Hydrogen fluoride	Pb ₃ O ₄	Lead oxide, red lead, minium, lead tetroxide
H ₂ S	Hydrogen sulphide	SiO ₂	Silicon dioxide
H ₂ SiF ₆	Hexafluorosilicic acid	SO ₂	Sulphur dioxide
H ₂ SO ₄	Sulphuric acid	SO ₃	Sulphur trioxide
K ₂ CO ₃	Potassium carbonate, potash	SO _x	Oxides of sulphur (SO ₂ and SO ₃)
K ₂ O	Potassium oxide		

Units			
euro	Currency unit of EU (participating Member States)	kWh	kilowatt hour
kPa	kiloPascal	J	Joule
°C	Degree centigrade/Celsius	GJ	Gigajoule
g	gram	s	second
kg	kilogram	h	hour
t	metric tonne (1000kg)	d	day
mm	millimetre	y	year
cm	centimetre	t/d	tonnes per day
m	metre	t/y	tonnes per year
m ²	square metre		
m ³	cubic metre		
Nm ³	m ³ at 273K, 101.3kPa, dry		

Prefixes			
η	nano 10 ⁻⁹	M	mega 10 ⁶
μ	micro 10 ⁻⁶	G	giga 10 ⁹
m	milli 10 ⁻³	T	tera 10 ¹²
c	centi 10 ⁻²	P	peta 10 ¹⁵
k	kilo 10 ³		

REFERENCES

[96/61/EC]

Directive 96/61/EC concerning integrated pollution prevention and control (10/10/96)

[tm1, UKDoE]

Pollution Control at Large Glass Works, UK Department of the Environment, Environmental Resources Limited, March 1991, gls/tm/1.

[tm2 3R]

3R Process, NO_x Control Technology from Pilkington, Pilkington company publication, September 1994, gls/tm/2.

[tm3 NO_xEPA]

Alternative Control Techniques Document – NO_x Emissions from Glass Manufacturing, United States Environmental Protection Agency, June 1994, gls/tm/3.

[tm4 VDI88]

Verein Deutscher Ingenieure Guidelines (VDI 2578) Emission Control Glassworks, 1988.

[tm5 EEO]

Energy Efficient Environmental Control in the Glass Industry, Good Practice Guide 127, UK Energy Efficiency Office, 1995, gls/tm/5.

[tm6 NO_x Ind.duVerre]

Reduction des Emissions d'Oxydes d'Azote dans L'Industrie du Verre, Comité de Suivi du Verre, Arrêté du 14 mai 1993, July 1996, gls/tm/6.

[tm7 HMIP]

Technical and Economic Review of Technique to Control Emissions from Non-asbestos mineral fibres and Frit Manufacturing Processes, Environment Agency (England and Wales), August 1996, gls/tm/7.

[tm8, S2 3.03]

IPC Guidance Note S2 3.03, Manufacture of glass fibres, other non-asbestos mineral fibres, glass frit, enamel frit and associated processes, Environment Agency, HMSO, September 1996, ISBN 0-11-310121-X, gls/tm/8.

[tm9 BATNEEC4.3]

BATNEEC Guidance Note – Glass Production (Draft), Irish Environmental Protection Agency, 1996, gls/tm/9.

[tm10 BATNEEC4.2]

BATNEEC Guidance Note – Manufacture of Glass Fibre or Mineral Fibre (Draft), Irish Environmental Protection Agency, 1996, gls/tm/10.

[tm11 SO_x]

Prévention et traitement des émissions d'oxydes de soufre, Actes du Colloque, Colloque National, 4 et 5 Dé1997, Le Havre, gls/tm/11.

[tm12 desulf]

Les techniques de desulfuration des procedes industriels (Draft Version) 1998, gls/tm/12.

References

[tm13 Ademe NOx]

Comment réduire les émissions d'oxydes d'azote d'origine industrielle?, Recueil des conférences des journées techniques organisées à Angers les 25 et 26 septembre 1996, Ademe, gls/tm/13.

[tm14 ETSU]

Energy Technology in the Glass Industry Sector (Thermie), ETSU, AEA Environment and Energy, March 1992.

[tm15 Italy]

Reference Document for the Application of IPPC 96/61/EC to the Italian Glass Industry, Edited B Scalet, Stazione Sperimentale del Vetro, January 1998.

[tm16 USEPA]

EPA Office of Compliance Sector Notebook Project, Profile of the Stone, Clay, Glass, and Concrete Products Industry, US Environmental Protection Agency, September 1995, gls/tm/16.

[tm17 Ercole]

Oxycombustion: The Problems and Perspectives for Development of its Use in Glass Containers Production, P Ercole, Paper presented at US Ceramic Society congress on glass, San Francisco, July 1998, gls/tm17.

[tm18 CPIV]

CPIV BAT Reference Document for the European Glass Industry, January 1998
Comité Permanent des Industries du Verre, gls/tm/18 Including supplements

[tm19 5yrsLoNOx]

Five years of operational experience with the SORG LoNOx Melter, Ehrig, Wiegand and Neubauer, Glastech. Ber. Glass Sci. Technol. 68 (1995) No2, gls/tm/19.

[tm20 SORG]

Optimierung einer großen Glasschmelzwanne durch Primärmaßnahmen, um eine emissionsarme und energiesparende Betriebsweise zu ermöglichen, Niklaus Sorg GmbH & Co, 1997, gls/tm/20.

[tm21, Schott]

Schott Guide to Glass second Edition, Ed HG Pfaender, Chapman & Hall, 1996
ISBN 0-412-71960-6. gls/tm21.

[tm22 BOC]

Environmental Technologies for Glass, A Guide to Green Glass Manufacturing, Lehman and Umeza, BOC Gases, 1996, gls/tm/22.

[tm23 SCRPLM]

First practical experiences with an SCR deNOx facility in a container glassworks, Schmalhorst and Ernas, Glastech. Ber. Glass Sci. Technol. 68 (1995) No5, gls/tm/23.

[tm24 FENIX]

Saint-Gobain Vitrage Réduit les Rejets de NOx du Float D'Aniche à près de 500 mg/Nm³ par des Mesures Primaires, Brulin, Delacroix, Laffont and Tackels, L'Industrie Céramic & Verrière-No938-6-7/98, 1998, gls/tm/24.

[tm25 Special]

Reference Document of the European Special Glass Industry for the implementation of Directive 96/61/EC, Comité Permanent des Industries du Verre, May 98, gls/tm/25. Including supplements.

[tm26, EURIMA]

EURIMA BAT Reference note on insulation wool production, October 1998
European Insulation Manufacturers Association, gls/tm/26. Including supplements

[tm27, Domestic]

Reference Document of the European Tableware and Domestic Glass Industry for the implementation of Directive 96/61/EC, Comité Permanent des Industries du Verre (European Domestic Glass Sector), April 98, gls/tm/27. Including supplements.

[tm28, EMPA]

Life Cycle Inventories for the Production of Sodium Silicates, EMPA, Bericht Nr. 241, M Fowler, 1997.

[tm29, Infomil]

Dutch Notes on BAT for the Glass and Mineral Wool Industry, Infomil for Dutch Ministry of Environment (Directorate for Air and Energy), December 1998.

[tm30 Dust]

An examination of the low environmental impact of dust emitted by soda-lime glass furnaces, CPIV, 1998, gls/tm/30.

[tm31 69/493/EEC]

Council Directive 69/493/EEC on the approximation of laws of the Member States relating to crystal glass, 1969, Official Journal of the European Communities, gls/tm/31.

[tm32 Beerkens]

Abatement of glass furnace emissions techniques, performance, costs and possible combinations of abatement techniques, RGC Beerkens, February 1999, gls/tm/32.

[tm33 1^0 NO_x]

Primary measures for the NO_x reduction on glass melting furnaces, Sieger, Glastech. Ber. 62 (1989) Nr.5, gls/tm/33.

[tm34 SCRCG]

Experience with an SCR DeNO_x plant for container glass furnaces, Schmalhorst, Ernas and Jeschke, Glastech. Ber. Glass Sci. Technol. 70 (1997) No11, gls/tm/34.

[tm35 SNCR]

Noncatalytic removal of nitrogen in a recuperative container glass furnace, Pabst, Glastech. Ber. Glass Sci. Technol. 67 (1994) No.3, gls/tm/35.

[tm36 FENIXpat.]

Patent publication number WO 98/02386, Method and Device for Reducing NO_x Emission in a Glass Furnace, Saint-Gobain Vitrage, 1998, gls/tm/36.

[tm37 3Rpat.]

Patent publication number 0 599 548 A1, Pilkington Glass Limited, gls/tm/37.

[tm38 3Rpat.b]

Patent publication number 0 599 547 A1, Pilkington Glass Limited, gls/tm/38.

[tm39 3Rupdate]

Pilkington 3R Technology: An Update, Shulver and Quirk, Ceram. Eng. Sci. Proc. 18 [1] (1997), gls/tm/39.

References

[tm40 ECFIA]

ECFIA Information Report on Environmental Performances of RCF Manufacturing Plants in Europe, ECFIA, December 1998, gls/tm/40.

[tm41 VDI 2578]

Verein Deutscher Ingenieure Guidelines (VDI 2578) Emission Control Glassworks (DRAFT), November 1997.

[tm42 filterdust]

Recycling of cullet and filter dust in the German glass industry, Schaeffer, Glastechn. Ber. Glass Sci. Technol. 69 (1996) No. 4, gls/tm/42.

[tm43 SORGecon]

Comparison of ecological and economic aspects of a modern regenerative end-fired furnace and the second generation Sorg LoNO_x Melter, Pieper, Platzer and Becher, Glastechn. Ber. Glass Sci. Technol. 68 (1995) No. 7, gls/tm/43.

[tm44 Frits]

Ceramic Decorating Materials-Aspects of Product Stewardship, ANFFECC / CERAMICOLOR / EPSOM / VdMi, 1998, gls/tm/44.

[tm45 Illy]

Processes for heat recovery and energy savings in oxy-fired glass furnaces: a technology survey, Illy, Borders, Joshi, Zucchelli, Jurcik, International Glass Journal (1998) – No 96, gls/tm/45.

[tm46 ANFFECC]

Reference Document of the Spanish Frits Industry for the Implementation of the Directiva IPPC 96/61/EC, February 1999, gls/tm/46.

[tm47 BAT France]

BAT Reference document submitted to the EIPPC Bureau, French Ministry of Environment, February 1998, gls/tm/47.

[tm48 ADEME SO_x]

Les techniques de désulfuration des procédés industriels, ADEME, 1999, gls/tm/48.

[tm50 HMIP Frit]

Pollution Control at Glass and Enamel Frit Plants, HMIP, September 1991, gls/tm/50.

[tm51 UBA]

Stand der Technik bei der glasherstellung, Umweltbundesamt - Austria, 1999, gls/tm/51.

[tm52 Karlsruhe]

Emission Control at stationary Sources in the Federal Republic of Germany Vol I +II – NO_x, SO_x and heavy metals, FGIER University of Karlsruhe (TH), August 1996, gls/tm/52.

[tm53 Gas Reburning]

Application of Gas Reburning Technology to Glass Furnaces for NO_x Emissions Control, Moyeda Energy and Environmental Research Corporation, Irvine California, gls/tm/53.

[tm54 Gas Reburning2]

Glass Furnace NO_x Control with Gas Reburn, Koppang and Moyeda, Energy and Environmental Research Corporation, Irvine California, gls/tm/54.

[tm55 Field Test]

Glass Furnace NO_x Control with Gas Reburn The Field Test (draft article), Koppang, Marquez and Moyeda, Energy and Environmental Research Corporation, Irvine California, gls/tm/55.

[tm56 GazdeFrance]

Le Reburning: un bon moyen de réduction des émissions d'oxydes d'azote dans les fours de fusion de verre, Project Reburning Gaz, Gaz de France, December 1996, gls/tm/56.

[CPIV stats]

CPIV statistics presented to European Commission Joint Meeting May 1998, Comité Permanent des Industries du Verre.

[EURIMA stats]

EURIMA Statistics report provided to European IPPC Bureau May 1998
European Insulation Manufacturers Association

[SORG Flex]

SORG Brochure on Flex Melter – “Discontinuous Production Constant Quality”, Nikolaus SORG GmbH & Co KG.

[SORG LoNOx]

SORG Brochure on LoNOx Melter, Nikolaus SORG GmbH & Co KG.

[ANFFECC]

BREF Support Document for the Spanish Frits Industry (Draft1), ANFFECC, October 1998.