

**Merkblatt über die Besten Verfügbaren Techniken  
in der**

**Keramikindustrie**

**August 2007**

**mit ausgewählten Kapiteln in deutscher Übersetzung**

**Umweltbundesamt**  
**(German Federal Environmental Agency)**  
National Focal Point - IPPC  
Wörlitzer Platz 1  
D-06844 Dessau-Rosslau  
Tel.: +49 (0)340 2103-0  
Fax: + 49 (0)340 2103-2285  
E-Mail: [nfp-ippc@uba.de](mailto: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 BVT-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 „Keramikindustrie“, 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 deutsche Fassung der „Zusammenfassung“ basiert auf der offiziellen Übersetzung des Sprachendienstes der Europäischen Kommission. Bei der eingehenden Revision des Textes im Zuge der Übersetzungsarbeiten ins Deutsche wurden jedoch einige Übersetzungsfehler entdeckt und korrigiert. Dabei wurden keine inhaltlichen Änderungen des Originaltextes vorgenommen. Es handelt sich vielmehr um eine sprachliche Bereinigung der Übersetzung ins Deutsche. Die aktualisierte deutsche Fassung ist zwischen Deutschland, Luxemburg und Österreich abgestimmt und wurde der Europäischen Kommission vorgelegt, mit der Bitte die Änderungen in die offizielle Fassung zu übernehmen.

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:

**Maja Bernicke**  
Sebastian-Bach-Str. 15  
06844 Dessau-Rosslau  
Telefon: +49-340-6614014  
E-Mail: [maja.bernicke@web.de](mailto:maja.bernicke@web.de)

**Sebastian Plickert**  
Lychener Str. 48  
10437 Berlin  
Tel.: +49-30-44055242  
E-Mail: [se\\_plick@freenet.de](mailto:se_plick@freenet.de)

Dieses Dokument ist Teil einer Serie von Dokumenten, die wie folgt geplant ist (zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Dokuments waren noch nicht alle Dokumente fertiggestellt):

<b>Merkblatt über die Besten Verfügbaren Techniken in ... (Titel in englischer Originalfassung)</b>	<b>Kürzel</b>
Large Combustion Plants	LCP
Mineral Oil and Gas Refineries	REF
Production of Iron and Steel	I&S
Ferrous Metals Processing Industry	FMP
Non Ferrous Metals Industries	NFM
Smitheries and Foundries Industry	SF
Surface Treatment of Metals and Plastics	STM
Cement and Lime Manufacturing Industries	CL
Glass Manufacturing Industry	GLS
<i>Ceramic Manufacturing Industry</i>	<i>CER</i>
Large Volume Organic Chemical Industry	LVOC
Manufacture of Organic Fine Chemicals	OFC
Production of Polymers	POL
Chlor – Alkali Manufacturing Industry	CAK
Large Volume Inorganic Chemicals - Ammonia, Acids and Fertilisers Industries	LVIC-AAF
Large Volume Inorganic Chemicals - Solid and Others industry	LVIC-S
Production of Speciality Inorganic Chemicals	SIC
Common Waste Water and Waste Gas Treatment/Management Systems in the Chemical Sector	CWW
Waste Treatments Industries	WT
Waste Incineration	WI
Management of Tailings and Waste-Rock in Mining Activities	MTWR
Pulp and Paper Industry	PP
Textiles Industry	TXT
Tanning of Hides and Skins	TAN
Slaughterhouses and Animals By-products Industries	SA
Food, Drink and Milk Industries	FDM
Intensive Rearing of Poultry and Pigs	ILF
Surface Treatment Using Organic Solvents	STS
Industrial Cooling Systems	CV
Emissions from Storage	ESB
General Principles of Monitoring	MON
Economics and Cross-Media Effects	ECM
Energy Efficiency Techniques	ENE

Elektronische Fassungen der Entwürfe und der fertiggestellten Dokumente sind öffentlich und können unter <http://eippcb.jrc.es> (Anm. der Übersetzer: unter <http://www.bvt.umweltbundesamt.de/kurzue.htm> zusätzlich auch in deutscher Teilübersetzung, soweit vorhanden) heruntergeladen werden.

## ZUSAMMENFASSUNG

Das vorliegende BVT-Merkblatt über die besten verfügbaren Techniken in der Keramikindustrie beruht auf einem Informationsaustausch nach Artikel 16 Absatz 2 der Richtlinie 96/61/EG des Rates (IVU-Richtlinie). Diese Zusammenfassung enthält die wichtigsten Ergebnisse, eine Zusammenfassung der wichtigsten BVT-Schlussfolgerungen und die mit der Anwendung von BVT verbundenen Verbrauchs- und Emissionswerte. Diese Zusammenfassung ist in Verbindung mit dem Vorwort zu lesen, das die Zielsetzungen des Dokuments beschreibt, Hinweise zu seiner Verwendung gibt und den rechtlichen Rahmen erläutert. Die Zusammenfassung kann als Einzeldokument gelesen werden, dem Charakter einer Zusammenfassung entsprechend sind jedoch nicht alle Aspekte des gesamten BVT-Merkblattes enthalten. Im Prozess der BVT-Entscheidungsfindung ist diese Zusammenfassung daher nicht als Ersatz für den vollen Wortlaut des BVT-Merkblattes anzusehen und sollte für ein richtiges Verständnis unbedingt in Verbindung mit den Kapiteln 4 und 5 gelesen werden.

## GELTUNGSBEREICH DIESES DOKUMENTS

Dieses Dokument bezieht sich auf die in Anhang I Abschnitt 3.5 der Richtlinie 96/61/EG genannten industriellen Tätigkeiten, und zwar:

„3.5. Anlagen zur Herstellung von keramischen Erzeugnissen durch Brennen, und zwar insbesondere von Dachziegeln, Ziegelsteinen, feuerfesten Steinen, Fliesen, Steinzeug oder Porzellan mit einer Produktionskapazität von über 75 t pro Tag und/oder einer Ofenkapazität von über 4 m<sup>3</sup> und einer Besatzdichte von über 300 kg/m<sup>3</sup>.“

Für die Zwecke dieses Dokuments werden die unter diese Beschreibung fallenden industriellen Tätigkeiten als „Keramikindustrie“ bezeichnet. Die Hauptsektoren – unterschieden nach den hergestellten keramischen Erzeugnissen (Keramiken) – sind:

- Wand- und Bodenfliesen
- Ziegelsteine und Dachziegel
- Tafelgeschirr und Dekorationsartikel (Haushaltskeramik)
- Feuerfeste Erzeugnisse
- Sanitärkeramik
- Technische Keramik
- Steinzeugrohre
- Blähtonerzeugnisse
- Keramisch gebundene Schleifmittel

Zusätzlich zu den grundlegenden Herstellungstätigkeiten deckt dieses Dokument auch die direkt damit verbundenen Tätigkeiten ab, die Auswirkungen auf die Emissionen oder Umweltbelastungen haben könnten. Daher umfasst dieses Dokument Tätigkeiten von der Aufbereitung der Rohstoffe bis zur Auslieferung der fertigen Erzeugnisse. Bestimmte Tätigkeiten, wie die Gewinnung von Rohstoffen, werden nicht behandelt, weil sie nicht als direkt mit der Primärtätigkeit verbunden angesehen werden.

## DIE KERAMIKINDUSTRIE

Allgemein wird der Begriff „Keramik“ (keramische Erzeugnisse) für anorganische Materialien (eventuell mit einem geringen Anteil von organischen Stoffen) verwendet, die aus nichtmetallischen Verbindungen hergestellt und mittels eines Brennprozesses beständig gemacht werden. Zusätzlich zu den auf Ton basierenden Materialien umfasst die moderne Keramik auch eine Vielzahl von Erzeugnissen mit einem geringen oder gar keinem Tonanteil. Keramik kann glasiert oder unglasiert, porös oder glasartig sein.

Das Brennen keramischer Scherben führt zu einer zeit- und temperaturbestimmten Umwandlung der mineralischen Bestandteile, in der Regel zu einem Verbund aus neuen Mineralien und Glasphasen. Charakteristische Eigenschaften keramischer Erzeugnisse sind eine hohe Festigkeit, eine hohe Verschleißfestigkeit, eine lange Lebensdauer, chemische Trägheit und Ungiftigkeit, Hitze- und Feuerbeständigkeit, (in der Regel) ein hoher elektrischer Widerstand und manchmal auch eine besondere Porosität.

Tonrohstoffe gibt es überall in Europa, daher werden keramische Erzeugnisse wie Ziegelsteine, die verhältnismäßig kostengünstig sind (aufgrund ihres Gewichts jedoch hohe Transportkosten verursachen) in praktisch allen Mitgliedstaaten hergestellt. Die baulichen Traditionen und das Kulturerbe haben zu unterschiedlichen Einheitengrößen in den verschiedenen Ländern geführt. Weiter spezialisierte Erzeugnisse, mit denen sich höhere Preise erzielen lassen, werden nur in einigen wenigen Ländern hergestellt, die über die erforderlichen speziellen Rohstoffe und – was genauso wichtig ist – Traditionen in Bezug auf die handwerklichen Fertigkeiten und das Fachwissen verfügen.

### **DIE WICHTIGSTEN UMWELTBELASTUNGEN**

Je nach Herstellungsverfahren verursachen Anlagen zur Herstellung von keramischen Erzeugnissen Emissionen in die Luft, das Wasser und den Boden (Abfall). Außerdem kann es zu einer Belastung der Umwelt durch Lärm und unangenehme Gerüche kommen. Art und Ausmaß von Luftverschmutzung und anfallendem Abfall bzw. Abwasser hängen von unterschiedlichen Parametern ab. Diese Parameter sind z. B. die verwendeten Rohstoffe, die eingesetzten Hilfsstoffe, die verwendeten Brennstoffe und die Herstellungsverfahren.

Emissionen in die Luft: Bei der Herstellung von keramischen Erzeugnissen können Feststoffteilchen/Staub, Ruß, gasförmige Emissionen (Kohlenoxide, Stickstoffoxide, Schwefeloxide, anorganische Fluor- und Chlorverbindungen, organische Verbindungen und Schwermetalle) freigesetzt werden.

Emissionen in das Wasser: Prozessabwasser enthält hauptsächlich mineralische Bestandteile (unlösliche Feststoffteilchen) sowie weitere anorganische Stoffe, geringe Mengen zahlreicher organischer Stoffe und Schwermetalle.

Prozessverluste/Abfall: Prozessverluste aus der Herstellung von keramischen Erzeugnissen umfassen hauptsächlich unterschiedliche Arten von Schlämmen, Ausschuss, gebrauchte Gipsformen, verbrauchte Sorptionsmittel, feste Rückstände (Staub, Asche) sowie Verpackungsabfall.

Energieverbrauch/CO<sub>2</sub>-Emissionen: Alle Sektoren der Keramikindustrie sind energieintensiv, da ein wichtiger Teil des Prozesses auf dem Trocknen und dem anschließenden Brennen bei Temperaturen zwischen 800 und 2000° C beruht. Heutzutage werden für das Brennen hauptsächlich Erdgas, Flüssiggas (Propan und Butan) und leichtes Heizöl verwendet, während schweres Heizöl, Flüssigerdgas, Biogas/Biomasse, Strom und feste Brennstoffe (z. B. Kohle, Petrolkoks) ebenfalls als Energiequellen für Brenner dienen können.

### **ANGEWANDTE PROZESSE UND TECHNIKEN**

Die Herstellung von keramischen Erzeugnissen findet in verschiedenen Arten von Brennöfen mit einer großen Bandbreite von Rohstoffen und in einer Vielzahl von Formen, Größen und Farben statt. Der allgemeine Prozess der Herstellung von keramischen Erzeugnissen ist dagegen relativ einheitlich, abgesehen davon, dass für die Herstellung von Wand- und Bodenfliesen, Haushalts-, Sanitär- und technischer Keramik häufig ein mehrstufiger Brennprozess eingesetzt wird.

Im Allgemeinen werden die Rohstoffe gemischt und in Form gegossen, gepresst oder extrudiert. Zum gründlichen Mischen und zur Formgebung wird in der Regel Wasser zugesetzt. Dieses Wasser wird beim Trocknen verdunstet, und die Erzeugnisse werden entweder von Hand in den Ofen – insbesondere bei periodisch betriebenen Herdwagenöfen – oder auf Fahrwerke gesetzt, die durch kontinuierlich betriebene Tunnel- oder Rollenöfen laufen. Zur Herstellung von Blähtonerzeugnissen werden Drehrohröfen verwendet.

Während des Brennens ist eine sehr genaue Temperaturführung erforderlich, um sicherzustellen, dass die Erzeugnisse die richtige Behandlung erhalten. Nach dem Brennen muss die Abkühlung ebenfalls kontrolliert erfolgen, so dass die Erzeugnisse ihre Wärme nach und nach abgeben können und ihre keramische Struktur erhalten bleibt. Anschließend werden die Erzeugnisse verpackt und bis zur Auslieferung gelagert.

## **EMISSIONEN UND VERBRAUCHSWERTE**

### **Emissionen**

Die Verarbeitung von Tonen und anderen keramischen Rohstoffen führt zwangsläufig zur Bildung von Staub – insbesondere bei trockenen Materialien. Trocknen (einschließlich Sprühtrocknen), Zerkleinern (Schleifen, Mahlen), Sieben, Mischen und Fördern können zur Freisetzung von Feinstaub führen. Während des Verzierens und Brennens der Scherben und während der maschinellen Bearbeitung oder Endbearbeitung der gebrannten Scherben entsteht ebenfalls Staub. Die Staubemissionen stammen nicht nur (wie vorstehend beschrieben) aus den Rohstoffen, sondern auch die Brennstoffe tragen zu diesen Emissionen in die Luft bei.

Die gasförmigen Verbindungen, die während des Trocknens und Brennens freigesetzt werden, stammen hauptsächlich aus den Rohstoffen, aber auch die Brennstoffe tragen zu den gasförmigen Schadstoffen bei. Dabei handelt es sich insbesondere um SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, HF, HCl, VOC und Schwermetalle.

Prozessabwasser entsteht hauptsächlich beim Ausschwemmen und Einschlämmen von Tonmaterialien mit fließendem Wasser während des Herstellungsprozesses sowie beim Reinigen der Anlagen; zu Wasseremissionen kommt es jedoch auch beim Betrieb von Abgaswäschern. Das den Zubereitungen für die keramischen Scherben direkt zugesetzte Wasser wird während der anschließenden Trocknungs- und Brennphasen in die Luft verdampft.

Je nach Produktspezifikationen und Prozessanforderungen können Prozessverluste häufig innerhalb der Anlage aufbereitet und wiederverwendet werden. Materialien, die nicht innerhalb der Anlage wiederverwendet werden können, verlassen die Anlage, um in anderen Industriezweigen eingesetzt oder externen Abfallaufbereitungs- oder -entsorgungsanlagen zugeführt zu werden.

### **Energie- und Ressourcenverbrauch**

Die bei der Keramikherstellung eingesetzte Primärenergie dient der Befeuerung der Brennöfen. Bei vielen Prozessen ist auch die Trocknung von Zwischenerzeugnissen oder geformten Scherben energieintensiv.

In praktisch allen keramischen Verfahren wird Wasser eingesetzt. Qualitativ hochwertiges Wasser ist sehr wichtig für die Zubereitung von Tonen, Glasurschlickern und Tonmassen für die Extrusion, für das „Schlämmen“ der Gussformen, für die Herstellung sprühtrockneter Pulver sowie für nasse Schleif-, Mahl-, Wasch- und Reinigungsvorgänge.

Die Keramikindustrie verbraucht eine Vielzahl von Rohstoffen. Dazu gehören die in großer Menge verwendeten Hauptrohstoffe für die keramischen Massen, sowie verschiedene Zusatzstoffe (Additive), Bindemittel und dekorative Oberflächenbeschichtungen, die in geringerer Menge eingesetzt werden.

## **BEI DER FESTLEGUNG DER BVT ZU BERÜCKSICHTIGENDE TECHNIKEN**

Wichtige Aspekte bei der Umsetzung der IVU-Richtlinie in der Keramikindustrie sind die Verminderung von Emissionen in die Luft und in das Wasser, die effiziente Nutzung von Energie, Rohstoffen und Wasser, die Minimierung, Rückgewinnung und Wiederverwertung von Prozessverlusten/Abfall und Prozessabwasser sowie effektive Managementsysteme.

Zu den vorstehend genannten Aspekten wird eine Vielzahl von prozessintegrierten und nachgeschalteten Technologien vorgestellt und ihre Anwendbarkeit in den neun einzelnen Keramiksektoren betrachtet. In diesem Rahmen werden in diesem Dokument ungefähr 50 Techniken zur Vermeidung und Verminderung von Umweltbelastungen vorgestellt, unter folgenden sieben thematischen Überschriften:

### **Verminderung des Energieverbrauchs (Energieeffizienz)**

Die Auswahl der Energiequelle, des Brennverfahrens und des Verfahrens zur Wärmerückgewinnung sind entscheidend für die Konstruktion des Brennofens und gehören zu den wichtigsten Faktoren hinsichtlich der Umweltverträglichkeit und Energieeffizienz des Herstellungsverfahrens.

Die wichtigsten Techniken zur Verminderung des Energieverbrauchs, die einzeln oder in Kombination eingesetzt werden können, werden in diesem Dokument im Detail dargestellt:

- Technische Verbesserungen an den Brennöfen und Trocknern
- Rückgewinnung von überschüssiger Wärme aus Brennöfen
- Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen
- Ersetzen von Schweröl und festen Brennstoffen durch emissionsarme Brennstoffe
- Modifizierung der keramischen Formen

### **Staubemissionen**

Zur Minderung von diffusen und gefassten Staubemissionen werden Techniken und Maßnahmen beschrieben, welche einzeln oder in Kombination angewendet werden können. Diese sind:

- Maßnahmen für staubende Vorgänge
- Maßnahmen für Schüttlagerungsbereiche
- Abtrenn-/Filtersysteme

### **Gasförmige Verbindungen**

Zur Minderung von Emissionen gasförmiger Luftschadstoffe (insbesondere SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, HF, HCl und VOC) werden primäre und sekundäre Maßnahmen/Techniken beschrieben, die einzeln oder in Kombination angewendet werden können. Diese Techniken und Maßnahmen sind:

- Verminderung des Einbringens von Vorläufersubstanzen
- Zugabe von kalziumhaltigen Additiven
- Prozessoptimierung
- Sorptionsanlagen (Adsorption, Absorption)
- Nachverbrennung

### **Prozessabwasser**

Ziele und Lösungen zur Verminderung von Prozessabwasser (Emissionen und Menge) werden in Form von Maßnahmen zur Prozessoptimierung und Behandlungssystemen für Prozessabwasser vorgestellt. Zur Minderung von Prozessabwasseremissionen und Wasserverbrauch werden in der Regel Kombinationen dieser Maßnahmen eingesetzt.

### **Prozessverluste/Abfall**

Ziele und Lösungen zur Verminderung von Prozessverlusten/Abfällen werden hinsichtlich der bei der Herstellung von keramischen Erzeugnissen anfallenden Schlämme und festen Prozessverluste/Abfälle in Form von Maßnahmen/Techniken zur Prozessoptimierung, Aufbereitung und Wiederverwertung vorgestellt. Zur Verminderung von Prozessverlusten/Abfall werden in der Regel Kombinationen dieser Maßnahmen/Techniken eingesetzt.

### **Allgemeine Überlegungen hinsichtlich Lärm**

Es werden Möglichkeiten zur Minderung des Lärms, der bei verschiedenen Prozessen der Herstellung von keramischen Erzeugnissen auftreten kann, vorgestellt. Das Dokument liefert eine allgemeine Zusammenfassung sowie einen Überblick über die Minderung von Lärmemissionen.

### **Werkzeuge des Umweltmanagements/Umweltmanagementsysteme (UMS)**

Zur Minimierung der Umweltbelastungen aus industriellen Tätigkeiten sind allgemein Umweltmanagementsysteme (UMS) notwendig, wobei für die Keramikindustrie einige Maßnahmen besonders wichtig sind. Daher werden UMS in diesem Dokument als Werkzeuge vorgestellt, die Betreiber verwenden können, um sich auf systematische und nachweisbare Art und Weise mit den Themen Auslegung, Instandhaltung, Betrieb und Außerbetriebnahme auseinanderzusetzen.



## **BVT IN DER KERAMIKINDUSTRIE**

Im Kapitel zu den BVT (Kapitel 5) werden diejenigen Techniken genannt, die – hauptsächlich auf den Informationen aus Kapitel 4 und der Definition von besten verfügbaren Techniken in Artikel 16 Absatz 11 sowie den Überlegungen aus Anhang IV der Richtlinie basierend – allgemein als beste verfügbare Techniken angesehen werden. Wie ausführlich im Vorwort beschrieben, werden im Kapitel zu BVT keine Emissionsgrenzwerte festgelegt oder vorgeschlagen, sondern eine Auswahl von BVT sowie Verbrauchs- und Emissionswerte vorgestellt, die mit dem Einsatz von BVT verbunden sind. Zur Festlegung geeigneter Genehmigungsanforderungen sind örtliche, standortspezifische Faktoren wie die technische Besonderheit der betreffenden Anlage, die geografische Lage und die örtlichen Umweltbedingungen einzubeziehen. Bei bestehenden Anlagen ist zudem die wirtschaftliche und technische Machbarkeit von Nachrüstungen zu berücksichtigen.

In den folgenden Abschnitten werden die wichtigsten BVT-Schlussfolgerungen für die Keramikindustrie im Hinblick auf die wesentlichsten Umweltbelastungen zusammengefasst. Die BVT-Schlussfolgerungen werden auf zwei Ebenen dargelegt. In Abschnitt 5.1 werden allgemeine BVT-Schlussfolgerungen vorgestellt, d. h. BVT, die generell in der gesamten Keramikindustrie anwendbar sind. Abschnitt 5.2 enthält speziellere BVT-Schlussfolgerungen, d. h. Schlussfolgerungen, die die neun wichtigsten Sektoren der Keramikindustrie laut Geltungsbereichs dieses Dokuments betreffen. „Beste verfügbare Technik“ für eine bestimmte Anlage wird in der Regel die Anwendung einzelner oder einer Kombination von Techniken und Maßnahmen sein, die in dem allgemeinen oder dem betreffenden sektorspezifischen Abschnitt des Kapitels 5 aufgeführt sind.

Es sei darauf hingewiesen, dass in dieser Zusammenfassung die BVT-Schlussfolgerungen dieses Dokuments in einer Kurzfassung zusammengefasst sind. Die entsprechenden Langfassungen der BVT-Schlussfolgerungen finden Sie in den jeweiligen Abschnitten in Kapitel 5 dieses Dokuments.

### **Allgemeine BVT**

Der Abschnitt über allgemeine BVT enthält allgemeine BVT-Schlussfolgerungen für alle neun Sektoren der Keramikindustrie, die in diesem Dokument detailliert erläutert und beschrieben sind.

Es sei darauf hingewiesen, dass in dieser Zusammenfassung die BVT-Schlussfolgerungen dieses Dokuments in einer Kurzfassung zusammengefasst sind. Es sei auch noch einmal darauf hingewiesen, dass diese BVT-Zusammenfassung sowie die in dieser Zusammenfassung genannten, mit BVT assoziierten Emissionswertebereiche (engl. BAT-Associated Emission Levels, kurz: BAT-AEL) nur dann korrekt interpretiert werden können, wenn sie in Verbindung mit Kapitel 4 und den relevanten vollständigen BVT-Schlussfolgerungen in Kapitel 5 dieses Dokuments gelesen werden.

### **Umweltmanagement:**

Einführung und konsequente Anwendung eines Umweltmanagementsystems (UMS), das die in Abschnitt 5.1.1 dieses Dokuments aufgeführten Merkmale aufweist, soweit dies für den Einzelfall anwendbar ist.

### **Energieverbrauch:**

Verminderung des Energieverbrauchs durch Anwendung einer Kombination verschiedener Techniken, die in Abschnitt 5.1.2 dieses Dokuments aufgeführt sind und folgendermaßen zusammengefasst werden können:

- Technische Verbesserung der Brennöfen und Trockner
- Rückgewinnung der überschüssigen Wärme aus den Brennöfen, insbesondere aus deren Kühlzonen
- Wechsel der Brennstoffart für die Befeuerung der Brennöfen (Ersetzen von Schweröl und festen Brennstoffen durch emissionsarme Brennstoffe)
- Modifikation keramischer Massen

Verminderung des Primärenergieverbrauchs durch Einsatz von Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen, wenn ein Bedarf für die nutzbare Wärme besteht und die energiewirtschaftlichen Rahmenbedingungen einen wirtschaftlich tragfähigen Betrieb ermöglichen.

### **Diffuse Staubemissionen:**

Minderung diffuser Staubemissionen durch Anwendung einer Kombination verschiedener Techniken, die in Abschnitt 5.1.3.1 dieses Dokuments aufgeführt sind und als Maßnahmen für staubende Vorgänge und Maßnahmen für Schüttlagerungsbereiche zusammengefasst werden können.

### **Gefasste Staubemissionen aus staubenden Vorgängen außer der Trocknung, Sprühtrocknung und Feuerung:**

Minderung gefasster Staubemissionen aus staubenden Vorgängen durch Einsatz von Gewebefiltern auf einen Halbstundenmittelwert von 1 bis 10 mg/m<sup>3</sup>. Bei besonderen Betriebsbedingungen kann der Wertebereich größer sein.

### **Staubemissionen aus Trocknungsprozessen:**

Begrenzung der Staubemissionen aus Trocknungsprozessen auf einen Tagesmittelwert von 1 bis 20 mg/m<sup>3</sup> durch Reinigung der Trockner, Vermeidung der Ansammlung von Staubresten im Trockner und Festlegung geeigneter Wartungsprotokolle.

### **Staubemissionen aus der Feuerung der Brennöfen:**

Minderung der Staubemissionen aus den Abgasen von Brennöfen auf einen Tagesmittelwert von 1 bis 20 mg/m<sup>3</sup> durch Anwendung einer Kombination von Techniken, die in Abschnitt 5.1.3.4 dieses Dokuments aufgeführt sind. Diese Techniken können zusammengefasst werden als Nutzung von aschearmen Brennstoffen und Minimierung des beim Beschicken der Brennöfen mit dem Brenngut entstehenden Staubes.

Bei Anwendung einer trockenen Abgasreinigung mittels Filter gilt ein Staubemissionswert von weniger als 20 mg/m<sup>3</sup> im gereinigten Abgas als BVT. Bei Einsatz von Kaskaden-Schütttschichtfiltern gilt ein Staubemissionswert von weniger als 50 mg/m<sup>3</sup> im gereinigten Abgas als BVT (für Blähtonzeugnisse wird auf die sektorspezifischen BVT-Schlussfolgerungen verwiesen).

### **Gasförmige Verbindungen, primäre Maßnahmen/Techniken:**

Minderung der Emissionen an gasförmigen Verbindungen (d. h. HF, HCl, SO<sub>x</sub>, VOC, Schwermetalle) aus den Abgasen von Brennöfen durch Anwendung einer der in Abschnitt 5.1.4.1 dieses Dokuments genannten Techniken oder einer Kombination dieser Techniken. Diese Techniken können als Techniken zur Verminderung des Eintrags von Vorläufersubstanzen sowie zur Optimierung der Temperaturführung zusammengefasst werden.

Begrenzung der NO<sub>x</sub>-Emissionen aus den Abgasen von Brennöfen, angegeben als NO<sub>2</sub>, auf Tagesmittelwerte unter 250 mg/m<sup>3</sup> für Brennofengastemperaturen unter 1300 °C und auf Tagesmittelwerte unter 500 mg/m<sup>3</sup> für Brennofengastemperaturen ab 1300 °C durch Anwendung einer Kombination der in den Abschnitten 4.3.1 und 4.3.3 dieses Dokuments aufgeführten Primärmaßnahmen/-techniken (für Blähtonzeugnisse wird auf die sektorspezifischen BVT verwiesen).

Begrenzung der NO<sub>x</sub>-Emissionen aus Abgasen von Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen auf Tagesmittelwerte unter 500 mg/m<sup>3</sup>, angegeben als NO<sub>2</sub>, durch Anwendung von Maßnahmen zur Prozessoptimierung.

### **Gasförmige Verbindungen, sekundäre Maßnahmen/Techniken und Kombinationen mit primären Maßnahmen/Techniken:**

Minderung der Emissionen von gasförmigen anorganischen Verbindungen aus den Abgasen von Brennöfen durch Anwendung einer der Techniken, die in Abschnitt 5.1.4.2 dieses Dokuments aufgeführt sind, und die als mehrstufige Schütttschichtfilter oder als trockene Abgasreinigung mittels Filter zusammengefasst werden können.

Die folgende Tabelle aus Abschnitt 5.1.4.2 zeigt mit BVT assoziierte Emissionswerte (BAT-AEL) für gasförmige anorganische Verbindungen aus den Abgasen von Brennöfen bei Anwendung einer Kombination von Primärmaßnahmen/-techniken gemäß Abschnitt 5.1.4.1.a und/oder Sekundärmaßnahmen/-techniken gemäß Abschnitt 5.1.4.2 dieses Dokuments.

Parameter	Einheit (Tagesmittelwert)	BAT-AEL <sup>1)</sup>
Fluorid, angegeben als HF	mg/m <sup>3</sup>	1 – 10 <sup>2)</sup>
Chlorid, angegeben als HCl	mg/m <sup>3</sup>	1 – 30 <sup>3)</sup>
SO <sub>x</sub> , angegeben als SO <sub>2</sub> Rohstoff-Schwefelgehalte ≤0,25 %	mg/m <sup>3</sup>	<500
SO <sub>x</sub> , angegeben als SO <sub>2</sub> Rohstoff-Schwefelgehalte >0,25 %	mg/m <sup>3</sup>	500 – 2000 <sup>4)</sup>
<sup>1)</sup> Die Wertebereiche hängen vom Gehalt des entsprechenden Schadstoffs (Vorläufers) in den Rohstoffen ab, d. h. beim Brennen keramischer Erzeugnisse mit einem niedrigen Gehalt des entsprechenden Schadstoffs (Vorläufers) im Rohstoff gelten niedrigere Werte innerhalb des Wertebereichs und beim Brennen keramischer Erzeugnisse mit einem hohen Gehalt des entsprechenden Schadstoffs (Vorläufers) im Rohstoff höhere Werte innerhalb des Wertebereichs als BAT-AEL.		
<sup>2)</sup> Je nach Rohstoffbeschaffenheit kann der obere Wert der BAT-AEL-Spanne niedriger liegen.		
<sup>3)</sup> Je nach Rohstoffbeschaffenheit kann der obere Wert der BAT-AEL-Spanne niedriger liegen. Auch sollte der obere Wert der BAT-AEL-Spanne der Wiederverwendung der Abwässer nicht entgegenstehen.		
<sup>4)</sup> Der obere Wert der BAT-AEL-Spanne gilt nur für Rohstoffe mit einem extrem hohen Schwefelgehalt.		

### Prozessabwasser (Emissionen und Verbrauch):

Minderung des Wasserverbrauchs durch Anwendung verschiedener Maßnahmen zur Prozessoptimierung, die in Abschnitt 4.4.5.1 dieses Dokuments aufgeführt sind und einzeln oder in Kombination angewendet werden können.

Reinigung des Prozessabwassers durch Anwendung verschiedener Abwasserbehandlungstechniken, die in Abschnitt 4.4.5.2 dieses Dokuments aufgeführt werden und einzeln oder in Kombination angewendet werden können. So ist sicherzustellen, dass das Abwasser hinreichend gereinigt wird, damit es anschließend im Herstellungsprozess wieder verwendet oder direkt in Gewässer oder indirekt in das kommunale Abwassersystem eingeleitet werden kann.

Die folgende Tabelle aus Abschnitt 5.1.5 enthält die mit BVT assoziierte Emissionswerte (BAT-AEL) für Schadstoffgehalte von Abwassereinleitungen:

Parameter	Einheit	BAT-AEL (2-Stunden-Mischprobe)
Schwebstoffe	mg/l	50,0
AOX	mg/l	0,1
Blei (Pb)	mg/l	0,3
Zink (Zn)	mg/l	2,0
Cadmium (Cd)	mg/l	0,07

Wenn mehr als 50 % des Prozesswassers in den Herstellungsprozessen wiederverwendet werden, können auch höhere Schadstoffkonzentrationen noch BAT-AEL sein, solange die spezifische Schadstofffracht pro Produktionsmenge (pro kg verarbeiteter Rohstoffe) nicht höher ist als die Schadstofffracht, die sich bei einer Wiederverwendungsrate des Prozesswassers von weniger als 50 % ergäbe.

### Schlämme:

Wiederverwertung von Prozessschlamm durch Einsatz von Aufbereitungssystemen und/oder Weiterverwertung der Schlämme zur Herstellung anderer Produkte.

### **Feste Prozessverluste/Abfälle:**

Minderung des Anfalls an festen Prozessverlusten/Abfällen durch Anwendung einer Kombination verschiedener Techniken, die in Abschnitt 5.1.7 dieses Dokuments aufgeführt sind und folgendermaßen zusammengefasst werden können:

- Rückführung ungemischter Rohstoffe
- Rückführung beschädigter Scherben in den Herstellungsprozess
- Verwendung von festen Prozessverlusten in anderen Industrien
- Elektronische Steuerung des Brennprozesses
- Anwendung optimierter Besatztechniken

### **Lärm:**

Minderung der Lärmemissionen durch Anwendung einer Kombination verschiedener Techniken, die in Abschnitt 5.1.8 dieses Dokuments aufgeführt sind und folgendermaßen zusammengefasst werden können:

- Einhausung von Anlagenteilen
- Schwingungsisolierung von Anlagenteilen
- Verwendung von Schalldämpfern und langsam rotierenden Lüftern
- Anordnung der Fenster, Tore und lauter Anlagenteile fern ab von Nachbarn
- Schallisolation von Fenstern und Wänden
- Schließen von Fenstern und Toren
- Ausführen von lauten (Freiluft-)Tätigkeiten nur am Tage
- Sorgfältige Instandhaltung der Anlage

### **Sektorspezifische BVT**

Der Abschnitt über sektorspezifische BVT enthält spezifische BVT-Schlussfolgerungen für die einzelnen neun Sektoren, die in diesem Dokument detailliert erläutert und beschrieben sind. Es sei noch einmal darauf hingewiesen, dass diese BVT-Zusammenfassung sowie die in dieser Zusammenfassung genannten, mit BVT assoziierten Emissions-Wertebereiche (engl. BAT-AEL) nur dann korrekt interpretiert werden können, wenn sie in Verbindung mit Kapitel 4 und den entsprechenden vollständigen BVT-Schlussfolgerungen in Kapitel 5 dieses Dokuments gelesen werden.

### **Gefasste Staubemissionen:**

Wand- und Bodenfliesen, Haushaltskeramik, Sanitärkeramik, technische Keramik, Steinzeugrohre:

Minderung der gefassten Staubemissionen aus Sprühglasierungsprozessen auf einen Halbstundenmittelwert von 1 bis 10 mg/m<sup>3</sup> durch Anwendung von Gewebefiltern oder gesinterten Lamellenfiltern.

Wand- und Bodenfliesen, Haushaltskeramik, technische Keramik:

Minderung der gefassten Staubemissionen aus Sprühtrocknungsprozessen auf einen Halbstundenmittelwert von 1 bis 30 mg/m<sup>3</sup> durch Anwendung von Gewebefiltern, bzw. auf 1 bis 50 mg/m<sup>3</sup> bei bestehenden Anlagen durch Einsatz von Zyklonen in Kombination mit Nassabscheidern, wenn deren Spülwasser wiederverwendet werden kann.

Blähtonzeugnisse:

Minderung der gefassten Staubemissionen aus heißen Verbrennungsgasen auf einen Tagesmittelwert von 5 bis 50 mg/m<sup>3</sup> durch Anwendung von Elektrofiltern oder Nassabscheidern.

### **Staubemissionen aus der Feuerung der Brennöfen:**

Wand- und Bodenfliesen:

Minderung der Staubemissionen aus den Abgasen der Brennöfen auf einen Tagesmittelwert von 1 bis 5 mg/m<sup>3</sup> durch Anwendung einer trockenen Abgasreinigung mit Gewebefilter.

### **Gasförmige Verbindungen, primäre Maßnahmen und Techniken:**

#### Ziegelsteine und Dachziegel:

Minderung der Emissionen von gasförmigen Verbindungen (d. h. HF, HCl, SO<sub>x</sub>) aus den Abgasen von Brennöfen durch Zugabe von kalziumhaltigen Additiven.

#### Blähtonerzeugnisse:

Begrenzung der NO<sub>x</sub>-Emissionen aus Abgasen von Drehöfen auf Tagesmittelwerte unter 500 mg/m<sup>3</sup>, angegeben als NO<sub>2</sub>, durch Anwendung einer Kombination primärer Maßnahmen und Techniken.

### **Gasförmige Verbindungen, sekundäre Maßnahmen und Techniken:**

#### Wand- und Bodenfliesen, Haushaltskeramik, Sanitärkeramik, technische Keramik:

Minderung der Emissionen von gasförmigen anorganischen Verbindungen aus den Abgasen von Brennöfen durch Anwendung von Modulabsorbentien, insbesondere für geringe Abgas-Volumenströme (unter 18.000 m<sup>3</sup>/h), und wenn die Rohgaskonzentrationen an anderen anorganischen Verbindungen als HF (SO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub>, HCl) sowie von Staub gering sind.

#### Wand- und Bodenfliesen:

Minderung der HF-Emissionen aus Abgasen von Brennöfen auf Tagesmittelwerte von 1 bis 5 mg/m<sup>3</sup> durch Anwendung einer trockenen Abgasreinigung mit Gewebefilter.

### **Flüchtige organische Verbindungen:**

#### Ziegelsteine und Dachziegel, feuerfeste Erzeugnisse, technische Keramik, keramisch gebundene Schleifmittel:

Minderung der Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen aus Abgasen von Brennöfen – bei Rohgaskonzentrationen von mehr als 100 bis 150 mg/m<sup>3</sup>, je nach Rohgasbeschaffenheit, z. B. Zusammensetzung, Temperatur – auf Tagesmittelwerte von 5 bis 20 mg/m<sup>3</sup>, angegeben als Gesamt-Kohlenstoff, durch den Einsatz von thermischer Nachverbrennung in einem Ein- oder Drei-Kammer-Thermoreaktor .

#### Feuerfeste Erzeugnisse, mit organischen Verbindungen behandelt:

Minderung der Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen aus der Behandlung mit organischen Verbindungen bei geringen Abgasvolumenströmen durch den Einsatz von Aktivkohlefiltern. Bei hohen Abgasvolumenströmen ist es BVT, die Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen aus der Behandlung mit organischen Verbindungen durch Einsatz einer thermischen Nachverbrennung auf 5 bis 20 mg/m<sup>3</sup> zu verringern.

### **Wiederverwendung von Prozessabwasser:**

#### Wand- und Bodenfliesen, Haushaltskeramik, Sanitärkeramik:

Wiederverwendung von Prozessabwässern im Herstellungsprozess mit einer Wiederverwendungsrate von 50–100% (bei Wand- und Bodenfliesen, abhängig von der Art der herzustellenden Fliesen) bzw. von 30–50 % (bei Haushaltskeramik und Sanitärkeramik) durch Anwendung einer Kombination von Maßnahmen zur Prozessoptimierung und Abwasserbehandlungssystemen.

### **Wiederverwertung von Schlamm:**

#### Wand- und Bodenfliesen:

Wiederverwertung des bei der Prozessabwasseraufbereitung anfallenden Schlammes bei der Herstellung der Scherben mit einem Anteil von 0,4 bis 1,5 Gewichtsprozent (hinzugegebenen trockenen Schlammes bezogen auf die Scherbenmasse) durch Einsatz eines Schlammaufbereitungssystems, soweit möglich.

### **Feste Prozessverluste/Abfall:**

#### Haushaltskeramik, Sanitärkeramik, technische Keramik, feuerfeste Erzeugnisse:

Minderung der Menge an festen Prozessverlusten/Abfall in Form verbrauchter Gipsformen aus der Formgebung durch Anwendung einer oder einer Kombination der folgenden Maßnahmen:

- Ersetzen der Gipsformen durch Polymerformen
- Ersetzen der Gipsformen durch Metallformen
- Verwendung von Vakuum-Gipsmischern
- Weiterverwertung von gebrauchten Gipsformen in anderen Industriezweigen

## **TECHNIKEN IN ENTWICKLUNG**

Einige neue Techniken zur Minderung von Umweltbelastungen sind in Entwicklung oder werden nur vereinzelt eingesetzt und gelten daher als „Techniken in Entwicklung“. Fünf dieser Techniken werden in Kapitel 6 beschrieben:

- Strahlrohrbrenner
- Mikrowellenunterstütztes Brennen und Mikrowellentrockner
- Neuartiges Trocknungssystem für feuerfeste Erzeugnisse
- Weitergehende Prozessabwasserbehandlung für mit integrierter Glasurrückgewinnung
- Bleifreies Glasieren von hochwertigem Tafelgeschirr

## **ABSCHLIESSENDE BEMERKUNGEN**

Das Kapitel mit abschließenden Bemerkungen enthält Informationen über die Meilensteine der Entwicklung dieses Dokuments, den Grad der erzielten Übereinstimmung hinsichtlich der BVT-Vorschläge für die Keramikindustrie sowie die noch vorhandenen Informationslücken, insbesondere im Hinblick auf während des Zeitraum für den Informationsaustausch nicht bereitgestellte Daten, die daher auch nicht berücksichtigt werden konnten. Es werden Empfehlungen für weitere Forschungen und das weitere Sammeln von Informationen sowie abschließend Empfehlungen zur Aktualisierung des BVT-Merkblattes „Keramikindustrie“ gegeben.

Über ihre Programme zur Forschung und technologischen Entwicklung (FTE) fördert und unterstützt die EG eine Reihe von Projekten, die sich mit sauberen Technologien, zukünftigen Abwasserbehandlungs- und Aufbereitungstechnologien sowie Managementstrategien befassen. Diese Projekte können möglicherweise einen hilfreichen Beitrag zu zukünftigen Überprüfungen von BVT-Merkblättern leisten. Die Leser werden daher gebeten, das Europäische IPPC-Büro in Sevilla (EIPPCB) über alle Forschungsergebnisse zu informieren, die hinsichtlich des Geltungsbereichs dieses Dokuments von Bedeutung sind (siehe dazu auch das Vorwort zu diesem Dokument).

## VORWORT

### 1. Status dieses 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 (IVU-RL). Wie die Richtlinie berührt auch dieses Dokument nicht die Vorschriften der Gemeinschaft über die Gesundheit und Sicherheit am Arbeitsplatz.

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 Abs. 2 der Richtlinie veröffentlicht und muss daher gemäß Anhang IV der Richtlinie bei der Festlegung der „besten verfügbaren Techniken“ berücksichtigt werden.

### 2. Rechtliche Pflichten und Definition der BVT gemäß der Richtlinie über die integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung

Um dem Leser das Verständnis des rechtlichen Rahmens zu erleichtern, in dem das vorliegende Dokument ausgearbeitet wurde, 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 der Information. Sie hat keine rechtlichen Konsequenzen und ändert oder berührt 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 hoher Umweltschutz erreicht wird. Die Rechtsgrundlage der Richtlinie bezieht sich auf den Umweltschutz. Bei ihrer Anwendung 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 Durchführungsbehörden und sonstigen Einrichtungen eine integrierte, ganzheitliche Betrachtung des Umweltverschmutzungs- und Verbrauchspotenzials der Anlage. Das Gesamtziel dieses integrierten Konzepts muss darin bestehen, das Management und die Kontrolle der industriellen Prozesse so zu verbessern, dass ein hoher Schutz der gesamten Umwelt gewährleistet ist. Von zentraler Bedeutung für dieses Konzept ist das in Artikel 3 verankerte allgemeine Prinzip, nach dem die Betreiber alle geeigneten Vorsorgemaßnahmen gegen Umweltverschmutzungen zu treffen haben, insbesondere durch den Einsatz der besten verfügbaren Techniken, mit deren Hilfe sie ihre Umweltschutzleistungen verbessern können.

Der Begriff „beste verfügbare Techniken“ ist in Artikel 2 Absatz 11 der RL definiert als „der effizienteste und fortschrittlichste Entwicklungsstand der Tätigkeiten und entsprechenden Betriebsmethoden, der spezielle Techniken als praktisch geeignet erscheinen lässt, grundsätzlich als Grundlage für die Emissionsgrenzwerte zu dienen, um Emissionen und Auswirkungen auf die gesamte Umwelt generell 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 Schutzes für die Umwelt als Ganzes 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 verankerten allgemeinen Prinzipien zu berücksichtigen. Diese Genehmigungsaufgaben müssen Emissionsgrenzwerte enthalten, die gegebenenfalls durch äquivalente Parameter oder technische Maßnahmen erweitert oder ersetzt werden. Entsprechend Artikel 9 Absatz 4 der Richtlinie müssen sich diese Emissionsgrenzwerte, äquivalenten Parameter und technischen Maßnahmen unbeschadet der Einhaltung der Umweltqualitätsnormen auf die besten verfügbaren Techniken stützen, ohne dass die Anwendung einer bestimmten Technik oder Technologie vorgeschrieben wird. Hierbei sind die technische Beschaffenheit der betreffenden Anlage, ihr Standort und die jeweiligen örtlichen Umweltbedingungen zu berücksichtigen. In jedem Fall haben die Genehmigungsaufgaben Vorkehrungen zur weitestgehenden Verminderung weiträumiger oder grenzüberschreitender Umweltverschmutzungen vorzusehen und einen hohen Schutz für die Umwelt als Ganzes sicherzustellen.

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. Ziel dieses 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 der Erwägung 25 der Richtlinie erläutert, in der 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, unter dessen Schirmherrschaft mehrere technische Arbeitsgruppen eingesetzt wurden. Bei diesem Forum und in den technischen Arbeitsgruppen sind, wie in Artikel 16 Absatz 2 verlangt, sowohl die Mitgliedstaaten als auch die Industrie vertreten.

In dieser Dokumentenreihe werden der Informationsaustausch, wie er gemäß Artikel 16 Absatz 2 stattgefunden hat, genau wiedergegeben und der Genehmigungsbehörde Referenzinformationen für die Genehmigungsaufgaben zur Verfügung gestellt. Mit ihren Informationen über die besten verfügbaren Techniken sollen diese Dokumente als ein wertvolles Mittel zur Verbesserung der Umweltschutzleistung dienen.

### **4. Informationsquellen**

Dieses Dokument enthält eine Zusammenfassung von Informationen aus verschiedenen Quellen, einschließlich sachkundiger Angaben der zur Unterstützung der Kommission geschaffenen Arbeitsgruppen, und von den Dienststellen der Kommission geprüft wurden. Alle Beiträge werden dankbar anerkannt.

### **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 bei den auf BVT basierenden Genehmigungsaufgaben ist stets vom Gesamtziel, d. h. einem hohen Schutz für die Umwelt als Ganzes, auszugehen.



Der verbleibende Teil dieses Abschnitts beschreibt, welche Art von Informationen die einzelnen Kapitel des Dokuments enthalten.

Kapitel 1 und 2 geben allgemeine Informationen über die Branche und über die in der Branche angewandten industriellen Verfahren. Kapitel 3 enthält Daten und Angaben über die Emissions- und Verbrauchswerte bestehender Anlagen. Sie zeigen den Stand zum Zeitpunkt der Erarbeitung des Dokuments.

In Kapitel 4 werden eingehender die Verfahren zur Emissionsverminderung und andere Methoden beschrieben, die als die wichtigsten für die Bestimmung der BVT wie auch für die auf BVT basierenden Genehmigungsaufgaben betrachtet werden. Diese Informationen schließen die Verbrauchs- und Emissionswerte ein, die sich mit dem jeweiligen Verfahren erreichen lassen, einige Vorstellungen über die mit der jeweiligen Technik verbundenen Kosten und die medienübergreifenden Aspekte sowie Angaben über die Anwendbarkeit der Technik in Anlagen, die der IVU-Genehmigung unterliegen, z. B. neue, bestehende, große oder kleine Anlagen. Verfahren, die allgemein als veraltet gelten, wurden nicht berücksichtigt.

In Kapitel 5 werden die Verfahren und die Emissions- und Verbrauchswerte aufgeführt, die allgemein den Anforderungen an die besten verfügbaren Techniken entsprechen. Dabei geht es darum, allgemeine Angaben über die Emissions- und Verbrauchswerte bereitzustellen, die für die auf BVT basierenden Genehmigungsaufgaben oder für allgemein verbindliche Vorschriften gemäß Artikel 9 Absatz 8 als Bezug gelten können. Jedoch muss darauf hingewiesen werden, dass in diesem Dokument keine Emissionsgrenzwerte vorgeschlagen werden. Bei der Bestimmung geeigneter Genehmigungsanforderungen sind lokale, standortspezifische Faktoren wie die technische Beschaffenheit der betreffenden Anlage, ihr Standort und die lokalen Umweltsicherungsbedingungen zu berücksichtigen. Ferner ist bei bestehenden Anlagen die wirtschaftliche und technische Vertretbarkeit einer Modernisierung zu beachten. Allein das Ziel eines hohen Schutzniveaus für die Umwelt als Ganzes erfordert oft ein Abwägen verschiedenartiger Umweltauswirkungen, welches wiederum oft von lokalen Erwägungen beeinflusst wird.

Ogleich im vorliegenden Dokument der Versuch unternommen wird, einige dieser Aspekte aufzugreifen, ist eine umfassende Berücksichtigung hier nicht möglich. Somit sind die in Kapitel 5 aufgeführten Techniken und Zahlenwerte nicht notwendigerweise auf alle Anlagen anwendbar. Andererseits verlangt die Pflicht zur Sicherung eines hohen Umweltschutzniveaus einschließlich der Verminderung der weiträumigen oder grenzüberschreitenden Umweltverschmutzung, dass Genehmigungsaufgaben nicht nur auf der Basis lokaler 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 bei Bedarf überprüft und aktualisiert. Stellungnahmen und Vorschläge sind an das Europäische IPPC-Büro beim Institut für technologische Zukunftsforschung zu senden:

Edificio Expo, c/ Inca Garcilaso, s/n, E-41092 Sevilla, Spanien  
Telefon: +34 95 4488 284  
Fax: +34 95 4488 426  
E-Mail: [JRC-IPTS-EIPPCB@ec.europa.eu](mailto:JRC-IPTS-EIPPCB@ec.europa.eu)  
Internet: <http://eippcb.jrc.es>



# Merkblatt über die Besten Verfügbaren Techniken in der Keramikindustrie

<p><b>EXECUTIVE SUMMARY ..... I</b></p> <p><b>PREFACE ..... XI</b></p> <p><b>SCOPE.....XXV</b></p> <p><b>1 GENERAL INFORMATION ON CERAMIC MANUFACTURING.....1</b></p> <p>1.1 Historical origins .....1</p> <p>1.2 Characteristics of ceramics .....1</p> <p>1.3 Geographical distribution and general economic considerations.....3</p> <p>1.4 Key environmental issues .....4</p> <p>1.5 Ceramics sectors .....5</p> <p>1.5.1 Bricks and roof tiles .....6</p> <p>1.5.2 Vitrified clay pipes.....7</p> <p>1.5.3 Refractory products.....8</p> <p>1.5.4 Expanded clay aggregates .....9</p> <p>1.5.5 Wall and floor tiles .....9</p> <p>1.5.6 Table- and ornamentalware (household ceramics).....11</p> <p>1.5.7 Sanitaryware .....11</p> <p>1.5.8 Technical ceramics .....12</p> <p>1.5.9 Inorganic bonded abrasives.....12</p> <p><b>2 APPLIED PROCESSES AND TECHNIQUES IN CERAMIC MANUFACTURING .....13</b></p> <p>2.1 Raw materials .....13</p> <p>2.2 General production process description.....14</p> <p>2.2.1 Storage and transport of raw materials .....15</p> <p>2.2.2 Preparation of raw materials .....15</p> <p>2.2.2.1 Pre-drying.....15</p> <p>2.2.2.2 Pre-blending .....15</p> <p>2.2.2.3 Weathering/souring .....15</p> <p>2.2.2.4 Primary and secondary crushing, grinding and screening .....16</p> <p>2.2.2.5 Dry or wet milling (grinding).....16</p> <p>2.2.2.6 Dry screening/air classification .....16</p> <p>2.2.2.7 Spray drying .....17</p> <p>2.2.2.8 Calcining .....17</p> <p>2.2.2.9 Synthetic base materials .....17</p> <p>2.2.2.10 Frits and glazes, glaze preparation .....17</p> <p>2.2.3 Component mixing .....18</p> <p>2.2.3.1 General.....18</p> <p>2.2.3.2 Continuous mixers .....18</p> <p>2.2.3.3 Batch mixers.....18</p> <p>2.2.4 Shaping/forming of ware .....19</p> <p>2.2.4.1 General .....19</p> <p>2.2.4.2 Pressing .....19</p> <p>2.2.4.2.1 Mechanical pressing .....19</p> <p>2.2.4.2.2 Hydraulic pressing.....19</p> <p>2.2.4.2.3 Impact pressing .....19</p> <p>2.2.4.2.4 Friction pressing .....19</p> <p>2.2.4.2.5 Isostatic pressing.....20</p> <p>2.2.4.3 Extrusion .....20</p> <p>2.2.4.4 Moulding .....20</p> <p>2.2.4.5 Slip casting .....20</p>	<p><b>ZUSAMMENFASSUNG .....I</b></p> <p><b>VORWORT .....XI</b></p> <p><b>GELTUNGSBEREICH.....XXV</b></p> <p><b>1 ALLGEMEINE INFORMATIONEN ZUR KERAMIKINDUSTRIE ..... 1</b></p> <p>1.1 Historischer Ursprung ..... 1</p> <p>1.2 Charakteristika von Keramik ..... 1</p> <p>1.3 Geografische Verbreitung und allgemeine ökonomische Aspekte ..... 3</p> <p>1.4 Wesentliche Umweltprobleme ..... 4</p> <p>1.5 Sektoren der Keramikindustrie ..... 5</p> <p>1.5.1 Ziegelsteine und Dachziegel ..... 6</p> <p>1.5.2 Steinzeugrohre..... 7</p> <p>1.5.3 Feuerfeste Erzeugnisse ..... 8</p> <p>1.5.4 Blähtonerzeugnisse ..... 9</p> <p>1.5.5 Wand- und Bodenfliesen..... 9</p> <p>1.5.6 Tafelgeschirr und Dekorationsartikel (Haushaltskeramik) ..... 11</p> <p>1.5.7 Sanitärkeramik ..... 11</p> <p>1.5.8 Technische Keramik..... 12</p> <p>1.5.9 Keramisch gebundene Schleifmittel..... 12</p> <p><b>2 ANGEWANDTE PROZESSE UND TECHNIKEN ZUR HERSTELLUNG KERAMISCHER ERZEUGNISSE ..... 13</b></p> <p>2.1 Rohmaterialien..... 13</p> <p>2.2 Allgemeine Beschreibung der Produktionsprozesse ..... 14</p> <p>2.2.1 Rohmateriallagerung und -transport ..... 15</p> <p>2.2.2 Aufbereitung der Rohmaterialien ..... 15</p> <p>2.2.2.1 Vortrocknen..... 15</p> <p>2.2.2.2 Vormischen..... 15</p> <p>2.2.2.3 Abwitern/Aussäuern ..... 15</p> <p>2.2.2.4 Vor- und Nachbrechen, Zerkleinern und Sieben ..... 16</p> <p>2.2.2.5 Trocken- oder Nassmahlung..... 16</p> <p>2.2.2.6 Trockenes Sieben/Windsichten ..... 16</p> <p>2.2.2.7 Sprühtrocknen..... 17</p> <p>2.2.2.8 Kalzinieren ..... 17</p> <p>2.2.2.9 Synthetische Ausgangsmaterialien ..... 17</p> <p>2.2.2.10 Fritten und Glasuren, Glasuraufbereitung ..... 17</p> <p>2.2.3 Masseaufbereitung ..... 18</p> <p>2.2.3.1 Allgemeines..... 18</p> <p>2.2.3.2 Kontinuierliche Mischer ..... 18</p> <p>2.2.3.3 Chargenmischer ..... 18</p> <p>2.2.4 Formgebung ..... 19</p> <p>2.2.4.1 Allgemeines..... 19</p> <p>2.2.4.2 Pressen..... 19</p> <p>2.2.4.2.1 Mechanisches Pressen..... 19</p> <p>2.2.4.2.2 Hydraulisches Pressen ..... 19</p> <p>2.2.4.2.3 Stoßpressen ..... 19</p> <p>2.2.4.2.4 Schneckenpressen ..... 19</p> <p>2.2.4.2.5 Isostatisches Pressen ..... 20</p> <p>2.2.4.3 Extrudieren ..... 20</p> <p>2.2.4.4 Abformung ..... 20</p> <p>2.2.4.5 Schlickerguss..... 20</p>
--	---

2.2.4.6	Fusion casting.....	21	2.2.4.6	Schmelzguss .....	21
2.2.5	Drying of ceramic products .....	21	2.2.5	Trocknen keramischer Produkte.....	21
2.2.5.1	General.....	21	2.2.5.1	Allgemeines.....	21
2.2.5.2	Hot floor dryers .....	21	2.2.5.2	Heißbodentrockner .....	21
2.2.5.3	Chamber dryers (intermittent).....	21	2.2.5.3	Kammertrockner (periodisch).....	21
2.2.5.4	Tunnel dryers (continuous) .....	22	2.2.5.4	Tunneltrockner (kontinuierlich).....	22
2.2.5.5	Vertical 'basket' dryers .....	22	2.2.5.5	Vertikale "Korb-"Trockner.....	22
2.2.5.6	Horizontal multi-deck roller dryers.....	22	2.2.5.6	Horizontale Mehretagen- Rollentrockner .....	22
2.2.5.7	Dehumidifying dryers .....	22	2.2.5.7	Verdunstungstrockner.....	22
2.2.5.8	Infrared and microwave dryers.....	23	2.2.5.8	Infrarot- und Mikrowellentrockner.....	23
2.2.6	Surface treatment and decoration of ceramic products .....	23	2.2.6	Oberflächenbehandlung und Dekoration keramischer Erzeugnisse .....	23
2.2.6.1	Texturing of clay products .....	23	2.2.6.1	Texturierung von Tonerzeugnissen .....	23
2.2.6.2	Applied facings .....	23	2.2.6.2	Aufgetragene Oberflächenbeläge .....	23
2.2.6.3	Glazing, engobing and other decorating techniques .....	23	2.2.6.3	Glasieren, Engobieren und andere Dekorationstechniken .....	23
2.2.7	Firing .....	24	2.2.7	Brennen .....	24
2.2.7.1	Aims of firing.....	24	2.2.7.1	Zweck des Brennens.....	24
2.2.7.2	Physico-chemical changes during firing.....	24	2.2.7.2	Physikalisch-chemische Veränderungen beim Brennen .....	24
2.2.7.3	Intermittent (periodic) kilns .....	25	2.2.7.3	Periodisch betriebene Öfen.....	25
2.2.7.4	Continuous kilns.....	26	2.2.7.4	Kontinuierlich betriebene Öfen .....	26
2.2.7.4.1	Chamber (Hoffmann) kilns.....	26	2.2.7.4.1	Kammeröfen (Hoffmannscher Ringofen) .....	26
2.2.7.4.2	Tunnel kilns .....	26	2.2.7.4.2	Tunnelöfen .....	26
2.2.7.4.3	Roller hearth kilns .....	27	2.2.7.4.3	Rollenöfen.....	27
2.2.7.4.4	Sliding bat kilns.....	28	2.2.7.4.4	Öfen mit Brenntischförderung .....	28
2.2.7.5	Clamp firing .....	28	2.2.7.5	Feldbrennöfen.....	28
2.2.7.6	Rotary kilns .....	28	2.2.7.6	Drehrohröfen .....	28
2.2.7.7	Fluidised beds.....	29	2.2.7.7	Wirbelschichtöfen.....	29
2.2.7.8	Cooling stage heat recovery .....	29	2.2.7.8	Wärmerückgewinnung aus der Abkühlzone.....	29
2.2.8	Subsequent treatment (product finishing) ...	29	2.2.8	Nachbehandlung (Produktveredelung).....	29
2.2.8.1	Machining (grinding, drilling, sawing).....	29	2.2.8.1	Mechanische Bearbeitung (Schleifen, Bohren, Sägen) .....	29
2.2.8.1.1	Wet grinding.....	29	2.2.8.1.1	Nassschleifen .....	29
2.2.8.1.2	Dry grinding .....	29	2.2.8.1.2	Trockenschleifen.....	29
2.2.8.1.3	Drilling .....	29	2.2.8.1.3	Bohren.....	29
2.2.8.1.4	Sawing .....	30	2.2.8.1.4	Sägen.....	30
2.2.8.2	Polishing.....	30	2.2.8.2	Polieren.....	30
2.2.8.3	Carbon enrichment (refractory products).....	30	2.2.8.3	Kohlenstoffanreicherung (feuerfeste Erzeugnisse) .....	30
2.2.8.4	Tumbling of facing bricks .....	30	2.2.8.4	Trommelpolieren von Vormauerziegeln .....	30
2.2.9	Addition of auxiliary materials .....	31	2.2.9	Zugabe von Hilfsstoffen.....	31
2.2.9.1	Jointing materials (pipes) .....	31	2.2.9.1	Dichtungsmaterialien (Rohre) .....	31
2.2.9.2	Silicones/water repellents.....	31	2.2.9.2	Silikone/wasserabweisende Mittel.....	31
2.2.9.3	Insulation materials .....	31	2.2.9.3	Isoliermaterial .....	31
2.2.9.4	Carding and plating (refractory bricks).....	31	2.2.9.4	Fixiermittel und galvanische Überzüge (feuerfeste Steine) .....	31
2.2.9.5	Adhesives .....	31	2.2.9.5	Klebstoffe .....	31
2.2.9.6	Final assembly.....	31	2.2.9.6	Endmontage.....	31
2.2.10	Sorting, packaging and storage .....	31	2.2.10	Sortieren, Verpacken und Lagern.....	31
2.2.11	Supply and disposal (off-gas treatment and process waste water treatment) facilities.....	32	2.2.11	Anlieferungs- und Entsorgung- einrichtungen (Abgasbehandlung und Prozessabwasserbehandlung).....	32
2.2.12	Recycling in the ceramic industry.....	32	2.2.12	Recycling in der Keramikindustrie.....	32
2.2.13	General process flow diagram showing different processing paths .....	33	2.2.13	Allgemeines Verfahrensflißbild mit den verschiedenen Prozesspfaden .....	33
2.3	Description of techniques for the manufacture of ceramic products sector by sector .....	34	2.3	Beschreibung der sektorspezifischen Techniken zur Herstellung keramischer Erzeugnisse .....	34

2.3.1	Bricks and roof tiles.....	34	2.3.1	Ziegelsteine und Dachziegel .....	34
2.3.1.1	Raw materials.....	35	2.3.1.1	Rohmaterialien .....	35
2.3.1.2	Preparation of raw materials.....	39	2.3.1.2	Rohmaterialaufbereitung .....	39
2.3.1.3	Shaping.....	40	2.3.1.3	Formgebung.....	40
2.3.1.4	Drying, glazing and engobing .....	41	2.3.1.4	Trocknen, Glasieren und Engobieren ...	41
2.3.1.5	Firing.....	41	2.3.1.5	Brennen .....	41
2.3.1.6	Subsequent treatment .....	43	2.3.1.6	Nachbehandlung.....	43
2.3.1.7	Input and output flows in the manufacture of bricks and roof tiles.....	43	2.3.1.7	Eingangs- und Ausgangsströme bei der Herstellung von Ziegelsteinen und Dachziegeln .....	43
2.3.2	Vitrified clay pipes.....	44	2.3.2	Steinzeugrohre.....	44
2.3.2.1	Raw materials.....	45	2.3.2.1	Rohmaterialien .....	45
2.3.2.2	Preparation of raw materials.....	47	2.3.2.2	Rohmaterialaufbereitung .....	47
2.3.2.3	Shaping.....	47	2.3.2.3	Formgebung.....	47
2.3.2.4	Drying and glazing .....	47	2.3.2.4	Trocknen und Glasieren.....	47
2.3.2.5	Firing.....	47	2.3.2.5	Brennen .....	47
2.3.2.6	Subsequent treatment .....	48	2.3.2.6	Nachbehandlung.....	48
2.3.2.7	Input and output flows in the manufacture of vitrified clay pipes.....	48	2.3.2.7	Eingangs- und Ausgangsströme bei der Herstellung von Steinzeugrohren ...	48
2.3.3	Refractory products.....	49	2.3.3	Feuerfeste Erzeugnisse.....	49
2.3.3.1	Raw materials.....	50	2.3.3.1	Rohmaterialien .....	50
2.3.3.2	Preparation of raw materials.....	51	2.3.3.2	Rohmaterialaufbereitung .....	51
2.3.3.3	Shaping.....	51	2.3.3.3	Formgebung.....	51
2.3.3.4	Drying .....	52	2.3.3.4	Trocknen.....	52
2.3.3.5	Firing .....	52	2.3.3.5	Brennen .....	52
2.3.3.6	Subsequent treatment .....	53	2.3.3.6	Nachbehandlung.....	53
2.3.3.7	Special procedures .....	53	2.3.3.7	Spezielle Verfahren .....	53
2.3.3.8	Input and output flows in the manufacture of refractory products .....	54	2.3.3.8	Eingangs- und Ausgangsströme bei der Herstellung von feuerfesten Erzeugnissen.....	54
2.3.4	Expanded clay aggregates.....	54	2.3.4	Blähtonerzeugnisse .....	54
2.3.4.1	Raw materials, additives and auxiliary agents .....	56	2.3.4.1	Rohmaterialien, Additive und Hilfsmittel.....	56
2.3.4.2	General system and process technology .....	57	2.3.4.2	Allgemeine Anlagen- und Prozesstechnik .....	57
2.3.4.2.1	Shaping .....	57	2.3.4.2.1	Formgebung .....	57
2.3.4.2.2	Thermal process technology.....	57	2.3.4.2.2	Thermische Prozesstechnik.....	57
2.3.4.2.3	Chemical reaction during expansion.....	58	2.3.4.2.3	Chemische Reaktion beim Expandieren .....	58
2.3.4.2.4	Subsequent sieving and crushing.....	58	2.3.4.2.4	Nachfolgendes Sieben und Brechen .....	58
2.3.4.3	Input and output flows in the manufacture of expanded clay aggregates.....	58	2.3.4.3	Eingangs- und Ausgangsströme bei der Herstellung von Blähtonerzeugnissen.....	58
2.3.5	Wall and floor tiles .....	59	2.3.5	Wand- und Bodenfliesen.....	59
2.3.5.1	Raw materials.....	60	2.3.5.1	Rohmaterialien .....	60
2.3.5.2	Preparation of raw materials.....	61	2.3.5.2	Rohmaterialaufbereitung .....	61
2.3.5.3	Shaping.....	61	2.3.5.3	Formgebung.....	61
2.3.5.4	Drying .....	62	2.3.5.4	Trocknen.....	62
2.3.5.5	Firing and glazing .....	62	2.3.5.5	Brennen und Glasieren .....	62
2.3.5.6	Subsequent treatment .....	63	2.3.5.6	Nachbehandlung.....	63
2.3.5.7	Input and output flows in the manufacture of wall and floor tiles.....	63	2.3.5.7	Eingangs- und Ausgangsströme bei der Herstellung von Wand- und Bodenfliesen .....	63
2.3.6	Table- and ornamentalware (household ceramics).....	64	2.3.6	Tafelgeschirr und Dekorationsartikel (Haushaltskeramik) .....	64
2.3.6.1	Raw materials.....	65	2.3.6.1	Rohmaterialien .....	65
2.3.6.2	Preparation of raw materials.....	65	2.3.6.2	Rohmaterialaufbereitung .....	65
2.3.6.3	Shaping.....	66	2.3.6.3	Formgebung.....	66
2.3.6.4	Drying .....	67	2.3.6.4	Trocknen.....	67
2.3.6.5	Firing, glazing and decoration.....	67	2.3.6.5	Brennen, Glasieren und Dekoration .....	67
2.3.6.6	Subsequent treatment .....	70	2.3.6.6	Nachbehandlung.....	70

2.3.6.7	Input and output flows in the manufacture of household ceramics .....	70	2.3.6.7	Eingangs- und Ausgangsströme bei der Herstellung von Haushaltskeramik .....	70
2.3.7	Sanitaryware .....	71	2.3.7	Sanitärkeramik .....	71
2.3.7.1	Raw materials .....	71	2.3.7.1	Rohmaterialien .....	71
2.3.7.2	Preparation of raw materials .....	72	2.3.7.2	Rohmaterialaufbereitung .....	72
2.3.7.3	Shaping .....	72	2.3.7.3	Formgebung .....	72
2.3.7.4	Drying and glazing .....	72	2.3.7.4	Trocknen und Glasieren .....	72
2.3.7.5	Firing .....	73	2.3.7.5	Brennen .....	73
2.3.7.6	Subsequent treatment .....	74	2.3.7.6	Nachbehandlung .....	74
2.3.7.7	Input and output flows in the manufacture of sanitaryware .....	74	2.3.7.7	Eingangs- und Ausgangsströme bei der Herstellung von Sanitärkeramik .....	74
2.3.8	Technical ceramics .....	75	2.3.8	Technische Keramik .....	75
2.3.8.1	Raw materials .....	77	2.3.8.1	Rohmaterialien .....	77
2.3.8.2	Preparation of raw materials .....	78	2.3.8.2	Rohmaterialaufbereitung .....	78
2.3.8.3	Shaping .....	79	2.3.8.3	Formgebung .....	79
2.3.8.4	Machining .....	80	2.3.8.4	Mechanische Bearbeitung .....	80
2.3.8.5	Glazing, engobing and metallisation ...	81	2.3.8.5	Glasieren, Engobieren und Metallisieren .....	81
2.3.8.6	Drying, burning out and pre-firing .....	82	2.3.8.6	Trocknen, Ausbrennen und Vorbrennen .....	82
2.3.8.7	Firing/sintering .....	83	2.3.8.7	Brennen/Sintern .....	83
2.3.8.8	Subsequent treatment .....	84	2.3.8.8	Nachbehandlung .....	84
2.3.8.9	Input and output flows in the manufacture of technical ceramics .....	84	2.3.8.9	Eingangs- und Ausgangsströme bei der Herstellung von technischer Keramik .....	84
2.3.9	Inorganic bonded abrasives .....	85	2.3.9	Keramisch gebundene Schleifmittel .....	85
2.3.9.1	Raw materials .....	85	2.3.9.1	Rohmaterialien .....	85
2.3.9.2	Preparation of raw materials .....	85	2.3.9.2	Rohmaterialaufbereitung .....	85
2.3.9.3	Shaping .....	86	2.3.9.3	Formgebung .....	86
2.3.9.4	Drying .....	86	2.3.9.4	Trocknen .....	86
2.3.9.5	Firing .....	86	2.3.9.5	Brennen .....	86
2.3.9.6	Subsequent treatment .....	86	2.3.9.6	Nachbehandlung .....	86
2.3.9.7	Input and output flows in the manufacture of inorganic bonded abrasives .....	86	2.3.9.7	Eingangs- und Ausgangsströme bei der Herstellung von keramisch gebundenen Schleifmitteln .....	86
<b>3</b>	<b>CURRENT EMISSION AND CONSUMPTION LEVELS .....</b>	<b>89</b>	<b>3</b>	<b>AKTUELLES EMISSIONS- UND VERBRAUCHSNIVEAU .....</b>	<b>89</b>
3.1	Emissions – general considerations .....	89	3.1	Emissionen – Allgemeine Aspekte .....	89
3.1.1	Emissions to air .....	89	3.1.1	Emissionen in die Luft .....	89
3.1.1.1	Dust (particulate matter) .....	89	3.1.1.1	Staub .....	89
3.1.1.2	Gaseous emissions .....	89	3.1.1.2	Gasförmige Emissionen .....	89
3.1.1.2.1	Sulphur dioxide and other sulphur compounds .....	89	3.1.1.2.1	Schwefeldioxid und andere Schwefelverbindungen .....	89
3.1.1.2.2	Oxides of nitrogen and other nitrogen compounds .....	89	3.1.1.2.2	Stickstoffoxide und andere Stickstoffverbindungen .....	89
3.1.1.2.3	Carbon monoxide (and carbon dioxide) .....	90	3.1.1.2.3	Kohlenmonoxid (und Kohlendioxid) .....	90
3.1.1.2.4	Volatile organic compounds (VOCs) .....	90	3.1.1.2.4	Flüchtige organische Verbindungen (VOC) .....	90
3.1.1.2.5	Metals and their compounds .....	90	3.1.1.2.5	Metalle und ihre Verbindungen .....	90
3.1.1.2.6	Chlorine and its compounds .....	90	3.1.1.2.6	Chlor und seine Verbindungen .....	90
3.1.1.2.7	Fluorine and its compounds .....	91	3.1.1.2.7	Fluor und seine Verbindungen .....	91
3.1.2	Emissions to water .....	91	3.1.2	Emissionen in das Wasser .....	91
3.1.3	Process losses/waste .....	92	3.1.3	Prozessverluste/Abfall .....	92
3.1.4	Emissions of noise .....	92	3.1.4	Lärmemissionen .....	92
3.1.5	Possible emission sources and emission paths .....	93	3.1.5	Mögliche Emissionsquellen und Emissionspfade .....	93
3.2	Consumption – general considerations .....	94	3.2	Verbrauch – Allgemeine Aspekte .....	94
3.2.1	Energy consumption .....	94	3.2.1	Energieverbrauch .....	94
3.2.2	Water consumption .....	94	3.2.2	Wasserverbrauch .....	94
3.2.3	Raw materials consumption .....	94	3.2.3	Rohmaterialverbrauch .....	94

3.3	Presentation of emission and consumption data .....	95	3.3	Emissions- und Verbrauchswerte.....	95
3.3.1	Bricks and roof tiles .....	95	3.3.1	Ziegelsteine und Dachziegel .....	95
3.3.1.1	Emission data .....	95	3.3.1.1	Emissionswerte .....	95
3.3.1.2	Consumption data .....	104	3.3.1.2	Verbrauchswerte .....	104
3.3.2	Vitrified clay pipes .....	106	3.3.2	Steinzeugrohre .....	106
3.3.2.1	Emission data .....	106	3.3.2.1	Emissionswerte .....	106
3.3.2.2	Consumption data .....	108	3.3.2.2	Verbrauchswerte .....	108
3.3.3	Refractory products .....	109	3.3.3	Feuerfeste Erzeugnisse .....	109
3.3.3.1	Emission data .....	109	3.3.3.1	Emissionswerte .....	109
3.3.3.2	Consumption data .....	111	3.3.3.2	Verbrauchswerte .....	111
3.3.4	Expanded clay aggregates .....	113	3.3.4	Blähtonerzeugnisse .....	113
3.3.4.1	Emission data .....	113	3.3.4.1	Emissionswerte .....	113
3.3.4.2	Consumption data .....	115	3.3.4.2	Verbrauchswerte .....	115
3.3.5	Wall and floor tiles .....	116	3.3.5	Wand- und Bodenfliesen .....	116
3.3.5.1	Emission data .....	116	3.3.5.1	Emissionswerte .....	116
3.3.5.2	Consumption data .....	120	3.3.5.2	Verbrauchswerte .....	120
3.3.6	Table- and ornamentalware (household ceramics) .....	121	3.3.6	Tafelgeschirr und Dekorationsartikel (Haushaltskeramik) .....	121
3.3.6.1	Emission data .....	121	3.3.6.1	Emissionswerte .....	121
3.3.6.2	Consumption data .....	125	3.3.6.2	Verbrauchswerte .....	125
3.3.7	Sanitaryware .....	126	3.3.7	Sanitärkeramik .....	126
3.3.7.1	Emission data .....	126	3.3.7.1	Emissionswerte .....	126
3.3.7.2	Consumption data .....	129	3.3.7.2	Verbrauchswerte .....	129
3.3.8	Technical ceramics .....	130	3.3.8	Technische Keramik .....	130
3.3.8.1	Emission data .....	130	3.3.8.1	Emissionswerte .....	130
3.3.8.2	Consumption data .....	133	3.3.8.2	Verbrauchswerte .....	133
3.3.9	Inorganic bonded abrasives .....	134	3.3.9	Keramisch gebundene Schleifmittel .....	134
3.3.9.1	Emission data .....	134	3.3.9.1	Emissionswerte .....	134
3.3.9.2	Consumption data .....	136	3.3.9.2	Verbrauchswerte .....	135
<b>4</b>	<b>TECHNIQUES TO CONSIDER IN THE DETERMINATION OF BAT FOR CERAMIC MANUFACTURING.....</b>	<b>137</b>	<b>4</b>	<b>TECHNIKEN, DIE BEI DER BESTIMMUNG VON BVT ZU BERÜCKSICHTIGEN SIND.....</b>	<b>137</b>
4.1	Reduction of energy consumption (energy efficiency).....	138	4.1	Reduzierung der Energieverbrauchs (Energieeffizienz) .....	138
4.1.1	Improved design of kilns and dryers .....	138	4.1.1	Technische Verbesserung der Brennöfen und Trockner .....	138
4.1.2	Recovery of excess heat from kilns .....	140	4.1.2	Wärmerückgewinnung an den Öfen .....	140
4.1.3	Cogeneration/combined heat and power plants .....	141	4.1.3	Kraft-Wärme-Kopplung / Blockheizkraftwerke .....	141
4.1.4	Substitution of heavy fuel oil and solid fuels by low emission fuels .....	143	4.1.4	Substitution von schwerem Heizöl und festen Brennstoffen durch emissionsarme Brennstoffe .....	143
4.1.5	Modification of ceramic bodies .....	144	4.1.5	Modifikation keramischer Massen .....	144
4.2	Emissions of dust (particulate matter) .....	146	4.2	Staubemissionen .....	146
4.2.1	Measures for dusty operations .....	146	4.2.1	Maßnahmen für staubende Vorgänge .....	146
4.2.2	Measures for bulk storage areas .....	147	4.2.2	Maßnahmen für Schüttgutlagerflächen .....	147
4.2.3	Separation/filter systems .....	148	4.2.3	Abscheidungs-/Filtersysteme .....	148
4.2.3.1	Centrifugal separators .....	148	4.2.3.1	Zyklonabscheider .....	148
4.2.3.2	Bag filters .....	148	4.2.3.2	Gewebefilter .....	148
4.2.3.3	Sintered lamellar filters .....	151	4.2.3.3	Sinterlamellenfilter .....	151
4.2.3.4	Wet dust separators .....	152	4.2.3.4	Nasse Staubabscheider .....	152
4.2.3.5	Electrostatic precipitators (ESP) .....	153	4.2.3.5	Elektrofilter (E-Filter) .....	153
4.3	Gaseous compounds .....	155	4.3	Gasförmige Verbindungen .....	155
4.3.1	Reducing the input of pollutant precursors .....	155	4.3.1	Reduzierung des Eintrags von Schadstoffvorläufersubstanzen .....	155
4.3.2	Addition of calcium rich additives .....	157	4.3.2	Zugabe von kalziumreichen Additiven .....	157
4.3.3	Process optimisation .....	159	4.3.3	Prozessoptimierung .....	159
4.3.3.1	Optimising the heating curve .....	159	4.3.3.1	Optimierung der Brennkurve .....	159
4.3.3.2	Reduction of water vapour levels in the kiln gases .....	160	4.3.3.2	Reduzierung des Wasserdampfgehaltes in den Ofengasen .....	160

4.3.3.3	Internal carbonisation gas combustion .....	161	4.3.3.3	Interne Schwelgasverbrennung.....	161
4.3.3.4	Low-NO <sub>x</sub> burners .....	162	4.3.3.4	NO <sub>x</sub> -arme Brenner (Low-NO <sub>x</sub> -Brenner).....	162
4.3.4	Sorption plants (adsorbers, absorbers) ....	163	4.3.4	Sorptionsanlagen (Adsorber, Absorber)...	163
4.3.4.1	Cascade-type packed bed adsorbers ..	163	4.3.4.1	Kaskaden-Schütttschicht-Adsorber .....	163
4.3.4.2	Module adsorber systems .....	167	4.3.4.2	Moduladsorbersysteme .....	167
4.3.4.3	Dry flue-gas cleaning with a filter (bag filter or electrostatic precipitator).....	168	4.3.4.3	Trockene Abgasreinigung mit einem Filter (Gewebefilter oder Elektrofilter) .....	168
4.3.4.4	Wet flue-gas cleaning.....	171	4.3.4.4	Nasse Abgasreinigung .....	171
4.3.4.5	Activated carbon filters .....	173	4.3.4.5	Aktivkohlefilter .....	173
4.3.4.6	Biological scrubbers.....	173	4.3.4.6	Biologische Wäscher .....	173
4.3.5	Afterburning .....	174	4.3.5	Nachverbrennung .....	174
4.3.5.1	Thermal afterburning .....	174	4.3.5.1	Thermische Nachverbrennung.....	174
4.3.5.2	Catalytic afterburning.....	176	4.3.5.2	Katalytische Nachverbrennung.....	176
4.3.6	Examples of operational data, efficiencies, consumption and cost data for different fluegas cleaning techniques .	178	4.3.6	Beispiele für Betriebsdaten, Wirkungsgrade, Verbrauchs- und Kostendaten für verschiedene Abgasreinigungstechniken .	178
4.4	Process waste water.....	182	4.4	Prozessabwasser.....	182
4.4.1	Water used as a raw material .....	182	4.4.1	Wasserverwendung als Rohmaterial .....	182
4.4.2	Water used as a heat exchange vehicle ...	182	4.4.2	Wasserverwendung als Wärmeaustauschmedium .....	182
4.4.3	Water used as a scrubbing agent .....	182	4.4.3	Wasserverwendung in der Abgaswäsche .	182
4.4.4	Water used as a cleaning agent .....	182	4.4.4	Wasserverwendung zu Reinigungszwecken.....	182
4.4.5	Objectives and solutions for the reduction of process waste water (emissions and consumption).....	182	4.4.5	Ziele und Lösungen für die Minderung von Prozessabwässern (Emissionen und Verbrauchsmenge) .....	182
4.4.5.1	Process optimisation.....	183	4.4.5.1	Prozessoptimierung .....	183
4.4.5.2	Systems of process waste water treatment .....	184	4.4.5.2	Behandlungstechniken für Prozessabwässer .....	184
4.5	Process losses/waste .....	186	4.5	Prozessverluste/Abfall .....	186
4.5.1	Sludge arising in the manufacture of ceramic products .....	186	4.5.1	Schlämme, die bei der Herstellung keramischer Produkte anfallen .....	186
4.5.1.1	Sludge recycling systems .....	186	4.5.1.1	Systeme zur Wiederverwertung von Schlämmen (Schlammrückführung) ...	186
4.5.1.2	Sludge re-use in other products.....	188	4.5.1.2	Weiterverwertung der Schlämme in anderen Produkten .....	188
4.5.2	Solid process losses/solid waste.....	189	4.5.2	Feste Prozessverluste/Abfälle .....	189
4.5.2.1	General considerations concerning re-use of solid process losses as raw materials .....	189	4.5.2.1	Allgemeine Betrachtungen zur Verwendung/Verwertung von festen Prozessverlusten als Rohmaterial .....	189
4.5.2.2	General considerations on plaster moulds, firing auxiliaries and broken ware – avoidance / replacement / reduction.....	190	4.5.2.2	Allgemeine Betrachtungen zu Gipsformen, Feuerungshilfsmittel und Bruchware – Vermeidung / Substituierung / Verminderung.....	190
4.6	General considerations concerning noise .....	191	4.6	Allgemeine Betrachtungen bezüglich Lärm...	191
4.7	Environmental management tools .....	192	4.7	Umweltmanagement-Instrumente .....	192
<b>5</b>	<b>BEST AVAILABLE TECHNIQUES FOR CERAMIC MANUFACTURING.....</b>	<b>201</b>	<b>5</b>	<b>BESTE VERFÜGBARE TECHNIKEN IN DER KERAMIKINDUSTRIE.....</b>	<b>201</b>
5.1	Generic Best Available Techniques .....	203	5.1	Allgemeine BVT-Schlussfolgerungen .....	203
5.1.1	Environmental management .....	203	5.1.1	Umweltmanagement .....	203
5.1.2	Energy consumption .....	204	5.1.2	Energieverbrauch .....	204
5.1.3	Dust emissions .....	205	5.1.3	Staubemissionen.....	205
5.1.3.1	Diffuse dust emissions .....	205	5.1.3.1	Diffuse Staubemissionen .....	205
5.1.3.2	Channelled dust emissions from dusty operations .....	205	5.1.3.2	Gefasste Staubemissionen aus staubenden Vorgängen .....	205
5.1.3.3	Dust emissions from drying processes .....	205	5.1.3.3	Staubemissionen aus Trocknungsprozessen .....	205
5.1.3.4	Dust emissions from kiln firing processes .....	205	5.1.3.4	Staubemissionen aus der Feuerung der Brennöfen .....	205



5.1.4	Gaseous compounds .....	206	5.1.4	Gasförmige Verbindungen .....	206
5.1.4.1	Primary measures/techniques .....	206	5.1.4.1	Primäre Maßnahmen/Techniken.....	206
5.1.4.2	Secondary measures/techniques and in combination with primary measures/techniques.....	206	5.1.4.2	Sekundäre Maßnahmen/Techniken und deren Kombination mit primären Maßnahmen/Techniken .....	206
5.1.5	Process waste water (emissions and consumption) .....	207	5.1.5	Prozessabwasser (Emissionen und Verbrauch) .....	207
5.1.6	Sludge .....	208	5.1.6	Schlämme .....	208
5.1.7	Solid process losses/solid waste.....	208	5.1.7	Feste Prozessverluste/Abfälle .....	208
5.1.8	Noise .....	208	5.1.8	Lärm .....	208
5.2	Sector specific Best Available Techniques ...	209	5.2	Sektorspezifische BVT-Schlussfolgerungen..	209
5.2.1	Bricks and roof tiles .....	209	5.2.1	Ziegelsteine und Dachziegel .....	209
5.2.1.1	Gaseous compounds/primary measures/techniques .....	209	5.2.1.1	Gasförmige Verbindungen / primäre Maßnahmen/Techniken .....	209
5.2.1.2	Volatile organic compounds.....	209	5.2.1.2	Flüchtige organische Verbindungen ...	209
5.2.2	Vitrified clay pipes.....	209	5.2.2	Steinzeugrohre.....	209
5.2.2.1	Channelled dust emissions .....	209	5.2.2.1	Gefasste Staubemissionen .....	209
5.2.3	Refractory products.....	209	5.2.3	Feuerfeste Erzeugnisse .....	209
5.2.3.1	Volatile organic compounds.....	209	5.2.3.1	Flüchtige organische Verbindungen ...	209
5.2.3.2	Solid process losses/solid waste .....	210	5.2.3.2	Feste Prozessverluste/Abfälle .....	210
5.2.4	Expanded clay aggregates .....	210	5.2.4	Blähtonerzeugnisse .....	210
5.2.4.1	Channelled dust emissions .....	210	5.2.4.1	Gefasste Staubemissionen .....	210
5.2.4.2	Gaseous compounds/primary measures/techniques .....	210	5.2.4.2	Gasförmige Verbindungen / primäre Maßnahmen/Techniken .....	210
5.2.5	Wall and floor tiles .....	210	5.2.5	Wand- und Bodenfliesen.....	210
5.2.5.1	Channelled dust emissions .....	210	5.2.5.1	Gefasste Staubemissionen .....	210
5.2.5.2	Dust emissions from kiln firing processes .....	210	5.2.5.2	Staubemissionen aus der Feuerung der Brennöfen .....	210
5.2.5.3	Gaseous compounds/secondary measures/techniques .....	211	5.2.5.3	Gasförmige Verbindungen / sekundäre Maßnahmen/Techniken .....	211
5.2.5.4	Re-use of process waste water .....	211	5.2.5.4	Wiederverwendung von Prozessabwässern .....	211
5.2.5.5	Re-use of sludge .....	211	5.2.5.5	Wiederverwertung von Schlamm .....	211
5.2.6	Table- and ornamental ware (household ceramics) .....	211	5.2.6	Tafelgeschirr und Dekorationsartikel (Haushaltskeramik) .....	211
5.2.6.1	Channelled dust emissions .....	211	5.2.6.1	Gefasste Staubemissionen .....	211
5.2.6.2	Gaseous compounds/secondary measures/techniques .....	211	5.2.6.2	Gasförmige Verbindungen / sekundäre Maßnahmen/Techniken .....	211
5.2.6.3	Re-use of process waste water .....	211	5.2.6.3	Wiederverwendung von Prozessabwässern .....	211
5.2.6.4	Solid process losses/solid waste .....	212	5.2.6.4	Feste Prozessverluste/Abfälle .....	212
5.2.7	Sanitaryware .....	212	5.2.7	Sanitärkeramik .....	212
5.2.7.1	Channelled dust emissions .....	212	5.2.7.1	Gefasste Staubemissionen .....	212
5.2.7.2	Gaseous compounds/secondary measures/techniques .....	212	5.2.7.2	Gasförmige Verbindungen / sekundäre Maßnahmen/Techniken .....	212
5.2.7.3	Re-use of process waste water .....	212	5.2.7.3	Wiederverwendung von Prozessabwässern .....	212
5.2.7.4	Solid process losses/solid waste .....	212	5.2.7.4	Feste Prozessverluste/Abfälle .....	212
5.2.8	Technical ceramics .....	212	5.2.8	Technische Keramik.....	212
5.2.8.1	Channelled dust emissions .....	212	5.2.8.1	Gefasste Staubemissionen .....	212
5.2.8.2	Gaseous compounds/secondary measures/techniques .....	213	5.2.8.2	Gasförmige Verbindungen / sekundäre Maßnahmen/Techniken .....	213
5.2.8.3	Volatile organic compounds .....	213	5.2.8.3	Flüchtige organische Verbindungen ...	213
5.2.8.4	Solid process losses/solid waste .....	213	5.2.8.4	Feste Prozessverluste/Abfälle .....	213
5.2.9	Inorganic bonded abrasives .....	213	5.2.9	Keramisch gebundene Schleifmittel.....	213
5.2.9.1	Volatile organic compounds .....	213	5.2.9.1	Flüchtige organische Verbindungen ...	213
<b>6</b>	<b>EMERGING TECHNIQUES FOR CERAMIC MANUFACTURING.....</b>	<b>215</b>	<b>6</b>	<b>TECHNIKEN IN ENTWICKLUNG FÜR DIE KERAMIKINDUSTRIE.....</b>	<b>215</b>
6.1	Radiant tube burners .....	215	6.1	Strahlrohrbrenner .....	215
6.2	Microwave assisted firing and microwave dryers.....	215	6.2	Mikrowellenunterstütztes Brennen und Mikrowellentrockner .....	215

6.3	New type of drying system for refractory products .....216	6.3	Neuartiges Trocknungssystem für feuerfeste Erzeugnisse ..... 216
6.4	Advanced process waste water management with integrated glaze recovery.....218	6.4	Weitergehende Prozessabwasserbehandlung für mit integrierter Glasrückgewinnung ..... 218
6.5	Lead-free glazing of high quality table porcelain .....219	6.5	Bleifreies Glasieren von hochwertigem Tafelgeschirr ..... 219
<b>7</b>	<b>CONCLUDING REMARKS.....221</b>	<b>7</b>	<b>ABSCHLIEBENDE BEMERKUNGEN ..... 221</b>
<b>8</b>	<b>REFERENCES.....225</b>	<b>8</b>	<b>QUELLENANGABEN..... 225</b>
<b>9</b>	<b>GLOSSARY.....227</b>	<b>9</b>	<b>GLOSSAR..... 227</b>

---

## Abbildungsverzeichnis

Figure 1.1:	Stages in the manufacture of ceramic products .....	2
Figure 2.1:	Ranges of industrial maturing temperatures for different product groups .....	25
Figure 2.2:	Cross-section of a shuttle kiln.....	26
Figure 2.3:	Schematic view of a tunnel kiln.....	27
Figure 2.4:	Cross-section of a tunnel kiln with a tunnel kiln car .....	27
Figure 2.5:	Cross-section of a roller hearth kiln.....	28
Figure 2.6:	General process flow diagram showing different processing paths.....	33
Figure 2.7:	Schematic view of pressed roof tile manufacture .....	34
Figure 2.8:	Schematic view of preparation of extruded bricks in masonry brick manufacture.....	35
Figure 2.9:	Distribution of fluoride content in Italian clays.....	37
Figure 2.10:	Distribution of chlorine content in Italian clays .....	38
Figure 2.11:	Distribution of sulphur content in Italian clays .....	38
Figure 2.12:	Sulphur content in clays .....	39
Figure 2.13:	Input and output flows in the manufacture of bricks and roof tiles .....	44
Figure 2.14:	Schematic view of the manufacture of vitrified clay pipes.....	45
Figure 2.15:	Input and output flows in the manufacture of vitrified clay pipes .....	49
Figure 2.16:	Schematic view of the manufacture of basic bricks containing chromium ore .....	50
Figure 2.17:	Input and output flows in the manufacture of refractory products.....	54
Figure 2.18:	Schematic view of the manufacture of expanded clay aggregates.....	55
Figure 2.19:	Input and output flows in the manufacture of expanded clay aggregates .....	59
Figure 2.20:	Schematic view of wall and floor tile manufacturing .....	60
Figure 2.21:	Input and output flows in the manufacture of wall and floor tiles .....	63
Figure 2.22:	Schematic view of the manufacture of table porcelain.....	64
Figure 2.23:	Input and output flows in the manufacture of household ceramics .....	70
Figure 2.24:	Schematic view of the manufacture of sanitaryware .....	71
Figure 2.25:	Input and output flows in the manufacture of sanitaryware.....	74
Figure 2.26:	Schematic view of an electrical insulator manufacturing process .....	76
Figure 2.27:	Schematic view of a ceramic catalyst manufacturing process .....	77
Figure 2.28:	Green, white and hard machining in the manufacture of technical ceramics .....	81
Figure 2.29:	Input and output flows in the manufacture of technical ceramics .....	84
Figure 2.30:	Input and output flows in the manufacture of inorganic bonded abrasives .....	87
Figure 3.1:	Distribution of released fluoride in the Italian brick and roof tile industry .....	97
Figure 3.2:	Distribution of released chloride in the Italian brick and roof tile industry.....	97
Figure 3.3:	SO <sub>x</sub> emissions in Germany, United Kingdom and Belgium .....	98
Figure 3.4:	Mass flow example for the manufacture of masonry bricks .....	106
Figure 3.5:	Mass flow example for the manufacture of vitrified clay pipes.....	109
Figure 3.6:	Mass flow example for the manufacture of periclase chromite bricks .....	112
Figure 3.7:	Mass flow example for the manufacture of tableware.....	126
Figure 3.8:	Mass flow example for the manufacture of sanitaryware .....	130
Abbildung 4.1:	Schematische Darstellung eines Beispiels eines Wärmeverbundsystems .....	140
Abbildung 4.2:	Schematische Darstellung der Heißluftzerzeugung durch eine Kraft-Wärme-Kopplungsanlage.....	142
Abbildung 4.3:	Schematische Darstellung eines Gewebefilters mit Druckstoßreinigung .....	149
Abbildung 4.4:	Beispiele für Investitionskosten als Teil der jährlichen Kosten für Gewebefilteranlagen ohne die Kosten für den Einbau und die Filterschläuche .....	150
Abbildung 4.5:	Schematische Darstellung eines starren Sinterlamellenfilters .....	151
Abbildung 4.6:	Temperaturbereiche der Schadstofffreisetzung bei einer beispielhaften Temperaturkurve für das Brennen von Ziegeln .....	159
Abbildung 4.7:	Schematische Darstellung einer internen Schwelgasverbrennung.....	161
Abbildung 4.8:	Schematische Darstellung eines Querstrom-Kaskaden-Adsorbers.....	164
Abbildung 4.9:	Verfahrensschema eines Kaskaden-Schütttschicht-Adsorbers mit Schältrummel.....	165
Abbildung 4.10:	Schematische Darstellung eines Wabenmoduladsorbersystems.....	167
Abbildung 4.11:	Schematische Darstellung der trockenen Abgasreinigung mit einem Gewebefilter.....	168
Abbildung 4.12:	Schematische Darstellung der trockenen Abgasreinigung mit einem Elektrofilter .....	169
Abbildung 4.13:	Verfahrensschema einer nassen Abgasreinigungsanlage.....	171
Abbildung 4.14:	Schematische Darstellung einer thermischen Nachverbrennungsanlage (3-Kammer-System) .....	175
Abbildung 4.15:	Abgasführung in einer externen thermischen Nachverbrennungsanlage.....	175
Abbildung 4.16:	Verfahrensschema einer Abwasserbehandlungsanlage .....	185
Abbildung 4.17:	Schematischer Aufbau der Schlammrückführungsanlage einer Fliesenfabrik .....	187

## Tabellenverzeichnis

Table 1.1:	Ceramics output, sales and employment figures.....	3
Table 1.2:	Specific energy consumption in the ceramics industry in Europe .....	4
Table 1.3:	Share of used fuels in Germany per sector in 1998 .....	5
Table 1.4:	The vitrified clay pipes industry in Europe .....	7
Table 1.5:	EU-15 manufacture of refractory products in 2001/2002.....	8
Table 1.6:	Simplified classification of ceramic tiles.....	10
Table 1.7:	Energy consumption per Member State (specific energy consumption in TJ per 1000 tonnes produced).....	10
Table 1.8:	Output of table- and ornamentalware .....	11
Table 2.1:	Ranges of chemical and mineralogical compositions of clay raw materials applied in the brick and roof tile industry in different European countries .....	36
Table 2.2:	Operating data of tunnel kilns.....	42
Table 2.3:	Comparison of classic tunnel kilns and fast firing methods (roof tiles) .....	42
Table 2.4:	Operating data of fast firing tunnel kilns .....	42
Table 2.5:	Mineralogical composition of clay in the manufacture of vitrified clay pipes .....	46
Table 2.6:	Chemical composition of clay in the manufacture of vitrified clay pipes .....	46
Table 2.7:	Ranges of operating data of tunnel kilns .....	48
Table 2.8:	Most used oxides in melting/casting operations .....	51
Table 2.9:	Operating data of periodically operated dryers (chamber dryers) .....	52
Table 2.10:	Operating data of two tunnel dryers and a climate controlled dryer.....	52
Table 2.11:	Operating data of tunnel kilns used in the refractory industry.....	53
Table 2.12:	Operating data of shuttle kilns.....	53
Table 2.13:	Examples of expansion promoting additives and auxiliary agents .....	56
Table 2.14:	Operating data of tunnel kilns and roller hearth kilns.....	62
Table 2.15:	Typical ranges of the mineralogical composition of raw materials for the manufacture of household ceramics .....	65
Table 2.16:	Typical ranges of the chemical composition of raw materials for the manufacture of household ceramics.....	65
Table 2.17:	Operating data of a shuttle kiln.....	68
Table 2.18:	Operating data of tunnel kilns.....	68
Table 2.19:	On-glaze decoration operating data .....	69
Table 2.20:	In-glaze and under-glaze decoration operating data .....	69
Table 2.21:	Operating data of periodically operated dryers (chamber dryers) .....	73
Table 2.22:	Operating data of tunnel kilns.....	73
Table 2.23:	Operating data of shuttle kilns.....	73
Table 2.24:	Sintering temperatures for technical ceramic materials.....	83
Table 3.1:	Overview on possible emission sources and emission paths in the ceramic industry.....	93
Table 3.2:	Emission ranges of raw flue-gases from the firing process of brick and roof tiles manufacturing.....	96
Table 3.3:	Operating data of raw gas with various fuels .....	98
Table 3.4:	Raw gas values with various pore-forming agents .....	99
Table 3.5:	Average clean gas concentrations (porous clay blocks) and corresponding product related emission factors.....	99
Table 3.6:	Clean gas concentrations of masonry brick plants.....	100
Table 3.7:	Clean gas concentrations of clinker brick plants and roof tile plants .....	101
Table 3.8:	Raw gas and clean gas emission values in clay block manufacturing .....	102
Table 3.9:	Raw gas and clean gas emission values in facing brick manufacturing.....	103
Table 3.10:	Energy consumption data per tonne of product from installations for the manufacture of bricks and roof tiles .....	104
Table 3.11:	Specific energy consumption in the brick and roof tile industry .....	105
Table 3.12:	Maximum concentration of clean gas in the manufacture of vitrified clay pipes .....	107
Table 3.13:	Specific energy consumption in the manufacture of vitrified clay pipes.....	108
Table 3.14:	Raw gas values of different refractory products .....	110
Table 3.15:	Emissions from kilns for non-basic refractory products.....	110
Table 3.16:	Raw gas values for special procedures .....	110
Table 3.17:	Energy consumption data for the manufacture of magnesia refractory bricks, regarding kg of product.....	111
Table 3.18:	Ranges of dust emission values from primary crushing downstream of a fabric filter.....	113
Table 3.19:	Ranges of actual emission values from dry grinding downstream of the respective filter system .....	113
Table 3.20:	Ranges of dust emission values from granulation downstream of a fabric filter.....	114
Table 3.21:	Ranges of emission values from firing processes downstream of the respective filter systems .....	114
Table 3.22:	Dust emission values of screening units.....	114

Table 3.23:	Effluent values of wet scrubbers.....	115
Table 3.24:	Raw material mix in the production of expanded clay aggregates .....	115
Table 3.25:	Operating data and raw gas values of spray drying units .....	116
Table 3.26:	Operating data and raw gas values of dryers .....	117
Table 3.27:	Operating data and raw gas values in firing .....	117
Table 3.28:	Gaseous emissions from the various phases of wall and floor tile manufacturing processes. Pollutant emission factors for uncontrolled (UC) and controlled (C) emissions .....	118
Table 3.29:	Chemical analysis of untreated process waste water .....	119
Table 3.30:	Ranges of the main chemical components of sludge (manufacture of wall and floor tiles) .....	119
Table 3.31:	Examples of specific energy requirements of different kilns .....	120
Table 3.32:	Comparison of the specific consumption of thermal energy and electrical energy per process step.....	120
Table 3.33:	Operating data and clean gas dust emission values of a spray dryer .....	121
Table 3.34:	Raw gas values and operating data in household ceramics firing.....	122
Table 3.35:	Raw and clean gas values of a one time firing process of household ceramics .....	122
Table 3.36:	Ceramic pigment systems used for decoration colours.....	123
Table 3.37:	Concentrations of heavy metals in the raw gas of decoration firing.....	123
Table 3.38:	Process waste water analysis of a porcelain tableware manufacturer .....	124
Table 3.39:	Process waste water analysis of a household ceramics plant.....	124
Table 3.40:	Thermal and electrical energy consumption data of a porcelain tableware manufacturer .....	125
Table 3.41:	Example of raw and clean gas compositions from one tunnel kiln.....	127
Table 3.42:	Raw gas concentrations of tunnel and shuttle kilns .....	127
Table 3.43:	Examples of clean gas concentrations of two sanitaryware plants .....	128
Table 3.44:	Pollutant concentrations in cleaned process waste water.....	128
Table 3.45:	Operating data and throughput of different kilns.....	129
Table 3.46:	Energy consumption data .....	129
Table 3.47:	Raw gas concentrations in the firing of electrical insulators .....	131
Table 3.48:	Flue-gas concentrations from a shuttle kiln during the firing of electrical insulators.....	131
Table 3.49:	Concentrations in cleaned process waste water from an electrical insulator manufacturer .....	132
Table 3.50:	Concentrations in process waste water from an electric insulator manufacturer after flocculation.....	132
Table 3.51:	Concentrations in cleaned process waste water from a manufacturer of piezoceramic products .....	133
Table 3.52:	Energy consumption data from two electroporcelain plants.....	133
Table 3.53:	Raw material compositions for the manufacture of electroporcelain .....	134
Table 3.54:	Examples of flue-gas values from three plants in which inorganic bonded abrasives are manufactured .....	135
Table 3.55:	Overall energy consumption data from three inorganic bonded abrasives manufacturers .....	136
Table 3.56:	Raw material consumption data from three inorganic bonded abrasives manufacturers .....	136
Tabelle 4.1:	Struktur der Informationen zu den in diesem Kapitel beschriebenen Techniken .....	137
Tabelle 4.2:	Beispiele für die Temperaturbeständigkeit und den Preis von Filterschläuchen .....	150
Tabelle 4.3:	Beispiele für Betriebskosten für die Staubabscheidung mit Gewebefiltern.....	150
Tabelle 4.4:	Betriebsdaten und Kosten von Elektrofiltern.....	154
Tabelle 4.5:	Technische Parameter, Wirkungsgrade, Verbrauchs- und Kostendaten für Abgasreinigungstechniken.....	178
Tabelle 4.6:	Minderungsgrade in Abhängigkeit vom Schwefelgehalt des Rohmaterials .....	179
Tabelle 4.7:	Kosten hinsichtlich der Minderung von Staub, anorganischen gasförmigen Verbindungen und organischen gasförmigen Verbindungen bei Einsatz verschiedener Minderungstechniken .....	181
Tabelle 4.8:	Erreichbare Wasserwiederverwendungsraten in verschiedenen Sektoren der Keramikindustrie .....	183
Tabelle 5.1:	Mit BVT assoziierte Emissionswerte für gasförmige Verbindungen aus den Abgasen der Brennöfen .....	207
Tabelle 5.2:	Mit BVT assoziierte Emissionswerte (BAT-AEL) für Schadstoffgehalte von Abwassereinleitungen.....	207
Table 7.1:	Timing of the work process on the BREF on Ceramic Manufacturing .....	221



## GELTUNGSBEREICH

Dieses Dokument bezieht sich auf die in Anhang I Abschnitt 3.5 der Richtlinie 96/61/EG genannten industriellen Tätigkeiten, namentlich:

„3.5. Anlagen zur Herstellung von keramischen Erzeugnissen durch Brennen, und zwar insbesondere von Dachziegeln, Ziegelsteinen, feuerfesten Steinen, Fliesen, Steinzeug oder Porzellan mit einer Produktionskapazität von über 75 t pro Tag und/oder einer Ofenkapazität von über 4 m<sup>3</sup> und einer Besatzdichte von über 300 kg/m<sup>3</sup>“.

Für die Zwecke dieses Dokuments werden die unter diese Beschreibung fallenden industriellen Tätigkeiten als “Keramikindustrie” bezeichnet.

Die verschiedenen Sektoren der Keramikindustrie umfassen eine weite Spanne von Rohmaterialien und Produktionstechniken, beruhen aber alle auf einer Auswahl von Tonen oder anderen vorwiegend anorganischen Materialien, welche verarbeitet, getrocknet und dann gebrannt werden. Die Hauptsektoren – unterschieden nach der Art der hergestellten keramischen Erzeugnisse – sind wie folgt:

- Wand- und Bodenfliesen
- Ziegelsteine und Dachziegel
- Tafelgeschirr und Dekorationsartikel (Haushaltskeramik)
- Feuerfeste Erzeugnisse
- Sanitärkeramik
- Technische Keramik
- Steinzeugrohre
- Blähtonerzeugnisse
- Keramisch gebundene Schleifmittel.

Zusätzlich zu den grundlegenden Herstellungstätigkeiten deckt dieses Dokument auch die unmittelbar damit verbundenen Tätigkeiten ab, soweit sie Auswirkungen auf die Emissionen oder Umweltbelastungen haben können. Daher schließt dieses Dokument Tätigkeiten von der Aufbereitung der Rohmaterialien bis zur Auslieferung der fertigen Erzeugnisse ein. Bestimmte Tätigkeiten werden nicht behandelt, weil sie als nicht unmittelbar mit der Primärtätigkeit verbunden angesehen werden. Zum Beispiel wird die Gewinnung der Rohmaterialien nicht behandelt. Die behandelten Tätigkeiten umfassen:

- Auswahl und Vorbereitung der Rohmaterialien – hauptsächlich auf der Basis von Tonen und/oder anderen anorganischen Materialien
- Formgebung der Ware – üblicherweise aus Rohmaterialien im plastischen Zustand
- Trocknung der Ware und gegebenenfalls Beschichtung
- Brennen im Ofen zum Zweck der Sinterung/Verglasung
- Nachbehandlung und Verpackung.





# 1 GENERAL INFORMATION ON CERAMIC MANUFACTURING

## 1.1 Historical origins

The term 'ceramics' is derived from the Greek 'keramos' meaning 'burned earth' and is used to describe materials of the pottery industry. Recent research shows that the processing of clay started around 19000 BC. The oldest findings of pottery in southern Japan are dated between 8000 BC and 9000 BC. As early as 4000 BC fired bricks were used for the construction of temple towers, palaces and fortifications. More than 2000 years ago the Romans spread the technique of brick making into large parts of Europe. In Egypt, glazed ceramic plates were used as wall decorations for the pyramids in 2600 BC and in China, the art of china porcelain making has been known since 1000 BC.

## 1.2 Characteristics of ceramics

Generally the term 'ceramics' (ceramic products) is used for inorganic materials (with possibly some organic content), made up of non-metallic compounds and made permanent by a firing process. In addition to clay based materials, today ceramics include a multitude of products with a small fraction of clay or none at all. Ceramics can be glazed or unglazed, porous or vitrified.

Firing of ceramic bodies induces time-temperature transformation of the constituent minerals, usually into a mixture of new minerals and glassy phases. Characteristic properties of ceramic products include high strength, wear resistance, long service life, chemical inertness and non-toxicity, resistance to heat and fire, (usually) electrical resistance and sometimes also a specific porosity.

The main steps in the manufacture of ceramic products are largely independent of the materials used and the final product. The following figure schematically shows the typical process and possible or necessary supply and disposal facilities. The process is made up of the steps: mining/quarrying of raw materials and transport to the ceramic plant (neither of these two steps is covered in this document), storage of raw materials, preparation of raw materials, shaping, drying, surface treatment, firing and subsequent treatment [23, TWG Ceramics, 2005].

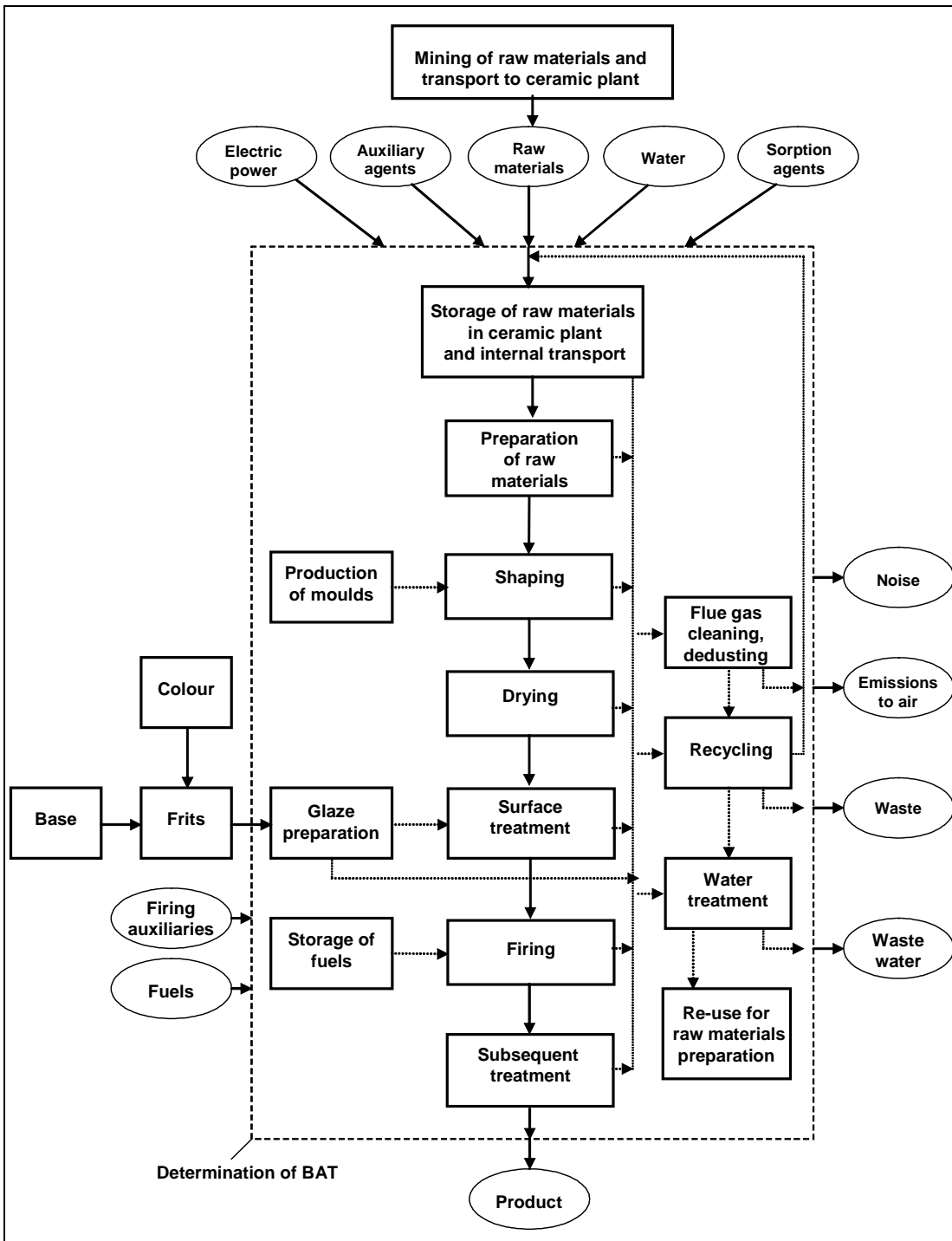


Figure 1.1: Stages in the manufacture of ceramic products

The best available techniques for integrated environmental protection in the ceramic industry named in this document are related to the processes employed within the bordered area.

### 1.3 Geographical distribution and general economic considerations

Clay raw materials are widely distributed throughout Europe, so ceramic products like bricks which are relatively inexpensive (but which incur high transport costs due to their weight) are manufactured in virtually all Member States. Building traditions and heritage considerations result in different unit sizes from country to country. More specialised products which command higher prices tend to be mainly produced in a few countries, which have the necessary special raw materials and – equally important – traditions of skill and expertise. For example, a large percentage of ceramic tiles are manufactured in Italy and Spain; tableware in the United Kingdom, Germany and France; vitrified clay pipes in Germany, United Kingdom, Belgium and the Netherlands.

There is considerable international trade in wall and floor tiles, refractory products, table- and ornamentalware, technical ceramics, vitrified clay pipes and sanitaryware.

The importance of the ceramic industry in terms of employment and economics is shown in the following table [20, CERAME-UNIE, 2004], [23, TWG Ceramics, 2005], [26, UBA, 2005], [30, TWG Ceramics, 2005].

Sector of Ceramic industry	EU-15 Output 2000 (x million tonnes)	EU-15 sales 2003 (x million EUR)	Manpower 2003 (x 1000)
Wall and floor tiles	25.0	10100	69
Bricks and roof tiles	55.0	6800	50
Table- and ornamentalware	0.5	2000	48
Refractory products	4.5	3100	18
Sanitaryware	0.5	1900	25
Technical ceramics	0.15	2000	9
Vitrified clay pipes	0.7	300	2
Expanded clay aggregates (2002)	3.0	300	2.5
Inorganic bonded abrasives (2003)	0.04	260	3.1

**Table 1.1: Ceramics output, sales and employment figures**

## 1.4 Key environmental issues

Depending on the specific production processes, plants making ceramic products cause emissions to be released into air, water and land (waste). Additionally, the environment can be affected by noise and unpleasant smells. The type and quantity of air pollution, wastes and waste water depend on different parameters. These parameters are, e.g. the raw materials used, the auxiliary agents employed, the fuels used and the production methods:

- emissions to air: particulate matter/dust can arise from the handling or processing of raw materials or product finishing and also soot can arise from firing fuel oil or different solid fuels. Gaseous emissions arise during the firing or spray-drying of ceramics and may be derived from the raw materials and/or from the fuels employed. Carbon oxides, nitrogen oxides, sulphur oxides, inorganic fluorine and chlorine compounds, as well as organic compounds are of particular importance among the gaseous emissions. Due to the use of substances for decorative purposes which contain heavy metals, or due to the usage of heavy oil as fuel, heavy metals can also be emitted
- emissions to water: these mainly occur during the manufacturing processes of ceramic products, especially during the manufacture of traditional ceramics, and the resulting process waste water mainly contains mineral components (insoluble particulate matter). Depending on the production method, the process waste water also contains further inorganic materials, small quantities of numerous organic materials as well as some heavy metals. Apart from process water, which often is cleaned and re-used in closed circuits, also cooling water, rainwater and sanitary waste water may contribute to the emission to water from the plant
- process losses/waste: process losses originating from the manufacture of ceramic products, mainly consist of the following materials:
  - different kinds of sludge (sludge from process waste water treatment, glazing sludge, plaster sludge, grinding sludge)
  - broken ware from shaping, drying, firing and refractory material
  - dust from flue-gas cleaning and dedusting units
  - used plaster moulds
  - used sorption agents (granular limestone, limestone dust)
  - packaging waste (plastic, wood, metal, paper, etc.)
  - solid residues, e.g. ashes arise from firing with solid fuels.

Parts of the accumulated process losses mentioned above, can be recycled and re-used within the plant due to product specifications or process requirements. Materials, which cannot be recycled internally, leave the plant as waste and are supplied to external recycling or disposal facilities.

- energy consumption/CO<sub>2</sub> emissions: all sectors of the ceramic industry are energy intensive, as a key part of the process involves drying followed by firing to temperatures of between 800 and 2000 °C. For the manufacture of porcelain, energy accounts for between less than 10 to 18 % of the total costs. For the manufacture of bricks, the share of the energy costs varies between 17 and 25 % with maximum levels of up to 30 %.

The following table shows the specific energy consumption in the ceramics industry in Europe [30, TWG Ceramics, 2005]:

Sector	Unit	1980	1985	1990	1995	2000	2003
Brick and roof tiles	GJ/t	2.65	2.45	2.19	2.06	2.38	2.31
Wall and floor tiles	GJ/t	11.78	9.16	6.76	5.45	5.74	5.60
Refractory products	GJ/t	4.88	4.96	6.51	4.91	5.41	5.57
Sanitaryware	GJ/t	26.56	24.214	22.27	22.76	20.88	21.87
Vitrified clay pipes	GJ/t			5.75	5.77	6.1	5.23
Table- and ornamentalware	GJ/t			47.56	38.91	43.46	45.18
Technical ceramics	GJ/t					34.72	50.39

**Table 1.2: Specific energy consumption in the ceramics industry in Europe**

Today natural gas, liquefied petroleum gas (propane and butane) and fuel oil EL are mainly used for firing, while heavy fuel oil, liquefied natural gas (LNG), biogas/biomass, electricity and solid fuels (e.g. coal, petroleum coke) can also play a role as energy sources for burners. The use of heavy fuel oil, coal and petroleum coke is limited mainly to brickworks.

In the following table the share of the different fuels in the total fuel consumption (without electricity) in Germany is listed according to the different sectors [4, UBA, 2001], [30, TWG Ceramics, 2005].

Sector	Natural gas (%)	Fuel oil EL (%)	Heavy fuel oil (%)	Other (%)
Household ceramics	98.0	1.6	-	0.4
Sanitaryware	97.7	2.3	-	-
Technical ceramics	96.2	3.6	-	0.2
Refractory products	90.2	7.3	0.1	2.4
Wall and floor tiles	98.1	1.1	0.8	-
Bricks and roof tiles	88.6	5.3	5.3	0.8
Vitrified clay pipes	100	-	-	-
Expanded clay aggregates <sup>1)</sup>	-	-	-	-
Inorganic bonded abrasives <sup>2)</sup>	90.6	9.4	-	-
<sup>1)</sup> no data available				
<sup>2)</sup> VDI estimated values for Germany				

**Table 1.3: Share of used fuels in Germany per sector in 1998**

## 1.5 Ceramics sectors

The fundamental methods and steps in the production processes hardly differ in the manufacture of the various ceramic products, besides the fact that, for the manufacture of, e.g. wall and floor tiles, table- and ornamentalware (household ceramics), sanitaryware and also technical ceramics, often a multiple stage firing process is used. This is one historical reason why the various ceramics sectors can be summarised in two groups, the group of 'coarse' or 'construction' ceramics including the bricks and roof tiles, vitrified clay pipes, refractory products and expanded clay aggregates sectors and the group of 'fine' or 'traditional and industrial ceramics', including the wall and floor tiles, table- and ornamentalware, sanitaryware, technical ceramics and inorganic bonded abrasives sectors.

The technical realisation, however, can be very different, according to specific requirements of the products and the characteristics of the raw materials used. For example, there are various continuously operated (e.g. tunnel kilns) and periodically operated (e.g. shuttle kilns) kilns used for firing the same or different ceramic products.

Products of the 'fine' or 'traditional and industrial' ceramic industry differ from products of the 'coarse or construction' ceramic industry in principle in their texture. The border between 'fine' or 'traditional and industrial' and 'coarse' or 'construction' ceramics varies between equivalent particle diameters of 0.1 and 0.2 mm. 'Coarse' or 'construction' ceramic products show an inhomogeneity of more than 0.2 mm but the borderline between 'fine' or 'traditional and industrial' and 'coarse' or 'construction' ceramics is not really fixed today. For example, the processing technology for 'fine' or 'traditional and industrial' ceramics is used for the production of super refractory products. Therefore this document does not follow the above-mentioned distinction between the two groups, but only distinguishes between the following nine sectors of ceramic products [32, TWG Ceramics, 2006]:

- bricks and roof tiles
- vitrified clay pipes
- refractory products
- expanded clay aggregates
- wall and floor tiles
- table- and ornamental ware (household ceramics)
- sanitaryware
- technical ceramics
- inorganic bonded abrasives.

### 1.5.1 Bricks and roof tiles

Brick products are produced in large quantities, which are used as materials in numerous branches of building and contracting. For the most part, bricks and tiles are not designated according to the shaping technique used, but according to the intended application:

- building bricks (e.g. clay blocks, facing bricks, engineering bricks ('klinker bricks') and lightweight bricks)
- roof tiles (e.g. extruded tiles, pressed tiles)
- paving bricks
- chimney bricks (e.g. chimney pipes).

Due to the different techniques in manufacture, different types of brickyards have specialised in various groups of products, e.g. clay roof tile works and building bricks works.

In 2003, the European clay brick and roof tile industry had total sales of around EUR 6800 million and a labour force of around 50000 [20, CERAME-UNIE, 2004], [23, TWG Ceramics, 2005].

There are variations in the number of clay brick works, paving works and roof tile works as follows:

Italy has the highest amount of factories, i.e. 238 works, followed by Germany (183), Portugal (150), France (136) and the United Kingdom (134). Less than 70 factories are operational in other countries like the Netherlands (58), Belgium (40), Austria (30), Switzerland (27) and Denmark (26).

The average number of brick works per million inhabitants is as follows:

Portugal (1.5), Denmark (5.1), Italy (4.1), Belgium (4.0), Austria (3.8), Switzerland (3.7), the Netherlands (3.7), United Kingdom (2.3), France (2.3) and Germany (2.2).

A comparison of the data [3, CERAME-UNIE, 2003] related to inhabitants in the following countries (situation in 2001) indicates:

- roof tile production is high in France (0.89 m<sup>2</sup> per inhabitant) followed by Italy (0.61), Germany (0.54), Spain (0.5), Switzerland (0.48), Denmark (0.4) and Austria (0.28). In other countries, e.g. United Kingdom and Belgium, the production of roof tiles is much lower. Finland and Norway do not produce roof tiles
- bricks and blocks are manufactured in each country of EU-15. The highest production is recorded in Belgium (0.29 m<sup>3</sup> per inhabitant), followed by Spain (0.28), Italy (0.26), Austria (0.24), Germany (0.17), Switzerland (0.08) and with lower values in the other countries.

Perforated units are important, e.g. in Austria (97 %), Germany (87 %); facing bricks in the Netherlands (94 %), United Kingdom (82 %) and Denmark (85 %). Hollow units are favoured in France (63 %) and Italy (62 %).

The average number of employees per factory varies between the different European States:

- United Kingdom (66)
- Belgium (44)
- France (39) and the Netherlands (38)
- Austria (35), Germany (34) and Italy (34)
- Switzerland (24) and Denmark (21).

## 1.5.2 Vitrified clay pipes

Vitrified clay pipes and fittings are used for drains and sewers, but also tanks for acids and products for stables. The annual production in 2000 in EU-15 amounted to 708000 tonnes [3, CERAME-UNIE, 2003] [4, UBA, 2001].

Production plants are situated in Belgium, Germany, Italy, Netherlands and the United Kingdom. Their products are delivered to all EU-15 Member States on the basis of a European Standard EN 295, which was ratified in 1991 and meanwhile implemented in all EU-15 and EFTA member states and in some other associated CEN Member States.

In this document, the term ‘pipes’ is used to include fittings which together are needed to form a pipeline for sewage transportation, buried in the ground.

The following table shows general information about the vitrified clay pipes industry in Europe, in the year 2000 [3, CERAME-UNIE, 2003], [30, TWG Ceramics, 2005].

Country	BE	DE	IT	NL	UK	EU-15
Number of inhabitants (10 <sup>6</sup> )	10	82	57.5	15.7	58.5	
Number of plants *)	1	8	1	2	5	17
Annual sales of pipes and fittings (tonnes)	115000	208000	74000	102000	209000	708000
Total number of employees	250	500	150	213	800	1913
Average staff per plant	377	115	207	107	220	166
*) The plants may operate more than one kiln						

**Table 1.4:** The vitrified clay pipes industry in Europe

### 1.5.3 Refractory products

Refractory products are ceramic materials capable of withstanding temperatures above 1500 °C. Numerous refractory products in a wide variety of shapes and forms are used in many industrial applications of the steel, iron, cement, lime, glass, ceramic, aluminium, copper and petrochemicals industries, in incinerators, power plants, and house heating systems including night storage heater blocks. They are vital to high temperature processes and resist all types of stresses (mechanical, thermal, chemical) such as erosion, creeping deformation, corrosion and thermal shocks.

The resistance of refractory materials to high temperatures is defined so that their softening point is not less than 1500 °C. A classification of ‘refractory materials’ with a softening point of between 1500 and 1800 °C and ‘high refractory materials’ with a softening point of more than 1800 °C is commonly used [23, TWG Ceramics, 2005].

Initially based on using higher purity clays as raw materials, refractory manufacture is now based on the use of a great diversity of raw materials which can be both natural and synthetic. Many are imported from countries outside Europe.

The demand for refractory products is closely linked to the levels of production and investment occurring in the consuming industries. For instance, the quantity of refractory materials consumed per tonne of manufactured products such as steel or cement has greatly decreased over the past decade because of technical innovation and processes. Longer lifetimes for the linings of steelmaking furnaces or for casting ladles along with less time for their repair and maintenance, markedly improved the productivity for the industries which use them.

Refractory products are usually applied in industries that are major energy consumers like the metals, the cement, the petrochemical and the glass industries. As the quality of the lining of the furnaces is very important for the energy efficiency of their processes, the refractories industry has a considerable impact on the energy efficiency of these industries. The continuous improvement of refractory products leads – through better insulation and longer lifetimes of the lining – to a decreasing specific energy consumption of the operations of the consuming industries.

The manufacture of refractory products in the EU-15 is the most important worldwide with a total production in 2001 of 4.6 million tonnes (the German industry being the leader with an estimated total production of 1.5 million tonnes) corresponding to approximately EUR 3300 million in 2002. About 65 % of this amount relates to iron and steel production; 5 to 8 % to the production of cement, glass, ceramics and the rest to non-ferrous metallurgy, chemical, petrochemical, energy production and incineration. In 2002, the EU-15 industry was employing 18505 people [20, CERAME-UNIE, 2004], [12, CTCV, 2004].

The following table shows the EU-15 manufacture of refractory products for the year 2001/2002 [20, CERAME-UNIE, 2004], [21, Almeida, 2004].

Countries	2002 Total Production (10 <sup>3</sup> tonnes)
Austria (2001)	710
Benelux	n.a.
France	524
Germany	931
Greece (2001)	33
Italy	556
Nordic Countries (2001)	147
Portugal	23
Spain	417
United Kingdom	204

**Table 1.5: EU-15 manufacture of refractory products in 2001/2002**



### 1.5.4 Expanded clay aggregates

Expanded clay aggregates are porous ceramic products with a uniform pore structure of fine, closed cells and with a densely sintered, firm external skin. They are manufactured from raw materials containing clay minerals. The raw material is prepared, moulded and then subjected to a firing process at temperatures of between 1100 and 1300 °C, resulting in a significant increase in volume due to expansion.

The products can be manufactured in any quantity and with precisely adjustable grain size and characteristics to meet a wide range of technical requirements for numerous areas of application.

They are used as loose or cement bound material for the construction industry (for instance loose fillings, lightweight concrete, blocks and other prefabricated lightweight concrete components, structural lightweight concrete for on-site processing) and also loose material in garden and landscape design (e.g. embankment fillings in road construction, substrates for green roofs, filter and drainage fillings).

The diverse range of industrially produced lightweight aggregates (LWA) covers a wide spectrum of technical characteristics. Properties such as grain size, porosity, weight and grain strength can be controlled during the manufacturing processes. Aggregates with grain densities of between 0.15 and 1.7 kg/dm<sup>3</sup> are available to suit a wide range of requirements and applications. These lightweight aggregates have excellent insulating characteristics. This is due to the large number of finely distributed pores inside the material. Thermal conductivity values for loose fills of industrially produced lightweight aggregates range from 0.07 to 0.18 W/(mK), depending on the grain size and density of the respective material. Standardised granulometry is described in EN 13055 – 1 and EN 13055 – 2.

In addition to expanded clay aggregates, industrially produced lightweight aggregates also include expanded slate and shale, bottom ash, sintered hard coal flue dust and expanded glass, but this document do not deal with these other product groups.

Manufacturers of expanded clay aggregates are to be found in Denmark, Germany, Sweden, Norway, Finland, Estonia, Belgium, Austria, Poland, Spain, Italy, Portugal and in the Czech Republic. In central and eastern Europe, expanded clay is usually known under the name 'keramzit'. The total plant capacity in Europe is estimated to be around 10 million cubic metres.

### 1.5.5 Wall and floor tiles

Ceramic tiles (see EN 14411) are thin slabs made from clays and/or other inorganic materials, generally used as coverings for floors and walls. Ceramic tiles are usually shaped by extrusion or dust pressing at room temperature, then dried and subsequently fired at temperatures sufficient to develop the required properties.

The most common tile shapes are squares and rectangles, but other polygonal shapes (hexagons, octagons, etc.) are also available. As for size, tile sides range from only a few centimetres (mosaics) to slabs with 60 – 100 cm sides. Thickness ranges from around 5 mm for wall tiles to over 25 mm for some extruded tiles.

There are several types of ceramic tiles available on the market: shaped through dust pressing or extrusion; with porous, compact or vitrified bodies; with white (whitish) or coloured (reddish) bodies; unglazed or glazed.

The types of ceramic tiles manufactured in the Member States are similar; however, they differ in some characteristics due to cultural, formal, functional, commercial or technical reasons. Therefore it is difficult to establish the equivalence between the different types of products and their designations in the different Member States.

To overcome this difficulty, a general classification of ceramic tiles has been adopted in European and International standardisation. According to EN 14411, ceramic tiles are divided into nine groups, according to their method of manufacture (shaping method) and their water absorption. Water absorption is associated with the porosity of the material: high water absorption means high porosity, while low water absorption is associated with a compact, vitrified structure.

This classification is assumed as general reference in this document. However, the nine groups specified do not reflect significant differences as far as the environmental aspects discussed in this document are concerned. Therefore, for the specific purpose of this document, the following simplified classifications, as shown in the following table, will be used [3, CERAME-UNIE, 2003]. Some ceramic tiles are not considered in this classification, because in total they represent a very minor part as their production process and characteristics are quite different, and no significant or useful information is available.

Class	Description/specification
A	Extruded tiles
B1a	Dust pressed tiles with impervious body
B1b-BII	Dust pressed tiles with compact body
BIII	Dust pressed tiles with porous body

**Table 1.6: Simplified classification of ceramic tiles**

Ceramic wall and floor tiles are important wall and floor covering products used in the building and housing industry and, therefore, the maintenance and renovation market is of special importance to these products. Other applications are, e.g. the use of tiles for external facades, swimming pools and public areas.

The European industry sells tiles worldwide, being by far the biggest exporter. A quarter of the European production is exported to countries outside the EU-15: the European industry takes a ¾ share of international trade in tiles. In 2001, the European industry sold close to 1400 million m<sup>2</sup> of tiles for a total value of EUR 10000 million. Around 71000 people were employed by the industry in that year [3, CERAME-UNIE, 2003]. An important part of the industry is concentrated in two regions: the Sassuolo region in Italy (Emilia-Romagna) and Castellón in Spain (Comunidad de Valencia).

For the manufacture of tiles, highly refined clays are being used, which in most cases can be obtained in Europe itself. In addition, a variety of substances are being used for glazing purposes. Energy can be considered as a raw material as well, as it transforms the clays into ceramics through firing. Energy sources used are mainly natural gas and electricity.

The following table shows the energy consumption per Member State [20, CERAME-UNIE, 2004], [21, Almeida, 2004].

Countries	1980	1990	1997	2001
DE				7.58
EL	11.61	8.68	8.1	
ES	15.78	7.00	5.49	5.78
FR	6.97	5.84	5.71	6.42
IT	11.22	6.19	5.12	5.48
NL	10.94	8.46	8.76	
PT			6.20	6.00
UK	18.05	13.15	11.33	

**Table 1.7: Energy consumption per Member State (specific energy consumption in TJ per 1000 tonnes produced)**

### 1.5.6 Table- and ornamentalware (household ceramics)

The manufacture of household ceramics covers tableware, artificial and fancy goods made of porcelain, earthenware and fine stoneware. Typical products are plates, dishes, cups, bowls, jugs and vases.

The total production is small compared with other major industrial ceramic products, see Table 1.1. Tableware and ornamentalware have a completely different value to weight ratio.

Table- and ornamentalware conform to the general description of processes which apply to all ceramics. The following table summarises the output of the different wares [20, CERAME-UNIE, 2004], [21, Almeida, 2004].

Countries	Wares	Tonnes per year
Germany	Tableware from porcelain	69000
	other tableware	4000
	ornamentalware	estimated 500
Luxembourg	Total tableware	5370
The Netherlands	Tableware (earthenware, china, vitrified hotelware)	5500
	ornamentalware	250
Portugal	Total tableware and ornamental ware	90000
United Kingdom (2001)	Total tableware and ornamentalware	86000

**Table 1.8: Output of table- and ornamentalware**

### 1.5.7 Sanitaryware

Ceramic goods used for sanitary purposes are all included under the collective name sanitaryware. Typical sanitary ceramic products are lavatory bowls, bidets, wash basins, cisterns and drinking fountains. These products are mainly made of vitreous china (semi-porcelain) or earthenware.

The total production is small compared with other major industrial ceramic products, e.g. bricks or refractory products, see Table 1.1. Sanitaryware has a completely different value to weight ratio than bricks or refractory products.

The manufacture of sanitaryware follows processes similar to those which apply to all the other ceramic products. The raw materials are mixed with water to produce a clay slip of the required characteristics. The clay slip is then stored in tanks and used for slip casting in separate moulds or in pressure casting machines. The product is produced directly from the pressure casting machines or is released from the moulds used for the slip casting process. Pieces must be dried before they can be worked further, or transported.

Glazing is applied directly to the clay surface and fired at the appropriate temperature of the product concerned; normally between approximately 1200 – 1210 °C for vitreous china and at about 1220 °C for fireclay.

Spraying of the glaze provides the colour and ‘vibrancy’ to the underlying shape. The colour or colour combinations required are achieved by using pigments in association with the glaze. The majority of pigments are metal oxides. The quantities of pigments used are minimal compared with the weight of raw materials (clays) and other constituents.

The finished product enters the warehouse or storage facility for selection, dispatch and distribution.

### 1.5.8 Technical ceramics

The European manufacturers of technical ceramics produce a great variety of products, which at least in part are based on clays, but also on synthetic raw materials. Like in the other ceramic sectors, the raw materials are fired in kilns, using mainly natural gas, but also electricity (2003: approx. 2/3 gas and 1/3 electricity), in the process.

Technical ceramics are applied in many industries and cover both, established products like insulators and new applications. They supply elements for the aerospace and automotive industries (engine parts, catalyst carriers), electronics (capacitors, piezo-electrics), biomedical products (bone replacement), environment protection (filters) and many others.

Important manufacturers of technical ceramics are to be found in Germany, the United Kingdom, France and the Netherlands.

Due to the high added value of some products of technical ceramics, parts of this industry are not so highly energy intensive in relation to the turnover than other sectors. Relative to the mass, the consumption of energy is comparable. The European industry had an estimated total sales level of EUR 2500 million in 2001. While no precise data are available on total production in volume they were estimated to be at around 0.15 million tonnes in 2003 for the whole European industry [3, CERAME-UNIE, 2003] [23, TWG Ceramics, 2005].

### 1.5.9 Inorganic bonded abrasives

A principal characteristic of grinding – one of the oldest known production processes – is the effect of numerous, not orientated cutting materials in the workpiece. Abrasive products, which apply this principal characteristic, are tools widely used in working every kind of materials: not only grinding, but also cutting-off, polishing, dressing, sharpening, etc. for metals, plastics, wood, glass, stones etc.

Basically, a distinction can be made between bonded abrasives ('grinding wheels') and coated abrasives ('abrasive paper and tissues'). Furthermore, loose abrasives exist, which do not have any solid linkage to a backing (e.g. polishing pastes). This document only deals with 'inorganic bonded abrasives', a subgroup of the bonded abrasives.

An inorganic bonded abrasive (or 'vitrified bonded grinding wheel' as manufacturers say) is a tool where a synthetic abrasive – contemporary abrasive materials are special fused alumina, synthetic corundum, silicon carbide, cubic boron nitride (CBN) or diamond, pre-screened in uniform grit size – is blended with a vitrified bond (the normal ratio by weight is nine parts of abrasive to one part of body).

Then the product is fired at a temperature at which the body (e.g. glass, clay), that constitutes the bonding element, vitrifies and, after cooling down, binds together the abrasive grains [14, UBA, 2004], [23, TWG Ceramics, 2005], [30, TWG Ceramics, 2005].

## 2 APPLIED PROCESSES AND TECHNIQUES IN CERAMIC MANUFACTURING

### 2.1 Raw materials

A wide range of materials is employed by the ceramic industry to match the diversity of its product range. Both natural and synthetic materials are used, many produced within Europe but a few are imported. Sectoral needs are different and details of raw materials are listed in the chapters regarding the different sectors.

Formulas (or bodies) of clay based ceramics may consist of one single clay or more clays, mixed with mineral modifiers, so-called 'non-plastics', such as powdered quartz and feldspar.

Common clay minerals ('plastic clays') are hydrated aluminium silicates that have resulted from the weathering of rocks and there are two structural units involved in most clay mineral lattices. One is the 'silica sheet' formed of tetrahedra consisting of a  $\text{Si}^{4+}$  surrounded by four oxygen ions. The other structural unit is the 'aluminium hydroxide or gibbsite sheet', consisting of octahedra in which an  $\text{Al}^{3+}$  ion is surrounded by six hydroxyl groups. These octahedral sheets condense with the silica sheets to form the clay minerals.

There are a number of mineral species called clay minerals, but the most important are 'kaolinite',  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , 'montmorillonite',  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$  and 'halloysite',  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  [8, Ullmann's, 2001], [11, Shreve, 1945].

Advanced ceramic products, which contain only a small fraction of clay or none at all, are based on the following materials: oxides, carbides, nitrides and borides of Al, Mg, Mn, Ni, Si, Ti, W, Zr and other metal ions. Typical examples are  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (alumina), MgO (periclase or dead burned magnesia), SiC (silicon carbide), TiN (titanium nitride) and  $\text{WB}_2$  (tungsten boride) [8, Ullmann's, 2001].

Clays or argilliferous materials (sedimentary clays, schistous clay, loamy clay, marl) are mostly used for the manufacture of bricks, roof tiles and clay pipes. Organic additives (sawdust, paper binding substances, formed polystyrene) or inorganic auxiliary agents such as kieselguhr or perlite can be added in order to obtain a greater pore volume. In the facing brick and roof tile industry, metallic oxides such as  $\text{MnO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , chromites, and minerals such as  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{CaMgCO}_3$  can be added to obtain the desired colour and/or to enhance porosity of the finished product.  $\text{BaCO}_3$  can be added to reduce efflorescence. Such additives are added just before the shaping process, or in the raw material preparation, either in solid or liquid form.

Refractory products consist of clay, chamotte (calcined and crushed raw plastic clay) and certain natural rocks such as quartzite, dolomite, bauxite and magnesite, but also of the above-mentioned synthetic materials, as for example sintered corundum, silicon carbide or spinels. In order to produce compressible masses, binders and aggregates are added to the milled raw materials.

The expanded clay industry uses clays with a specific expandability. Additives (e.g. flux, expansion aids, and release agents) are used for promoting expansion [26, UBA, 2005].

Products manufactured by the wall and floor tiles, household ceramics and sanitaryware industry predominantly consist of aluminium silicates and the clay minerals serve as plastic raw materials. However, technical ceramics and inorganic bonded abrasives often contain only a small amount of clay or in the case of technical ceramics none at all and are, therefore, based on the metal borides, carbides, oxides and nitrides as mentioned above.

Quartz, feldspar, in some cases chalk, dolomite, wollastonite and steatite are used as fillers and fluxing materials. Various ceramic products are glazed or engobed on the visible or whole surface with glaze frits or engobing slips.

In addition to the above-mentioned raw materials and auxiliary agents, additional auxiliary agents, firing auxiliaries, fuels and sorption agents are necessary for the manufacture of ceramics. Organic slip additives and binding agents are employed as auxiliary agents in the shaping process. The firing auxiliaries consist of re-usable fire-proofed capsules, plates and stanchions. Sorption agents such as calcium carbonate, calcium hydroxide and fine chalk are employed in flue-gas treatment.

## 2.2 General production process description

The manufacture of ceramic products takes place in different types of kilns, with a wide range of raw materials and in numerous shapes, sizes and colours. The general process of manufacturing ceramic products, however, is rather uniform, besides the fact that, for the manufacture of wall and floor tiles, table- and ornamentalware (household ceramics), sanitaryware and also technical ceramics, often a multiple stage firing process is used.

In general, raw materials are mixed and cast, pressed or extruded into shape. Water is regularly used for a thorough mixing and shaping. This water is evaporated in dryers and the products are either placed by hand in the kiln (especially in the case of periodically operated kilns) or placed onto carriages that are transferred through continuously operated kilns. In most cases, the kilns are heated with natural gas, but liquefied petroleum gas, fuel oil, coal, petroleum coke, biogas/biomass or electricity are also used.

An irreversible ceramic structure for the product is reached during the firing process in the kiln. This demands a very accurate temperature gradient during firing to ensure that the products obtain the right treatment. Afterwards controlled cooling is necessary, so that the products release their heat gradually and preserve their ceramic structure. Then products are packed and stored for delivery.

In the following Sections 2.2.1 – 2.2.13, the most important units of a ceramic manufacturing plant, as well as the basic steps and variations in the production processes, will be explained [1, BMLFUW, 2003], [2, VITO, 2003], [3, CERAME-UNIE, 2003], [4, UBA, 2001], [5, InfoMil, 2003], [6, Timellini, 2004], [7, Dodd, 1994], [8, Ullmann's, 2001], [10, Navarro, 1998], [13, SYKE, 2004], [14, UBA, 2004], [17, Burkart, 2004], [23, TWG Ceramics, 2005], [26, UBA, 2005], [28, Schorcht, 2005], [29, IMA-Europe, 2005], [30, TWG Ceramics, 2005], [32, TWG Ceramics, 2006].

Regarding the standard conditions for measurements of volume flows and concentrations, see the following definitions, which are also stated in the Glossary:

m <sup>3</sup> /h	volume flow: if not otherwise mentioned in this document, the volume flows refer to 18 vol-% oxygen and standard state.
mg/m <sup>3</sup>	concentration: if not otherwise mentioned in this document, the concentrations of gaseous substances or mixtures of substances refer to dry flue-gas at 18 vol-% oxygen and standard state, and benzene concentrations refer to 15 vol-% oxygen and standard state.
standard state	refers to a temperature of 273 K and a pressure of 1013 hPa.

### **2.2.1 Storage and transport of raw materials**

The mining of clay, kaolin, clayey materials, feldspar, quartz and most of the other raw materials used, usually takes place in mines or quarries and in some cases the clay is also obtained from riversides near the production plant (for instance in the Netherlands). Transportation to the production plant is mainly undertaken by truck but also by railway, or if the mine or quarry is located very near to the production plant, conveyor belts can also be used.

Depending on their characteristics and the stage of processing, the raw materials are stored in open stockpiles, warehouses which are subdivided into boxes, large volume feeders, tempering silos, ageing silos, souring silos or dry silos. The silos are equipped with level indicators, overload valves and filters or gas displacement units, where displaced dusty air is blown off. Some materials are also delivered in liquid or slurry form and therefore are stored in tanks or other vessels.

The equipment for transportation within the plant is chosen according to the characteristics of the material conveyed, such as granularity, resistance to attrition and flowability, temperature, flowrate and the given space. The materials are moved with mine hoists such as bucket elevators, chain conveyors, screw conveyors, pneumatic conveyors and slides. The casting slip is partly pumped through pipelines.

### **2.2.2 Preparation of raw materials**

First size reduction and preliminary homogenisation of raw materials is usually achieved in the quarrying operation, but in order to meet the stringent technical requirements of modern ceramic products, further preparation is necessary. One or more of the following processes described in Sections 2.2.2.1 – 2.2.2.10 may be employed, although not necessarily in the same order.

#### **2.2.2.1 Pre-drying**

Sometimes certain raw materials need to be pre-dried, for instance sand may be dried using fluidised bed technology and also rotary dryers may be used. Many refined ceramic raw materials are purchased from specialist suppliers – usually in a dry state.

#### **2.2.2.2 Pre-blending**

Blending of clays can begin in the quarry, e.g. by selective digging or by stacking the material in superimposed horizontal layers, and then scraping this stockpile vertically to supply feed to the factory.

#### **2.2.2.3 Weathering/souring**

Large quantities of clay and mineral raw materials need to be stored at works producing clay bricks and roof tiles, and initial storage is often in the open air. In certain cases – especially in soft-mud processes – storage for a number of months improves the workability of the clay. The process is known as ‘souring’ and the weathering action is most effective over the winter period.

#### **2.2.2.4 Primary and secondary crushing, grinding and screening**

Coarse primary crushing of relatively dry/brittle clays may be effected by large toothed kibbler rollers, usually located in the quarry, or by large jaw-crushers. Very hard raw materials (often used to manufacture refractory products) are also reduced in size using jaw or cone-crushers, both of which compress the lumps of mineral between a stationary and a moving hard surface.

Hammer mills achieve size reduction by impact forces – pieces of raw material fed into the mill are shattered when struck by the rapidly rotating hammers.

Edge runner mills (e.g. dry or wet pan grinders) are suitable for reducing the particle size of more plastic raw materials. Pans with perforated base plates ensure a defined maximum particle size, and wet pans have the added function of allowing the tempering of clays with added water.

Crushing rollers are widely employed in the heavy clay industry to disintegrate, flatten and homogenise clay particles. Pairs of parallel, smooth hard-steel rollers are driven in opposing directions so that the raw material, fed between the rollers, undergoes nipping, shearing and flattening. Size control is achieved by setting the gap between the rolls.

Clay shredders (and also roller mills) are useful in the case of plastic raw materials, and consist of a rotating slotted drum fitted with cutter knives. The clay lumps are forced through the slots in the form of shavings.

Impact rotor crushers have two rotors carrying bolted-on impactors or ‘shoes’. They rotate towards each other and achieve continuous turning, mixing and disintegration of the feed material.

#### **2.2.2.5 Dry or wet milling (grinding)**

The comminution process described above typically achieves particle sizes of 2 mm or more. Further size reduction is necessary for many ceramic applications, such as wall and floor tiles, refractory products and tableware. Dry or wet roller mills are used to obtain particles of around 1 mm diameter. They consist of rotating vertically orientated rolls operating within an outer ring, and pressure is developed between the roller and ring, e.g. by centrifugal force. Raw material from the primary crushing stage is introduced to the mill with or without water, and ground until the required size grading is achieved. Even finer grinding can be obtained using continuous or batch ball mills (in which hard ceramic spheres are tumbled within horizontally mounted drums).

Ball mills are the normal choice for the ceramic floor and wall tile industry, and when used wet they can produce powders graded below two hundred microns.

#### **2.2.2.6 Dry screening/air classification**

In order to optimise certain properties of ceramics (e.g. density), it is sometimes necessary to blend defined size-gradings of material. Dry screening usually involves vibrating screens, heated electrically to prevent the build-up of material and clogging.

Air classifiers based on separating cyclones may also be used for dry powder sizing. In either case, oversize material is usually fed back to the grinder.



### 2.2.2.7 Spray drying

This process is widely employed in the wall and floor tile industry and also carried out for the manufacture of tableware, technical ceramics and refractory products. The aqueous suspension of raw material resulting from wet ball milling (solids content ~ 60 to 70 %) is sprayed under pressure to produce fine droplets which contact a stream of hot air. Drying of the droplets produces highly uniform, more or less spherical hollow granules (with a moisture content of typically 5.5 to 7 %). This form of powder has high flowability, facilitating accurate filling of the press dies and the subsequent pressing of quite large single tiles. Today, certain companies are specialised in the preparation of spray dried powder. They deliver the prefabricated material directly to the plants of the ceramic industry where further processing then takes place.

### 2.2.2.8 Calcining

Some ceramic raw materials are pre-fired, usually in rotary kilns, tunnel kilns or shaft kilns, to improve their properties. For example, certain oxides (e. g. dolomite, magnesite) need to be 'dead-burned' at high temperatures, sometimes in excess of 1800 °C, in order to make them suitable for refractory manufacture. Calcining of clays (e.g. kaolin) reduces the plastic shrinkage of bodies to which they are added, aiding size control of products and speeding firing cycles. Today, certain companies are specialised in the preparation of calcined raw materials. They deliver the prefabricated material directly to the plants of the ceramic industry where further processing then takes place.

This document does not deal with these upstream raw material calcining processes, but useful information regarding 'dead burned oxides' and 'calcined chamotte, pigments and fillers' can be found in the Cement and Lime BREF – where the calcination of dolomite is described; in the BREF for Management of Tailings and Waste-Rock in Mining Activities – where the processing of kaolin is described; in the draft BREF on Large Volume Inorganic Chemicals (Solids and Others) – where the production of magnesium oxide is described and in the draft BREF on Speciality Inorganic Chemicals, where the production of speciality inorganic pigments is described.

### 2.2.2.9 Synthetic base materials

It should be noted that some synthetic materials such as silicon carbide may be manufactured by specialist suppliers, but may still need to go through the comminution process.

### 2.2.2.10 Frits and glazes, glaze preparation

In ceramic wall and floor tile glazing, raw materials of a glassy nature (frits) are used. Frits are vitreous compounds, insoluble in water, prepared from crystalline materials, made by melting at high temperatures (1500 °C) followed by fast cooling. Frits are supplied to the ceramic tile industry by frit manufacturers (for more information see also the BREF on Glass Manufacturing).

Apart from frits, the major glaze components are silica (glass former), as well as additives that act as fluxes (alkalis, alkaline earths, boron, lead, etc.), opacifiers (zirconium, titanium, etc.), and as colouring agents (iron, chromium, cobalt, manganese, etc.).

In the glaze preparation process, the frit and additives are usually ground in discontinuous drum ball mills until a preset reject is obtained. The glaze passes through vibrating sieves. The conditions of the aqueous suspension are then adjusted. Suspension characteristics will depend on the application method to be used.

A wide variety of glazes are formulated depending on the type of product, firing temperature, and the desired effects and properties of the finished product.

## 2.2.3 Component mixing

### 2.2.3.1 General

Mixing time, intensity and sequence have a significant impact on the properties of the mix and consequently on the ultimate product. The prepared raw materials, in controlled proportions, must be mixed and homogenised to achieve the required physico – chemical uniformity. Depending on the ceramic sector concerned, mixing may range from large scale continuous operations to carefully controlled small scale batch mixing. Proportioning may be on a volume basis (e.g. via box feeders placed on conveyor belts), or by mass (e.g. via screw feeders linked to weigh-belts).

Most ceramic forming operations require raw materials with a defined water or bonder content, and minor additives such as pigments, anti-scum agents and binders must be accurately dosed and then uniformly distributed in the mix. In refractory manufacture, the properties of some products are optimised by the careful blending of several grain size fractions of raw material. Proportioning of the mix components is now often automated, with computer control of the feeder mechanisms allowing rapid alteration of the ‘composition’ for the blend. In some cases, mainly in the manufacture of bricks, the clay is also mixed with solid fuel additives (such as fine coke) to reduce firing times.

### 2.2.3.2 Continuous mixers

Double shaft mixers: these are very widely used in the heavy clay industry and consist of a trough bearing two parallel shafts, which rotate towards each other. The shafts are fitted with paddles and knives, providing a vigorous mixing action. The pitch of the paddles moves the mass forward to the discharge end.

Single shaft mixers: these give gentler mixing than the double shaft version, but are useful for tempering clay mixes with water prior to extrusion. The mixer usually terminates in a screw auger (pug sealer) which compresses the prepared clay mix.

Pan mills (muller mixers): the grinding function of these pans was described in Section 2.2.2.4. In the dry pan version, the pan rotates and the mullers (heavy steel idler-wheels), have a stationary axis, whereas in the case of the wet pan, the pan is stationary and the mullers are driven in a rotary path around the vertical axis. Considerable mixing of clay mix, water and some additives is possible.

Clay shredders and impact rotor crushers: these were also mentioned in Section 2.2.2.4, and again they serve a dual function, giving very good mixing as well as comminution.

### 2.2.3.3 Batch mixers

The Z-blade mixer (dough mixer): there are several designs, but all work on the same principle of cutting and kneading. They usually deal with plastic raw materials, but can handle drier powders.

Drum mixers: these are suitable for mixing relatively dry materials of uniform size. The charged drum is rotated for the requisite time period.

Rotating pan mixers: these operate on the same principle as large concrete mixers, and are best charged with measured amounts of the individual components whilst the pan is moving. Scrapers, ploughs and baffles are used to achieve intimate blending, and these mixers can mix granular clay with fine powders.

Rotating shaft mixers (blungers): in this version, the pan is stationary and a central shaft rotates, usually carrying arms which themselves bear rotating paddles or blades. The latter sweep the base of the pan with a planetary motion, and achieve similar batch mixing efficiency as the rotating pan type.

Stirred tanks: these are employed for mixing a range of aqueous slurries, slips and suspensions used in the ceramic industry. Although suspending agents are normally included, it is frequently necessary to maintain the stirring action until the slips, etc. are used, either in the mixing tank or in a separate storage tank.

## **2.2.4 Shaping/forming of ware**

### **2.2.4.1 General**

Traditional ceramic products were always shaped from raw materials in the plastic state, and for several millennia, this was a manual operation. At the present time, the demand is for ever more stringent technical specifications covering such properties as dimensional tolerance, density, strength, durability and refractoriness. In many cases, aesthetic qualities are also of prime importance. The method of forming the ware can have a profound effect on their ultimate properties, and a wide range of shaping techniques has evolved in the various sectors of the ceramic industry.

### **2.2.4.2 Pressing**

#### **2.2.4.2.1 Mechanical pressing**

This method is still employed for the manufacture of bricks (e.g. semi-dry pressing) and of refractory products. Die boxes are charged with a pre-set volume of clay granules, and pressure is usually applied from above and below, with pistons being driven by cam action and aided by heavy flywheels.

#### **2.2.4.2.2 Hydraulic pressing**

Modern hydraulic presses can provide high compaction force, high productivity, consistency and easy adjustment. Many presses are now fitted with electronic control units, which can check the height of units and automatically adjust the cycle to ensure size uniformity. Such presses can be readily adjusted to meet a variety of requirements, including complicated press programmes such as those used in forming complex refractory shapes. Hydraulic pressing is widely adopted for the shaping of tiles. In the case of ceramic tiles, the moist powder (at 5 – 7 % moisture content) is pressed in shallow dies, whereas clay roof tiles are usually formed by pressing plastic clay 'bats' cut from an extruded column.

#### **2.2.4.2.3 Impact pressing**

This involves a high energy rate forming via pneumatic-mechanical impact between a high velocity ram striking powder in a die. The technique is employed in the manufacture of special refractory products.

#### **2.2.4.2.4 Friction pressing**

Mechanically driven friction (screw) presses are, in general, used for producing refractory shapes, although they are gradually being replaced by hydraulic presses.

### 2.2.4.2.5 Isostatic pressing

Some high quality products require uniform densification, which can be achieved by applying pressure equally on all surfaces. In the isostatic press, rubber or polyurethane moulds are filled with ceramic powder and placed in a liquid filled vessel. A high hydrostatic pressure is then applied, followed by a demoulding of the objects. This technique is used in the refractory and technical ceramics sectors as well as for the manufacture of tiles and tableware.

### 2.2.4.3 Extrusion

Extrusion is widely employed for the manufacture of clay bricks and blocks, vitrified clay pipes and ceramic floor and wall tiles. The process is also used to make semi finished ‘bats’ for subsequent pressing into roof tiles, refractory shapes, etc. The extrusion process demands a plastic raw material, which usually implies substantial clay content. The plastic body is tempered to the required consistency with water, and then forced through the die of the extruder – usually by a powerful auger. A vacuum de-airing stage is usually included prior to the auger, leading to improved consolidation of the clay column. The latter is finally cut into units of the required length by forcing sections of the column through a number of tightly stretched vertical wires.

Extrusion is well suited to the large scale continuous production of bricks, pipes, etc. and is ideal for making perforated ware including large lightweight building blocks.

### 2.2.4.4 Moulding

This is a very ancient method of shaping clay objects – the earliest known brick (unfired) dates back more than 10000 years. In many parts of the world, adobe systems are still in regular use. Hand moulding was employed, and simple wooden moulds were developed to ensure a more uniform size and shape. Moulding of clayware demands far less power and energy than pressing or extrusion, but requires a much softer (wetter) mix, leading to higher drying shrinkage and more heat energy input for drying.

Moulded bricks made by the so-called ‘soft-mud’ process have special textural and aesthetic qualities, which are in great demand – partly to maintain the rich architectural heritage of many cities and regions of Europe. Hand-thrown bricks are still made and command high prices, but many moulded bricks are now produced mechanically on sophisticated machines in Western Europe. The machines still ‘throw’ individual clots of clay into pre-sanded moulds. Moulding of ware is also performed in the refractory sector, in order to form large products (sometimes weighing more than one tonne). The mix, which must have a precise viscosity, is cast into the mould. In this case, vibration (applied to the mould or directly to the mix using vibrating pokers) is used to consolidate the mix and ensure complete filling of the mould. This process is known as ‘vibro-casting forming’.

### 2.2.4.5 Slip casting

This process is extensively used in the manufacture of sanitaryware and table- and ornamental-ware, and for manufacturing special and complicated refractory products and technical ceramics. The finely ground mineral material is mixed with water to produce a clay slip (a stable aqueous slurry) which is poured into a porous mould, traditionally made of set gypsum plaster. The capillary suction of the mould draws the liquid from the slurry to form a high solid cast on the inner surface of the mould. Wall thickness increases progressively, and with time a completely solid body can be achieved (if required) before removal from the mould.

Sanitaryware products are relatively large, and are formed by conventional slip casting or (more directly) in pressure casting machines.

### **2.2.4.6 Fusion casting**

This technique is expensive in terms of both cost and energy, so its use is confined to specialist ceramic applications. Refractory bricks are subject to severe chemical and physical attacks from molten slag, clinker, etc. Fusion casting involves pre-melting the selected raw materials and pouring into moulds. The resulting units have high density, low porosity and very strong inter-crystalline coherence with a regular microstructure. These properties confer improved resistance to corrosion and erosion, and excellent mechanical strength at high temperatures. A feature of the process is the high shrinkage of the oxides melt on solidification, (of the order of 15 % by volume). Controlled slow cooling is necessary to avoid fracture of the cast pieces and to control the crystallisation process.

## **2.2.5 Drying of ceramic products**

### **2.2.5.1 General**

Traditionally, most clay articles were dried 'naturally' by standing in the air at an ambient temperature. In many parts of Europe, this was only effective during summertime. Simple drying 'hacks' were employed in the brick and roof tile industry, enabling the setting of superimposed rows of ware under a simple light wooden cover which excluded rain.

In the modern ceramic industry, it is necessary to optimise drying in terms of speed, thermal efficiency and low wastage. With the exception of slow, gentle drying processes, it is necessary to maintain close control of heating rates, air circulation, temperature and humidity. Heat for drying air is now mainly supplied by gas burners and by hot air recovered from the cooling zone of kilns. The heat for drying air can also be supplied with a cogeneration or another fuel such as coal, biomass, biogas or petroleum coke.

Ceramic raw materials vary in their sensitivity to drying, but most benefit from an initial warming-up period in conditions of high humidity (and little or no moisture removal) followed by the main drying stage where the units meet hotter and drier air. The last few per cent of water is harder to remove, requiring the hottest and driest air. Various forms of dryers have evolved to meet the needs of the different sectors of the industry, in which the nature and size of the ceramic components vary enormously.

### **2.2.5.2 Hot floor dryers**

This simple method of drying is no longer widely used, and does not lend itself to mechanisation or automation. However, it is still useful for the slow gentle drying of large and complex ceramic items such as sanitaryware or some refractory products. Some special shaped bricks are also dried in this manner. As the name implies the drying action arises from heat conducted directly to the base of the units in contact with a heated floor, and by convection currents in the air above that floor. Lateral airflow is minimal, and all surfaces of the ware dry at a low rate, avoiding undue stresses on the body during drying.

### **2.2.5.3 Chamber dryers (intermittent)**

These consist of a battery of chambers with close-fitting entry doors, usually served by rail tracks carrying drying cars. The latter are loaded with drying pallets or racks, stacked vertically with uniform spacing. Fully automatic conveying systems have now been developed with transfer-car feeding of permanent racks in the dryer.

Ceramic units such as bricks, blocks, pipes and refractory shapes are set on the racks, and the loaded drying cars are transported into the chambers which are sealed when full. In modern works, the whole operation is highly automated. The chamber temperature is raised at a controlled rate either directly – by the injection of warm air – or indirectly, via heat transfer surfaces. Recirculation of air is used to improve drying efficiency. Heat transfer is mainly through convection, plus a little radiation from the hot air and from heated surfaces. Specific temperature-humidity profiles are followed to suit the particular ceramic product.

Chamber dryers are particularly useful in situations where various ceramic bodies are manufactured; where the bodies have a high water content; or when production is intermittent. It is also relatively easy to build on extra chambers if necessary.

### **2.2.5.4 Tunnel dryers (continuous)**

These are essentially a long tunnel structure through which a line of dryer cars loaded with the green ceramic ware is pushed. High temperature air is fed into the tunnel at the discharge end, and this is induced to flow towards the entry end by one or more fans. As the airflows down the dryer, it transfers heat to the product and its humidity content increases. Recirculation fans are normally installed, thereby increasing turbulence and the drying efficiency. The length of the tunnel dryer depends on the rate of product throughput required, and the water content of the ceramic material.

### **2.2.5.5 Vertical 'basket' dryers**

The vertical dryer is used mainly in the ceramic tile sector and the tiles are fed into baskets consisting of several decks of rollers. The groups of baskets move upwards through the dryers, where they meet hot drying gases. The temperature in this type of dryer is normally less than 200 °C, and the drying cycles range from 35 – 50 minutes.

### **2.2.5.6 Horizontal multi-deck roller dryers**

These dryers are also widely used by ceramic tile makers. The horizontal dryers are designed on the principle of the roller hearth kiln. The individual tiles are fed onto different decks within the dryer, and are conveyed horizontally by driven rollers. Burners located on the sides of the dryer produce the hot drying air, which flows countercurrently to the ware.

The maximum temperature in these dryers is usually higher than in the vertical option (around 350 °C) and the drying cycles are shorter, between 15 and 25 minutes.

### **2.2.5.7 Dehumidifying dryers**

These dryers are normally intermittent (chamber) units. The technique relies on maintaining the humidity level of the air in the drying chamber well below saturation, so that water continues to evaporate from the ware, without requiring an increase in temperature. To maintain this effect, water vapour must be continuously removed from the chamber, which is usually achieved by circulating the air through a refrigerated condenser.

Such dryers must be extremely well sealed to prevent ingress of potentially moist ambient air, and are normally equipped with programmable humidity controls to optimise drying. The scale of such dryers is limited but they are well suited to drying sensitive ceramic products, special shapes, etc. This drying technique only produces liquid water as a waste stream.

Another possibility is to introduce saturated steam into a tunnel dryer. In this tunnel vapour dryer, the moisture of the drying air is reduced in the different sectors of the dryer to guarantee controlled drying.

### **2.2.5.8 Infrared and microwave dryers**

Infrared and microwave dryers can in principle also serve as alternatives to conventional dryers. In this context, especially regarding microwaves see Chapter 5.2 'Emerging techniques for ceramic manufacturing'.

## **2.2.6 Surface treatment and decoration of ceramic products**

### **2.2.6.1 Texturing of clay products**

The surface of clay products may be textured for functional reasons, e.g. to provide a non-slip finish to floor tiles.

A wide range of textures is also applied to clay products for aesthetic reasons. Soft mud bricks acquire a pleasing random 'fold' pattern as the clay clot is thrown into the mould, and hand throwing produces especially desirable finishes. Extruded products can be drag-textured by scraping the surface of the clay column. An alternative technique is to extrude slightly oversize, then to trim to the correct height and width using cutting wires.

A better drag-texture can sometimes be obtained by omitting de-airing of the clay column. Textured rollers can impart a variety of textures to extruded products.

Pressed bricks are often quite hard in the green state and after assembling as a continuous column on a conveyor belt, rotary cutters are used to 'rusticate' or otherwise texture these bricks. They may also be roll-textured, often after a preliminary mist-spray with water to soften the surfaces.

### **2.2.6.2 Applied facings**

Soft mud bricks receive a surface coating of sand from the inside of the moulds, which are pre-coated with the sand to act as a release agent. A variety of textures and fired colours can be achieved by selecting the sand to suit the aesthetic requirements.

In the case of pressed or extruded bricks, blocks or roof tiles, sand or other granular minerals can be applied to header and stretcher surfaces via compressed air blasting guns. In many cases, pigments are added to the sand in order to vary the aesthetic finish.

### **2.2.6.3 Glazing, engobing and other decorating techniques**

There is a small specialist market for glazed bricks. Glazing is most common in the manufacture of ceramic wall and floor tiles, sanitaryware and tableware and currently there is a growing market share for roof tiles as well. Engobing is mainly employed in the manufacture of clay roof tiles and ceramic wall and floor tiles.

Finely ground glaze components – mainly frits in the case of ceramic tiles – are prepared as aqueous suspensions. The viscosity and suspension characteristics are adjusted to suit the method of application, which may be spraying, waterfall glazing, dry glazing or decorating. During the glazing process, the dried green ceramic ware is in most of the sectors mentioned above – except sanitaryware – hardened by biscuit firing and then, depending on the applied glaze components, covered with a glassily melting, smooth, closed transparent or dusky layer.

An engobe is usually applied after the drying process, in some cases the products are engobed even as green or fired ware. During the engobing process, a fine grained, non-transparent light or coloured layer of a ceramic mass is spread to the visible or whole surface by dipping or pouring.

Screen printing is one of the decorating techniques for tiles, due to the ease of application in the glazing lines. The technique consists of printing a given design by means of one or more printing screens (tensioned fabric with a set mesh aperture). The screen surface is masked, and the printing ink only penetrates the openings of the designs to be reproduced. A squeegee forces the ink through these openings, thus printing the design on the tile.

Other decorating techniques are the gravure technique and flexo space printing. In these techniques, the pattern is transferred directly on one or more rolls. The ink is applied to the tile from these rolls and this technique enables printing on the edges of the tiles or relief tiles. Also, the inkjet printing technique is emerging nowadays. In the case of tableware, often hand painting or sliding ornaments are also applied.

### **2.2.7 Firing**

#### **2.2.7.1 Aims of firing**

Firing is a key process in the manufacture of ceramic products, as it controls many important properties of the finished ware. These include mechanical strength, abrasion resistance, dimensional stability, resistance to water and chemicals, and fire resistance.

#### **2.2.7.2 Physico-chemical changes during firing**

Raw materials used in ceramic bodies are usually complex mixtures of clay minerals, with other mineral matter such as quartz, feldspars, carbonates, gypsum, iron oxides and sometimes organic matter. Refractory products are also made from a wide range of non-clay minerals, together with specialised additives and binders (which may include some clays). When clay-based ceramic products are fired in a kiln, any residual moisture is driven off at temperatures of between 100 and 200 °C. If organic matter and iron pyrites are present, oxidation takes place at temperatures of between about 300 and 500 °C. Water combined within the structure of clay minerals ('crystal water') is usually released at temperatures of between 500 and 650 °C, whilst carbonates such as calcite and dolomite dissociate with the release of carbon dioxide in the temperature range 750 to 950 °C.

The most important changes relating to the development of ceramic properties involve the breakdown of the lattice structure of the original clay minerals, followed by the formation of new crystalline compounds and glassy phases. The temperature at which vitrification (glass formation) takes place, varies according to the mineralogy of the clay. Vitrification usually commences at about 900 °C and is completed by about 1050 °C (for many brick clays) or about 1100 °C in the case of more refractory fireclays.

During the vitrification stage of ceramic firing, many non-clay minerals such as quartz, oxides or iron, lime compounds and alkalis (oxides of sodium and potassium) become incorporated in the fired body. Some sintering and solid solution occurs, and eutectic reactions take place at the interface of mineral grains and melt phases.

Non-clay products such as some refractory products also depend on sintering, vitrification or recrystallisation stages, but in most cases much higher temperatures are required to achieve the desired properties. In the following figure the ranges of industrial maturing temperatures for different product groups are presented [4, UBA, 2001], [23, TWG Ceramics, 2005], [30, TWG Ceramics, 2005].



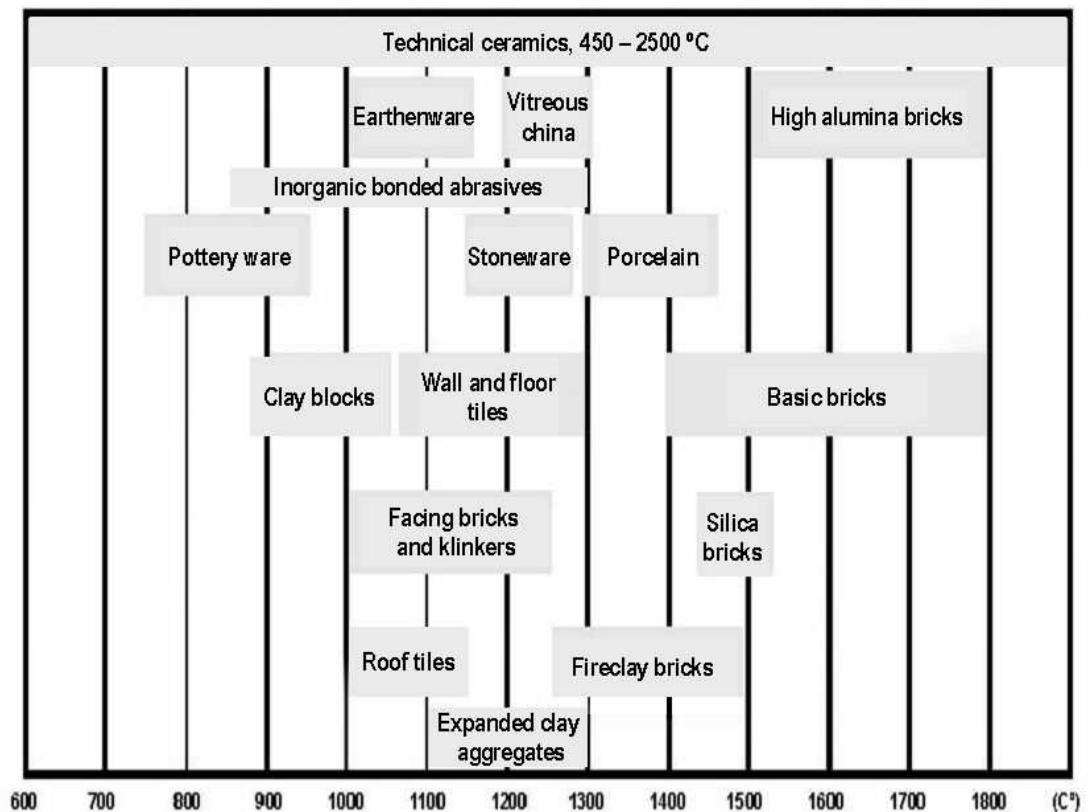


Figure 2.1: Ranges of industrial maturing temperatures for different product groups

The temperatures necessary for the firing process are mainly created by burning natural gas and fuel oil. In some cases, solid fuels, biogas/biomass and electric power are also used for heat generation.

### 2.2.7.3 Intermittent (periodic) kilns

These include shuttle and hood-type kilns, based on single chambers, which are charged with pre-dried ceramic products (in a hood-type kiln, the hood equipped with the heating unit is placed on the bottom by a hoisting unit; in shuttle kilns, the ware to be fired is brought to the hearth area in a shuttle car), sealed, and then subjected to a defined firing cycle. Gas burners are usually employed and good control of temperature and kiln atmosphere (oxidising or reducing) can be achieved.

Electricity can also be used to heat intermittent kilns, for instance in the manufacture of technical ceramics. Special kiln types for technical ceramics are, e.g. HIP (hot isostatic pressing), high temperature kilns, and kilns with a protective atmosphere.

Intermittent kilns are mainly used for smaller scale manufacture of specialised products, such as special shaped bricks and pipe fittings, roof tile fittings, refractory products, etc. They offer flexibility when the ceramic body composition is altered frequently, and these advantages outweigh their somewhat lower energy efficiency. The following figures show the cross-section of a shuttle kiln [4, UBA, 2001], [30, TWG Ceramics, 2005].

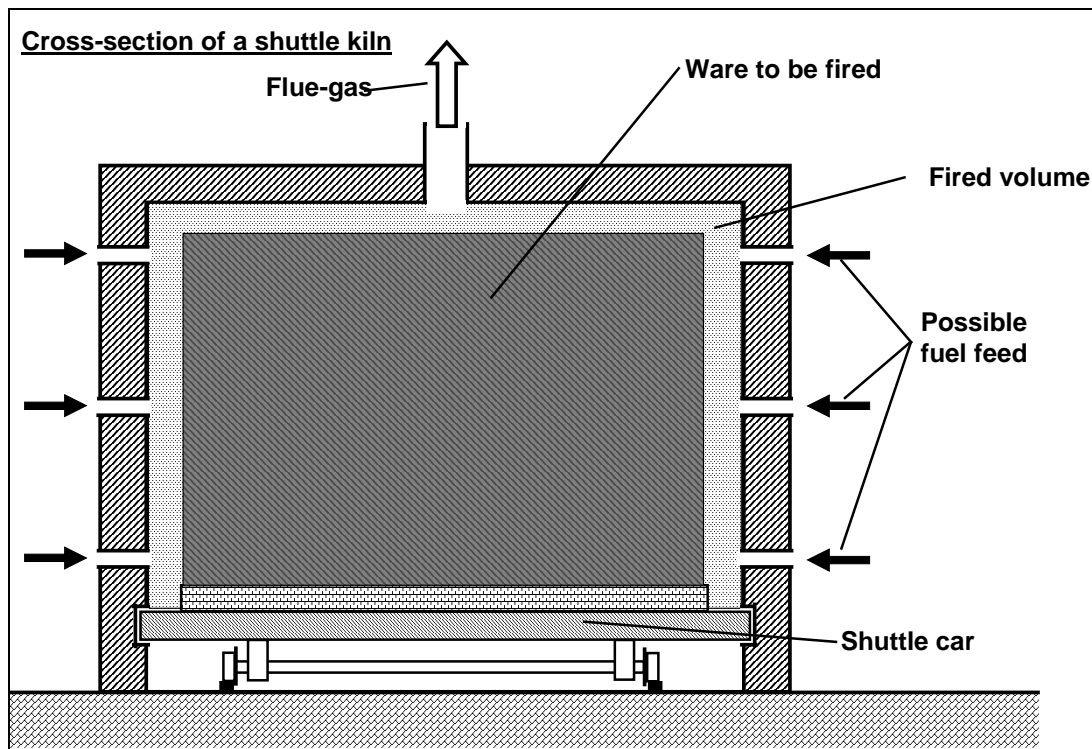


Figure 2.2: Cross-section of a shuttle kiln

#### 2.2.7.4 Continuous kilns

##### 2.2.7.4.1 Chamber (Hoffmann) kilns

These consist of a series of linked chambers, which are sequentially filled with dry ware (e.g. bricks), sealed, fired quasi-continuously and the hot gases are drawn from one chamber to the next. This connecting system with flues and holes between the chambers also allows the pre-heating of the ware, the cooling of the flue-gases and so results in improved thermal efficiency and lower costs compared to intermittent kilns. The kilns are now mainly gas-fired, but top feeding with oil or coal is occasionally practised. They are mainly used for the manufacture of specialised products, for example special coloured bricks.

##### 2.2.7.4.2 Tunnel kilns

These are essentially refractory tunnels served by rail tracks carrying kiln-cars. The latter have refractory decks on which dried ware is set in defined stable patterns. The cars are pushed through the kilns at set intervals, countercurrently to a flow of air drawn by fan(s) to an exhaust duct near the car entry zone. Most tunnel kilns are now gas-fired, with a maximum temperature in the firing zone near the centre of the kiln. Incoming ware is preheated by hot gases from the firing zone, whilst incoming air cools the fired ware and is itself preheated for its combustion role. A proportion of this air from the cooling zone is usually drawn off to the adjacent dryers, giving significant fuel economies.

The firing chamber and kiln-cars are usually sealed against secondary air with a sand seal. The latest kiln constructions are sealed by water or other improved mechanical solutions. The aim of these procedures is to reduce firing times and energy consumption by having a gas-tight firing chamber.

Figure 2.3 and Figure 2.4 show a schematic view of the layout and cross-section of a tunnel kiln [4, UBA, 2001], [23, TWG Ceramics, 2005].

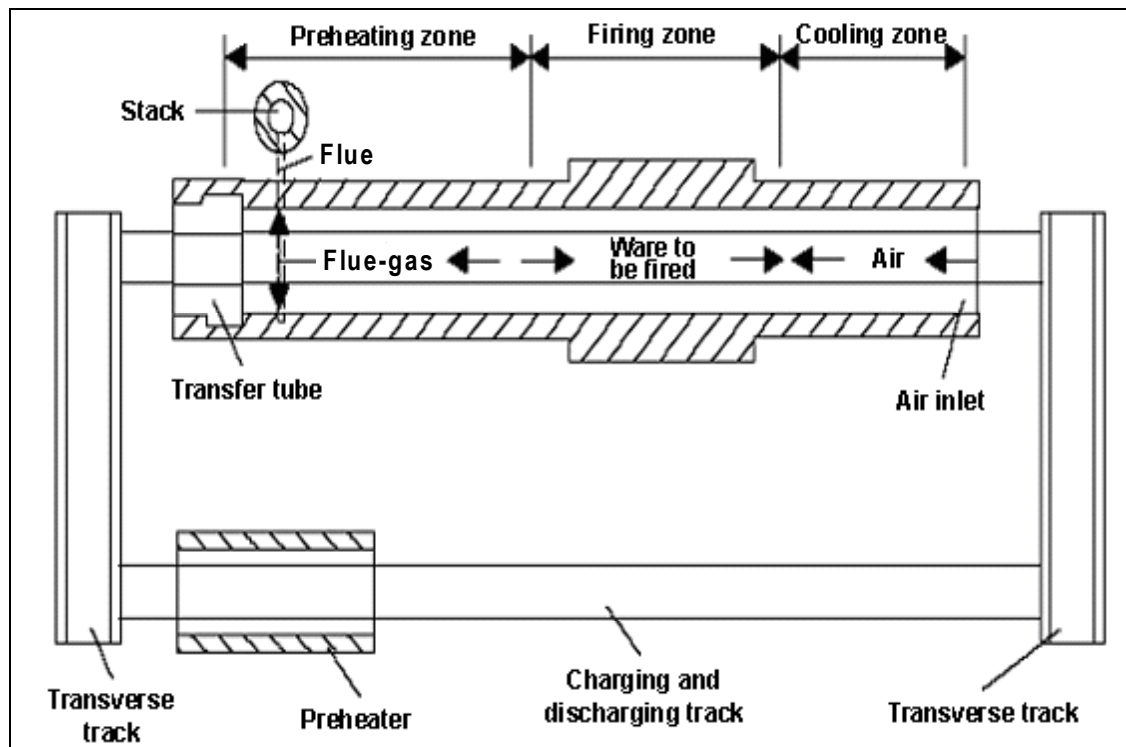


Figure 2.3: Schematic view of a tunnel kiln

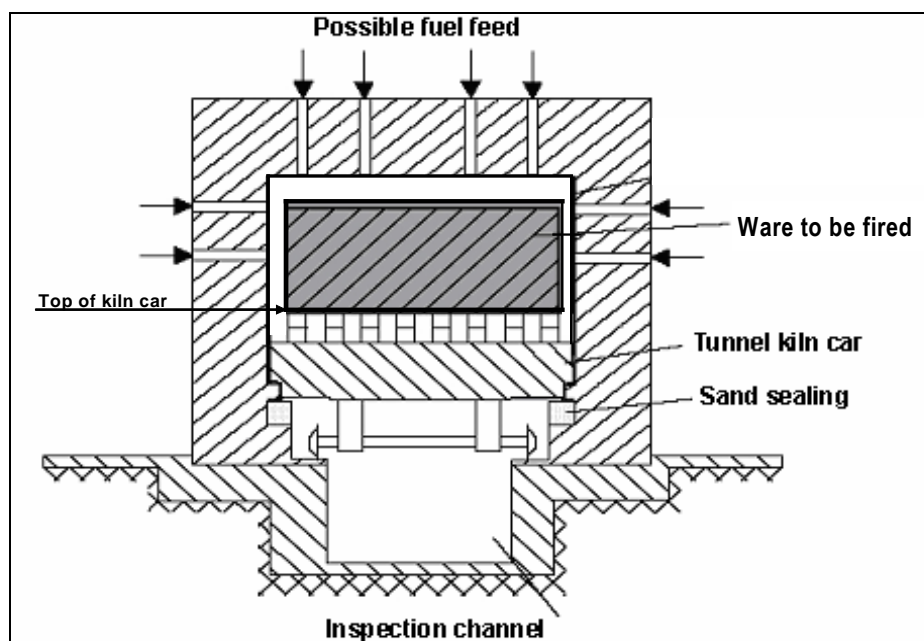


Figure 2.4: Cross-section of a tunnel kiln with a tunnel kiln car

#### 2.2.7.4.3 Roller hearth kilns

Single-deck roller kilns are now almost universally used for wall and floor tile production, and firing schedules have been reduced to less than 40 minutes. Tiles travel over driven rollers, and the heat required for firing is provided by natural gas-air burners located at the sides of the kiln. The main heat transmission mechanisms are convection and radiation, and as the kilns are non-muffled, the heat transmission coefficients are raised, reducing the firing cycle and energy consumption. Roller hearth kilns are also sometimes used for the production of clay roof tiles, vitrified clay pipes, sanitaryware and tableware. The following figure shows the cross-section of a roller hearth kiln [4, UBA, 2001], [30, TWG Ceramics, 2005].

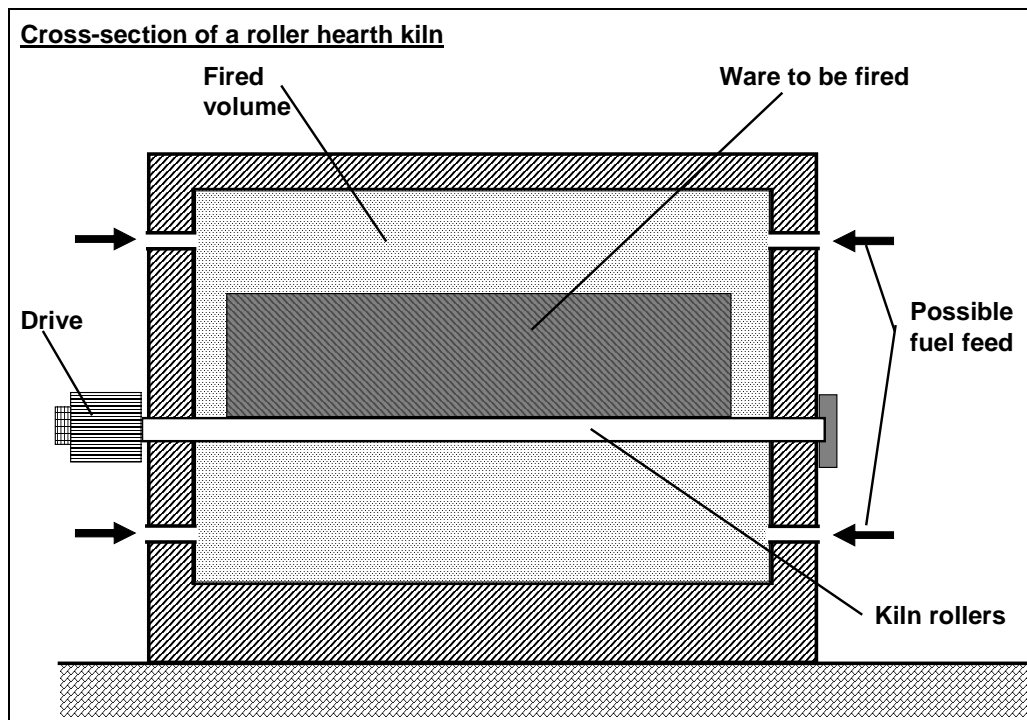


Figure 2.5: Cross-section of a roller hearth kiln

#### 2.2.7.4.4 Sliding bat kilns

These are also fast firing, and operate on a similar principle to the roller hearth kiln. However, the ware in this case is placed on refractory 'carriages' which move on wheels borne by tracks outside the kiln proper. The sliding bat kiln can accept ware of a more irregular shape and size, whereas a roller hearth kiln can only deal with regularly shaped items.

#### 2.2.7.5 Clamp firing

A limited production of traditional stock bricks is still carried out by clamp firing. Dried bricks containing a solid fuel additive (such as fine coke) are built into large, dense rectangular settings – called clamps – on a foundation of fired bricks. Flues are left in the base layers, with layers of coke to initiate firing. The clamp is finally clad with fired bricks, sloping the outer walls inwards for stability.

Once ignited, the fire progresses slowly by combustion of the fuel within the bricks. Firing of the clamp takes several weeks, including time for cooling, after which the clamp is stripped down manually and the bricks sorted into defined grades.

#### 2.2.7.6 Rotary kilns

A rotary kiln has the form of a long cylinder, usually inclined and is slowly rotated about the axis. The kiln is fired by a burner set axially at the lower end. Rotary kilns are used for the manufacture of expanded clay aggregates.

Rotary kilns can also be used for the calcination of fireclay and for dead burning of dolomite or magnesite. This document does not deal with these upstream raw material calcining processes, but useful information regarding 'dead burned oxides' and 'calcined chamotte, pigments and fillers' can be found in the Cement and Lime BREF – where the calcination of dolomite is described; in the BREF for Management of Tailings and Waste-Rock in Mining Activities – where the processing of kaolin is described; in the draft BREF on Large Volume Inorganic Chemicals (Solids and Others) – where the production of magnesium oxide is described and in the draft BREF on Speciality Inorganic Chemicals, where the production of speciality inorganic pigments is described.

#### **2.2.7.7 Fluidised beds**

A fluidised bed is a bed of solid particles maintained in suspension in a gas and thus behaving rather like a fluid. The powder to be fluidised is supported on a porous base, e.g. a trough of special ceramic material, through which the gas (usually air) is fed from below and under pressure. The principle is used as a method of conveying powders along a slightly inclined porous ceramic trough. The powder can be simultaneously dried and/or calcined.

#### **2.2.7.8 Cooling stage heat recovery**

Where possible, the cooling of fired ceramic ware is accelerated by forced air circulation through the products soon after the firing zone. This results in considerable volumes of clean, hot air, much of which is drawn from the kiln by fan action and utilised in the drying operation. This method of heat recovery is particularly effective when applied to tunnel kilns.

### **2.2.8 Subsequent treatment (product finishing)**

#### **2.2.8.1 Machining (grinding, drilling, sawing)**

Machining operations may be necessary to produce ceramic products whose final shape or dimensional tolerance cannot be achieved technically or with sufficient accuracy during primary processing (especially for larger shapes or blocks).

##### **2.2.8.1.1 Wet grinding**

Wet grinding is utilised to finish products requiring the tightest dimensional tolerance. Grinding is a batch process, in which a number of pieces are fixed to a table, which traverses under a diamond machining head. Bed surfaces of building bricks or blocks are sometimes smoothed by wet grinding to facilitate bonding with thin-layer 'glues'.

##### **2.2.8.1.2 Dry grinding**

Dry grinding of clay block bed surfaces with diamond wheel grinding systems is carried out as subsequent treatment to facilitate bonding with a thin layer of mortar. In the case of dry grinding, the whole grinding device is encapsulated.

##### **2.2.8.1.3 Drilling**

Ceramic products, especially refractory products may need to be drilled when the 'hole' required cannot be achieved with the necessary accuracy during the pressing and firing operations.

### 2.2.8.1.4 Sawing

This is a finishing operation used when the final shape of a ceramic brick, especially a refractory brick, cannot be effectively produced at the pressing stage. In this situation, oversize bricks are pressed and fired, then sawn to the required dimensions.

Facing bricks may be sawn in the manufacture of 'cut and stuck' special shapes. In virtually all machining operations, a closed loop water system provides lubrication and sweeps lubricated particles away from the working surfaces – at the same time, minimising dust release.

### 2.2.8.2 Polishing

In some cases, particularly involving porcelain tiles, the fired surface is polished to achieve a shiny, unglazed homogenous tile.

### 2.2.8.3 Carbon enrichment (refractory products)

Refractory products are required to work in extremely hostile working environments, and for certain applications it is necessary to impregnate fired ware with petroleum-based pitch. The presence of carbon in the final product offers several advantages:

- it acts as a lubricant, beneficial for the working surfaces of sliding-gate plates
- the relatively high thermal conductivity of carbon increases the thermal shock resistance of the product
- the carbon acts as a pore filter reducing the permeability of the product, which in turn offers increased resistance to penetration by slag and metal.

Pitch impregnation is a batch process, typically carried out in three upright cylindrical vessels fitted with hinged lids. Products for treatment are loaded into metal baskets, which fit inside the vessels. The ware is heated in the first vessel to ~ 200 °C via a circulating stream of hot air, then the basket and contents transferred to the second vessel (referred to as an autoclave), which has a heating jacket to maintain the temperature. The autoclave is then sealed, evacuated and filled with liquid pitch (drawn from bulk storage tanks maintained at temperatures of around 180 to 200 °C). Impregnation is achieved by releasing the vacuum, then applying nitrogen at an elevated pressure. After draining, the basket and contents are transferred to the third vessel for cooling to a temperature below that at which volatile pitch components may be evolved.

Finally, it is necessary to remove a high proportion of pitch volatiles, which would adversely affect the working environment when the refractory products were put into service. Typically, this is achieved by transferring the impregnated ware to an oven, to undergo a defined heating cycle. The oven exhaust fan discharges into a thermal oxidiser (incinerator) held above 800 °C, with a dwell-time of at least 0.5 seconds. These conditions ensure that all pitch volatiles (complex hydrocarbons) are fully oxidised.

Products which have been through the above treatment emerge coated in light, brittle carbonaceous deposits which must be removed prior to packaging or further processing. This is usually achieved by short blasting the products on a blasting table.

### 2.2.8.4 Tumbling of facing bricks

Certain facing bricks are given an antique finish by passing them through a rubber-lined rotating inclined drum. Sharp corners are removed by attrition, producing a softer profile. In some cases, splashes of calcium carbonate (ground limestone), soot or pigment are added, reproducing the appearance of recovered bricks, which have a recognised architectural role.

## **2.2.9 Addition of auxiliary materials**

### **2.2.9.1 Jointing materials (pipes)**

Since most pipes are installed underground as drains, sewers, etc. reliable jointing is necessary. Stable plastic sleeves and seals have been developed by the industry.

### **2.2.9.2 Silicones/water repellents**

Fired clay units show a wide range of porosity values, and spraying or dipping of the ware in silicone solutions is sometimes employed to give more impermeability and to avoid organic growth and efflorescence. This technique is especially used for roof tiles.

### **2.2.9.3 Insulation materials**

Insulation materials – e.g. polystyrene or mineral wool – are inserted into certain large hollow clay blocks and LWA blocks in order to enhance their thermal insulation properties.

### **2.2.9.4 Carding and plating (refractory bricks)**

To assist the installation of refractory products and the burning-in of the kiln or furnace lining, thick cards or metal plates may be glued to one or more surfaces of fired bricks. A card acts as an expansion joint, burning away as the kiln/furnace is brought up to the operating temperature. Metal plates will melt under similar circumstances, effecting a bond between adjacent bricks.

### **2.2.9.5 Adhesives**

Stable adhesives (usually epoxy-based) are used to assemble ‘cut and stuck’ special shapes of roof tile fittings, clay bricks or blocks.

### **2.2.9.6 Final assembly**

Some products are completed in a final assembly step, for example the mounting of metal flanges on high voltage insulators to fix them in bushings, transformers or other applications.

## **2.2.10 Sorting, packaging and storage**

Sorting and packaging may still be a manual operation, as in the case of some types of clay bricks, roof tiles, and shaped refractory products, as well as table- and ornamentalware. However, tighter control of firing has considerably reduced broken ware in recent years, so the tendency is towards more automated systems. Even colour can now be measured instrumentally, which is important in the case of ceramic tiles. Kiln setting of clay bricks and blocks showing very low waste are mechanically consolidated into packs ready for shrink-wrapping – the customer accepting the possibility of 1 – 2 % imperfect units.

Regularly shaped ceramic units such as bricks, blocks, pipes and refractory units are normally strapped into standard sized packs, which are often subsequently polyethylene-wrapped and may be palletised.

Ceramic products at the top end of the value range, such as table- and ornamentalware, demand rigorous inspection and sorting followed by sophisticated protective packaging. In contrast, unshaped refractory products are usually simply weighed into bags and then palletised. Metal drums are also used for storage.

Ceramic tiles are – individually – somewhat fragile, but when tightly packed in cardboard boxes, prove remarkably robust during handling and transportation.

Storage of heavy clay goods made on a large scale is often outdoors, but products which are bagged or boxed require warehouse storage, as do certain moisture sensitive refractory products.

### **2.2.11 Supply and disposal (off-gas treatment and process waste water treatment) facilities**

Dust extraction and kiln flue-gas treatment units, process waste water treatment plants and fuel storage are important supply and disposal facilities of plants manufacturing ceramic products. Depending on the dust emissions, dedusting units are built as central or local centrifugal force preseparators, fibrous fabric filters, wet separators and electrostatic precipitators. According to the type of emission, further flue-gas treatment units are used in the ceramic industry, for example scrubbers and dry sorption plants as well as thermal and catalytic afterburners. These units are mainly located near the main source of emissions, i.e. the kiln.

Process waste water resulting from the manufacturing of ceramic products mainly contains mineral components. Process waste water cleaning units are often built as sedimentation basins. Sedimentation of the inorganic mineral components can be accelerated by the use of flocculation and coagulation agents.

Fuel storage depends on the characteristics of the fuel used. Coal in lumps is stored in open-air storage systems and storage sheds, and pulverised coal is stored in silos. Liquefied petroleum gas is stored in special pressure reservoirs. Fuel oil is stored in tanks, whereby heavy fuel oil has to be heated to guarantee pumpability. Natural gas is delivered by the supply network of the gas company. Additional useful information regarding storage of fuels can be found in the Storage BREF (ESB).

Depending on the processing, further supply facilities such as mould production facilities are necessary. These facilities produce plaster moulds which are used in large quantities, e.g. in the production of roof tiles.

### **2.2.12 Recycling in the ceramic industry**

Most sectors of the industry recycle materials such as off-cuts, trimmings and substandard articles back to the raw material preparation stage. Fired goods of lower quality may also be recycled within the factories, usually after crushing and screening to form granular ‘grog’. This is non-plastic, and can confer benefits like easier drying and lower shrinkage when added as a controlled proportion of clay bodies due to the increase of permeability. Even if ‘fired process loss’ recycling is not suited to the process from which it originated, it may find an outlet in a different ceramic process.

Used refractory products removed whilst relining a kiln may be contaminated by slags, salts, glass or metal, which could compromise the refractory properties of any body to which they were added. Similarly, also various other contaminated materials (e.g. with heavy metals contaminated materials, derived from glazes) may be unsuitable for recycling. Plaster moulds which reach the end of their functional life represent another process loss which cannot be re-used, but in some cases they can be used as raw material in the cement industry.

However, in other cases – notably facing bricks and clay roof tiles – recovery and re-use is widely practised, and recovered bricks are in a great demand. Throughout Europe, large numbers of Roman bricks are still found in masonry structures. It should be noted that some of the uses of granular or finely ground bricks or roof tiles would be applicable to similar size gradings of fired ware from other sectors. Also crushed and graded ‘ceramic process loss material’ finds use as a partial aggregate in concrete for construction purposes, or as a filler in asphalt for road construction.



### 2.2.13 General process flow diagram showing different processing paths

The following figure summarises the description of the different processes and illustrates different possible paths in the manufacturing of ceramic products [4, UBA, 2001], [23, TWG Ceramics, 2005].

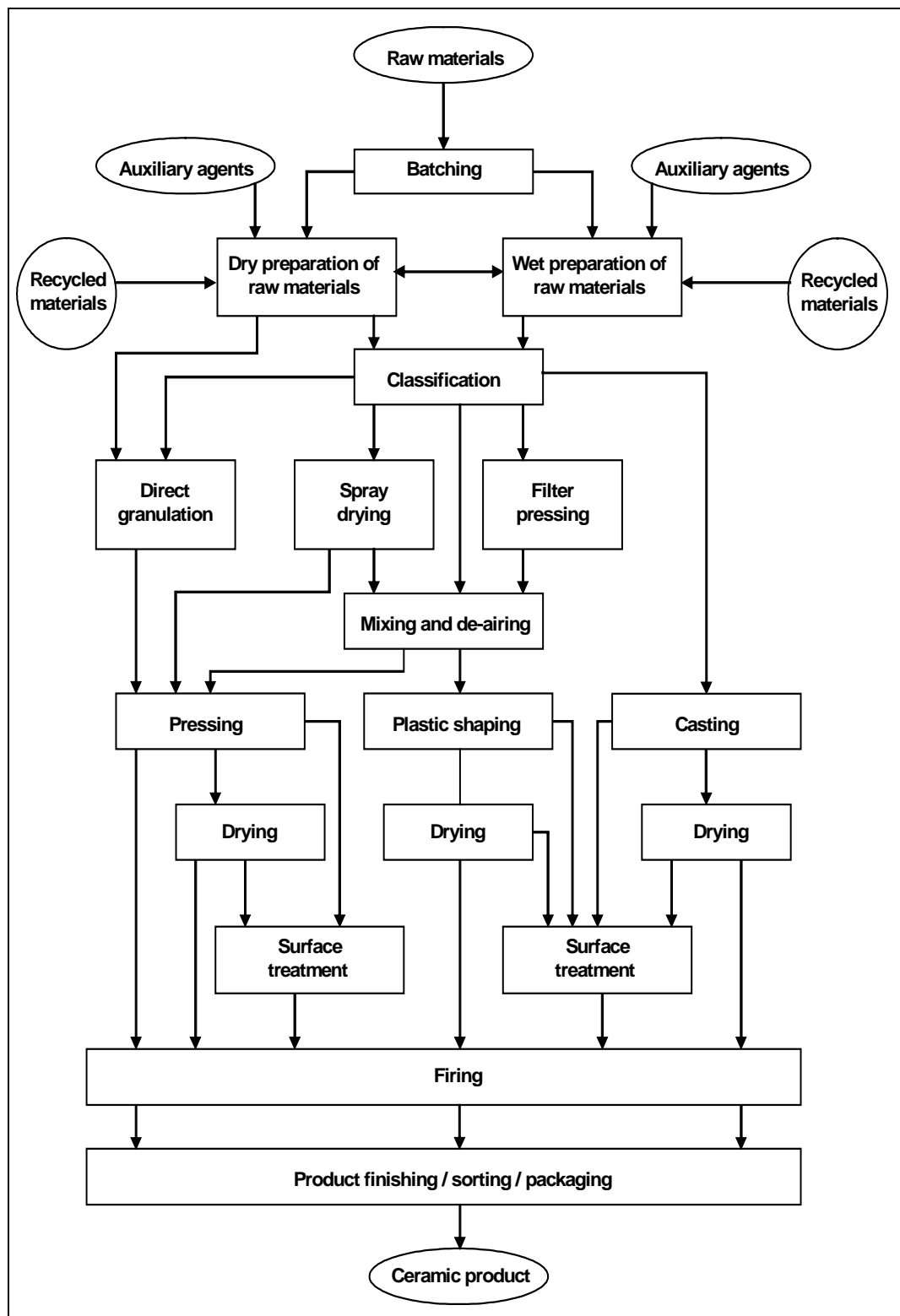


Figure 2.6: General process flow diagram showing different processing paths

## 2.3 Description of techniques for the manufacture of ceramic products sector by sector

### 2.3.1 Bricks and roof tiles

In both types of works, brick works and roof tile works, the manufacture of bricks and roof tiles goes through the stages of mining/quarrying of raw materials (this activity is not covered in this document), storage of raw materials, raw materials preparation, shaping, drying, firing and subsequent treatment. Special requirements for the surface and colour of the products involve a surface treatment by glazing, engobing or profiling. The following figure shows, as an example, a schematic view of the manufacture of pressed roof tiles [4, UBA, 2001].

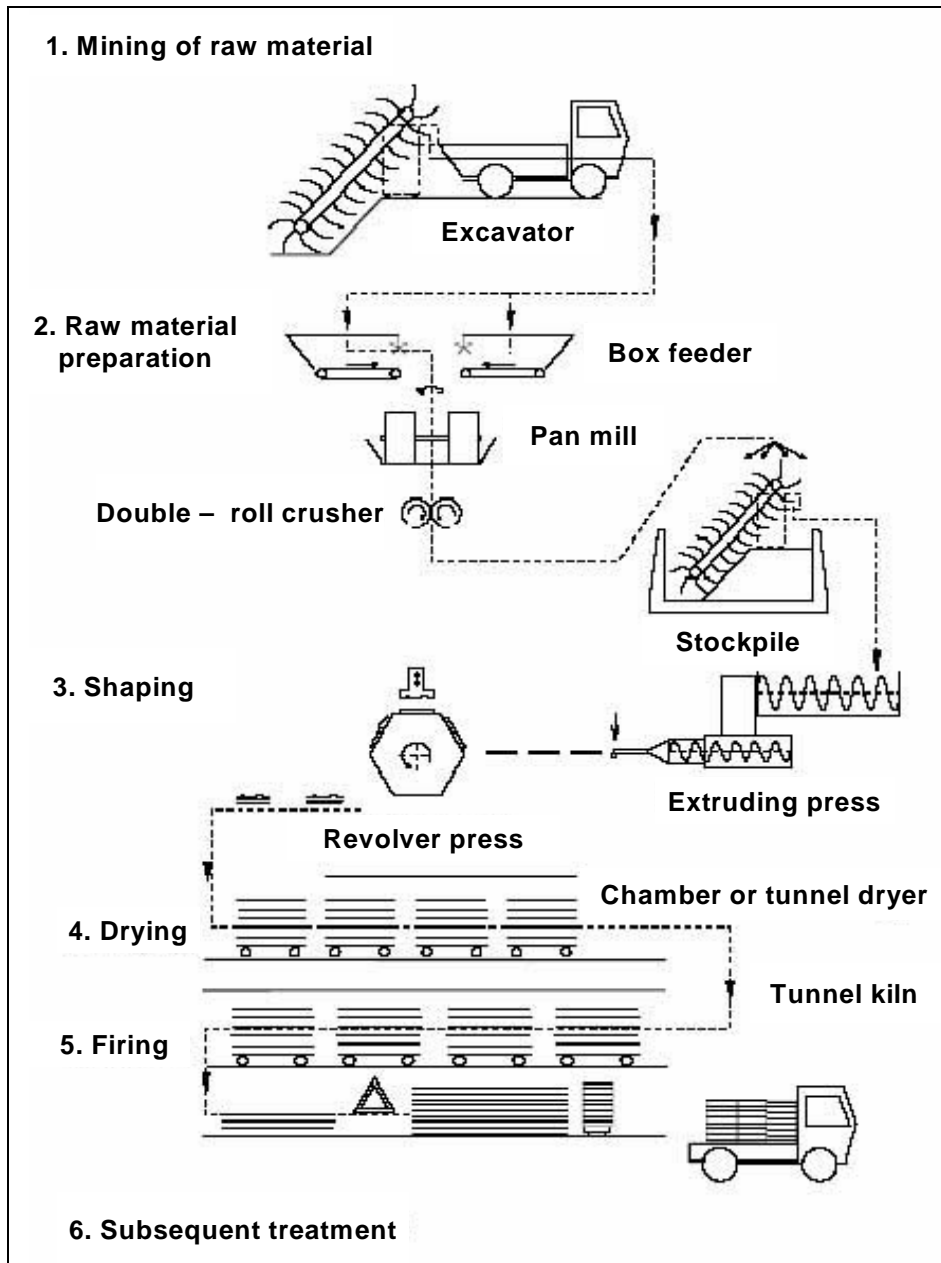


Figure 2.7: Schematic view of pressed roof tile manufacture

The following figure shows, as an example, a schematic view of the manufacture of masonry bricks [20, CERAME-UNIE, 2004].

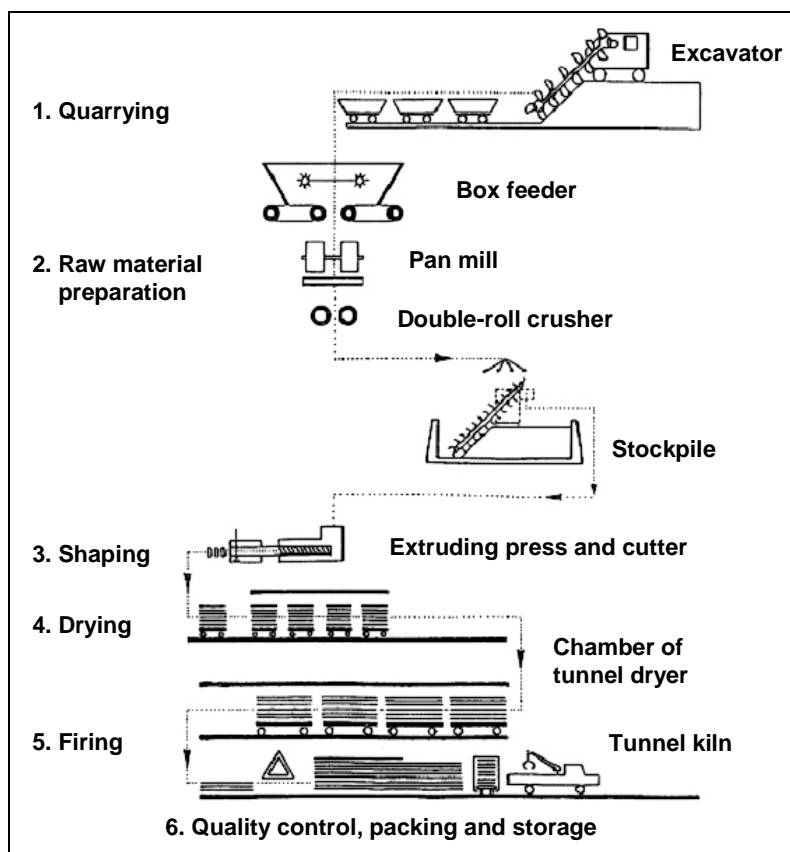


Figure 2.8: Schematic view of preparation of extruded bricks in masonry brick manufacture

### 2.3.1.1 Raw materials

The geology of brick and roof tile clays used in the European ceramic industry is extremely varied as they cover a wide stratigraphic range from the Cambrian period to recent times. Most brick and roof tile clays are sedimentary in origin and were laid down under a wide range of sedimentary environments: marine, alluvial, fluvial, river-glacier sediments. The range in depositional environments affects the clay mineralogy and the chemical composition. The mineralogical and chemical composition of clays used in the ceramic industry is very different in different European countries. Also within one country a wide range of compositions can be employed. The following table shows the ranges of chemical and mineralogical compositions of clay raw materials, applied in the brick and roof tile industry in different European countries [20, CERAME-UNIE, 2004], [30, TWG Ceramics, 2005].

Country	Austria		France		Netherlands		Hungary		Italy		Greece		Denmark		Belgium		UK		Switzerland		Germany		European range in 11 countries		
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Min	Max	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	
Chemistry (wt-%)																									
S	0.00	1.30	0.00	0.50	<0.01	1.50	0.01	0.75	0.01	0.62			0.03	0.70	0.01	2.05	0.01	2.00	<0.01	0.50	0.01	2.00	0.00	2.05	
F	0.05	0.10	0.00	0.15	0.02	0.10	0.02	0.10	0.04	0.13			0.03	0.08	0.02	0.07	0.02	0.09	0.00	0.08	0.03	0.16	0.00	0.16	
CO <sub>2</sub>			0.0	14.0	<0.01	10.0							0.0	16.0	0.2	3.6									
SiO <sub>2</sub>	50.3	70.8	35.0	80.0	53.2	80.6	42.2	63.0	33.1	74.4	6.85	75.42	49.5	66.3	62.6	74.0	40.5	74.5	35.0	77.0	50.0	70.0	33.05	80.60	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiO <sub>2</sub>	9.6	18.8					8.6	17.6																	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>			8.0	30.0	7.3	18.1			8.1	21.0	5.85	20.22	11.7	17.9	5.5	14	9.0	24.5	7.0	29.0	7.0	20.0	5.47	30.0	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.2	8.2	2.0	10.0	2.0	8.4	2.9	7.6	2.7	7.6	2.19	39.03	4.8	7.2	2.8	4.3	3.9	11.5	2.4	10.0	1.0	8.0	1.00	11.50	
MgO	0.2	3.6	0.0	5.0	0.5	2.7	1.4	4.5	0.7	7.2	0.24	12.90	1.3	2.5	0.9	1.5	0.2	6.6	<1	5.2	0.5	3.0	0.00	7.21	
CaO	0.6	15.0	0.0	18.0	0.0	8.7	2.1	15.2	0.2	26.0	0.91	25.20	0.3	12.9	0.3	5.6	0.2	17.5	3.0	23.0	0.5	15.0	0.00	26.00	
Na <sub>2</sub> O	0.4	1.7	0.1	1.5	0.2	1.0	0.2	1.2	0.2	14.1	0.37	3.06	0.8	0.8	0.4	1.0	0.2	0.6	0.2	1.5	0.3	1.2	0.10	14.13	
K <sub>2</sub> O	1.7	3.0	0.1	4.5	1.3	2.3	0.6	1.3	1.4	4.3	0.11	3.19	2.9	2.9	1.5	3.0	1.6	5.9	1.0	2.7	1.0	4.0	0.10	5.90	
TiO <sub>2</sub>			0.3	2.0	0.5	1.3			0.5	1.1	0.20	1.22	0.6	0.8	0.5	0.8	0.6	1.6	0.3	1.5	0.5	2.0	0.30	2.00	
CaCO <sub>3</sub>												1.63	45.00												
MgCO <sub>3</sub>												0.50	31.00												
MnO												0.01	0.15												
Mineralogy (%)	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Min	Max	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	
Quartz	21	49	0	70	39.5	71	16	32	16	54			35	50	34	65	10	55	13	55	15	60	0.00	71.00	
Feldspar	5	15	infrequent		1	12	3	14	1	24			10	20	10	15	0	25	<1	33	1	25	0.00	33.00	
Calcite	<2	26	0	30			0	14	1	41			<1	25	0	8	0	17	<1	37	1	25	0.00	41.00	
Calcite Dolomite +			infrequent		0	20.5	0	24																	
Pyrite	<2	<2			<0.01	2.8	0	2					0		0	2	0	7	0	0.7	0	2	0.00	7.00	
Kaolinite	<3	10	small amount		5	21.5	2	13	1	26			5	15	1	5	0	40	5	26	3	40	0.00	40.00	
Illite	25	60	dominant amount		7	20	4	21	5	42			10	20	3	15	0	40	2	40	10	50	0.00	60.00	
Mont - morillonite	2	25	small amount		3	29.5	3	18	2	34			5	20	5	43	0	10			10	50	0.00	50.00	
Vermiculite			none		7	20	2	4									0	15	2	16	-	-	0.00	20.00	

Table 2.1: Ranges of chemical and mineralogical compositions of clay raw materials applied in the brick and roof tile industry in different European countries

The particle size distribution, the other minerals present, the size range and ratio all fundamentally affect the properties of the clay.

The vast diversity in the composition of the raw materials results in a wide variation in the properties of ceramic products and in the gaseous emissions during firing. Each of these clays or mixtures of them, are used to produce roof tiles, facing bricks and extruded blocks. Most plants have their own clay quarry which contributes to the site-specific character of the production techniques used for the different types of products.

An analysis of fluoride and sulphur has been carried out since they effect the emission during firing as is discussed in Section 3.3.1.1 regarding emission data. Fluoride, present in the structure of clay minerals, ranges up to 1600 ppm throughout Europe and varies to a great extent in each country. As an example, the following figure shows a normal frequency distribution of the fluoride content in 312 samples of clays which come from all the geographical areas of Italy [3, CERAME-UNIE, 2003].

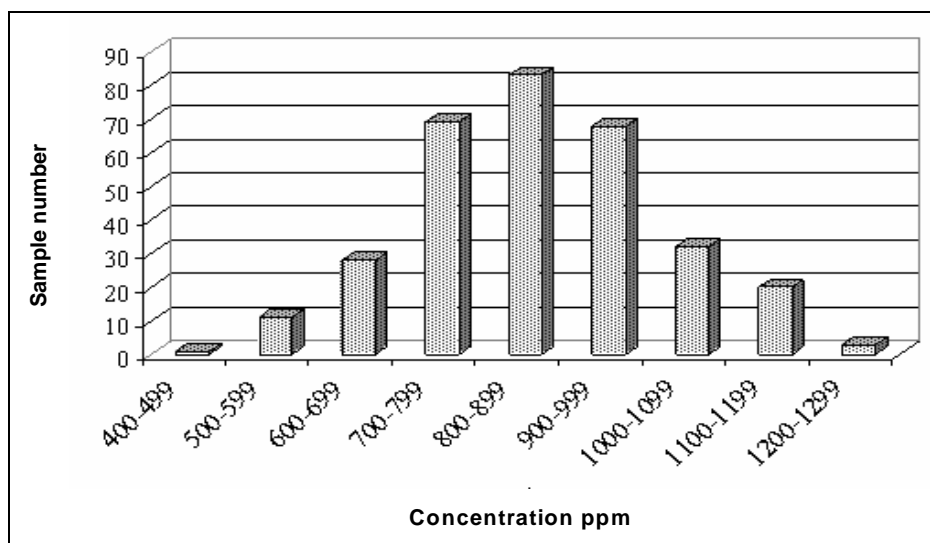


Figure 2.9: Distribution of fluoride content in Italian clays

Most of the clays contain trace levels of chlorine. The following figure shows an example of the distribution of chlorine content in Italian clays [30, TWG Ceramics, 2005].

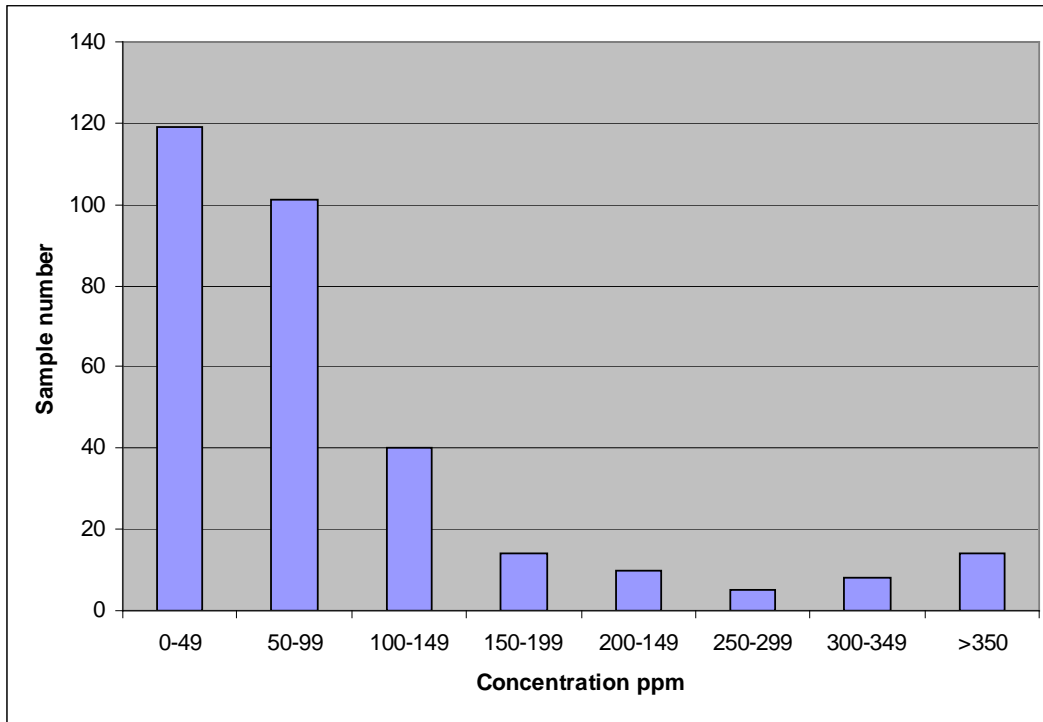


Figure 2.10: Distribution of chlorine content in Italian clays

The considerable variation of sulphur content in the raw materials being used, not only between the different European countries but also within one country, will result in large variations of process emissions. Sulphur mostly occurs as sulphides (pyrite) in the raw materials. Based on Italian research, sulphur shows a lognormal distribution, as shown in the following figure [3, CERAME-UNIE, 2003].

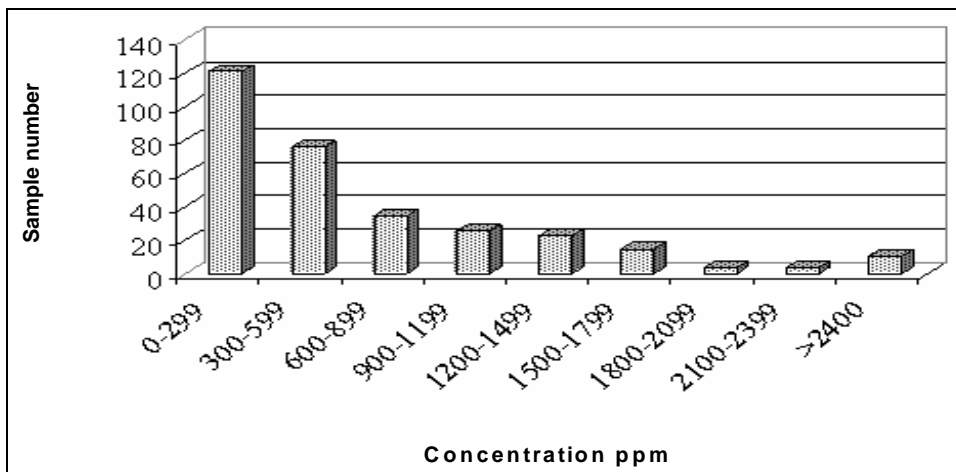
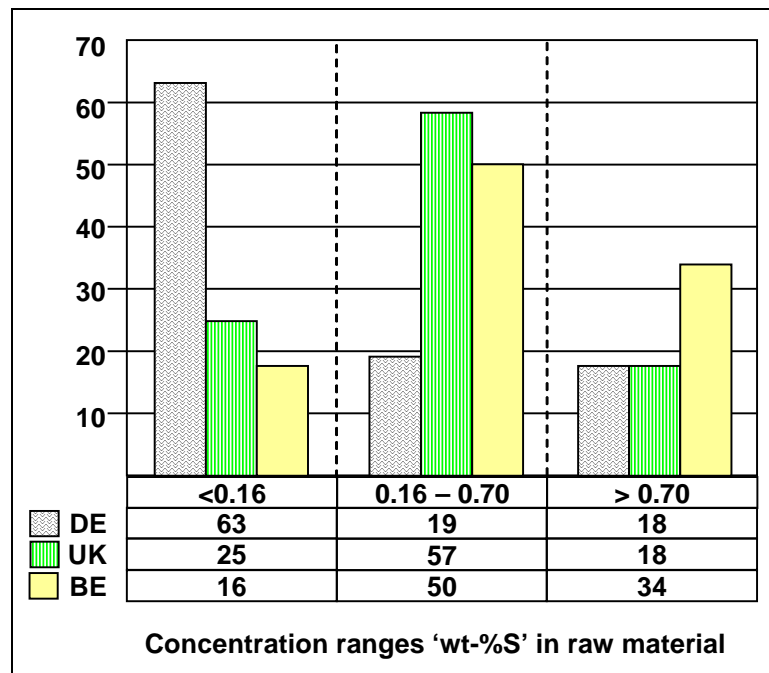


Figure 2.11: Distribution of sulphur content in Italian clays

Large variations are found not only in the magnitude of the sulphur content, but also in the sulphur content distribution. This is clearly demonstrated by the example of clays used in Germany, the United Kingdom and Belgium, as shown in the following figure. More than 80 % of the German clays have what is generally regarded as low and medium amounts of sulphur whereas in Belgium and the United Kingdom, more than 75 % are medium and high sulphur clays [3, CERAME-UNIE, 2003].



**Figure 2.12: Sulphur content in clays**

Another important material, where large variations are also found, is calcium oxide (CaO), mostly present as calcite and/or in the clay mineral structure. The presence of  $\text{CaCO}_3$  acts as an 'opening agent' due to decarbonisation during firing. The release of HCl,  $\text{SO}_x$  and fluoride might be influenced by the presence of CaO due to the formation of  $\text{CaSO}_4$  and  $\text{CaF}_2$ . However, the concentration of fluoride,  $\text{SO}_x$  and HCl in flue-gases is not necessarily related to the level of CaO in the raw materials and also depends on the firing temperature and the presence of water vapour during the firing process [23, TWG Ceramics, 2005].

Organic compounds, phosphates and soda are used as plasticisers for argillaceous raw materials. Foamed polystyrene, paper binding agents, sawdust and inorganic materials such as kieselguhr and perlite are needed as pore-forming agents. Engobe, used for surface treatment, is often made of white-burning clay, fluxing agents or colouring oxides. Glazing consists of batch materials mixtures (e.g.  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , quartz flour, chalk,  $\text{MgCO}_3$ ), fluxing agents, clay and colouring oxides or frits.

Raw materials are stored in the open air or in storage sheds, large volume feeders, tempering silos, ageing and souring facilities or dry material silos. In many cases, the brickyards are situated at close range to the quarries of the raw materials.

### 2.3.1.2 Preparation of raw materials

Dry preparation and semi-wet preparation are applied in the manufacture of tiles and bricks. The preparation method is selected because of the available materials, the quality specification of the final product, the method of shaping and the economic efficiency.

Dry preparation is mainly employed where relatively dry raw materials of lower plasticity are used or if high grade products are specified. The purpose of dry preparation is to reduce the particle size in hammer or suspended roller mills and to dry the particles to about three to six per cent water content at the same time. The necessary additives are also added in this process step, e.g. hydrated lime may be added to the clay (3.3 to 0.6 %) to regulate and fix the water content and to maintain a good plasticity in order to facilitate the cutting of the clay column in the extrusion-type process. Dry preparation is given preference in engineering or facing brick manufacture, because facing brick raw materials such as schistous clay have a low pit moisture level, making them particularly well suited for this preparation method.

A second preparation method in the manufacture of bricks and roof tiles is the semi-wet preparation process. Proportioning is carried out by large volume feeders. Volume feeders permit a bulk load and a proportion of several raw materials. In many cases, mixing water is added to the batch at the end of the feeder until the water content is around 20 %. Step by step crushing of the hard materials results in a maximum particle size of less than 1.8 mm. Thin products such as roof tiles have a particle size of between 0.5 and 0.8 mm. Depending on the characteristics of the raw materials, either clay crushers, knife crushers, double roll crushers or wet pan mills are used. Sand can sometimes be prepared and added separately; jaw crushers, impact crushers, vertical impact crushers and screens are used for this purpose. In some cases, sand and clay are stored separately and mixed just before shaping.

The combined processes of mixing and kneading bring about a homogenisation of the mass to obtain a good plasticity. A clay shredder, double shaft mixer, screen kneader and filter mixer are employed for this purpose. Organic and inorganic pore-forming agents are added in the manufacture of bricks with a low thermal conductivity to reach a large pore volume. In this process step, the mass receives the final shaping water content of 20 to 22 %. Hot water or hot steam supports the dissolving and opening up of small particles in the mixing process.

The prepared masses are stored in large volume feeders, clay silos, tempering silos, ageing and souring facilities for further homogenisation.

### 2.3.1.3 Shaping

Different shaping methods such as pressing, extrusion, and soft-mud moulding (see Sections 2.2.4.2, 2.2.4.3 and 2.2.4.4) are employed, depending on the kind of mass, the water content and the desired product.

In practice, the semi-wet prepared raw material is predominantly shaped in presses. The mass is pressed under a pressure of between 0.6 and 1.5 MPa in extrusion presses with or without a vacuum chamber. The die forms the mass into a column. The column is cut into single pieces by a wire cutter. This is the typical processing method in building brick and extruded roof tile production.

Pressed roof tiles are manufactured by forming so-called cakes or lumps first. Following this step, the cakes are shaped in another press to the correct geometry. Mechanical and hydraulic revolver presses, anvil presses, swivel beam presses and turntable presses are employed for this purpose. Single or multiple mould revolver presses are most commonly used. In revolver presses, an intermittently rotating drum in the form of a five, six or eight sided prism carries a bottom press mould on each of its sides. Each time the drum pauses, the vertical plunger, which carries the top mould, descends into the bottom mould located directly underneath and presses the clot of clay into shape. Following this step, the ware is placed on a special carrier. Different types of open moulds are used, such as plaster moulds, lubricated cast iron moulds, rubber lined moulds or metallic moulds with vulcanised rubber lining.

The visible surface of roof tiles is partially engobed or glazed. Bricks and facing bricks are treated by profiling, peeling, brushing or sanding to create surface textures.



### 2.3.1.4 Drying, glazing and engobing

Different types of dryers operate in the drying process (see Section 2.2.5), depending on the amount of work, the degree of mechanisation and the sensitivity of the mass. In the manufacture of bricks, chamber and tunnel dryers are usual. In the manufacture of roof tiles, chamber dryers and tunnel dryers are also used. In tunnel and fast dryers, the conditions for drying bricks are between less than 8 up to 72 hours at a temperature of approx. 75 – 90 °C. Fast dryers operate at significantly shorter periods of less than 8 hours for blocks, some facing bricks take up to 72 hours. In chamber dryers the drying period for bricks lasts up to 40 hours at a temperature of approx. 90 °C [23, TWG Ceramics, 2005], [30, TWG Ceramics, 2005]. Roof tiles are dried in tunnel dryers or chamber dryers at a temperature of 60 – 90 °C in 12 to 48 hours. The water content of the ware before the firing process in a tunnel kiln is lower than three per cent. Dryers are heated mainly by excess heat from the kiln and, in some cases, by natural gas or fuel oil burners or cogeneration.

Roof tiles and facing bricks are sometimes glazed and engobed on the visible surface or on the whole surface to achieve special colours or to increase the density of the product. Glaze and engobe are applied to the body after the drying process. In some cases, glazing and engobing is carried out after the shaping process. Engobe is a composition made of clay, fluxing agents, filling material and pigments. The best process to apply larger quantities to the ware is by spraying.

Organic binding agents are added to the engobe to achieve a better binding between the fluid engobe and the treated surface. Glaze is a mixture of batch material, fluxing agents, clay and colouring oxides, which are sintered to a vitreous mass. The glaze is usually applied by spraying in a spray chamber.

### 2.3.1.5 Firing

Today, bricks and roof tiles are fired in tunnel kilns mainly in an oxidising atmosphere. A reduction period in the final firing sector causes special colour effects if needed. In the reduction period, the fuel is supplied to an oxygen deficient atmosphere. In this way, the raw materials used generate the desired colour effects on the brick products.

The ware to be fired passes through the kiln on a series of kiln cars. Green bricks are placed directly on the tunnel kiln car, while green roof tiles are piled up for the firing process in the classic tunnel kiln in cassettes (H-form or U-form). The setting of the cassettes depends on the specific product to guarantee an optimal flow of the hot firing gases around the product and to consequently achieve a good firing result. The ware to be fired is heated up to a maturing temperature of between 800 and 1300 °C.

Following the necessary body formation time of between two and five hours at maturing temperature, the ware is cooled down according to plan to 50 °C.

The firing time of roof tiles in tunnel kilns is between 10 and 40 hours, paving bricks are fired, for 45 to 60 hours and clay blocks 17 to 25 hours. The flue-gas temperature depends on the dew point (and thus on the composition) of the flue-gas, e.g. for clays with a high sulphur content, the dewpoint will be higher and the flue-gas temperature will be higher. The following table shows ranges of operating data of classic tunnel kilns [4, UBA, 2001], [23, TWG Ceramics, 2005], [27, VDI, 2004], [21, Almeida, 2004], [30, TWG Ceramics, 2005].

Tunnel kilns	Unit	Facing bricks and clay pavers	Clay blocks	Horizontally perforated clay blocks	Roof tiles
Throughput	t/h	1 – 15	3 – 15	3 – 15	3 – 6
Kiln length	m	35 – 160	60 – 120	60 – 120	80 – 140
Cross-section	m <sup>2</sup>	1.3 – 6.0	4 – 12	4 – 12	4 – 10
Setting density	kg/m <sup>3</sup>	650 – 1500	350 – 500	250 – 750	200 – 400
Firing temperature	°C	1000 – 1300	900 – 1050	950 – 1050	1000 – 1150
Specific energy requirement (drying + firing)	kJ/kg	1600 – 3000	1000 – 2500 <sup>*)</sup>	1000 – 2500	1600 – 3500
Flue-gas volume flow	m <sup>3</sup> /h	5000 – 20000	10000 – 50000	10000 – 50000	10000 – 40000
Flue-gas temperature	°C	100 – 230	100 – 300	100 – 150	170 – 200

<sup>\*)</sup> Including heat content of the pore-forming agent

Table 2.2: Operating data of tunnel kilns

The fast firing method in roller hearth kilns is an alternative to the classic tunnel kiln firing technology. With the introduction of single rack flat firing for the manufacture of roof tiles, the firing time was reduced and the mass-ratio of firing auxiliaries to the ware to be fired was reduced. This method partially allows a reduction of the energy consumption in the firing process in some cases.

The fast firing method is performed in smaller kiln units – as opposed to the large classic tunnel kilns. The smaller units allow a greater flexibility in the adaptation of firing parameters to the actual product. The setting density of fast firing kilns can be below 100 kg/m<sup>3</sup>. The following table shows some data, referring to roof tiles, of classic tunnel kilns and fast firing methods [4, UBA, 2001].

Type of kiln	Mass-ratio firing auxiliaries/fired ware	Firing time (h)
Classic tunnel kiln	6:1	~50
Precision fast firing kiln	3:1	~10
Keramono single rack kiln	1:1	~2
Roller hearth kiln	0:1 to 2:1	3 to 8

Table 2.3: Comparison of classic tunnel kilns and fast firing methods (roof tiles)

The applicability of the fast firing method in the manufacture of bricks and roof tiles depends substantially on the specific surface of the product and the possibility of perfusion by hot firing gases. Not only roof tiles, but also clay blocks such as honeycomb bricks can be produced using the fast firing method. The following table shows ranges of operating data of fast firing tunnel kilns [4, UBA, 2001] [23, TWG Ceramics, 2005].

Fast firing tunnel kilns	Unit	Clay blocks	Facing bricks	Pressed roof tiles
Throughput	t/h	16.60 – 18.75	2.1 – 5.4	1.9 – 5.4
Kiln length	m	130	90 – 120	80 – 125
Cross-section	m <sup>2</sup>	to 17.6	to 3.5	to 3.3
Setting density	kg/m <sup>3</sup>	n.a.	n.a.	n.a.
Firing temperature	°C	1000	1000 – 1080	1020 – 1150
Firing time	h	2.5 – 3.5	4 – 5	3 – 4
Specific energy requirement (drying + firing)	kJ/kg	1250 – 3500	1590 – 4500	2930 – 4605

Table 2.4: Operating data of fast firing tunnel kilns

For the manufacture of specialised products, for example hand formed and special coloured facing bricks, Hoffmann kilns are also used. These consist of a series of linked chambers, which are sequentially filled with dried bricks, sealed, fired quasi continuously and the hot gases are drawn from one chamber to the next. This connecting system, with flues and holes between the chambers, also allows the preheating of the ware and the cooling of the flue-gases. One firing cycle takes usually between three days and two weeks and the setting densities in the linked chambers are more than  $300 \text{ kg/m}^3$ . The kilns are now mainly gas fired, but top feeding with oil or coal is occasionally practised and produces bricks with ageing effects [17, Burkart, 2004], [23, TWG Ceramics, 2005].

Intermittent kilns can be used to produce specialised roof tiles, bricks or fittings, typically for smaller batches. Such kilns are operated discontinuously and have firing times of between 20 and 45 hours, firing temperatures of between  $1000$  and  $1100 \text{ }^\circ\text{C}$ , and specific energy requirements of around  $500$  to  $900 \text{ kJ/kg}$  [23, TWG Ceramics, 2005].

Classic tunnel kilns are mainly heated with natural gas or fuel oil, and fast firing kilns are heated with natural gas. In some cases coal, as mentioned above, petroleum coke and peat are also used.

#### **2.3.1.6 Subsequent treatment**

Depending on the result of the firing process, the products are sorted during the unloading of the kiln or the tunnel kiln car automatically or manually. Products such as calibrated bricks are treated in grinding machines.

Sometimes treatment of clay facing bricks, clay roof tiles or fittings with hydrophilic or hydrophobic agents (e.g. siliconising, lanolising) is applied, which changes the behaviour of their surface when wetted by water.

Roof tiles are packed and palletised for transportation to a shipping unit. A layer of paper, cardboard or wooden veneer is placed between each layer of tiles, and full pallets are shrunk in or wrapped in tight-pack film. The products are handled by forklifts, mobile and portal cranes.

#### **2.3.1.7 Input and output flows in the manufacture of bricks and roof tiles**

Important input and output flows of the brick and roof tile manufacturing process are presented in the following figure [4, UBA, 2001], [23, TWG Ceramics, 2005].

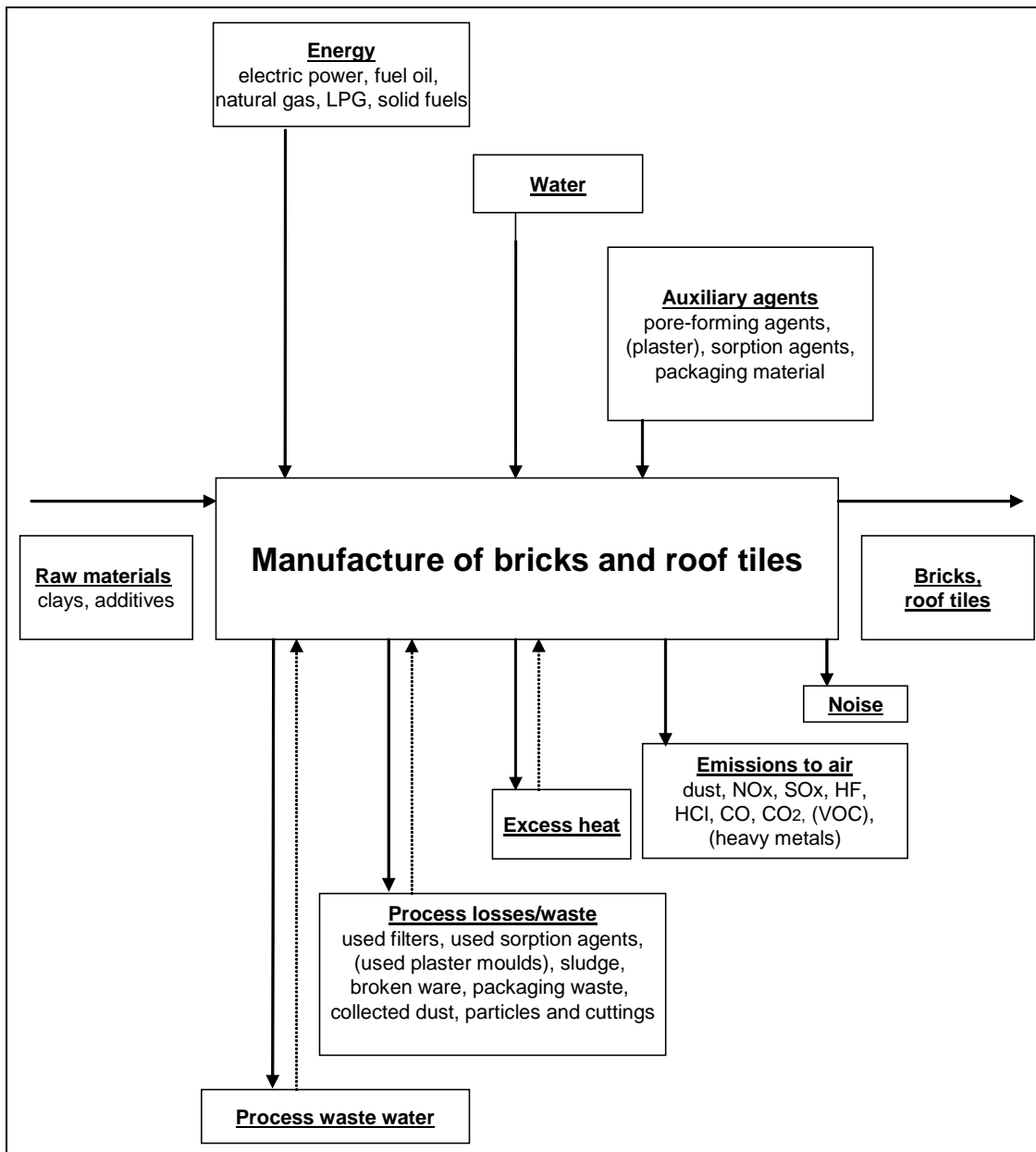


Figure 2.13: Input and output flows in the manufacture of bricks and roof tiles

### 2.3.2 Vitrified clay pipes

Vitrified clay pipes are manufactured using the following process steps: storage of raw materials, preparation of raw materials, shaping, drying, glazing, firing and subsequent treatment. The following figure shows a schematic view of the manufacture of vitrified clay pipes [4, UBA, 2001].

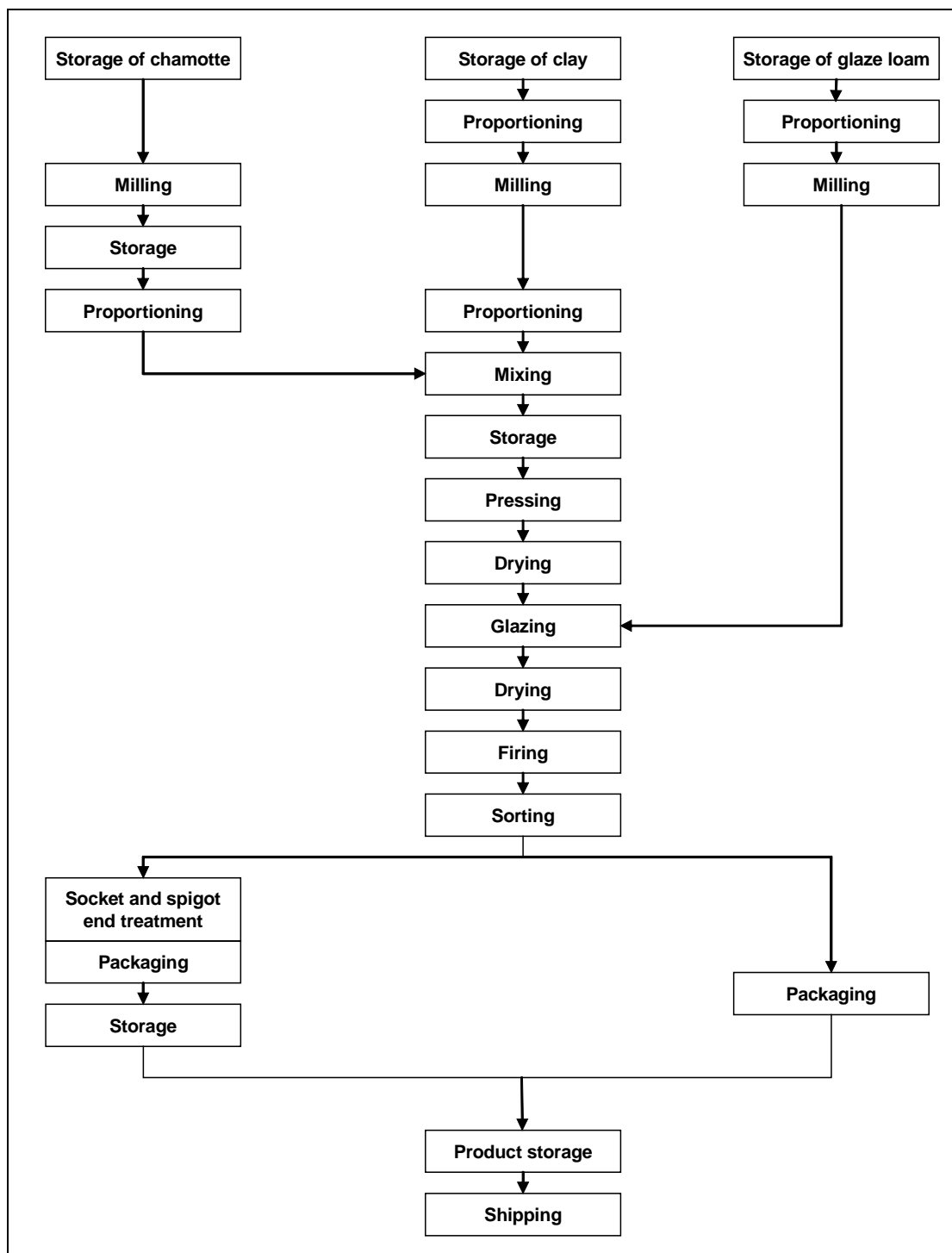


Figure 2.14: Schematic view of the manufacture of vitrified clay pipes

### 2.3.2.1 Raw materials

Clay, chamotte and glaze are employed as raw materials in the manufacture of vitrified clay pipes. Glaze consists of a mixture of loam, clay, chalk, dolomite, quartz and metal oxides. Chamotte raw materials, mainly consisting of re-used material from the ceramic production process, and loam for the glaze are stored under a roof. Depending on the preparation process, the clay components are stored in the open air or in boxes.

Table 2.5 and Table 2.6 show the ranges of mineralogical and chemical compositions of clays used in the manufacture of vitrified clay pipes [3, CERAME-UNIE, 2003].

Parameter (% weight)	BE	DE	IT	NL	UK
Quartz					
min	24	8	35	40	21
max	45	25	50	50	33
Feldspar					
min	11	1	1	0	0
max	18	4	24	0	0
Kaolinite					
min	24	30	5	20	8
max	32	60	20	25	20
Illite					
min	16	10	12	20	40
max	37	40	30	25	56
Montmorillonite					
min	0	2	0.5	0	0
max	8	10	1	0	0

**Table 2.5: Mineralogical composition of clay in the manufacture of vitrified clay pipes**

Parameter (% weight)	BE	DE	IT	NL	UK
S					
min	0.02	0.0	0.01	0.01	0.01
max	0.05	0.2	0.62	0.05	0.10
F					
min	0.03	0.02	0.04	0.02	0.02
max	0.05	0.06	0.13	0.04	0.05
CO <sub>2</sub>					
min	0.1			0.05	0.50
max	0.3			0.25	1.50
SiO <sub>2</sub>					
min	60	55	60	65	55
max	81	70	75	72	63
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>					
min	15	20	15	18	17
max	27	35	23	23	22
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>					
min	1.0	1.0	5.0	1.5	6.0
max	7.4	10	7.0	4.5	8.0
MgO					
min	0.2	0.0	0.7	0.5	1.7
max	1.0	1.5	1.5	1.4	2.2
CaO					
min		0.0		0.2	0.3
max		0.8		0.5	0.6
Na <sub>2</sub> O					
min	0.1	0.0	3.0	0.1	0.3
max	0.3	0.4	7.0	0.6	1.1
K <sub>2</sub> O					
min	1.0	1.0	1.0	1.8	2.8
max	2.6	4.0	3.0	2.6	3.9
TiO <sub>2</sub>					
min	1.3	1.0	0.5	0.7	0.9
max	1.8	2.5	1.0	1.3	1.0

**Table 2.6: Chemical composition of clay in the manufacture of vitrified clay pipes**

### 2.3.2.2 Preparation of raw materials

Different processes are used for clay preparation, e.g. the slip process. The clay is passed in the required quantities by box feeders into the preparation process. Fine grinding is performed by different types of mills, e.g. wet drum mills and roller mills. Wet drum mills are also used for the fine grinding process of loam glaze components. The components are milled to a fineness of 0.06 mm. Following this step, coarser particles are removed by screening. The fine components are suspended in water and stored in stirred tanks.

Raw chamotte is crushed and milled in jaw crushers, cone crushers, beater mills or ball mills. The fraction with a maximum particle size of 2.5 mm is screened out and stored. Chamotte is used as an opener and provides the mass with the necessary strength and stability during firing. Clay and chamotte fractions are fed to the mixing unit gravimetrically via a conveyor belt and chamotte scales, or volumetrically by box feeders, belt feeders or rotary feeders.

In the mixing unit the components are mixed and watered to an approximate pressing moistness with a water content of between 15 and 20 %. Organic and inorganic pressing agents and plasticisers are added to the press mass if needed. The prepared, moist mass is stored and homogenised in large volume feeders, clay silos, storage sheds or ageing and souring facilities with adequate mechanisation.

### 2.3.2.3 Shaping

The green clay pipes are shaped in horizontal and vertical de-airing extruders. The press mass is compressed and de-aired in the de-airing chamber of the extruder followed by the shaping of pipe and the socket and spigot end. After this step, the socket and spigot end are cleaned.

The green pipe bodies are handled by special appliances such as vacuum adhering robots. The robots place the green ware on dryer cars. A speciality of the clay pipe shaping process is the stiffness of the press mass, the different pipe diameters and the periodically operated extruder.

### 2.3.2.4 Drying and glazing

The rupture-free drying of the green ware takes place in chamber or tunnel dryers at temperatures of up to 100 °C to about two per cent remaining humidity. The drying time of the fittings is between 70 and 100 hours, the drying time of the pipes is between 30 hours (small pipes) and nine days (large pipes). Climate control (temperature, humidity) is necessary to avoid distortion of the pipes by unequal shrinkage.

Suitable gripping and holding robots dip the dried green ware into the glaze tank to cover the bodies with loam glaze and also glazing by spraying is possible. In the firing process, the glaze merges with the body surface, encloses it and covers it with a smooth surface. If parts of the surface are not to be glazed, they have to be covered with paraffin before the glazing process.

The glazed green ware is set on tunnel kiln cars. Afterwards they are finally dried to less than one per cent remaining moisture in tunnel dryers, which are situated in front of the tunnel kilns.

### 2.3.2.5 Firing

Firing takes place in gas heated tunnel kilns predominantly in an oxidising atmosphere. The green ware is fired in a vertical position fixed on firing auxiliaries. Conventional firing temperatures are between 1150 and 1250 °C, the firing time is between 30 and 80 hours. The following table presents ranges of operating data of tunnel kilns used for the manufacture of vitrified clay pipes [4, UBA, 2001].

Tunnel kilns	Unit	Vitrified clay pipes
Throughput	t/h	1 – 6
Kiln length	m	80 – 180
Cross-section	m <sup>2</sup>	6 – 10
Setting density	kg/m <sup>3</sup>	150 – 300
Firing temperature	°C	1100 – 1200
Specific energy requirement (drying + firing)	kJ/kg	3000 – 4000
Flue-gas volume flow	m <sup>3</sup> /h	4000 – 18000
Flue-gas temperature	°C	160 – 200

**Table 2.7: Ranges of operating data of tunnel kilns**

An alternative to the conventional firing process is the fast firing method of vitrified clay pipes. Vitrified clay pipes are dried in ten hours and glazed by spraying. Then they pass through the kiln for a period of eight hours. The pipes are fired while they are moved by horizontal rolling. Fittings, e.g. branches and arcs, are also manufactured in the fast firing process. Similar to the fast fired pipes, they pass through the roller hearth kiln in a period of eight to eleven hours. Transport of the fittings takes place on special firing auxiliaries which are moved back in a cycle below the kiln.

### 2.3.2.6 Subsequent treatment

Following the firing process all products are inspected. Polymer seal elements or prefabricated seals are added to the socket and spigot end if necessary. After this step, the pipes and fittings are packed.

After attaching the seal elements, pipes with a certain dimension (DN 250 to DN 600) are treated by grinding to guarantee high precision of the socket and spigot ends.

### 2.3.2.7 Input and output flows in the manufacture of vitrified clay pipes

Important input and output flows of the vitrified clay pipe manufacturing process are presented in the following figure [4, UBA, 2001], [23, TWG Ceramics, 2005].



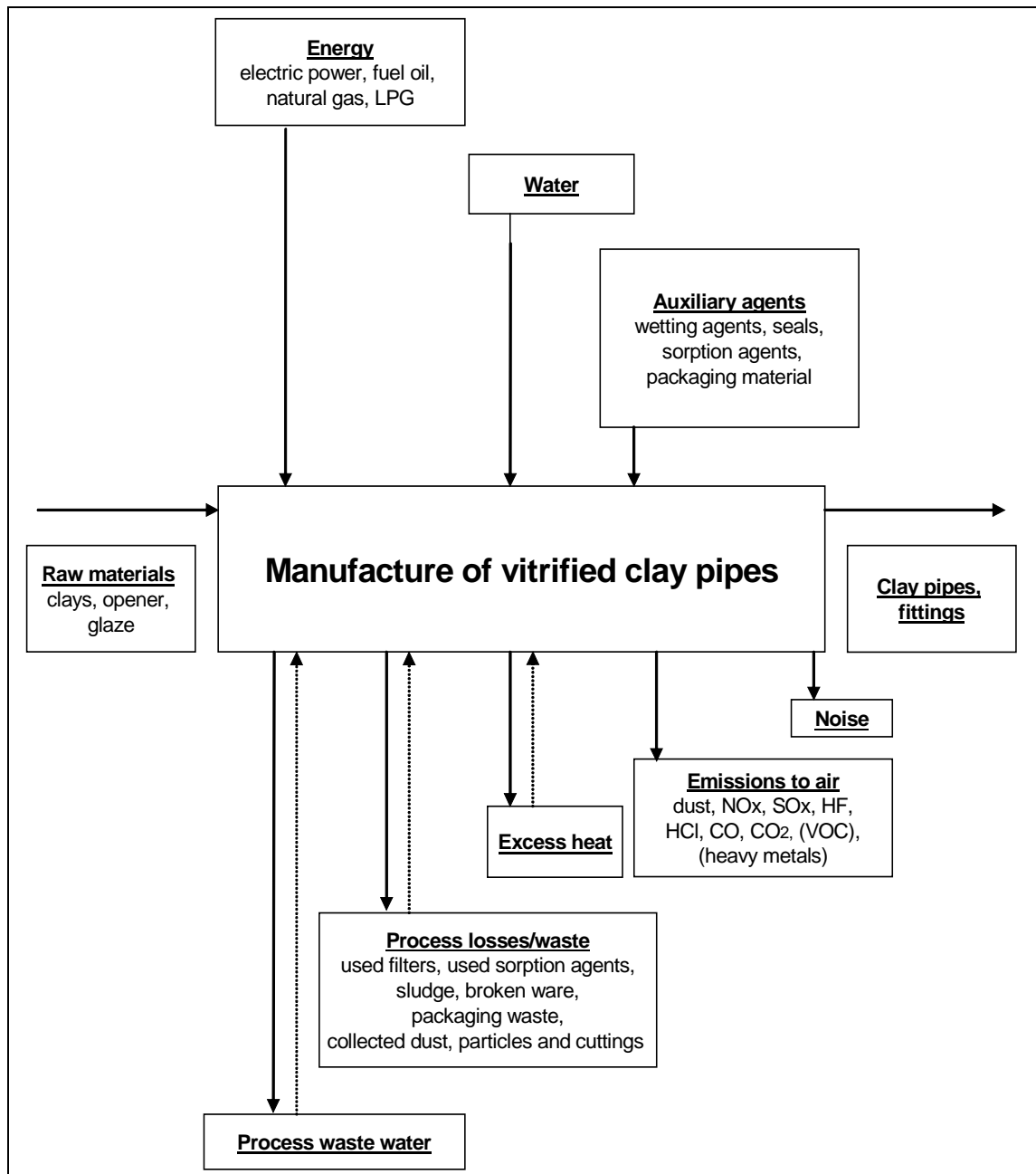


Figure 2.15: Input and output flows in the manufacture of vitrified clay pipes

### 2.3.3 Refractory products

Refractory products are classified according to their principal constituent. The main groups are:

- high alumina products, group 1 ( $\text{Al}_2\text{O}_3 > 56\%$ )
- high alumina products, group 2 ( $45\% < \text{Al}_2\text{O}_3 < 56\%$ )
- fireclay products ( $30\% < \text{Al}_2\text{O}_3 < 45\%$ )
- low alumina fireclay products ( $10\% < \text{Al}_2\text{O}_3 < 30\%$ ,  $\text{SiO}_2 < 85\%$ )
- siliceous products or semi-silica products ( $85\% < \text{SiO}_2 < 93\%$ )
- silica products ( $\text{SiO}_2 > 93\%$ )
- basic products, based on magnesia, magnesia-chrome, chrome-magnesia, chromite, forsterite, dolomite
- special products, based on carbon, graphite, zircon, zirconia, silicon carbide, carbides (other than silicon carbide), nitrides, borides, spinels (other than chromite), fused-lime.

Various methods are employed by the refractory industry in the manufacture of bricks. The simplest procedure is to saw shapes from natural or artificially produced raw materials. Fusion cast products are manufactured by casting melts in moulds in order for the melt to solidify into blocks or bricks. Highly refractory materials are nowadays manufactured increasingly by fine crushing and wet mixing and afterwards the refractory materials are formed by means of extrusion, slip casting or isostatic pressing. However, the so-called heavy clay ceramic method is now preferred for the manufacture of refractory bricks. The production process passes the stages storage of raw materials, raw materials preparation, shaping, drying, firing and subsequent treatment. The following figure shows a schematic view of the manufacture of basic bricks containing chromium ore [4, UBA, 2001].

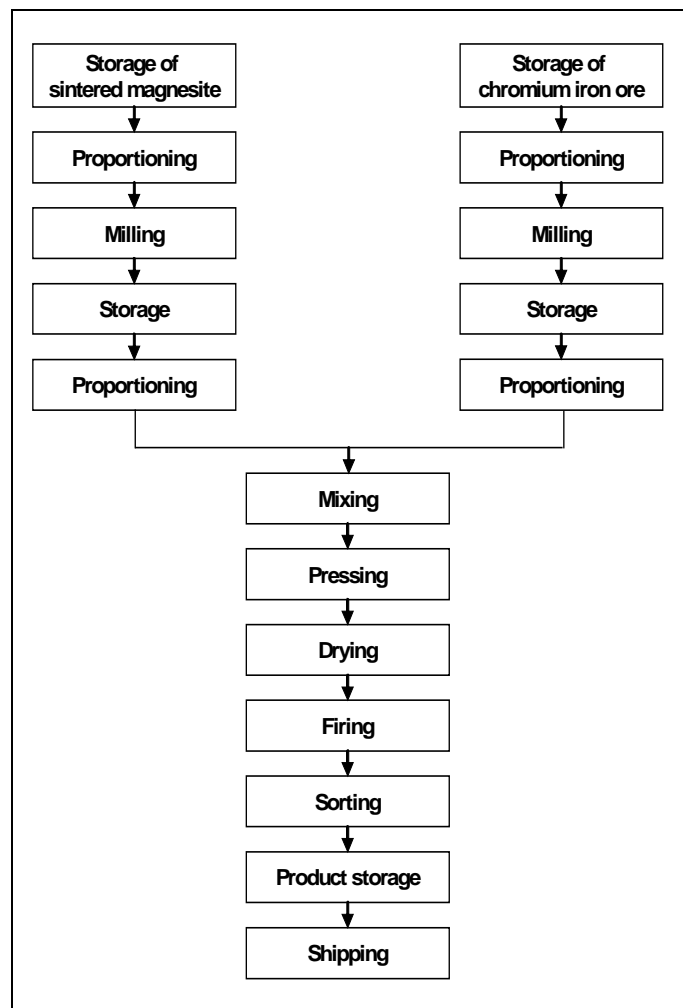


Figure 2.16: Schematic view of the manufacture of basic bricks containing chromium ore

### 2.3.3.1 Raw materials

Clay, chamotte and natural rocks such as quartzite, dolomite, magnesite and bauxite, which can be calcined (see Section 2.2.2.8), and also synthetic base materials such as, e.g. sintered corundum, silicon carbide, fused mullite or spinel, serve as raw materials for refractory products. In order to produce compressible masses, binders and aggregates are added to the milled raw materials. There are very different types of binders and aggregates used such as clay slip, sulphite lye, coal tar pitch, naphthalene, synthetic resin, milk of lime, wax, phosphoric acid, soot, graphite and sulphur. The raw materials are stored in roofed boxes. Pre-crushed delivered raw materials are stored in silos to avoid a reaction between water and raw materials.

The following table shows the most used oxides in melting/casting operations for refractory products with their corresponding melting temperatures [3, CERAME-UNIE, 2003].

Name	Formula	Melting temperature (°C)
Alumina	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2050
Chromium III	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2275
Magnesia	MgO	2830
Dolomite	CaO + MgO	2700
Silica	SiO <sub>2</sub>	1725
Zirconia	ZrO <sub>2</sub>	2700
Zircon	ZrSiO <sub>4</sub>	1770

**Table 2.8:** Most used oxides in melting/casting operations

### 2.3.3.2 Preparation of raw materials

Raw materials are mostly crushed in a coarse and then a fine crushing process. Coarse crushing is performed by jaw crushers, impact crushers, roller crushers and cone crushers. Fine grinding is carried out in ring-roll mills, ball mills and vibratory mills. The crushed and milled raw materials are classified in different fractions by vibration screens. Oversized material is fed back to the milling units. The fractions are stored temporarily in silos, which are depots between the preparation step and the brick production. Proportioning is carried out using weighing scales. Binders, pore-forming agents, antitack agents and mould lubricants are added if necessary. The components are fed into mixers (mainly in periodically operated mixers), homogenised and pre-densified. Muller mixers, counterflow mixers and double shaft pug mills have proved satisfactory.

Casting slip is produced by mixing the raw materials with a dispersing agent such as water. 'Dust pressing powder' is manufactured in a dry process or in a wet or semi-wet process followed by spray drying.

### 2.3.3.3 Shaping

Casting slip and 'dust pressing powder' are employed in the shaping process. The casting slip is filled into moulds in the casting process. After adequate body formation time, the green ware is removed from the mould.

Formerly, 'dust pressing powder' was formed into the desired shape by toggle presses. These days, toggle presses have been replaced by hydraulically operated presses equipped with modern electronic control units. The presses continuously check the bricks and make adjustments if required. A specific press force of 80 to 200 MPa is standard today. Using the different press programmes, refractory bricks can comply with customers' requirements.

The isostatic pressing method has been accepted for the manufacture of high quality special refractory products. In this method, flexible plastic moulds are filled with a fine ceramic powder mix. After closing the mould, the mix is subjected to pressure usually in a hydraulic autoclave. The pressure is applied uniformly in all directions to the pressed shape via a compressive liquid, so that uniform densification is achieved. Pressures of up to 300 MPa are applied to manufacture large sized blocks and special shapes with this process.

Various grades of ceramic mixes can be compacted to shapes with relatively low pressure in conjunction with mechanical oscillations created by vibrators. Recently, the traditional shaping process has been supplemented by a new process. The mixes to be shaped are mixed with a binder sensitive to cold. Next the mixes are poured into moulds and harden at temperatures of below -30 °C.

### 2.3.3.4 Drying

The drying process takes place in chamber or tunnel dryers and lasts, depending on the size of the bricks, between one day and several weeks. Large shapes are dried under controlled humidity of the drying air. The remaining moisture should be less than one per cent before the firing process starts. The following table presents examples of operating data of periodically operated dryers, the significance of which is decreasing in the refractory industry [4, UBA, 2001].

Chamber dryers	Unit	Fireclay products	Silica products
Throughput	t/cycle	18	10
Drying chamber volume	m <sup>3</sup>	171	56
Setting density	kg/m <sup>3</sup>	105	180
Drying temperature	°C	80	100
Drying time	h	44	24
Specific energy requirement	kJ/kg	350	300
Flue-gas volume flow	m <sup>3</sup> /h	1600	15000
Flue-gas temperature	°C	60	60

**Table 2.9: Operating data of periodically operated dryers (chamber dryers)**

The following table shows the operating data of two tunnel dryers and a climate controlled dryer [4, UBA, 2001].

	Unit	Tunnel dryer	Tunnel dryer	Climate controlled dryer
Product		Fireclay	Magnesite	High alumina
Throughput	t/h	2.1	4	3.5
Dryer length	m	80	51	36
Cross-section	m <sup>2</sup>	1.65	2.5	2.7
Setting density	kg/m <sup>3</sup>	1000	1800	1000
Drying temperature	°C	100	150 – 180	30 – 200
Drying time	h	48	17	32 – 48
Specific energy requirement	kJ/kg	500	1500	n.a.
Flue-gas volume flow	m <sup>3</sup> /h	800	11000	5410
Flue-gas temperature	°C	40	120	105

**Table 2.10: Operating data of two tunnel dryers and a climate controlled dryer**

### 2.3.3.5 Firing

Refractory products are fired at temperatures of between 1250 and 1850 °C. Maturing temperatures depend on the composition of the raw materials and reach the beginning of deformation. The firing temperatures for the most important material groups are in the following ranges:

- fireclay bricks 1250 - 1500 °C
- silica bricks 1450 - 1500 °C
- high alumina bricks 1500 - 1800 °C
- magnesia bricks 1400 - 1800 °C.

The products are fired in tunnel kilns, shuttle kilns and hood-type kilns. The following table shows examples of operating data of tunnel kilns used in the refractory industry [4, UBA, 2001].

Tunnel kilns	Unit	Magnesia bricks	Fireclay bricks	Bauxite bricks	Silica bricks
--------------	------	-----------------	-----------------	----------------	---------------

Throughput	t/h	2 – 8	4	4	2.1
Kiln length	m	150	113	116	180
Cross-section	m <sup>2</sup>	1.3 – 3	2.4	2.2	2.8
Setting density	kg/m <sup>3</sup>	1000 – 2500	600 – 1500	600 – 1300	700 – 1000
Firing temperature	°C	1760 – 1850	1260	1400	1450
Specific energy requirement (drying + firing)	kJ/kg	6000 – 9700	3200	4500	9050
Flue-gas volume flow	m <sup>3</sup> /h	15000 – 25000	10000 – 15000	10000 – 15000	1200
Flue-gas temperature	°C	250 – 400	150 – 200	150 – 220	120

**Table 2.11: Operating data of tunnel kilns used in the refractory industry**

The following table shows examples of operating data of shuttle kilns used for firing silica, high alumina and fireclay products [4, UBA, 2001].

Shuttle kilns	Unit	Silica bricks	High alumina bricks	Fireclay bricks
Throughput	t/cycle	153	40 – 50	18
Firing chamber volume	m <sup>3</sup>	180	20	25
Setting density	kg/m <sup>3</sup>	850 – 1100	2000 – 2500	650 – 1000
Firing temperature	°C	1540	1340 – 1650	1430
Specific energy requirement	kJ/kg	4500 – 7000	4500 – 8000	7600
Flue-gas volume flow	m <sup>3</sup> /h	to 50000	to 20000	3600 – 7000
Flue-gas temperature	°C	180 – 300	180 – 290	160 – 250

**Table 2.12: Operating data of shuttle kilns**

The setting of bricks, especially in tunnel kilns, is performed increasingly by automatic setting machines. The bricks coming from the presses are automatically handled and placed on the kiln cars according to programmed setting patterns. The setting pattern permits impingement by flame and hot gases on all sides in conjunction with a low energy requirement. Modern kilns are operated with fuel oil and natural gas. In some cases, electric heating is standard for a short run of special products.

### 2.3.3.6 Subsequent treatment

In some special cases it is necessary for the fired refractory products to be subsequently treated by grinding, polishing and turning in wet or dry processes. Following this treatment, the products are palletised or packaged and covered with plastic foils to avoid any water soaking, because protection must be guaranteed for the entire transportation.

### 2.3.3.7 Special procedures

Special procedures are applied to manufacture refractory products with special characteristics. The formation of carbon bonding and pitch impregnation are procedures where special auxiliary agents are used. C-bonded bricks are predominantly used in the production of steel. The raw materials are often hot processed and pressed with coal tar, pitch or resins as binders. The bonding of the pressed parts is considerably reinforced by tempering and curing. The binding agent cokes during the tempering under the exclusion of air at temperatures of between 320 and 550 °C. During the hardening process, the products are heated to approx. 150 to 220 °C in electrical kilns. Refractory bricks are impregnated in some cases with coal-tar or bitumen to avoid ‘open pores’.

### 2.3.3.8 Input and output flows in the manufacture of refractory products

Important input and output flows in the manufacture of refractory products are presented in the following figure [4, UBA, 2001], [23, TWG Ceramics, 2005].

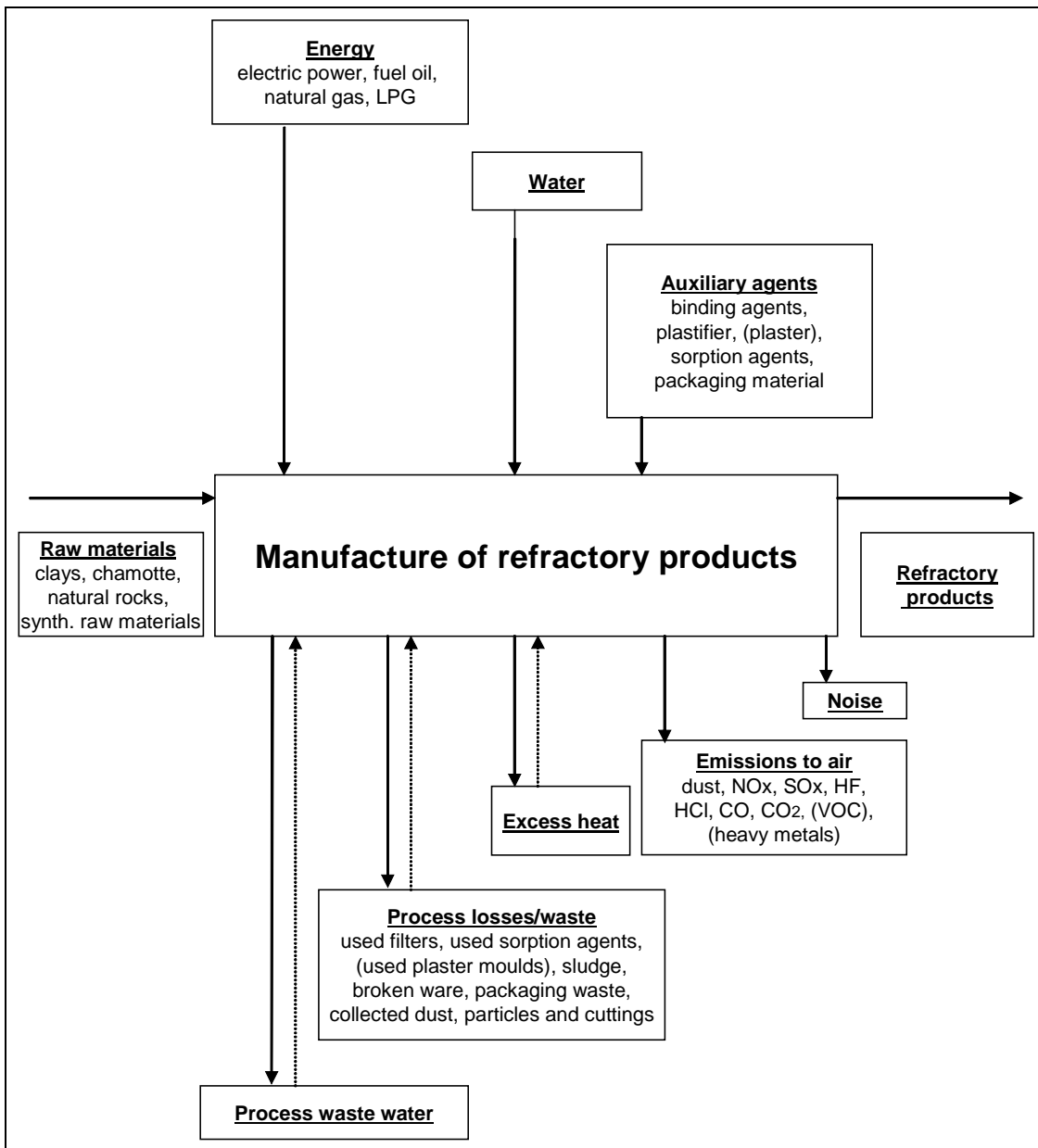


Figure 2.17: Input and output flows in the manufacture of refractory products

### 2.3.4 Expanded clay aggregates

Expanded clay is a porous ceramic product with a uniform pore structure of fine, closed cells and has a densely sintered, firm external skin. It is produced from raw materials containing clay minerals and additives. The raw material is prepared, moulded and then subjected to firing processes at temperatures of between 1100 and 1300 °C, resulting in a significant increase in volume due to expansion.

For the industrial manufacture of expanded clay, certain material requirements have to be met. Another important factor is kiln design, which should match the characteristics of the raw material and the quantities being processed. The following parameters can influence the expansion process:

- raw material composition
- additives
- temperature curve
- kiln atmosphere
- viscosity as a function of the above-mentioned influence factors.

Practical experience during expanded clay manufacture has shown that the expandability of clay is determined by raw materials and additives and by the thermal process technology. The main technological factors influencing the expandability of raw materials are the heating rate and the kiln atmosphere.

The manufacture of expanded clay involves the following steps: quarrying (this activity is not covered in this document), raw material preparation, shaping, heat treatment (drying, firing), subsequent product treatment, product recovery and preparation for transport (bagging, loading). The following figure shows a schematic view of the manufacture of expanded clay aggregates [26, UBA, 2005], [30, TWG Ceramics, 2005]. The shaping process step is not relevant for all plants

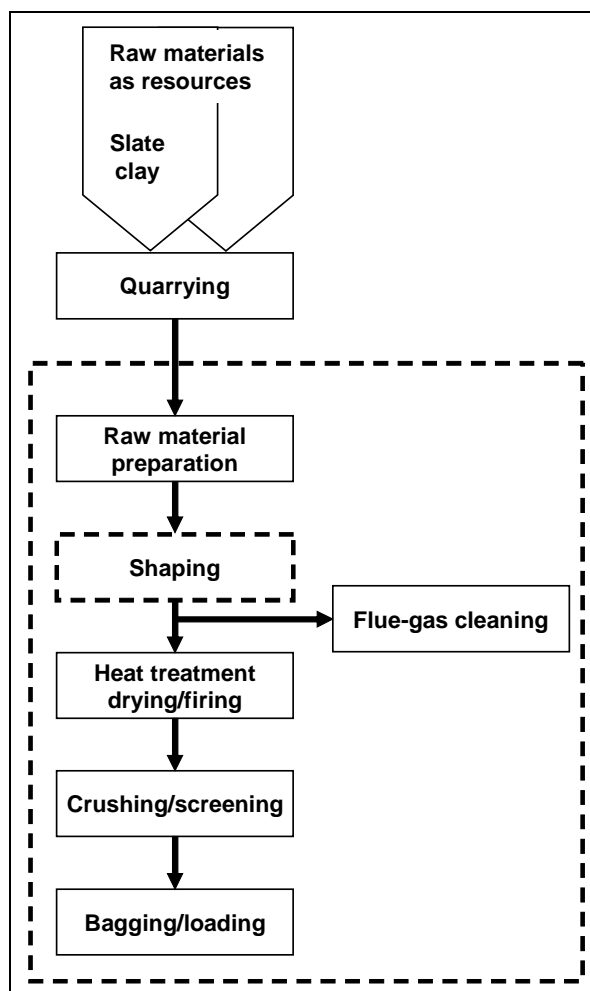


Figure 2.18: Schematic view of the manufacture of expanded clay aggregates

### 2.3.4.1 Raw materials, additives and auxiliary agents

Raw materials for the manufacture of expanded clays are early sintering clays. With a controlled heating rate and within a temperature range of between 1100 and 1300 °C, they experience a significant increase in volume. Only those raw materials that initially form a pyroplastic, dense sinter or melt coat when they are heated to these temperatures are suitable, and at the same time form gases inside the body (granule fragment) that are able to expand the viscous bodies. The presence of associated flux media such as iron oxides, alkalis, alkaline earths, as well as gas-forming substances that are either present in the raw materials or can be added during processing, are necessary for this to occur.

Previous studies showed that the expansion characteristics of a clay as raw material cannot generally be derived from analysis. Certain general statements regarding the chemical/mineral composition and other characteristics of materials with proven expandability are:

- relatively high plasticity, with a large fines content
- relatively high content of layered silicates, particularly from the illite or mica group, more than 40 % is advantageous; the kaolinite content is usually low
- calcite or dolomite content reduces the expansion time; lumpy lime is harmful, because it may subsequently lead to spalling
- chemical composition:
  - $\text{Al}_2\text{O}_3$ : 12 – 25 %
  - $\text{SiO}_2$ : 47 – 78 %
  - flux ( $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{FeO}$ ): 8 – 29 %
  - $\text{C}_{\text{organic}}$ : 0 – 2.5 %
  - $\text{FeS}_2$ : should be fine-grained (residue in the finished product  $\leq 1.0$  or  $1.5$  %  $\text{SO}_3$ )
- mineralogical composition:
  - quartz: 7 – 45 %
  - carbonates: 0.1 – 17 %
  - clay minerals: 40 – 80 %
  - feldspar: 5 – 25 %
  - other: 3 – 17 %
- pyroplastic softening of the mass or the granules should occur during the most favourable stage of the gas formation process; this offers the most advantageous expansion range of at least 50 to 100 K.

Clays that are naturally inadequate for expansion can be made expandable by adding appropriate additives and auxiliary agents, which make the manufacture of expanded products with special characteristics easier (for instance if the aim is to maximise the thermal insulation characteristics, expansion aids are often added to the expanded clay) and often also safer. The examples of additives (fluxes and release agents) and auxiliary agents (expansion aids) shown in the following table have proven to be particularly reliable:

Flux	Expansion aids	Release agents
Iron oxides	Heavy oils	Lime compounds
Iron hydroxides	Lignosulphonates	Dolomite
Illitic clays	Ultrafine coke/coal	
	Bituminous clays	

**Table 2.13: Examples of expansion promoting additives and auxiliary agents**

The types of additives and auxiliary agents depend on the composition of the raw material, the manufacturing process technology (processing of moist or dry clays, see Section 2.3.4.2), the economic availability and the characteristics of the emission. The dosage is usually between 0 and 10 % by weight.



### **2.3.4.2 General system and process technology**

#### **2.3.4.2.1 Shaping**

Two basic techniques are used for the preparation of raw material and the shaping depending on the moisture content in the clay.

For clays with a relatively high moisture content, the use of the wet process is the most common technique: in mechanical processing and homogenisation in clay storage, pan mills, disintegrators, dual-shaft mixers and kneaders, the ductile clays (with additives) are fed to a rotary dryer. Through a suitable sequence of drying kiln fixtures such as chains, crossed bars and plates, the clay fragments are broken down further.

For rather dry clays, the use of the semi-dry process is the most common technique: a primary crusher is used for crushing large pieces of raw material to a grain size of less than 100 mm. The material can be homogenised during automatic storage and retrieved via a bucket-conveyer excavator. In the dry grinding unit, the raw clay is crushed between the rotating grinding track and grinding rollers. The powdered clay is fed to the slanting dish granulator, with water being added. The rotary motion of the dish causes spherical granules to form, which are discharged via the lower edge of the dish and the rolling movement has a certain granulating effect. Suitable reagents are added for reducing the surface tension of the added water. The size of the granules is influenced and their characteristics adapted to the respective raw material by changing the speed and inclination of the dish and the height of the dish edge. The granules pass through a 'powder drum', where limestone powder is applied to the granule surface. This prevents bonding of the unfired granules and subsequently protects them in the expansion kiln.

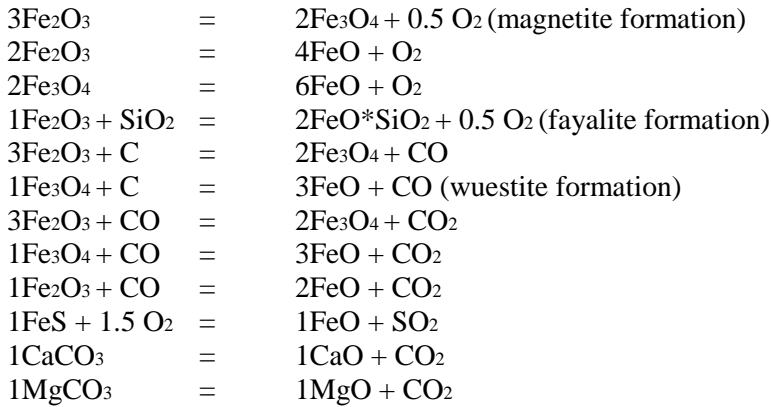
#### **2.3.4.2.2 Thermal process technology**

Trends in kiln design are characterised by efforts to develop systems with simple and flexible adaptability both in terms of the raw materials and the required product characteristics. One route for achieving this is variable firing and air control, combined with different transfer times for the individual thermal stages. The optimal temperature curve for reaching the desired density depends upon the raw material mixture and additives. For optimising the procedure, preheaters are located upstream of the actual expansion kiln. The most common preheater type is a drum preheater (drying kiln). For cooling, devices such as shaft coolers, rotary coolers, satellite coolers, grate or hopper coolers are usually used.

Rotary kilns used for the manufacture of expanded clay are usually operated in a counterflow mode, i.e. the material and the heating medium move in opposite directions. The raw material is added on the cold side of the kiln. Due to the inclination of the drum and the rotation of the kiln, the material drifts to the hot end of the kiln, i.e. the high temperature zone. The transfer time depends on the inclination of the kiln, its speed and the fixtures inside the kiln. Time has a significant influence on the product characteristics. In order to prevent the granules from sticking together, the kilns are sometimes equipped with appropriate fixtures such as suspended chains. The kiln dimensions vary depending on the technique used. Tube lengths vary between 4 and 80 m, diameters between 1.0 and 4.5 m. The common fuels used are oil, coal, gas and the alternative/secondary fuels are of organic origin (e.g. biofuels, biomass) and non-organic origin (e.g. waste oil, solvents). The system design aims to optimise the thermal balance, utilising a wide range of temperature and heating time options.

**2.3.4.2.3 Chemical reaction during expansion**

During the -heating of the granules, water vapour is formed from residual water, as well as oxygen, water vapour from constitution processes, decomposition gases from organic substances, sulphur dioxide and carbonic acid from carbonate. At the same time, the pores on the surface begin to close. The expanded product (with a more or less fine cellular internal structure) is formed due to the fact that the gases expand with increasing temperature. The main reactions occurring during expansion are the following:



Consequently, the main gaseous elements and compounds that are released are therefore oxygen, carbon monoxide, carbon dioxide and/or sulphur dioxide, of which one or more have to be available for the expanding process. This principally occurs in the extended temperature range of approximately 750 to 1300 °C.

**2.3.4.2.4 Subsequent sieving and crushing**

In the manufacture of expanded clay aggregates, after the heat treatment process, the aggregates go through a sieving and crushing process to obtain the desired granulometry and quality. Dry sieving and sand crushers are normally used.

**2.3.4.3 Input and output flows in the manufacture of expanded clay aggregates**

Important input and output flows in the manufacture of expanded clay aggregates are presented in the following figure [17, Burkart, 2004], [23, TWG Ceramics, 2005], [26, UBA, 2005], [28, Schorcht, 2005], [30, TWG Ceramics, 2005].

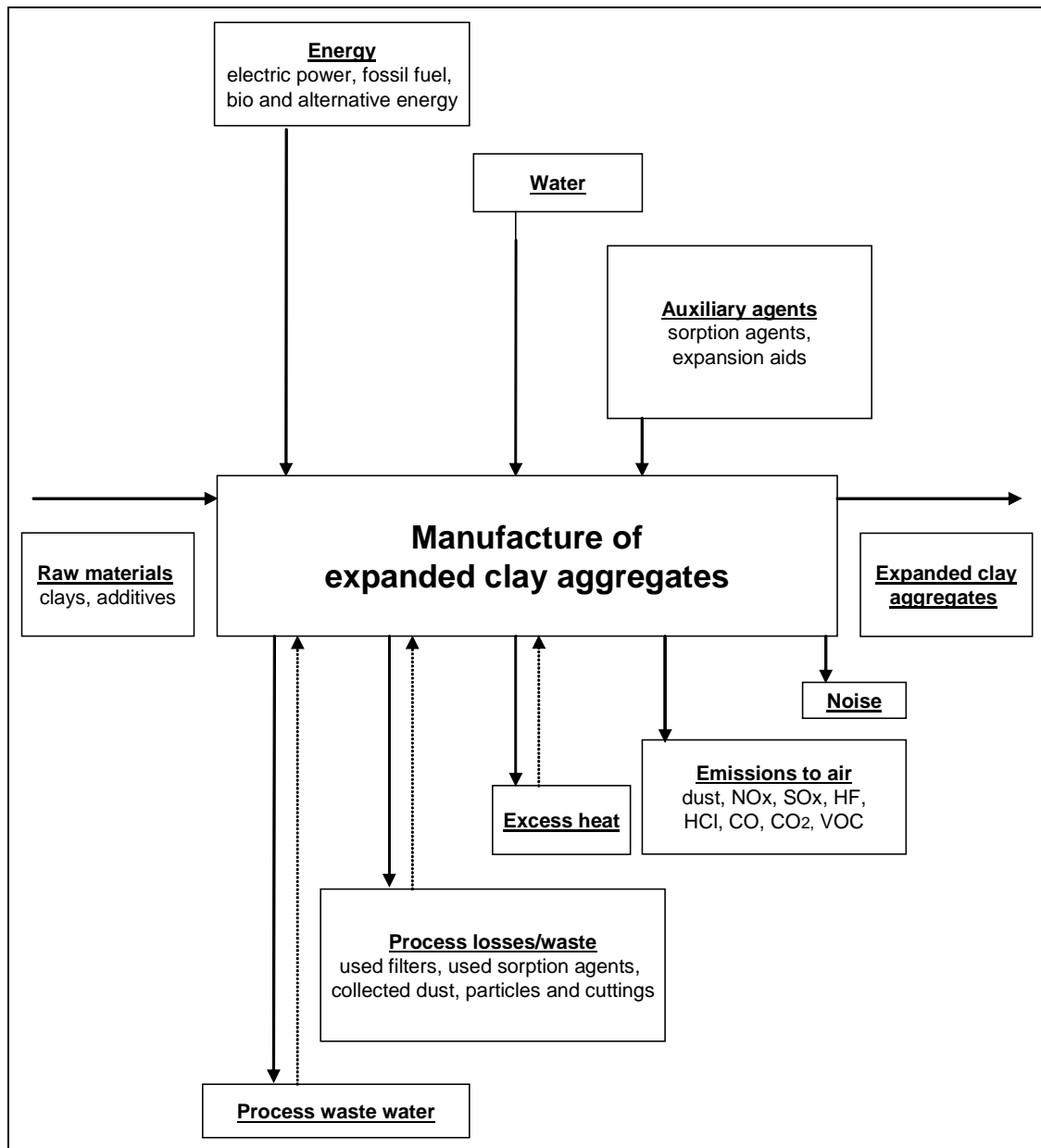


Figure 2.19: Input and output flows in the manufacture of expanded clay aggregates

### 2.3.5 Wall and floor tiles

The wall and floor tile manufacturing process consists of a series of successive stages which can be summarised as follows:

- storage of raw materials
- body preparation (dust pressing powder (dry or wet process) or extrusion paste)
- shaping
- drying of the green body
- glaze preparation and glazing
- firing (with or without glazing)
- polishing
- sorting and packaging.

Depending on whether the product to be made is glazed or not and whether single firing, double firing or third firing is involved, the tile will or will not be glazed in a given process, or the order of the glazing and firing stages will be suitably rearranged. The following figure shows a schematic view of the different possibilities for wall and floor tile manufacturing processes [3, CERAME-UNIE, 2003], [23, TWG Ceramics, 2005].

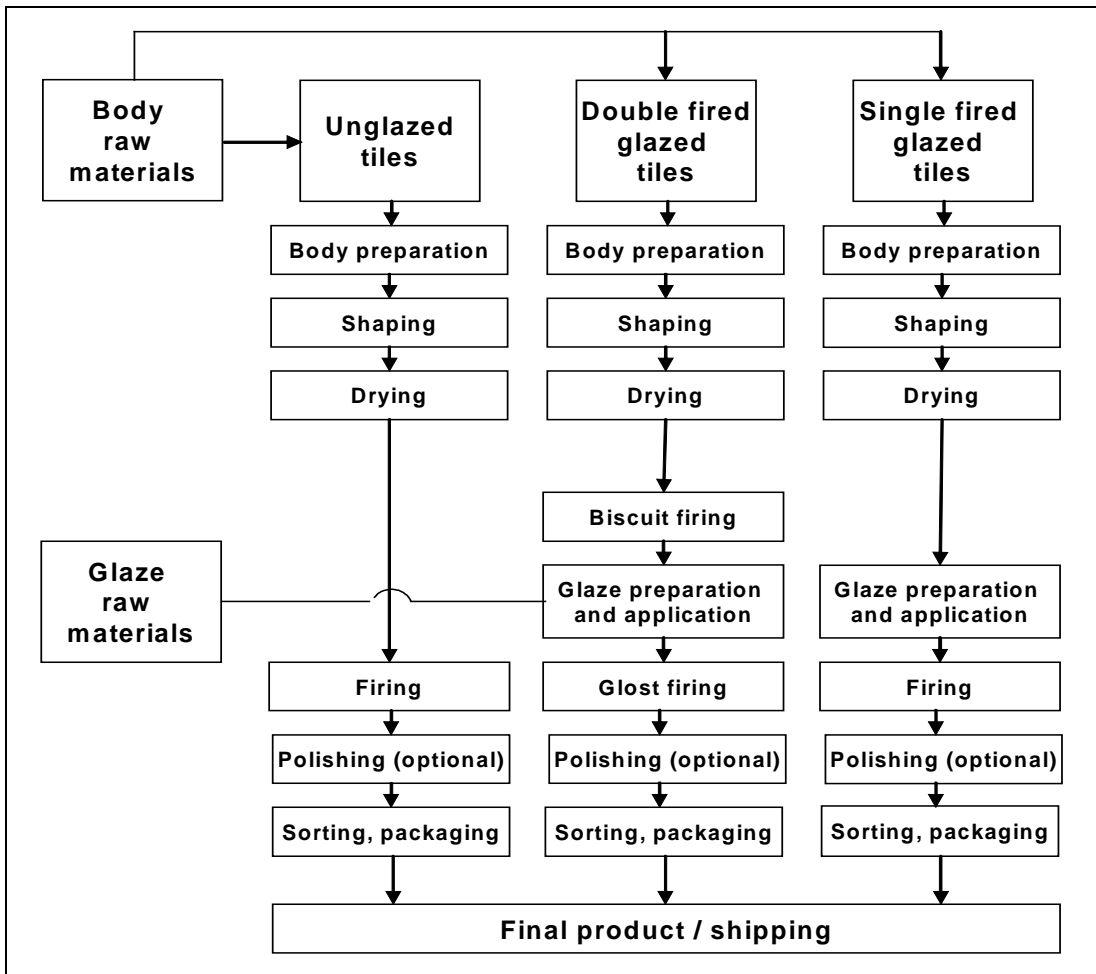


Figure 2.20: Schematic view of wall and floor tile manufacturing

### 2.3.5.1 Raw materials

Clays and kaolins are typical plastic raw materials used in the manufacture of wall and floor tiles. Chamotte, quartz, feldspars, calcium carbonate (calcite), dolomite and talc are non-plastic raw materials with different functions in the body composition (for instance feldspars act as fluxing agents, while calcite enables the formation of crystalline phases). The same raw materials combined with glaze frits, metal oxides and colourants are also used for glazes. Electrolytes such as sodium silicate or diphosphate are added to reduce the energy consumption in the drying process by water reduction.

Body components are delivered to the raw material storage area mainly as bulk material. The materials are stored in the open air, in storage sheds, boxes or silos. Smaller masses are delivered and stored in bags and containers, and fluid materials in closed tanks.

### 2.3.5.2 Preparation of raw materials

Preparation of raw materials includes different operations and techniques, according to the type or form of body to be produced.

The proportioning of raw material is performed gravimetrically taking into consideration the moisture of the raw materials. Small masses of pigments, metal oxides or colourants are added to stain the body components. Larger pieces are pre-crushed in roller mills or auger machines. After weighing, the pre-crushed materials are milled (including water and electrolytes) in wet drum mills, which may be batch or continuous mills. An additional variation is the elutriation and homogenising process of the batched raw materials in large tanks. The suspension is pumped from the tanks to wet drum mills. The water content of the suspension is about 35 %.

After fine grinding (to a particle size <0.1 mm), the suspension is screened step by step and stored in stirred storage tanks. The suspension is processed either to a plastic body ('extrusion paste') or to 'dust pressing powder'. The production and processing of casting slip is unusual in the manufacture of wall and floor tiles.

'Extrusion pastes' are usually prepared in pan mills or lamination units. To produce 'extrusion paste', the suspension is dewatered in filter presses or rotation filters to a water content of between 20 and 25 %. Organic or inorganic substances are added to the plastic compound to maximise the plasticity. These substances are, for example, alginate, dextrin, lignin, methyl cellulose, ethyl cellulose and paraffin.

A special process to prepare raw materials for plastic shaping is fine grinding in dry mills, mixing and then adding about 20 % of water (Buchtal process) [23, TWG Ceramics, 2005].

Tiles are predominantly manufactured by the use of 'dust pressing powder'. Dust pressing powder can be produced through a wet or dry process.

In the wet process, the suspension is pumped from the stirred storage tanks by pumps to spray or flash dryers. Drying is performed at temperatures of between 350 and 450 °C to a water content of between five and nine per cent. The required heat in the spray dryer is produced by natural gas or fuel oil firing. Organic slip additives are added to maximise the sliding characteristic of the powder. The slip additives may be organic or inorganic; the most widely used additives in body composition preparation are sodium silicate, sodium tripolyphosphate and acrylates. The use of binding agents such as carboxymethyl cellulose, methyl cellulose, polyvinyl alcohol, etc. in body composition preparation is usually unnecessary due to their significant content in clays, except in special cases (e.g. big sizes) [23, TWG Ceramics, 2005].

The dry process includes dry grinding in cone, hammer and ring mills, followed by a suitable wetting of the ground powder, to achieve an average moisture content of around 5 – 7 %.

### 2.3.5.3 Shaping

'Extrusion paste' is shaped in an extruder to the right geometry and cut into pieces. Typical products manufactured from these plastic compounds are cleaving tiles. Earthenware and stoneware tiles are mainly made of 'dust pressing powder'. The powder is shaped to press bodies in impact toggle presses, screw presses or hydraulic presses with a pressure of about 35 MPa. Normally multi-tool presses, which are able to form four tiles per cycle, are employed. Pressed green ware is polished and put into the tunnel kiln car or roller dryer either automatically or manually.

### 2.3.5.4 Drying

The pressed bodies are dried mainly in tunnel dryers, roller dryers or vertical dryers. Waste heat from the kiln or natural gas and fuel oil firing burners are operated to heat the dryer. Drying is performed at temperatures that vary depending on the type of technology, e.g. in vertical dryers between 200 – 220 °C and in tunnel dryers 300 – 350 °C. Drying time is between one and four hours depending on the water content of the green ware. The required residual moisture content is less than one per cent to avoid fissures and glazing errors in the firing process.

### 2.3.5.5 Firing and glazing

Tiles are made as glazed or unglazed single fired products or as glazed double or even triple fired products. In the double firing process, the tiles pass the biscuit firing first. Biscuit firing is performed at temperatures of between 1050 and 1150 °C in classic tunnel kilns (in 20 to 50 hours) or in modern roller hearth kilns in one to two hours. Periodically operated kilns are used rarely in the ceramic biscuit process. Following this step, the tiles are sorted automatically and transported to the glazing process. Glaze is applied to the tiles by spraying or watering. Glazing machines are equipped with dabbing units to marble the tiles. Additionally, silk screen printing machines can be used for decoration purposes and decoration can also be carried out with gravure or flexography techniques. Glazing raw materials are often drawn as frits. All components in a frit are already batched, fired and milled. Substances such as lead are bound in frits in a molecular form, so water cannot wash them out in this process step.

The final firing takes place in roller hearth kilns, tunnel kilns or periodically operated kilns. Glazed tiles are put on firing auxiliaries and are fired at temperatures of between 1050 and 1300 °C in tunnel kilns or in roller hearth kilns without firing auxiliaries. Specially formed tiles are fired in shuttle kilns or tunnel kilns at temperatures of up to 1100 °C. The following table shows examples of operating data of tunnel kilns and roller hearth kilns.

	Unit	Tunnel kiln biscuit firing	Roller hearth kiln	
			final firing	single firing
Product		Tiles with higher water absorption		
Throughput	t/h	2.8	1.2	1.6
Kiln length	m	120	60	80
Cross-section	m <sup>2</sup>	1.5 – 2.0	0.8 – 1.2	0.5 – 1.0
Setting density	kg/m <sup>3</sup>	500 – 700	10 – 30	10 – 30
Firing temperature	°C	1100	1250	1300
Specific energy requirement	kJ/kg	3500	2900	2200
Flue-gas volume flow	m <sup>3</sup> /h	15000	10000	13000
Flue-gas temperature	°C	180	160	200

	Unit	Tunnel kiln	Roller hearth kiln	
			unglazed	glazed
Product			Tiles with lower water absorption	
Throughput	t/h	1.2	2.1	2.1
Kiln length	m	130	80	60
Cross-section	m <sup>2</sup>	1.5 – 2.0	1.2	0.8 – 1.0
Setting density	kg/m <sup>3</sup>	700 – 1000	20 – 30	20 – 30
Firing temperature	°C	1200	1220	1230
Specific energy requirement	kJ/kg	3900	2900	2500
Flue-gas volume flow	m <sup>3</sup> /h	15000	10000	13000
Flue-gas temperature	°C	220	160	160

Table 2.14: Operating data of tunnel kilns and roller hearth kilns

### 2.3.5.6 Subsequent treatment

After the final firing, some types of tiles (mainly unglazed porcelain stoneware tiles) can be ground or polished. Finally tiles are manually or automatically sorted, packed and palletised. The pallets are coated with a foil in a tight-packing machine.

### 2.3.5.7 Input and output flows in the manufacture of wall and floor tiles

Important input and output flows of the wall and floor tile manufacturing process are presented in the following figure [4, UBA, 2001], [23, TWG Ceramics, 2005], [30, TWG Ceramics, 2005].

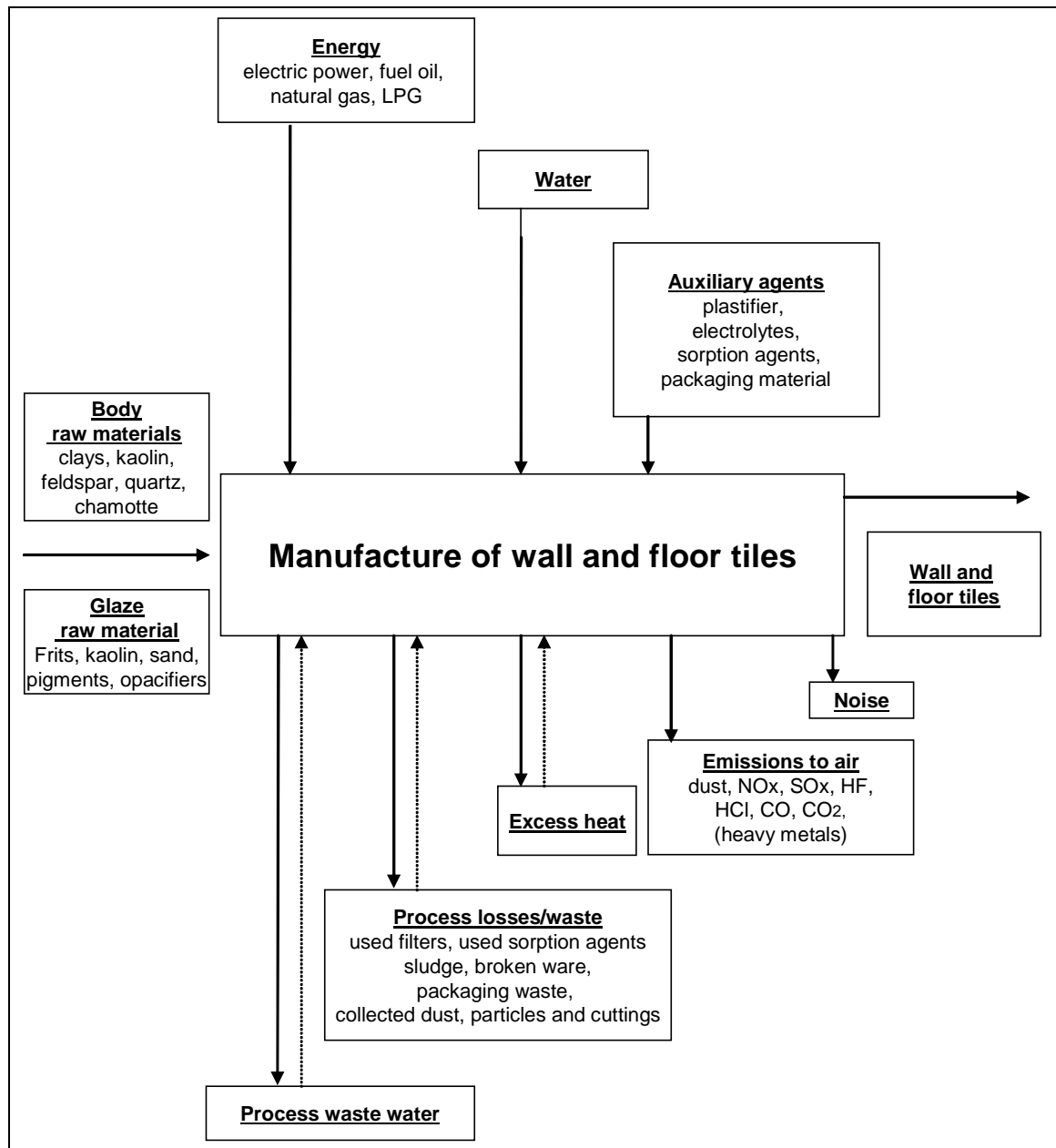


Figure 2.21: Input and output flows in the manufacture of wall and floor tiles

2.3.6 Table- and ornamentalware (household ceramics)

The process of household ceramics manufacture is made up of the following main steps: storage of raw materials, preparation of raw materials, shaping, drying, firing, glazing, decoration and subsequent treatment. As a typical example of household ceramics manufacturing, the following figure shows the stages of the manufacture of table porcelain [4, UBA, 2001].

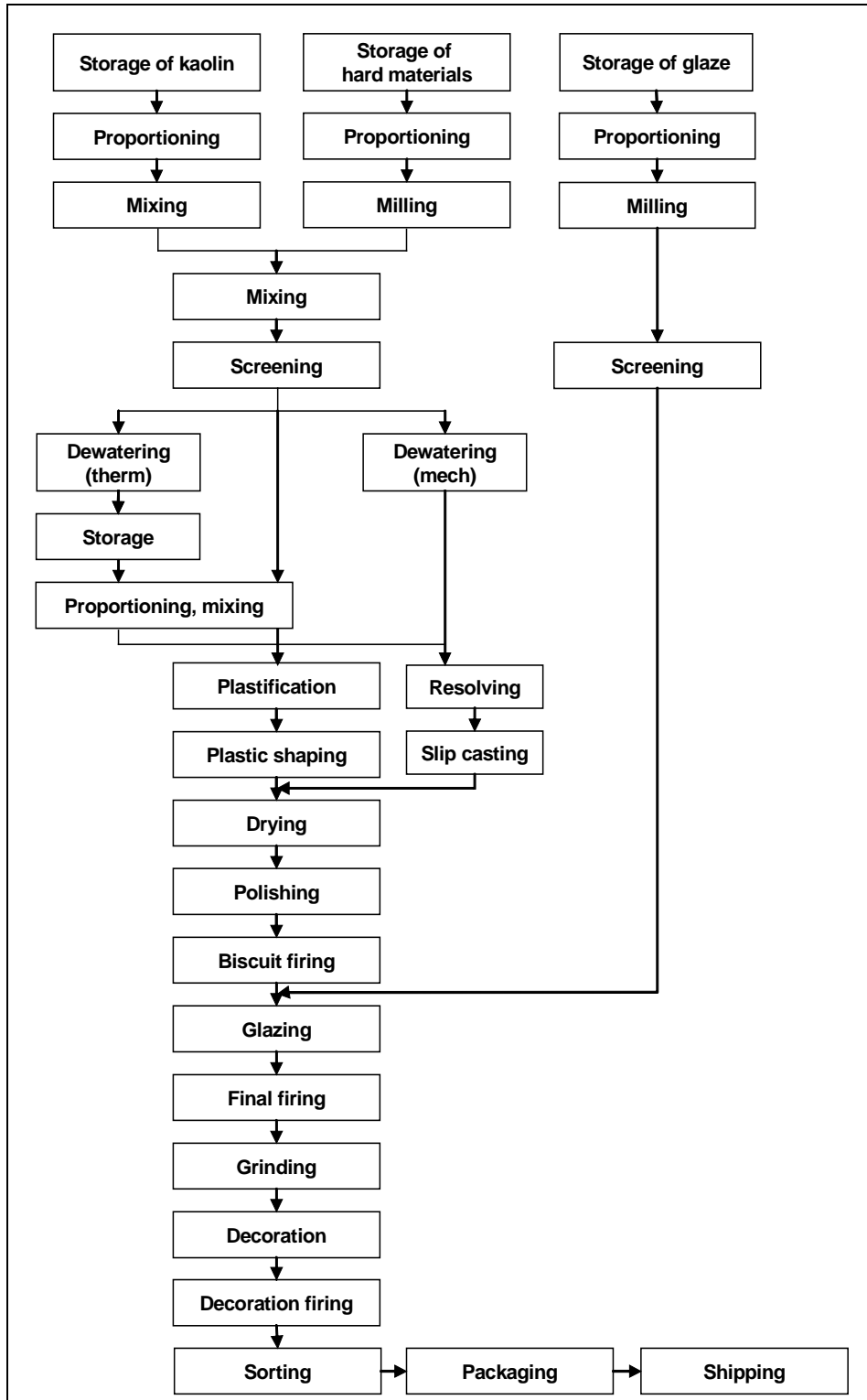


Figure 2.22: Schematic view of the manufacture of table porcelain



### 2.3.6.1 Raw materials

Plastic clays, feldspar and quartz are used as the main raw materials for the manufacture of household ceramics. The different compounds for the body batch and the glaze batch are delivered to the factory and are stored in silos, bags and containers depending on the moisture content of the raw material, the storage method and the particle size. To achieve a good body characteristic, several raw materials with different parameters are used.

Table 2.15 and Table 2.16 show typical ranges of the mineralogical and chemical compositions of raw materials used for the manufacture of household ceramics [3, CERAME-UNIE, 2003].

Mineral (%)	Earthenware	Vitrified	Porcelain	Bone china	Stoneware
China clay	25	25	55	25	0
Ball clay	15 – 25	25	0	0	0
Feldspar*	0 – 15	20	15	25	30
Talc	0 – 35	0	0	0	0
Silica	20 – 35	0	30	0	70
Flint	0	30	0	0	0
Bone ash*	0	0	0	50	0

\*Nepheline syenite: normally an alternative to feldspar and bone ash

**Table 2.15: Typical ranges of the mineralogical composition of raw materials for the manufacture of household ceramics**

Mineral (%)	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Other
China clay (kaolin)	55	35	10
Ball clay	75	20	5
Feldspar	70	20	10
Nepheline syenite	60	25	15
Talc	60	0	40 (MgO)
Silica	95	0	5
Flint	90	0	10
Bone ash	0	0	100 (Ca <sub>5</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> OH)

**Table 2.16: Typical ranges of the chemical composition of raw materials for the manufacture of household ceramics**

### 2.3.6.2 Preparation of raw materials

The preparation of raw materials for the manufacture of household ceramics is performed in a wet or a dry process. 'Extrusion paste' and 'dust pressing powder' are predominantly produced. Body components are mainly metered gravimetrically. If kaolin compounds are dissolved in water, volumetric apportioning also takes place. In general, glazing raw materials are dosed gravimetrically. The plastic body compounds are suspended in water in stirred tanks to prepare the compounds for the mixing process. The following wet milling is performed in drum mills or in stirrer mills. Hard body compounds are often delivered with the correct particle parameters, so that no additional milling is necessary. Plastic body compounds and hard body compounds are mixed in stirrers or mixers. The compounds are screened to remove impurities followed by deferrisation which removes foreign iron compounds. Deferrisation is performed in electromagnetic fields. The body slip is dewatered mechanically in filter presses or thermally in spray dryers. For the production of 'extrusion paste', the water content of the slip is reduced from 65 % down to 20 to 25 % in filter presses or in rotation filters. The filter cake is homogenised and formed into clots in extrusion presses. For the production of 'dust pressing powder', the slip cast is dewatered down to 5 to 8 % water content in spray dryers. The slip cast is pumped into the spray dryer by a special slip cast pump. The water content is reduced by a hot gas stream. The flue-gas of the gas heated dryer and the vaporised water leave the dryer at the top.

Organic slip additives and binding agents are added to the 'dust pressing powder' to achieve soft and slide characteristics of the powder. Carboxymethyl cellulose, methyl cellulose, cellulose ether, polyvinyl alcohol, polyvinyl acetate and polysaccharide are used for this purpose. Olein, mineral oil, stearic acid and wax are added. The share of slip additives and binding agents in the 'dust pressing powder' is between 0.2 and 0.4 wt-%. 'Dust pressing powder' produced in the fluidised bed process can be used with a reduced share of slip additives and binding agents thus providing better deformation characteristics.

Fluidised bed granulation on the one hand and non-thermal granulation processes on the other hand, are future alternatives in the production of 'dust pressing powder'. The specific energy consumption of fluidised bed granulation is higher than in the normal spray drying process but the specific thermal energy consumption is lower.

If 'extrusion paste' for soft plastic shaping is produced by the use of 'dust pressing powder', the powder and returning slip cast is mixed until the water content is about 20 to 25 %. The extruded cylindrical sections are stored for some time to guarantee even moistness and tension. Organic additives and agents and inorganic binding agents such as magnesium chloride, magnesium sulphate, phosphate or borax are used to increase the strength of the plastic compounds for soft-plastic shaping.

Filter cake, waste from plastic compounds for hard-plastic shaping or 'dust pressing powder' are dissolved in water to produce casting compounds (casting slip). The water content of the casting slip is between 25 and 35 %. To ensure a good slip characteristic, even with lower water contents, additives such as soda, sodium or potassium silicate, caustic or humic acid are used.

### 2.3.6.3 Shaping

There are three different types of shaping processes in the manufacture of household ceramics. Flatware such as plates and dishes are predominantly manufactured in the dry pressing process. Hollow wares, e.g. vases, are manufactured in the casting process, while cups and jugs are manufactured in the plastic shaping process.

In the dry pressing process, 'dust pressing powder' (water content of around 5 %) is pressed isostatically with auxiliary agents. The 'dust pressing powder' is filled into a press. The press consists of an upper and a lower part. In the lower part, the isostatic membrane works as the main part of compression. Depending on the product, the upper part of the press is designed in various shapes. Horizontal presses using multi-form heads are able to produce various products with a high output. Double head presses produce up to 1200 pieces per hour. The powder is pressed into the form with a pressure of 30 MPa. The advantage of this process is the low water content of the green ware.

In the plastic shaping process, the 'extrusion paste' (water content of between 20 and 25 %) is formed in jiggering machines with the aid of profile tools. Dynamically balanced goods are produced in plaster moulds, which are manufactured in special facilities. The cylindrical plastic body is cut in similar slices. In the next step, the slices are mechanically apportioned to the plaster moulds of the jiggering machines. The lifetime of the plaster moulds is very short. Plaster moulds are often used for only a 100 to 150 pieces. Recently, porous moulds made of polymer materials have been employed to achieve a longer lifetime.

Non-dynamically balanced goods are produced in the slip casting process. Body formation takes place by dewatering the slip cast in plaster moulds. The solid casting process is used mainly for the production of flatware. Vases and jugs are manufactured in the drain casting process. Casting machines are used for manufacture on an industrial scale. Production on a small scale is carried out by hand-casting. The body formation time can be reduced under pressure. Pressure casting takes place in porous polymer moulds under pressures of up to 4 MPa. Pressure casting is much faster than the conventional casting process, so that the casting cycles last for two or three minutes only.

Plastic pressing is an additional process used for the manufacture of household ceramics. Goods are manufactured in two-part plaster moulds or polymer moulds. Compared with the slip casting process by using a plastic body, this process reduces the body formation time considerably.

#### **2.3.6.4      Drying**

Goods produced in the slip casting process or in the plastic shaping process have to be dried in special dryers to a water content of less than two per cent. Chamber and tunnel dryers heated with kiln waste heat, natural gas or fuel oil EL is used for this dewatering. Infrared dryers and microwave dryers are an alternative to the conventional drying process. These dryers are employed for the pre-drying of the casting compounds and also for the drying of used and new plaster moulds. Microwave dryers are built as chamber, tunnel and chamber-passage dryers.

Surface roughness and mould marks resulting from the shaping process are removed in the dressing process. Dressing is carried out with knives and by subsequent treatment with a wet sponge rubber. Pressed and jiggered goods are cleaned predominantly by machines, other goods are treated manually. For manufacturing on an industrial scale, the shaping, drying and dressing processes are united in one stage of manufacture.

#### **2.3.6.5      Firing, glazing and decoration**

Household ceramics are fired between one and four times, depending on the material and the production technique. In the first step, biscuit firing gives the semi-product the strength and absorbency needed for the glazing. Biscuit firing temperatures are between 900 and 1050 °C, the firing time in classic tunnel kilns is between 18 and 30 hours. Fast firing kilns achieve firing times of between three and seven hours.

Glazing follows biscuit firing. The glaze consists of glassy compounds with a higher share of fluxing agents dispersed in water. Hollow goods (except for cups) are glazed by manual dipping. Flatware and cups are glazed mechanically in a pouring-glazing process, whereas small scale production is glazed manually by dipping. Flatware is also glazed by spraying. Adhesive agents (for example polyamine or dextrine) are used as organic binding agents and glues. Electrolytes are mixed with the glaze to achieve faster drying.

The glost firing that follows is performed in an oxidising or reducing atmosphere at temperatures of between 1320 and 1430 °C. Glost firing kilns are tunnel kilns with tunnel kiln cars, (multi-rack) roller hearth kilns, fast firing tunnel kilns with moving firing tables, slab kilns or belt conveyer kilns. Periodic kilns such as chamber kilns, shuttle kilns and hood-type kilns are operated at lower feed rates. The ware to be fired is set on fireproof firing auxiliaries (so called 'kiln furniture'). Glost firing time varies between 25 and 36 hours in the tunnel kiln and between three and a half and five hours in fast-firing kilns without firing auxiliaries.

Table 2.17 and Table 2.18 show examples of operating data of periodically and continuously operated kilns [4, UBA, 2001].

Shuttle kiln	Unit	Porcelain
Throughput	t/cycle	0.91
Firing chamber volume	m <sup>3</sup>	7.0
Setting density	kg/m <sup>3</sup>	12.8
Firing temperature	°C	1400
Specific energy requirement	kJ/kg	20000
Flue-gas volume flow	m <sup>3</sup> /h	12500
Flue-gas temperature	°C	800

**Table 2.17: Operating data of a shuttle kiln**

Tunnel kilns	Unit	Porcelain		Porcelain	Porcelain
Firing		Biscuit	Glost	Glost fast	Glost fast
Throughput	t/h	0.3 – 0.7	0.2 – 0.4	0.58	0.47
Kiln length	m	60 – 100	80	70	56
Cross-section	m <sup>2</sup>	0.5 – 1.0	0.5 – 1.0	0.7	0.94
Setting density	kg/m <sup>3</sup>	60 – 70	60 – 70	<100	<100
Firing temperature	°C	850 – 1260	1200 – 1400	1420	1420
Specific energy requirement (drying + firing)	kJ/kg	25000	20000	12500 without drying	19700
Flue-gas volume flow	m <sup>3</sup> /h	3500 – 5000	3500 – 5000	n.a.	n.a.
Flue-gas temperature	°C	120 – 170	120 – 170	n.a.	n.a.

**Table 2.18: Operating data of tunnel kilns**

The glaze melts during the firing process and seals the porous ceramic body. The surface becomes watertight and smooth. After the glost firing, the goods are divided into corresponding quality grades. Areas with no glaze are ground and polished to maximise the value of the products.

Bone china is a speciality for traditional tableware and tea services. Important raw materials for bone china are Cornish clay, Cornish stone and up to 50 % calcined bovine bones. The gloss firing temperatures are between 1250 and 1350 °C, and biscuit firing temperatures are between 1100 and 1150 °C. A kiln atmosphere with glaze vapour ensures a very smooth surface.

The decoration process which follows, maximises the value of the product and permits customisation. On-glaze colours, in-glaze colours, under-glaze colours and metal compounds are used for the decoration. In the on-glaze decoration process, glazed and already fired goods are decorated. On-glaze decoration is melted into the glaze by an additional firing process. In the in-glaze decoration process, the coloured pigments sink into the glaze. In the under-glaze decoration process, the goods are decorated before the glazing process starts. Typical decoration processes are the slide-off transfer, reprinting, direct silk screen printing, offset printing, lining, banding, stamping, powdering, painting, spraying, stencilling and etching. Besides manual decoration, machines for silk screen printing and coloured printing are employed. Numerous oxides are set in as fluxing agents, opacifiers and for direct colouring in the glazing and decoration processes. The glaze and decoration colours consist of complex systems of numerous pigments. In the following list, the elements and their chemical valence (in brackets), in which they appear as oxide compounds in the pigments, are mentioned: Cu (1, 2), Ca (2), Zn (2), Al (3), In (3), Si (4), Sn (4), Pb (2), Ti (3, 4), Zr (4), Ce (4), Pr (4), V (4, 5), Sb (3, 4, 5), Cr (3, 6), Mo (4, 6), Mn (2, 4), Fe (2, 3), Co (2), Ni (2) und Cd (2).

In addition to the decoration process, examples of operating data of different kilns are presented in Table 2.19 and Table 2.20 [4, UBA, 2001], [21, Almeida, 2004].

Type of kiln	Process	Firing temperature (°C)	Firing time
Electric melting kiln with basket transportation	Melting decoration	760 – 840	2 – 4 h
Fast firing tunnel kiln (sledge or firing table)	On-glaze decoration	850 – 950	40 – 70 min
Roller hearth kiln with firing auxiliaries	On-glaze decoration	850 – 950	40 – 70 min
Roller hearth kiln with quartz goods	On-glaze decoration	1080	40 – 70 min
Double track belt conveyer kiln	On-glaze decoration	850 – 950	40 – 70 min
Double track belt conveyer kiln (special belt)	On-glaze decoration	1050	40 – 70 min
Tunnel kiln with plate transportation	Hard-firing decoration	1300 – 1400	7 – 16 h
Shuttle kiln	On-glaze decoration	850 - 950	8 – 10 h

**Table 2.19: On-glaze decoration operating data**

Type of kiln	Process	Firing temperature (°C)	Firing time
Shuttle kiln	Hard-firing decoration	1300 - 1400	14 – 24 h
Fast firing tunnel kiln (sledge or firing table)	Hard-firing decoration	1350 – 1420	2 - 4 h
Fast firing tunnel kiln (sledge or firing table)	In-glaze decoration	1200 – 1280	60 – 90 min
Roller hearth kiln with special rolls	In-glaze decoration	1200	60 - 90 min
Shuttle kiln	Under-glaze decoration	1370 – 1420	18 – 30 h
Tunnel kiln with kiln car	Under-glaze decoration	1370 - 1420	18 - 30 h
Tunnel kiln with firing table	Under-glaze decoration	1370 - 1420	12 – 16 h
Fast firing tunnel kiln (sledge or firing table)	Under-glaze decoration	1370 - 1420	3 – 4 h
Roller hearth kiln with special rolls	Under-glaze decoration	1350	2 - 4 h

**Table 2.20: In-glaze and under-glaze decoration operating data**

Another household ceramics manufacturing process, which is applied in a few cases, involves only one firing process without pre-firing. This one-time firing process suffices for undecorated products and for products with decorations applied prior to the glazing. The firing takes 20 hours in shuttle kilns, at a temperature of 1260 °C. Gold, platinum and other metallic colours have to be fired at the lower temperature of 890 °C [17, Burkart, 2004] [22, SYKE, 2004].

In the household ceramics manufacturing process, mainly natural gas and liquefied petroleum gas are used as fuels in the different types of kilns. Fuels such as fuel oil EL are rarely used in this sector.

### 2.3.6.6 Subsequent treatment

After decoration and quality control, the products are sorted. The wet subsequent treatment is carried out by grinding and polishing machines to smooth the surface of the products. Certain products are pre-packed mechanically. Then the sets for sale and dispatch are put together and manually packed. For the manufacture of modern tableware, semi-products are handled automatically by robots between the shaping, drying, firing and subsequent treatment stages.

### 2.3.6.7 Input and output flows in the manufacture of household ceramics

Important input and output flows of the household ceramics manufacturing process are presented in the following figure [4, UBA, 2001], [23, TWG Ceramics, 2005].

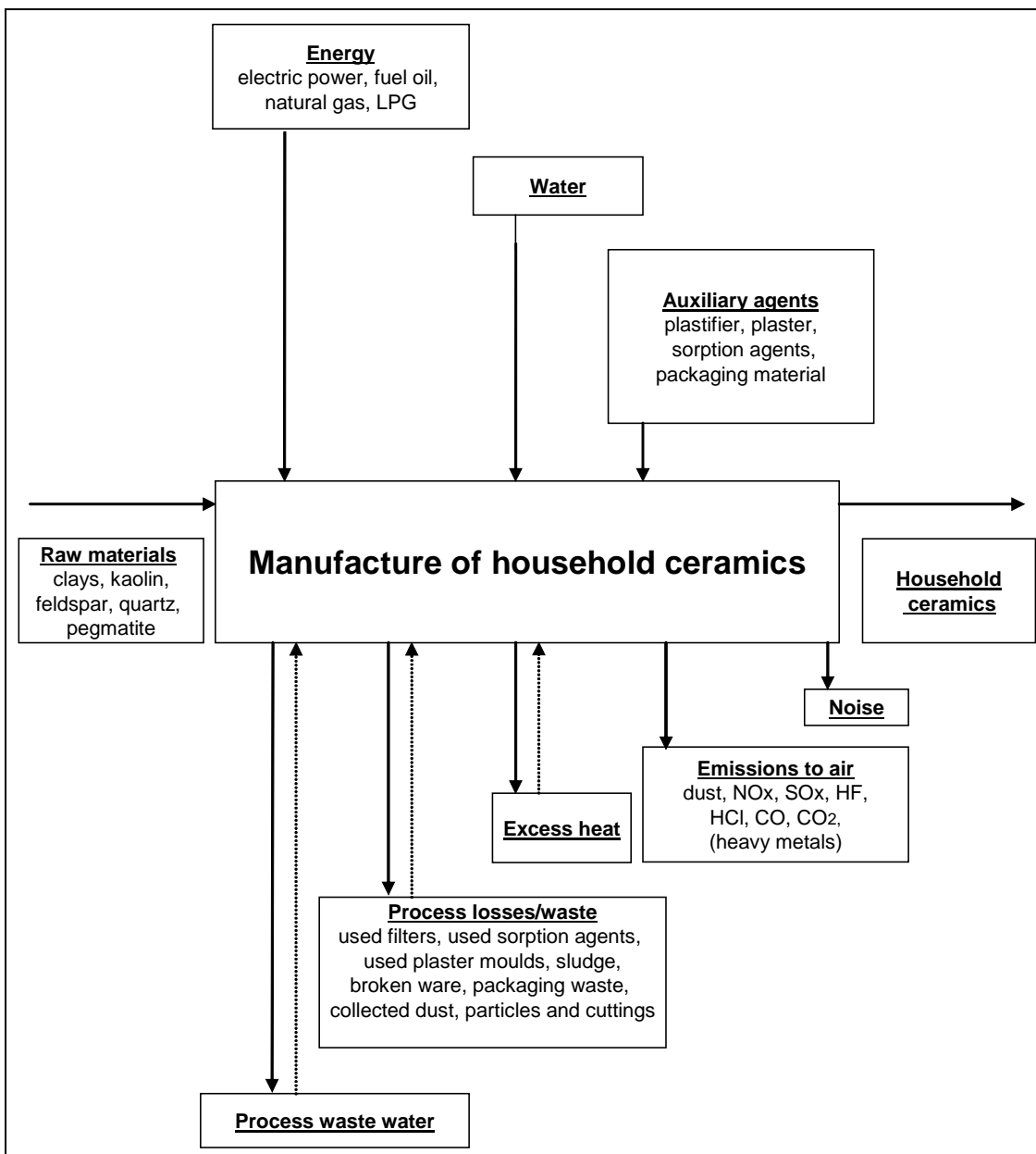


Figure 2.23: Input and output flows in the manufacture of household ceramics

### 2.3.7 Sanitaryware

The main process steps in the manufacture of sanitaryware are storage of raw materials, preparation of raw materials, shaping, drying and glazing, firing and subsequent treatment. The following figure shows a schematic view of the sanitaryware manufacturing process [4, UBA, 2001], [23, TWG Ceramics, 2005].

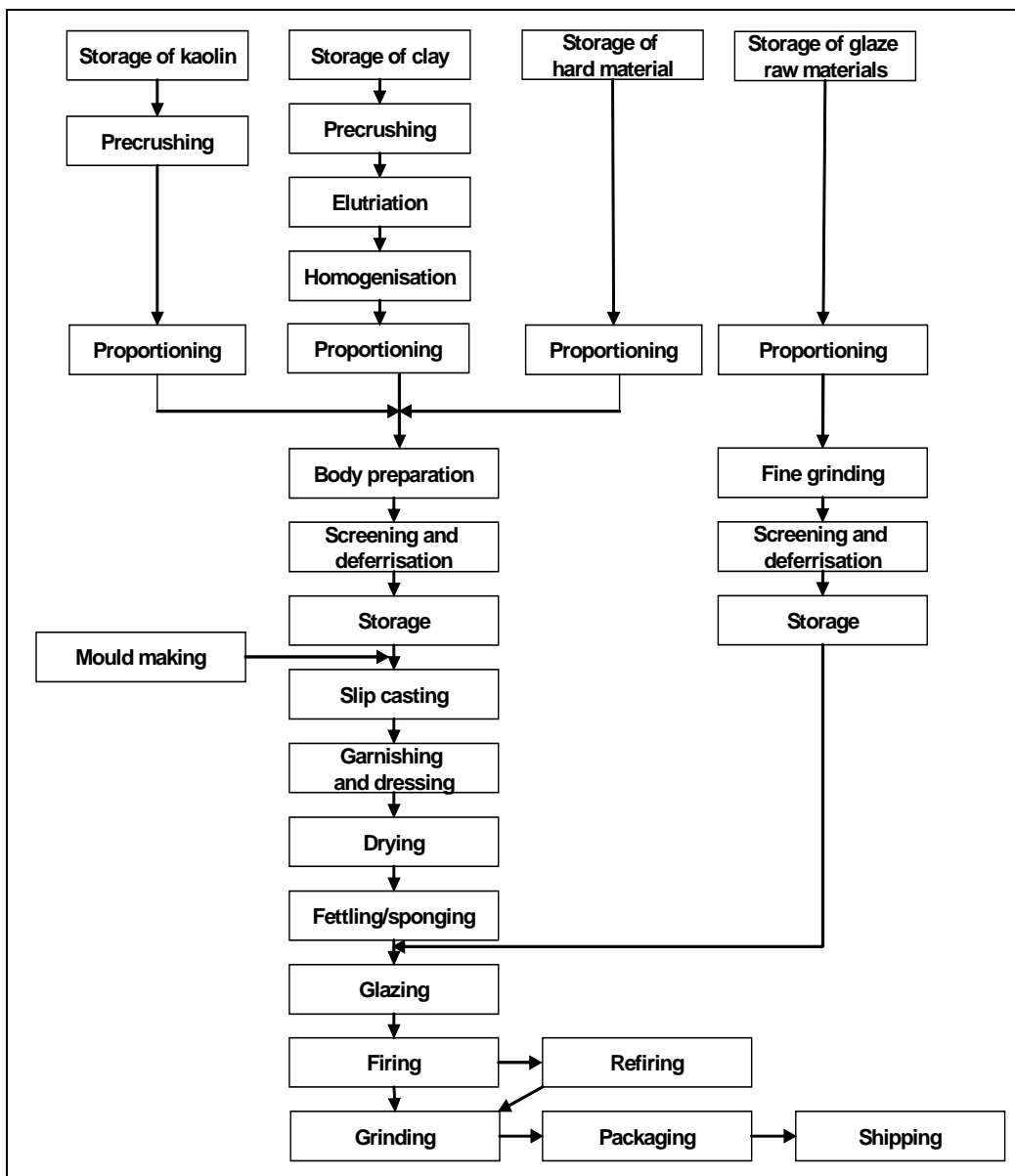


Figure 2.24: Schematic view of the manufacture of sanitaryware

#### 2.3.7.1 Raw materials

The applicable raw materials are kaolin, clay, quartz, feldspar and calcium carbonate. A typical batch consists of 40 – 50 % kaolin and clay, 20 – 30 % quartz, 20 – 30 % feldspar and between 0 – 3 % calcium carbonate. Kaolin is stored preferably in lumps with a maximum water content of 15 per cent. Hard materials such as quartz and feldspar are ground to small particles and applied with a water content of less than one per cent. The raw materials are stored in silos or boxes to avoid any atmospheric influence.

### 2.3.7.2 Preparation of raw materials

The preparation of raw materials for sanitaryware is performed predominantly in a wet preparation process. Kaolin and clay are hackled in toothed roll crushers or similar units. After this step, the materials are reduced to a particle diameter of less than five millimetres in the fine grinding process. The material is elutriated in water and impurities are removed from the slurry by screening. Following this step, the screened clay suspension is homogenised in tanks by slow stirrers. The proportioning of hard materials is performed gravimetrically and electrolytes are added.

This preparation of the raw materials is not often performed by the ceramic manufacturer. The delivered raw materials are often only proportioned by the manufacturer, followed by the real production of slip in blungers [23, TWG Ceramics, 2005].

The subsequent storage in stirred tanks over a couple of days increases the shaping characteristics of the casting slip. Liquefactions and stability agents such as soda, water glass, caustic, potash and humic acid compounds are employed to achieve cast ability connected with a low water content. The glaze materials are proportioned and then mixed and ground in ball mills (batch) or in horizontal or annual gap mills (continuous). Binding agents such as carboxymethyl cellulose or polyamine are added to the glaze to maximise adhesion and gripping strength after the grinding. Deferrisation of body and glaze is carried out by permanent magnets to avoid colouring the products through magnetic impurities.

### 2.3.7.3 Shaping

Most ceramic goods are still shaped in plaster moulds today. The development trend is towards a plaster-free shaping process performed in porous polymer moulds. The casting process normally takes place in plaster moulds. Water leaves the casting slip through the porous areas of the plaster moulds to form the body. The body formation time is reduced by pressure. Complex sanitary goods are produced in the drain casting process. Additional solid casting parts are manufactured in a parallel process and are added and connected to the main body. In this garnishing process, the final shape of the product is created. After the separation of body and mould, the mould marks are fettled and further treated. The handling and dressing of the body is performed mostly automatically.

Bodies of sanitary ceramics are formed more and more by machines with multi-piece polymer moulds in combination with pressure casting. Depending on the article, four or five piece polymer moulds are used. Pressure of up to 3 MPa minimises the body formation time. The shaping cycle of lavatory bowls is reduced to five to eight minutes. Fettling and garnishing is usually performed while the body is fixed in the mould. The advantages of polymer moulds compared with plaster moulds are that they are easier to clean and have a longer lifetime.

### 2.3.7.4 Drying and glazing

The green ware is dried in two stages. After the leather-hard drying, the green ware is perfectly treated. The following white drying minimises the water content down to less than one per cent. The drying process takes place in tunnel or chamber dryers. Microwave dryers are built as tunnel dryers and are also used for leather-hard and white drying. The following table shows examples of operating data of periodically operated dryers [4, UBA, 2001], [21, Almeida, 2004].



Chamber dryers	Unit	Lavatory bowls and wash basins
Throughput	t/cycle	4 – 45
Drying chamber volume	m <sup>3</sup>	30 – 375
Setting density	kg/m <sup>3</sup>	30 – 200
Drying temperature	°C	60 – 90
Drying time	h	8 – 20
Specific energy requirement	kJ/kg	300 – 1400
Flue-gas volume flow	m <sup>3</sup> /h	2000 – 20000
Flue-gas temperature	°C	60 – 150

**Table 2.21: Operating data of periodically operated dryers (chamber dryers)**

After white drying, the green ware is inspected and the surface is cleaned of dust and foreign particles. The glaze is applied to the surface of the ware by spraying, performed by robots and hand spraying. The thickness of the glaze is between 0.3 and 0.5 mm, depending on the colour of the body and the opacifiers share of the glaze. Spraying in an electric field maximises the quality of the glaze.

### 2.3.7.5 Firing

Sanitaryware is fired in tunnel kilns and roller hearth kilns at temperatures of between 1250 and 1290 °C in an oxidising atmosphere. Small scale production is carried out in flexible periodically operated kilns such as shuttle kilns. Shuttle kilns are operated to change the product specific firing curve in very short cycles. Ranges of operating data of kilns for the manufacture of sanitaryware are presented in Table 2.22 and Table 2.23 [23, TWG Ceramics, 2005], [21, Almeida, 2004], [30, TWG Ceramics, 2005].

Tunnel kiln	Unit	Sanitaryware
Throughput	t/h	1.5 – 2.0
Kiln length	m	70 – 110
Cross-section	m <sup>2</sup>	1.5 – 2.5
Setting density	kg/m <sup>3</sup>	100 – 150
Firing temperature	°C	1250 – 1290
Specific energy requirement	kJ/kg	8300
Flue-gas volume flow	m <sup>3</sup> /h	12000
Flue-gas temperature	°C	150 – 550

**Table 2.22: Operating data of tunnel kilns**

Shuttle kiln	Unit	Sanitaryware
Throughput	t/cycle	5 – 15
Firing chamber volume	m <sup>3</sup>	50 – 150
Setting density	kg/m <sup>3</sup>	100
Firing temperature	°C	1210 – 1250
Specific energy requirement	kJ/kg	8300 – 11300
Flue-gas volume flow	m <sup>3</sup> /h	up to 50000
Flue-gas temperature	°C	150 – 550

**Table 2.23: Operating data of shuttle kilns**

In the sanitaryware manufacturing process, natural gas and liquefied petroleum gas are mainly used as fuels in the different types of kilns. Fuels such as fuel oil EL and heavy fuel oil are rarely used in this sector. Broken fired ware and refractory waste arise in the firing process. Broken fired ware consists of faulty goods after the firing process. Refractory waste results from broken parts of the kiln or from broken firing auxiliaries or tunnel car parts.

**2.3.7.6 Subsequent treatment**

After the final sorting, mounting surfaces are abraded by wet grinding and polishing. In special cases, fittings are added to lavatory bowls and cisterns followed by the final packaging.

**2.3.7.7 Input and output flows in the manufacture of sanitaryware**

Important input and output flows of the sanitaryware manufacturing process are presented in the following figure [4, UBA, 2001], [23, TWG Ceramics, 2005].

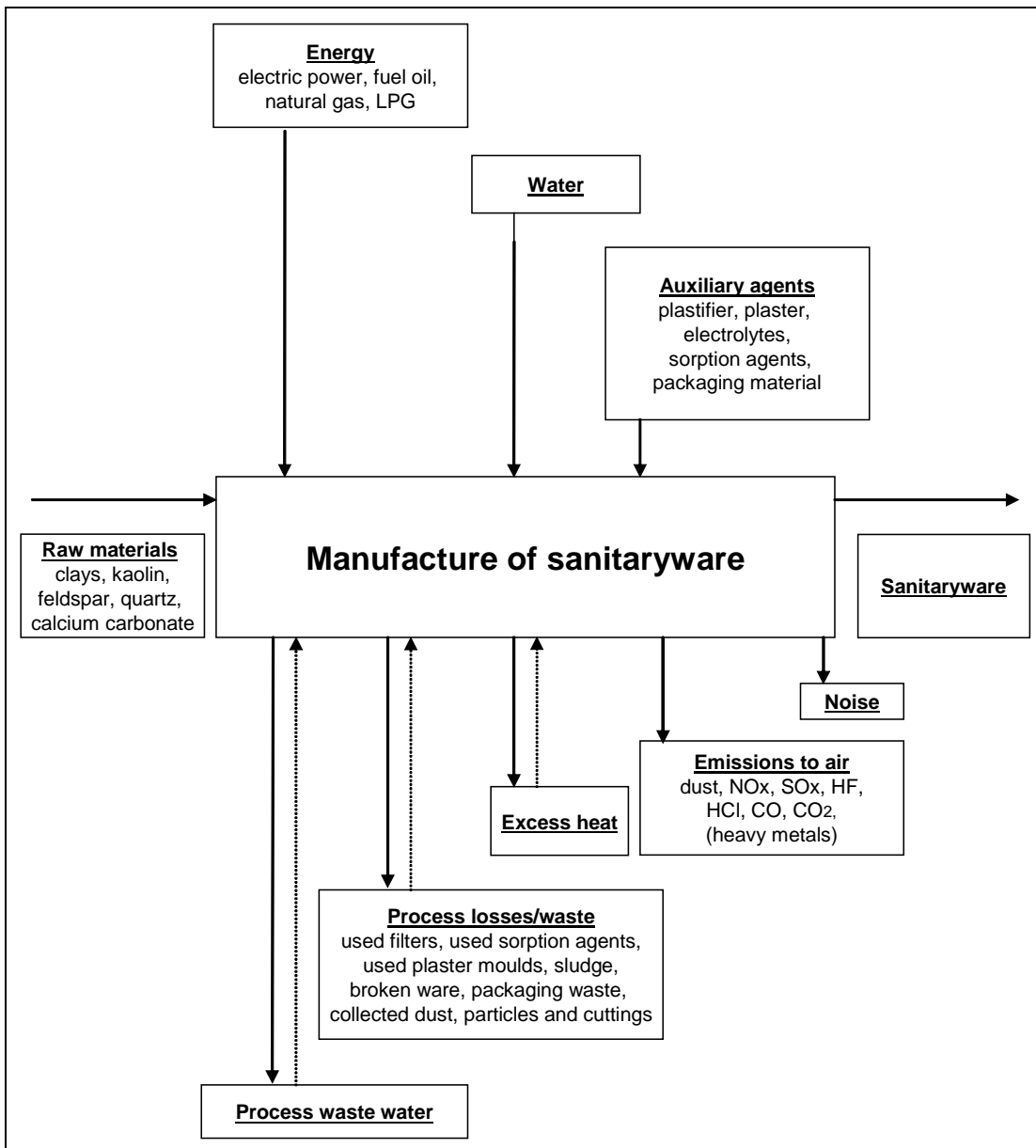


Figure 2.25: Input and output flows in the manufacture of sanitaryware

### 2.3.8 Technical ceramics

Technical ceramics are not only based on clays, but also on synthetic raw materials. Like the other ceramic sectors, the raw materials are fired in kilns, using mainly natural gas, but also electrical energy for the firing process.

Because of the wide variety of technical ceramics and manufacturing process variants involved, a general schematic view of the manufacturing process cannot easily be defined, but examples of schematic views of different manufacturing processes can be shown.

The following figure shows the schematic view of an electrical insulator manufacturing process [1, BMLFUW, 2003].

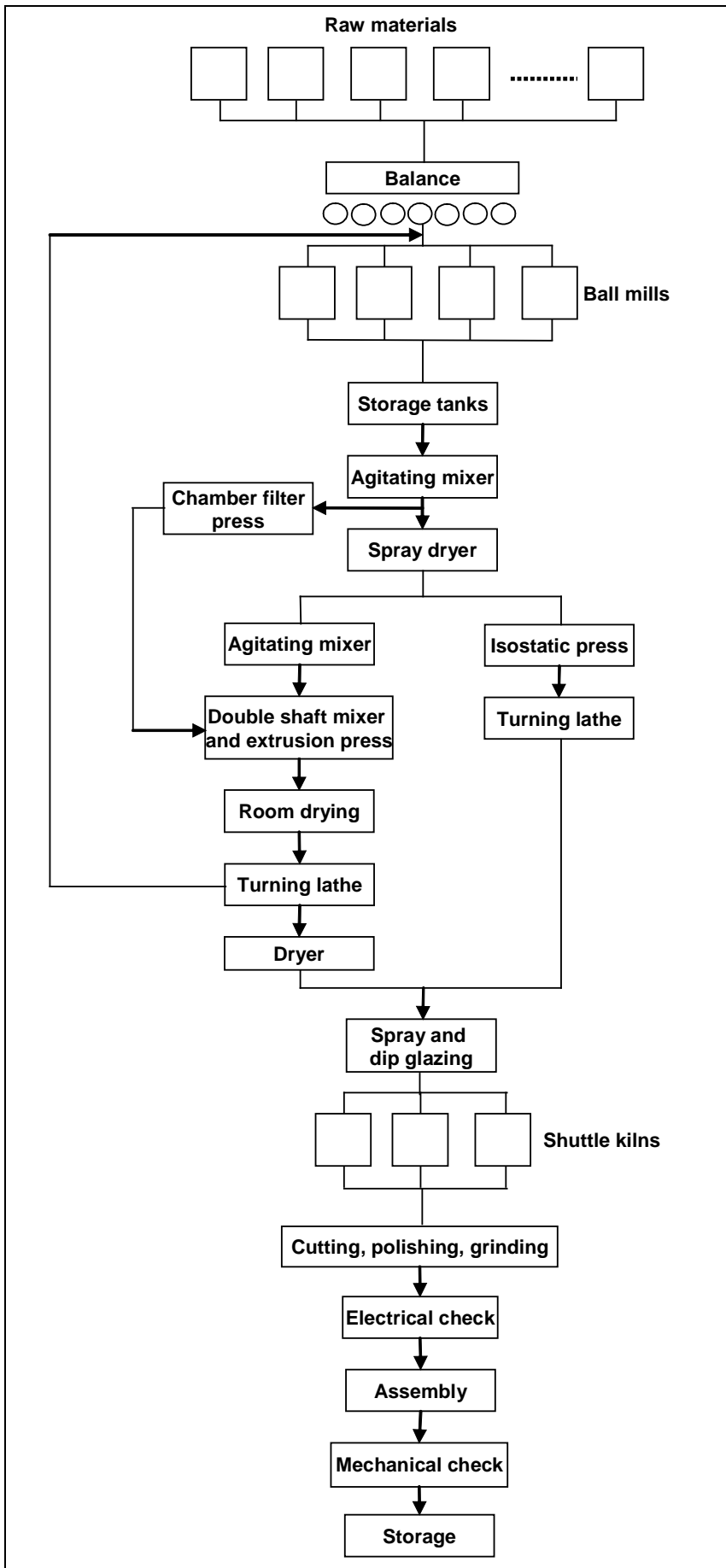


Figure 2.26: Schematic view of an electrical insulator manufacturing process

The following figure shows the schematic view of a ceramic catalyst manufacturing process [1, BMLFUW, 2003].

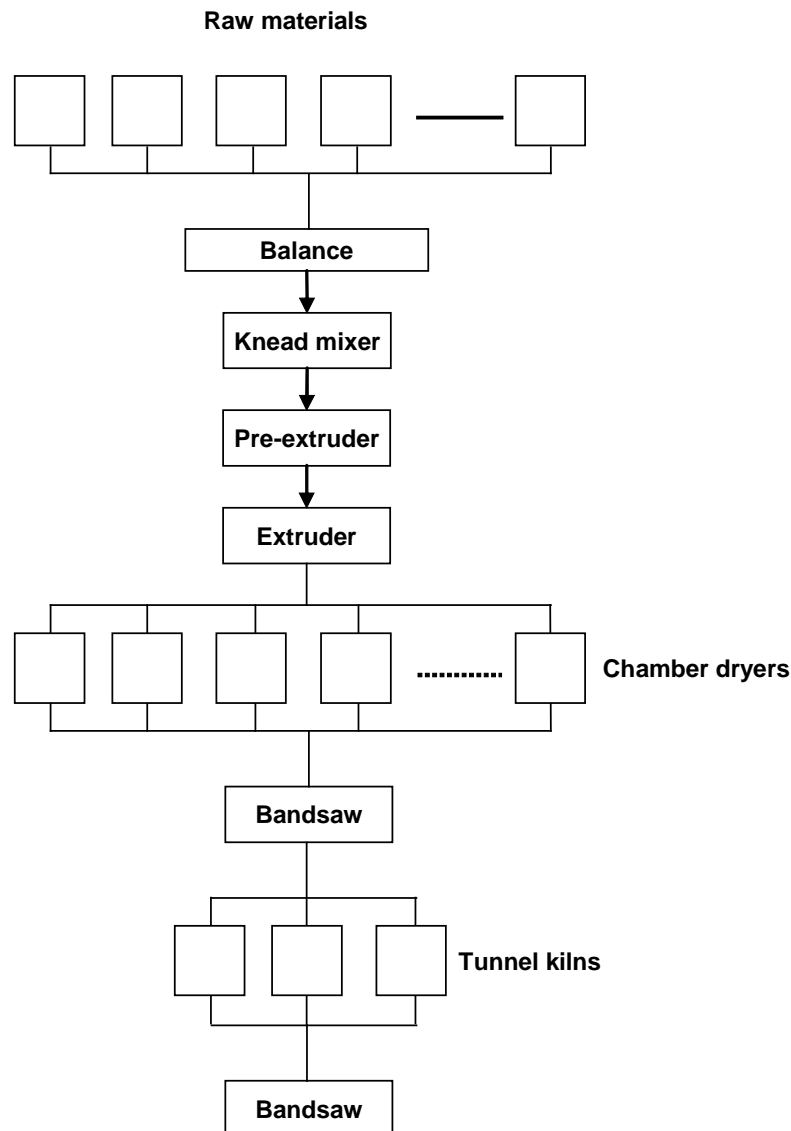


Figure 2.27: Schematic view of a ceramic catalyst manufacturing process

### 2.3.8.1 Raw materials

Technical ceramics, which contain only a small fraction of clay or none at all, are based on the following materials: oxides, carbides, nitrides and borides of Al, Mg, Mn, Ni, Si, Ti, W, Zr and other metal ions. Typical examples are  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (alumina), MgO (periclase or dead burned magnesia), SiC (silicon carbide), TiN (titanium nitride) and  $\text{WB}_2$  (tungsten boride) [8, Ullmann's, 2001].

However, plastic clays (e.g. kaolin), feldspar and quartz can also serve as raw materials for technical ceramics, for example for the manufacture of electrical insulators [1, BMLFUW, 2003].

Additionally, additives (auxiliary agents) such as (inorganic) sintering aids and (usually organic) forming aids, such as liquefaction agents, plasticisers or binders are applied, which are as significant as the raw materials themselves [24, VKI-Germany, 2004].

### 2.3.8.2 Preparation of raw materials

There are two possibilities for the preparation of raw materials:

- a) The technical ceramics manufacturer acquires the necessary raw materials and carries out all further processing tasks. Specific preparations of unfired material are required for the different shaping processes:
  - granulates – for pressing
  - plastic material – for extrusion
  - slips – for casting.
- b) The technical ceramics manufacturer acquires ready-prepared unfired material, and begins at the proportioning or shaping stage of the ceramics process [24, VKI-Germany, 2004].

Technical ceramics often require chemical conversion of raw materials into intermediate compounds. These intermediates lend themselves to purification and eventual chemical conversion into a final form. For some technical ceramics, specialised powders have to be synthesised and a variety of chemical routes can be used to synthesise these powders. Chemical routes, such as sol-gel processing, can also bypass the powder stage.

Requirements for high strength and smooth finishes, particularly of small parts, necessitate fine grained powders. Thus, one line of technical ceramics research aims at producing very fine essential spherical, monosized particle powders. These are typically made by colloidal chemistry for oxides. The above-mentioned nitrides and carbides involve controlled nucleation and growth in gas-phase reactions. However, most high technology ceramics are still made from powders with broad size distribution in the submicrometer range [8, Ullmann's, 2001].

Some raw materials are calcined ('dead-burned' at high temperatures), in order to make them suitable for the manufacture of technical ceramics. For more information on this, see Section 2.2.2.8.

Also the spray drying process is employed in the manufacture of technical ceramics. The aqueous suspension of raw material resulting from wet ball milling (solids content ~ 60 – 70 %) is sprayed under pressure to produce fine droplets which contact a stream of hot air. Drying of the droplets produces highly uniform, more or less spherical hollow granules (moisture content typically 5.5 – 7 %). This form of 'dust pressing powder' has high flowability, facilitating accurate filling of the press dies and the subsequent pressing of technical ceramic products [3, CERAME-UNIE, 2003].

It should be noted that especially synthetic materials, such as silicon carbide, calcined raw materials and also spray dried 'dust pressing powder' are often manufactured by specialist suppliers, but may still need to go through a comminution process.

However, not only 'dust pressing powder', but also 'extrusion paste' is produced, particularly if plastic clays serve as the raw materials for technical ceramics (e.g. for the manufacture of electroporcelain or ceramic catalysts) [1, BMLFUW, 2003]. To produce 'extrusion paste', the ground suspension is dewatered in filter presses or rotation filters to a water content of between approx. 20 and 25 %.

Another possibility for raw materials preparation is the production of casting slip in a wet preparation process. The delivered raw materials are often only proportioned by the manufacturer, followed by the step of slip production in blungers [23, TWG Ceramics, 2005].

### 2.3.8.3 Shaping

Methods of shaping technical ceramic parts can be divided into the following basic types [24, VKI-Germany, 2004]:

- pressing (0 – 15 % moisture; dry, isostatic, moist and wet pressing)
- plastic shaping (15 – 25 % moisture; extrusion)
- casting (>25 % moisture; injection moulding, slip casting, tape casting).

#### Dry pressing

Dry pressing is used to manufacture mass-produced precision products. Non-clumping granulates are compressed in steel dies designed appropriately for the part to be manufactured. The high cost for the dies (sometimes made of carbide) can only usually be justified for large runs.

Dry pressing is the most economic process for large production runs, and is suitable for both simple and complex geometries. Depressions and holes are normally only designed in the pressing direction. Depending on the design of the dry pressing machine, components ranging in size from tiles down to match-heads can be manufactured. Small discs or plates can be pressed with thicknesses of around 0.8 or 1.0 mm. It is still possible to manufacture fine ridges or similar structures on the component if the granulate being pressed can effectively fill hollows in the pressing tool, and provided it is possible to create the necessary tool.

#### Isostatic pressing

Isostatic pressing is suitable for the manufacture of uniformly compressed blanks and large parts, which are appropriate for machining in the green state. High quality products of the technical ceramics sectors require uniform densification of 'dust pressing powder', which can be achieved by applying pressure equally on all surfaces. In the isostatic press, rubber or polyurethane moulds are filled with ceramic powder and placed in a liquid filled vessel. A high hydrostatic pressure is then applied, followed by de-moulding the objects.

This type of forming is well suited to the manufacture of ambitious prototypes and small series, but for some products isostatic pressing can also be fully automated (spark plugs, grinding balls, small pistons, welding nozzles).

#### Wet pressing/moist pressing

Wet pressing/moist pressing allows the manufacture of parts with complex geometries such as screw threads, side holes, recesses and undercuts. The unfired material used for this purpose usually has moisture levels in the range of between 10 to 15 %. Compressing with a single axis makes these materials able to flow freely, so that relatively even compression can be achieved. The disadvantage of this, however, is that wet pressing materials can accept only low compressive strains. This also means that the degree of compression is limited. It depends heavily on the moisture content of the unfired material, and is lower than in the case of dry pressed parts.

Under some circumstances, moreover, it is necessary to dry the pressed parts before firing. Mean tolerances in accordance with DIN 40680-1 are based on this.

### Extrusion

Extrusion is carried out using piston extruders or vacuum screw presses. In the plastic shaping process, for example for the manufacture of electrical insulators, the 'extrusion paste' (water content of between 20 and 25 % or between 19 and 23 % in high voltage insulator extrusion) is shaped in an extruder to the right geometry, cut into pieces and additional shaping with turning lathes is carried out [1, BMLFUW, 2003], [23, TWG Ceramics, 2005].

Extrusion is also suitable for manufacturing other rotationally symmetrical parts such as axles or pipes. Complex profiles can additionally be made with the aid of appropriate nozzle designs. The lengths of the billets to be manufactured depend to a large extent on the tendency of the processed material to warp.

### Injection moulding

Injection moulding is principally suited to the mass production of complex products. It is limited by relatively high costs and the complex burnout of organic additives. The conveying capacity ('shot weight') of large injection moulding machines is typically up to about 70 g. Generally, the part should be designed so that thicknesses are as consistent as possible, having an upper limit of approx. 12 mm.

### Slip casting

Slip casting is a simple method for the manufacture of prototypes, parts with complex geometries and relatively large items. It can be used to manufacture both thin-walled and solid objects. Ceramic slip casting involves a stable suspension, referred to as the slip, being poured into a porous, absorbent plaster mould. Extraction of the suspending liquid causes a layer of particles to develop on the mould wall. This layer develops, in solid casting, to create the fully moulded body. In the case of hollow casting, the superfluous slip is poured out once the desired wall thickness has been achieved.

### Tape casting

Tape casting means that a ceramic slip containing various organic additives is poured onto an endless steel strip carried by rollers. The slip flows continuously from a reservoir through an adjustable slot onto the strip. Hot air is blown over the strip in the opposite direction to dry it, so that at the end of the strip, because of the organic additives, a flexible tape of green ceramic is obtained. This can either be wound up and stored for further processing at a later time, or maybe processed immediately through cutting, punching, stamping or other similar methods. Tape casting is typically used to manufacture ceramic parts with thicknesses ranging from 0.25 to 1.0 mm. The formed products are suited for the manufacture of substrates, housings, capacitors and multilayer transducers.

#### **2.3.8.4 Machining**

As shown in the following figure, green machining (after drying), white machining (after burning out and prefiring) and hard machining (after firing/sintering) can be distinguished [24, VKI-Germany, 2004].



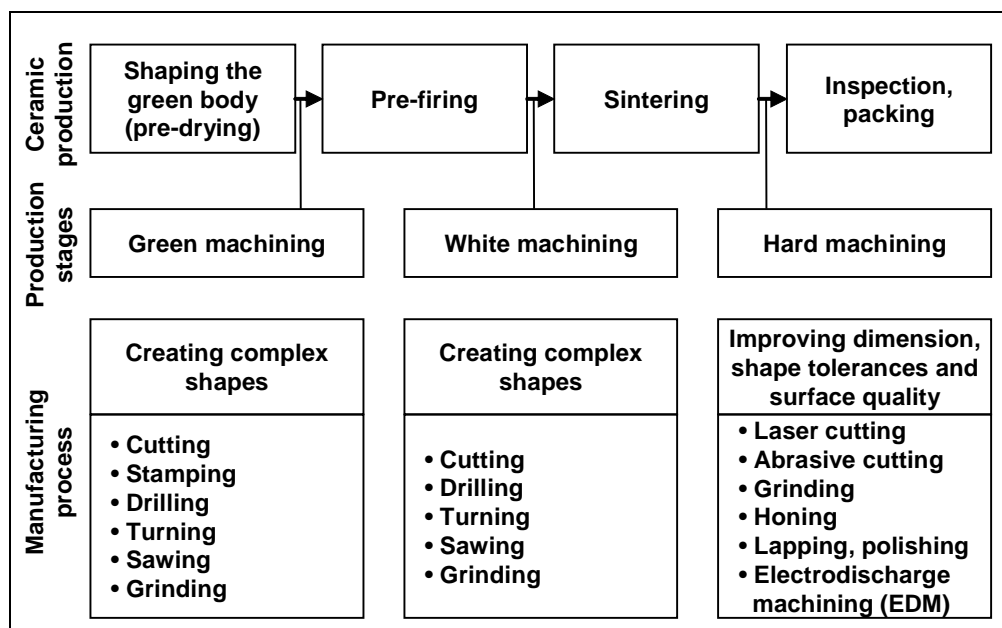


Figure 2.28: Green, white and hard machining in the manufacture of technical ceramics

Green machining is performed on the dry parts while they still contain organic additives. It is well suited to the manufacture of individual parts and small series. It is also used with large series to manufacture shapes that cannot be realised directly by initial shaping procedures, such as holes transverse to the direction of dry pressing.

White machining is performed on the prefired parts, now free from organic additives. The strength depends on the prefiring. In this way, extremely high removal rates can be achieved with relatively low tool wear, using conventional, ceramic or diamond coated tools. This process is used by manufacturers both for making prototypes and for mass production.

Hard machining is carried out on fully fired/sintered items that have been brought as close as possible to the final dimensions through forming, or through green or white machining. The closest possible tolerances can be achieved through a final machining procedure involving material removal. Tight requirements for dimensional precision and the wide variety of geometries and surface qualities require the use of modern machine tools for processing ceramic components. Due to the high hardness of ceramic materials, diamond tools (bonded or pastes) are used here almost exclusively.

### 2.3.8.5 Glazing, engobing and metallisation

#### Glazing and engobing

By applying a glaze, surfaces are made smooth and visually more attractive, but above all, the glaze may noticeably improve many technically important properties of the ceramic product (for example, electrical behaviour, mechanical strength, resistance to chemicals, etc.). A wide variety of glaze colours can be created by mixing in colourants (metal oxides). In order to achieve a possible increase in strength, the thermal expansion coefficient of the glaze must be matched to that of the body very precisely. A slight compressive stress in the glaze increases the strength of the finished product, but tensile stress reduces this effect, and is thus undesirable.

In contrast to glazing, an engobe is porous and largely free from glass phase material. It usually consists of fire-resistant oxides ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{ZrO}_2$ ), mixtures of these, or of fire-resistant minerals such as mullite, spinel, zircon silicate, or even kaolin or clay. Engobes are used in furnace engineering to protect ceramic surfaces from mechanical or corrosive attack. Applied to fire-resistant kiln furniture such as plates, beams or cases, engobes prevent both contact reactions with the supported firing materials and adhesion from any glaze running off the fired items that are standing on the coated kiln furniture [24, VKI-Germany, 2004]

A thin mineral glaze or engobe layer is applied to ceramic surfaces by dipping, rolling, spraying or brushing.

### Metallisation

Some manufacturers of technical ceramics offer metallised ceramics. Aluminium oxide and aluminium nitride are available as substrate materials. The metallisation offered is suitable for brazing and also for soft soldering and consists of a base metallisation of tungsten having a layer thickness of at least 6  $\mu\text{m}$ , applied by a screen printing process. A layer of nickel, applied non-electrolytically, with a minimum thickness of 2  $\mu\text{m}$ , is applied on top to assist the flow of solder. A gold layer with a thickness of approx. 1  $\mu\text{m}$  can be deposited to protect against corrosion. Alternatively, the non-electrolytically applied nickel layer can be reinforced with a bondable gold layer. An additional layer of tin can also be applied if soft soldering is carried out [24, VKI-Germany, 2004].

### **2.3.8.6 Drying, burning out and pre-firing**

#### Drying

Depending on the wide variety of raw materials and process variants, which are tailor made to reach the specific product properties, different types of dryers are used, but often chamber dryers are applied, especially if small scale production is undertaken.

#### Burning out

Green bodies shaped from plastic material are usually resistant to breakage in this state, but this resistance can still be improved with the aid of organic additives. Such additives are, however, indispensable when the unfired material is not plastic. Burning out the remaining plasticisers and binders along with other organic additives requires a carefully adapted temperature-pressure-atmosphere-time profile in order to achieve a non-destructive and reproducible removal of these additives from the finely porous green body. One variation of burning out is referred to as 'carbonising' or 'coking', for example with SiC. Here, organic components are converted to carbon, which remains in the structure and is converted, with the help of added reagents, to a ceramic matrix during the sintering reaction. After the drying and burning out (or carbonising/coking), the structure of the green body (pressed powder with the shape of component) is held together only by weak cohesive forces, and requires particularly careful handling during the subsequent process steps. For this reason, drying and burning out are integrated with the firing/sintering wherever possible [24, VKI-Germany, 2004].

#### Pre-firing

In order to reduce the level of risk during handling, and to allow the alternative white machining, the shaped green body can be strengthened by firing with relatively low shrinkage in preliminary firing. This requires strength and shrinkage to be made reproducible through control of the process parameters [24, VKI-Germany, 2004].

### 2.3.8.7 Firing/sintering

For firing, depending on the wide variety of raw materials and process variants, different types of kilns are used. Small scale production is carried out in flexible periodically operated kilns such as shuttle kilns, which are operated to change the product specific firing curve in very short cycles.

Typical sintering temperatures for technical ceramic materials are shown in the following table [24, VKI-Germany, 2004].

Technical ceramic material	Sintering temperature (°C)
Alumina porcelain	Approx. 1250
Quartz porcelain	Approx. 1300
Steatite	Approx. 1300
Cordierite	1250 – 1350
Aluminium oxide	1600 – 1800
Recrystallised silicon carbide	2300 – 2500
Sintered silicon carbide	Approx. 1900
Silicon nitride	Approx. 1700

**Table 2.24: Sintering temperatures for technical ceramic materials**

The energy required for the firing process increases disproportionately as the firing temperature rises. In addition to the energy input, the firing auxiliaries ('kiln furniture') used to stack the green bodies in the kiln is made of refractory material which can withstand very high temperatures. Special varieties of material can be created from some ceramic materials with the aid of particular types of firing processes [24, VKI-Germany, 2004]:

#### Hot pressing (HP)

Hot pressing is used to manufacture components with a density close to the theoretical maximum. It is a sintering process supported by uniaxial pressing.

#### Hot isostatic pressing (HIP)

Hot isostatic pressing allows small parts particularly to achieve the maximum density through the application of isostatic gas pressure of up to 3000 bar at temperatures of up to approximately 2000 °C (usually within a collapsible silicate glass envelope).

One example for firing technical ceramics in large shuttle kilns is the manufacture of electrical insulators by employing a modulated temperature programme (kiln capacity 100 m<sup>3</sup> with a setting density of 260 kg/m<sup>3</sup>, firing temperature of up to 1300 °C, firing time including a cooling phase of 80 – 105 hours) and using natural gas as the fuel [1, BMLFUW, 2003].

Another example for the use of shuttle kilns is the manufacture of firing auxiliaries ('kiln furniture') [17, Burkart, 2004]:

- H-cassettes, which are shaped from special refractory clays, are fired in shuttle kilns (setting density below 300 kg/m<sup>3</sup>, kiln volume 12 m<sup>3</sup>) at a temperature of 1360 - 1390 °C with natural gas as the energy source. They are used as firing auxiliaries in roof tile manufacturing processes
- SiC firing auxiliaries, which are shaped from SiC powder and organic binders, are fired in electrical induction shuttle kilns (setting density below 300 kg/m<sup>3</sup>) at a temperature of 2000 – 2500 °C under a hydrogen/nitrogen atmosphere. They are used in other manufacturing processes, in particular porcelain glost fast firing.

However, tunnel kilns are also employed for the manufacture of technical ceramics. An example is the firing of ceramic catalysts in a 63 m long tunnel kiln at a maximum temperature of 650 °C and with a throughput of 0.76 m<sup>3</sup>/h [1, BMLFUW, 2003].

**2.3.8.8 Subsequent treatment**

Depending on the wide variety of technical ceramics, often subsequent treatment like cutting, sawing, grinding, polishing and assembling with other parts may be necessary. In this context, see Section 2.3.8.4, especially regarding hard machining. After final quality control, the products are sorted and packed.

**2.3.8.9 Input and output flows in the manufacture of technical ceramics**

Important input and output flows of technical ceramics manufacturing processes are presented in the following figure [23, TWG Ceramics, 2005], [24, VKI-Germany, 2004].

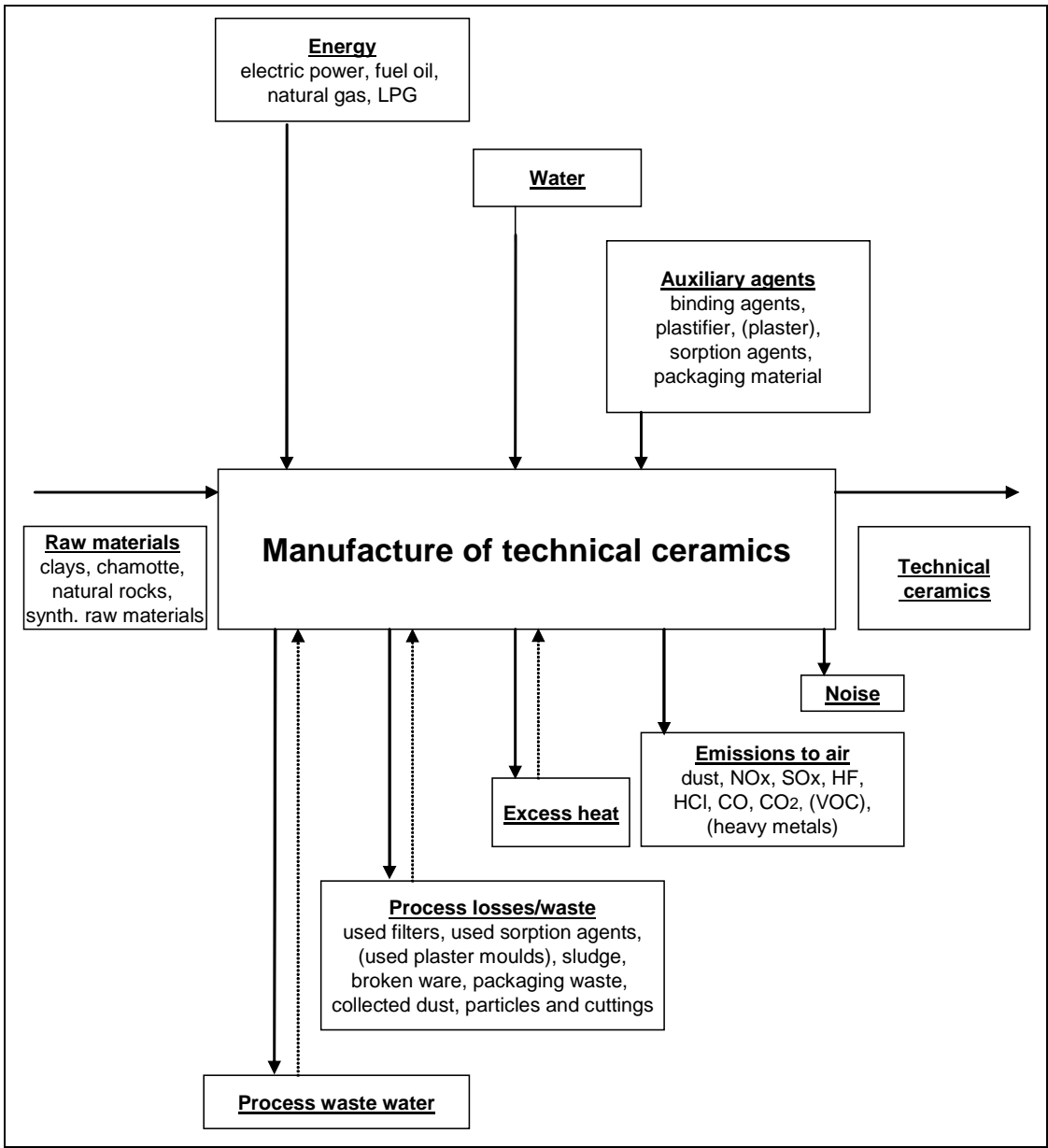


Figure 2.29: Input and output flows in the manufacture of technical ceramics

## 2.3.9 Inorganic bonded abrasives

### 2.3.9.1 Raw materials

Inorganic bonded ceramic abrasives consist of abrasive grains, binding agents and several additives, which are mixed, shaped, dried and fired [14, UBA, 2004].

The most used abrasive grains for the manufacture of inorganic bonded abrasives are special fused alumina, corundum, black and green silicon carbide. Cubic boron nitride (CBN) and diamond are also used.

The binding agent is typically made of the following components:

- feldspar
- silicates
- quartz
- frits (glass with a defined composition)
- kaolin (china clay)
- clay
- nepheline
- pigments.

The composition varies depending on the application profile of the abrasives. Consequently also pure frit binders or special binders with a defined thermal coefficient of expansion and/or melting point might be applied. In some cases, frits might contain high shares of alkali and boron. Colouring metal oxides, colouring glass or colouring pigments might be added to obtain a specific colour.

Auxiliary substances are used during the manufacturing process of inorganic bonded abrasives to realise required characteristics and shapes. However, these auxiliary substances are not ingredients of the final product.

Temporary binding agents are necessary for the manufacture of inorganic abrasives to keep the mixture of grain and binder in the right shape before the firing process. For temporary binders, water soluble glues, wax emulsions, converted starch like dextrin, polyoxyethylene preparations, lignosulphonates, converted urea-formaldehyde condensation products, synthetic resins, etc. are alternatively used.

Pore-forming agents have the function of generating a defined pore profile in the abrasives. Pore-forming agents are added to the raw material and evaporate, sublimate, depolymerise, or incinerate, depending on the substance used, during the drying or firing process. Depending on the final product, different pore forming agents are used. Naphthalene or other thermal calcinating substances are applied.

### 2.3.9.2 Preparation of raw materials

The first step of the manufacturing process of inorganic bonded abrasives is the weighing and the mixing (e.g. in a horizontal bed mixer) of the components according to the abrasive formulation.

### **2.3.9.3 Shaping**

For the manufacture of inorganic bonded abrasives, the raw workpieces are mechanically compressed to a specific density according to the default form and weight requirements. For this purpose, hydraulic or eccentric presses with pressure ranges of up to 2500 MPa are used [14, UBA, 2004].

### **2.3.9.4 Drying**

As the compressed material is moisturised with water containing glue, the raw workpiece has to be dried. Chamber dryers and vacuum dryers are applied, in which the products are dried at temperatures of between 50 and 150 °C. Long drying times of up to 45 hours are necessary for a crack free drying and the dryers can also be air conditioned (in particular, vacuum dryers are equipped with a humidity control) for a crack free drying [14, UBA, 2004] [28, Schorcht, 2005].

### **2.3.9.5 Firing**

The firing of inorganic bonded abrasives takes place in natural gas or electrically heated periodically or continuously operated kilns. Example plants operate kilns with capacities of more than 4 m<sup>3</sup> (up to 11 m<sup>3</sup>), firing temperatures of between 850 to 1300 °C and setting densities of between 360 to 1400 kg/m<sup>3</sup> [14, UBA, 2004]. The share of the vitrified bond in the ware to be fired comes to about 10 % of the total mass of inorganic bonded abrasives in the kiln. Depending on the size of the abrasive wheel products, the firing cycles take between 40 to 120 hours [28, Schorcht, 2005], [30, TWG Ceramics, 2005].

### **2.3.9.6 Subsequent treatment**

After the determination of the quality (grade, density) of the abrasive, the finishing of the abrasives is carried out related to customer specific requirements, for instance with computer aided lathes or grinding machines. Afterwards, the final inspection which normally covers an out-of-balance check, dimensional, ring test and visual inspection, a safety speed and a bursting speed test take place conforming to standards. After the final inspection, the inorganic bonded abrasives are labelled conforming to standards and packed for consignment [14, UBA, 2004], [30, TWG Ceramics, 2005].

### **2.3.9.7 Input and output flows in the manufacture of inorganic bonded abrasives**

Important input and output flows of inorganic bonded abrasives manufacturing processes are presented in the following figure [14, UBA, 2004], [23, TWG Ceramics, 2005].

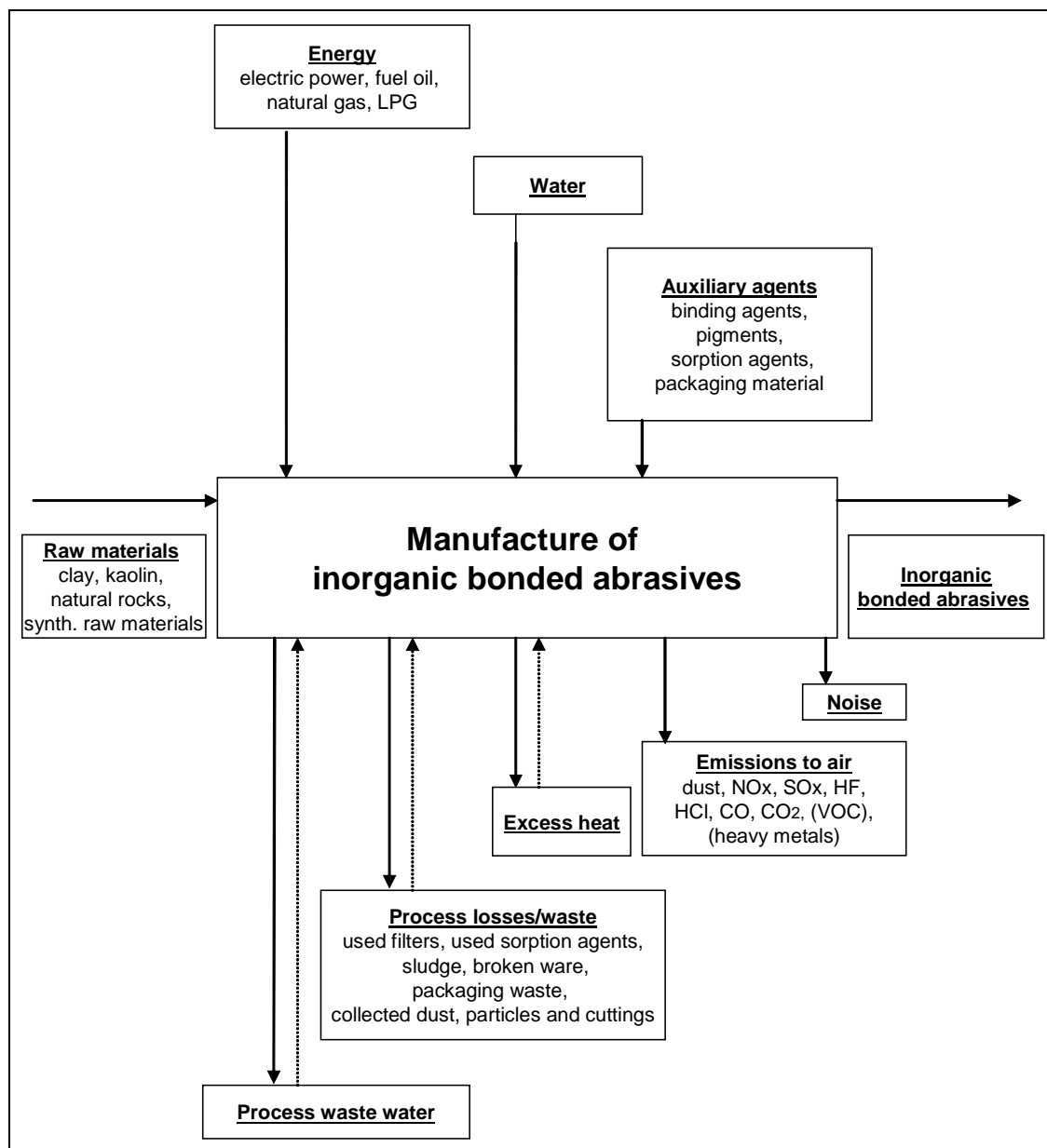


Figure 2.30: Input and output flows in the manufacture of inorganic bonded abrasives





## 3 CURRENT EMISSION AND CONSUMPTION LEVELS

### 3.1 Emissions – general considerations

#### 3.1.1 Emissions to air

##### 3.1.1.1 Dust (particulate matter)

The processing of clays and other ceramic raw materials inevitably leads to dust formation – especially in the case of dry materials. Drying, (including spray drying), comminution (grinding, milling) screening, mixing, conveying can all result in a release of fine dust, necessitating dust extraction equipment. Some dust also forms during decorating and firing of the ware, and during machining or finishing operations on fired ware. Dust is one of the main pollutants, in quantitative terms, from the ceramic processes.

##### 3.1.1.2 Gaseous emissions

The gaseous compounds released during drying, calcining and firing are derived from the raw materials as well as fuels contribute gaseous pollutants. Fluorine compounds represent one of the main typical pollutants from ceramic processes. Gaseous emissions relevant to the ceramic industry are as described from Section 3.1.1.2.1 to 3.1.1.2.7:

##### 3.1.1.2.1 Sulphur dioxide and other sulphur compounds

The concentration of  $\text{SO}_x$  (mainly  $\text{SO}_2$ ) in flue-gases is closely related to the sulphur content of the raw material, and of the fuel. Ceramic materials may contain sulphur in the form of pyrite ( $\text{FeS}_2$ ), gypsum and other sulphates, and organic sulphur compounds. Gaseous fuels are virtually sulphur-free, but solid fuels and fuel oils contribute sulphur oxides on combustion.

It should be noted that basic compounds from raw materials (e.g.  $\text{CaO}$  formed by dissociation of  $\text{CaCO}_3$  during firing) can reduce sulphur emissions by reacting with sulphur oxides. The reaction products are retained within the body of the ware.

##### 3.1.1.2.2 Oxides of nitrogen and other nitrogen compounds

$\text{NO}_x$  is mainly produced by thermal ‘fixation’ of nitrogen and oxygen from the combustion air. This reaction is favoured by high temperatures (especially  $>1200\text{ }^\circ\text{C}$ ) and by excess oxygen. Fixation can occur within hot flames, even when the actual kiln temperature is below  $1200\text{ }^\circ\text{C}$ .

Nitrogen compounds present in fuels (mainly solid or liquid types), or in organic additives, form  $\text{NO}_x$  during combustion at much lower temperatures.

### 3.1.1.2.3 Carbon monoxide (and carbon dioxide)

Carbon monoxide, CO, arises from the combustion of organic matter in the ceramic body – especially under low oxygen conditions. It may also be formed by the reaction of ‘fixed carbon’ in the body with carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) released by the thermal dissociation of alkali and earth alkali carbonates, for instance calcium or magnesium carbonate during firing:

- $\text{CaCO}_3 \longrightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$
- $\text{C} + \text{CO}_2 \longrightarrow 2\text{CO}$

(Carbon dioxide forms as above, and is the main oxide of carbon formed during the combustion of fossil fuels).

### 3.1.1.2.4 Volatile organic compounds (VOCs)

Ceramic raw materials may themselves contain organic matter, and a wide range of organic materials are added in the form of binding agents, pore-forming agents, drying aids, adhesives, body fuels, burnout additives, etc.

During the early heating process, carbonisation of organic compounds may occur with the release of a complex range of VOCs.

### 3.1.1.2.5 Metals and their compounds

The heavy metal content of most ceramic raw materials is very low, and causes no emission problems. Exceptions occur in the case of ceramic pigments and glaze materials, but present practice is to use coloured compounds (‘stain’ containing pigments), which are stable at high temperatures and inert in silicate systems, where the metallic oxides have a stable crystal structure like spinel or zircon [23, TWG Ceramics, 2005]. These types of glaze are also subject to extremely short firing cycles, minimising the risk of volatility.

Heavy fuel oils and solid fuels may contain low levels of nickel and vanadium, but tests have shown these elements to be largely absorbed by a reaction with the product during firing.

### 3.1.1.2.6 Chlorine and its compounds

Most clays contain trace levels of chloride, often derived from an original marine formation, but also additives or water containing chloride are possible sources of hydrochloric acid (HCl) emissions (e.g. the Cl content of water added during the preparation of the raw materials may be in the range of 50 – 100 mg/l or even higher) [23, TWG Ceramics, 2005], [30, TWG Ceramics, 2005]. Due to the decomposition of mineral salts containing chloride at temperatures in excess of 850 °C and of organic compounds containing chloride at temperatures of between 450 and 550 °C, HCl occurs during the firing process in the flue-gases of a kiln [25, Voland, 2004].

### 3.1.1.2.7 Fluorine and its compounds

Nearly all natural raw materials contain fractional amounts of fluoride (which readily substitutes for OH groups in clays and hydrous minerals). Hydrofluoric acid (HF) comes mainly from the decomposition of these fluorosilicates present in clay material. The emission of HF takes place in accordance with two different mechanisms:

- by direct decomposition of the fluoride minerals which depends heavily on the type of clay (e.g. smectite at temperatures from 550 °C, illite at temperatures from 750 °C, apatite at temperatures from 600 to 700 °C)
- by decomposition of CaF<sub>2</sub> at temperatures in excess of 900 °C, the reaction is favoured by the presence of water vapour [23, TWG Ceramics, 2005], [25, Voland, 2004].

In this context, the water, present in the kiln atmosphere (e.g. formed by combustion of fuels), plays an important role in the mechanism of HF formation. The following reactions are involved:

- mineral-F + H<sub>2</sub>O → mineral-OH + HF (1) (release of HF by hydrolysis of mineral-F)
- 2HF + CaO → CaF<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O (2) (resorption of HF)
- CaF<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O → 2HF + CaO (3).

Reaction (2) occurs at relatively low temperatures, in the preheating section of the kiln. It explains why the presence of CaCO<sub>3</sub>/CaO (limestone/lime) can result in a significant reduction of HF emissions. Slow preheating increases the reaction time for resorption and may result in lower HF emissions. Reaction (3) occurs at higher temperatures (>900 °C) if the water concentration in the kiln is very high [2, VITO, 2003], [23, TWG Ceramics, 2005].

The concentration of fluoride in flue-gases is not only related to the level in the raw materials, the presence of water vapour, the body composition and the temperature curve, but also the setting and the specific surface of the ware to be fired effect the diffusion of H<sub>2</sub>O and HF into and out of the ware (see Sections 4.3.3.1 and 4.3.3.2) [23, TWG Ceramics, 2005], [30, TWG Ceramics, 2005].

## 3.1.2 Emissions to water

Water is a very important raw material in the ceramic manufacturing industries, but the amount used varies greatly between sectors and processes. The water added directly to ceramic body mixes does not lead to a waste water problem, as it is subsequently evaporated into the air during the drying and firing stages. Process waste water is generated mainly when clay materials are flushed out and suspended in flowing water during the manufacturing process and equipment cleaning, but emissions to water also occur during the operation of wet off-gas scrubbers.

Process waste water occurs in small quantities in the manufacture of bricks and roof tiles, vitrified clay pipes and refractory products, if surface treatment such as glazing and engobing, or wet grinding is carried out. Additional amounts of water arise in the cleaning process of the mixing, engobing and glazing units, and of the moulds. In expanded clay aggregates production, usually no process waste water is generated, only the cooling water for the kiln system passes through an oil separator and is returned to the cooling circuit.

In the wall and floor tiles, table- and ornamentalware, sanitaryware, technical ceramics and inorganic bonded abrasives sectors, process waste water occurs mainly as cleaning water in preparation units, in casting units, in the glazing and decoration process or as grinding water in subsequent treatment.

Effluents which arise as a result of compound processing and equipment cleaning usually contain the same raw materials and auxiliary materials as those used in the process concerned. As a rule, these compounds are water insoluble.

The waste water in the process mostly shows turbidity and colouring owing to the very fine suspended particles of glaze and clay minerals. From a chemical point of view, these are characterised by the presence of:

- suspended solids: clays, frits and insoluble silicates in general
- dissolved anions: sulphates
- suspended and dissolved heavy metals: e.g. lead and zinc
- boron in small quantities
- traces of organic matter (screen printing vehicles and glues used in glazing operations).

### 3.1.3 Process losses/waste

Process losses/waste originating from the manufacture of ceramic products, mainly consist of the following materials:

- different kinds of sludge originate from the process waste water treatment facilities of water arising in the processes involved in cleaning body preparation, glaze preparation and application equipment, and also from wet grinding. The quantity and composition of sludge varies considerably as, besides arising in the different production processes, a great variety of raw materials tends to be used (different glazes, frits, clays, etc.), even in the same facility, which produce significant fluctuations in sludge composition
- broken material/ware arises from shaping, drying, firing, subsequent treatment and broken refractory material
- dust arises from off-gas cleaning units
- used plaster moulds arise from shaping processes
- used sorption agents (granular limestone, limestone dust) arise from flue-gas cleaning systems
- packaging waste (plastic, wood, metal, paper, etc.) arises in the packaging step
- solid residues, e.g. ashes arise from firing with solid fuels.

Parts of the accumulated process losses mentioned above, can be recycled and re-used within the plant due to product specifications or process requirements. Materials, which cannot be recycled internally, leave the plant to be used in other industries or to be supplied to external waste recycling or waste disposal facilities.

### 3.1.4 Emissions of noise

Noise occurs in the several steps during the manufacturing processes of ceramic products, mainly by operating noise generating machinery and by carrying out noisy working procedures.

### 3.1.5 Possible emission sources and emission paths

The following table provides an overview on possible emission sources of important process steps in ceramic manufacturing and the corresponding emission paths [23, TWG Ceramics, 2005], [26, UBA, 2005], [27, VDI, 2004], [30, TWG Ceramics, 2005].

Process step	Emission from				Emission into			Emission of noise
	Raw material	Ceramic bodies	Deco-ration	Fuel	Air	Water	Land (proc-ess losses/waste)	
<b>Raw material prepara-tion</b>								
Primary/secondary crushing and grinding	x				x		x	x
Dry milling and dry mixing	x			x <sup>1)</sup>	x		x	x
Wet milling and wet mixing	x					x	x	x
Screening/classification	x				x		x	x
Conveying	x				x		x	
Storage in silos	x				x			x
<b>Body preparation</b>								
Casting slip		x				x		
Extrusion paste for soft-plastic shaping		x			x	x	x	
Bodies for hard-plastic shaping by chip remov-ing processes		x				x	x	
Dust pressing powder, dry process		x			x	x	x	x
Dust pressing powder, spray drying process		x		x	x	x	x	x
Granulation		x			x			x
<b>Shaping</b>								
Slip casting		x				x		
Soft-plastic shaping ('extrusion')		x				x	x	
Shaping by cutting		x					x	
Pressing		x			x	x <sup>2)</sup>	x	x
Treatment of green bodies		x			x	x	x	
<b>Drying</b>								
Intermittent and con-tinuous dryers		x		x	x			x
<b>Decorating</b>								
Glazing			x		x	x	x	
Engobing			x		x <sup>3)</sup>	x	x	
Printing			x		x	x	x	
<b>Firing</b>								
Intermittent and con-tinuous kilns	x	x	x	x	x			x
<b>Subsequent treatment</b>		x	x		x	x	x	x
<b>Material storage</b>	x	x		x	x <sup>4)</sup>			x

<sup>1)</sup> Possible for special applications, e.g. hot dry grinding of expanded clay aggregates  
<sup>2)</sup> Only cooling water  
<sup>3)</sup> For some sectors, e.g. ceramic tiles  
<sup>4)</sup> Material storage also covers storage of fuels

**Table 3.1: Overview on possible emission sources and emission paths in the ceramic industry**

## **3.2 Consumption – general considerations**

### **3.2.1 Energy consumption**

The primary energy use in ceramic manufacturing is for kiln firing and, in many processes, drying of intermediates or shaped ware is also energy intensive. Natural gas, LPG and fuel oil are employed for most drying and firing operations, but solid fuels, electricity, LNG and bio-gas/biomass are also used.

Plant and machinery used for the comminution and mixing of raw materials, and the forming of ware, require electrical energy. Diesel fuel is required for on-site transportation, which may include haulage of raw materials from a quarry, and internal transport with lorries. Additionally, electricity (battery powered) and LPG bottles (butane, propane) are also used for on-site transportation, for instance with forklifts.

The brick and roof tile and the wall and floor tile sectors are the biggest energy consumers, but this is related to their larger tonnage outputs. In terms of specific energy consumption, the brick and roof tile sector shows the highest efficiency [3, CERAME-UNIE, 2003].

It should be noted that electrical heating of kilns is nevertheless employed for certain tableware and technical ceramics [14, UBA, 2004], [17, Burkart, 2004]. This is necessary to achieve the required quality.

### **3.2.2 Water consumption**

Water is used in virtually all ceramic processes, and good quality water is essential for the preparation of clays and glaze slips; clay bodies for extrusion and ‘muds’ for moulding; preparation of spray dried powders; wet grinding/milling; washing operations.

Water is used for different purposes: basically, as a raw material for the body and its preparation, as a raw material for glazes, as a washing fluid and as a cooling medium. Good quality water is required for glazes, washing and cooling purposes. Low quality water – like untreated process waste water from washing operations in the glaze section – can be suitable for the body. Process waste water re-use techniques take these different qualities into account.

### **3.2.3 Raw materials consumption**

A vast range of raw materials is consumed by the ceramic industry, as indicated in Chapter 2. These include the main body forming materials, involving high tonnages, and various additives, binders and decorative surface-applied materials which are used on a lesser scale.

### 3.3 Presentation of emission and consumption data

This section reports on the ranges of currently observed emission and consumption levels for the manufacturing processes. Information includes currently observed usage of energy, water and raw materials and, as far as available, data include emissions to air and water arising from the activities as well as inputs to and outputs from sub-processes including compositions of sludge and solid process losses. Noise emission data are not included, because many noise aspects are not really sector specific and no suitable noise emission data for ceramic manufacturing processes are available.

Performance data will be qualified as far as possible with details on operating conditions, sampling and analytical methods, and statistical presentations (e.g. averages, maxima, minima and ranges).

Regarding the standard conditions for measurements of volume flows and concentrations, see the following definitions, which are also stated in the Glossary:

m <sup>3</sup> /h	volume flow: if not otherwise mentioned in this document, the volume flows refer to 18 vol-% oxygen and standard state.
mg/m <sup>3</sup>	concentration: if not otherwise mentioned in this document, the concentrations of gaseous substances or mixtures of substances refer to dry flue-gas at 18 vol-% oxygen and standard state, and benzene concentrations refer to 15 vol-% oxygen and standard state.
standard state	refers to a temperature of 273 K and a pressure of 1013 hPa.

Additional useful information can be found in the Reference Document on the General Principles of Monitoring (MON).

In view of the complexity of the ceramic industry, the data in the form of examples and ranges of currently observed emission and consumption levels are summarised on a sectoral basis in tables and figures placed within this section.

#### 3.3.1 Bricks and roof tiles

##### 3.3.1.1 Emission data

Emissions to air and water, process losses/waste and also noise emissions arise in the manufacture of bricks and roof tiles. In this section, ranges of air pollutant emissions are presented for the firing of bricks and roof tiles. Emissions to air from other process steps, emissions to water and process losses are also described.

##### Emissions to air

Significant emissions to air in the manufacture of bricks and roof tiles arise in the firing process. In this context, it has to be mentioned that the emissions vary to a great extent from country to country and within countries from site to site depending on the different clay raw materials being used – because of the geological and geographical variations – as described in Section 2.3.1.1 (see in particular Table 2.1) and also on the differences in the manufacturing techniques applied to match the diversity of the product range.

In this context, the data listed in the following table, demonstrate the ranges of emissions occurring in some European countries for fluorides, chlorides, oxides of sulphur, oxides of nitrogen, dust and carbon monoxide. All the data given in this table are emissions in the uncleaned flue-gases from the kilns, i.e. without taking into account any abatement equipment [20, CERAME-UNIE, 2004], [23, TWG Ceramics, 2005], [21, Almeida, 2004].

Emission component (mg/m <sup>3</sup> )	Austria	France	The Netherlands	Italy	Denmark <sup>*)</sup>	
<b>Fluoride as HF</b>						
Minimum	0	1	1	0	10	
Maximum	60	130	150	350	150	
<b>Chloride as HCl</b>						
Minimum		0	1	0	5	
Maximum		30	32	200	50	
<b>Sulphur as SO<sub>x</sub></b>						
Minimum	5	0	2	0	20	
Maximum	100	1090	630	3200	700	
<b>Nitrogen as NO<sub>x</sub></b>						
Minimum	9	5	27	5	50	
Maximum	80	200	464	100	200	
<b>Dust</b>						
Minimum	0	1	1	1	5	
Maximum	13	180	64	40	40	
<b>Carbon monoxide</b>						
Minimum		0	7	100		
Maximum		1200	701	500		
<sup>*)</sup> Oxygen concentration reference of 15 – 19 vol-% corresponding to measured oxygen content of the flue-gas						
Emission component (mg/m <sup>3</sup> )	Belgium	United Kingdom	Germany	Hungary	Switzerland	Portugal
<b>Fluoride as HF</b>						
Minimum	6	1	1	0	0	1
Maximum	117	200	250	20	22	80
<b>Chloride as HCl</b>						
Minimum	0	1	0			Not detected
Maximum	270	125	95	50		160
<b>Sulphur as SO<sub>x</sub></b>						
Minimum	3	8	1	1	1	3
Maximum	3485	2450	3000	350	281	443
<b>Nitrogen as NO<sub>x</sub></b>						
Minimum	0	0	10	0	36	14
Maximum	174	160	450	780	147	132
<b>Dust</b>						
Minimum	2	0	5	1	1	8
Maximum	449	100	150	100	29	125
<b>Carbon monoxide</b>						
Minimum	23		0	1	7	2
Maximum	1950		1500	1500	483	500

**Table 3.2: Emission ranges of raw flue-gases from the firing process of brick and roof tiles manufacturing**

The fluoride emissions vary considerably, as shown in Table 3.2, not only because of the variation in fluoride content of the raw materials, but also because of differences in the manufacturing techniques being used. As an example, the following figure shows the distribution of released fluoride with respect to the final product, based on Italian research and referring to Figure 2.9 [20, CERAME-UNIE, 2004], [23, TWG Ceramics, 2005], [30, TWG Ceramics, 2005].



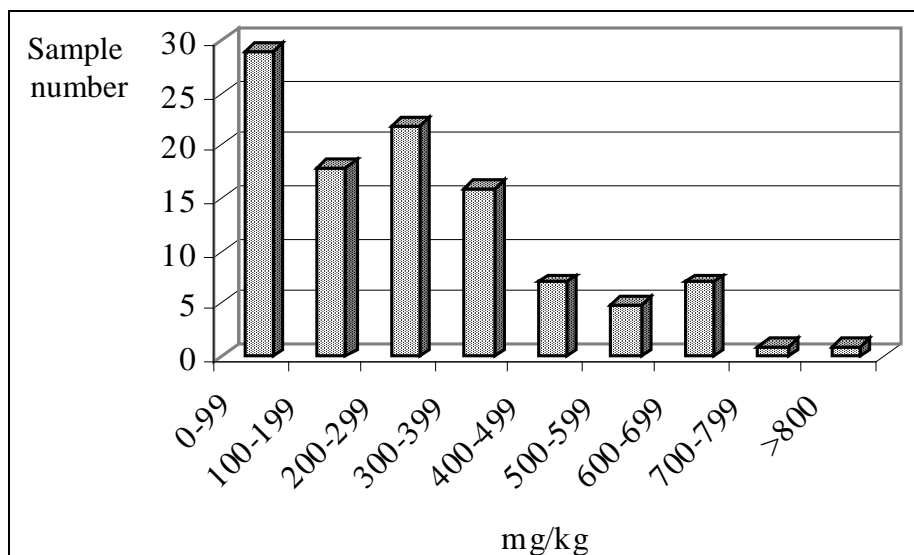


Figure 3.1: Distribution of released fluoride in the Italian brick and roof tile industry

Similar variations occur in chloride emissions (see Table 3.2), and also the distribution of released chloride with respect to the final product for the Italian brick and roof tile industry is shown in the following figure [20, CERAME-UNIE, 2004], [23, TWG Ceramics, 2005].

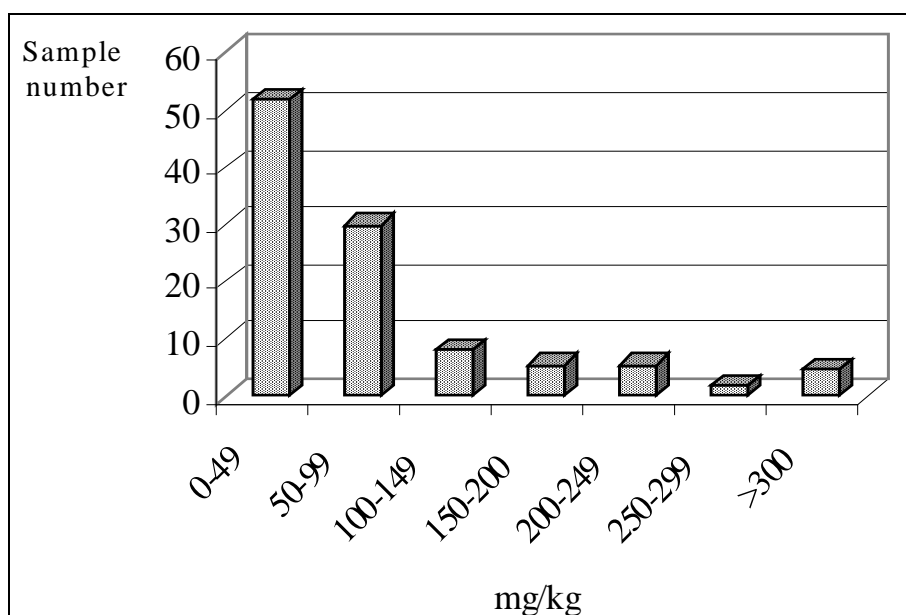


Figure 3.2: Distribution of released chloride in the Italian brick and roof tile industry

The following table shows the different sulphur emissions in Germany, UK and Belgium, shown as a relation between the number of brick and roof tile works and the corresponding emission ranges. Also here, the variation of the sulphur content in the clays (see Figure 2.12) plays an important role, e.g. by using clays with a low sulphur content, the ranges of sulphur emissions are lower than by using clays with high sulphur content. [20, CERAME-UNIE, 2004], [23, TWG Ceramics, 2005], [30, TWG Ceramics, 2005].

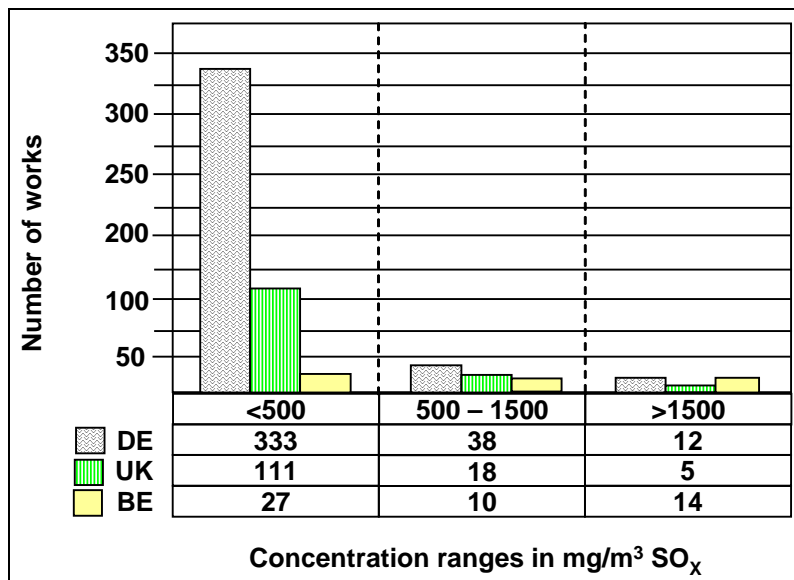


Figure 3.3: SO<sub>x</sub> emissions in Germany, United Kingdom and Belgium

Ranges of operating data of raw gases are presented in the following table in correlation to the applied fuels [4, UBA, 2001],[27, VDI, 2004], [30, TWG Ceramics, 2005].

Emission component	Unit	Gaseous fuel	Fuel oil EL	Heavy fuel oil	Coal
Dust	mg/m <sup>3</sup>	1 – 20	1 – 30	5 – 50	30 – 150 <sup>***)</sup>
NO <sub>x</sub> stated as NO <sub>2</sub>	mg/m <sup>3</sup>	20 – 200	20 – 200	20 – 200	20 – 200
SO <sub>x</sub> stated as SO <sub>2</sub> (S content of raw material <0.12 % <sup>*)</sup> )	mg/m <sup>3</sup>	10 – 300 <sup>**)</sup>	10 – 300 <sup>**)</sup>	30 – 500 <sup>**)</sup>	30 – 500 <sup>**)</sup>
Inorganic gaseous fluorine compounds stated as HF	mg/m <sup>3</sup>	1 – 20 <sup>**)</sup>	1 – 20 <sup>**)</sup>	1 – 20 <sup>**)</sup>	1 – 20 <sup>**)</sup>
Inorganic gaseous chlorine compounds stated as HCl	mg/m <sup>3</sup>	1 – 120	1 – 120	1 – 120	1 – 120
<sup>*)</sup> Possible values above 1500 mg SO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> with a raw material S content >0.12 % <sup>**)</sup> Lower HF and SO <sub>2</sub> values are possible, if raw materials with a high lime content are used <sup>***)</sup> When using brown coal, dust contents up to 700 mg/m <sup>3</sup> may occur					

Table 3.3: Operating data of raw gas with various fuels

For the other fuels mentioned in Section 2.3.1.5, e.g. petroleum coke, no emission data are available.

VOCs are not necessarily present in all raw flue-gases of brick firing processes, they mainly occur where organic additives are used to develop porosity. These organic components in the raw flue-gas depend on the degree of porosity and the operation conditions in the preheating zone of the kiln. Often a mixture of different pore-forming agents is employed. The following table shows ranges of raw gas values obtained using various pore-forming agents [4, UBA, 2001].

Emission component	Unit	Polystyrene	Sawdust and paper binding agents
Organic substances stated as total C	mg/m <sup>3</sup>	50 – 250	50 – 250
Benzene	mg/m <sup>3</sup>	1 – 65	1 – 5
Phenol	mg/m <sup>3</sup>	1 – 5	1 – 20
Formaldehyde	mg/m <sup>3</sup>	1 – 20	5 – 100
Aldehyde (C1 – C4)	mg/m <sup>3</sup>	1 – 20	25 – 180
Carbon monoxide <sup>*)</sup>	mg/m <sup>3</sup>	<300	<1500

<sup>\*)</sup> A high CO -value is an indication of incomplete combustion

**Table 3.4: Raw gas values with various pore-forming agents**

The examples of clean gas values shown in the following table are average values in the manufacture of porous clay blocks and no information about the operated flue-gas cleaning units is available. The corresponding operating data ranges can be found in the upper section of the table. The table also shows the principle link between operating data, emission concentrations and the corresponding emission factors (emissions referring to the production of one kilogram brick (kg<sub>B</sub>)) [4, UBA, 2001], [23, TWG Ceramics, 2005], [30, TWG Ceramics, 2005].

Source of emission	Tunnel kiln
Flue-gas volume flow (m <sup>3</sup> /h)	5000 – 50000
Flue-gas temperature (°C)	100 – 200

Emission component	Average clean gas concentration (mg/m <sup>3</sup> )	Emission factor, average value (mg/kg <sub>B</sub> )
Dust	11.6	17.6
NO <sub>x</sub> stated as NO <sub>2</sub>	121.0	184.0
SO <sub>x</sub> stated as SO <sub>2</sub>	26.1	39.6
CO <sub>2</sub>	98200	149000
CO	124.6	189.0
Inorganic gaseous fluorine compounds stated as HF	2.7	4.1
Inorganic gaseous chlorine compounds stated as HCl	8.4	12.7
Organic substances stated as total C	22.7	34.5

**Table 3.5: Average clean gas concentrations (porous clay blocks) and corresponding product related emission factors**

Table 3.6 and Table 3.7 show examples of flue-gas concentrations of clay block manufacturing masonry brick plants, facing brick plants and roof tile plants, measured by external technical experts (single and not continuous measurements) and the corresponding operating data in the upper sections of the tables. Most of the plants operate flue-gas cleaning systems, as stated in the tables, therefore the values represent clean gas concentrations [1, BMLFUW, 2003], [17, Burkart, 2004], [2, VITO, 2003].

Parameter	MB 1	MB 2	MB 3	MB 4	MB 5
Flue-gas volume flow (m <sup>3</sup> /h)	22000	12400	25300	12440	32930
Flue-gas temperature (°C)	153	107	224	171	197
Fuel	Natural gas	Natural gas	Natural gas	Natural gas	Natural gas
Pore-forming agent	Sawdust, polystyrene, paper	Sawdust	Sawdust, paper	Sawdust, sunflower shell, brown coal	Sawdust, polystyrene, paper, brown coal
Flue-gas cleaning	Thermal afterburning	–	Thermal afterburning	Thermal afterburning	Thermal afterburning

Emission component	MB 1	MB 2	MB 3	MB 4	MB 5
Dust	18.0	27.0	4.0	8.4	2.8
SO <sub>x</sub> stated as SO <sub>2</sub>	26.0	<4.0	178.0	72.2	2.8
Fluorine stated as HF	3.0	<0.1	1.5	2.3	1.1
TOC without CH <sub>4</sub>	<5.0	19.0	11.5	11.9	4.0
Acetaldehyde	–	<1	–	–	–
Benzene	0.18	<0.10	0.18	0.11	0.30
Styrene	0.20	<0.10	0.14	0.03	0.90
Formaldehyde	0.005	<1.0	2.1	2.5	5.0
Phenol	0.12	<0.10	0.45	0.05	1.60
NO <sub>x</sub> stated as NO <sub>2</sub>	98	18	113	162	187
Chlorine stated as HCl	13.5	<1.0	10.5	7.0	9.9
CO	14	300	–	–	25

MB: masonry brick plant; units in mg/Nm<sup>3</sup> ref. to 18 % O<sub>2</sub>, Nm<sup>3</sup>/h<sub>dry</sub> or °C

Parameter	MB 6	MB 7	MB 8	MB 9	MB 10
Flue-gas volume flow (m <sup>3</sup> /h)	15100	20740	15420	27344	18300
Flue-gas temperature (°C)	131	155	153	102	186
Fuel	Natural gas	Natural gas	Natural gas	Natural gas	Natural gas
Pore-forming agent	Sawdust, paper, brown coal	Paper	Sawdust	Paper, polystyrene	Paper, polystyrene
Flue-gas cleaning	–	Thermal afterburning	–	Lime bed filter	Thermal afterburning

Emission component	MB 6	MB 7	MB 8	MB 9	MB 10
Dust	1.2	1.9	<1.0	10.7	0.9
SO <sub>x</sub> stated as SO <sub>2</sub>	17.7	1.2	5.6	1.7	5.0
Fluorine stated as HF	0.9	0.1	1.8	<0.1	1.1
TOC without CH <sub>4</sub>	16.5	5.6	97.1	19.0	3.0
Acetaldehyde	–	–	–	<0.1	–
Benzene	4.7	1.5	3.0	0.4	0.1
Styrene	7.5	1.7	3.0	<0.1	2.0
Formaldehyde	11.7	4.5	10.6	<0.1	1.3
Phenol	5.6	2.3	6.1	<0.1	0.1
NO <sub>x</sub> stated as NO <sub>2</sub>	24.2	64.8	43.0	33.6	73.0
Chlorine stated as HCl	2.4	1.2	5.0	<0.5	0.5
CO	–	39.2	–	–	44.0

MB: masonry brick plant; units in mg/Nm<sup>3</sup> ref. to 18 % O<sub>2</sub>, Nm<sup>3</sup>/h<sub>dry</sub> or °C

Table 3.6: Clean gas concentrations of masonry brick plants

Parameter	KB 1	RT1	RT 2	RT 3/4	RT 5
Flue-gas volume flow (m <sup>3</sup> /h)	19500	13745	17214	31182	10500
Flue-gas temperature (°C)	165	84	159	154	202
Fuel	Natural gas	Natural gas	Natural gas	Natural gas	Natural gas
Flue-gas cleaning	Lime bed filter	Lime bed filter	Lime bed filter	Lime bed filter	Lime bed Filter

Emission component	KB 1	RT 1	RT 2	RT 3/4	RT 5
Dust	2.2	1.9	1.2	12.5	18.0
SO <sub>x</sub> stated as SO <sub>2</sub>	6.8	17.1	9.6	<1.6	20.0
Fluorine stated as HF	1.4	4.5	<0.5	3.1	4.2
TOC without CH <sub>4</sub>	15.5	1.2	1.2	19.4	8.0
Formaldehyde	0.2	–	–	–	–
Benzene	2.5	–	–	–	–
Styrene	2.5	–	–	–	–
Phenol	5.0	–	–	–	–
NO <sub>x</sub> stated as NO <sub>2</sub>	70.0	26.8	38.3	107.3	88.0
Chlorine stated as HCl	6.8	1.1	3.3	1.6	14.0
KB: facing brick plant, RT: roof tile plant; units in mg/Nm <sup>3</sup> ref. to 18 % O <sub>2</sub> , Nm <sup>3</sup> /h <sub>dry</sub> or °C					

**Table 3.7: Clean gas concentrations of clinker brick plants and roof tile plants**

Table 3.8 and Table 3.9 show recent examples of clay block and facing brick manufacturing kilns in Belgium and the corresponding operating data [30, TWG Ceramics, 2005]. The plants apply different measures like process-integrated measures and end-of-pipe flue-gas cleaning techniques. Process-integrated measures include the addition of low sulphur raw materials, the addition of CaCO<sub>3</sub> and the addition of calcium rich additives. Therefore, the values shown in the tables are the raw gas values and the clean gas values (after process-integrated measures and flue-gas cleaning).

Parameter	Clay blocks 1	Clay blocks 2	Clay blocks 3	Clay blocks 4
Flue-gas volume flow	58682 m <sup>3</sup> /h	61027 m <sup>3</sup> /h	51838 m <sup>3</sup> /h	61156 m <sup>3</sup> /h
Flue-gas temperature	180 – 220 °C	180 – 220 °C	180 – 220 °C	180 – 220 °C
Fuel	Natural gas	Natural gas	Natural gas	Natural gas
Sulphur content in raw material-clay	0.5 – 0.75 %	>0.75 %	>0.75 %	>0.75 %
Pore forming agents	Sawdust	Sawdust	Sawdust	Sawdust
Process-integrated measures	Low sulphur and calcium containing raw materials	Low sulphur and calcium containing raw materials	Low sulphur and calcium containing raw materials	Low sulphur and calcium containing raw materials, calcium rich additives
Flue-gas cleaning	Dry flue-gas cleaning with filter	Cascade-type bed adsorbers	Cascade-type bed adsorbers	Cascade-type bed adsorbers
Adsorbent	Ca(OH) <sub>2</sub>	CaCO <sub>3</sub>	CaCO <sub>3</sub>	CaCO <sub>3</sub>

Emission components	Clay blocks 1			Clay blocks 2		
	Raw gas value mg/Nm <sup>3</sup>	Clean gas values mg/Nm <sup>3</sup>	Reduction efficiency %	Raw gas value mg/Nm <sup>3</sup>	Clean gas values mg/Nm <sup>3</sup>	Reduction efficiency %
Dust	36	3	92	117	71	39
SO <sub>x</sub> as SO <sub>2</sub>	1436	1336	7	2051	1884	8
Fluorine stated as HF	25	1	96	56	2	96
Chlorine stated as HCl	5	11	0	11	9	18
NO <sub>x</sub>	22	21	5	36	31	14
TOC	105	77	27	108	71	34
CO	1021	1235	0	988	1038	0

Emission components	Clay blocks 3			Clay blocks 4		
	Raw gas value mg/Nm <sup>3</sup>	Clean gas values mg/Nm <sup>3</sup>	Reduction efficiency %	Raw gas value mg/Nm <sup>3</sup>	Clean gas values mg/Nm <sup>3</sup>	Reduction efficiency %
Dust	127	26	80	165	69	58
SO <sub>x</sub> as SO <sub>2</sub>	2883	2295	20	2893	2210	24
Fluorine stated as HF	36	3	92	35	6	83
Chlorine stated as HCl	7	3	57	9	7	22
NO <sub>x</sub>	52	21	60	16	36	0
TOC	219	106	52	51	86	0
CO	936	905	3	1137	1165	0

Table 3.8: Raw gas and clean gas emission values in clay block manufacturing

Parameter	Facing brick 1	Facing brick 2	Facing brick 3	Facing brick 4
Flue-gas volume flow	56830 m <sup>3</sup> /h	16319 m <sup>3</sup> /h	35000 m <sup>3</sup> /h	22915 m <sup>3</sup> /h
Flue-gas temperature	230 °C	150 °C	110 °C	124 °C
Fuel	Natural gas	Natural gas	Natural gas	Natural gas
Sulphur content in raw material-clay	0.5 – 0.75 %	<0.25 %	<0.25 %	<0.25 %
Flue-gas cleaning	Dry flue-gas cleaning with filter	Cascade-type bed adsorbers	Cascade-type bed adsorbers	Cascade-type bed adsorbers
Adsorbent	Ca(OH) <sub>2</sub>	CaCO <sub>3</sub>	CaCO <sub>3</sub>	CaCO <sub>3</sub>

Emission components	Facing brick 1			Facing brick 2		
	Raw gas value mg/Nm <sup>3</sup>	Clean gas values mg/Nm <sup>3</sup>	Reduction efficiency %	Raw gas value mg/Nm <sup>3</sup>	Clean gas values mg/Nm <sup>3</sup>	Reduction efficiency %
Dust	9	14	0	19	12	37
SO <sub>x</sub> as SO <sub>2</sub>	967	635	34	141	163	0
Fluorine stated as HF	21	1	95	23	6	74
Chlorine stated as HCl	6	1	83	3	3	0
NO <sub>x</sub>	18	19	0	49	67	0
TOC	6	4	33	6	15	0
CO	110	129	0	177	135	24

Emission components	Facing brick 3			Facing brick 4		
	Raw gas value mg/Nm <sup>3</sup>	Clean gas values mg/Nm <sup>3</sup>	Reduction efficiency %	Raw gas value mg/Nm <sup>3</sup>	Clean gas values mg/Nm <sup>3</sup>	Reduction efficiency %
Dust	30	5	83	8	4	44
SO <sub>x</sub> as SO <sub>2</sub>	150	36	76	27	10	63
Fluorine stated as HF	60	0.5	99	12	0.1	99
Chlorine stated as HCl	10	0.6	94	5	0.4	92.5
NO <sub>x</sub>	100	64		110	98	11
TOC				4.1	4	2.4
CO	150	97		90.5	54	40.3

**Table 3.9: Raw gas and clean gas emission values in facing brick manufacturing**

Emissions to air do not only occur during the firing process, but also during these other manufacturing process steps [4, UBA, 2001], [23, TWG Ceramics, 2005]:

- during raw materials storage and internal transportation, dust emissions arise in the storage, weighing, transport and handling units
- dust emissions arise from the dry preparation process of clinker masses
- dust emissions arise from the shaping process of dry masses (pressing)
- dust emissions can arise from glazing and engobing processes, depending on the glazing or engobing technique applied
- some brick products such as calibrated bricks are ground after the firing process. Therefore, dust can also arise from dry grinding processes.

#### Emissions to water

Process waste water occurs in small quantities in the manufacture of bricks and roof tiles as cleaning water, if surface treatment such as glazing or engobing is carried out. Excessive glazes and engobes are collected and fed back to the production cycle. Additional amounts of process waste water can arise from the cleaning of raw material preparation units and moulds. Also, this water is often re-used in closed circuits [4, UBA, 2001], [23, TWG Ceramics, 2005]. Data regarding emissions to water are not available.

#### Process losses/waste

- broken ware can arise during the several manufacturing process steps (in particular shaping, drying, firing and subsequent treatment)
- sludge can arise from raw materials preparation (cleaning of units) only in small quantities and also from the cleaning of moulds and glazing or engobing units
- used and broken plaster moulds arise in the roof tile manufacturing process
- waste, such as plastics, waste paper and scrap metal, arises in the packaging process
- dust, sludge and used sorption agents are found in the off-gas cleaning units
- solid residues, e.g. ashes, arise from firing with solid fuels.

Parts of the accumulated process losses mentioned above, can be recycled and re-used within the plant due to product specifications or process requirements. Materials, which cannot be recycled internally, leave the plant to be used in other industries or to be supplied to external waste recycling or waste disposal facilities [4, UBA, 2001], [23, TWG Ceramics, 2005], [30, TWG Ceramics, 2005].

### 3.3.1.2 Consumption data

#### Energy consumption

The manufacture of clay bricks and roof tiles is energy intensive as they are manufactured by a high temperature process to convert the raw material into a material with totally different properties, the fired clay. Depending on the type of product, the share of energy costs in the total production costs generally varies between 17 and 30 % with maximum values up to 40 %. Natural gas is mostly used now as the energy source for kiln firing and accounts for nearly 90 % of the total energy consumption, but also liquefied petroleum gas, fuel oil, coal, petroleum coke, peat and electricity serve as the energy sources in some cases [13, SYKE, 2004], [17, Burkart, 2004], [23, TWG Ceramics, 2005], [30, TWG Ceramics, 2005].

The principal requirement for energy within the industry is for the process of transforming the clay into a durable form suitable for all types of construction. The energy consumption depends on the raw material, the manufacturing process and the product type in addition to the type of firing techniques employed. Although a particular firing process may be more energy efficient, it may not be suitable for the specific product.

Large variations are found in the specific energy consumption within Europe depending on the different construction and product types used. Each type of product has a specific energy consumption pattern due to the firing process (e.g. firing temperature, soaking time and setting density).

In Austria, Germany and Italy, where most houses are built with lightweight blocks, the energy used is low, i.e. 1.1 – 1.9 GJ/tonne. The lower density of the blocks is reached by the presence and/or the addition of pore-forming materials to the clay. These materials are mostly organic substances. They contribute to the energy balance of the clay brick production and, therefore, the specific primary energy consumption (natural gas, liquid fuel) is low.

Particularly in Northern Europe, a high number of facing bricks are used as an external layer. These bricks generally have a higher density and are often fired to a higher temperature than lightweight blocks. As a result, the specific energy consumption for the production of facing bricks is higher i.e. 2.5 – 2.7 GJ/tonne.

The large variation found in the United Kingdom (1.4 – 2.4 GJ/t) is due to the amount of organic material in the clay used to make bricks (large amount in lower Oxford clay for Fletton bricks and small amount for non Fletton bricks) [3, CERAME-UNIE, 2003].

Table 3.10 and Table 3.11 show examples of natural gas and electrical energy consumption data from installations for the manufacture of bricks and roof tiles in Austria and energy consumption data from Spain as well as the general specific energy consumption of the brick and roof tile industry [1, BMLFUW, 2003], [17, Burkart, 2004], [23, TWG Ceramics, 2005], [30, TWG Ceramics, 2005].

Energy source/consumption	Unit	Masonry bricks	Facing bricks	Roof tiles
Natural gas (AT)	GJ/t	1.02 – 1.87	2.87	1.97 – 2.93
Electrical energy (AT)	GJ/t	0.08 – 0.22	0.27	0.23 – 0.41
Energy consumption (ES)	GJ/t	1.50 – 2.50	2.50 – 3.00	1.90 – 2.95

**Table 3.10: Energy consumption data per tonne of product from installations for the manufacture of bricks and roof tiles**



Country	Unit	1980	1985	1990	1995	2000	2003
Austria	GJ/t	2.38	2.09	1.17	1.72	1.63	1.69
Belgium	GJ/t	3.3	3.19	2.16	2.45	2.59	2.21
Germany	GJ/t	2.43	2.31	1.93	1.63	2.57	2.31
Denmark	GJ/t	2.73	-	2.41	2.67	2.61	2.65
Spain	GJ/t	2.38	2.30	2.24	2.18	2.28	2.26
France	GJ/t	2.87	2.62	2.77	2.62	2.80	2.61
Italy	GJ/t	2.80	2.60	2.09	1.90	1.94	2.00
Netherlands	GJ/t	3.63	2.93	2.19	2.70	3.05	3.35
United Kingdom	GJ/t	2.29	2.16	2.48	2.63	3.25	2.85
Switzerland	GJ/t	-	2.56	2.62	2.53	2.44	-

**Table 3.11: Specific energy consumption in the brick and roof tile industry**

In this context, see also Table 2.2 and Table 2.4.

#### Water and raw material consumption

Example water and raw material consumption data of one plant for the manufacture of masonry bricks are shown in the following figure as a mass flow diagram [1, BMLFUW, 2003], [23, TWG Ceramics, 2005].

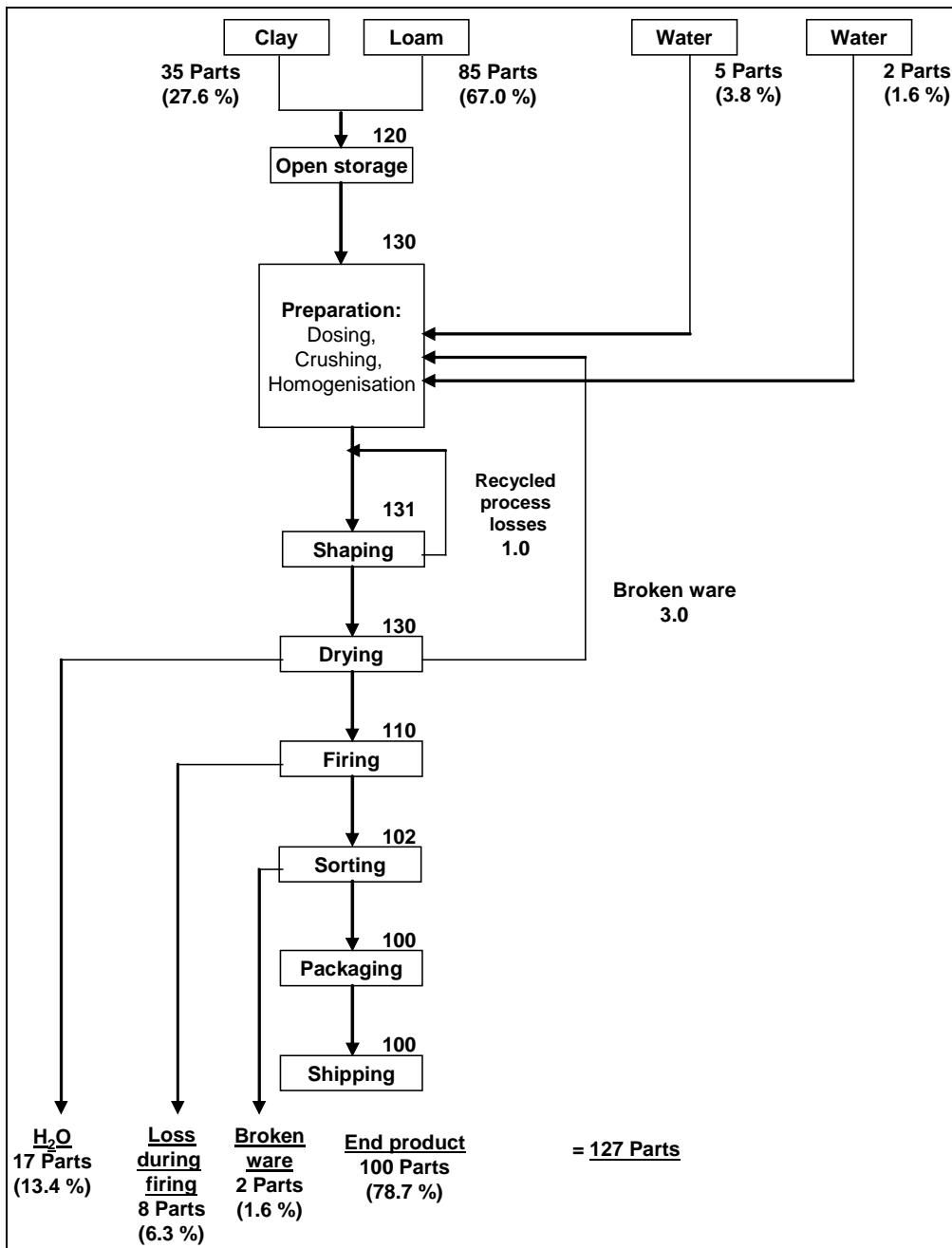


Figure 3.4: Mass flow example for the manufacture of masonry bricks

### 3.3.2 Vitrified clay pipes

#### 3.3.2.1 Emission data

Emissions to air and water, process losses/waste and also noise emissions arise in the manufacture of vitrified clay pipes. In this section, ranges of air pollutant emissions are presented for the firing of vitrified clay pipes. Emissions to air from other process steps, emissions to water and process losses are also described.

Emissions to air

Significant emissions to air in the manufacture of vitrified clay pipes arise in the firing process.

In the following table, the maximum clean gas values emitted by European vitrified clay pipe plants (except for UK) and the corresponding tunnel kiln operating data (in the upper section of the table) are presented [3, CERAME-UNIE, 2003], [4, UBA, 2001].

Source of emission	Tunnel kiln
Flue-gas volume flow (m <sup>3</sup> /h)	4000 – 18000
Flue-gas temperature (°C)	160 – 200

Emission component	Maximum clean gas concentration (mg/m <sup>3</sup> )
Dust	30
NO <sub>x</sub> stated as NO <sub>2</sub>	200
SO <sub>x</sub> stated as SO <sub>2</sub>	200
CO	200
Inorganic gaseous fluorine compounds stated as HF	5
Inorganic gaseous chlorine compounds stated as HCl	30

**Table 3.12: Maximum concentration of clean gas in the manufacture of vitrified clay pipes**

In the UK, maximum fluorine concentrations of up to 10 mg/m<sup>3</sup> are observed due to the higher emission limit value of 10.

Emissions to air do not only occur during the firing process, but also during these other manufacturing process steps [4, UBA, 2001], [23, TWG Ceramics, 2005], [30, TWG Ceramics, 2005]:

- during raw materials storage and internal transportation, dust emissions arise in the storage, weighing, transport and handling units
- under certain circumstances, gaseous emissions can arise from the drying process. If excess heat from the kiln is employed in the drying process of green ware, which includes flue-gases from the firing zone and if there are no closed heating systems applied, fluoride emissions are possible
- if glazing is performed by spraying, dust emissions are possible from this process step
- some vitrified clay pipe products are ground after the firing process. Therefore, dust can also arise from dry grinding processes.

Emissions to water

In the manufacture of vitrified clay pipes, process waste water arises during the cleaning of raw materials preparation units and glazing units, as well as from wet grinding. The water is often re-used in closed circuits. Excessive glazes are collected and fed back to the production cycle. [4, UBA, 2001], [17, Burkart, 2004], [23, TWG Ceramics, 2005]. Data regarding emissions to water are not available.

Process losses/waste

- broken ware can arise during the several manufacturing process steps (in particular shaping, drying, firing and subsequent treatment)
- sludge arises from raw materials preparation (cleaning of units), from the cleaning of glazing units and also from wet grinding
- waste, such as plastics, waste paper and scrap metal arises in the packaging process
- dust, sludge and used sorption agents are found in the off-gas cleaning units.

Parts of the accumulated process losses mentioned above, can be recycled and re-used within the plant due to product specifications or process requirements. Materials, which cannot be recycled internally, leave the plant as waste and are supplied to external recycling or disposal facilities [4, UBA, 2001], [17, Burkart, 2004], [23, TWG Ceramics, 2005].

### 3.3.2.2 Consumption data

#### Energy consumption

The specific energy consumption in the manufacture of vitrified clay pipes is described in the following table. A distinction is made between the specific energy consumption for the provision of the mineral raw material and the energy, and for the manufacture of the pipes. The mineral materials are clay, opening agents and glaze, and the energy medium is natural gas. The electricity consumption, with regard to the primary energy, includes the entire manufacturing process including secondary plant units, lighting, etc. The data used are valid for about 90 % of German production. Consumption levels for small vitrified clay pipes (DN 100/DN 150), medium sized vitrified clay pipes (DN 200/DN 300) and large vitrified clay pipes (DN 500) are presented separately [4, UBA, 2001].

	DN 100, DN 150 (MJ/kg)	DN 200, DN 300 (MJ/kg)	DN 500, fittings (MJ/kg)
<b>Provision</b>			
Mineral raw materials	0.20	0.20	0.20
Natural gas	0.41	0.49	0.56
<b>Production</b>			
Preparation	0.10	0.10	0.10
Drying	1.22	1.44	1.66
Firing	3.06	3.60	4.14
Electricity	1.20	1.20	1.20
<b>Total</b>	<b>6.19</b>	<b>7.03</b>	<b>7.86</b>

Table 3.13: Specific energy consumption in the manufacture of vitrified clay pipes

In this context, see also Table 2.7.

#### Water and raw material consumption

Example water and raw material consumption data for the manufacture of vitrified clay pipes are shown in the following figure as a mass flow diagram [4, UBA, 2001].

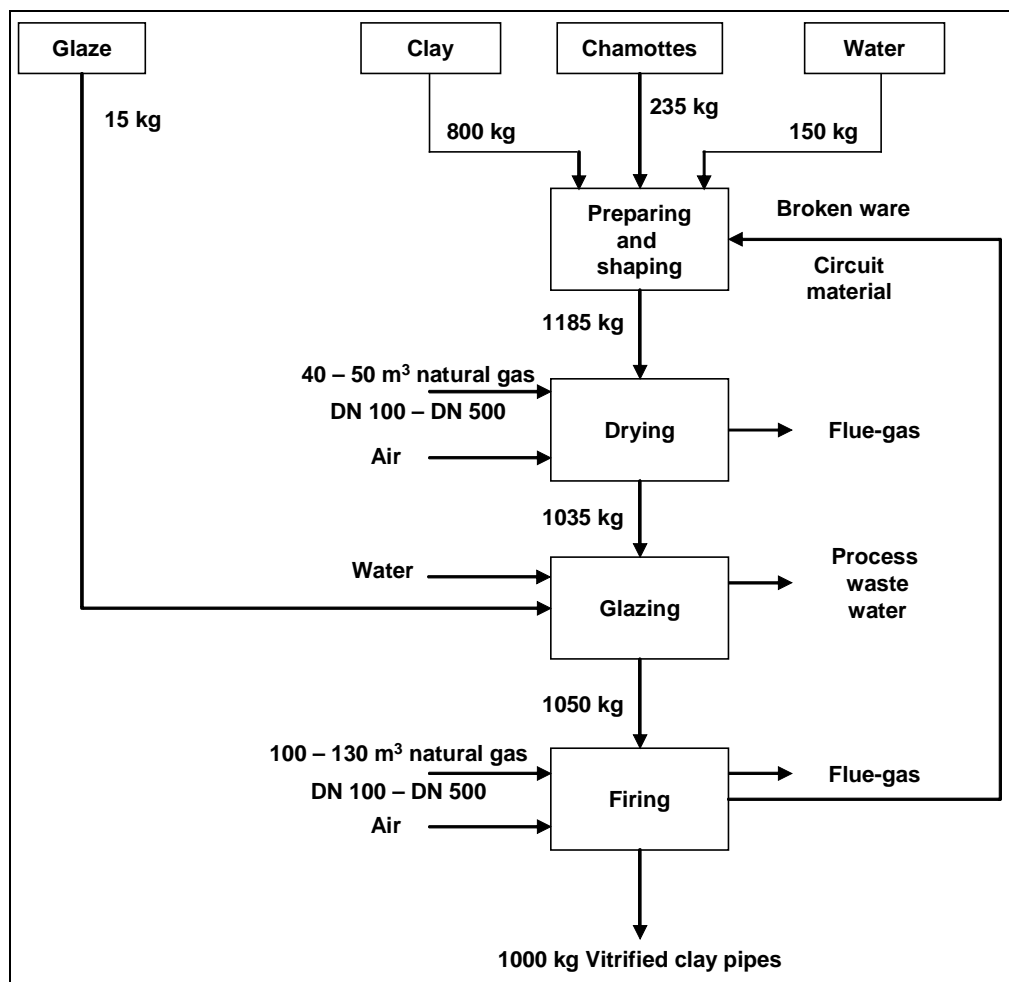


Figure 3.5: Mass flow example for the manufacture of vitrified clay pipes

### 3.3.3 Refractory products

#### 3.3.3.1 Emission data

Emissions to air and water, process losses/waste and also noise emissions arise in the manufacture of refractory products. In this section, ranges of air pollutant emissions are presented for the firing of refractory products. Emissions to air from other process steps, emissions to water and process losses are also described.

##### Emissions to air

Significant emissions to air in the manufacture of refractory products arise in the firing process.

The following table shows ranges of operating data (in the upper section of the table) and corresponding raw gas values in tunnel kiln firing processes of different refractory products [4, UBA, 2001].

Source of emission	Tunnel kiln		
	Magnesite	High alumina	Silica
Product			
Flue-gas volume flow (m <sup>3</sup> /h)	15000 – 25000	9000 – 17000	8000 – 12000
Flue-gas temperature (°C)	250 – 400	120 – 250	150 – 250

Emission component	Concentration (mg/m <sup>3</sup> )		
	Magnesite	High alumina	Silica
Product			
Dust	8 – 35	5 – 80	10 – 25
NO <sub>x</sub> stated as NO <sub>2</sub>	110 – 470	30 – 250	5 – 100
SO <sub>x</sub> stated as SO <sub>2</sub>	90 – 580	10 – 430	20 – 150
CO	12 – 180	30 – 150	10 – 50
Inorganic gaseous fluorine compounds stated as HF	0.5 – 1.5	5 – 50	1 – 3

**Table 3.14: Raw gas values of different refractory products**

The following table shows ranges of emissions from kilns for non-basic refractory products [3, CERAME-UNIE, 2003].

Emission component	mg/m <sup>3</sup>
Dust	44 – 113
SO <sub>2</sub>	260 – 490
NO <sub>x</sub>	25 – 200
Fluoride, HF	0.4 – 2.5
CO <sub>2</sub>	1 – 3 vol-%

**Table 3.15: Emissions from kilns for non-basic refractory products**

In special procedures (formation of carbon bondings, pitch impregnation), specific decomposition products (ammonia, formaldehyde, phenol, etc.) are formed depending on the special binding agents (coal tar, pitch, resin). Examples of raw gas values for special procedures are presented in the following table [4, UBA, 2001].

Emission component (mg/m <sup>3</sup> )	Hardening chamber	Tempering kiln		Pitch coating
	Resin bonding <sup>*)</sup>	Resin bonding <sup>*)</sup>	Pitch bonding <sup>**)</sup>	Pitch bonding <sup>**)</sup>
Ammonia	2500	20	–	–
Formaldehyde	25	10	–	–
Phenol	350	80	–	–
Organic substances stated as total C	>3000	1000	2500	1500
<sup>*)</sup> Phenol-resol-resin				
<sup>**)</sup> Values for total C include polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH)				

**Table 3.16: Raw gas values for special procedures**

Emissions to air do not only occur during the firing process, but also during these other manufacturing process steps [4, UBA, 2001], [23, TWG Ceramics, 2005]:

- during raw materials storage and internal transportation, dust emissions arise in the storage, weighing, transport and handling units
- dust emissions arise from dry raw material preparation processes
- dust emissions and also vapours from binding agents and additives arise during shaping in presses
- under certain circumstances, gaseous emissions can arise from the drying process. If excess heat from the kiln is employed in the drying process of green ware, which includes flue-gases from the firing zone, and if there are no closed heating systems applied, emissions of organic and inorganic air pollutants are possible
- some refractory products are ground after the firing process. Therefore, dust can also arise from dry grinding processes.

#### Emissions to water

In the manufacture of refractory products, process waste water can arise during the cleaning of raw materials preparation units and casting units, as well as from wet grinding. The water is often re-used in closed circuits [4, UBA, 2001], [23, TWG Ceramics, 2005]. Data regarding emissions to water are not available.

#### Process losses/waste

- broken ware can arise during the several manufacturing process steps (in particular shaping, drying, firing and subsequent treatment)
- sludge can arise from raw materials preparation (cleaning of units), from the cleaning of casting units and also from wet grinding
- used and broken plaster moulds can arise by applying a slip casting process
- waste, such as plastics, waste paper and scrap metal arises in the packaging process
- dust, sludge and used sorption agents are found in the off-gas cleaning units.

Parts of the accumulated process losses mentioned above, can be recycled and re-used within the plant due to product specifications or process requirements. Materials, which cannot be recycled internally, leave the plant as waste and are supplied to external recycling or disposal facilities [4, UBA, 2001], [23, TWG Ceramics, 2005].

### 3.3.3.2 Consumption data

#### Energy consumption:

The following table shows ranges of specific energy consumption data for the different steps in the manufacture of magnesia refractory bricks [1, BMLFUW, 2003], [17, Burkart, 2004].

Process	MJ/kg
Preparation, screening	0.35 – 0.50
Weighing, dosing, mixing	0.045 – 0.070
Shaping	0.13 – 0.20
Drying, firing	3.0 – 6.3
Subsequent treatment, packaging	0.08

**Table 3.17: Energy consumption data for the manufacture of magnesia refractory bricks, regarding kg of product**

In this context, see also Table 2.9, Table 2.10, Table 2.11 and Table 2.12.

Water and raw material consumption

Example water and raw material consumption data for refractory products are shown in the following figure as a mass flow diagram for the manufacture of periclase chromite bricks [4, UBA, 2001].

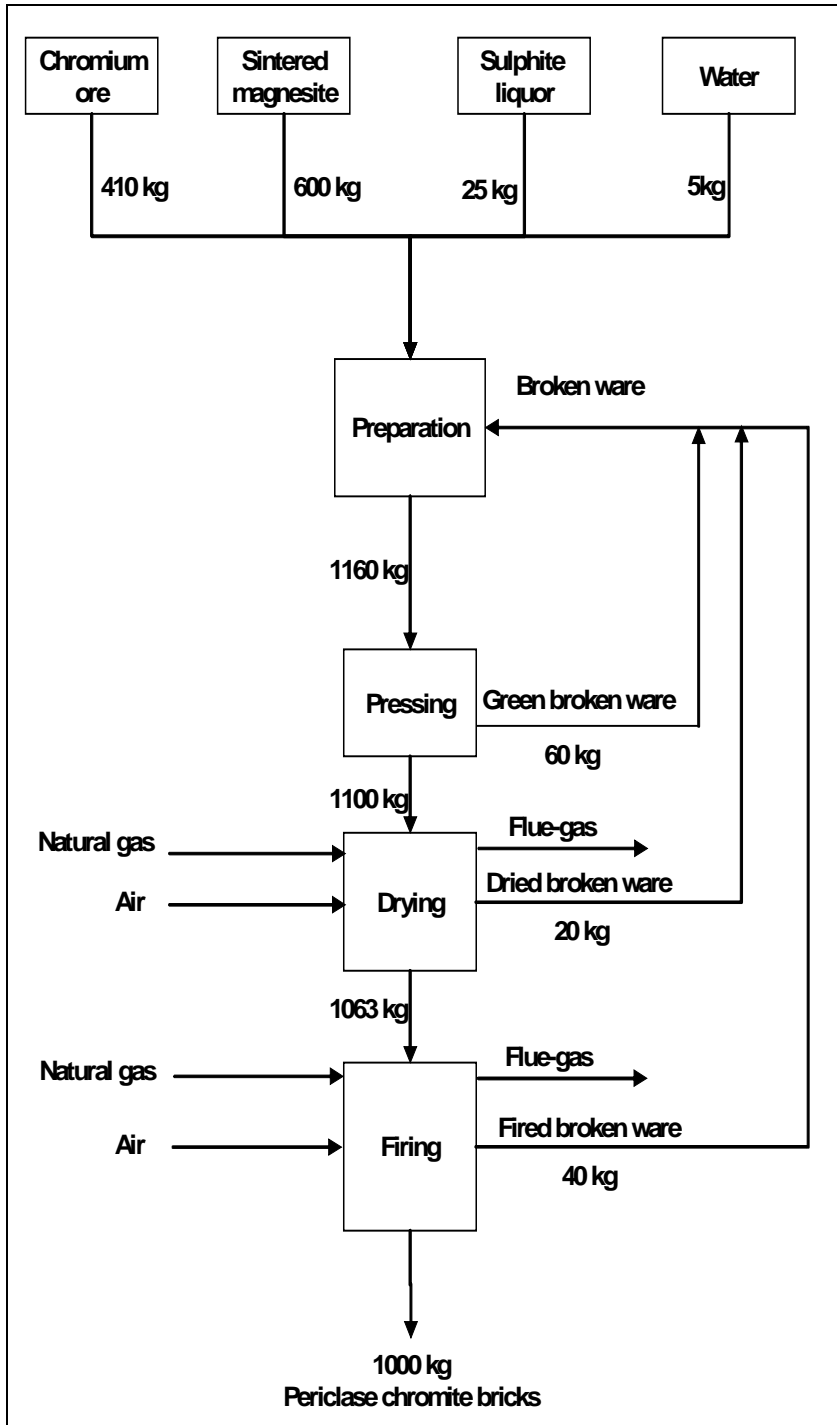


Figure 3.6: Mass flow example for the manufacture of periclase chromite bricks



### 3.3.4 Expanded clay aggregates

#### 3.3.4.1 Emission data

Emissions to air and water, process losses/waste and also noise emissions arise from the manufacture of expanded clay aggregates. In this section, ranges of air pollutant emissions are presented for the process steps primary crushing, dry grinding, granulation, the firing process, screening and sand processing. Emissions to air from other process steps, emissions to water and process losses are also described.

##### Emissions to air

Significant emissions to air in the manufacture of expanded clay aggregates arise from storage, during raw material transport, primary crushing and dry grinding of raw clay, granulation, during the firing process (actual expansion), and also from screening and sand processing. From the storage and handling of raw materials and light weight aggregate (LWA) stock, and from on-site vehicle traffic, the emissions are mainly of a diffuse nature.

##### **Raw material storage and transport:**

During raw material storage and transport, dust emissions occur at transfer points in conveyor and storage systems depending on the raw material characteristics.

##### **Primary crushing:**

The primary crushing operation, which is applied in the technique for rather dry clay types (semi-dry process), leads to dust emissions. The following table shows ranges of dust emission values, originating from primary crushing downstream of a fabric filter [26, UBA, 2005].

Primary crushing	Values
Dust	0.7 – 3.4 mg/m <sup>3</sup> <sup>1)</sup>
<sup>1)</sup> Based on dry off-gas (273 K, 1013 hPa)	

**Table 3.18: Ranges of dust emission values from primary crushing downstream of a fabric filter**

##### **Dry grinding:**

During the dry grinding process, which is applied in the technique for rather dry clay types, sulphur dioxides and nitrogen oxides from the combustion of heavy fuel oil are generated in addition to dust. The following table shows ranges of actual emission values, originating from dry grinding downstream of the respective filter system [26, UBA, 2005], [30, TWG Ceramics, 2005].

Dust downstream of electrostatic precipitator or fabric filter	6 – 50 mg/m <sup>3</sup> <sup>1)2)</sup>
Sulphur dioxide	0.02 – 0.20 g/m <sup>3</sup> <sup>1)</sup>
Nitrogen oxides, quoted as NO <sub>2</sub>	0.11 – 0.14 g/m <sup>3</sup> <sup>1)</sup>
<sup>1)</sup> Based on moist flue-gas and 17 % by vol O <sub>2</sub> (273 K, 1013 hPa)	
<sup>2)</sup> Annual average values	

**Table 3.19: Ranges of actual emission values from dry grinding downstream of the respective filter system**

**Granulation:**

Granulation, which is applied in the technique for rather dry clay types, leads to dust emissions. The following table presents ranges of dust emission values, originating from granulation downstream of a fabric filter [26, UBA, 2005].

Granulation	Values
Dust	5 – 15 mg/m <sup>3</sup> <sup>1)</sup>
<sup>1)</sup> Based on dry off-gas (273 K, 1013 hPa)	

**Table 3.20: Ranges of dust emission values from granulation downstream of a fabric filter**

**Firing process:**

The process technology and the fuels used in the manufacture of expanded clay aggregates only have a limited influence on the emissions situation in a plant. The main parameter is the quality of the raw materials. Raw material-related organic and sulphur dioxide emissions (usually from pyrite and marcasite) in the raw gas are part of the actual expansion process.

The following table shows ranges of emission values, originating from firing and drying processes, downstream of the respective filter systems (electrostatic precipitator and wet flue-gas cleaning) [26, UBA, 2005] [28, Schorcht, 2005] [30, TWG Ceramics, 2005]:

Parameter	Unit	Emission value
Dust	mg/m <sup>3</sup>	9 – 200
SO <sub>2</sub>	mg/m <sup>3</sup>	200 – 2000
NO <sub>x</sub>	mg/m <sup>3</sup>	120 – 930
HCl	mg/m <sup>3</sup>	2.7 – 250
HF	mg/m <sup>3</sup>	0.4 – 20
CO	mg/m <sup>3</sup>	50 – 2600
TOC	mg/m <sup>3</sup>	10 – 800
Dioxins	ng/m <sup>3</sup>	<0.1
Data given at normal O <sub>2</sub> level 13 – 16 vol %. Only limited measurements for the components other than dust and SO <sub>2</sub> .		

**Table 3.21: Ranges of emission values from firing processes downstream of the respective filter systems**

Another data set example of off-gas values from a firing process of expanded clay aggregates in a rotary kiln (Leca technique), which is equipped with an electrostatic precipitator for dedusting purposes, is reported as follows [17, Burkart, 2004]:

- dust: less than 50 mg/m<sup>3</sup>
- SO<sub>x</sub>: 1700 – 1800 mg/m<sup>3</sup> (sulphur content in the main raw material more than 0.75 %)
- fluorine, stated as HF: less than 5 mg/m<sup>3</sup>.

**Screening and sand processing:**

Dust emissions occur during screening of the different particle size groups and during sand processing. The following table shows a range of dust emission values of screening units [26, UBA, 2005], [30, TWG Ceramics, 2005].

Parameter	Screening unit I (with sand crusher)
Dust	4.3 – 50.0 mg/m <sup>3</sup>

**Table 3.22: Dust emission values of screening units**

Emissions to water

Wet scrubbers are today used in some plants. The following table shows values on the effluent as weekly averages [30, TWG Ceramics, 2005].

Parameter	values
pH	6 - 9
Suspended solids	≤50 mg/l

**Table 3.23: Effluent values of wet scrubbers**

Water is mainly used in the preparation (and shaping) of raw materials.

Emissions to water are not relevant, because no process waste water is generated in expanded clay manufacturing. The cooling water for the kiln systems passes through an oil separator and is returned to the cooling circuit. All process water is evaporated in the drying process.

Process losses/waste

No process losses in the form of waste are generated in expanded clay manufacture. Screened oversized and undersized particles are returned to the sand crushers. All dust that is collected is returned to the manufacturing process. The gypsum generated during flue-gas cleaning is used in the cement industry as a hardening regulator.

### 3.3.4.2 Consumption data

Energy consumption

The energy consumption for dry grinding, which is applied in the processing of rather dry clay types (semi-dry process) is approx. 217 MJ/m<sup>3</sup>. This corresponds to approx. 20 % of the total thermal energy consumption for the overall manufacturing process of rather dry clay types (in the manufacturing process for clay with high moisture content, dry grinding is not carried out). Electrical energy consumption for dry grinding is approx. 26.3 MJ/m<sup>3</sup>.

The consumption of energy for the firing process is approx. 900 – 1300 MJ/m<sup>3</sup>, depending on the raw material (moisture content in the clay), production technology and production capacity [26, UBA, 2005], [30, TWG Ceramics, 2005].

The overall specific electrical energy consumption ranges between 43 and 83 MJ/m<sup>3</sup>, depending on the bulk weight, raw material properties and production technology (clay preparation, thermal process technology) [23, TWG Ceramics, 2005], [30, TWG Ceramics, 2005].

Water and raw material consumption

The following table gives an example of raw material mix use in the production of expanded clay aggregates [30, TWG Ceramics, 2005].

Material	Quantity % by weight	Purpose
Clay (dry)	>90	Raw material
Iron oxide	0 – 8	Flux
Limestone/dolomite powder	0.5 – 3	Release agent
Carbon carrier	0 – 1	Expansion agent

**Table 3.24: Raw material mix in the production of expanded clay aggregates**

### 3.3.5 Wall and floor tiles

#### 3.3.5.1 Emission data

Emissions to air and water, process losses/waste and also noise emissions arise in the manufacture of glazed and unglazed wall and floor tiles. In this section, ranges of air pollutant emissions are presented for the main process steps. Emissions to air from other process steps, emissions to water and process losses are also described.

##### Emissions to air

The emissions from the milling of raw materials consist mainly of particles from raw materials such as clay, quartz and feldspar. In dry milling, the emission flowrate is about 6 Nm<sup>3</sup> air per kilogram of processed raw material (PM) and the particulate matter (dust) emission factor is 50 g/kg PM. In wet milling, the emission flowrate is also about 6 Nm<sup>3</sup> air/kg PM with an emission factor of about 15 g dust/kg PM. These emission factors refer to uncleaned off-gas streams.

Dust, nitrogen oxide, sulphur oxides, carbon monoxide and carbon dioxide arise as air pollutant emissions in the press granulate production process. Cleaning operations in the glazing section create aqueous suspensions, which contain ceramic materials. These suspensions are added to the drying slips. In the emissions arising from the drying slips, the elements boron, chlorine and lead have to be considered. The evaporation capacity of spray dryers goes up to 20000 l/h. The following table shows typical ranges of operating data (in the upper section of the table) and corresponding raw gas values of significant emissions, arising in the spray drying of body slip [3, CERAME-UNIE, 2003], [4, UBA, 2001], [10, Navarro, 1998], [23, TWG Ceramics, 2005].

Source of emission	Spray dryer
Flue-gas volume flow (m <sup>3</sup> /h)	30000 – 200000
Flue-gas temperature (°C)	60 – 130
Moisture (m <sup>3</sup> <sub>water</sub> /m <sup>3</sup> <sub>total</sub> )	0.13 – 0.20
Oxygen (%)	16 – 20

Emission component	Concentration (mg/m <sup>3</sup> )
Dust	150 – 1500
NO <sub>x</sub> stated as NO <sub>2</sub>	5 – 300
CO	2 – 50
Chlorine compounds stated as HCl	1 – 5
Boron	<0.3
Lead	<0.15
CO <sub>2</sub>	1.5 – 4.0 vol-%

**Table 3.25: Operating data and raw gas values of spray drying units**

The use of spray drying facilities with cogeneration units is possible and convenient from an energy consumption point of view, but the raw flue-gas coming from these units usually contains more NO<sub>x</sub> (range of between 50 – 800 mg/m<sup>3</sup>, stated as NO<sub>2</sub>) [23, TWG Ceramics, 2005], [30, TWG Ceramics, 2005].

In the shaping of pieces by pressing, the emission flowrate is about 5 Nm<sup>3</sup> air/kg PM and the emission factor is about 7 g dust/kg PM, referring to uncleaned off-gas. Depending on the size of the press, off-gas flows are between 2000 and 4000 m<sup>3</sup>/h at temperatures of between 20 and 30 °C. Additional dust emissions arise in polishing units after the press. In extrusion processes, only wet masses are processed, so no dust emissions can arise.

The following table shows ranges of operating data (in the upper section of the table) and corresponding emission ranges in uncleaned off-gas from dryers (the data correspond to vertical and horizontal dryers) [3, CERAME-UNIE, 2003], [10, Navarro, 1998], [23, TWG Ceramics, 2005], [21, Almeida, 2004].

Source of emission	Dryer
Flue-gas volume flow (m <sup>3</sup> /h)	2000 – 7000
Flue-gas temperature (°C)	50 – 190
Moisture (m <sup>3</sup> <sub>water</sub> /m <sup>3</sup> <sub>total</sub> )	0.04 – 0.11
Oxygen (%)	16 – 20

Emission component	Concentration
Dust	5 – 25 mg/m <sup>3</sup>
CO <sub>2</sub>	1 – 3 vol- %

**Table 3.26: Operating data and raw gas values of dryers**

The particulate matter found in dryer emissions is the result of dust particles attached to the body and dust arising from breaking tiles in dryers which drifts with the combustion gases. The relatively low temperatures in these facilities, usually of less than 300 °C, impede nitrogen oxide formation in this process.

Gaseous and particulate emissions arising in glazing depend on the application technique and on the composition of the glaze. In general, gaseous emissions can arise in the spraying process and in the glaze preparation process. The physico-chemical characteristics of these emissions are highly variable as a result of the great diversity in the glazes used. The dust arising in glazing and glaze preparation is characterised by the presence of silicon, boron, zirconium, sodium, lead, lithium, potassium, barium, calcium, magnesium, zinc and aluminium. The emission flowrate is about 5 Nm<sup>3</sup> air/kg processed glaze and the emission factor is about 0.5 g dust/kg processed glaze, referring to uncleaned off-gas. The off-gas flow is up to 7000 m<sup>3</sup>/h at a temperature of approx. 30 °C.

In the following table, ranges of operating data (in the upper section of the table) and corresponding ranges of raw gas values of roller hearth kilns are presented [4, UBA, 2001], [10, Navarro, 1998], [23, TWG Ceramics, 2005], [21, Almeida, 2004].

Source of emission	Roller hearth kiln
Flue-gas volume flow (m <sup>3</sup> /h)	5000 – 15000
Flue-gas temperature (°C)	130 – 300
Moisture (m <sup>3</sup> <sub>water</sub> /m <sup>3</sup> <sub>total</sub> )	0.05 – 0.1

Emission component	Concentration (mg/m <sup>3</sup> )
Dust	5 – 30
NO <sub>x</sub> stated as NO <sub>2</sub>	5 – 150
SO <sub>x</sub> stated as SO <sub>2</sub>	1 – 300
CO	1 – 15
Fluorine compounds stated as HF	5 – 60
Chlorine compounds stated as HCl	20 – 150
Boron	<0.5
Lead	<0.15
CO <sub>2</sub>	1.5 – 4.0 vol-%

**Table 3.27: Operating data and raw gas values in firing**

A fluorine concentration in the clay of between 500 and 800 mg/kg leads to the fluorine emissions mentioned above. In the firing process, boron in the emission derives from the use of glaze which contains boron compounds. Boron and chlorine in the emissions can derive from the water in the tiles (boron derives only from recycled water and chlorine can also derive from fresh water from the public supply), which is subsequently evaporated in the first firing stages. The lead concentration is quite small and basically comes from the vaporisation of a minor group of glazes containing this element [4, UBA, 2001], [30, TWG Ceramics, 2005].

The following table, which is representative of the Italian situation, shows a comparison between pollutant emission factors for controlled emissions (clean gas values) and the corresponding pollutant emission factors for uncontrolled emissions (i.e. upstream of the pollution control plants) for the various steps (phases) of wall and floor tile manufacturing processes. The emission factors refer to the output unit of the corresponding phase [6, Timellini, 2004], [23, TWG Ceramics, 2005].

Gaseous emissions from		Specific flowrate (Nm <sup>3</sup> /kg)	Pollutant emission factors PEF (g/kg)					
Phase	Operation		Dust (particulate matter)		Lead compounds (Pb)		Fluorine compounds (HF)	
			UC	C	UC	C	UC	C
Body preparation	Dry grinding	6	40 – 60	0.05 – 0.1				
	Wet grinding	6	10 – 20	0.02 – 0.1				
	Spray drying	5	5 – 10	0.1 – 0.2				
Shaping	Pressing	5	5 – 10	0.01 – 0.05				
Glaze preparation and application		5	0.5 – 1.0	0.02 – 0.03				
Firing		3 – 6	0.1 – 0.5	0.01 – 0.02	0 – 0.1	0.001 – 0.01	0.1 – 0.5	0.01 – 0.05

UC = Uncontrolled emission; C = Controlled emission

**Table 3.28: Gaseous emissions from the various phases of wall and floor tile manufacturing processes. Pollutant emission factors for uncontrolled (UC) and controlled (C) emissions**

Emissions to air in the form of dust can also occur during raw materials storage and internal transportation, where dust emissions arise in the storage, weighing, transport and handling units. Wall and floor tiles are often ground after the firing process. Therefore dust can also arise from dry grinding processes [4, UBA, 2001], [23, TWG Ceramics, 2005].

#### Emissions to water

In the manufacture of wall and floor tiles, process waste water arises during the cleaning of raw materials preparation units and glazing units, as well as from the dewatering process with filter presses and rotation filters and from wet grinding. The water is often re-used in closed circuits. Excessive glazes are collected and fed back to the production cycle [4, UBA, 2001], [17, Burkart, 2004], [23, TWG Ceramics, 2005].

The following table gives details of a standard composition of untreated process waste water arising in wall and floor tile manufacturing facilities. The water is mainly cleaning water from the glazing units, so the concentration of substances depends to a large extent, on the composition of the glaze [3, CERAME-UNIE, 2003], [4, UBA, 2001], [10, Navarro, 1998].

Parameter	Range (mg/l)	Parameter	Range (mg/l)
pH	7 – 9	Calcium	5 – 500
Suspended matter	1000 – 20000	Boron	1 – 60
Settleable matter	5 – 30	Lead	<5
COD	100 – 400	Sodium	50 – 500
BOD <sub>5</sub>	40 – 60	Potassium	1 – 50
Fluorides	<2	Silicon	5 – 30
Chlorides	300 – 700	Aluminium	<2
Sulphates	100 – 1000	Iron	<0.5
Magnesium	10 – 100	Zinc	<2

**Table 3.29: Chemical analysis of untreated process waste water**

#### Process losses/waste

- broken ware can arise during the several manufacturing process steps (in particular shaping, drying, firing and subsequent treatment)
- sludge arises from raw materials preparation (in particular cleaning of units), from the cleaning of glazing units and also from wet grinding
- waste, such as plastics, waste paper and scrap metal, arises in the packaging process
- dust, sludge and used sorption agents are found in the off-gas cleaning units.

Parts of the accumulated process losses mentioned above, can be recycled and re-used within the plant due to product specifications or process requirements. Materials which cannot be recycled internally, leave the plant as waste and are supplied to external recycling or disposal facilities [4, UBA, 2001],[17, Burkart, 2004], [23, TWG Ceramics, 2005].

The quantity and composition of sludge from process waste water treatment units varies considerably due to the different manufacturing process types. The following table shows the ranges of the main chemical components of sludge [3, CERAME-UNIE, 2003],[4, UBA, 2001], [10, Navarro, 1998].

Substance	Range (wt-%)	Substance	Range (wt-%)
SiO <sub>2</sub>	40 – 60	K <sub>2</sub> O	0.5 – 3.0
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5 – 15	TiO <sub>2</sub>	0 – 7
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0 – 10	ZnO	1 – 8
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.1 – 5.0	BaO	0.1 – 3.0
CaO	5 – 15	PbO	0.1 – 15
MgO	0.5 – 3.0	ZrO <sub>2</sub>	1 – 15
Na <sub>2</sub> O	0.5 – 3.0		

**Table 3.30: Ranges of the main chemical components of sludge (manufacture of wall and floor tiles)**

The quantity of sludge produced in a wall and floor tile facility ranges from 0.09 – 0.15 kg/m<sup>2</sup> finished product on a dry basis. For a product with a body mass of 15 – 20 kg/m<sup>2</sup>, this figure corresponds to 0.4 – 1.0 % (kg dry sludge/kg ceramic body).

### 3.3.5.2 Consumption data

#### Energy consumption for spray drying

Typical thermal energy consumption values for the spray drying process of wall and floor tiles are in the range of 980 – 2200 KJ/kg [23, TWG Ceramics, 2005].

#### Energy consumption for drying

The heating power of burners in the dryer is generally low, because waste heat from the kiln is used for heating. Electrically heated dryers are operated to some extent. The flue-gas flow of an electrically heated dryer is only between 100 and 300 m<sup>3</sup>/h [4, UBA, 2001].

Typical thermal energy consumption values in the drying process of wall and floor tiles are in the range of 250 – 750 kJ/kg (based on the low calorific value of natural gas and the volume of gas at 15 °C and 1013 mbar). Regarding tiles of the class BIb-II, consumption values of more than 1400 kJ/kg are also possible [3, CERAME-UNIE, 2003].

#### Energy consumption for firing

In the following table, specific energy requirements of different types of kilns (tunnel kilns and roller hearth kilns) are compared. The values refer to a temperature of 1150 °C. The ranges of energy required are given for once-fired tiles (1x) and twice fired tiles (2x) [4, UBA, 2001], [23, TWG Ceramics, 2005].

Type of kiln	Range (kJ/kg)
Tunnel kiln (2x)	5920 – 7300
Tunnel kiln (1x)	5420 – 6300
Roller hearth kiln (2x)	3400 – 4620
Roller hearth kiln (1x)	1900 – 4800

**Table 3.31: Examples of specific energy requirements of different kilns**

In this context, see also Table 2.14.

The following table shows a comparison of the specific consumption of thermal energy and electrical energy per process step (phase). The data refer to the most significant Italian plants in terms of energy requirements [6, Timellini, 2004].

Phase	Operation	Specific natural gas consumption (GJ/t)	Specific electric energy consumption (GJ/t)
Body preparation	Dry grinding		0.04 – 0.07
	Wet grinding		0.05 – 0.35
	Spray drying	1.1 – 2.2	0.01 – 0.07
Shaping	Pressing		0.05 – 0.15
Drying		0.3 – 0.8	0.01 – 0.04
Firing		1.9 – 4.8	0.02 – 0.15

**Table 3.32: Comparison of the specific consumption of thermal energy and electrical energy per process step**



### Water and raw material consumption

Depending on the raw materials used, the type of manufacturing process involved and the product properties desired, different amounts of water and raw materials are employed.

For example in dry body preparation, the raw material for the body is dry milled in a hammer mill or a pendular type of mill. The mixture is then wetted to 7 – 12 % on a dry weight basis. In this case, the granulated material is dried to a moisture content of 6 – 7 %.

In wet body preparation, the raw material of the body is wet milled in a ball mill by mixing with water to a moisture content of 42 – 50 % on a dry basis. Granulation subsequently takes place using a spray drying process and the granulated material is dried to a moisture content of 5 - 6 %.

It can be observed that when a wet process is used, water consumption is about four times higher than in the dry process. This means that the quantity of water employed, which can be reused in the same body preparation process, is greater in the wet method than in the dry method [10, Navarro, 1998] [23, TWG Ceramics, 2005].

## **3.3.6 Table- and ornamentalware (household ceramics)**

### **3.3.6.1 Emission data**

Emissions to air and water, process losses/waste and also noise emissions arise in the manufacture of household ceramics. In this section, ranges of air pollutant emissions are presented for the process steps spray drying and firing. Emissions to air from other process steps, emissions to water and process losses are also described.

#### Emissions to air

The following table shows typical operating data and dust emission ranges of a spray dryer applied in the production of press granulate for the household ceramic industry.

Source of emission	Spray dryer
Flue-gas volume flow (m <sup>3</sup> /h)	up to 10000
Flue-gas temperature (°C)	60

Emission component	Concentration
Dust	20 – 30 mg/m <sup>3</sup>

**Table 3.33: Operating data and clean gas dust emission values of a spray dryer**

Dust from the spray dryer is separated in a filter or in a combination of a cyclone and a wet separator. In this context, it should also be mentioned that in many modern household ceramic plants, spray dryers are nowadays no longer used, due to the fact that the suppliers deliver press granulate with the required parameters [4, UBA, 2001].

In the biscuit firing process, organic substances develop due to the decomposition or evaporation of auxiliary agents. They are emitted at a temperature of approximately 400 °C in the pre-heating zone of the kiln. Benzene can arise in this process in the range of 1 mg/m<sup>3</sup> [3, CERAME-UNIE, 2003]. In the following table, ranges of operating data (in the upper section of the table) and corresponding raw gas compositions resulting from the firing of household ceramics in tunnel kilns are presented [4, UBA, 2001], [1, BMLFUW, 2003], [23, TWG Ceramics, 2005], [27, VDI, 2004], [21, Almeida, 2004].

Source of emission	Tunnel kiln
Flue-gas volume flow (m <sup>3</sup> /h)	3500 – 8000
Flue-gas temperature (°C)	130 – 200

Emission component	Concentration (mg/m <sup>3</sup> )	Concentration (mg/m <sup>3</sup> )
Firing	Biscuit firing	Glost firing
Dust	0.3 – 6.0	0.3 – 6.0
NO <sub>x</sub> stated as NO <sub>2</sub>	13 – 110	20 – 150
Gaseous fluorine compounds stated as HF	1 – 35	0.3 – 23
Org. substances stated as total C	up to 40 <sup>*)</sup>	3 – 18

<sup>\*)</sup> In the case of isostatic pressing up to 100 mg/m<sup>3</sup>

**Table 3.34: Raw gas values and operating data in household ceramics firing**

The gaseous inorganic fluorine compounds, listed in Table 3.34, develop at temperatures of between 700 and 800 °C, due to the decomposition of certain substances in the raw materials. The progression of fluorine emissions from a tunnel kiln is constant, because of the continuously operated firing.

In the following table, operating data (in the upper section of the table) and corresponding raw and clean gas values (dust and HF concentrations) resulting from the firing of household ceramics with a tunnel kiln in a one time firing process are presented. In this special manufacturing process, the products are usually fired only once and pre-firing is unnecessary. The firing takes 20 hours at a temperature of 1260 °C and the flue-gas of the kiln is cleaned with a lime bed filter system [13, SYKE, 2004], [17, Burkart, 2004], [22, SYKE, 2004].

Source of emission	Tunnel kiln
Flue-gas volume flow (m <sup>3</sup> /h)	20000
Flue-gas temperature (°C) <sup>*)</sup>	137 – 156
O <sub>2</sub> (%) <sup>*)</sup>	17.1 – 18.1

Emission component	Raw gas concentration (mg/m <sup>3</sup> ) <sup>**)</sup>	Clean gas concentration (mg/m <sup>3</sup> )
Dust	0.9	0.9
Gaseous fluorine compounds stated as HF	7.0	0.224 – 0.293 <sup>*)</sup>
<sup>*)</sup> Three measurements		
<sup>**)</sup> Flue-gas temperature and O <sub>2</sub> content not specified		

**Table 3.35: Raw and clean gas values of a one time firing process of household ceramics**

In periodically operated kilns, such as shuttle kilns, higher quantities of gaseous inorganic fluorine compounds are emitted at temperatures of between 800 and 1150 °C and their flue-gas volume flows amount from 5000 to 20000 m<sup>3</sup>/h.

Flue-gas from household ceramic firing processes also contains other air polluting substances such as CO, CO<sub>2</sub> and SO<sub>x</sub> and if the ware is fired in an additional decoration process, emissions resulting from decoration firing also have to be considered. Glue and binders of transfer pictures or pitch of painting colours are burnt in decoration firing. Intensive smelling organic substances arise in this process. Additional heavy metal emissions from inorganic colour pigments (consisting of heavy metal oxides), can occur. The following table shows typical pigment systems, which are employed as decoration colours [4, UBA, 2001].

Colour	800 °C temperature resistance	1200 °C temperature resistance
Green	Chromium oxide, chromium-cobalt spinel	
Blue	Aluminium-zinc-chromium-cobalt spinel, cobalt melting	Zirconium-vanadium blue
Yellow	Lead-antimony yellow	Tin-vanadium yellow
Black	Spinel with iron, cobalt, nickel, manganese, chromium, copper, vanadium etc.	
Grey	Tin-antimony grey, zirconium-(cobalt, nickel) grey	
Brown	Iron-chromium-zinc-manganese spinel, iron oxide	Zirconium-iron pink
Red	Cassius purple, cadmium-(sulphur, selenium) red	Tin-chromium-(calcium, silicon) pink, cadmium red pigment
White	Cerium oxide, titanium oxide	Tin oxide, zirconium silicate

**Table 3.36: Ceramic pigment systems used for decoration colours**

The following table shows ranges of operating data and mass concentrations of heavy metal components arising from the decoration firing process of household ceramics [4, UBA, 2001].

Source of emission	Decoration firing kiln
Flue-gas volume flow (m <sup>3</sup> /h)	1000 – 3000
Flue-gas temperature (°C)	~100

Heavy metal component	Concentration (mg/m <sup>3</sup> )
Lead	0.002 – 2.750
Cadmium	0.003 – 0.070
Cobalt	0.054 – 0.260
Nickel	0.060 – 0.400

**Table 3.37: Concentrations of heavy metals in the raw gas of decoration firing**

Emissions to air do not only occur during the spray drying and firing processes, but also during these other manufacturing process steps [4, UBA, 2001], [23, TWG Ceramics, 2005]:

- during raw materials storage and internal transportation, dust emissions arise in the storage, weighing, transport and handling units
- dust emissions arise from dry raw material preparation processes
- dust emissions arise from the shaping process of dry masses (pressing)
- under certain circumstances, gaseous emissions can arise from the drying process. If excess heat from the kiln is employed in the drying process of green ware, which includes flue-gases from the firing zone and if there are no closed heating systems applied, fluoride emissions are especially possible
- dust emissions can arise from glazing and engobing processes, depending on the glazing or engobing technique applied
- household ceramic products are often ground after the firing process. Therefore, dust can also arise from dry grinding processes.

#### Emissions to water

In the manufacture of household ceramics, process waste water arises during the cleaning of raw materials preparation units and casting units, from the glazing and decoration processes, as well as from the dewatering process with filter presses and rotation filters or from wet grinding. This process waste water contains the same components as the raw materials [4, UBA, 2001], [23, TWG Ceramics, 2005].

The following table shows the process waste water analysis of a porcelain tableware manufacturer [4, UBA, 2001], [1, BMLFUW, 2003]. Process waste water cleaning is carried out by homogenisation, flocculation, sedimentation, filtration in a sand bed and reverse osmosis for reducing the amount of process waste water.

Parameter	Unit	From plant	After thickener	After sand filter	Concentrate after reverse osmosis	Permeate after reverse osmosis
pH		7.5	7.5	7.5	8.0	6.5
Conductivity	µS/cm	750	700	680	950	8
Total hardness	dH	12.0	11.5	12.0	15.0	<0.5
Solid residue from evaporation at 135 °C	mg/l	1500	550	500	820	60
Chlorine	mg/l	150	150	130	245	<5
Sulphate	mg/l	100	100	110	280	<10
Phosphate	mg/l	80.0	2.0	1.0	1.5	0.4
Silicic acid	mg/l	200	15	10	25	<0.1
Calcium	mg/l	70	70	65	245	0.3
Magnesium	mg/l	9	7	7	23	<0.1
Boron	mg/l	2.0	1.0	1.0	3.1	<0.1
Zinc	µg/l	4500	<100	<100	<100	<100
Lead	µg/l	250000	200	60	110	<10
Cadmium	µg/l	60	2	2	3	<1
Cr, Cu, Ni, Co	µg/l	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
AOX	mg/l	0.001	–	–	0.007	<0.001
COD	mg/l	30	–	–	45	<15

**Table 3.38: Process waste water analysis of a porcelain tableware manufacturer**

Another example of a process waste water analysis of a household ceramics plant, which operates mainly with an one time firing process and where the process waste water arises mainly from the glazing process and body preparation, is shown in the following table [13, SYKE, 2004], [17, Burkart, 2004], [22, SYKE, 2004].

Parameter	Unit	Concentration before treatment	Concentration after treatment	Reduction
pH		8.9	7.9	
BOD <sub>7</sub>	mg/l	7.4	5.4	27.0 %
COD <sub>Cr, O<sub>2</sub></sub>	mg/l	142	25	82.4 %
Suspended solids	mg/l	8100	4.4	99.95 %
Cd	mg/l	0.0015	<0.0005	>66.7 %
Co	mg/l	12.0	0.020	99.83 %
Cr	mg/l	0.130	0.004	96.9 %
Cu	mg/l	0.110	0.029	73.6 %
Pb	mg/l	0.190	<0.010	>94.7 %
Zn	mg/l	4.0	0.220	94.5 %
Mn	mg/l	0.200	0.035	82.5 %

**Table 3.39: Process waste water analysis of a household ceramics plant**

Process waste water cleaning is carried out by a physico-chemical precipitation process, which consists of the following steps:

- equalisation basin
- addition of precipitation chemical and rapid mixing
- flocculation
- addition of cationic polymer and flocculation
- sedimentation
- thickening of sludge
- drying of sludge with a pressure filter.

The treated water is the overflow from the sedimentation basin and the corresponding waste water volume is 145 m<sup>3</sup>/day.

#### Process losses/waste

- broken ware can arise during the several manufacturing process steps (in particular shaping, drying, firing and subsequent treatment)
- sludge arises from raw materials preparation (in particular cleaning of units), from the cleaning of casting and glazing units and also from wet grinding
- used and broken plaster moulds can arise by applying a slip casting process
- waste, such as plastics, waste paper and scrap metal, arises in the packaging process
- dust, sludge and used sorption agents are found in the off-gas cleaning units.

Parts of the accumulated process losses mentioned above, can be recycled and re-used within the plant due to product specifications or process requirements. Materials, which cannot be recycled internally, leave the plant as waste and are supplied to external recycling or disposal facilities [4, UBA, 2001], [17, Burkart, 2004], [23, TWG Ceramics, 2005], [30, TWG Ceramics, 2005].

White sludge from process waste water treatment consists of a mixture of kaolin, other traditional ceramic raw materials and a modicum of plaster. An analysis of white sludge shows the following components: SiO<sub>2</sub> (66 – 70 %), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (18 – 20 %), Na<sub>2</sub>O (0.1 – 2 %), K<sub>2</sub>O (3 - 3.5 %), CaO (1 – 3 %) [4, UBA, 2001].

### 3.3.6.2 Consumption data

#### Energy consumption

The following table shows the thermal and electrical energy consumption data of a porcelain tableware manufacturer [1, BMLFUW, 2003].

Parameter	Unit	Values
Electrical energy consumption	MJ/kg of product	4.5
Thermal energy consumption	MJ/kg of product	70

**Table 3.40: Thermal and electrical energy consumption data of a porcelain tableware manufacturer**

In this context, see also Table 2.17 and Table 2.18

Water and raw material consumption

Example water and raw material consumption data for tableware are shown in the following figure as a mass flow diagram [4, UBA, 2001], [23, TWG Ceramics, 2005]. The mass flow of non-decorated products, pre-dried by filter presses and manufactured on jiggering machines can be seen.

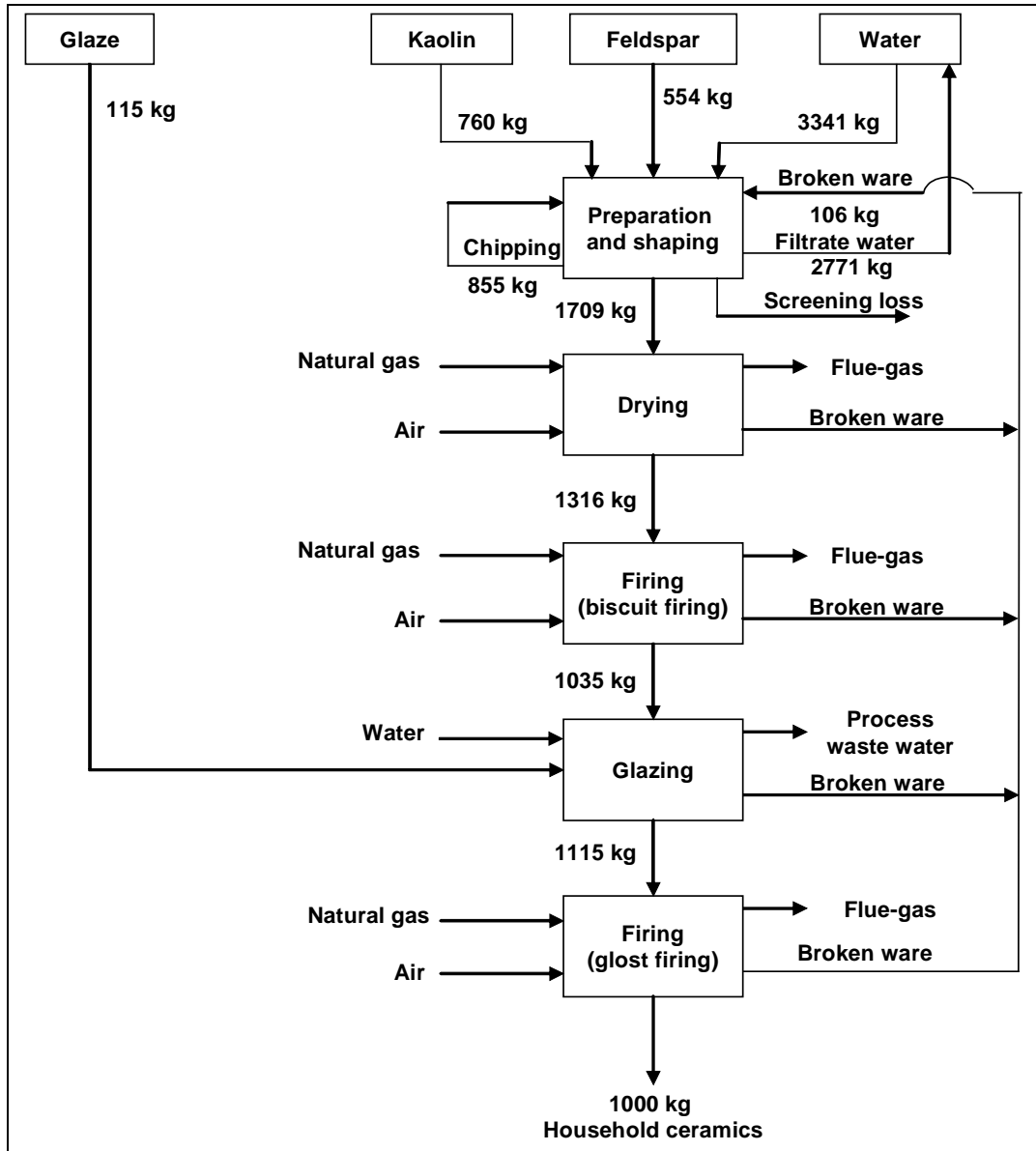


Figure 3.7: Mass flow example for the manufacture of tableware

### 3.3.7 Sanitaryware

#### 3.3.7.1 Emission data

Emissions to air and water, process losses/waste and also noise emissions arise in the manufacture of sanitaryware. In this section, ranges of air pollutant emissions are presented for the firing of sanitaryware. Emissions to air from other process steps, emissions to water and process losses are also described.

Emissions to air

Sanitaryware is fired in tunnel kilns or roller hearth kilns. Small scale production is fired in periodically operated (intermittent) shuttle kilns. The following table shows the relevant raw gas and clean gas compositions as well as operating data (in the upper section of the table) of a tunnel kiln operated in a typical sanitaryware plant. In this example, the flue-gas is cleaned in a dry sorption process using planar honeycomb shaped adsorber modules, in a steel container [4, UBA, 2001].

Source of emission	Tunnel kiln
Flue-gas volume flow (m <sup>3</sup> /h)	9100
Flue-gas temperature (°C)	140 – 180

Emission component	Raw gas Concentration (mg/m <sup>3</sup> )	Clean gas Concentration (mg/m <sup>3</sup> )
Dust	10	3
NO <sub>x</sub> stated as NO <sub>2</sub>	30	20
CO	200	200
Inorganic gaseous fluorine compounds stated as HF	1.3 – 3.6	0.4 – 1.5

**Table 3.41: Example of raw and clean gas compositions from one tunnel kiln**

The following table shows ranges of raw gas concentrations in tunnel and shuttle kilns (ref. to 18 % O<sub>2</sub>, fuel: natural gas) [1, BMLFUW, 2003], [22, SYKE, 2004], [23, TWG Ceramics, 2005].

Emission component	Concentration (mg/m <sup>3</sup> )	Concentration (mg/m <sup>3</sup> )
Emission source	Tunnel kiln	Shuttle kiln
Dust	1 – 20	≤ 40
NO <sub>x</sub> stated as NO <sub>2</sub>	10 – 50 <sup>*)</sup>	10 – 50
Inorganic gaseous chlorine compounds stated as HCl	1 – 25	≤ 80
Inorganic gaseous fluorine compounds stated as HF	1 – 30	≤ 90
SO <sub>2</sub> <sup>**) )</sup>	1 – 100	n.a.
<sup>*)</sup> With fuel mixture LPG/heavy fuel oil up to 90 mg/m <sup>3</sup> NO <sub>2</sub>		
<sup>**) )</sup> With fuel mixture LPG/heavy fuel oil		

**Table 3.42: Raw gas concentrations of tunnel and shuttle kilns**

The following table shows examples of clean gas concentrations of two sanitaryware plants. The clean gas values were obtained after first firing in tunnel kilns and flue-gas treatment with lime packed bed adsorber systems (ref. to 18 % O<sub>2</sub>, fuel: natural gas) [1, BMLFUW, 2003].

Emission component	Plant 1 Concentration (mg/m <sup>3</sup> )	Plant 2 Concentration (mg/m <sup>3</sup> )
Dust	3.2	5.0
Cobalt	<0.1	–
Nickel	<0.1	–
Chromium	<0.1	–
Manganese	<0.1	–
Vanadium	<0.1	–
Tin	<0.1	–
Antimony	<0.1	–
Inorganic gaseous fluorine compounds stated as HF	0.8	–
Inorganic gaseous chlorine compounds stated as HCl	0.8	–
SO <sub>x</sub> stated as SO <sub>2</sub>	6.0	20

**Table 3.43: Examples of clean gas concentrations of two sanitaryware plants**

Emissions to air do not only occur during the firing process, but also during these other manufacturing process steps [4, UBA, 2001], [23, TWG Ceramics, 2005]:

- during raw materials storage and internal transportation, dust emissions arise in the storage, weighing, transport and handling units
- dust emissions can arise from dry preparation processes of hard raw materials
- under certain circumstances, gaseous emissions can arise from the drying process. If excess heat from the kiln is employed in the drying process of green ware, which includes flue-gases from the firing zone and if there are no closed heating systems applied, especially fluoride emissions are possible
- dust emissions can arise during the glaze spraying process
- dust emissions can arise from polishing and dry grinding processes.

#### Emissions to water

In the manufacture of sanitaryware, process waste water arises during the cleaning of raw materials preparation units and casting units, from the glazing process or from wet grinding. This process waste water contains the same components as the raw materials and can be re-used (mainly as cleaning water) [23, TWG Ceramics, 2005].

The following table shows an example of pollutant concentrations of cleaned process waste water and the corresponding daily loads from one sanitaryware plant (composite sample after sedimentation) [1, BMLFUW, 2003].

Parameter	Concentration (mg/l)	Load (g/day)
Zinc	0.05	1.0
Nickel	<0.01	<0.2
Lead	<0.01	<0.2
Copper	<0.01	<0.2
Chromium	<0.01	<0.2
Chromium-(VI)	<0.05	<0.01
Cobalt	<0.01	<0.2
Tin	<0.01	<0.2
Cadmium	<0.005	<0.1
Antimony	<0.01	<0.2
Barium	0.32	6.4
Sulphate	53	1060
pH	7.7	–

**Table 3.44: Pollutant concentrations in cleaned process waste water**



Process losses/waste

- broken ware can arise during the several manufacturing process steps (in particular shaping, drying, firing and subsequent treatment)
- sludge arises from raw materials preparation (in particular cleaning of units), from the cleaning of casting and glazing units and also from wet grinding
- used and broken plaster moulds arise from the slip casting process
- waste, such as plastics, waste paper and scrap metal, arises in the packaging process
- dust, sludge and used sorption agents are found in the off-gas cleaning units.

Parts of the accumulated process losses mentioned above, can be recycled and re-used within the plant due to product specifications or process requirements. Materials, which cannot be recycled internally, leave the plant as waste and are supplied to external recycling or disposal facilities [4, UBA, 2001], [17, Burkart, 2004], [23, TWG Ceramics, 2005].

White sludge from process waste water treatment consists of a mixture of kaolin, other traditional ceramic raw materials and a modicum of plaster. An analysis of white sludge shows the following components: SiO<sub>2</sub> (66 – 70 %), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (18 – 20 %), Na<sub>2</sub>O (0.1 – 2 %), K<sub>2</sub>O (3 – 3.5 %), CaO (1 – 3 %) [4, UBA, 2001].

**3.3.7.2 Consumption data**Energy consumption

Ranges of specific energy requirements and further operating data of different kilns are presented in the following table [4, UBA, 2001] [23, TWG Ceramics, 2005] [27, VDI, 2004].

Type of kiln	Temperature (°C)	Firing time (h)	Specific energy requirement (kJ/kg)	Throughput (t/h)
Conventional tunnel kiln	1230 – 1270	16 – 24	9100 – 12000	0.8 – 1.0
Modern tunnel kiln with light fibre insulation	1230 – 1260	10 – 18	4200 – 6700	1.0 – 2.0
Roller hearth kiln	1230 – 1260	8 – 12	3500 – 5000	0.8 – 1.0
Modern shuttle kiln, repair firing	1180 – 1220	12 – 23	8300 – 10400	5 – 15 <sup>*</sup> )
Modern shuttle kiln, first firing	1240 – 1260	12 – 23	9200 – 11300	5 – 15 <sup>*</sup> )
<sup>*</sup> resp. (t/cycle)				

**Table 3.45: Operating data and throughput of different kilns**

In this context, see also Table 2.21, Table 2.22 and Table 2.23.

The following table shows examples of thermal and electrical energy consumption data of three sanitaryware plants [1, BMLFUW, 2003].

Parameter	Unit	Plant 1	Plant 2	Plant 3
Production capacity	t/yr	10000	5120	2900
Raw material use	t/yr	17000	7801	3500
Electrical energy consumption	MJ/kg product	0.36	3.32	3.16
Thermal energy consumption	MJ/kg product	30	22	28

**Table 3.46: Energy consumption data**

Water and raw material consumption

Example water and raw material consumption data for the manufacture of sanitaryware are shown in the following figure as a mass flow diagram [4, UBA, 2001], [23, TWG Ceramics, 2005]. The products are made of vitreous china and shaping is carried out in the slip casting process by the use of plaster moulds.

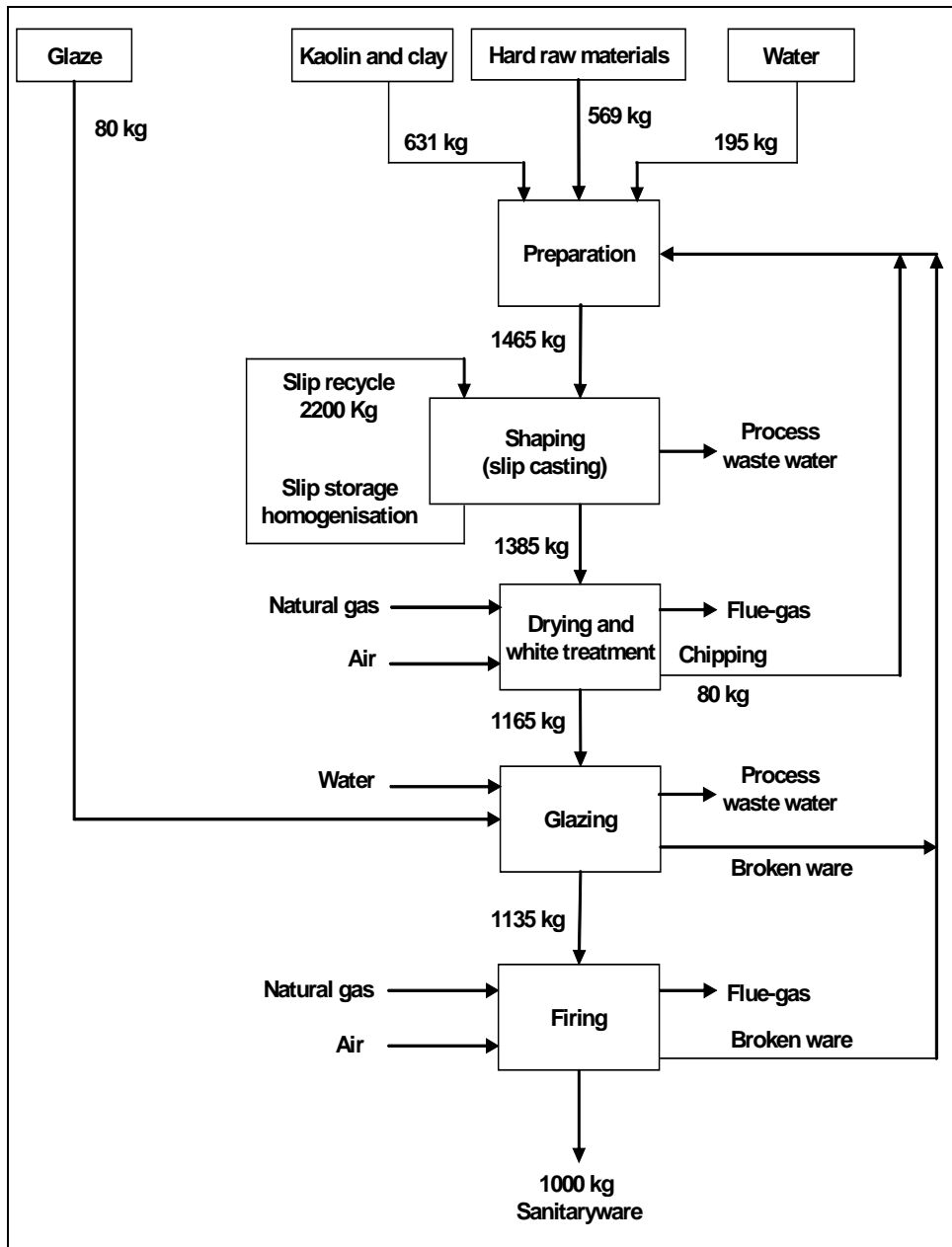


Figure 3.8: Mass flow example for the manufacture of sanitaryware

3.3.8 Technical ceramics

3.3.8.1 Emission data

Emissions to air and water, process losses/waste and also noise emissions arise in the manufacture of technical ceramics. In this section, ranges of air pollutant emissions are presented for the firing of electroporcelain. Emissions to air from other process steps, emissions to water and process losses are also described.

Emissions to air

The following table shows ranges of raw gas concentrations and mass flows from shuttle kilns during the firing of electrical insulators [1, BMLFUW, 2003].

Emission component <sup>1)</sup>	Concentration (mg/m <sup>3</sup> )	Mass flow (g/h)
Dust	20 – 30	up to 600
NO <sub>x</sub> stated as NO <sub>2</sub>	20 – 120	up to 2400
Inorganic gaseous fluorine compounds stated as HF	up to 120	up to 2400
<sup>1)</sup> ref. to 18 vol-% O <sub>2</sub>		

**Table 3.47: Raw gas concentrations in the firing of electrical insulators**

The following table shows an example of flue-gas concentrations from a shuttle kiln during the firing of electrical insulators. The kiln (see also Section 2.3.8) is not equipped with a flue-gas cleaning system [1, BMLFUW, 2003].

Emission component <sup>1)</sup>	Concentration (mg/m <sup>3</sup> )	Mass flow (g/h)
CO	91	658
NO <sub>x</sub> stated as NO <sub>2</sub>	39	282
Inorganic gaseous fluorine compounds stated as HF	11.3	82
Inorganic gaseous chlorine compounds stated as HCl	2.5	18
SO <sub>x</sub> stated as SO <sub>2</sub>	2.8	20
Organic matter	6.3	45
<sup>1)</sup> ref. to 18 vol-% O <sub>2</sub> , no measurement of particulates/dust		

**Table 3.48: Flue-gas concentrations from a shuttle kiln during the firing of electrical insulators**

Emission data regarding emissions to air from firing processes of other technical ceramics are not available, but if the technical ceramic bodies contain organic additives, VOCs can also arise during the firing process [17, Burkart, 2004].

Emissions to air do not only occur during firing processes, but also during these other manufacturing process steps [17, Burkart, 2004], [23, TWG Ceramics, 2005], [24, VKI-Germany, 2004]:

- during raw materials storage and internal transportation, dust emissions arise in the storage, weighing, transport and handling units
- dust emissions arise from dry raw material preparation processes
- dust emissions arise from shaping processes of dry masses (pressing)
- dust emissions arise from dry machining processes (green/white/hard machining)
- dust emissions can arise from glazing and engobing processes, depending on the glazing or engobing technique applied
- under certain circumstances, gaseous emissions can arise from the drying process. If excess heat from the kiln is employed in the drying process of green ware, which includes flue-gases from the firing zone and if there are no closed heating systems applied, gaseous emissions are possible
- from burning out and pre-firing processes, gaseous emissions, especially VOCs, are possible.

Emissions to water

In the manufacture of technical ceramics, process waste water arises during the cleaning of raw materials preparation units and casting units, from the glazing and engobing processes, or from wet machining. This process waste water contains the same components as the raw materials [17, Burkart, 2004], [23, TWG Ceramics, 2005], [24, VKI-Germany, 2004].

The following table shows pollutant concentrations in cleaned process waste water from an electrical insulator manufacturer (see also Section 2.3.8) after flocculation, separation with a baffle plate thickener and filtration with a chamber filter press (five daily composite samples) [1, BMLFUW, 2003].

Parameter	Concentration (mg/l)				
Filterable matter	–	22	36	53	15
Aluminium	–	<0.1	<0.1	<0.1	0.90
Iron-II	<0.01	–	–	–	–
Iron-III	<0.01	–	–	–	–
Total iron	<0.01	2.64	1.15	0.056	0.1481
Fluoride	–	0.33	–	–	–
COD	–	19	–	–	–
TOC	<0.05	1.60	–	–	–
pH	8.12	6.24	5.87	6.65	7.37

**Table 3.49: Concentrations in cleaned process waste water from an electrical insulator manufacturer**

The following table shows pollutant concentrations in process waste water from an electric insulator manufacturer after flocculation without filtration (qualified sample) [23, TWG Ceramics, 2005].

Parameter	Unit	Value
pH	-	7.2
Suspended matter	mg/l	<3
COD	mg/l	53
TOC	mg/l	15
AOX	mg/l	0.02
Chromium (total)	mg/l	<0.01
Lead	mg/l	<0.05
Cadmium	mg/l	<0.005
Copper	mg/l	<0.01
Nickel	mg/l	<0.1
Zinc	mg/l	0.3
Aluminium	mg/l	0.23
Cobalt	mg/l	0.016

**Table 3.50: Concentrations in process waste water from an electric insulator manufacturer after flocculation**

The following table shows pollutant concentrations in cleaned process waste water from a manufacturer of piezoceramic products after final filtration, batch treatment (qualified sample) [23, TWG Ceramics, 2005].

Parameter	Unit	Value
pH	-	8.0
Suspended matter	mg/l	<3
COD	mg/l	597
TOC	mg/l	200
AOX	mg/l	<0.1
Lead	mg/l	<0.1
Cadmium	mg/l	<0.01
Copper	mg/l	<0.01
Nickel	mg/l	<0.1
Zinc	mg/l	0.04
Antimony	mg/l	<0.02

**Table 3.51: Concentrations in cleaned process waste water from a manufacturer of piezoceramic products**

Emission data regarding emissions to water from manufacturing processes of other technical ceramics are not available.

#### Process losses/waste

- broken ware can arise during the several manufacturing process steps (in particular shaping, drying, firing and machining)
- sludge arises from raw materials preparation (in particular cleaning of units), from the cleaning of casting, glazing and engobing units and also from wet machining
- used and broken plaster moulds can arise by applying a slip casting process
- machining emulsions can arise from mechanical surface treatment
- waste, such as plastics, waste paper and scrap metal, arises in the packaging process
- dust, sludge and used sorption agents are found in the off-gas cleaning units.

Parts of the accumulated process losses mentioned above, can be recycled and re-used within the plant due to product specifications or process requirements. Materials, which cannot be recycled internally, leave the plant as waste and are supplied to external recycling or disposal facilities [17, Burkart, 2004], [23, TWG Ceramics, 2005], [24, VKI-Germany, 2004].

### 3.3.8.2 Consumption data

#### Energy consumption

The following table shows examples of thermal and electrical energy consumption data from two plants manufacturing electroporcelain [1, BMLFUW, 2003].

Parameter	Unit	Plant 1	Plant 2
Electrical energy consumption	MJ/kg product	–	0.94
Thermal energy consumption	MJ/kg product	25	15.30

**Table 3.52: Energy consumption data from two electroporcelain plants**

The specific thermal energy consumption of a shuttle kiln with a kiln capacity of 70 m<sup>3</sup> and a production capacity of 10 – 25 tonnes of electrical insulators per firing cycle amounts of between 12000 and 20000 kJ/kg [1, BMLFUW, 2003].

Energy consumption data from the manufacturing processes of other technical ceramics are not available.

### Water and raw material consumption

The following table shows ranges of raw material compositions for the manufacture of electroporcelain (alumina porcelain). The range of the water content of the mass amounts to between 30 and 50 % [23, TWG Ceramics, 2005].

<b>Raw material</b>	<b>Amount (%)</b>
Kaolin	30 – 40
Clay	6 – 15
Feldspar	10 – 20
Quartz	0 – 30
Alumina	0 – 40

**Table 3.53: Raw material compositions for the manufacture of electroporcelain**

Water and raw material consumption data from the manufacturing processes of other technical ceramics are not available.

### **3.3.9 Inorganic bonded abrasives**

#### **3.3.9.1 Emission data**

Emissions to air and water, process losses/waste and also noise emissions arise in the manufacture of inorganic bonded abrasives. In this section, ranges of air pollutant emissions are presented for the firing process, emissions to air from other process steps. Emissions to water and process losses are also described.

#### Emissions to air

The following table shows examples of flue-gas values from three plants in which inorganic bonded abrasives are manufactured (see also Section 2.3.9) [14, UBA, 2004], [30, TWG Ceramics, 2005].

Emission component	Unit	Plant 1 <sup>1)</sup>	Plant 2 <sup>2)</sup>	Plant 3 <sup>3)</sup>
CO <sub>2</sub>	t/yr	372	143	216
Dust	mg/m <sup>3</sup>	12	<15	<15
TOC	mg/m <sup>3</sup>	<43	39	<40

<sup>1)</sup> This plant is a typical example used for the manufacture of inorganic bonded abrasives (from the preparation of raw materials to the packaging of the abrasives). The abrasives are fired in a gas heated kiln with a capacity of 10.4 m<sup>3</sup> and an average setting density of 360 kg/m<sup>3</sup>. The following installation components are employed: bag filters for dust separation (for mixing and grinding units and for the finishing processes), thermal afterburning for flue-gas from the kiln and the common finishing units.

<sup>2)</sup> In this plant, the manufacture of small grinding tools is carried out. The plant is operated in one shift and the abrasives are fired in electrically heated shuttle kilns. The plant contains three identical shuttle kilns with a volume of up to 5.28 m<sup>3</sup> each (useable volume 4.4 m<sup>3</sup>). The setting density varies between 700 and 1400 kg/m<sup>3</sup> (share of firing auxiliaries of between 33 – 50 %). The following installation components are employed: bag filters for dust separation (for mixing and grinding units and for the finishing processes), thermal afterburning for flue-gas from the kilns, sedimentation tanks for process waste water occurring from the cleaning of aggregates and the common finishing units.

<sup>3)</sup> This plant is an example of a small manufacturing unit of inorganic bonded abrasives (grinding wheels with a diameter size of 100 to 1000 mm). The abrasives are fired in a gas heated periodic shuttle kiln with a capacity of 5 m<sup>3</sup> and setting density of the vitrified bond between 70 and 140 kg/m<sup>3</sup> (see Section 2.3.9.5). The following installation components are also employed: bag filters are used for dust separation for mixing and grinding units and for the finishing processes.

**Table 3.54: Examples of flue-gas values from three plants in which inorganic bonded abrasives are manufactured**

Emissions to air do not only occur during the firing process, but also during these other manufacturing process steps [14, UBA, 2004], [23, TWG Ceramics, 2005], [30, TWG Ceramics, 2005]:

- dust emissions can arise from dry raw material preparation, mixing and pressing processes
- dust emissions can arise from dry grinding processes.

#### Emissions to water

In the manufacture of inorganic bonded abrasives, only small amounts of process waste water occur. In some cases even a waste water free manufacture is possible (cleaning of the installation units by heating and abrading the contaminants). In the cases where process waste water occurs, this is predominantly cleaning water from installation units [14, UBA, 2004].

#### Process losses/waste

- broken ware can arise during the several manufacturing process steps (in particular shaping, drying, firing and subsequent treatment)
- sludge can arise in particular from cleaning of units
- machining emulsions can arise from shaping and mechanical surface treatment
- waste, such as plastics, waste paper and scrap metal arises in the packaging process
- dust, sludge and used sorption agents are found in the off-gas cleaning units.

Parts of the accumulated process losses mentioned above, can be recycled and re-used within the plant due to product specifications or process requirements. Materials, which cannot be recycled internally, leave the plant as waste and are supplied to external recycling or disposal facilities [14, UBA, 2004], [23, TWG Ceramics, 2005].

### **3.3.9.2 Consumption data**

#### Energy consumption

In the following table, overall energy consumption data from the three inorganic bonded abrasives manufacturers mentioned in Table 3.54 are presented [14, UBA, 2004] [30, TWG Ceramics, 2005].

Parameter	Unit	Plant 1	Plant 2	Plant 3
Electrical energy consumption	kWh/yr	150000	1540000	175000
Natural gas consumption	kWh/yr	1850000	946000	1000000

**Table 3.55: Overall energy consumption data from three inorganic bonded abrasives manufacturers**

Water and raw material consumption

In the following table, water and raw material consumption data from the three inorganic bonded abrasives manufacturers mentioned in Table 3.54 are presented [14, UBA, 2004], [30, TWG Ceramics, 2005].

Input	Output	Plant 1 (t/yr)	Plant 2 (t/yr)	Plant 3 (t/yr)
Abrasive grains		216	440	153
Binding agents		35.2	110	17
Additives <sup>1)</sup>		15.2	41.8	7
Steel shafts and sleeves		-	17.6	-
	Product	253.6	550	170
	Abrasive dust	32	55	26
	Broken ware <sup>2)</sup>	7	7	4
<sup>1)</sup> Partially decomposing during the firing process				
<sup>2)</sup> Includes broken firing auxiliaries				

**Table 3.56: Raw material consumption data from three inorganic bonded abrasives manufacturers**



## 4 TECHNIKEN, DIE BEI DER BESTIMMUNG VON BVT ZU BERÜCKSICHTIGEN SIND

Dieses Kapitel beschreibt Techniken, bei denen grundsätzlich ein hohes Umweltschutzpotential für die in diesem Dokument betrachteten Industrien gesehen wird. Diese umfassen Managementsysteme, prozessintegrierte Techniken und sekundäre Maßnahmen; es gibt auf der Suche nach optimalen Ergebnissen allerdings auch Überschneidungen zwischen diesen drei Gruppen.

Sowohl Vorsorge-, Kontroll-, Minderungs- und Recyclingmaßnahmen sind berücksichtigt als auch die Rückgewinnung von Materialien und Energie.

Techniken können einzeln oder in Kombination angewendet werden, um die Ziele der IVU-Richtlinie zu erreichen. Anhang 4 der Richtlinie listet eine Reihe allgemeiner Aspekte auf, die bei der Bestimmung von BVT in Betracht zu ziehen sind. Die in diesem Kapitel beschriebenen Techniken zielen auf eine oder mehrere dieser Aspekte ab. Soweit möglich, wird eine einheitliche Struktur verwendet, um die einzelnen Techniken darzustellen, einen Vergleich der Techniken und eine objektive Bewertung nach den in der Richtlinie genannten Kriterien von BVT zu ermöglichen.

Dieses Kapitel beinhaltet keine abschließende Liste von Techniken – es können andere existieren oder entwickelt werden, die im Rahmen von BVT gleichwertig sind.

Im Allgemeinen wird die in Tabelle 4.1 gezeigte Standardstruktur verwendet, um die einzelnen Techniken zu umreißen:

Betrachtete Aspekte	Enthaltene Informationen
Beschreibung	technische Beschreibung der Technik
Erreichte Umweltentlastungseffekte	Hauptsächliche Umweltauswirkung(en), die von der (Verfahrens- oder Minderungs-) Technik beeinflusst werden, einschließlich der erreichten Emissionswerte und des Wirkungsgrades. Umweltvorteile dieser Technik im Vergleich zu anderen.
Medienübergreifende Effekte	Alle Nebeneffekte und Nachteile, die durch die Anwendung dieser Technik verursacht werden. Einzelheiten zu den Umweltproblemen dieser Technik im Vergleich zu anderen.
Betriebsdaten	Leistungsdaten für Emissionen/Abfälle sowie Verbrauchsdaten (Rohmaterialien, Wasser und Energie). Andere nützliche Information, wie diese Technik zu betreiben, zu warten und zu überwachen ist, einschließlich Sicherheitsaspekten, Einschränkungen hinsichtlich der Betriebsbereitschaft dieser Technik, der Produktqualität, etc.
Anwendbarkeit	Betrachtung von Faktoren, die mit der Anwendung und Nachrüstung dieser Technik verbunden sind (z.B. Platzverfügbarkeit, Prozessspezifika)
Wirtschaftliche Aspekte	Informationen zu Kosten (Investitions- und Betriebskosten) und möglichen Einsparungen (z.B. reduzierter Rohmaterialverbrauch, Entsorgungskosten), auch in Bezugnahme auf das Leistungsvermögen dieser Technik
Treibende Kraft für die Umsetzung	Ursachen für die Umsetzung dieser Technik (z.B. andere Gesetzgebung, Verbesserung der Produktionsqualität)
Referenzanlagen	Hinweis auf Anlagen, von denen über den Einsatz dieser Technik berichtet wurde
Referenzliteratur	Literatur für detailliertere Informationen über diese Technik

**Tabelle 4.1: Struktur der Informationen zu den in diesem Kapitel beschriebenen Techniken**

Da sich die oben genannten Aspekte teilweise überschneiden können, wird der Aufbau flexibel gehalten und dem jeweiligen Einzelfall entsprechend angepasst.

Die Kosten für die Minderungstechniken müssen im Verhältnis zur Größe der Anlage, der Wirksamkeit der Technik und den Umständen ihrer Anwendung im Einzelfall bewertet werden. In diesem Zusammenhang liefert Tabelle 4.7 Beispiele für Investitionskosten, Instandhaltungskosten, Kosten für Sorbentien und Betriebskosten für die Minderung von Staub, anorganischen gasförmigen Verbindungen und organischen gasförmigen Verbindungen bei der Nutzung verschiedener Minderungstechniken [32, TWG Ceramics, 2006].

Hinsichtlich der Standardbedingungen für die Messungen des Volumenströme und der Konzentrationen siehe die folgenden Definitionen, die auch im Glossar genannt werden:

m <sup>3</sup> /h	Volumenstrom: wenn nicht anders angegeben, beziehen sich die Angaben auf 18 Vol.-% Sauerstoffgehalt und Standardbedingungen.
mg/m <sup>3</sup>	Konzentration: wenn nicht anders angegeben, beziehen sich die Konzentrationsangaben gasförmiger Stoffe oder Verbindungen auf trockenes Abgas, 18 Vol.-% Sauerstoffgehalt und Standardbedingungen; Konzentrationsangaben für Benzol beziehen sich auf 15 Vol.-% Sauerstoffgehalt und Standardbedingungen.
Standardbedingungen	Bezogen auf die Temperatur 273 K und den Atmosphärendruck 1013 hPa.

### 4.1 Reduzierung der Energieverbrauchs (Energieeffizienz)

Nützliche Informationen in diesem Zusammenhang findet man auch im BVT-Merkblatt „Energieeffizienz-techniken“ (ENE), das aktuell erarbeitet wird,.

#### 4.1.1 Technische Verbesserung der Brennöfen und Trockner

##### Beschreibung und Umweltentlastungseffekte

Hier werden verschiedene Maßnahmen vorgestellt, die einzeln oder in Kombination an Ofen- oder Trockneranlagen angewandt werden können:

- automatische Überwachung der Trocknerkreisläufe
- automatische Kontrolle von Feuchtigkeit und Temperatur im Trockner
- Einbau von Impulslüftern, die über Zonen mit unabhängiger Wärmezuführung verteilt, für die jeweils notwendige Temperatur sorgen (zonenweise einstellbar)
- verbesserte Abdichtung von Öfen; z.B. führen Metalleinhausungen und Sand- oder Wasserabdichtungen an Tunnelöfen und diskontinuierlichen Öfen zu einem verringerten Wärmeverlust
- verbesserte Wärmeisolierung der Öfen; z.B. führt der Einsatz von wärmedämmenden feuerfesten Ausmauerungen oder Keramikfasern (Mineralwolle) zu einem reduzierten Wärmeverlust
- verbesserte feuerfeste Ausmauerungen und Ofenwagenaufbauten reduzieren die Stillstandszeiten und die mit der Abkühlung verbundenen Wärmeverluste
- der Einsatz von Hochgeschwindigkeitsbrennern verbessert den feuerungstechnischen Wirkungsgrad und den Wärmetransport
- der Austausch alter Öfen durch neue, gleichgroße oder größere und breitere Tunnelöfen oder – wenn der Herstellungsprozess es zulässt – durch Schnellbrandöfen (z.B. Rollenöfen), kann zu einem verringerten spezifischen Energieverbrauch führen
- eine interaktive Computersteuerung des Ofenregimes führt zu einem reduzierten Energieverbrauch und auch zu einer Verminderung der Emissionen von Luftschadstoffen
- ein reduzierter Einsatz von Brennhilfsmitteln und/oder der Einsatz von Brennhilfsmitteln, die aus SiC/Superlegierungen hergestellt sind, bewirken einen geringeren Energieeinsatz zum Aufheizen des Ofensystems; Brennhilfsmittel aus SiC können auch in Schnellbrandrollenöfen eingesetzt werden
- die Optimierung (Minimierung) des Weges zwischen Trockner und Ofen und – wenn der Herstellungsprozess es zulässt – die Nutzung der Vorwärmzone des Ofens für den Abschluss des Trocknungsprozesses vermeidet eine unnötige Abkühlung der getrockneten Ware vor dem Brennprozess
- die Reduzierung des Luftdurchsatzes im Ofen bei der Herstellung von Blähtonzeugnissen kann den Energieverbrauch reduzieren.

Die meisten der zuvor genannten Maßnahmen können auch bei Trocknern angewandt werden, z.B. im Hinblick auf die Konstruktion der Trockner (verbesserte Wärmeisolierung, abgedichtete Türen oder Schleusen, etc.), die Brennhilfsmittel und die Prozesssteuerung, insbesondere weil Trockner und Öfen sehr oft über ein Abwärmenutzungssystem miteinander verbunden sind (siehe Abschnitt 4.1.2).

#### Medienübergreifende Effekte

Nicht relevant.

#### Betriebsdaten

Die Betriebsdaten hängen von der im Einzelfall durchgeführten Maßnahme/Tätigkeit ab. Der spezifische Energiebedarf für verschiedene Produkte, die in verschiedenen Ofentypen gebrannt wurden (konventionell, Schnellbrand, mit/ohne verbesserte Isolierung), wird z.B. in Table 2.14 (Herstellung von Wand- und Bodenfliesen), Table 3.31 (Herstellung von Wand- und Bodenfliesen) und in Table 3.45 (Herstellung von Sanitärkeramik) verglichen.

#### Anwendbarkeit

Die meisten der oben genannten Maßnahmen können im Prinzip in allen Sektoren der keramischen Industrie durchgeführt werden, aber die Rollenofentechnologie wird zum Beispiel vorwiegend für die Herstellung von Wand- und Bodenfliesen eingesetzt. Dachziegel, Steinzeugrohre und Sanitärkeramik können jedoch auch in Rollenöfen gebrannt werden (siehe Abschnitt 2.2.7.4.3).

Maßnahmen, die besonders Herdwagen-, Tunnel- und Rollenöfen betreffen (z.B. bezüglich Ofenwagen und Brennhilfsmittel), können nicht in Drehrohröfen eingesetzt werden, in denen Blähtonerzeugnisse hergestellt werden (siehe Abschnitt 2.3.4). Auch die Anwendbarkeit verschiedener Ofentechnologien in diesen Sektoren hängt von den hergestellten Produkten ab; z.B. werden zur Herstellung einiger Arten von Wand- und Bodenfliesen Tunnelöfen zum Brennen benötigt, um die gewünschten Produktqualitäten zu erreichen.

#### Wirtschaftliche Aspekte

Die Modernisierung von genutzten Öfen und/oder Trocknern oder sogar deren Austausch durch neue weniger Energie verbrauchende Alternativen, wie Rollenöfen, können – wenn anwendbar – zu beträchtlichen Energieeinsparungen für die Unternehmen führen. Wenn Öfen vor dem Ende ihrer Lebensdauer ausgetauscht werden, erfordert dies einen beträchtlichen Kapitaleinsatz.

#### Treibende Kraft für die Umsetzung

- Kosteneinsparung durch Energieeinsparung.
- Reduzierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen.

#### Referenzanlagen und Referenzliteratur

[1, BMLFUW, 2003], [3, CERAME-UNIE, 2003], [4, UBA, 2001], [23, TWG Ceramics, 2005], [26, UBA, 2005], [30, TWG Ceramics, 2005].

### 4.1.2 Wärmerückgewinnung an den Öfen

Beschreibung und Umweltentlastungseffekte

Viele Trockner in der Keramikindustrie nutzen heutzutage heiße Luft, die aus der Kühlzone des Ofens zurückgewonnen wurde, normalerweise ergänzt mit heißer Luft aus Gasbrennern, so dass die Anordnung der Anlagenteile sehr wichtig ist. Insbesondere Überschusswärme mit geringer Temperatur kann nur genutzt werden, wenn die Länge der Rohre, d.h. die Entfernung zwischen dem Anfallort der Überschusswärme und dem Ort ihrer Nutzung gering ist. In jedem Fall ist eine geeignete Wärmeisolierung der Rohre erforderlich. Auf diese Weise konnten signifikante Energieeinsparungen erreicht werden.

Einige Prozesse nutzen auch Wärmetauscher zur Wärmerückgewinnung aus dem Ofenabgas, um die Verbrennungsluft vorzuwärmen. Die Anwendung ist aber wegen möglicher Korrosionsprobleme, die durch saure Abgase und oft durch zu niedrige Abgastemperaturen verursacht werden, eingeschränkt.

Auch die überschüssige Wärme einer Nachverbrennungsanlage kann entweder im Ofen oder im Trockner genutzt werden. Ein deutsches Werk nutzt Thermoöl, um die Überschusswärme von der Nachverbrennungsanlage zusammen mit heißer Luft aus der Kühlzone des Ofens auf den Trockner zu übertragen. Das Funktionsprinzip dieses Wärmeverbundsystems zeigt die folgende Abbildung [4, UBA, 2001].

Neben der Abwärmenutzung (4) zur Dampferzeugung im Abhitzekessel (5) und zur Beheizung des Vorwärmers (1) wird in einem Abgaswärmetauscher (7) die beim Abkühlen der gereinigten Abgase anfallende Wärme mittels Thermoöl zu weiteren Wärmetauschern (8) transportiert, in denen wiederum Frischluft (9) für den Trocknungsprozess erwärmt wird. Die erwärmte Frischluft wird mit Heißluft aus der Kühlzone (4) des Ofens (2) vermischt und dem kontinuierlich betriebenen Kassettentrockner (11) zugeführt.

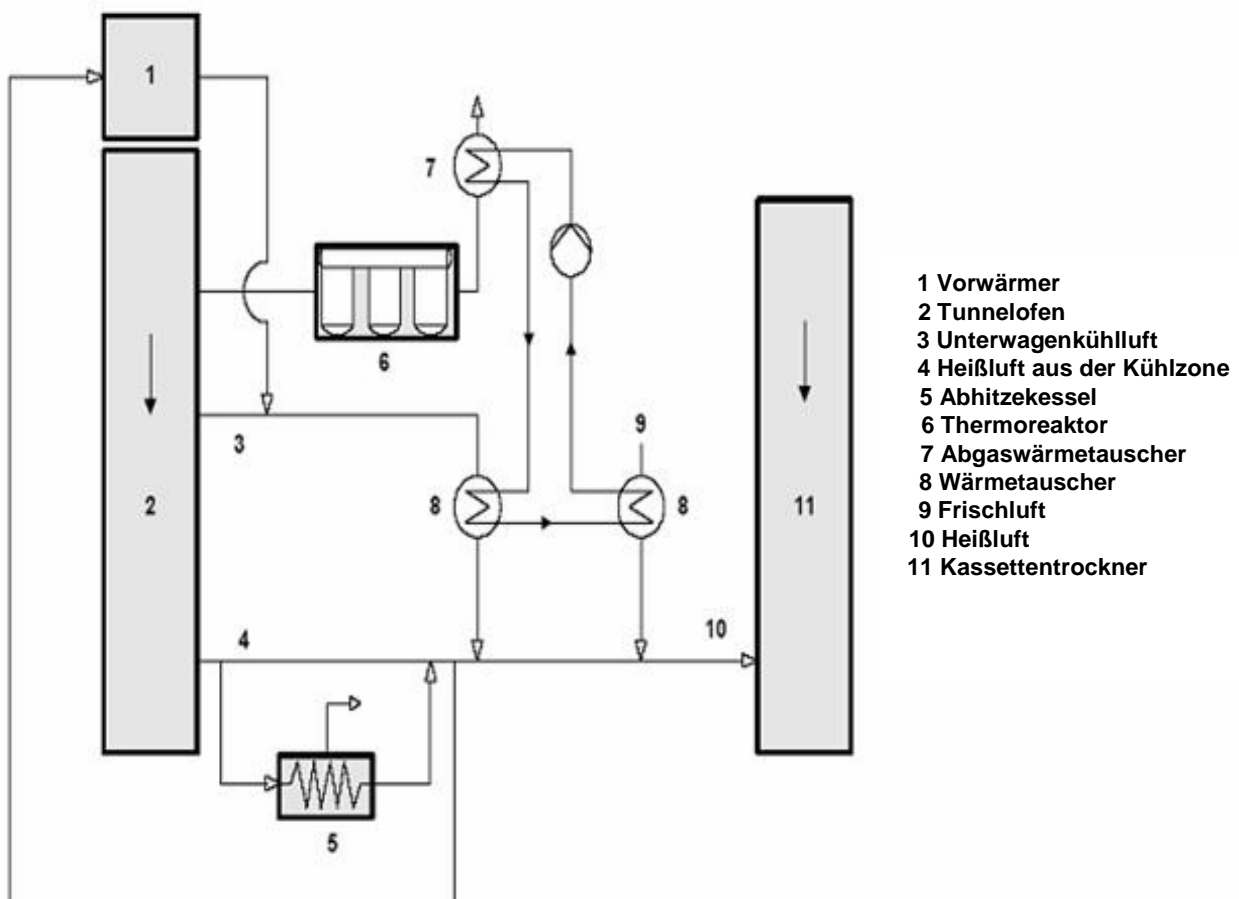


Abbildung 4.1: Schematische Darstellung eines Beispiels eines Wärmeverbundsystems

Medienübergreifende Effekte

Ein leicht erhöhter Stromverbrauch ist möglich, insbesondere wenn Wärmetauscherkreisläufe eingesetzt werden.

Betriebsdaten

Im Falle des oben gezeigten Wärmeverbundsystems liegt der spezifische Erdgaswärmebedarf für das Trocknen und Brennen bei nur noch 840 bis 1050 kJ/kg gebrannter Ware (Ziegel) [4, UBA, 2001], [30, TWG Ceramics, 2005].

Anwendbarkeit

Die Wärmerückgewinnung an Öfen, hauptsächlich in Form von Heißluft aus den Kühlzonen, kann im Prinzip in allen Sektoren der Keramikindustrie an Wärmetrocknern angewendet werden. Es sollte angemerkt werden, dass die Wärmerückgewinnung nur anwendbar ist, wenn die überschüssige Wärme zeitgleich in einem anderen Prozess benötigt wird.

Das oben erwähnte, spezifische Beispiel (in Deutschland nutzen nur sehr wenige Werke diese Technik) kann nicht verallgemeinert werden, insbesondere hinsichtlich der Nutzung der überschüssigen Wärme der Nachverbrennungsanlage, weil das Abgas einer Nachverbrennungsanlage oft zu kalt ist, um eine effiziente Energierückgewinnung durchzuführen.

Wirtschaftliche Aspekte

- reduzierter Energieverbrauch
- zusätzliche Kosten für Rohrisolierungen müssen berücksichtigt werden.

Treibende Kraft für die Umsetzung

- Kosteneinsparungen durch Energieeinsparungen
- Reduzierung von CO<sub>2</sub>-Emissionen.

Referenzanlagen und Referenzliteratur

JUWOE POROTON-Werke Ernst Jungk & Sohn GmbH, Deutschland, Ziegelwerk [4, UBA, 2001], [1, BMLFUW, 2003], [2, VITO, 2003], [3, CERAME-UNIE, 2003], [23, TWG Ceramics, 2005], [30, TWG Ceramics, 2005]

**4.1.3 Kraft-Wärme-Kopplung / Blockheizkraftwerke**Beschreibung, Umweltentlastungseffekte und Betriebsdaten

Anlagen mit Kraft-Wärme-Kopplung für Dampf und Elektrizität oder Blockheizkraftwerke sind prinzipiell in der Keramikindustrie wegen des gleichzeitigen Bedarfs an Wärme und Strom nutzbar. Das wesentliche Merkmal einer Kraft-Wärme-Kopplungsanlage ist der Antriebsmotor. Gasbefeuerte Ottomotoren, Dieselmotoren oder Gasturbinen mit Wärmeüberschussnutzung sind geeignet.

Abbildung 4.2 zeigt ein Beispiel für die Nutzung von Überschusswärme in einer Kraft-Wärme-Kopplungsanlage für die Produktion von heißer Luft [4, UBA, 2001]. Die heiße Luft wird für den Trockner eines Ziegelwerkes genutzt. Zusätzlich zur Überschusswärme des Ofens ist für den Trockner eine Zuführung von Frischluft notwendig. Diese Luft wird in der Regel aus der Trocknerhalle entnommen, um die hohen Strahlungswärmeanteile des Ofens und des Trockners mit nutzen zu können. Die Frischluft wird mit der Überschusswärme des Ofens vor dem Trocknerzuluftventilator gemischt. Im Ansaugrohr für die Frischluft ist ein Luftherhitzer installiert, um die Vorwärmung der Frischluft aufrecht zu erhalten. Dieser Wärmetauscher wird durch das Kühlwasser der Antriebsmotoren erhitzt. Die Abgase haben in Abhängigkeit vom Motortyp Temperaturen von 450 bis 550 °C. Sie werden in die Mischkammer geführt und direkt im Trockner genutzt. Wärmedefizite werden durch einen Zusatzgasbrenner ausgeglichen. Wird die Wärme am Trockner nicht benötigt, werden die ungekühlten Motorenabgase direkt über den Kamin abgesaugt.

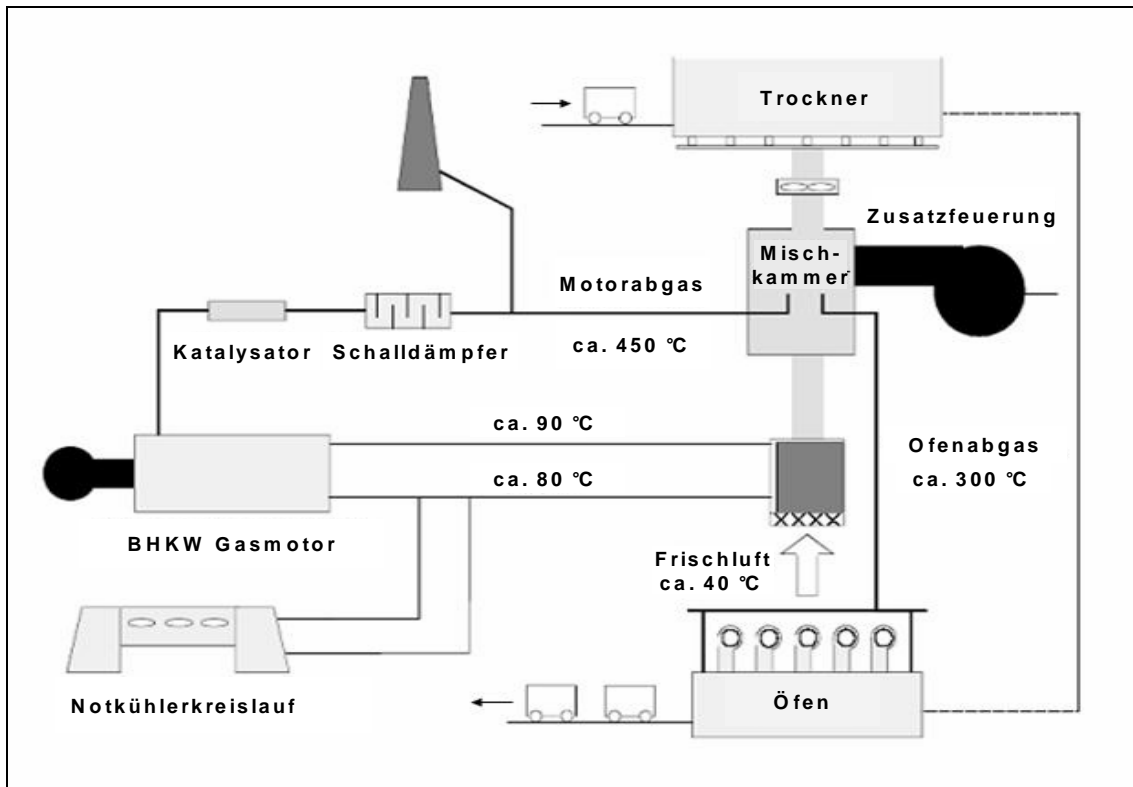


Abbildung 4.2: Schematische Darstellung der Heißluftzeugung durch eine Kraft-Wärme-Kopplungsanlage

In einigen Fällen kann das Abgas, bevor es in die Mischkammer eintritt, auch einen Kessel passieren, um Dampf zu produzieren, der beim Extrudieren eingesetzt wird.

Medienübergreifende Effekte

Antriebsmotoren können zusätzliche Emissionen in die Luft vor Ort verursachen; auch die Lärmemissionen steigen an.

Anwendbarkeit

Die Wärme, die durch die Kraft-Wärme-Kopplungsanlage produziert wird, kann beim Sprühtrocknen insbesondere bei der Herstellung von Wand- und Bodenfliesen und Haushaltskeramik genutzt werden. Diese Wärme kann auch für Trockner genutzt werden, wenn zusätzliche Wärme benötigt wird, zum Beispiel in Ziegelwerken wie in Abbildung 4.2 gezeigt.

Wirtschaftliche Aspekte

Die betriebswirtschaftliche Anwendbarkeit ist stark von den vorherrschenden Bedingungen und dem Keramiksektor abhängig. Aus ökonomischen Gründen wird die Kraft-Wärme-Kopplung in ganz Europa nur eingeschränkt genutzt, z.B. bei der Herstellung von Ziegelsteinen und Dachziegeln. Nichtsdestotrotz sollte die Technik vor allem bei der Planung einer neuen Anlage in Betracht gezogen werden.

Eine kostengünstige Alternative zur beschriebenen Abwärmenutzung ist die direkte Einleitung der Wärme in den Trockner (siehe Abschnitt 4.1.2).

Treibende Kraft für die Umsetzung

Implementierung eines energieeffizienten Herstellungsverfahrens.

Referenzanlagen und Referenzliteratur

[4, UBA, 2001], [17, Burkart, 2004], [23, TWG Ceramics, 2005], [30, TWG Ceramics, 2005]

#### 4.1.4 Substitution von schwerem Heizöl und festen Brennstoffen durch emissionsarme Brennstoffe

##### Beschreibung und Umweltentlastungseffekte

Die Umstellung des Brennprozesses von schwerem Heizöl (Heizöl S) oder festen Brennstoffen auf gasförmige Brennstoffe (Erdgas, Flüssiggas (Propan/Butan) und auch verflüssigtes Erdgas) führt zu einem höheren feuerungstechnischen Wirkungsgrad und der nahezu vollständigen Vermeidung von Rußemissionen in vielen Prozessen. Feste Brennstoffe produzieren normalerweise feine Asche; so kann die Reduktion der Partikelemissionen beim Verbrennen von Gas in einigen Fällen eine teure und energieverbrauchende Entstaubung überflüssig machen. Gasbrenner eignen sich für hochentwickelte automatische Steuerungseinrichtungen, die zu Energieeinsparungen und reduziertem Ausschuss von gebrannter Ware und folglich zu einem reduzierten spezifischen Energieverbrauch führen. Der Einsatz von Heizöl EL anstelle von Heizöl S kann auch die Rußemissionen aus Brennprozessen reduzieren.

Der Einsatz von Erdgas, Flüssiggas (Propan/Butan), verflüssigtem Erdgas oder Heizöl EL anstelle von Heizöl S oder festen Brennstoffen führt wegen des niedrigeren Schwefelgehaltes zu einer Reduktion der energiebedingten SO<sub>2</sub>-Emissionen (siehe Table 3.3). Erdgas, Flüssiggas (Propan/Butan) und verflüssigtes Erdgas haben auch ein höheres Wasserstoff-/Kohlenstoff-Verhältnis als Heizöle oder feste Brennstoffe, so dass sie bei gleicher Wärmeleistung weniger Kohlendioxid produzieren (etwa 25 % weniger CO<sub>2</sub> im Fall von Erdgas).

Alternative/sekundäre Brennstoffe organischen Ursprungs, z.B. Fleisch- und Knochenmehl oder Biobrennstoffe, und nicht organischen Ursprungs, z.B. Altöl, Lösemittel, die zum Beispiel bei der Herstellung von Blähtonerzeugnissen eingesetzt werden (siehe Abschnitt 2.3.4.2.2), reduzieren die Menge primärer fossiler Brennstoffe und die damit verbundenen CO<sub>2</sub>-Emissionen.

Darüber hinaus kann die Verwendung schadstoffarmer Brennstoffe andere energieeffiziente Technologien im Herstellungsprozess nach sich ziehen – zum Beispiel die Kraft-Wärme-Kopplung mit Gasturbinen. Weitere Einsparungen an (elektrischer) Energie können aufgrund der Tatsache erreicht werden, dass einige flüssige Brennstoffe erwärmt werden müssen, um pumpfähig zu sein.

##### Medienübergreifende Effekte

Zusätzliche Sicherheitsaspekte – vor allem Explosionsrisiken – müssen berücksichtigt werden, insbesondere hinsichtlich Flüssiggas (Propan/Butan) und verflüssigtem Erdgas.

##### Betriebsdaten

Die Betriebsdaten hängen von der im Einzelfall durchgeführten Maßnahme/Tätigkeit ab.

##### Anwendbarkeit

Im Prinzip ist ein Brennstoffwechsel in allen Keramiksektoren möglich, aber es muss angemerkt werden, dass die Beschaffenheit eines Brennstoffes die ästhetischen Merkmale des Endproduktes beeinflussen kann. So können bestimmte Farbtöne, die auf dem Markt sehr gefragt sind, nur erreicht werden, indem Kohle oder Kohlenstaub in den Öfen (mit)verbrannt wird. Zum Beispiel können bestimmte Typen speziell gefärbter Vormauerziegel nicht allein mit Erdgas hergestellt werden, sondern Kohlenstaub muss zusätzlich zum Befeuern des Ofens zugegeben werden (Hoffmann-Öfen werden für diese Zwecke verwendet). So ist in Abhängigkeit vom hergestellten Produkttyp ein Brennstoffwechsel nicht immer möglich.

Im Herstellungsprozess für Blähtonerzeugnisse wird ein Großteil des abgeschiedenen Staubes wiederverwertet, was den Einfluss eines Brennstoffwechsels auf die Ascheproduktion reduziert.

### Wirtschaftliche Aspekte

Der Wechsel von Heizöl S oder festen Brennstoffen zu schadstoffarmen Brennstoffen könnte beträchtliche Investitionskosten zur Folge haben, insbesondere dann, wenn eine Erdgasversorgung für das Werk bisher nicht vorhanden ist. In diesem Zusammenhang müssen nicht nur die Brennstoffkosten sondern auch die zusätzlichen Transportkosten für Flüssiggas (Propan/Butan), verflüssigtes Erdgas und Heizöl EL berücksichtigt werden.

### Treibende Kraft für die Umsetzung

- gesetzliche Anforderungen
- geringere Schwankungen in der Produktqualität
- Reduzierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen.

### Referenzanlagen und Referenzliteratur

[1, BMLFUW, 2003], [2, VITO, 2003], [3, CERAME-UNIE, 2003], [23, TWG Ceramics, 2005], [26, UBA, 2005], [30, TWG Ceramics, 2005], [32, TWG Ceramics, 2006]

## **4.1.5 Modifikation keramischer Massen**

### Beschreibung und Umweltentlastungseffekte

Eine fortschrittliche Konfektionierung der Massenzusammensetzung kann die notwendigen Trocknungs- und Brennzeiten reduzieren und so die Verwendung von Schnellbrandöfen mit geringem Volumen, wie Rollenöfen oder Öfen mit Brenntischförderung, vorantreiben. Deshalb kann die Änderung der Zusammensetzung der keramischen Masse das Trocknen und Brennen unterstützen, z.B. im Wand- und Bodenfliesen- und Steinzeugrohresektor. Dies kann zu einem reduzierten Energieverbrauch in diesen Bereichen führen. Ein ähnlicher Ansatz wird derzeit für dickwandige keramische Produkte erforscht.

Porosierungsmittel werden vor allem verwendet, um die Wärmeleitfähigkeit von Tonziegeln durch die Bildung von Mikroporen zu vermindern. Auf diese Weise wird die wärmespeichernde Masse der Tonziegel reduziert und, das ist ein zweiter Vorteil der Verwendung von Porosierungsmitteln, es wird weniger Energie für das Brennen benötigt.

Auch die Umgestaltung keramischer Erzeugnisse – z.B. zu dünneren Fliesen, Leichthochlochziegeln, dünnwandigeren Blöcken oder Rohren – kann die Masse reduzieren. Wo technisch machbar, können diese Änderungen den Energieverbrauch und die Emissionen reduzieren.

Eine Reduzierung der benötigten Anmachwassermenge hilft Trocknungsenergie einzusparen. Die Menge des benötigten Anmachwassers hängt hauptsächlich von der Zusammensetzung des Tonminerals und auch von der Korngrößenverteilung ab. Wassersparende Zusätze bestehen aus feuchten Produkten mit anorganischen Maskierungsmitteln oder Komplexbildnern. Sie erlauben eine Reduzierung der Oberflächenspannung des Anmachwassers und eine Immobilisierung von störenden, freien Kationen. Der Anmachwasserbedarf im Aufbereitungsprozess für das Rohmaterial wird reduziert und eine gleiche oder sogar bessere Plastizität wird erreicht. Zusätzlich wird der Energieeinsatz vermindert.

Das automatische Einstellen des Anmachwassers auf die erforderliche Materialplastizität und die Verwendung von Wasserdampf anstelle von Anmachwasser in begrenztem Umfang führt zu einer Reduzierung von Wasser (etwa 3 %), thermischer Energie (etwa 90 kWh/t Produkt) und Elektrizität (etwa 1,5 kWh/t Produkt).

In jedem Fall erleichtert die Zugabe von Dampf beim Extrudieren das Austreten des extrudierten Tons und der exakte Feuchtegehalt, der für den Ton benötigt wird, kann erreicht werden.



Eine signifikante Reduzierung der Brenntemperatur und die Verkürzung der Verweilzeit können durch den Zusatz von hoch reaktiven Sinterhilfsmitteln, wie erdalkali- und alkalireichen Zusätzen, und Glasbildnern. Wie auch immer, die Verwendung solcher Additive ist nur in einigen besonderen Fällen, und nicht für alle keramischen Produkte, möglich. Eine Reduzierung der Garbrandtemperaturen von bis zu 50 K ist möglich. Um Produktionsausfälle und einen Qualitätsrückgang zu vermeiden, sollten normalerweise vor dem Einsatz im großindustriellen Maßstab Vorversuche durchgeführt werden.

#### Medienübergreifende Effekte

Die Verwendung von organischen Porenbildnern kann in steigenden Emissionen an organischen Stoffen und CO in die Luft resultieren. Die Nutzung von Sinterhilfsmitteln erhöht wegen ihres hohen Gehaltes an Alkali-karbonaten die CO<sub>2</sub>-Emissionen.

#### Betriebsdaten

Die Betriebsdaten hängen von der im Einzelfall durchgeführten Maßnahme/Tätigkeit ab.

#### Anwendbarkeit und ökonomische Aspekte

Die Verwendung von Sinterhilfsmitteln und energiehaltigen Porenbildnern spart Energie, insbesondere bei der Ziegelherstellung. Wie schon oben beschrieben ist die Nutzung von energiehaltigen sekundären Rohmaterialien, wie Sägemehl, Polystyrol (Styropor) oder Papierfangstoffe, bei der Herstellung von Tonziegelsteinen möglich. Diese Porenbildner können bis zu 25 % der Gesamtenergie in Form von sekundärer Energie in der Hintermauerziegelproduktion liefern. Die Verwendung von Porenbildnern bei der Produktion von Vormauerziegeln ist wegen ihrer Wirkung auf die technischen Eigenschaften der Ziegel (z.B. Farbe, Dichte) ungewöhnlich.

Wie auch immer, im Allgemeinen hängt die Form und Zusammensetzung der Produkte stark von den Marktanforderungen ab und daher ist die Änderung von keramischen Massen nur in einem begrenzten Umfang und sicherlich nicht in allen Keramiksektoren möglich.

#### Treibende Kraft für die Umsetzung

- höhere Produktionsmenge
- bessere Produktqualität.

#### Referenzanlagen und Referenzliteratur

JUWOE POROTON-Werke Ernst Jungk & Sohn GmbH, Deutschland, Ziegelwerk [4, UBA, 2001] [1, BMLFUW, 2003], [3, CERAME-UNIE, 2003], [23, TWG Ceramics, 2005], [30, TWG Ceramics, 2005]

### 4.2 Staubemissionen

In den nachfolgenden Kapiteln werden Techniken und Maßnahmen zur Vermeidung diffuser (insbesondere Kap. 4.2.1 und 4.2.2) und gefasster Staubemissionen (insbesondere Kap. 4.2.3) beschrieben. Diesbezüglich findet man auch in den BVT-Merkblättern „Emissionen aus der Lagerung“ und „Abwasser- und Abgasbehandlung/-management in der chemischen Industrie“ nützliche Informationen.

#### 4.2.1 Maßnahmen für staubende Vorgänge

##### Beschreibung

Im Folgenden werden verschiedene Maßnahmen vorgestellt, die allein oder in Kombination ausgeführt werden können:

- Kapselung staubender Prozessschritte, wie Mahlen, Sieben und Mischen
- Verwendung ummantelter und belüfteter Trogknetter oder Mischkollergänge
- Filtern der Luft, die bei der Befüllung der Mischer oder Dosiereinrichtungen verdrängt wird
- Speichersilos mit ausreichender Kapazität, Füllstandsanzeigern mit (automatischer) Abschaltung und Filtern zur Behandlung der staubigen Luft, die während der Befüllungsvorgänge verdrängt wird
- Gekapselte Förderbänder für potenziell staubige Rohmaterialien
- bevorzugte Nutzung eines Kreislaufprozesses für pneumatische Fördersysteme
- Materialtransport in geschlossenen Systemen, die bei Unterdruck geführt und deren abgesaugte Luft entstaubt wird
- Verminderung der undichten Stellen, aus denen Luft oder Rieselgut austreten könnten; Geschlossenheit der Anlage.

##### Erreichte Umweltentlastungseffekte

- Minderung der vornehmlich diffusen Staubemissionen
- Lärminderung durch die Kapselung von Maschinen.

##### Medienübergreifende Effekte

- pneumatische Fördersysteme mit Luftzirkulation können Lärmemissionen und einen höheren Energieverbrauch verursachen
- bei der Ausführung von Instandhaltungsarbeiten kann zusätzlicher Abfall entstehen.

##### Betriebsdaten

Die Betriebsdaten hängen von der im Einzelfall durchgeführten Maßnahme/Tätigkeit ab. In jedem Fall stellt eine regelmäßige Wartung und Reparatur sicher, dass undichte Abgasrohre, Speichersilos und Aufbereitungseinheiten oder beschädigte Kapselungen schnell repariert sind.

##### Anwendbarkeit

Die Maßnahmen können grundsätzlich in allen Sektoren der keramischen Industrie, an Alt- und Neuanlagen durchgeführt werden, aber bei der Handhabung feuchter Tone müssen nicht zwangsläufig alle Maßnahmen durchgeführt werden.

##### Wirtschaftliche Aspekte

Die Wirtschaftlichkeit hängt von der im Einzelfall durchzuführenden Maßnahme/Tätigkeit ab. Für Altanlagen kann die Kapselung von Einrichtungen einen mittel- oder langfristigen Umsetzungsplan erfordern.

##### Treibende Kraft für die Umsetzung

- gesetzliche Anforderungen
- Gesundheits- und Sicherheitsbestimmungen für den Arbeitsplatz
- Rohstoffeinsparungen.

Referenzanlagen und Referenzliteratur

[1, BMLFUW, 2003], [2, VITO, 2003], [3, CERAME-UNIE, 2003], [4, UBA, 2001], [23, TWG Ceramics, 2005], [26, UBA, 2005], [30, TWG Ceramics, 2005]

**4.2.2 Maßnahmen für Schüttgutlagerflächen**Beschreibung

Um die vorwiegend diffusen Luftemissionen aus Schüttgutlagern für staubende mineralische Rohmaterialien zu reduzieren, können diese Flächen mit einer Abschirmung, einer Mauer oder einer Umbauung mit vertikaler Begrünung (künstliche oder natürliche Windsperren für den Windschutz offener Haufen) umbaut werden.

Wenn die Staubemissionen an den Abladestellen der Lagerplätze nicht vermieden werden können, können sie durch die Anpassung der Abladehöhe an die wechselnde Höhe der Haufwerke, wenn möglich automatisch, oder durch die Reduktion der Abladegeschwindigkeit reduziert werden. Zusätzlich können die Lagerplätze – vornehmlich in trockenen Regionen - mit Spritzvorrichtungen feucht gehalten werden (wenn die Staubquelle lokal begrenzt ist, kann ein Wassereinspritzsystem installiert werden) und mit Reinigungsfahrzeugen gereinigt werden.

Um der Bildung von diffusem Staub bei Abtragungsvorgängen vorzubeugen, können Saugsysteme genutzt werden. Neubauten können mühelos mit stationären Absaugsystemen ausgestattet werden, während vorhandene Bauten normalerweise besser mit mobilen Systemen und flexiblen Anschlussleitungen ausgerüstet werden.

Erreichte Umweltentlastungseffekte

Reduzierung von vorrangig diffusen Staubemissionen.

Medienübergreifende Effekte

- der Wasserverbrauch steigt wenn Orte feucht gehalten werden
- Anstieg des Energieverbrauchs durch den Einsatz von Saugsystemen
- bei der Ausführung von Instandhaltungsarbeiten kann zusätzlicher Abfall entstehen.

Betriebsdaten

Die Betriebsdaten hängen von der im Einzelfall durchgeführten Maßnahme/Tätigkeit ab.

Anwendbarkeit

Die Maßnahmen können grundsätzlich in allen Sektoren der keramischen Industrie, an Alt- und Neuanlagen durchgeführt werden, aber bei der Handhabung feuchter Tone müssen nicht zwangsläufig alle oben genannten Maßnahmen durchgeführt werden. Manchmal werden auch trockene Rohmaterialien zum Erreichen der gewünschten Eigenschaften benötigt, so dass in diesem Fall eine Befeuchtung nur in begrenztem Umfang durchgeführt werden kann.

Wirtschaftliche Aspekte

Die Wirtschaftlichkeit hängt von der im Einzelfall durchzuführenden Maßnahme/Tätigkeit ab. In diesem Zusammenhang siehe auch Tabelle 4.7.

Treibende Kraft für die Umsetzung

- gesetzliche Anforderungen
- Gesundheits- und Sicherheitsbestimmungen für den Arbeitsplatz.

Referenzanlagen und Referenzliteratur

[2, VITO, 2003], [4, UBA, 2001], [17, Burkart, 2004], [23, TWG Ceramics, 2005], [26, UBA, 2005], [30, TWG Ceramics, 2005]

### 4.2.3 Abscheidungs-/Filtersysteme

In diesem Abschnitt werden einige Techniken, die ausschließlich für die Staubabscheidung eingesetzt werden, beschrieben. Darüber hinaus kann angemerkt werden, dass die meisten der in Abschnitt 4.3.4 beschriebenen Abgasreinigungstechniken nicht nur für die Entfernung von SO<sub>x</sub>, HF und HCl sondern auch für die Entfernung von Staub geeignet sind.

#### 4.2.3.1 Zyklonabscheider

##### Beschreibung und erreichte Umweltentlastungseffekte

In einem Zyklonabscheider werden die Staubpartikel, die aus dem Abgasstrom entfernt werden sollen, durch Fliehkräfte gegen die äußere Wand gepresst und dann durch eine Öffnung am Boden des Aggregats entfernt. Fliehkräfte können erzeugt werden, indem der Gasstrom abwärts in einer Spiralbewegung durch einen zylindrischen Kessel (Zyklonabscheider) oder durch ein rotierendes Flügelrad, das in der Baueinheit eingepasst ist (mechanischer Zyklon(-abscheider)), gelenkt wird.

##### Medienübergreifende Effekte

- der Betrieb von Zyklonabscheidern ist eine bedeutende Lärmquelle
- der Energieverbrauch kann steigen, wenn ein Flügelrad eingesetzt wird
- bei der Ausführung von Instandhaltungsarbeiten kann zusätzlicher Abfall entstehen.

##### Betriebsdaten

Zyklonabscheider arbeiten effizienter bei höheren Schadstoffbeladungen, vorausgesetzt, dass die Vorrichtung nicht verstopft wird.

##### Anwendbarkeit

Der Wirkungsgrad von Zyklonabscheidern ist im Allgemeinen zu niedrig, um die Staubemissionen soweit zu reduzieren, dass sie den Vorschriften zur Luftreinhaltung in der Keramikindustrie genügen. Sie sind deshalb nur als Vorabscheider geeignet und werden oft nach Sprühtrocknungs-, Brech- und Mahlvorgängen verwendet.

##### Wirtschaftliche Aspekte

Die Sammlung und Rückgewinnung von abgeschiedenem Staub führt zu einem reduzierten Rohmaterialverbrauch.

##### Treibende Kraft für die Umsetzung

Rohstoffeinsparungen.

##### Referenzanlagen und Referenzliteratur

[1, BMLFUW, 2003], [2, VITO, 2003], [3, CERAME-UNIE, 2003], [23, TWG Ceramics, 2005]

#### 4.2.3.2 Gewebefilter

##### Beschreibung und erreichte Umweltentlastungseffekte

In einem Gewebefilter durchströmt das Abgas einen Filterschlauch derartig, dass die Staubpartikel an der Filteroberfläche in Form eines Filterkuchens abgeschieden werden. Gewebefilteranlagen erreichen eine hohe Rückhaltung, in Abhängigkeit von der Partikelgröße üblicherweise über 98 und bis zu 99 %.

Die folgende Abbildung 4.3 zeigt die schematische Ansicht eines Gewebefilters mit Druckstoßreinigung [4, UBA, 2001]. Die Regenerierung erfolgt durch einen Druckstoß auf der Reingasseite des Gewebefilters.

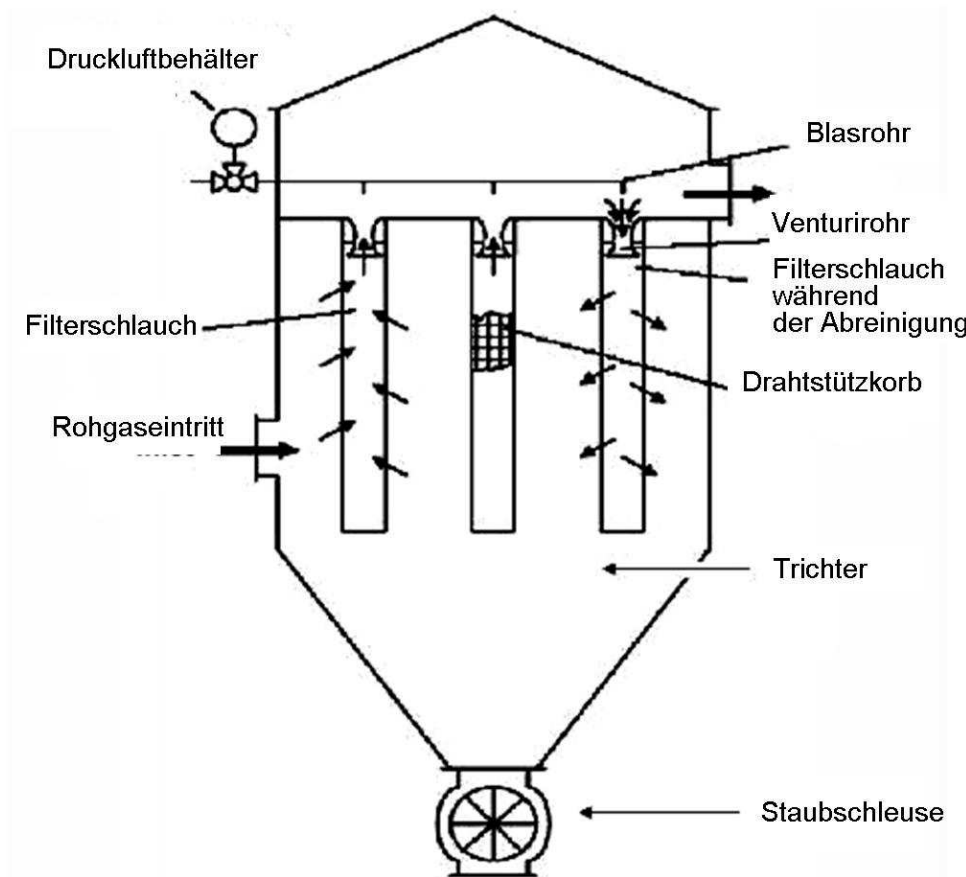


Abbildung 4.3: Schematische Darstellung eines Gewebefilters mit Druckstoßreinigung

#### Medienübergreifende Effekte

- der Betrieb von Gewebefiltern, vor allem mit Druckstoßreinigung, kann Lärmemissionen verursachen und aufgrund der hohen Druckverluste den Stromverbrauch erhöhen.
- bei der Ausführung von Instandhaltungsarbeiten kann zusätzlicher Abfall entstehen.

#### Betriebsdaten und wirtschaftliche Aspekte

Filterschläuche sind in verschiedenen Gewebearten verfügbar, von denen einige eine gute Beständigkeit gegen Säuren und Basen zeigen. Zu den modernen synthetischen Geweben gehören auch Materialien, die ziemlich hohe Temperaturen vertragen, aber bei zu hohen Temperaturen können Gewebefilter nicht betrieben werden. Beispiele für weit verbreitete Filtergewebe zeigt die folgende Tabelle 4.2, die Eigenschaften und relative Preise angibt [3, CERAME-UNIE, 2003]. Insbesondere, wenn ein Gewebefilter als Teil einer trockenen Abgasreinigungseinrichtung für die Ofenabgase verwendet wird (siehe Abschnitt 4.3.4.3), müssen die Filter und die Filterschlauchhalterungen für den Fall der Kondensatbildung korrosionsbeständig sein. Typische Beispieldaten für den Betrieb von Gewebefiltern sind in Tabelle 4.3 aufgelistet. Abbildung 4.4 zeigt Beispiele für Investitionskosten von Filteranlagen, ausgenommen der Kosten für den Einbau und die Filterschläuche [3, CERAME-UNIE, 2003], [23, TWG Ceramics, 2005].

Filterschlauchmaterial	Temperaturbeständigkeit (°C)	Preis (EUR/m <sup>3</sup> )
Baumwolle	80	<5
Polypropylen	100	5
Polyester	150	10 – 12
Nomex (m-Aramid)	220	25
PTFE (Teflon)	280	100 – 120

Tabelle 4.2: Beispiele für die Temperaturbeständigkeit und den Preis von Filterschläuchen

Rohgasstaubbelastung	bis zu 200 g/m <sup>3</sup>
Reingasstaubbelastung	1 – 20 mg/m <sup>3</sup>
Betriebstemperatur	bis zu 250 °C
Betriebskosten	0,03 – 0,1 EUR/t

Tabelle 4.3: Beispiele für Betriebskosten für die Staubabscheidung mit Gewebefiltern

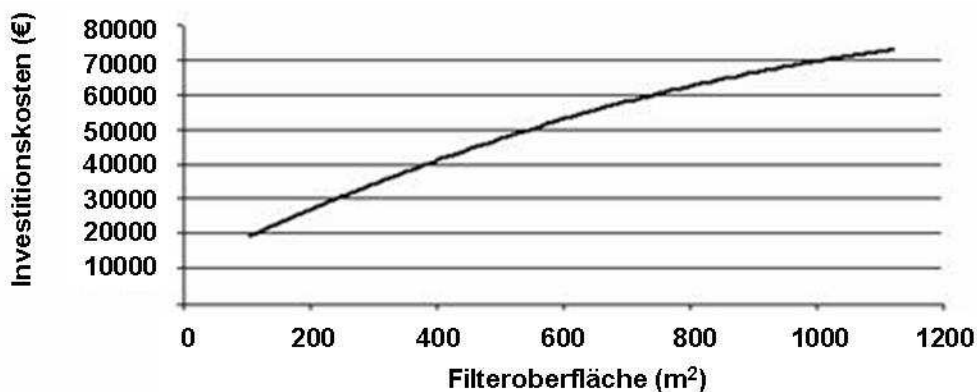


Abbildung 4.4: Beispiele für Investitionskosten als Teil der jährlichen Kosten für Gewebefilteranlagen ohne die Kosten für den Einbau und die Filterschläuche

Selbstreinigende Gewebefilter sollten groß genug sein, um mit einer spezifischen Filterflächenbelastung von weniger als 2 Nm<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup> x min) zu arbeiten, so dass Reingaskonzentrationen im Bereich von 1 – 20 mg/m<sup>3</sup> erreicht werden können. [1, BMLFUW, 2003], [3, CERAME-UNIE, 2003], [23, TWG Ceramics, 2005]. Die Sammlung, Rückgewinnung und Wiederverwertung von abgeschiedenem Staub führt zu einem reduzierten Rohmaterialverbrauch.

Gewebefilter können nicht bei zu hohen Temperaturen und – besonders im Fall von feuchten Abgasen – bei Temperaturen in der Nähe des Taupunktes betrieben werden. Der Grund ist, dass sich die Filter zusetzen können und dann schwer zu trocknen und zu reinigen sind, da sich durch die Reaktionen von Wasser und CaO eine harte Kruste bildet. Das würde die Instandhaltungs- und Stromkosten und die Produktionszeit drastisch erhöhen.

Grundsätzlich sind die laufenden Kosten eines Gewebefilters eng mit der Strommenge verbunden, die benötigt wird, um –wie oben beschrieben– den Druckverlust zu überwinden.

In diesem Zusammenhang siehe auch Tabelle 4.7.

#### Anwendbarkeit

Gewebefilter für die Staubabscheidung aus Abgasen können im Prinzip in allen Sektoren der keramischen Industrie eingesetzt werden, besonders für staubende Vorgänge (Entstaubung von Silos für die Rohmateriallagerung, bei der trockenen Rohmaterialaufbereitung einschließlich Sprühtrocknen, bei trockenen Form- und trockenen mechanischen Bearbeitungs- und Mahlvorgängen). Manchmal ist die Kombination mit Zyklonvorbereitern sinnvoll (siehe Abschnitt 4.2.3.1).

Treibende Kraft für die Umsetzung

- gesetzliche Anforderungen
- mögliche Rohmaterialeinsparungen im Vergleich zu anderen Filtertypen (z.B. nassen Staubabscheider).

Referenzanlagen und Referenzliteratur

Tondach Gleinstätten AG, Ziegel- und Dachziegelwerk, Austria [1, BMLFUW, 2003], [2, VITO, 2003], [3, CERAME-UNIE, 2003], [4, UBA, 2001], [23, TWG Ceramics, 2005], [30, TWG Ceramics, 2005]

**4.2.3.3 Sinterlamellenfilter**Beschreibung und erreichte Umweltentlastungseffekte

Die Hauptelemente dieses Filters sind die starren Filterkörper, die als kompakte Elemente im Filtersystem befestigt sind. Die Filterelemente bestehen aus PTFE, das mit gesintertem Polyethylen ummantelt ist, welches dem Filterelement seine harte Struktur und wasserdichten Eigenschaften gibt. Die Hauptvorteile dieser modernen Filtermedien sind sowohl der sehr hohe Wirkungsgrad der Entstaubung von Abgasen in Kombination mit einem geringen Druckverlust als auch die hohe Beständigkeit gegen abrasiven Verschleiß, wie er vor allem von grobem Keramikstaub hervorgerufen wird.

Die folgende Abbildung präsentiert die schematische Darstellung eines starren Sinterlamellenfilters, der mit einem Druckstoß-Selbstreinigungssystem gereinigt wird [4, UBA, 2001].

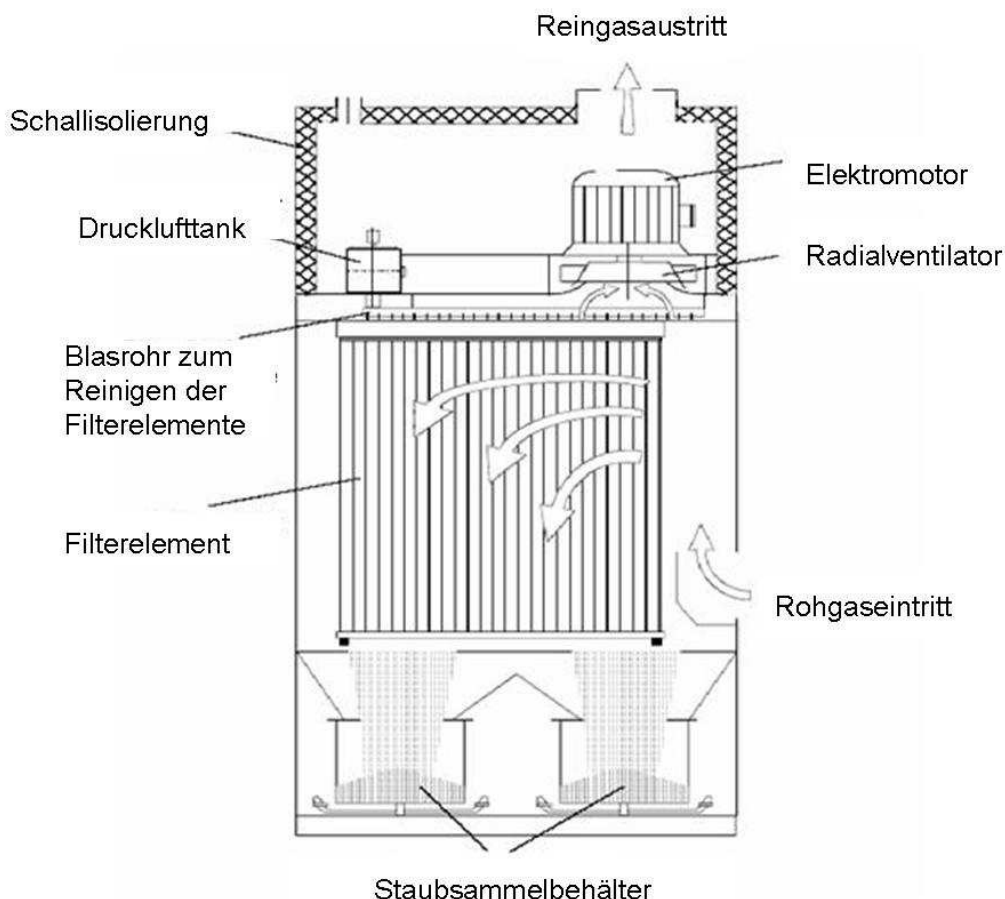


Abbildung 4.5: Schematische Darstellung eines starren Sinterlamellenfilters

### Medienübergreifende Effekte

- der Betrieb von Sinterlamellenfiltern mit einem Druckstoß-Selbstreinigungssystem kann Lärmemissionen und einen zusätzlichen Energieverbrauch verursachen
- bei der Ausführung von Instandhaltungsarbeiten kann zusätzlicher Abfall entstehen.

### Betriebsdaten

Mit diesen Filterelementen können Abscheidegrade von bis zu 99,9 % mit Reingaskonzentrationen von  $<1 \text{ mg/m}^3$  erreicht werden. So ist es möglich, das Reingas an den Arbeitsplatz zurückzuführen [4, UBA, 2001].

### Anwendbarkeit

Die Verwendung von Sinterlamellenfiltern ermöglicht die Abtrennung von anfallendem feuchten Staub, z.B. beim Sprühglasieren. Dieses Filtersystem macht eine direkte Rückführung von Glasurpartikeln, die aus dem Abgas der Spritzkabine abgeschieden wurden, möglich. Eine vorgelagerte Beruhigungszone garantiert, dass der Staub im System relativ trocken ist. Im Idealfall fallen die abgeschiedenen Glasurpartikel als rieselfähiges Pulver im Filtersystem an.

### Wirtschaftliche Aspekte

Normalerweise sind die Investitions- und Betriebskosten von Sinterlamellenfiltern deutlich höher als die für Gewebefilter. Allerdings können durch die Rückführung des gereinigten Abgases in den Arbeitsplatzbereich Energiekosten eingespart werden, die entstehen würden, wenn große Frischluftvolumenströme aufgeheizt werden müssen, um angemessene Arbeitsplatztemperaturen bereitzustellen.

### Treibende Kraft für die Umsetzung

- gesetzliche Anforderungen
- Gesundheits- und Sicherheitsbestimmungen für den Arbeitsplatz
- Rohmaterialeinsparungen
- Energieeinsparungen.

### Referenzanlagen und Referenzliteratur

Österreichische Sanitär-, Keramik- und Porzellan-Industrie AG, Sanitärkeramikwerk, Österreich [1, BMLFUW, 2003], [4, UBA, 2001], [32, TWG Ceramics, 2006]

## **4.2.3.4 Nasse Staubabscheider**

### Beschreibung und erreichte Umweltentlastungseffekte

Mit nassen Staubabscheidern wird der Staub aus den Abgasströmen entfernt, indem der Gasstrom in engen Kontakt mit einer Waschflüssigkeit (normalerweise Wasser) gebracht wird, so dass die Staubpartikel in der Flüssigkeit zurückgehalten werden und weggespült werden können. Nasse Staubabscheider können nach der Bauart und den Arbeitsprinzipien unterschieden werden (z.B. Venturiwäscher).

### Medienübergreifende Effekte

Mit der nassen Abscheidetechnik gehen Schadstoffe von der Luft in das Wasser über, so dass eine zweite Anlage für die Reinigung des nassen Abfallproduktes (Suspension) erforderlich ist, woraus ein zusätzlicher Energieverbrauch resultieren kann.



Betriebsdaten

Es wurden erreichbare Reingaskonzentrationen im Bereich von 20 – 50 mg/m<sup>3</sup> berichtet [1, BMLFUW, 2003], [4, UBA, 2001]. In diesem Zusammenhang siehe auch Table 3.33.

Anwendbarkeit

Nasse Staubabscheider sind besonders geeignet für die Reduktion von feuchten oder nassen Staubemissionen insbesondere von Sprühtrocknungsprozessen, wenn sie in Kombination mit Zyklonabscheidern eingesetzt werden. Sie sind besonders vorteilhaft, wenn das Spülwasser wiederverwendet werden kann.

Wirtschaftliche Aspekte

Im Hinblick auf die Betriebskosten müssen die Waschflüssigkeit und die Prozessabwasserreinigung mit berücksichtigt werden. In der Regel werden kleinere Anlagen, die einen Abgasstrom mit niedriger Konzentration behandeln, viel teurer sein (pro Volumeneinheit) als große Anlagen, die einen Strom mit einer hohen Schadstoffbelastung reinigen.

Treibende Kraft für die Umsetzung

Gesetzliche Anforderungen.

Referenzanlagen und Referenzliteratur

Österreichische Sanitär-, Keramik- und Porzellan-Industrie AG, Sanitärkeramikwerk, Österreich [1, BMLFUW, 2003], [2, VITO, 2003], [4, UBA, 2001], [10, Navarro, 1998], [17, Burkart, 2004], [20, CERAME-UNIE, 2004], [23, TWG Ceramics, 2005], [32, TWG Ceramics, 2006]

**4.2.3.5 Elektrofilter (E-Filter)**Beschreibung und erreichte Umweltentlastungseffekte

In einem Elektrofilter passiert das Abgas eine Kammer mit zwei Elektroden. An der ersten Elektrode wird eine Hochspannung (bis zu 100 kV) angelegt, die das Abgas ionisiert. Die gebildeten Ionen lagern sich an die Staubpartikel aus dem Abgas an, so dass diese Partikel elektrisch aufgeladen werden. Elektrostatische Kräfte stoßen die aufgeladenen Staubpartikel von der ersten Elektrode ab und ziehen sie an der zweiten Elektrode an, auf der sie dann abgelagert werden. So werden die Staubpartikel aus dem Abgasstrom entfernt.

Medienübergreifende Effekte

- das Explosionsrisiko steigt, besonders beim Einsatz trockener Elektrofiltersysteme
- der Energieverbrauch steigt beim Einsatz von E-Filtern (aber der geringere Druckverlust im Vergleich zu anderen Filtersystemen kann zu einem niedrigeren elektrischen Energieverbrauch der Abgasventilatoren führen)
- bei der Ausführung von Instandhaltungsarbeiten kann zusätzlicher Abfall entstehen.

Betriebsdaten und Wirtschaftliche Aspekte

Die folgende Tabelle 4.5 listet typische Betriebs- und Kostenangaben für Elektrofilter auf [3, CERAME-UNIE, 2003], [23, TWG Ceramics, 2005], [26, UBA, 2005], [28, Schorcht, 2005].

Abgasvolumen	Bis zu 100.000 m <sup>3</sup> /h
Gasgeschwindigkeit	0,5 – 3 m/s
Rohgasstaubbelastung	Bis zu 100 g/m <sup>3</sup>
Reingasstaubbelastung	5 – 50 mg/m <sup>3</sup>
Betriebstemperatur	Bis zu 450 °C
Spannung	10 – 100 kV
Energieverbrauch	0,05 – 2 kWh/1000 m <sup>3</sup>
Investitionskosten	EUR 1 – 3 million
Betriebskosten	0,1 – 0,2 EUR/t

**Tabelle 4.4: Betriebsdaten und Kosten von Elektrofiltern**

In diesem Zusammenhang siehe auch Tabelle 4.7.

Beim Betrieb eines Elektrofilters sind relativ hohe Instandhaltungskosten zu berücksichtigen.

Es wurde berichtet, dass bei der Herstellung von Blähtonerzeugnissen in einem Drehrohröfen, der mit einem Elektrofilter ausgestattet ist, Reingasstaubkonzentrationen von weniger als 50 mg/m<sup>3</sup> erreichbar sind (siehe Abschnitt 3.3.4.1) [17, Burkart, 2004].

### Anwendbarkeit

Elektrofilter werden in der keramischen Industrie in erster Linie bei der Herstellung von Blähtonerzeugnissen an den Drehrohröfen und trockenen Mahleinrichtungen verwendet, wo große Volumenströme bei hohen Temperaturen mit einer relativ hohen Betriebssicherheit behandelt werden müssen.

### Treibende Kraft für die Umsetzung

- gesetzliche Anforderungen
- Rohstoffeinsparungen.

### Referenzanlagen und Referenzliteratur

Werk Hallerndorf-Pautzfeld, Deutschland (Herstellung von Blähtonerzeugnissen), Werk Lamstedt, Deutschland (Herstellung von Blähtonerzeugnissen) [26, UBA, 2005], [2, VITO, 2003], [3, CERAME-UNIE, 2003], [17, Burkart, 2004], [23, TWG Ceramics, 2005], [28, Schorcht, 2005], [30, TWG Ceramics, 2005]

## 4.3 Gasförmige Verbindungen

### 4.3.1 Reduzierung des Eintrags von Schadstoffvorläufersubstanzen

#### Beschreibung und Umweltentlastungseffekte

##### **Schwefeloxide**

- Die Verwendung von schwefelarmen Rohmaterialien kann die SO<sub>x</sub>-Emissionen erheblich reduzieren.
- Im Fall von schwefelreichen Rohmaterialien reduziert die Zugabe von schwefelarmen Additiven (z.B. Sand) oder schwefelarmem Ton die SO<sub>x</sub>-Emissionen durch einen Verdünnungseffekt.
- Die Verwendung schwefelarmer Brennstoffe, wie Erdgas oder Flüssiggas (Propan/Butan), führt zu reduzierten SO<sub>x</sub>-Emissionen.

##### **Stickstoffoxide**

- Die Minimierung von Stickstoffverbindungen in den Rohmaterialien und Additiven kann die NO<sub>x</sub>-Emissionen reduzieren.

##### **Anorganische Chlorverbindungen**

- Die Verwendung chlorarmer Rohmaterialien und Additive kann die Chloremissionen bedeutend reduzieren.

##### **Anorganische Fluorverbindungen**

- Die Verwendung fluorarmer Rohmaterialien und Additive kann die Fluoridemissionen bedeutend reduzieren.
- Im Fall von fluorreichen Materialien reduziert die Zugabe von fluoridarmen Additiven zur keramischen Masse (z.B. Sand) oder fluoridarmer Ton die Fluoridemissionen durch einen Verdünnungseffekt.

##### **Flüchtige organische Verbindungen (VOC)**

Die Minimierung von organischen Verbindungen in den Rohmaterialien, Additiven, Bindemitteln usw. kann die VOC-Emissionen reduzieren. Zum Beispiel werden organische Additive wie Sägemehl und Polystyrol vorwiegend bei der Herstellung poröser Produkte zur Rohmaterialgemenge dazugegeben. Diese organischen Zusätze verursachen VOC-Emissionen (in diesem Zusammenhang siehe **Table 3.4** bezüglich Rohgaswerten der Ziegelherstellung bei Nutzung verschiedener Porenbildner). Die Bildung von VOC-Emissionen kann im Prinzip durch die Umstellung auf anorganische Porenbildner vermieden werden, z.B. auf Perlit (ein glasartiges vulkanisches Material, das 3 bis 4 % Wasser enthält. Bei Erhitzung (800 bis 1100 C) dehnt sich das Material infolge im Inneren gebildeter Dampfblasen auf das 15 bis 20fache seines Ausgangsvolumens aus).

#### Medienübergreifende Effekte

Die Minimierung organischer Verbindungen in den Rohmaterialien kann den Energieverbrauch für den Brennprozess erhöhen.

#### Betriebsdaten und Anwendbarkeit

Die Minderung des Eintrags von Schadstoffvorläufersubstanzen ist eine bevorzugte Maßnahme, um Schadstoffe im Abgas des Ofens zu reduzieren, weil das Problem an der Quelle gelöst wird. Besonderen Beschränkungen geschuldet ist die Anwendbarkeit in der Praxis aber manchmal schwierig. Mithin ist die Verwendung von Rohmaterialien und Additiven mit einem geringen Gehalt an Schadstoffvorläufersubstanzen grundsätzlich in allen Sektoren der Keramikindustrie möglich. Allerdings müssen die Anwendbarkeit im Einzelfall und mögliche Probleme mit der Produktqualität (z.B. hinsichtlich Farbe, Druckfestigkeit und Frostbeständigkeit) immer in Betracht gezogen und die Rohmaterialgemenge sorgfältig getestet werden.

Zum Beispiel können anorganische Porenbildner technische Schwierigkeiten verursachen, weil diese Substanzen die Tendenz haben, sich zu plötzlich und zu heftig auszudehnen, so dass die Porenbildung schwer zu kontrollieren ist und die Produktqualität sinkt. Im Ergebnis dessen ist eine Umstellung von organischen zu anorganischen Porenbildnern wahrscheinlich in der Praxis nicht durchführbar. Es gibt ein Ziegelwerk in Flandern, von dem bekannt ist, dass es Perlit als Additiv verwendet. Dies betrifft jedoch einen Perlit, der schon ausgedehnt und gemahlen ist, und eher zur Abmagerung von reichem Rupelton (*engl.* Boom clay) denn als Porenbildner verwendet wird.

Bei der Herstellung von Blähtonerzeugnissen ist eine Reduzierung der VOCs nicht möglich, weil die VOCs als Porenbildner genutzt werden.

Zudem ist der Schadstoffgehalt der Rohmaterialien ein bedeutender, aber nicht immer der entscheidende Parameter für die Schadstoffemissionen beim Brennen, weil diese Emissionen von verschiedenen Kriterien, z.B. den Betriebsparametern des Brennprozesses, abhängen. Somit zieht eine Verringerung des Schadstoffgehaltes im Rohmaterial um 50 % nicht immer eine Reduzierung der Schadstoffemissionen in derselben Höhe nach sich, wie Erfahrungen zur Wechselbeziehung zwischen dem Fluorgehalt des Tons und den HF-Emissionskonzentrationen gezeigt haben.

Bezüglich des Schwefelproblems muss erwähnt werden, dass die übliche Lage der Grube in der Nähe des Werkes die Auswahl an schwefelarmen Rohmaterialien einschränkt (siehe auch 'Wirtschaftliche Aspekte').

### Wirtschaftliche Aspekte

Für ein Unternehmen, das eine Grube mit hohem Schwefelgehalt hat, setzt die Verwendung oder Beimengung von schwefelarmen Tonmaterialien eine Versorgung mit Tonmaterial voraus, das an anderer Stelle durch andere abgebaut wurde. Dies kann beträchtliche Mehrkosten zur Folge haben, wegen zusätzlicher Transportkosten einerseits (1998 auf 0,05 EUR/t/km geschätzt) und steigender Gewinnungskosten andererseits (1998 auf 2,50 EUR/t geschätzt), die im Vergleich zu den Kosten für Ton aus ihrer eigenen Grube an Dritte gezahlt werden müssten [2, VITO, 2003]. Die Minimierung organischer Verbindungen in den Rohmaterialien kann auch wegen möglicher längerer Transportwege von externen Zulieferern zum Werk die Kosten erhöhen.

Maßnahmen zur Zugabe von schwefelarmen Massezusätzen und/oder solchen aus kalziumhaltigen Ton (siehe auch Abschnitt 4.3.2) können erhebliche Investitionskosten zur Folge haben (bis zu 850.000 EUR), z.B. für zusätzliche Lagerkapazitäten und für die Modifizierung des Maschinenparks, der für die Aufbereitung des Rohmaterials, die Formgebung und das Trocknen verwendet wird. Sie können auch zusätzliche Betriebskosten und Materialkosten verursachen.

### Treibende Kraft für die Umsetzung

- gesetzliche Anforderungen
- Vermeidung von teuren nachgeschalteten Minderungstechniken.

### Referenzanlagen und Referenzliteratur

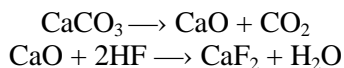
[2, VITO, 2003], [3, CERAME-UNIE, 2003], [4, UBA, 2001], [23, TWG Ceramics, 2005], [30, TWG Ceramics, 2005]

### 4.3.2 Zugabe von kalziumreichen Additiven

#### Beschreibung und Umweltentlastungseffekte

Die Zugabe von feinem Kalkstein oder Kreide zu keramischen Massen hat einen Verdünnungseffekt, aber die kalziumreichen Zusätze reagieren auch bei ziemlich geringen Temperaturen zwischen 700 und 850 °C mit Rohmaterialien, die Fluoride und Chloride enthalten, und Schwefeloxiden, die während des Brennens aus Rohmaterialien, die Schwefel enthalten, gebildet werden, um so das Fluor, das Chlor und den Schwefel im gebrannten Scherben zu binden.

Die folgende chemische Reaktion dient dazu, die Fluoride durch die Bildung von stabilem Kalziumfluorid zu "fixieren", und kann so die HF-Emissionen erheblich reduzieren.



Eine ähnliche Reaktion dient auch dazu, die Chloride und das SO<sub>x</sub>, wie oben erläutert, im keramischen Scherben zu binden, und kann so auch die HCl- und SO<sub>x</sub>-Emissionen erheblich reduzieren.

Allerdings hängt die Konzentration von HF, HCl und SO<sub>x</sub> im Abgas nicht notwendigerweise mit dem CaO-Gehalt im Rohmaterial zusammen, weil die Erfahrung zeigt, dass sogar feine Karbonate oder CaO, die beim Brennen in den Tonprodukten vorhanden sind, eine geringe oder gar keine Auswirkung auf die Emissionshöhe von HF, HCl und SO<sub>2</sub>/SO<sub>3</sub> haben können. Dies liegt vor allem an den hohen Brenntemperaturen im Ofen, die zur Zersetzung von CaSO<sub>4</sub>, CaCl<sub>2</sub> und CaF<sub>2</sub> führen. Bei einer Temperatur von etwa 850 °C beginnt CaF<sub>2</sub>, sich zu zersetzen. Bei hohen Temperaturen (über 900 °C) reagiert zudem das CaO mit Silikaten zu Kalziumsilikaten, was die Menge an verfügbarem CaO reduziert.

#### Medienübergreifende Effekte

Die Zugabe kalziumreicher Additive kann den Energieverbrauch für das Brennen erhöhen, wobei das einerseits am Auftreten endothermer Reaktionen im Ofen und andererseits an den benötigten, längeren Brennzeiten liegt. Die Zugabe von Kalziumkarbonaten erhöht auch die CO<sub>2</sub>-Emissionen.

#### Betriebsdaten und Anwendbarkeit

Kalziumreiche Additive können eine Abnahme der Fluoremissionen um 10 bis 75 % herbeiführen (abhängig vom Rohmaterial und der höchsten Brenntemperatur). Ihre Zugabe kann aber die Qualität des Endproduktes beeinflussen, daher kann diese Maßnahme in der Praxis nicht uneingeschränkt angewandt werden [4, UBA, 2001].

Hauptanwendungsbereich ist die Ziegelindustrie, wenn die technischen Eigenschaften des Endproduktes erfüllt werden können. In der Feuerfestindustrie ist diese Maßnahme nicht üblich. Qualitätsaspekte, die durch die Zugabe von Kalk beeinträchtigt werden, sind die folgenden:

- Farbe: Die Erhöhung der Zugabe von Kalk verursacht einen Farbwechsel mit Tendenz zu helleren (gelberen) Schattierungen. Bei der Herstellung von Ziegeln für Innenwände wird eine leichte Verfärbung geduldet, bei der Herstellung von Vormauerziegeln kann eine solche Verfärbung aber Verkaufsprobleme verursachen; aus diesem Grund ist es nicht möglich, diese Additive in allen Ziegelmassen einzusetzen. Die Zugabe von  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  kann die gelbliche Verfärbung teilweise kompensieren
- Konzentration wasserlöslicher Sulfate: diese steigt mit der steigenden Menge von zugesetztem  $\text{CaCO}_3$ . Wasserlösliche Sulfate sind teilweise der Grund für Ausblühungsprobleme auf dem Mauerwerk
- Druckfestigkeit: Die Zugabe von Kalziumkarbonat kann einen leicht positiven aber auch einen leicht negativen Effekt auf die Druckfestigkeit haben
- Schwindungsverhalten: Die Zugabe von Kreide hat einen ziemlich unvorhersehbaren Effekt auf das Schwindungsverhalten des Produktes während des Trocknens und Brennens
- Wasseraufnahme: Die spontane Wasseraufnahme steigt mit zunehmender Menge an zugesetztem  $\text{CaCO}_3$ , und im Ergebnis steigt der Sättigungskoeffizient an. Dieses führt zu einer Abnahme der Frostbeständigkeit der Ziegel und einer zunehmenden Wahrscheinlichkeit von Ausblühungen. Diese Effekte sind eher bei Ziegeln für Innenwände als bei Vormauerziegeln tolerierbar
- Blähtonerzeugnisse dürfen maximal 3 % CaO enthalten, andernfalls wird die Kornfestigkeit maßgeblich reduziert und über 5 % wird wegen übermäßiger Verflüssigung zusätzlich die Ausdehnung mangelhaft [2, VITO, 2003].

### Wirtschaftliche Aspekte

Gestiegene  $\text{CO}_2$ -Emissionen, die durch die Verwendung kalziumreicher Additive hervorgerufen wurden, können die Kosten infolge gesetzlicher Anforderungen (z.B. Emissionshandel) erhöhen. Außerdem können Änderungen im Schwindungsverhalten von keramischen Produkten die mechanische Bearbeitung während der Herstellung beeinflussen.

Maßnahmen zur Zugabe von schwefelarmen Massezusätzen und/oder solchen aus kalziumhaltigen Ton (siehe auch Abschnitt 4.3.1) können erhebliche Investitionskosten zur Folge haben (bis zu 850.000 EUR), z.B. für zusätzliche Lagerkapazitäten und für die Modifizierung des Maschinenparks, der für die Aufbereitung des Rohmaterials, die Formgebung und das Trocknen verwendet wird. Sie können auch zusätzliche Betriebskosten (Materialkosten) mit sich bringen.

### Treibende Kraft für die Umsetzung

- gesetzliche Anforderungen
- Vermeidung von teuren nachgeschalteten Minderungstechniken.

### Referenzanlagen und Referenzliteratur

[2, VITO, 2003], [3, CERAME-UNIE, 2003], [4, UBA, 2001], [23, TWG Ceramics, 2005], [30, TWG Ceramics, 2005]

### 4.3.3 Prozessoptimierung

#### 4.3.3.1 Optimierung der Brennkurve

##### Beschreibung, Umweltentlastungseffekte und Betriebsdaten

Sowohl die Aufheizgeschwindigkeit als auch die Höhe der Brenntemperatur können die SO<sub>x</sub>- und HF-Emissionen beeinflussen:

- Das Reduzieren der Aufheizgeschwindigkeit im untersten Temperaturbereich (bis zu 400 °C) begünstigt die Resorption von HF durch die Bildung von CaF<sub>2</sub>, die eine Abnahme der HF-Emissionen zur Folge hat. Ein ähnlicher Effekt trifft auch auf die SO<sub>x</sub>-Emissionen zu. Sie werden normalerweise durch die Oxidation von Pyrit und/oder die Dissoziation von Kalziumsulfat, das in der keramischen Masse vorhanden ist, gebildet.
- Durch eine Erhöhung der Aufheizgeschwindigkeit im Temperaturbereich zwischen 400 °C und der Brenntemperatur wird die Sintertemperatur schneller erreicht. Im Ergebnis wird die Freisetzung der Emissionen durch Diffusion begrenzt und die Emissionen nehmen ab.
- Die Höhe der Brenntemperatur beeinflusst die Zersetzung von Sulfaten. Je niedriger die Brenntemperatur, desto weniger Zersetzung, und umso niedriger sind demzufolge die SO<sub>x</sub>-Emissionen. Das Absenken der Brenntemperatur kann durch den Zusatz von Flussmitteln zum Rohmaterialgemenge erreicht werden.
- Schnellere Brennzyklen führen im Allgemeinen zu reduzierten Fluoridemissionen. Die Beschaffenheit des Rohmaterials beeinflusst die Fluorfreisetzung, aber für jedes einzelne keramisches Produkt ist die Brennzeit oberhalb einer Temperatur von 800 °C entscheidend.
- Die Überwachung des Sauerstoffgehaltes in Brennprozessen maximiert den feuerungstechnischen Wirkungsgrad.

Die folgende Abbildung zeigt die Temperaturbereiche der Schadstofffreisetzung bei einer beispielhaften Temperaturkurve für das Brennen von Ziegeln [4, UBA, 2001], [30, TWG Ceramics, 2005].

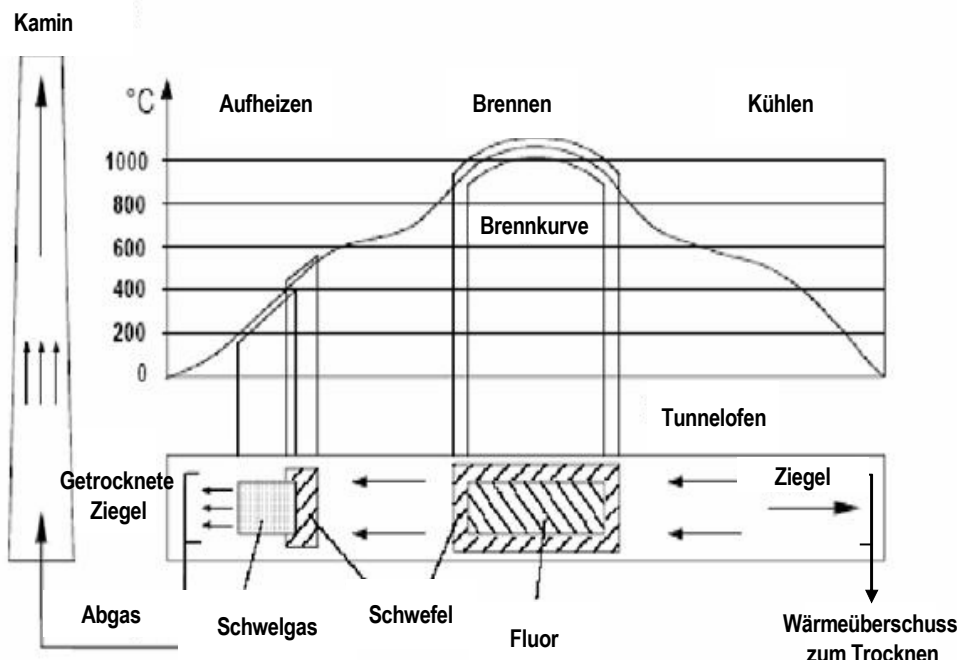


Abbildung 4.6: Temperaturbereiche der Schadstofffreisetzung bei einer beispielhaften Temperaturkurve für das Brennen von Ziegeln

### Medienübergreifende Effekte

Nicht relevant.

### Anwendbarkeit und wirtschaftliche Aspekte

Eine Optimierung der Brennkurve/Prozessführung kann in allen Sektoren der Keramikindustrie durchgeführt werden, es muss aber angemerkt werden, dass in der Praxis die Brennkurven in der Ton verarbeitenden Industrie in Hinblick auf die Produktqualität und den Energieverbrauch optimiert werden. Daher können Brennkurven nur geändert werden, wenn die technischen Eigenschaften des Endproduktes dies erlauben; und wenn Brennkurven aus Emissionsgründen geändert werden, sind zusätzliche Kosten zu berücksichtigen.

### Treibende Kraft für die Umsetzung

- gesetzliche Anforderungen
- Vermeidung von teuren nachgeschalteten Minderungstechniken
- energieeffiziente Ofenfahrweise.

### Referenzanlagen und Referenzliteratur

[2, VITO, 2003], [3, CERAME-UNIE, 2003], [4, UBA, 2001], [23, TWG Ceramics, 2005]

## **4.3.3.2 Reduzierung des Wasserdampfgehaltes in den Ofengasen**

### Beschreibung, Umweltentlastungseffekte und Betriebsdaten

Die Reduzierung der Wasserdampfgehalte in den Ofengasen führt normalerweise zu niedrigeren Emissionsraten für Fluoride, weil der Grundmechanismus für die Freisetzung von Fluor aus Tonmineralien die Pyrohydrolyse ist. Die Reaktion findet bei Temperaturen von 800 °C und aufwärts statt.

### Medienübergreifende Effekte, Anwendbarkeit und wirtschaftliche Aspekte

In Laborversuchen wurde herausgefunden, dass das Reduzieren des Wassergehaltes in der Ofenatmosphäre sowohl zu reduzierten HF- als auch SO<sub>x</sub>-Emissionen führte. In der Praxis ist eine Reduzierung des Wassergehaltes in der Ofenatmosphäre technisch nur schwer zu erreichen, wenn man bedenkt, dass das Wasser bei der Verbrennung der zum Heizen des Ofens verwendeten fossilen Brennstoffe produziert wird. Diese Wasserproduktion kann nur vermieden werden, wenn der Ofen entweder indirekt, z.B. mit gasbefeuelten Strahlrohrbrennern [5, InfoMil, 2003], oder elektrisch beheizt wird, dies würde aber eine grundlegende Änderung des Ofendesigns erfordern und einen höheren Energieverbrauch verursachen.

Im Prinzip ist die Befuerung der Öfen europaweit in den Sektoren Ziegel und Dachziegel, Steinzeugrohre, Feuerfest- und Blähtonerzeugnisse nur mit fossilen Brennstoffen ökonomisch machbar. Daher ist das elektrische oder indirekte Beheizen der Öfen in diesen Sektoren eigentlich nicht anwendbar (das elektrische Beheizen wird nur für Kleinserien von Spezialprodukten in der Feuerfestindustrie eingesetzt). Ein realistischeres Anwendungspotential hat die Reduzierung des Wasserdampfgehaltes in den Ofengasen hingegen in den Sektoren Wand- und Bodenfliesen, Tafelgeschirr und Dekorationsartikel, Sanitärkeramik, technische Keramik und keramisch gebundene Schleifmittel durch das Beheizen der Öfen mit Strom (bei der Herstellung von technischer Keramik werden elektrisch beheizte Öfen in begrenztem Umfang eingesetzt) oder indirekt mit Strahlrohrbrennern [5, InfoMil, 2003] (Herdwagenöfen oder kleine Rollenöfen können im Prinzip für eine Produktion kleineren Umfangs mit diesen Brennern ausgestattet werden).

### Treibende Kraft für die Umsetzung

- gesetzliche Anforderungen
- Vermeidung von nachgeschalteten Minderungstechniken.



Referenzanlagen und Referenzliteratur

[2, VITO, 2003], [3, CERAME-UNIE, 2003], [5, InfoMil, 2003], [23, TWG Ceramics, 2005]

### 4.3.3.3 Interne Schwelgasverbrennung

#### Beschreibung und Umweltentlastungseffekte

VOC-Emissionen, die in der Aufheizzone des Ofens als Ergebnis der Zersetzung oder der unvollständigen Verbrennung von organischen Verbindungen im Rohmaterialgemenge entstehen (die sogenannten Schwelgase), können anschließend im Ofen verbrannt werden, vorausgesetzt, der Ofen wurde besonders modifiziert. Eine interne Verbrennung kann durch das Rückführen der Schwelgase aus der Aufheizzone des Ofens in die Brennzone erreicht werden, wo sie aufgrund der hier vorherrschenden höheren Temperaturen weiter verbrannt werden. Um das zu erreichen, muss der Ofenbereich, in dem die VOC-Emissionen entstehen (die sogenannte Schwelgaszone), vom Rest des Ofens getrennt werden. Das kann durch den Einbau von einem oder mehreren Schiebetoren in den Ofen oder mit einer speziellen Absaugeinrichtung für die Schwelgase erreicht werden. Mit dieser Technik werden nicht nur die VOC-Emissionen sondern auch die CO-Emissionen bedeutend reduziert. Die folgende Abbildung zeigt die schematische Darstellung einer internen Schwelgasverbrennung [4, UBA, 2001], [30, TWG Ceramics, 2005].

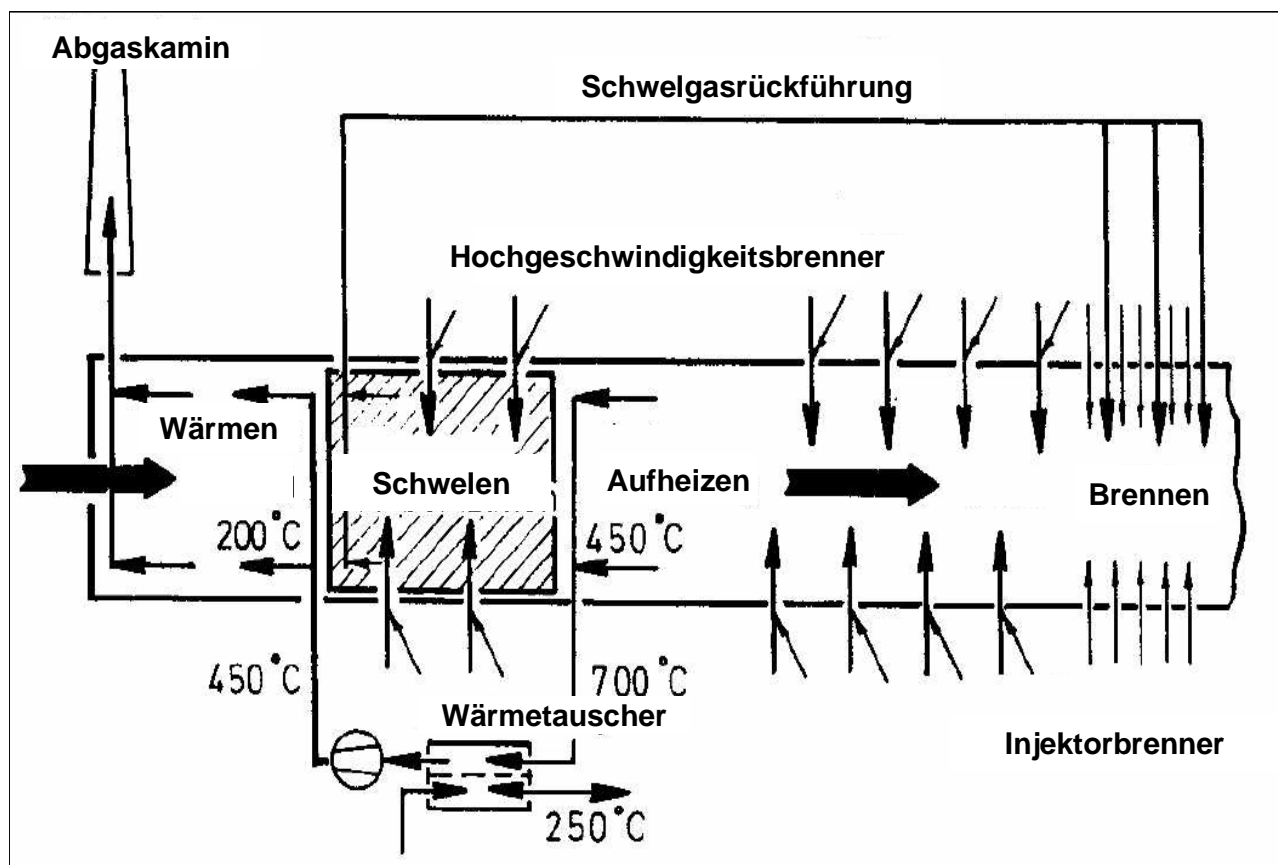


Abbildung 4.7: Schematische Darstellung einer internen Schwelgasverbrennung

#### Medienübergreifende Effekte

Die Schwelgasverbrennung im Ofen kann den Gesamtenergieverbrauch erhöhen, besonders wenn eine zusätzliche Befuerung mit (Hochgeschwindigkeits-)Brennern erfolgen muss, um die Schwelgase aus der Aufheizzone zu verbrennen.

### Betriebsdaten und Anwendbarkeit

Systeme für die interne Schwelgasverbrennung sind in Deutschland bereits seit einiger Zeit im Einsatz, insbesondere in ein paar Dutzend Ziegelwerken. Diese Systeme ermöglichen es, die VOC-Emissionen erheblich zu reduzieren, aber haben den praktischen Nachteil, dass sie oft den normalen Ofenbetrieb beeinträchtigen, mit dem Ergebnis, dass dieser schwer zu kontrollieren ist. Das Blockieren von Toren ist zum Beispiel ein bekanntes Problem bei Systemen, die mit Schiebetoren im Ofen arbeiten. Wenn ein Tunnelofen als einfacher Gegenstromwärmetauscher verwendet wird, führt die Störanfälligkeit der ofeninternen thermischen Nachverbrennung, oft zu Problemen bei der Ofenfahrweise oder zu einem höheren Betriebskostenaufwand. Vermutlich werden externe Schwelgasnachverbrennungssysteme aus diesen Gründen in den letzten Jahren bevorzugt, besonders bei Neuanlagen.

Diese Technik ist nicht bei der Herstellung von Blähtonerzeugnissen anwendbar, weil es dort das Problem gibt, dass Trocknen und Brennen zusammen stattfinden, was zu Gasen mit einem hohen Wassergehalt führt.

Beim Anwenden dieser Technik können Reingaswerte für Gesamtkohlenstoff (Gesamt-C) von etwa 15 mg Gesamt-C/m<sup>3</sup> erreicht werden, wenn die Rohgaswerte bei 250 mg Gesamt-C/m<sup>3</sup> liegen [4, UBA, 2001].

### Wirtschaftliche Aspekte

Die interne Schwelgasverbrennung ist wegen der komplizierten Brenn- und Regelungstechniken ein verhältnismäßig teures System im Hinblick auf die Instandhaltungskosten.

In diesem Zusammenhang siehe Tabelle 4.7.

### Treibende Kraft für die Umsetzung

- gesetzliche Anforderungen
- Vermeidung von nachgeschalteten Minderungstechniken.

### Referenzanlagen und Referenzliteratur

[2, VITO, 2003], [3, CERAME-UNIE, 2003], [4, UBA, 2001], [23, TWG Ceramics, 2005]

#### **4.3.3.4 NO<sub>x</sub>-arme Brenner (Low-NO<sub>x</sub>-Brenner)**

##### Beschreibung, Umweltentlastungseffekte und Betriebsdaten

Emissionen von Stickstoffoxiden entstehen beim Brennen keramischer Produkte, z.B. von Feuerfestprodukten bei Temperaturen von über 1300 °C. Diese NO<sub>x</sub>-Emissionen können durch den Betrieb spezieller NO<sub>x</sub>-armer Brenner verringert werden. Diese Brenner sind behilflich bei der Reduzierung der Flammentemperatur und somit des thermischen und (teilweise) des brennstoffbedingten NO<sub>x</sub>. Die NO<sub>x</sub>-Reduzierung wird durch die Zuführung von Spülluft zur Absenkung der Flammentemperatur oder durch einen gepulsten Betrieb der Brenner erreicht.

##### Medienübergreifende Effekte

Nicht relevant.

### Anwendbarkeit

Die Anwendbarkeit und die Wirksamkeit von NO<sub>x</sub>-armen Brennern hängen von verschiedenen Faktoren, wie der endgültigen Brenntemperatur, ab. Es wird in einigen Fällen von einem Mangel an Effizienz bei Temperaturen von über 1.400 °C berichtet. Diesbezüglich kann man auch im BVT-Merkblatt „Glasindustrie“, in welchem NO<sub>x</sub>-arme Brenner ebenfalls aufgeführt werden, ergänzende Informationen finden. Der Einsatz von NO<sub>x</sub>-armen Brennern kann auch aufgrund von Qualitätsanforderungen des Endprodukts beschränkt sein [23, TWG Ceramics, 2005], [30, TWG Ceramics, 2005].

Treibende Kraft für die Umsetzung  
Gesetzliche Anforderungen.

### Referenzanlagen und Referenzliteratur

[1, BMLFUW, 2003], [3, CERAME-UNIE, 2003], [4, UBA, 2001], [23, TWG Ceramics, 2005]

## **4.3.4 Sorptionsanlagen (Adsorber, Absorber)**

Diesbezüglich kann man auch in dem BVT-Merkblatt “Abwasser- und Abgasbehandlung/-management in der chemischen Industrie” nützliche Informationen finden.

### **4.3.4.1 Kaskaden-Schütttschicht-Adsorber**

#### Beschreibung und Umweltentlastungseffekte

In einem Kaskaden-Schütttschicht-Adsorber findet die Reaktion zwischen dem Adsorptionsmittel, normalerweise Kalziumkarbonat (CaCO<sub>3</sub>, Kalkstein), und den Schadstoffen im Abgas (hauptsächlich HF, SO<sub>x</sub> und HCl) in einer Kammer statt, die die Abgase im Gegen- oder Querstrom passieren und in der sich das Adsorptionsmittel durch die Schwerkraft absinkt. Um eine ausreichende Reaktionszeit und Kontaktfläche zu erreichen, ist die Kammer mit Leitblechen ausgestattet. Diese Leitbleche bremsen die Abwärtsgeschwindigkeit des Adsorptionsmittels und stellen eine effektive Zirkulation und Verteilung der Abgase in der Einheit sicher. Das verbrauchte Kalziumkarbonat wird am Boden des Aggregats gesammelt. Diese Adsorber können mit Gastemperaturen von bis zu 500 °C ohne Vorkühlung arbeiten und sind daher sehr wirksam beim Reduzieren von HF-, SO<sub>x</sub>- und HCl-Emissionen aus Ofenabgasen. Eine Veranschaulichung eines Querstromadsorbers zeigt die folgende Abbildung [4, UBA, 2001].

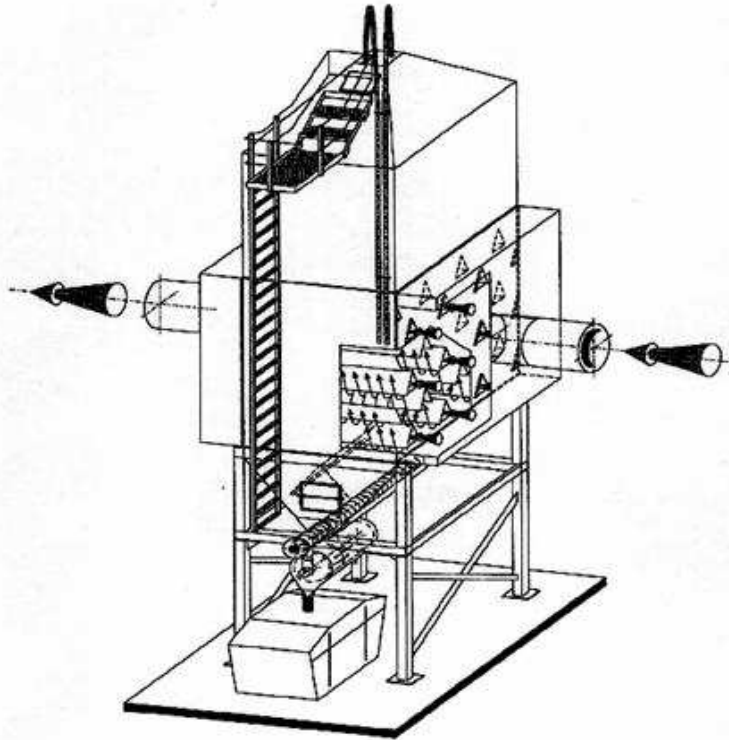


Abbildung 4.8: Schematische Darstellung eines Querstrom-Kaskaden-Adsorbers

Kalziumkarbonat wird in Form von Granulaten mit einer üblichen Korngröße von 4–6 mm verwendet, die bestimmte Vorgaben im Hinblick auf die Größe, Beschaffenheit und Porosität erfüllen müssen, um den maximalen Wirkungsgrad zu erreichen. Über gewöhnliches Kalziumkarbonat hinaus können modifizierte Formen von Kalziumkarbonat, bestehend aus Kalziumkarbonat-Kalziumhydroxid-Gemischen ( $\text{CaCO}_3/\text{Ca}(\text{OH})_2$ ), als Adsorptionsmittel verwendet werden. Wegen ihrer erhöhten Porosität und des höheren Kalziumhydroxidgehaltes haben diese eine größere Affinität zu sauren Gasen.

Weil die Adsorption von  $\text{HF}$ ,  $\text{SO}_x$  und  $\text{HCl}$  vor allem an der Außenseite der Kalziumkarbonatgranalien stattfindet, ist die Adsorptionswirkung der Granalien ziemlich niedrig. Um die Adsorptionswirkung bei Einsatz von unverändertem Kalziumkarbonat zu steigern, kann eine Schältechnik verwendet werden. Dabei wird die weiche äußere Schicht der verbrauchten Granalien, die aus Kalziumfluorid, Kalziumsulfid, Kalziumsulfat oder Kalziumchlorid besteht, mechanisch entfernt. Das verbleibende Granulat kann – vorausgesetzt seine Größe ist groß genug – als Adsorptionsmittel wiederverwendet werden, so dass weniger Abfall (in Form von abgeschältem, gesättigtem Kalkstein) anfällt.

Im Falle der modifizierten Granulate wird die größere Affinität für saure Gase durch verbesserte Oberflächenqualitäten erreicht; deshalb können diese nicht zwecks Wiederverwendung geschält werden, wie es mit unverändertem Kalziumkarbonat möglich ist.

Die folgende Abbildung zeigt ein Verfahrensschema eines Kaskaden-Schütttschicht-Adsorbers mit Schältrommel. Das geschälte Sorptionsmittel wird automatisch zum Speichersilo zurückgeführt. Die Abfallmenge wird durch diese Maßnahme um bis zu 50 Prozent reduziert [4, UBA, 2001].

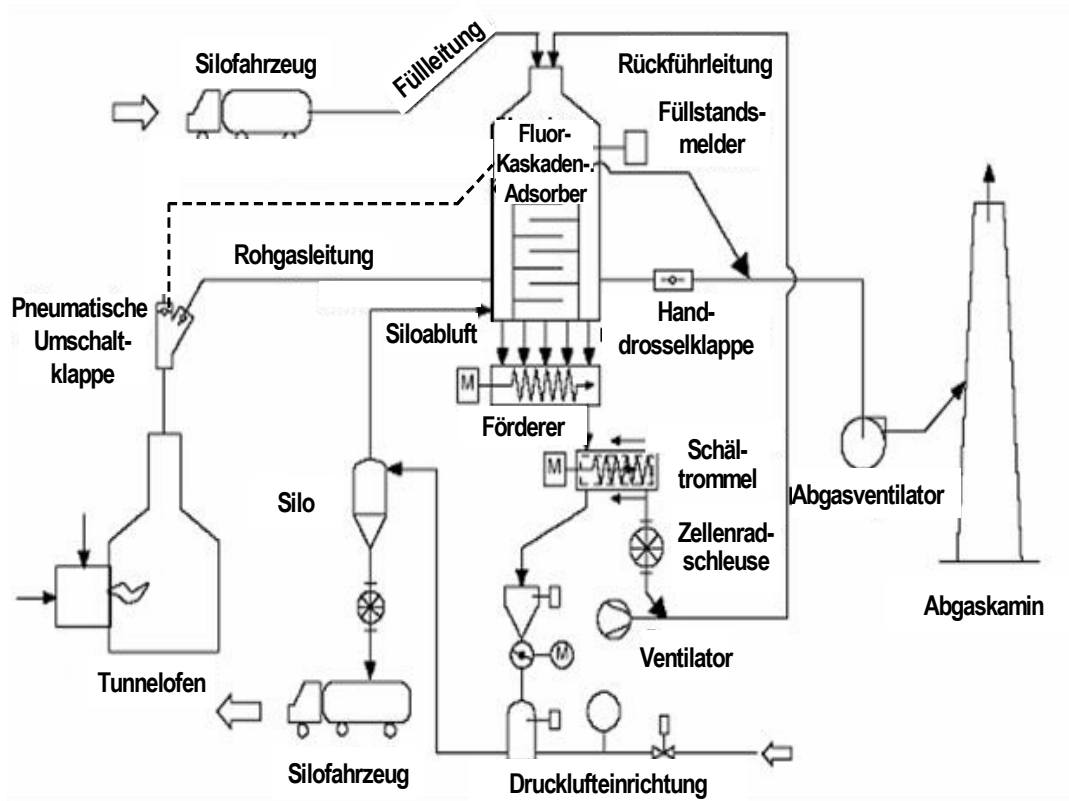


Abbildung 4.9: Verfahrensschema eines Kaskaden-Schütttschicht-Adsorbers mit Schältr trommel

Das mit Schadstoffen gesättigte Kalksteingranulat wird mit einer Förderschnecke zur Schältr trommel gebracht. Die äußere Schicht, die mit Schadstoffen gesättigt ist, wird durch Reiben entfernt und zusammen mit dem kleinen Granalien (mit einem Partikeldurchmesser  $< 2,5$  mm) ausgetragen. Dieses verunreinigte Material wird mit Silowagen abtransportiert. Die Oberfläche der verbleibenden Granalien mit einem Partikeldurchmesser  $> 2,5$  mm wird wieder reaktiv. Das regenerierte Granulat wird durch eine Zellenradschleuse und eine Rückführleitung zum Speichersilo des Adsorbers zurückgeführt. Der Adsorber, die Schältr trommel und die Rückführleitung sind ein geschlossenes System. Das Schälen und die Rückführung finden automatisch und kontinuierlich statt.

#### Medienübergreifende Effekte

- hoher Verbrauch an Adsorptionsmitteln
- große Abfallmenge (aufgrund der relative hohen Überdosierung des Adsorptionsmittels)
- die Kalziumkarbonatgranalien reagieren mit den sauren Bestandteilen des Abgases unter Bildung von  $\text{CO}_2$
- erhöhter Energieverbrauch aufgrund des Betriebs des Adsorbers (insbesondere um den Druckverlust zu überwinden)
- mögliche Erhöhung der Staubemissionen in Folge der gestiegenen Staubbelastung, welche auf die Kalziumkarbonatgranalien zurückzuführen ist, vor allem wenn Schältr trommeln verwendet werden
- mögliche Lärmemissionen.

#### Betriebsdaten

Unveränderte Kalziumkarbonatgranalien, bevorzugt weichere Varianten von Kalziumkarbonat, sind insbesondere geeignet, HF und  $\text{SO}_3$  zu entfernen. Bei diesen Verbindungen erreichen die Granalien Minderungsgrade von mehr als 90 % (bis zu 99 %) beziehungsweise 80 %. Gewöhnliches Kalziumkarbonat ist dagegen weniger geeignet für die Entfernung von  $\text{SO}_2$ , weil  $\text{SO}_2$ , verglichen mit HF und  $\text{SO}_3$ , weniger reaktiv ist; der Minderungsgrad liegt in einem Größenbereich von 20 %. Für HCl liegt der Minderungsgrad von unverändertem Kalziumkarbonat bei ungefähr 50 % [2, VITO, 2003], [4, UBA, 2001], [30, TWG Ceramics, 2005].

Modifiziertes Kalziumkarbonat ist eher für die Entfernung von  $\text{SO}_2$  geeignet und erbringt auch für die HF- und  $\text{SO}_3$ -Entfernung etwas bessere Wirkungsgrade. Mit dem modifizierten Kalziumkarbonat sind Minderungsgrade von bis zu 99 % für HF, bis zu 85 % für  $\text{SO}_3$ , 30 bis 80 % für  $\text{SO}_2$  – bei einer Rohgaskonzentration von bis zu  $1500 \text{ mg SO}_2/\text{m}^3$  – und ein Minderungsgrad von mehr als 50 % für HCl erreichbar. Der Wirkungsgrad dieser Systeme bei der Zurückhaltung von Schwebstoffen (Staub) beträgt bis zu 100 % (siehe auch Abschnitt 4.3.6) [4, UBA, 2001], [30, TWG Ceramics, 2005].

Abgas mit einem Gehalt von ungefähr  $2.500 \text{ mg SO}_2/\text{m}^3$  kann unter bestimmten Umständen – z.B. mit vier Adsorbern (Schütttschicht-Gegenstrom-Typ mit modifiziertem Kalziumkarbonat), die hintereinandergeschaltet sind – ausreichend gefiltert werden, um Reingaswerte von unter  $500 \text{ mg SO}_2/\text{m}^3$  zu erreichen. Auch bei hochbeladenem Rohgas kann ein Wirkungsgrad von 85 % für  $\text{SO}_2$  erreicht werden [4, UBA, 2001], wohingegen mit nur einem Adsorber der Wirkungsgrad für  $\text{SO}_2$  auf etwa 30 % abfällt [2, VITO, 2003], [23, TWG Ceramics, 2005].

In diesem Zusammenhang siehe auch Table 3.2 bezüglich der Verteilung von freigesetztem Chlorid, Table 3.6, Table 3.7, Table 3.8 und Table 3.9 hinsichtlich der Emissionen bei der Ziegel- und Dachziegelherstellung und Table 3.43 hinsichtlich der Emissionen eines Herstellungsprozesses für Sanitärkeramik, bei denen Schütttschichtadsorbersysteme eingesetzt werden [2, VITO, 2003].

### Anwendbarkeit

Diese Technik kann in mehreren Sektoren der Keramikindustrie eingesetzt werden, aber der Platz, den das System in Anspruch nimmt, und eine mangelnde Flexibilität im Hinblick auf die Steuerung und die Verwendung anderer Adsorptionsmittel sind zu beachten. Andere Bedingungen wie die Rohgaskonzentrationen von HF und  $\text{SO}_x$ , die Produktpalette, die Ofenführung, die Ofengröße, die Ofenkapazität, die erforderliche maximale Brenntemperatur, Abgasmenge und -temperatur, die Gesamtstaubfracht aus dem Adsorber, die Notwendigkeit eines Staubfilters, die Möglichkeit der Wiederverwendung, Verwertung oder Ablagerung großer Abfallmengen aus den Adsorbern, die Verfügbarkeit geeigneter Kalksteingranalien, ein Anstieg des Energiebedarfs sowie die gesamten Umweltauswirkungen sind ebenfalls in Betracht zu ziehen.

### Wirtschaftliche Aspekte

In diesem Zusammenhang siehe Tabelle 4.7.

Kleinere Mengen von geschältem, gesättigtem Kalkstein können bei der Herstellung von Ziegelsteinen und Vormauerziegeln zugesetzt werden, es muss aber berücksichtigt werden, dass der Kalziumsulfatgehalt des gesättigten Kalksteins zu Ausblühungen an den Ziegelsteinen führen kann. Eine Verwendung des gesättigten Kalksteins in der Zement-, Beton- und Asphaltindustrie ist ebenfalls möglich. Wenn kein Recycling möglich ist, müssen zusätzliche Deponierungskosten berücksichtigt werden.

### Treibende Kraft für die Umsetzung

Gesetzliche Anforderungen.

### Referenzanlagen und Referenzliteratur

Wienerberger Ziegelindustrie AG, Vormauerziegelwerk, Rotenturm, Österreich [1, BMLFUW, 2003], Erlus Baustoffwerke AG, Dachziegelwerk, Neufahrn, Deutschland [4, UBA, 2001], [2, VITO, 2003], [3, CERAME-UNIE, 2003], [23, TWG Ceramics, 2005]

### 4.3.4.2 Moduladsorbersysteme

#### Beschreibung und Umweltentlastungseffekte

Ein Prozess, der vorwiegend zur Abscheidung von gasförmigen, anorganischen Fluorverbindungen eingesetzt wird, ist die Trockensorption mit Wabenmodulen aus Kalziumhydroxid in so genannten Moduladsorbersystemen. Bei diesem Verfahren durchströmt das Abgas einen einfachen Stahlreaktor ohne bewegliche Teile. Der Reaktor beherbergt mehrere Lagen von Wabenadsorbermodulen, die mit gelöschtem Kalk (Kalziumhydroxid) gefüllt sind, das den HF-Gehalt des Abgases chemisch in Kalziumfluorid ( $\text{CaF}_2$ ) umwandelt, wenn es die Module durchströmt. Die Standzeit der Module wird durch die Betriebszeit der Anlage, den Abgasvolumenstrom und die Fluorkonzentration des Rohgases beeinflusst. Die Module sind auf Traggerüste verteilt, um die Modulwechselzeit zu reduzieren und die Handhabung zu erleichtern. Gesättigte Module werden durch neue ersetzt.

Die folgende Abbildung zeigt die schematische Darstellung einer Trockensorptionseinrichtung mit Wabenmodulen aus  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  [4, UBA, 2001].

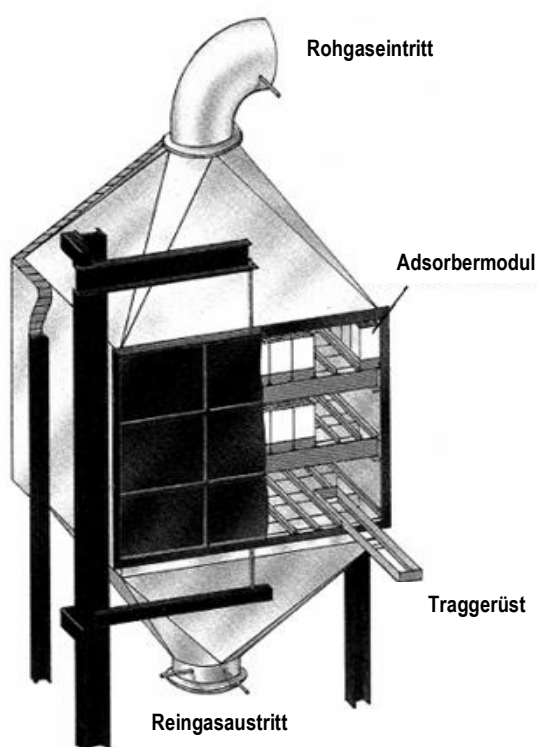


Abbildung 4.10: Schematische Darstellung eines Wabenmoduladsorbersystems

#### Medienübergreifende Effekte

- relativ hoher Verbrauch an Adsorptionsmitteln
- große Abfallmenge (gesättigte Module müssen entsorgt werden)
- mögliche Erhöhung des Energieverbrauchs durch den Betrieb des Adsorbers (insbesondere um den Druckverlust im Fall von Abgasen mit höheren Staubfrachten zu überwinden).

#### Betriebsdaten und Anwendbarkeit

Dieses System ist technisch einfach und robust, weil es ohne bewegliche Teile gebaut ist und es einen geringen Druckverlust hat. Es ist besonders wirksam für die Reinigung geringerer Abgasvolumenströme ( $<18000 \text{ m}^3/\text{h}$ ) und wenn die Konzentrationen an anorganischen Verbindungen ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{SO}_3$ ,  $\text{HCl}$ ) – mit Ausnahme von  $\text{HF}$  – gering sind. Aus diesem Grund wird dieses System vor allem bei der Herstellung von Wand- und Bodenfliesen, Tafelgeschirr und Dekorationsartikeln, Sanitärkeramik und technischer Keramik eingesetzt. Zusätzlich neigen die Kapillaren zum Verkleben, wenn die Staubkonzentrationen höher sind, und deshalb ist dieses System eigentlich nicht für Entstaubungszwecke geeignet.

In diesem Zusammenhang siehe Table 3.41, in der Roh- und Reingaskonzentrationen eines Herstellungsprozesses für Sanitärkeramik aufgeführt sind und bei dem ein Wabenmoduladsorbersystem zur Abgasreinigung eingesetzt wird.

### Wirtschaftliche Aspekte

In diesem Zusammenhang siehe Tabelle 4.7. Zusätzlich zum Preis für die neuen Adsorbermodule muss der Preis für die Entsorgung der gesättigten Module berücksichtigt werden, da eine Wiederverwendung nicht möglich ist.

### Treibende Kraft für die Umsetzung Gesetzliche Anforderungen

### Referenzanlagen und Referenzliteratur

[1, BMLFUW, 2003], [4, UBA, 2001], [23, TWG Ceramics, 2005]

### 4.3.4.3 Trockene Abgasreinigung mit einem Filter (Gewebefilter oder Elektrofilter)

#### Beschreibung und Umweltentlastungseffekte

Bei dieser Art der Abgasreinigung wird das Adsorptionsmittel in trockener Form in den Abgasstrom eingeblasen. Saure Bestandteile (Schwefeloxide und anorganische Chlor- und Fluorverbindungen) werden in einem Reaktor oder einer Reaktorzone adsorbiert. Letzteres kann auch der Abgaskanal zwischen dem Ofen und dem Filter sein, welcher mit einer bestimmten Mindestlänge die notwendige Kontaktzeit gewährleistet. Der Filter hinter dem Reaktor (der Reaktorzone) entfernt die entstandenen Neutralisationsalze und das überschüssige Adsorptionsmittel aus dem Abgasstrom. Für diesen Zweck werden vorwiegend Gewebefilter eingesetzt, da diese einen guten Kontakt zwischen dem Adsorptionsmittel und den gasförmigen Schadstoffen schaffen. Das Gewebe der Filterschläuche muss gegen saure und basische Bedingungen resistent sein und wird auch durch die Temperatur der zu behandelnden Gase bestimmt (siehe Tabelle 4.2). Die folgende Abbildung zeigt eine schematische Darstellung einer trockenen Abgasreinigung mit einem Gewebefilter [10, Navarro, 1998], [23, TWG Ceramics, 2005].

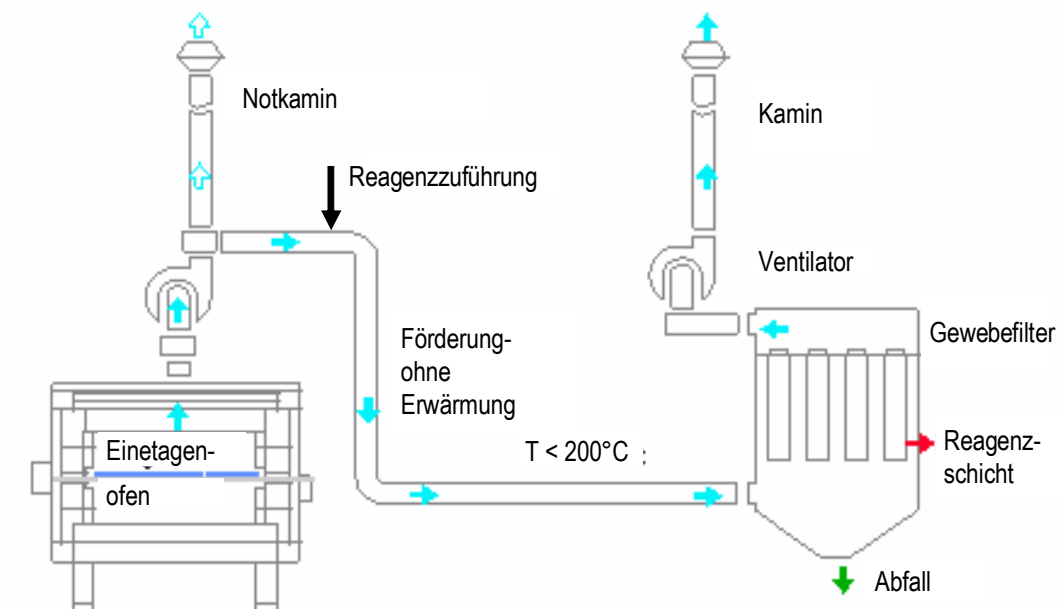
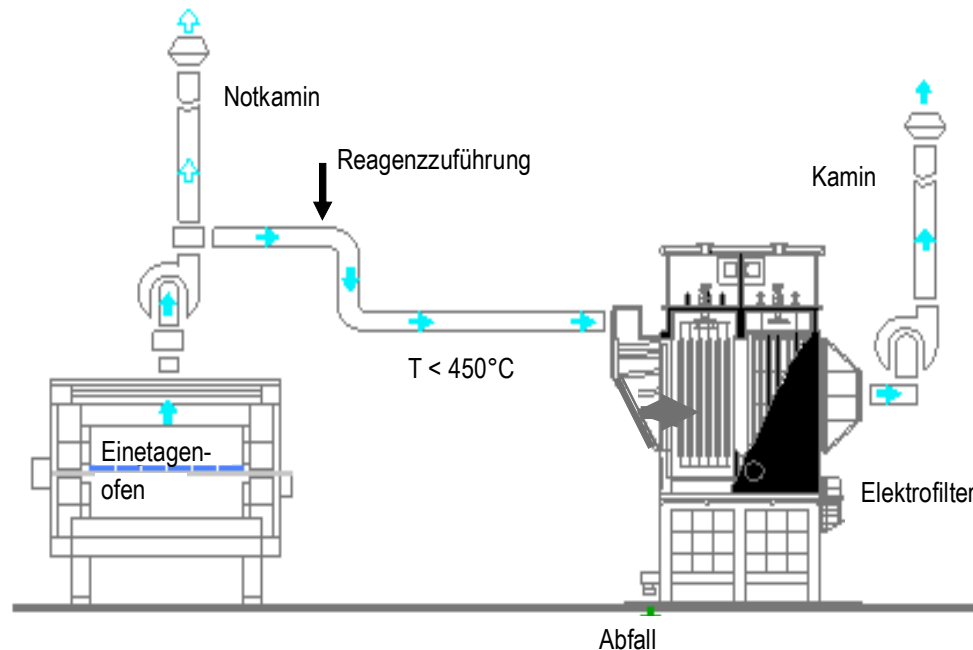


Abbildung 4.11: Schematische Darstellung der trockenen Abgasreinigung mit einem Gewebefilter



Elektrofilter können unter Verwendung der gleichen Einblasvorrichtung für das gepulverte Reagenz anstelle von Gewebefiltern eingesetzt werden. Sie bieten den Vorteil, bei höheren Temperaturen zu arbeiten (deutlich über 400 °C), so dass ein Abkühlen der Abgase nicht erforderlich und eine Energierückgewinnung aus den gereinigten Gasen möglich ist. Andererseits ist der Kontakt zwischen dem Adsorptionsmittel und dem Schadstoff nicht so gut wie bei Verwendung eines Gewebefilters. Die folgende Abbildung zeigt eine schematische Darstellung der trockenen Abgasreinigung mit Elektrofilter [10, Navarro, 1998], [23, TWG Ceramics, 2005].



**Abbildung 4.12: Schematische Darstellung der trockenen Abgasreinigung mit einem Elektrofilter**

Eine spezielle Variante der trockenen Abgasreinigung ist die halbtrockene Abgasreinigung mit einem Filter, auch bekannt als konditionierte trockene Abgasreinigung. Sie unterscheidet sich von der trockenen Methode weil eine geringe Menge Wasser verwendet wird. Das Adsorptionsmittel wird ‚konditioniert‘ indem es leicht mit Wasser angefeuchtet wird, was die Reaktivität und somit den Wirkungsgrad erhöht. Außerdem ist der Verbrauch an Adsorptionsmittel geringer und die Menge an Rückständen kleiner. Die Nachteile dieser Technik sind die Wahrscheinlichkeit von Korrosionsproblemen aufgrund der höheren Feuchte der Abgase und die aufwendigere Betriebssteuerung [2, VITO, 2003].

#### Medienübergreifende Effekte

- der Adsorptionsmittelverbrauch hat große Abfallmengen zur Folge
- die Verwertung der Abfälle kann wegen der negativen Auswirkungen von Kalzium auf die Fließeigenschaften keramischer Schlicker problematisch sein
- relativ hoher elektrischer Energieverbrauch wegen des Druckverlustes von Gewebefiltern bzw. steigender elektrischer Energieverbrauch wegen des Betriebs des Elektrofilters
- ggf. erhöhter Lärm, wenn pneumatische Filterreinigungssysteme eingesetzt werden
- karbonathaltige Adsorptionsmittel reagieren mit den sauren Bestandteilen des Abgases unter Bildung von CO<sub>2</sub>.

#### Betriebsdaten und Anwendbarkeit

Trockene Abgasreinigungssysteme mit einem Filter sind im Hinblick auf die Steuerung und die Verwendung von Adsorptionsmitteln flexibel. Kalziumhydroxid (Ca(OH)<sub>2</sub>), Kalziumoxid (CaO) oder – neuerdings – Natriumhydrogencarbonat (NaHCO<sub>3</sub>), welches für die Entfernung von SO<sub>2</sub> am Besten geeignet ist, gehören zu den Adsorptionsmitteln, die verwendet werden können. Ergänzend muss angemerkt werden, dass die Reaktionsprodukte von Natriumhydrogencarbonat aus wasserlöslichen Salzen bestehen (Natriumsulfat und Natriumfluorid) und folglich nicht so einfach auf Deponien entsorgt werden können.

Bei Reinigungssystemen mit einem Gewebefilter können bei sehr hohen Temperaturen Probleme auftreten, weil der Filter zu brennen anfangen könnte, und bei sehr niedrigen Temperaturen nahe des Taupunktes, bei denen sich der Filter leicht zusetzen kann. Das Reinigungssystem mit einem Elektrofilter hat den Vorteil, bei hohen Temperaturen laufen zu können, die leicht 400 °C überschreiten, so dass ein Abkühlen des Abgases nicht erforderlich und eine Energierückgewinnung aus dem Reingas möglich ist.

Ein trockenes Abgasreinigungssystem mit einem Gewebefilter erlaubt das Erreichen von Fluoridkonzentrationen im behandelten Abgas von weniger als 5 mg/m<sup>3</sup> und Staubkonzentrationen im Bereich von 2 – 20 mg/m<sup>3</sup>. Der Wirkungsgrad dieser Systeme variiert von 90 bis zu 99 % für die Zurückhaltung von Schwebstoffen, 92 bis 95 % für die Fluoridabscheidung, 10 bis 80 % für SO<sub>2</sub>, bis zu 90 % für SO<sub>3</sub> sowie bis zu 85 % für HCl, wenn Kalziumhydroxid als Adsorptionsmittel verwendet wird [2, VITO, 2003, 10, Navarro, 1998], [23, TWG Ceramics, 2005], [30, TWG Ceramics, 2005].

Zusätzlich zu einem ungefähren Wirkungsgrad von 99 % für Schwebstoffe, kann eine Abscheidung von mehr als 95 % für Fluoride, 98 bis 99 % für SO<sub>2</sub> und SO<sub>3</sub> sowie 89 % für HCl erreicht werden, wenn Natriumbikarbonat als Adsorptionsmittel in einem trockenen Abgasreinigungssystem mit Gewebefilter eingesetzt wird (siehe Abschnitt 4.3.6) [4, UBA, 2001].

Das Reinigungssystem mit einem Elektrofilter hat den Vorteil bei Temperaturen von bis zu ungefähr 450 °C arbeiten zu können, so dass ein Kühlen der Abgase vor der Reinigung nicht erforderlich und eine Energierückgewinnung aus dem Reingas möglich ist. Erreichbare Reingasstaubkonzentrationen im Bereich von 5-50 mg/m<sup>3</sup> wurden für die Abgasreinigung mit Elektrofiltern gemeldet (siehe Abschnitt 4.2.3.5).

Trockene Abgasreinigungssysteme mit einem Filter können im Prinzip in allen Sektoren der Keramikindustrie zur Reinigung der Ofenabgase eingesetzt werden, aber die Nachteile – im Vergleich zu Schütttschicht-Adsorbersystemen – hinsichtlich des größeren Instandhaltungsbedarfs und Problemen mit der Standzeit der Filterschläuche (im Fall von Systemen mit einem Gewebefilter) müssen berücksichtigt werden.

### Wirtschaftliche Aspekte

In diesem Zusammenhang – für Trockensorption mit Gewebefilter – siehe Tabelle 4.7.

- für halbtrockene Systeme sind die Investitionskosten normalerweise etwas höher als für ganz trockene
- Natriumbikarbonat ist teurer als kalziumbasierte Adsorptionsmittel
- zusätzliche Entsorgungskosten für gesättigte Adsorptionsmittel, die nicht wiederverwendet werden können, müssen berücksichtigt werden.

### Treibende Kraft für die Umsetzung

Gesetzliche Anforderungen.

### Referenzanlagen und Referenzliteratur

[2, VITO, 2003], [3, CERAME-UNIE, 2003], [10, Navarro, 1998], [4, UBA, 2001], [17, Burkart, 2004], [23, TWG Ceramics, 2005], [26, UBA, 2005], [32, TWG Ceramics, 2006]

#### 4.3.4.4 Nasse Abgasreinigung

##### Beschreibung und Umweltentlastungseffekte

Mit der nassen Abgasreinigung werden die sauren Bestandteile (Schwefeloxide, anorganische Chlor- und Fluorverbindungen) aus den Abgasen entfernt, indem sie in engen Kontakt mit Wasser gebracht werden. Das führt dazu, dass die Bestandteile von der Gas- in die Wasserphase übergehen. Der Umfang, in dem das stattfindet, ist von der Löslichkeit der betreffenden Bestandteile abhängig. Um die Löslichkeit zu erhöhen, kann eine Base wie Kalziumkarbonat ( $\text{CaCO}_3$ ), Kalziumhydroxid ( $\text{Ca(OH)}_2$ ), Natriumkarbonat ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), Natriumhydroxid ( $\text{NaOH}$ ) oder Ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) zu dem Wasser zugegeben werden.

Das Verfahrensschema einer nassen Abgasreinigungsanlage wird in der folgenden Abbildung gezeigt [2, VITO, 2003]. Eine Einrichtung, wie diese, besteht aus einer Aufbereitungsanlage für die Waschflüssigkeit, einem Fest-Flüssig-Abscheider und gegebenenfalls einer Wasserbehandlungsanlage und einem Tropfensammler. Platten oder inertes Füllmaterial (Füllkörperkolonnen) können verwendet werden, um die Kontaktfläche zu erhöhen. Zusätzlich zu Kolonnenwäschern gibt es auch Strahlwäscher, Venturiwäscher und Rotationswäscher.

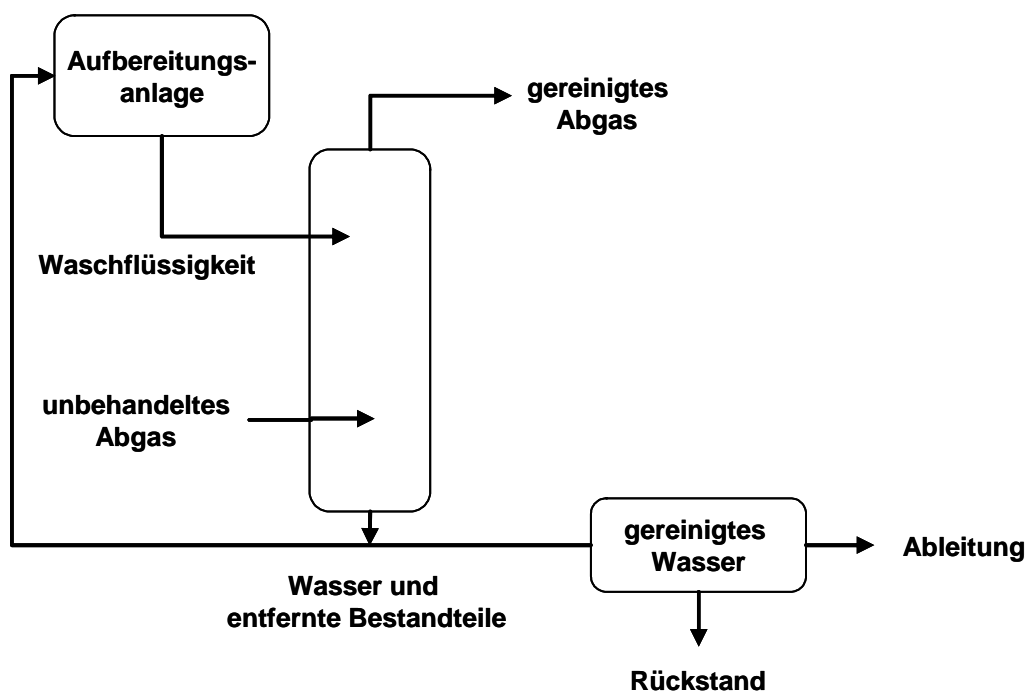


Abbildung 4.13: Verfahrensschema einer nassen Abgasreinigungsanlage

In Nasswäschersystemen wird das Abgas zuerst gekühlt und dann gereinigt. Zusätzlich sind für das nasse Verfahren eine Neutralisationseinheit und eine Feststoffabtrennung notwendig.

Eine besondere Art der nassen Abgasreinigung ist die halbnasse Abgasreinigung, bei der aufgrund einer geringeren Wassermenge eine vollständige Verdampfung ermöglicht wird. Infolgedessen wird ein trockener Rückstand gebildet, der sehr effizient reagiert hat und der mit einem Filter abgetrennt werden kann. Diese Methode setzt höhere Abgastemperaturen voraus, um nach den Energieverlusten aufgrund der Verdampfung noch ausreichend hohe Temperaturen am Filter zu haben. Halbnasse Systeme haben den Vorteil eines geringeren Sorptionsmittelverbrauchs, der geringeren Mengen an Rückständen und den höheren Wirkungsgraden, aber sie benötigen eine komplexere Betriebssteuerung [2, VITO, 2003].

### Medienübergreifende Effekte

- hoher Wasserverbrauch
- die Erzeugung von Prozessabwasser (nicht im selben Umfang für halbnasse Systeme) führt zu der Notwendigkeit einer Prozessabwasserbehandlung
- relativ hoher Stromverbrauch aufgrund des Druckverlustes über die verschiedenen Aggregate
- Sorptionsmittel, die Karbonate enthalten, reagieren mit den sauren Bestandteilen des Abgases unter Bildung von CO<sub>2</sub>.

### Betriebsdaten

Für die Entfernung von HF, HCl und SO<sub>x</sub> durch eine nasse Abgasreinigung wird üblicherweise Kalk als Sorptionsmittel verwendet. Dabei wird eine Kalziumhydroxidlösung (Kalkmilch) oder eine Suspension von Kalziumkarbonat in Wasser in einer Sprühkolonne versprüht. Als ein Abfallprodukt wird üblicherweise ein leicht verunreinigter Gips gebildet. Wirkungsgrade von 99 % für HF, bis zu 98 % für SO<sub>2</sub>, 95 % für SO<sub>3</sub> und bis zu 95 % für HCl sind erreichbar [2, VITO, 2003], [4, UBA, 2001].

Natriumfluorid (NaF), Natriumsulfit (Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>) und Natriumchlorid (NaCl) werden gebildet, wenn Natronlauge (ätzend) als Sorptionsmittel in einer Füllkörperkolonne eingesetzt wird. Die Abfallstoffe, die in der Waschflüssigkeit entstehen, müssen nach dem Eindampfen entsorgt werden. Die erreichbaren Wirkungsgrade bei Einsatz von Natronlauge als Waschflüssigkeit sind 98 % für HF, bis zu 98 % für SO<sub>2</sub>, 96 % für SO<sub>3</sub> und bis zu 98 % für HCl [4, UBA, 2001].

Ein mögliches Problem bei der nassen Abgasreinigung ist die Korrosion. Die Gase, die die Waschtürme verlassen, sind mit Wasser gesättigt und können bei Abkühlung unter den Taupunkt Korrosion verursachen. Weiterhin verbreiten sich diese kalten Gase weniger bereitwillig in der Atmosphäre und verursachen Kondenswasserfahnen, so dass es manchmal ratsam ist, die Abgase aufzuwärmen.

### Anwendbarkeit

Nasse Abgasreinigungssysteme können im Prinzip in allen Keramiksektoren eingesetzt werden. Besonders in Fällen, bei denen hohe SO<sub>2</sub>-Konzentrationen im Abgas vorliegen und mit Trockensorptionsanlagen keine niedrigen Reingaskonzentrationen erreicht werden, bietet der Einsatz nasser Verfahren eine Alternative zu Trockensorptionsverfahren. Allerdings ist der Einsatz von nassen Verfahren in der Praxis wegen der hohen Investitions- und Instandhaltungskosten nur sehr begrenzt möglich.

Vorzugsweise in Fällen, in denen mehrere anorganische Schadstoffe gleichzeitig in hohen Konzentrationen emittiert werden, z.B. für einen hohen SO<sub>2</sub>-Gehalt von über 2.500 mg/m<sup>3</sup>, bieten Nassverfahren eine Alternative zu trockenen Reinigungsverfahren.

### Wirtschaftliche Aspekte

In diesem Zusammenhang siehe Tabelle 4.7. Mögliche kürzere Standzeiten der Systeme, verursacht durch Korrosion, müssen auch berücksichtigt werden.

### Treibende Kraft für die Umsetzung Gesetzliche Anforderungen.

### Referenzanlagen und Referenzliteratur

Werk Hallerndorf-Pautzfeld, Deutschland (Herstellung von Blähtonzeugnissen) [26, UBA, 2005], [2, VITO, 2003], [3, CERAME-UNIE, 2003], [4, UBA, 2001], [23, TWG Ceramics, 2005]

#### 4.3.4.5 Aktivkohlefilter

##### Beschreibung, Umweltentlastungseffekte, Betriebsdaten und Anwendbarkeit

Aktivkohlefilter sind nur für kleine Abgasvolumina mit flüchtigen organischen Verbindungen (VOC) geeignet, die z.B. als flüchtige Reaktionsprodukte bei der Wärmebehandlung von Harzen, die als Bindemittel verwendet werden, freigesetzt werden.

Staubteilchen und Tröpfchen müssen vor dem Kohlefilter aus dem Gasstrom entfernt werden. Während einige organische Verbindungen (z.B. Phenol und Naphthalin) durch Aktivkohle zurückgehalten werden, werden andere nicht wirksam adsorbiert.

Aktivkohlefilter werden hauptsächlich bei der Herstellung von feuerfesten Erzeugnissen eingesetzt.

##### Medienübergreifende Effekte

- ansteigende Abfallmenge, wenn die Aktivkohle entsorgt werden muss und nicht regeneriert werden kann
- erhöhter Energieverbrauch aufgrund des Betriebs des Aktivkohlefilters.

##### Wirtschaftliche Aspekte

Hohe Kosten, vor allem wenn die Aktivkohlefilter entsorgt werden müssen und nicht regeneriert werden können.

##### Treibende Kraft für die Umsetzung

Gesetzliche Anforderungen.

##### Referenzanlagen und Referenzliteratur

[3, CERAME-UNIE, 2003], [4, UBA, 2001], [23, TWG Ceramics, 2005]

#### 4.3.4.6 Biologische Wäscher

##### Beschreibung und Umweltentlastungseffekte

Bei der Wärmebehandlung von Harzen, die in der Feuerfestindustrie, bei der Herstellung einiger technischer Keramik und einiger keramisch gebundener Schleifmittel als Bindemittel eingesetzt werden, werden flüchtige Reaktionsprodukte freigesetzt, die Ammoniak, Formaldehyd und Phenol enthalten. Diese können aus dem Abgas mit geeigneten Waschflüssigkeiten entfernt werden. Die Anwendung eines biologischen Wäschers ist eine Variante, bei der das Absorptionsmedium regeneriert wird. Die Löslichkeit der Schadstoffe in Wasser und eine gleichbleibende kontinuierliche Zuführung in den biologischen Wäscher sind notwendige Bedingungen.

##### Medienübergreifende Effekte

- ein erhöhter Wasserverbrauch und Prozessabwasseranfall sind möglich
- erhöhter Energieverbrauch aufgrund des Betriebs des biologischen Wäschers.

##### Anwendbarkeit

Biologische Wäscher können bei der Herstellung feuerfester Produkte und teilweise auch bei der Herstellung von technischer Keramik sowie keramisch gebundenen Schleifmitteln eingesetzt werden.

Treibende Kraft für die Umsetzung  
Gesetzliche Anforderungen.

Referenzanlagen und Referenzliteratur  
[3, CERAME-UNIE, 2003], [14, UBA, 2004], [23, TWG Ceramics, 2005]

### 4.3.5 Nachverbrennung

Diesbezüglich kann man auch in dem BVT-Merkblatt "Abwasser- und Abgasbehandlung/-management in der chemischen Industrie" nützliche Informationen finden.

#### 4.3.5.1 Thermische Nachverbrennung

Beschreibung und Umweltentlastungseffekte

Die Verbrennung von VOC-haltigen Schwelgasen außerhalb des Ofens kann in Thermoreaktoren erfolgen. Diese enthalten zwei oder drei Kammern, die mit keramischen oder SiO<sub>2</sub>-Elementen, die ein hohes Wärmespeichervermögen besitzen, gefüllt sind. Die thermische Nachverbrennung wird vorzugsweise bei Rohgaswerten von mehr als 100 – 150 mg VOC/m<sup>3</sup> – je nach den Rohgaseigenschaften (z.B. Temperatur, Zusammensetzung) – eingesetzt.

Abgase, die VOC enthalten, durchströmen die erste Kammer und absorbieren die Wärme, die darin gespeichert ist. Wenn sie die erste Kammer verlassen und in die Verbrennungskammer eindringen, befinden sie sich bereits in der Nähe der Verbrennungstemperatur. In der Verbrennungskammer werden sie unter Verwendung von Brennern weiter auf bis zu 750 bis 800 °C aufgeheizt, so dass die organischen Substanzen praktisch vollständig verbrannt werden. Das CO, das in den Abgasen enthalten ist, wird ebenfalls weiter zu CO<sub>2</sub> oxidiert. Darüber hinaus werden die gegebenenfalls vorhandenen/gebildeten Dioxine zu 90 % zerstört, wenn die Temperatur mindestens 800 °C und die Verweilzeit mindestens 1,5 Sekunden beträgt.

Die heißen gereinigten Gase, die die Verbrennungskammer verlassen, durchströmen danach die zweite Kammer, wo sie den größten Teil ihrer Wärme wieder abgeben. Das Gas, das abgekühlt wurde, verlässt die zweite Kammer und wird über den Kamin abgeleitet. Nach einer gewissen Zeit, wenn die erste Kammer ausreichend abgekühlt und die zweite ausreichend heiß ist, wird die Richtung des Gasstromes umgekehrt. Die zweite Kammer heizt dann das unbehandelte Gas auf und die erste Kammer kühlt die gereinigten Gase herunter.

Wenn eine dritte Kammer in einem Thermoreaktor vorhanden ist, wird sie verwendet, um Emissionsspitzen bei Umkehrung der Gasströmungsrichtung zu vermeiden. Nachdem die Strömungsrichtung umgekehrt wurde, durchströmen kleine Mengen von Spülluft diese Kammer, um sicherzustellen, dass keine unbehandelten Gase den Kamin erreichen.

Die folgende Abbildung zeigt eine schematische Darstellung einer thermischen Nachverbrennungsanlage (3-Kammer-System) [4, UBA, 2001], [23, TWG Ceramics, 2005].

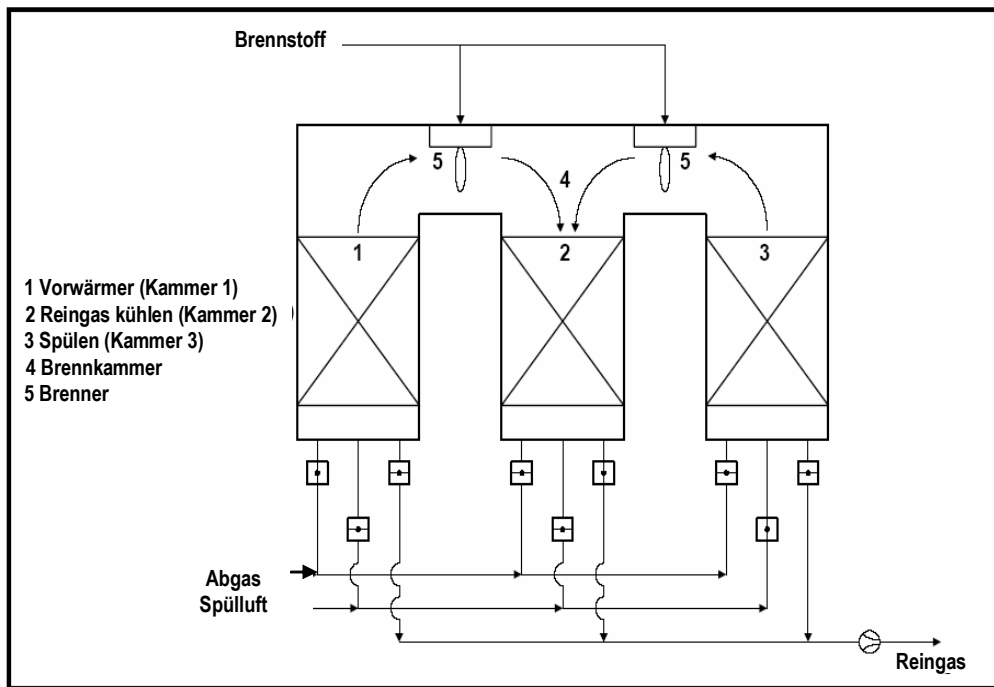


Abbildung 4.14: Schematische Darstellung einer thermischen Nachverbrennungsanlage (3-Kammer-System)

Die folgende Abbildung stellt die Abgasführung in einer externen thermischen Nachverbrennungsanlage dar [4, UBA, 2001].

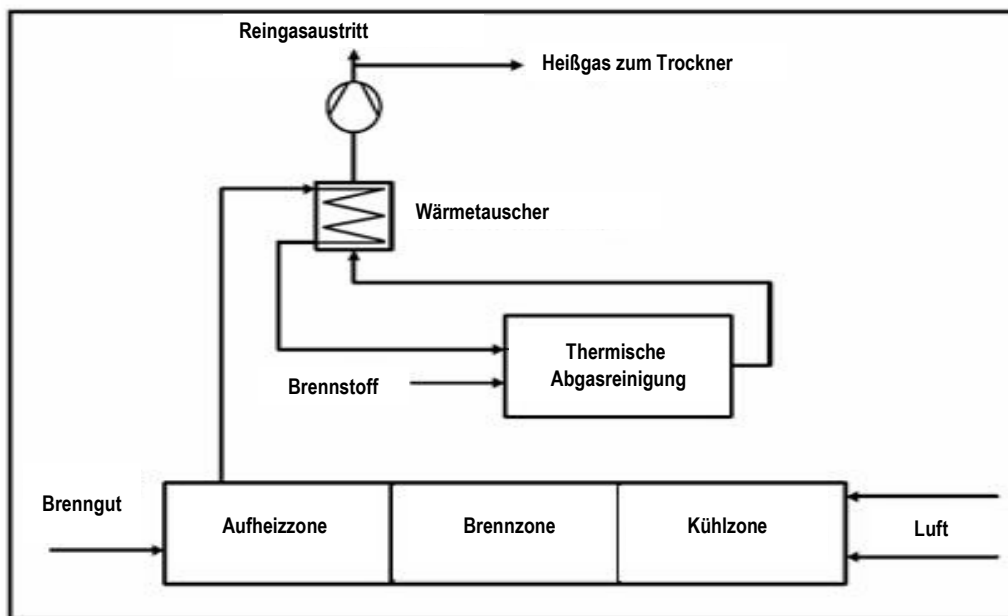


Abbildung 4.15: Abgasführung in einer externen thermischen Nachverbrennungsanlage

Medienübergreifende Effekte

- zusätzlicher Brennstoff wird benötigt, zumindest für den Anfahrvorgang und bei VOC-Konzentrationen unter dem Selbstzündungspunkt<sup>1</sup>
- zusätzliche NO<sub>x</sub>-Emissionen sind möglich.

<sup>1</sup> Anm. der Übersetzer: Gemeint sind u. E. VOC-Konzentrationen, bei denen kein autothermer Betrieb möglich ist[0]

### Betriebsdaten und Anwendbarkeit

Wenn die VOC- und CO-Konzentrationen hoch genug sind, ist die Verbrennung so gut wie autotherm. In solchen Fällen muss keine zusätzliche Energie zugeführt werden, um den Verbrennungsprozess aufrechtzuerhalten. Das kommt hauptsächlich bei der Herstellung hochporosierter Ziegel vor, bei der dem Rohmaterialgemenge große Mengen an organischen Porenbildnern zugesetzt werden.

Thermoreaktoren werden in den letzten Jahren verstärkt in der Ton verarbeitenden Industrie eingesetzt, insbesondere bei der Mauerziegelherstellung, wo organische Porenbildner zum Rohmaterialgemenge hinzugegeben werden, und auch, um VOC-Emissionen aus der Herstellung anderer keramischer Produkte, z.B. feuerfester Produkte, technischer Keramik und keramisch gebundener Schleifmittel, zu reduzieren. Diese Anlagen haben im Vergleich zu internen Nachverbrennungsanlagen den Vorteil, dass sie nicht in den normalen Ofenbetrieb eingreifen und dass der Abgasstrom in vollem Umfang gereinigt wird. Bei der Herstellung von Blähtonerzeugnissen gibt es das Problem des hohen Wassergehaltes in den Gasen.

In Abhängigkeit von der erforderlichen Reinigungsleistung werden Thermoreaktoren als Zwei- oder Dreikammer-Anlagen errichtet. Mit 2-Kammer-Anlagen sind Wirkungsgrade zwischen 94 und 97 % erreichbar, wohingegen 3-Kammer-Anlagen ohne Probleme Wirkungsgrade von mehr als 99 % erreichen [4, UBA, 2001].

In diesem Zusammenhang siehe auch **Table 3.6** bezüglich der Emissionen aus der Ziegelherstellung und **Table 3.54** hinsichtlich der Emissionen aus der Herstellung von technischer Keramik (gebundene Schleifmittel). In diesen Herstellungsprozessen werden thermische Nachverbrennungsanlagen für die Abgasreinigung eingesetzt.

### Wirtschaftliche Aspekte

In diesem Zusammenhang siehe Tabelle 4.7.

- um Brennstoff einzusparen, wird die thermische Nachverbrennung von VOCs und CO möglichst mit regenerativem Wärmeaustausch durchgeführt
- je geringer die VOC- und CO-Konzentrationen in den Rohgasen sind, desto mehr Energie muss zugeführt werden, um den Thermoreaktor in Betrieb zu halten, und desto höher sind die Kosten.

### Treibende Kraft für die Umsetzung

Gesetzliche Anforderungen in Kombination mit energieeffizienter Prozesstechnik.

### Referenzanlagen und Referenzliteratur

Wienerberger Ziegelindustrie AG/Werk Hengersdorf, Ziegelwerk, Österreich [1, BMLFUW, 2003], [2, VI-TO, 2003], [3, CERAME-UNIE, 2003], [4, UBA, 2001], [14, UBA, 2004], [23, TWG Ceramics, 2005], [32, TWG Ceramics, 2006]

## 4.3.5.2 Katalytische Nachverbrennung

### Beschreibung und Umweltentlastungseffekte

Bei dieser VOC-Minderungstechnik werden flüchtige organische Schadstoffe oxidiert, indem sie eine katalytische Oberfläche überströmen, die die Oxidationsreaktion auslöst. Der Katalysator verringert die Temperatur für die Oxidation der organischen Schadstoffe auf Temperaturen zwischen 200 und 300 °C. Katalysatoren mit Metalloxid- oder Edelmetallverbindungen (z.B. Pd, Pt und Rh) werden vorwiegend eingesetzt.



Medienübergreifende Effekte

Die eingesetzten Katalysatoren oxidieren SO<sub>2</sub> bereitwillig zu SO<sub>3</sub>, welches eine toxischere und korrosivere Verbindung ist.

Anwendbarkeit

Die katalytische Oxidation ist in der Ton verarbeitenden Industrie schwer einzusetzen, weil die verwendeten Katalysatoren schnell durch die Verunreinigungen in den Abgasen (z.B. Schwefelverbindungen) vergiftet werden. Deshalb wird die katalytische Nachverbrennung in erster Linie zum Reinigen kleiner Abgasströme mit einem hohen Gehalt an Gesamt-C angewendet, die zum Beispiel beim Brennen spezieller feuerfester oder technischer Keramik in kleinen Öfen oder im Trocknungsprozess anfallen.

Treibende Kraft für die Umsetzung

Gesetzliche Anforderungen.

Referenzanlagen und Referenzliteratur

[2, VITO, 2003], [3, CERAME-UNIE, 2003], [4, UBA, 2001], [23, TWG Ceramics, 2005]

### 4.3.6 Beispiele für Betriebsdaten, Wirkungsgrade, Verbrauchs- und Kostendaten für verschiedene Abgasreinigungstechniken

Die nächste Tabelle zeigt einige Beispiele für Betriebsdaten, Wirkungsgrade, Verbrauchs- und Kostendaten verschiedener Abgasreinigungstechniken [2, VITO, 2003] [30, TWG Ceramics, 2005]:

Technik		Kaskaden-Schütttschicht-Adsorber	Kaskaden-Schütttschicht-Adsorber	Kaskaden-Schütttschicht-Adsorber	Trockene Abgasreinigung mit Filter	Trockene Abgasreinigung mit Filter	Nasse Abgasreinigung	Nasse Abgasreinigung
Emissionswert <sup>2</sup>			SO <sub>2</sub> < 1500 mg/Nm <sup>3</sup>	SO <sub>2</sub> ≥ 2500 mg/Nm <sup>3</sup>				
Adsorptionsmittel <sup>3</sup>		CaCO <sub>3</sub>	modifiziertes CaCO <sub>3</sub>	modifiziertes CaCO <sub>3</sub>	Ca(OH) <sub>2</sub>	NaHCO <sub>3</sub>	Wasser/Ca(OH) <sub>2</sub> oder CaCO <sub>3</sub>	Natronlauge (ätzend)
Wirkungsgrad	HF	90 % (bis zu 99 %)	bis zu 99 %	bis zu 99 %	80 bis zu 96 %	> 95 %	92 – 99 %	98 %
	SO <sub>2</sub>	8 – 20 %	43 bis zu 85 %	30 – 43 %	7 bis zu 80 %	98 – 99 %	20 bis zu 98 %	90 – 98 %
	SO <sub>3</sub>	80 %	80 – 85 %	80 – 85 %	bis zu 90 %	98 – 99 %	92 – 95 %	94 – 96 %
	HCl	50 %	> 50 %	50 %	10 bis zu 85 %	89 %	50 bis zu 95 %	90 – 98 %
	Staub	100 %	100 %	99 %	90 – 99 %	99 %		100 %
Überdosierung des Sorptionsmittels <sup>A</sup>		2,5	2,5	2,5	1,35 – 2,00		1,01 – 2,00	
Wasserverbrauch (m <sup>3</sup> /Tag) <sup>B</sup>		0	0	0	0		86 – 240	
Stromverbrauch (kWh/Tag) <sup>B</sup>		641 - 864	864	864	1200 – 2880		2352 – 4824	
Kosten für das Adsorptionsmittel <sup>3</sup> (EUR/t)		59	99	99	104		30 – 100	
Investitionskosten (EUR 10 <sup>3</sup> ) <sup>B, C</sup>		228 – 278	692	692	766 – 1081		511 – 659	

<sup>A</sup> Damit ist gemeint: Das Verhältnis der in der Praxis benötigten Adsorptionsmittelmenge<sup>3</sup>, um den angegebenen Wirkungsgrad zu erreichen, zu der Menge an Adsorptionsmittel<sup>3</sup>, die theoretisch benötigt würde (gemäß der Stöchiometrie der Adsorptionsreaktion<sup>3</sup>).

<sup>B</sup> Die Bandbreite bezieht sich auf Werte, die von vier typischen Unternehmen übermittelt wurden.

<sup>C</sup> Einbau- und zusätzliche Kosten.

**Tabelle 4.5: Technische Parameter, Wirkungsgrade, Verbrauchs- und Kostendaten für Abgasreinigungstechniken**

Die Minderungsgrade bei Einsatz prozessintegrierter Maßnahmen und nachgeschalteter Techniken werden in den nächsten zwei Tabellen gezeigt. Nachgeschaltete Verfahren wirken sich hauptsächlich auf die HF-Reduzierung aus. Prozessintegrierte Maßnahmen beeinflussen nur die Reduzierung von SO<sub>x</sub>. Die Beispiele zeigen auch die Minderungsgrade in Abhängigkeit vom Schwefelgehalt des Tons [2, VITO, 2003] [30, TWG Ceramics, 2005].

<sup>2</sup> Anm. der Übersetzer: Mit „Emissionswert“ sind hier offensichtlich Rohgaswerte gemeint.

<sup>3</sup> Anm. der Übersetzer: Da die Tabelle auch nasse Abgasreinigungsverfahren beinhaltet, bei denen die Sorption nicht an der Oberfläche eines festen Adsorptionsmittels, sondern in einem flüssigen Absorbens stattfindet, wären die übergreifenden Begriffe „Sorptions-/mittel“ passender.

Beispiel	1	2	3	4
Technik	Trockene Abgasreinigung mit Filter	Kaskaden-Schütttschicht-Adsorber	Kaskaden-Schütttschicht-Adsorber	Kaskaden-Schütttschicht-Adsorber
Rohmaterial	schwefelreicher Ton	schwefelreicher Ton	schwefelreicher Ton	schwefelreicher Ton
Emissionswert <sup>4</sup>	SO <sub>x</sub> >1500 mg/m <sup>3</sup>	SO <sub>x</sub> >1500 mg/m <sup>3</sup>	SO <sub>x</sub> ≥ 2500 mg/m <sup>3</sup>	SO <sub>x</sub> ≥ 2500 mg/m <sup>3</sup>
Prozessintegrierte Maßnahmen	Zugabe von Rohmaterialien, die wenig Schwefel und Kalzium enthalten	Zugabe von Rohmaterialien, die wenig Schwefel und Kalzium enthalten	Zugabe von Rohmaterialien, die wenig Schwefel und Kalzium enthalten	Zugabe von Rohmaterialien, die wenig Schwefel und Kalzium enthalten; kalziumreiche Additive
Adsorptionsmittel	Ca(OH) <sub>2</sub>	CaCO <sub>3</sub>	CaCO <sub>3</sub>	CaCO <sub>3</sub>
Minderungsgrad	HF	bis zu 96 %	bis zu 96 %	bis zu 83 %
	SO <sub>x</sub>	bis zu 7 %	bis zu 8 %	bis zu 24 %
	HCl	0 %	bis zu 18 %	bis zu 22 %
	Staub	bis zu 92 %	bis zu 39 %	bis zu 80 %

Beispiel	5	6	7	8
Technik	Trockene Abgasreinigung mit Filter	Kaskaden-Schütttschicht-Adsorber	Kaskaden-Schütttschicht-Adsorber	Kaskaden-Schütttschicht-Adsorber
Rohmaterial	schwefelreicher Ton	schwefelarmer Ton	schwefelarmer Ton	schwefelarmer Ton
Emissionswert <sup>4</sup>	SO <sub>x</sub> >1500 mg/m <sup>3</sup>	SO <sub>x</sub> <500 mg/m <sup>3</sup>	SO <sub>x</sub> <500 mg/m <sup>3</sup>	SO <sub>x</sub> <500 mg/m <sup>3</sup>
prozessintegrierte Maßnahmen	-	-	-	-
Adsorptionsmittel	Ca(OH) <sub>2</sub>	CaCO <sub>3</sub>	CaCO <sub>3</sub>	CaCO <sub>3</sub>
Minderungsgrad	HF	bis zu 95 %	bis zu 74 %	bis zu 99 %
	SO <sub>x</sub>	bis zu 34 %	0 %	bis zu 76 %
	HCl	bis zu 83 %	0 %	bis zu 94 %
	Staub	0 %	bis zu 37 %	bis zu 83 %

**Tabelle 4.6: Minderungsgrade in Abhängigkeit vom Schwefelgehalt des Rohmaterials**

In diesem Zusammenhang siehe **Table 3.8** und **Table 3.9** hinsichtlich der korrespondierenden Betriebsdaten, Roh- und Reingaskonzentrationen von Öfen zur Herstellung von Vor- und Hintermauerziegeln [32, TWG Ceramics, 2006].

Einige Beispiele für Kostendaten für die Emissionsminderung von Staub, anorganischen und organischen gasförmigen Verbindungen bei Einsatz verschiedener Minderungstechniken werden sowohl für Investitions-, Instandhaltungs- und Adsorptionsmittel- als auch für Betriebskosten in Tabelle 4.7 gezeigt. Diese Informationen können jedoch nicht verwendet werden, um einzelne Techniken direkt miteinander zu vergleichen, da die realen Kosten von Faktoren wie dem Volumenstrom, dem Emissionsminderungsgrad, den Rohgaswerten, der Energie usw. abhängig sein werden. Das Ziel ist es, einen allgemeinen Überblick über die Höhe der Investitionen zu geben, die die verschiedenen Techniken nach sich ziehen könnten [3, CERAME-UNIE, 2003], [2, VITO, 2003], [4, UBA, 2001], [30, TWG Ceramics, 2005], [32, TWG Ceramics, 2006].

<sup>4</sup> Anmerkung der Übersetzer: Mit „Emissionswert“ sind hier offensichtlich Rohgaswerte gemeint.

Reinigungssystem/-typ	Anwendungsfelder	Absorptions-/Adsorptionsmittel	Übliche Größen/ Volumenströme für die Keramik- industrie (m <sup>3</sup> /h) <sup>1)</sup>	Richtschnur für Investitionen (EUR)	Instandhaltung (EUR/a)	Kosten für Sorp- tionsmittel (EUR/t) (EUR/a)	Betriebs- kosten EUR/t
<b>Staubminderung</b>							
Gewebefilter	komplette Anlagenbereiche, Aufbereitung, Förderung, Lagerung, Formgebung, Übergabestellen, usw.		900 – 70.000	6.000 – 150.000 (abhängig von der Größe und Länge des Leitungssystems)			0,03 – 0,1
Zentrale Absaugung	kompletter Anlagenbereich, Aufbereitung, Förderung, Lagerung, Formgebung, Übergabestellen, Ofenwagen usw.		900 – 1.000	25.000 – 65.000 (abhängig von der Länge des Leitungssystems/ der Rohre)			
Ofenwagenreinigungssystem (unterschiedliche Ausführungen: mit festen oder beweglichen Düsen, mit Hubvorrichtung oder Justierung des Plateaus)	Ofenwagen		8000 – 30.000	40000 – 200.000 (abhängig von Größe und Ausführung)			
Elektrofilter	Staubminderung für heiße und große Abgasströme		bis zu 100.000	1.000.000 – 3.000.000			0,1 – 0,2
<b>Minderung anorganischer gasförmiger Verbindungen</b>							
Modulsystem	hauptsächlich HF-Minderung	Ca(OH) <sub>2</sub> Waben	sehr geringe Volumenströme	45.000 – 100.000	~500	~46000 EUR/a	
Kaskaden-Schütttschicht-Adsorber	hauptsächlich HF-Minderung	CaCO <sub>3</sub>	2500 – 140000 (keine untere oder obere Begrenzung)	40.000 – 500.000	~2.000	30 – 55 EUR/t (angeliefert) 4000 – 30.000 EUR/a	23.400 – 4.800
Kaskaden-Schütttschicht-Adsorber	hauptsächlich HF-, HCl- und SO <sub>x</sub> -Minderung	modifiziertes/hergestelltes Adsorptionsmittel	2.500 – 140.000 (keine untere oder obere Begrenzung)	40.000 – 500.000	~2.000	95 – 110 EUR/t (angeliefert) bis zu 60.000 EUR/a	

<b>Minderung anorganischer gasförmiger Verbindungen (Fortsetzung)</b>							
Gegenstrom-Schüttichtfilter/Serienmodule	hauptsächlich HF-, HCl- und SO <sub>x</sub> -Minderung	CaCO <sub>3</sub> und modifiziertes/hergestelltes Adsorptionsmittel	2.500 – 140.000 (keine untere oder obere Begrenzung)	80.000 – 800.000	~2.500	30 – 55 EUR/t (angeliefert) bzw. 95 – 110 EUR/t (angeliefert)	
Trockensorption mit Gewebefilter (Flugstromverfahren)	hauptsächlich HF-, HCl und SO <sub>x</sub> -, Staub-Minderung	Ca(OH) <sub>2</sub> in verschiedenen Qualitäten	2.500 – 140.000 (keine untere oder obere Begrenzung)	80.000 – 1.000.000	~4.000	95 – 110 EUR/t (angeliefert) 8000 – 45000 EUR/a	107.500 – 130.700
Trockensorption mit Gewebefilter (Flugstromverfahren) mit Konditionierung des Reaktionsproduktes	hauptsächlich HF-, HCl und SO <sub>x</sub> -, Staub-Minderung	Ca(OH) <sub>2</sub> in verschiedenen Qualitäten (mit geringem Wasserzusatz)	2.500 – 140.000 (keine untere oder obere Begrenzung)	200.000 – 1.600.000	~6.500	95 – 110 EUR/t (angeliefert) 8000 – 45000 EUR/a	107.500 – 130.700
Nasswäscher	hauptsächlich HCl- und SO <sub>x</sub> -Minderung	alkalische Lösung	2.500 – 140.000 (keine untere oder obere Begrenzung)	400.000 – 2.000.000	bis zu 8.000	95 – 110 EUR/t (angeliefert) 8000 – 45000 EUR/a + Wasser	
<b>Minderung organischer gasförmiger Verbindungen</b>							
Thermische Nachverbrennung in einem Thermoreaktor (extern)	VOC-Minderung		10.000 – 50.000	180.000 – 420.000	500 – 4.500		
Interne Schwelgasverbrennung	VOC-Minderung			42.000 – 300.000	500 – 8.000		
Anmerkung: In der Spalte 'Übliche Größen/Volumenströme' und in der Spalte 'Richtschnur für Investitionen' sind Bandbreiten angegeben. Es ist zutreffend anzunehmen, dass die kleinen m <sup>3</sup> /h-Zahlen mit den niedrigen Investitionsangaben in EUR und die hohen m <sup>3</sup> /h-Zahlen mit den hohen Investitionsangaben in EUR korrespondieren. Obwohl der Anstieg nicht linear ist, sind normalerweise die Investitionen pro m <sup>3</sup> umso niedriger je mehr m <sup>3</sup> /h behandelt werden. <sup>1)</sup> Die Volumenströme sind in 'tatsächlichen m <sup>3</sup> ' angegeben (m <sup>3</sup> , im Gegensatz zu Normkubikmeter (Nm <sup>3</sup> ), Standardbedingungen) weil das tatsächliche Abgas behandelt werden muss.							

**Tabelle 4.7: Kosten hinsichtlich der Minderung von Staub, anorganischen gasförmigen Verbindungen und organischen gasförmigen Verbindungen bei Einsatz verschiedener Minderungstechniken**

## **4.4 Prozessabwasser**

### **4.4.1 Wasserverwendung als Rohmaterial**

Wasser ist ein sehr wichtiges Rohmaterial in der Keramikindustrie, aber die verwendete Menge ist je nach Sektor und Verfahren sehr unterschiedlich. Das Wasser, das direkt den keramischen Massen zugegeben wird, führt nicht zu einem Abwasserproblem, weil es während der nachfolgenden Trocknungs- und Brennprozesse verdunstet wird. Prozessabwasser entsteht hauptsächlich, wenn Tonmaterialien ausgewaschen und während der Herstellungsprozessschritte mit fließendem Wasser suspendiert werden.

### **4.4.2 Wasserverwendung als Wärmeaustauschmedium**

Dieser Funktion dient das Wasser in hydraulischen Kühlsystemen, Verdichtern etc. Wasser, das für diese Zwecke verwendet wird, muss rein sein und eine geringe Härte aufweisen, um Ablagerungen in den Wärmetauschern zu vermeiden. Mit einfachen Abkühlungs- und/oder Reinigungsmaßnahmen kann das verwendete Wasser in geschlossenen Kreisläufen zirkulieren, so dass der Wasserverbrauch der Menge des verdunsteten Wassers entspricht. Weil Wasser in geschlossenen Kühlkreisläufen in der Regel chemisch konditioniert wird, um Korrosion oder biologische Abbauprozesse zu verhindern, ist eine gemeinsame Behandlung mit Produktionsabwässern gewöhnlich nicht möglich (in diesem Zusammenhang siehe BVT-Merkblatt über „Industrielle Kühlsysteme“).

### **4.4.3 Wasserverwendung in der Abgaswäsche**

Wasser wird auch in Abgaswäschern (nassen Rauchgasreinigungssystemen oder nassen Staubabscheidern) verwendet. In diesen Systemen kann zurückgeführtes Prozessabwasser genutzt werden, das mit einfachen physikalischen Verfahren behandelt wurde (Sedimentation mit oder ohne vorherige chemische Behandlung) und danach wiederverwendet oder erneut behandelt werden kann.

### **4.4.4 Wasserverwendung zu Reinigungszwecken**

Wasser wird zur Reinigung der Anlagen, vor allem der Einrichtungen zur Materialaufbereitung, der Formen und anderer Gießaggregate, der Glasierlinien, der Einrichtungen zum Engobieren und für andere Dekore, verwendet. Reinigen ist die Tätigkeit, bei der das meiste Wasser verwendet wird. Hier ist eine geeignete Betriebsführung erforderlich, um Einsparungen zu erreichen und Prozessabwässer zu vermeiden. Der Wasserverbrauch kann vermindert werden, wenn das Wasser behandelt und mehrfach wieder zu Reinigungszwecken verwendet wird.

### **4.4.5 Ziele und Lösungen für die Minderung von Prozessabwässern (Emissionen und Verbrauchsmenge)**

Die Ziele zum Umgang mit Wasser aus keramischen Herstellungsprozessen umfassen die Senkung des Wasserverbrauchs und die Erreichung minimaler Abwasseremissionen. Um diese Ziele zu erreichen, werden Maßnahmen der Prozessoptimierung und Abwasserbehandlungstechniken angewandt.

#### 4.4.5.1 Prozessoptimierung

##### Beschreibung und Umweltentlastungseffekte

Die Minimierung des Wasserverbrauchs ist wichtig, und um eine solche Minderung zu erreichen, können die folgenden Maßnahmen der Prozessoptimierung angewandt werden:

- Einflussnahme auf die Wasserkreisläufe; Installation automatischer Ventile, die verhindern, dass mehr Wasser austritt als benötigt wird
- Installation eines Hochdrucksystems (oder von Hochdruckreinigungsgeräten) für Reinigungszwecke in der Anlage
- Wechsel von nassen Abgasreinigungssystemen zu alternativen, nicht Wasser verbrauchenden Systemen (Reinigung durch trockene Reinigungssysteme, siehe Abschnitte 4.2.3 und 4.3.4)
- Installation von 'in situ' Überschuss-Glasur-Sammelsystemen
- Installation von Rohrfördersystemen für Schlicker
- Getrennte Erfassung der Abwasserströme aus unterschiedlichen Prozessstufen
- Wiederverwendung von Prozessabwässern in der gleichen Verfahrensstufe, insbesondere die wiederholte Wiederverwendung von Reinigungswasser nach geeigneter Behandlung.

##### Medienübergreifende Effekte

Nicht relevant.

##### Betriebswerte

Optimale Lösungen schließen die Wiederverwendung des anfallenden Prozessabwassers in der gleichen Verfahrensstufe ein. Um die maximale Menge des wiederverwendbaren Prozessabwassers in der Anlage zu ermitteln und entsprechende Lösungen zu entwickeln, kann eine Wasser-(Stoffstrom)-Bilanz aufgestellt werden, in der alle Anfallstellen von Prozessabwasser und deren Mengen sowie deren mögliche Verwendungsarten ausgewiesen sind.

Die nachfolgende Tabelle zeigt die in verschiedenen Sektoren der Keramikindustrie erreichten Wiederverwendungsraten für Prozessabwässer. Angegeben sind die durchschnittlichen und die höchsten in den einzelnen Sektoren in Deutschland erreichten Raten, jeweils bezogen auf die anfallende Abwassermenge [4, UBA, 2001].

Sektor	Durchschnitt	Höchste Rate
Wand- und Bodenfliesen	70 – 80 %	100 %
Haushaltskeramik	k.A.	50 %
Sanitärkeramik	30 – 50 %	50 %

**Tabelle 4.8: Erreichbare Wasserwiederverwendungsraten in verschiedenen Sektoren der Keramikindustrie**

Unterschiedliche erreichbare Wiederverwendungsraten, bezogen auf den Wasserbedarf, werden für die Herstellung von Wand- und Bodenfliesen berichtet: 10 % (unglasiertes Porzellan-Steinzeug) bis 70 % (einfach gebrannte, glasierte Fliesen und glasiertes Porzellan-Steinzeug) [6, Timellini, 2004].

Die Wiederverwendung von Prozessabwasser wird durch eine Kombination von Prozessoptimierungsmaßnahmen und den in Abschnitt 4.4.5.2 genannten Abwasserbehandlungstechniken erreicht.

##### Anwendbarkeit

Prozessoptimierungsmaßnahmen zur Minderung des Wasserverbrauchs können in allen Sektoren der Keramikindustrie angewendet werden.

### Wirtschaftliche Aspekte

Die Wirtschaftlichkeit hängt von der im Einzelfall durchzuführenden Maßnahme/Tätigkeit ab; aber generell führt eine Minderung des Wasserverbrauchs zu reduzierten Frischwasserkosten.

### Treibende Kraft für die Umsetzung

Kosteneinsparungen durch effiziente Prozessführung.

### Referenzanlagen und Referenzliteratur

[3, CERAME-UNIE, 2003], [4, UBA, 2001], [10, Navarro, 1998], [13, SYKE, 2004], [23, TWG Ceramics, 2005]

## 4.4.5.2 Behandlungstechniken für Prozessabwässer

Nützliche Informationen in diesem Zusammenhang können ebenfalls dem BVT-Merkblatt „Abwasser-/Abgasbehandlung und -management in der chemischen Industrie“ entnommen werden.

### Beschreibung und Umweltentlastungseffekte

Die wichtigsten Abwasserbehandlungstechniken sind wie folgt:

**Homogenisierung:** Homogenisierungsbecken werden verwendet, um eine einheitliche Zusammensetzung des zu behandelnden Wassers zu erreichen und –soweit möglich– Probleme wegen variierender Inhaltsstoffe zu vermeiden. Durch Verwendung dieser Becken werden Verbesserungen bei allen nachfolgenden Behandlungen erreicht, da die erzielte Homogenität die Steuerung von Stoffzugaben und deren Konsistenz in den Betriebseinrichtungen vereinfacht.

**Belüftung:** Dieses physikalische Verfahren wird häufig und für verschiedene Zwecke in der Wasserbehandlung eingesetzt, so zur Oxidation der Materialien, um die nachfolgende Flockung zu vereinfachen, zur Sauerstoffanreicherung der im Abwasser enthaltenen organischen Verbindungen, zur Geruchsminderung etc. Zur Belüftung können oberflächliche Rühr- oder Schaufelwerke dienen.

**Sedimentation (Setzung):** Dies bezeichnet die partielle Abtrennung fester Teilchen aus einer Flüssigkeit durch Gravitation. Es gibt verschiedene Arten von Absetzbecken; diese können rechteckig, rund oder lamellenförmig sein.

**Filtration:** Filtration bezeichnet die Abtrennung suspendierter Feststoffe aus einer Flüssigkeit, indem die Suspension ein poröses Medium durchströmt, das die Feststoffe zurückhält und die Flüssigkeit durchlässt. Die in der Keramikindustrie verwendeten Filtertypen sind Tiefenfilter, Filterpressen und Vakuumfilter.

**Adsorption mit Aktivkohle:** Diese Behandlung basiert auf der Fähigkeit von Aktivkohle, im Wasser vorhandene organische Moleküle wirksam zu adsorbieren. Dies ist eine sehr geeignete Technik, um biologisch nicht abbaubare organische Stoffe zu entfernen.

**Chemische Fällung:** Dies ist ein Verfahren, um verschiedene gelöste Elemente zu entfernen, indem sie mit Hilfe von Reagenzien, z.B. Kalk, als unlösliche Verbindungen gefällt werden.

**Koagulation und Flockung:** Der Zweck dieser Behandlung ist, Kolloid-Suspensionen aufzubrechen und Partikel zu agglomerieren, z.B. durch Verwendung von Alaun oder Polyelektrolyten und/oder einer Kombination von Kalk und Metallsalzen.

**Ionenaustausch und Umkehrosmose:** Diese Verfahren dienen der Entfernung von Bor aus dem Reinigungswasser der Glasier- und Dekorationsstufen. Die Umkehrosmose wird zudem angewandt, um die Menge des abzuleitenden Abwassers zu reduzieren.



Durch Anwendung einer oder einer Kombination dieser Maßnahmen können deutliche Minderungen der Abwasseremissionen und ein geringerer Wasserverbrauch erreicht werden (siehe Tabelle 4.8).

#### Medienübergreifende Effekte

Sedimentations- und Filtrerrückstände müssen entsorgt werden, falls eine Wiederverwertung nicht möglich ist (insbesondere bei Gebrauch von Flockungs-, Fällungs- oder Adsorptionsmedien).

#### Betriebswerte und Anwendbarkeit

Abwasserbehandlungstechniken können in allen Sektoren der Keramikindustrie verwendet werden, dabei ist aber die spezielle Aufgabenstellung zu beachten:

- Wenn das Prozessabwasser bei der Massenzubereitung wiederverwendet werden soll, ist prinzipiell keine Behandlung nötig, es wird aber ein Homogenisierungsbecken benötigt, um eine möglichst einheitliche Beschaffenheit zu gewährleisten.
- Wenn das Wasser zur Reinigungszwecken wiederverwendet werden soll, muss die Wasserqualität höher sein, so dass eine Sedimentation erforderlich ist, gefolgt von einer Belüftung mit oder ohne anschließender chemischer Behandlung zur Geruchs-beseitigung
- Bei überschüssigem Prozessabwasser, das extern abgeleitet werden muss, ist normalerweise eine Kombination von Homogenisierung, Flockung, Sedimentation und Filtration erforderlich. Um die Menge des abzuleitenden Abwassers zu reduzieren, wird nachfolgend auch die Umkehrosmose eingesetzt.

Beispielhaft zeigt die nachfolgende Abbildung das Verfahrensschema einer Abwasserbehandlungsanlage eines Porzellan-Tafelgeschirr-Herstellers, welche aus einer Kombination der oben genannten Techniken zur Prozessabwasserbehandlung besteht [4, UBA, 2001].

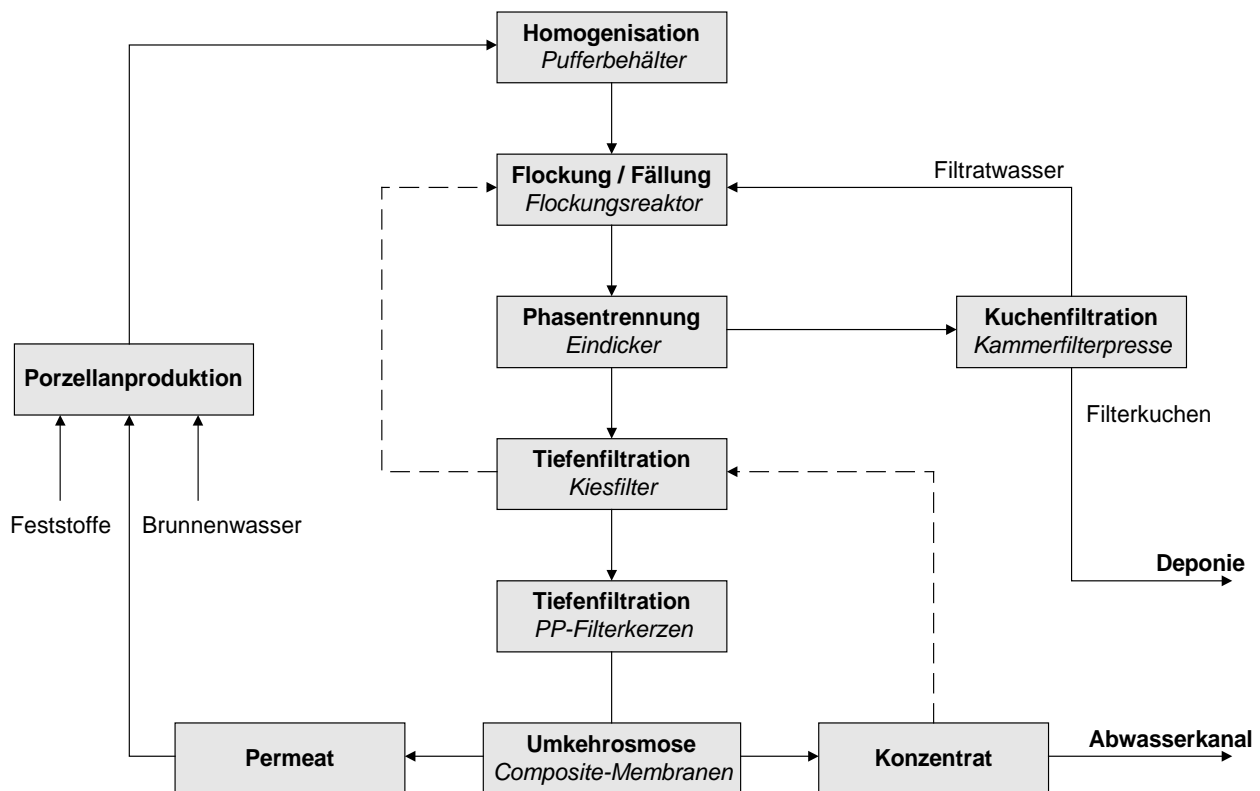


Abbildung 4.16: Verfahrensschema einer Abwasserbehandlungsanlage

Siehe in diesem Zusammenhang **Table 3.38**, die Analysen des Prozessabwassers nach den einzelnen Behandlungsstufen enthält, sowie **Table 3.39**, die Analysen des Prozessabwassers einer Anlage für Haushaltskeramik zeigt, in der die Reinigung mit einem chemischen Fällungsprozess durchgeführt wird.

Siehe auch **Table 3.49**, die Analysen des gereinigten Prozessabwassers aus der Herstellung von technischer Keramik (elektrische Isolatoren) zeigt, bei der das Prozessabwasser durch Flockung, Trennung mit einem Platten-Eindicker und Filtration mit Filterpresse gereinigt wird.

**Table 3.50** gibt ebenfalls Schadstoffkonzentrationen im Abwasser eines Herstellers von elektrischen Isolatoren nach der Flockung an, aber ohne Filtration.

### Wirtschaftliche Aspekte

Wenn das Prozessabwasser extern entsorgt werden muss, ist zur Einhaltung der gesetzlich vorgeschriebenen Werte eine aufwändige Kombination mehrerer Behandlungsschritte erforderlich – einschließlich Sedimentation, chemischer Fällung, Flockung und einer abschließenden Behandlung, die –wie oben beschrieben– entweder auf Ionenaustausch oder Umkehrosmose basiert.

Wenn das gereinigte Wasser aus der Abwasserbehandlungsanlage wiederverwendet werden kann, führt dies zu reduzierten Frischwasserkosten. Durch eine Kombination von Maßnahmen zur Wieder- und Weiterverwendung von Abwasser sowie zur Prozessoptimierung können Kosten eingespart werden, die mit der Entsorgung der oben genannten Behandlungsrückstände verbunden sind.

### Treibende Kraft für die Umsetzung

- gesetzliche Anforderungen
- Wasser- und Rohmaterialeinsparung

### Referenzanlagen und Referenzliteratur

[1, BMLFUW, 2003], [3, CERAME-UNIE, 2003], [4, UBA, 2001], [10, Navarro, 1998], [13, SYKE, 2004], [23, TWG Ceramics, 2005], [30, TWG Ceramics, 2005], [31, Probst, 2005]

## **4.5 Prozessverluste/Abfall**

### **4.5.1 Schlämme, die bei der Herstellung keramischer Produkte anfallen**

#### **4.5.1.1 Systeme zur Wiederverwertung von Schlämmen (Schlammrückführung)**

##### Beschreibung und Umweltentlastungseffekte

Die Schlammrückführung bezeichnet die Wiederverwertung von Schlämmen in keramischen Massen wie wässrigen Suspensionen und Schlickern, die keramische Materialien enthalten, z. B. zur Herstellung von Wand- und Bodenfliesen (siehe auch Abschnitte **2.3.5** und **3.3.5**).

Systeme zur Wiederverwertung von Schlämmen lassen sich in Anlagen mit Rohmaterialaufbereitung durch nasse Mahlung einfach umsetzen, da der Schlamm ohne weitere Behandlung – oder nach einfacher physikalischer oder physikalisch-chemischer Behandlung – direkt verwertet werden kann. Ein weiterer Vorteil dabei ist, dass das im Schlamm enthaltene Wasser in der Mahlung genutzt werden kann. Wenn ein trockenes Masseaufbereitungsverfahren eingesetzt wird, ist die Schlammzugabe auch kein Problem, die Handhabung ist aber aufwändiger, weil der Schlamm zunächst getrocknet werden muss.

Die nachfolgende Abbildung zeigt schematisch die Schlammrückführung in einer Anlage zur Herstellung von Wand- und Bodenfliesen (nasses Verfahren) [4, UBA, 2001]. Der Schlamm wird aus den Klärbecken abgepumpt, einer 2-stufigen Siebanlage zugeführt und passiert anschließend einen Enteisungsfilter, um dann in eine Pumpenvorlage mit 3 m<sup>3</sup> Inhalt eingeleitet zu werden. Von dort wird der Schlamm in zwei 300 m<sup>3</sup> große Pufferbecken gepumpt, die wechselseitig gefüllt werden. Nach Überprüfung der Schlamm Eigenschaften mit positivem Analyseergebnis wird der Schlamm dem Hauptsammelbecken mit einem Fassungsvermögen von 400 m<sup>3</sup> zugeführt. Von dort gelangt der keramische Schlamm halbautomatisch in die Dosierbehälter, die zur Beschickung der Trommelmühlen für die einzelnen Materialchargen dienen.

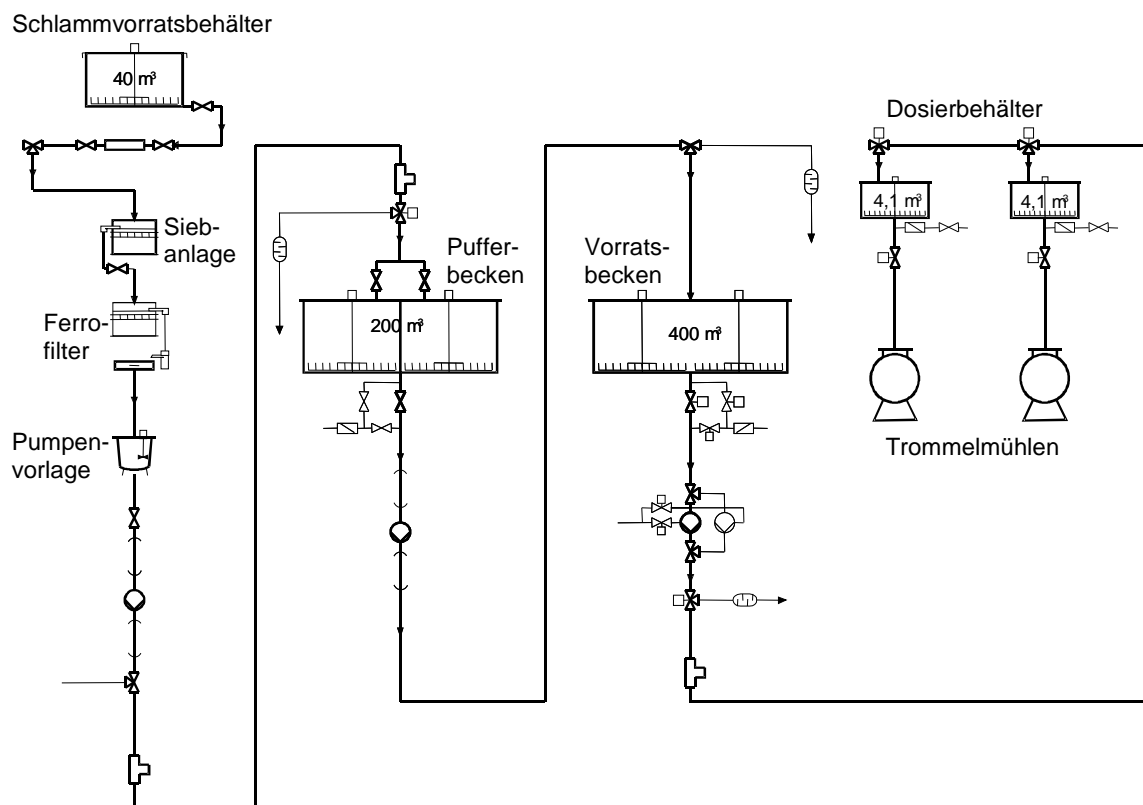


Abbildung 4.17: Schematischer Aufbau einer Schlammrückführungsanlage

Durch Anwendung eines Systems zur Schlammrückführung wird nicht nur der Wasser- und Rohmaterialverbrauch reduziert, es kann auch die Freisetzung von Schadstoffen in die Umwelt gemindert werden.

#### Medienübergreifende Effekte

Wenn der Schlamm für die Wiederverwertung getrocknet werden muss, steigt der Energieverbrauch. Zu beachten sind auch mögliche negative Konsequenzen eines Schadstoffeintrags aus einem Verfahrensschritt/einer Anlage, z.B. der Glasuraufbereitung und –anwendung, in einen anderen Verfahrensschritt/eine andere Anlage, z.B. die Masseaufbereitung. Die Überwachung der gasförmigen Emissionen und des Prozessabwassers stellt eine geeignete Lösung dar, um solch negativen Konsequenzen vorzubeugen.

#### Betriebswerte und Anwendbarkeit

Die Menge des in einer Anlage zur Herstellung von Wand- und Bodenfliesen anfallenden Schlammes beträgt 0,09 – 0,15 kg (trocken)/m<sup>2</sup> Fertigprodukt; für ein Produkt mit einer Scherbenmasse von 15 – 20 kg/m<sup>2</sup> sind das 0,4 – 1,0 % (kg trockener Schlamm/kg Scherben). Wenn der bei der Behandlung des Abwassers aus diesem Prozess anfallende Schlamm vollständig in der Masseaufbereitung verwertet wird, beträgt der Anteil des Zuschlags am Rohmaterial folglich etwa 0,4 – 1,0 %, bezogen auf die Trockensubstanz. Es wurde festgestellt, dass bei den keramischen Massen für die Fliesenherstellung eine Schlammzugabe von 1 – 1,5 % im allgemeinen das Verhalten der Produkte im Herstellungsprozess nicht beeinträchtigt [10, Navarro, 1998], [32, TWG Ceramics, 2006].

Folglich ist die vollständige Einbindung des Schlammes bei nassen Mahlverfahren – sowohl hinsichtlich der Massenbilanz wie auch der resultierenden Eigenschaftsänderungen – technisch möglich und vereinfacht die Prozessführung.

Wenn bei nassen Verfahren die Masseaufbereitungsanlage eine eigenständige Anlage ist oder wenn sie getrennt von der Produktionsanlage steht, kann der Schlamm auf dem Straßenweg zurückgeführt werden. Wässrige Suspensionen und Schlämme können durch Tankfahrzeuge oder Rohrleitungen zurückgeführt werden.

Schlämme, die Glasurschlamm enthalten, scheinen grundsätzlich sehr geeignet zu sein, um als Glasurbestandteil genutzt zu werden. Der Hauptnachteil bei diesem Verfahren ist aber die beträchtliche Heterogenität der Schlammzusammensetzung über die Zeit, da die meisten Unternehmen üblicherweise verschiedene Glasuren zur gleichen Zeit in der Produktion verwenden. Außerdem kann dieser Schlamm nicht der einzige Glasurbestandteil sein, sondern ist als Zusatzstoff (z. B. als Flussmittel) zu betrachten. Auch wenn dies in Einzelfällen eine sehr gute Lösung sein kann, insbesondere wenn nur eine oder wenige verschiedene Glasuren in der Anlage eingesetzt werden, ist die Verwendung von Schlamm zur Glasuraufbereitung nicht als allgemeingültige Lösung anzusehen.

Die Schlammrückführung ist daher nicht in allen Fällen anwendbar. Wenn es spezielle Anforderungen an die Qualität oder die Leistungsfähigkeit gibt, kann der Schlamm nur in anderen Produkten weiterverwertet werden (siehe Abschnitt 4.5.1.2).

### Wirtschaftliche Aspekte

Schlammrückführung und -verwertung führen zur Vermeidung – und folglich Einsparung – von Entsorgungskosten.

### Treibende Kraft für die Umsetzung

Kostensenkung durch Einsparung von Rohmaterial und Brauchwasser sowie Abfallvermeidung.

### Referenzanlagen und Referenzliteratur

[3, CERAME-UNIE, 2003], [4, UBA, 2001], [6, Timellini, 2004], [10, Navarro, 1998], [13, SYKE, 2004], [23, TWG Ceramics, 2005], [32, TWG Ceramics, 2006]

## **4.5.1.2 Weiterverwertung der Schlämme in anderen Produkten**

### Beschreibung und Umweltentlastungseffekte

Schlämme, die in einem Sektor der Keramikindustrie anfielen, können in anderen Sektoren weiterverwertet werden, weil dies eine technisch interessante oder ökonomisch vorteilhafte Lösung sein kann. Zum Beispiel kann Schlamm aus der Herstellung von Haushalts- oder Sanitärkeramik als Rohmaterial/Zusatzstoff zur Herstellung von Ziegeln und Blähtonzeugnissen verwendet werden.

Die führt einerseits zur Abfallvermeidung und andererseits zur Einsparung von Rohmaterialien.

### Medienübergreifende Effekte

Wenn der Schlamm für die Weiterverwertung getrocknet werden muss, steigt der Energieverbrauch. Zu beachten sind auch mögliche negative Konsequenzen eines Schadstoffeintrags aus einem Verfahrensschritt/einer Anlage, z.B. der Glasuraufbereitung und -anwendung zur Herstellung von Haushaltskeramik, in einen anderen Verfahrensschritt/eine andere Anlage, z.B. die Masseaufbereitung in einer Ziegelei. Die Überwachung der gasförmigen Emissionen und des Prozessabwassers stellt eine geeignete Lösung dar, um solch negativen Konsequenzen vorzubeugen.

Betriebswerte und Anwendbarkeit

Wenn Schlämme in der Herstellung von Bauprodukten weiterverwertet werden, müssen die Schmelztemperaturen der Glasuren, die im Schlamm enthalten sind, und die Fließigenschaften beachtet werden, weil diese sich auf die Produkteigenschaften auswirken können.

Wirtschaftliche Aspekte und treibende Kraft für die Umsetzung

Kostensenkung durch Einsparung von Rohmaterial und Entsorgungskosten.

Referenzanlagen und Referenzliteratur

[3, CERAME-UNIE, 2003], [13, SYKE, 2004], [22, SYKE, 2004], [23, TWG Ceramics, 2005]

**4.5.2 Feste Prozessverluste/Abfälle**

Dieser Abschnitt behandelt die Möglichkeiten zur Verminderung der festen Prozessverluste/Abfälle, die bei der Herstellung keramischer Produkte auf mehreren Verfahrensstufen anfallen können. Diejenigen Einrichtungen/Techniken, bei denen feste Prozessverluste/Abfälle anfallen, wurden bereits in diesem Dokument behandelt, z. B. in den Kapiteln 2 und 4 bezüglich der Techniken zur Staubabscheidung.

**4.5.2.1 Allgemeine Betrachtungen zur Verwendung/Verwertung von festen Prozessverlusten als Rohmaterial**

Staub, der beim Beladen, Entladen, Befördern, mechanischen Hantieren und Bearbeiten von Rohmaterialien erfasst wird, kann normalerweise wieder als Rohmaterial verwendet werden. Zum Beispiel kann der Filterstaub aus der Lagerung der Rohmaterialien direkt in den Produktionsprozess oder zurück in das Silo geführt werden, wenn die Abluftreinigung dezentral durch einen Siloaufsatzfilter erfolgt. Bei Verwendung von zentralen Abluftentstaubungseinrichtungen ist hingegen wegen der Vermischung verschiedener Rohmaterialien eine direkte Rückführung eventuell nicht möglich.

Ebenso können Prozessverluste, die vor dem Brennen anfallen, normalerweise wieder als Rohmaterial verwendet werden, indem sie der Rohmaterialmischung zugegeben werden. Materialverschnitt, gebrauchte Gipsformen und auch Staub sind die wichtigsten Prozessverluste, die beim Formgebungsprozess anfallen. Die von der Presse abgeschnittenen Teile werden meist vom Pressentisch geschoben, unter der Presse gesammelt und direkt in das Rohmateriallager für die Presse zurückgeführt. Außerdem werden der Staub oder die abgeschnittenen Teile oft als Chargen-Komponenten in Gießschlickern oder Steinzeugmassen eingesetzt. Gebrauchte Gipsformen können in der Zementindustrie oder nach Brechung und Mahlung zum Teil in der Düngemittelindustrie verwertet werden.

Stäube aus der Abgasreinigungsanlage können nur unter bestimmten Umständen verwertet werden, weil diese Stäube hohe Gehalte an Schwefel und Fluor enthalten können. Bei Zugabe zur Rohmaterialmischung könnten diese Stäube zu erhöhten Emissionen von HF und SO<sub>x</sub> während des Brennprozesses führen. Zudem kann Staub aus der Abgasreinigungsanlage, zum Beispiel wenn ein Adsorptionssystem auf Kalkbasis eingesetzt wird, adsorbierende Teilchen wie Kalk enthalten, die die Produkteigenschaften beeinflussen. Daher erleichtert eine getrennte Führung der verschiedenen Abgasströme die optimale Nutzung der staubförmigen Prozessverluste. Bei der Herstellung von Blähtonprodukten kann der Staub in den meisten Fällen verwertet werden.

Gips, der bei der Abgasreinigung anfällt, vor allem bei der Herstellung von Blähtonerzeugnissen sowie der Ziegel- und Dachziegelindustrie, kann nicht im Prozess selbst wieder verwendet werden, sondern wird in der Zementindustrie als Aushärtungsregulator verwertet. Materialien, die nicht intern verwertet werden können, verlassen die Anlage, um in anderen Industrien verwertet oder externen Abfallverwertungs- oder -beseitigungsanlagen zugeführt zu werden.

Gebrannte Produkte, die nicht zum Verkauf geeignet sind (Bruchware), und kaputte Feuerungshilfsmittel sowie Ofenausbruch können in manchen Fällen nach Mahlung als Rohmaterial verwertet werden. Bruchware, die nicht im Prozess verwertet werden kann, kann manchmal in anderen Industrien als Ausgangsmaterial dienen. Zum Beispiel werden fehlerhafte keramisch gebundene Schleifscheiben als Feuerfestmaterial in Stahlwerksöfen oder als Füllmaterial im Straßenbau verwertet. Gebrochene Ziegelsteine können zum Beispiel als Substrat für die Dachbegrünung, für Tennisplätze oder als Zuschlagstoff für Spezialbeton verwertet werden.

Verglichen mit der Abfallbeseitigung auf Deponien führt die Verwertung der festen Prozessverluste/Abfälle zu

- einer Einsparung an verwendeten Rohmaterialien,
- einer Minderung der Schadstoffeinträge in die Umwelt,
- der Vermeidung – und damit Einsparung – von Entsorgungskosten sowie auch einem Teil der Kosten für Rohmaterialien.

[2, VITO, 2003], [3, CERAME-UNIE, 2003], [4, UBA, 2001], [23, TWG Ceramics, 2005], [26, UBA, 2005], [28, Schorcht, 2005]

### **4.5.2.2 Allgemeine Betrachtungen zu Gipsformen, Feuerungshilfsmittel und Bruchware – Vermeidung / Substituierung / Verminderung**

Die Anwendung moderner Techniken in der Formgebung bietet ein beachtliches Potential zur Abfallvermeidung. Verfahren wie der Schlickerguss in Gipsformen können durch den Schlickerdruckguss mit Polymerformen ersetzt werden. Bei diesem Verfahren wird auf die Verwendung von Gipsformen verzichtet, zudem kann eine Rohmaterialeinsparung von bis zu 20% erreicht werden und der Anfall von Weißschlamm wird reduziert. Bei Verwendung isostatischer Pressen mit Polymerformen entfällt ebenfalls der Bedarf für Gipsformen. In manchen Sektoren, zum Beispiel bei der Herstellung von Dachziegeln, ist an Stelle der offenen Gipsformen die Verwendung geschlossener Metallformen möglich. Das Ersetzen der Gipsformen ist aber nur möglich, wenn eine neue Gießeinrichtung errichtet oder die alte total erneuert wird, was teuer und daher für Unternehmen mit geringem Umsatz schwierig durchzuführen ist. In manchen Fällen können bei der Verwendung von Gipsformen<sup>5</sup> Qualitätsprobleme auftreten, weil mehr scharfe Kanten auftreten. Außerdem haben die Metallformen – im Vergleich zu den Gipsformen – eine erheblich niedrigere Verdunstungsrate für das Wasser, das aus dem gegossenen Ton austritt.

Der Anfall an verbrauchten Gipsformen kann auch durch eine Verlängerung ihrer Standzeit reduziert werden. Der Einsatz von vollautomatischen Gipsmischern oder Vakuummischern ermöglicht die Herstellung härterer Gipsformen, die eine zwei- bis dreifach längere Standzeit der Formen ermöglichen. Allerdings ist es zum Beispiel beim nassen Pressverfahren für Tondachziegel in der Regel nicht möglich, die Härte des Gipses zu steigern. Es muss ein Optimum zwischen Porosität und der Oberflächenhärte gefunden werden, um den Anforderungen nach Wasserentzug und Abriebfestigkeit gerecht zu werden.

Beim Brennprozess bestehen ebenfalls Möglichkeiten einer direkten Vermeidung von Abfällen durch den Einsatz moderner Technologien. Wenn an Stelle des Kapsel- oder Regal-Tunnelofen-Brands Schnellbrandsysteme wie Rollenofen eingesetzt werden, kann die Menge an (verbrauchten) Brennshilfsmitteln reduziert werden. Es muss in diesem Zusammenhang aber beachtet werden, dass die Standzeit der Feuerungshilfsmittel von der Temperatur (die in Rollenöfen üblicherweise höher ist) und der Hantierung (die bei Schnellbrand häufiger erfolgt, weil die Brennzeiten kürzer sind) abhängig ist. Zudem fällt bei Schnellbrand – zum Beispiel bei Dachziegeln – mehr Ausschuss an, wenn die Form komplex ist, weil der Schnellbrand in erster Linie für flache Produkte geeignet und somit nicht in allen Fällen anwendbar ist.

Der Anteil des Brennbruches kann durch eine exakte elektronische Steuerung des Temperaturprofils und durch Optimierung des Besatzes reduziert werden. [4, UBA, 2001], [23, TWG Ceramics, 2005].

---

<sup>5</sup> Anm. d. Übersetzer: U.E. liegt hier eine Wortverwechslung vor; scharfe Kanten treten eher bei den Dauerformen auf.

## 4.6 Allgemeine Betrachtungen bezüglich Lärm

In diesem Abschnitt geht es um Möglichkeiten der Minderung des Lärms, der bei verschiedenen Verfahrensschritten zur Herstellung keramischer Produkte auftreten kann. Einige der eingesetzten lärmverursachenden Anlagen/Techniken wurden bereits in diesem Dokument behandelt, allerdings sind viele Aspekte des Lärms nicht wirklich sektorspezifisch.

Oft kann eine Minderung der Schallemissionen durch Anwendung direkter Maßnahmen an der Lärmquelle erreicht werden. Die Hauptquellen von Lärm sind z.B. pneumatische Filterreinigungssysteme, Kompressoren, Motoren bei der Materialaufbereitung sowie bei Umschlag- und Transportprozessen. Lärmschutz kann durch die Einhausung lauter Anlagenteile oder durch Errichtung von Lärmschutzwänden erreicht werden. Doppelte Wände oder Einhausungen mit doppelwandigen Konstruktionen sind sehr effizient, weil die Luft zwischen der ersten und der zweiten Wand zusätzlich zu einem höheren Lärmschutzniveau führt.

Bei einigen Anlagenteilen, z.B. Pressen, Brech- und Mischeinrichtungen, können Erschütterungen und Lärm mit den oben genannten Maßnahmen nicht wirksam reduziert werden, also muss die Übertragung der Vibrationen und des Lärms durch Schwingungsdämmung verhindert werden. Metallsuspensionen, Gummi-Metall-Verbindungen und Komponenten aus Filz, Gummi und Kork sowie eine Schwingungsisolierung des gesamten Fundaments mit einer Bitumschicht oder eines einzelnen Maschinenbetts sind effiziente Maßnahmen zur Minderung von Erschütterungen und Lärm. Weitere Maßnahmen zur Lärminderung an den Aggregaten sind die Verwendung von Schalldämpfern an der Lärmquelle und der Ersatz hochtouriger Ventilatoren durch größere, langsam laufende Ventilatoren.

Wenn die oben genannten Lärmschutzmaßnahmen nicht angewendet werden können und eine Umsetzung der lauten Apparaturen im Gebäude nicht möglich ist, müssen sekundäre Lärmschutzmaßnahmen – meist am Gebäude selbst – durchgeführt werden. Dies kann durch dickere Wände und Schallisolierung der Fenster (Mehrfachverglasung, dient zudem der Einsparung von Heizkosten) erreicht werden, wenn die Fenster für die Dauer lauter Vorgänge geschlossen bleiben. In diesem Zusammenhang muss darauf hingewiesen werden, dass die Notwendigkeit geschlossener Fenster aus Gründen des Arbeitsschutzes oft die Installation (teurer und energieverbrauchender) Belüftungssysteme nach sich zieht. Ebenfalls möglich ist eine Umsetzung von Fenstern, Toren und lauten Apparaturen im Außenbereich in eine von benachbarten Wohngebieten wegführende Richtung.

Das Betriebsverhalten der Beschäftigten hat ebenfalls einen Einfluss auf die Lärmemissionen: Tore müssen geschlossen werden, wenn ein ständiger Durchgangsverkehr nicht erforderlich ist. Eine behutsame Fahrweise von Lastwagen und Gabelstaplern auf dem Gelände mindert ebenfalls die Lärmemissionen; ebenso eine Zeitbegrenzung für lärmintensive Tätigkeiten, z.B. sollte das Umladen von Bruchware oder Gabelstaplerverkehr im Freien in den Abendstunden oder nachts vermieden werden. Auch die regelmäßige Wartung aller Geräte durch Schmierung sowie der rechtzeitige Ersatz von Schalldämpfern führt zur Lärminderung [4, UBA, 2001].

Weil die treibende Kraft für Lärmschutzmaßnahmen in der Regel rechtliche Anforderungen sind (Nachbarchafts- und Arbeitsschutz), ist der Lärmschutz aus ökonomischer Sicht hauptsächlich ein Kostenfaktor, insbesondere wenn er mit Baumaßnahmen verbunden ist.

## 4.7 Umweltmanagement-Instrumente

### Beschreibung

In der Regel werden die besten Umwelleistungen durch die Einführung der besten Technologie und deren möglichst effektiven und effizienten Betrieb erzielt. Dieser Tatsache wird in der Definition von „Techniken“ in der IVU-Richtlinie Rechnung getragen, die darunter „sowohl die angewandte Technologie als auch die Art und Weise, wie die Anlage geplant, errichtet, unterhalten, betrieben und außer Betrieb genommen wird“ versteht.

In IVU-Anlagen stellen Umweltmanagementsysteme (UMS) ein Werkzeug dar, das Betreiber benutzen können, um die Fragen der Auslegung, Errichtung, Wartung, des Betriebs und Stilllegung auf systematische und nachvollziehbare Weise bearbeiten zu können. Ein UMS umfasst die Organisationsstruktur, Zuständigkeiten, Verfahrensweisen, Prozeduren, Abläufe und Ressourcen für die Entwicklung, Umsetzung, Erhaltung, Überprüfung und Kontrolle der Umweltpolitik. Am effektivsten und effizientesten sind Umweltmanagementsysteme, wenn sie integraler Bestandteil des Gesamtmanagements und des Betriebes einer Anlage sind.

Innerhalb der Europäischen Union haben sich viele Organisationen entschieden, freiwillig ein Umweltmanagementsystem nach EN ISO 14001:1996 oder dem EU-Umwelt-Audit-System EMAS einzuführen. EMAS beinhaltet die Anforderungen an das Managementsystem nach EN ISO 14001, legt darüber hinaus jedoch Wert auf die Einhaltung von Rechtsvorschriften, erreichte Umwelleistung und die Einbeziehung der Mitarbeiter. Außerdem fordert es die externe Verifizierung des Managementsystems und die Validierung einer öffentlichen Umweltschutzerklärung (nach EN ISO 14001 ist die Eigenerklärung eine Alternative zur externen Verifizierung). Außerdem gibt es viele Organisationen, die sich für nicht standardisierte UMS, die auf ihre Bedürfnisse zugeschnitten sind, entschieden haben.

Während die zwei genormten Systeme (EN ISO 14001:1996 und EMAS) und auch die nicht genormten („benutzerdefinierten“) Systeme grundsätzlich die *Organisation* als die betrachtete Einheit sehen, legt das vorliegende Dokument eine engere Begriffsdeutung an: Z.B werden nicht alle Faktoren des Unternehmens mit einbezogen, wie beispielsweise seine Produkte und Leistungen, da die durch die IVU-Richtlinie regulierte Einheit die *Anlage* (gemäß Definition in Artikel 2) ist.

Umweltmanagementsysteme (UMS) für IVU-Anlagen können die folgenden Bestandteile haben:

- (a) Definition einer Umweltpolitik
- (b) Planung und Festlegung von Aufgaben und Zielen
- (c) Einrichtung und Durchführung von definierten Verfahrensabläufen
- (d) Überprüfung und Korrekturmaßnahmen
- (e) Überprüfung durch die Betriebsleitung/das Management
- (f) Erstellung einer regelmäßigen Umwelterklärung
- (g) Validierung durch eine akkreditierte Zertifizierungsstelle oder einen externen UMS-Prüfer
- (h) Konstruktive Aspekte für die Außerbetriebnahme der Anlage im Falle der Stilllegung
- (i) Entwicklung sauberer Technologien
- (j) Vergleich betrieblicher Leistung mittels Kennzahlen (Benchmarking).

Diese Bestandteile werden im Folgenden ausführlicher erläutert. Detaillierte Informationen zu den Bestandteilen (a) bis (g), die alle im EMAS enthalten sind, finden sich in der unten angegebenen Literatur.



(a) Definition einer Umweltpolitik

Die Unternehmensleitung ist verantwortlich für die Festlegung einer Umweltpolitik für die Anlage und hat dafür Sorge zu tragen, dass diese:

- der Art, dem Umfang und den Umweltauswirkungen der Tätigkeiten gerecht wird,
- eine Verpflichtung zur Vermeidung und Kontrolle von Umweltverschmutzungen enthält,
- eine Verpflichtung zur Einhaltung sämtlicher relevanter anwendbarer Umweltgesetze und -bestimmungen sowie anderer Anforderungen enthält, denen die Organisation verpflichtet ist,
- den Rahmen für die Festlegung und Prüfung von Aufgaben und Zielen setzt,
- dokumentiert ist und an allen Mitarbeitern bekannt gemacht wird,
- der Öffentlichkeit und sämtlichen interessierten Parteien zugänglich ist.

## (b) Planung, d.h.:

- Verfahren zur Bestimmung von Umweltaspekten der Anlage, damit diejenigen Tätigkeiten erkannt werden können, die eine wesentliche Auswirkung auf die Umwelt haben oder haben können, sowie aktualisiert halten dieser Informationen
- Verfahren zur Bestimmung des Zugriffs auf rechtliche und andere Vorschriften, denen die Organisation unterliegt und die auf die Umweltaspekte ihrer Tätigkeiten anwendbar sind
- Festlegung und kontinuierliche Überprüfung dokumentierter Umweltschutzaufgaben und -ziele, wobei die rechtlichen und anderen Vorschriften sowie die Standpunkte interessierter Parteien berücksichtigt werden
- Einrichten und regelmäßige Aktualisierung eines Umweltmanagementprogramms, das die Festlegung von Verantwortlichkeiten für das Erreichen von Zielsetzungen und Einzelzielen für jede relevante Funktion und Ebene ebenso einschließt, wie Mittel und Wege und den Zeitraum zu ihrer Erreichung.

(c) Einrichtung und Durchführung von definierten Verfahrensabläufen

Es ist wichtig, Systeme eingerichtet zu haben, mit denen gewährleistet ist, dass Prozeduren bekannt sind, verstanden und eingehalten werden. Ein wirksames Umweltmanagement beinhaltet deshalb:

## (i) Struktur und Zuständigkeiten

- Festlegung, Dokumentation und Mitteilung von Rollen, Zuständigkeiten und Befugnissen, wozu auch die Benennung eines speziell für das Management Verantwortlichen gehört.
- Bereitstellung von ausreichenden Mitteln, die für die Umsetzung und Steuerung des Umweltmanagementsystems unabdingbar sind, wozu Mitarbeiter, spezielle Fähigkeiten sowie technologische und finanzielle Mittel zählen.

## (ii) Schulung, Problembewußtsein und Kompetenz

- Identifizierung des Schulungsbedarfs, damit sichergestellt ist, dass sämtliche Mitarbeiter, deren Arbeit wesentlichen Einfluss auf die Umweltauswirkungen einer Aktivität haben, entsprechend geschult wurden.

## (iii) Kommunikation

- Einrichtung und Pflege von Verfahren für die interne Kommunikation zwischen den verschiedenen Ebenen und Funktionen des Betriebs einerseits und von Verfahren zur Förderung des Dialogs mit externen interessierten Parteien andererseits, sowie von Verfahren zur Entgegennahme, Dokumentation und ggf. Bearbeitung von relevanten Kommunikation mit externen interessierten Parteien.

## (iv) Einbeziehung von Mitarbeitern

- Einbeziehung der Mitarbeiter in den Prozess zur Erreichung einer hohen Umweltschutzleistung durch angemessene Beteiligung, wie z.B. Vorschlagsystem, projektbasierte Gruppenarbeiten oder Umweltausschüsse.

(v) Dokumentation

- Erstellung und Pflege von aktuellen Informationen in elektronischer oder Papierform, mit denen die Kernelemente des Managementsystems und ihre Wechselwirkungen beschrieben und Hinweise auf damit in Verbindung stehende Dokumentation gegeben werden.

(vi) Effiziente Prozesssteuerung

- Angemessene Steuerung der Prozesse in allen Betriebsweisen, d.h., während der Vorbereitungs- und Startphase, im Routinebetrieb, beim Herunterfahren und unter Ausnahmebedingungen.
- Bestimmung der Schlüsselindikatoren für die Leistung und der Methoden zur Messung und Steuerung dieser Parameter (z. B. Durchfluss, Druck, Temperatur, Zusammensetzung und Menge).
- Dokumentation und Untersuchung von betrieblichen Ausnahmebedingungen zur Identifizierung und anschließenden Behebung der Grundursachen zwecks Vermeidung ihres wiederholten Auftretens (dies lässt sich durch eine Arbeitsatmosphäre ohne Schuldzuweisungen erzielen, in der es wichtiger ist, Ursachen zu erkennen, als Einzelnen Schuld zuzuweisen).

(vii) Wartungsprogramm

- Erstellung eines strukturierten Programms für die Wartung auf Grundlage der technischen Beschreibungen der Geräte, Normen etc., sowie für das Versagen von Geräten und der sich daraus ergebenden Folgen.
- Unterstützung des Wartungsprogramms durch geeignete Dokumentationssysteme und Tests.
- Eindeutige Zuweisung der Zuständigkeiten für die Planung und Durchführung von Wartungsarbeiten.

(viii) Vorbereitung auf Notfälle und Reaktionen im Notfall

- Erstellung und Pflege von Verfahren zur Identifizierung von möglichen Unfall- und Notfallsituationen, sowie zur Festlegung der Reaktionen darauf und zur Vermeidung und Verminderung etwaiger damit verbundener Umweltauswirkungen.

(d) Überprüfung und Korrekturmaßnahmen, d. h.:

(i) Überwachung und Messungen

- Erstellung und Pflege dokumentierter Verfahrensabläufe zur regelmäßigen Überwachung und Messung der wichtigsten Charakteristika von Prozessen und Aktivitäten, die wesentliche Auswirkungen auf die Umwelt haben können. Dazu gehören die Aufzeichnung von Informationen zur Verfolgung der erzielten Ergebnisse, relevante betriebliche Kontrollen und die Einhaltung der für die Anlage festgelegten Umweltzielsetzungen und -einzelziele (*siehe auch BVT-Merkblatt zur Emissionsüberwachung*).
- Festlegung und Pflege eines dokumentierten Verfahrensablaufs zur regelmäßigen Bewertung der Einhaltung relevanter Umweltgesetze und -bestimmungen.

(ii) Korrektur- und Vorbeugemaßnahmen

- Erstellung und Pflege von Verfahrensabläufen zur Festlegung von Verantwortlichkeiten und Befugnissen für den Umgang mit und für Untersuchungen bei Nichteinhaltung von Genehmigungsaufgaben, anderen rechtlichen Vorschriften, Zielsetzungen und Einzelzielen; Ergreifen von Maßnahmen zur Minderung etwaiger Auswirkungen und zur Initiierung und Durchführung von Korrektur- und Vorbeugemaßnahmen, die der Größenordnung des Problems angemessen sind und im richtigen Verhältnis zur aufgetretenen Umweltauswirkung stehen.

(iii) Berichte

- Festlegung und Pflege von Verfahrensweisen zur Identifizierung, Pflege und Vorlage von verständlichen, identifizierbaren und nachverfolgbaren Umweltberichten, einschließlich Schulungsunterlagen und Berichten zu Audit- und Überprüfungsergebnissen.

## (iv) Audit

- Erstellung und Pflege eines oder mehrerer Programme und Verfahren für regelmäßige Audits des Umweltmanagementsystems, die Besprechungen mit dem Personal, Inspektionen der Betriebsbedingungen und Anlagenteile sowie die Prüfung von Unterlagen und Dokumentationen beinhalten und in die Abfassung eines schriftlichen Berichts münden. Diese Audits müssen neutral und objektiv von Mitarbeitern (interne Prüfung) oder externen Parteien (externe Prüfung) durchgeführt werden. Die Programme und Verfahren müssen Umfang, Häufigkeit und Methoden für die Audits sowie die Zuständigkeiten und Anforderungen für die Durchführung von Audits und für die Ergebnisberichterstattung festlegen, damit festgestellt werden kann, ob das Umweltmanagementsystem planmäßig funktioniert und ordnungsgemäß umgesetzt und gepflegt wird.
- Abschluss des Audits bzw. des Prüfungszyklus in Intervallen von nicht mehr als drei Jahren, je nach Art, Umfang und Komplexität der Aktivitäten, der Bedeutung der damit einhergehenden Umweltauswirkungen, der Bedeutung und Dringlichkeit der in früheren Prüfungen festgestellten Probleme und der Vorgeschichte der Umweltprobleme. Komplexere Aktivitäten mit bedeutenderen Umweltauswirkungen werden häufiger einer Auditierung unterzogen.
- Es müssen angemessene Mechanismen vorhanden sein, mit denen sichergestellt werden kann, dass die Ergebnisse der Prüfungen nachverfolgt werden.

## (v) Regelmäßige Bewertung der Einhaltung rechtlicher Bestimmungen

- Überprüfung der Einhaltung des geltenden Umweltrechts und des Status der Umweltgenehmigungsbedingungen oder -auflagen der Anlage.
- Dokumentation dieser Auswertung.

(e) Überprüfung durch die Betriebsleitung/das Management, d.h.:

- Überprüfung des Umweltmanagementsystems durch die oberste Leitungsebene in von dieser festgesetzten Zeitabständen, damit kontinuierlich die Eignung, Angemessenheit und Effektivität des Systems sichergestellt ist.
- Sicherstellung der Erhebung und Zusammenstellung der notwendigen Information, um der Leitung diese Bewertung zu ermöglichen.
- Dokumentation dieser Überprüfung.

(f) Erstellung einer regelmäßigen Umwelterklärung:

- Erstellung einer Umwelterklärung, in der besonderes Augenmerk auf die mit der Anlage erzielten Ergebnisse im Vergleich zu den jeweiligen Umwelter- und -einzelzielen gelegt wird. Die Umwelterklärung wird regelmäßig erstellt – einmal jährlich oder weniger häufig, je nach Bedeutung der Emissionen, der anfallenden Abfälle usw. In der Erklärung wird der Informationsbedarf relevanter interessierter Parteien berücksichtigt und sie ist öffentlich zugänglich (z. B. als elektronische Veröffentlichung, in Büchereien usw.).

Bei der Erstellung der Erklärung kann der Betreiber bestehende relevante Umweltindikatoren verwenden, muss dabei aber sicherstellen, dass die gewählten Indikatoren:

- i. die Leistung der Anlage genau einschätzen,
- ii. verständlich und nicht mehrdeutig sind,
- iii. einen Vergleich von Jahr zu Jahr erlauben, um die Entwicklung der Umwelleistung der Anlage zu bewerten,
- iv. einen Vergleich mit nationalen, regionalen oder branchenbezogenen Kennzahlen erlauben („benchmarking“) – soweit sinnvoll und zweckmäßig –
- v. einen Vergleich mit den maßgeblichen behördlichen Anforderungen erlauben.

(g) Validierung durch eine akkreditierte Zertifizierungsstelle oder einen externen UMS-Prüfer:

- Die Überprüfung und Validierung von Managementsystem, Prüfungsverfahren und Umwelterklärung durch eine akkreditierte Zertifizierungsstelle oder einen externen UMS-Prüfer kann bei ordnungsgemäßer Durchführung die Glaubwürdigkeit des Systems erhöhen.

### (h) Konstruktive Aspekte zur Außerbetriebnahme der Anlage bei Stilllegung

- Im Planungsstadium für eine neue Anlage sind die Umweltauswirkungen zu berücksichtigen, die von der endgültigen Außerbetriebnahme der Anlage ausgehen, da die Außerbetriebnahme durch vorausschauendes Denken einfacher, sauberer und kostengünstiger wird.
- Die Außerbetriebnahme beinhaltet Umweltrisiken für die Kontamination des Bodens (und des Grundwassers) und erzeugt große Mengen an festen Abfällen. Vorbeugende Techniken sind prozessspezifisch, im allgemeinen sind aber folgende Punkte zu berücksichtigen:
  - i. Vermeidung unterirdischer Anlagenteile
  - ii. Ausstattung mit Einrichtungen, die den Abbruch erleichtern
  - iii. Auswahl leicht zu dekontaminierender Oberflächenstrukturen
  - iv. Verwendung einer Anlagenkonfiguration, die Einlagerungen von Chemikalien minimiert und das Ablauflassen oder die Endreinigung erleichtern.
  - v. Planung flexibler, eigenständiger Einheiten, die ermöglichen, die Anlage phasenweise zu schließen.
  - vi. Verwendung biologisch abbaubarer und wieder verwertbarer Materialien, soweit möglich.

### (i) Entwicklung saubererer Technologien:

- Der Umweltschutz sollte inhärenter Bestandteil sämtlicher Aktivitäten zum Anlagendesign des Betreibers sein, da Techniken sowohl effektiver als auch kostengünstiger sind, wenn sie zum frühest möglichen Zeitpunkt eingeplant werden. Die Absicht sauberere Technologien zu entwickeln kann beispielsweise durch F&E-Maßnahmen oder Einzelstudien realisiert werden. Alternativ zu internen Aktivitäten kann durch externe Vergabe von Aufträgen sichergestellt werden, auf dem Stand der Entwicklung zu bleiben, beispielsweise durch Kontakt halten oder Beauftragung anderer auf dem Gebiet tätiger Betreiber oder Forschungsinstitute.

### (j) Vergleich betrieblicher Leistung mittels Kennzahlen (Benchmarking), d.h.:

- Durchführung systematischer und regelmäßiger Vergleiche mit nationalen, regionalen oder auf Branchen bezogenen Kennzahlen, auch hinsichtlich Energieeffizienz- und Energiesparmaßnahmen, der Wahl der eingesetzten Rohstoffe, Emissionen in die Luft und Einleitungen in das Wasser (beispielsweise unter Verwendung des Europäischen Schadstoffemissionsregisters, EPER), Wasserverbrauch und Abfallerzeugung.

### Genormte und nicht genormte Umwelt-Management-Systeme (UMS)

Ein UMS kann ein genormtes oder ein nicht genormtes („angepasstes“) System sein. Die Implementierung und Befolgung eines international anerkannten genormten Systems wie EN ISO 14001:2004 kann dem UMS eine höhere Glaubwürdigkeit verleihen, insbesondere, wenn es einer ordnungsgemäß durchgeführten externen Überprüfung unterzogen wird. EMAS bietet eine gesteigerte Glaubwürdigkeit durch die Einbeziehung der Öffentlichkeit über die Umwelterklärung und die Mechanismen, die die Einhaltung der geltenden Rechtsvorschriften sicherstellen. Prinzipiell können jedoch auch nicht genormte System genauso effektiv sein, sofern sie ordnungsgemäß geplant und umgesetzt werden.

### Umweltentlastungseffekte

Bei der Einrichtung und Einhaltung eines UMS liegt das Hauptaugenmerk des Betreibers auf der Umweltleistung der Anlage. Insbesondere die Pflege und Einhaltung eindeutiger Arbeitsanweisungen sowohl für den Normalbetrieb als auch für Ausnahmesituationen und die damit verbundenen Verantwortlichkeitsstrukturen sollten sicherstellen, dass die Einhaltung der Genehmigungsaufgaben und anderer Umweltzielsetzungen und -einzelziele für die Anlage jederzeit gewährleistet sind.

Umweltmanagementsysteme gewährleisten normalerweise eine laufende Verbesserung der Umweltleistung der Anlage. Je schlechter der Ausgangslage ist, desto signifikantere kurzfristige Verbesserungen können erwartet werden. Wenn die Anlage bereits eine gute Umweltleistung aufweist, hilft das System dem Betreiber, das hohe Leistungsniveau zu halten.

### Medienübergreifende Effekte

Umweltmanagementsysteme sind darauf ausgelegt, sich mit den Umweltauswirkungen insgesamt einer Anlage zu befassen, was dem integrierten Ansatz der IVU-Richtlinie entspricht.

### Betriebswerte

Dazu liegen keine spezifischen Informationen vor.

### Anwendbarkeit

Die oben beschriebenen Bestandteile lassen sich normalerweise auf alle IVU-Anlagen anwenden. Der Umfang (z. B. die gewählte Detailebene) und die Art des UMS (z. B. genormt oder nicht genormt) hängen im Allgemeinen von der Art, Dimension und Komplexität der Anlage und der Bandbreite ihrer möglichen Umweltauswirkungen ab.

### Wirtschaftliche Aspekte

Die genaue Ermittlung der Kosten und des wirtschaftlichen Nutzens der Einführung und Pflege eines guten UMS ist schwierig. Im Folgenden werden einige Studien vorgestellt, die jedoch nur Beispiele darstellen, und deren Ergebnisse nicht immer kohärent sind. Sie sind möglicherweise nicht für alle Branchen in der gesamten EU repräsentativ und sollten daher mit Vorsicht behandelt werden.

In einer schwedischen Studie von 1999 wurden alle 360 ISO-zertifizierten und EMAS-registrierten Unternehmen in Schweden befragt. Die Rücklaufquote betrug 50 %; die Studie kam unter anderem zu dem Schluss, dass:

- der Aufwand für die Einführung und den Betrieb eines UMS hoch, aber nicht übermäßig hoch ist - außer bei sehr kleinen Unternehmen; für die Zukunft ist ein Rückgang des Aufwands zu erwarten
- eine bessere Koordination und Integration des UMS mit anderen Managementsystemen als Möglichkeit zur Kostensenkung anzusehen ist
- die Hälfte aller Umweltzielsetzungen und -einzelziele innerhalb eines Jahres zu Kosteneinsparungen und/oder höheren Erträgen führen
- die größten Kosteneinsparungen durch niedrigere Ausgaben für Energie, Abfallbehandlung und Rohstoffe erzielt wurden
- die meisten Unternehmen der Ansicht sind, dass ihre Marktposition durch das UMS gestärkt wurde; ein Drittel der Unternehmen hat durch das UMS bedingte Ertragszuwächse gemeldet.

In manchen Mitgliedsstaaten werden ermäßigte Gebühren für die Umweltüberwachung verlangt, wenn die Anlage über ein zertifiziertes UMS verfügt.

Eine Reihe von Studien<sup>6</sup> zeigt, dass das Verhältnis zwischen Unternehmensgröße und den Kosten der Implementierung eines UMS umgekehrt proportional ist. Ein ähnliches umgekehrt proportionales Verhältnis besteht für den Amortisationsdauer des investierten Kapitals. Beide Faktoren bedeuten für die Implementierung eines UMS in kleinen und mittelständischen Unternehmen - im Vergleich zu größeren Unternehmen - ein ungünstigeres Kosten-Nutzen-Verhältnis.

Einer Schweizer Studie zufolge können die durchschnittlichen Kosten für den Aufbau und die Durchführung von ISO 14001 variieren:

- bei Unternehmen mit 1 bis 49 Mitarbeitern: 64.000 CHF (etwa 44.000 EUR) für den Aufbau des EMS und 16.000 CHF (etwa 11.000 EUR) pro Jahr für dessen Betrieb
- bei Industriestandorten mit über 250 Mitarbeitern: 367.000 CHF (etwa 252.000 EUR) für den Aufbau des EMS und 155.000 CHF (etwa 106.000 EUR) pro Jahr für dessen Betrieb.

<sup>6</sup> (Z. B. Dyllick and Hamschmidt (2000, 73) zitiert in Klemisch H. und R. Holger, *Umweltmanagementsysteme in kleinen und mittleren Unternehmen – Befunde bisheriger Umsetzung*, KNI Papers 01/02, Januar 2002, S. 15; Clausen J., M. Keil und M. Jungwirth, *The State of EMAS in the EU. Eco-Management as a Tool for Sustainable Development – Literature Study*, Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (Berlin) und Ecologic – Institut für Internationale und Europäische Umweltpolitik (Berlin), 2002, S. 15.)

Diese Durchschnittszahlen sind nicht unbedingt repräsentativ für die tatsächlichen Kosten an einem bestimmten Industriestandort, da diese von der Anzahl der bedeutsamen Faktoren (Schadstoffe, Energieverbrauch...) und der Komplexität der zu untersuchenden Aspekte stark abhängig sind.

Eine neuere deutsche Studie (Schaltegger, Stefan und Wagner, Marcus, *Umweltmanagement in deutschen Unternehmen - der aktuelle Stand der Praxis*, Februar 2002, S. 106) gibt die folgenden EMAS-Kosten für verschiedene Industriezweige an. Es ist auffällig, dass diese Zahlen deutlich niedriger liegen als die aus der oben genannten Schweizer Studie; das zeigt, wie schwierig es ist, die Kosten eines UMS zu beziffern.

### **Kosten für den Aufbau (EUR):**

Mindestens	18.750
Höchstens	75.000
Durchschnitt	50.000

### **Kosten für die Validierung (EUR):**

Mindestens	5.000
Höchstens	12.500
Durchschnitt	6.000

Eine Studie des Unternehmerinstituts/Arbeitsgemeinschaft Selbständiger Unternehmer UNI/ASU von 1997 (*Umweltmanagementbefragung - Öko-Audit in der mittelständischen Praxis - Evaluierung und Ansätze für eine Effizienzsteigerung von Umweltmanagementsystemen in der Praxis*, Bonn) enthält Angaben zu den durchschnittlichen Einsparungen durch EMAS pro Jahr und der durchschnittlichen Amortisationsdauer. Darin wurden beispielsweise bei Implementierungskosten von 80000 EUR durchschnittliche Einsparungen von 50000 EUR pro Jahr festgestellt, was einer Amortisationszeit von etwa anderthalb Jahren entspricht.

Externe Kosten im Zusammenhang mit der Validierung des Umweltmanagementsystems lassen sich anhand der Richtwerte des Internationalen Akkreditierungsforums (<http://www.iaf.nu>) schätzen.

### Treibende Kraft für die Umsetzung

Umweltmanagementsysteme können eine Vielzahl von Vorteilen bieten, z. B.:

- verbesserte Einsicht in Umweltaspekte des Unternehmens
- verbesserte Entscheidungsgrundlagen
- höhere Motivation des Personals
- zusätzliche Möglichkeiten zur Betriebskostenreduzierung und Produktqualitätsverbesserung
- verbesserte Umweltleistung
- verbessertes Image des Unternehmens
- geringere Kosten für Haftung, Versicherung und Nichteinhaltung von Rechtsvorschriften
- größere Attraktivität für Mitarbeiter, Kunden und Investoren
- größeres Vertrauen der Aufsichtsbehörden, was zu weniger Reglementierung führen könnte
- verbessertes Verhältnis zu Umweltorganisationen.

### Referenzanlagen

Die oben unter (a) bis (e) beschriebenen Punkte sind Bestandteile von EN ISO 14001:1996 und dem EU-Umwelt-Audit-System (EMAS), wogegen die Punkte (f) und (g) nur im EMAS enthalten sind. Diese zwei genormten Systeme werden in einer Reihe von IVU-Anlagen eingesetzt. Beispielsweise waren in der EU 357 Unternehmen der chemischen Industrie (NACE Code 24) im Juli 2002 EMAS zertifiziert, von denen die meisten IVU-Anlagen betreiben.

Im Vereinigten Königreich führte das Umweltamt von England und Wales (Environment Agency of England and Wales) in 2001 eine Umfrage bei den nach dem Vorgänger der IVU-Richtlinie regulierten Anlagen durch. Diese ergab, dass von den antwortenden Betrieben 32 % ein ISO-14001-Zertifikat besaßen (was 21 % aller Anlagen entsprach) und 7 % EMAS-registriert waren. Alle Zementwerke im Vereinigten Königreich (etwa 20) sind ISO-14001-zertifiziert, und die Mehrzahl von ihnen ist EMAS-registriert. In Irland, wo die Einrichtung eines (nicht notwendigerweise genormten) UMS für IVU-Genehmigungen vorausgesetzt wird, ist bei schätzungsweise 100 der etwa 500 genehmigten Anlagen ein UMS nach ISO 14001 im Einsatz, während sich die übrigen 400 Anlagen für ein nicht genormtes UMS entschieden haben.

#### Referenzliteratur

Verordnung (EG) Nr. 761/2001 des europäischen Parlaments und des Rates vom 19. März 2001 über die freiwillige Beteiligung von Organisationen an einem Gemeinschaftssystem für das Umweltmanagement und die Umweltbetriebsprüfung (EMAS), Amtsblatt L 114 der Europäischen Union vom 24. April 2001, [http://europa.eu.int/comm/environment/emas/index\\_en.htm](http://europa.eu.int/comm/environment/emas/index_en.htm)

(EN ISO 14001:2004, <http://www.iso.ch/iso/en/iso9000-14000/iso14000/iso14000index.html>;  
<http://www.tc207.org>)





## 5 BESTE VERFÜGBARE TECHNIKEN IN DER KERAMIKINDUSTRIE

Um das Kapitel und seinen Inhalt zu verstehen, wird die Aufmerksamkeit des Lesers auf die Einleitung des Dokumentes und speziell auf den fünften Abschnitt der Einleitung „Anleitung zum Verständnis und zur Benutzung des Dokumentes“ verwiesen. Die Techniken und damit verbundenen Emissions- und/oder Verbrauchswerte oder -wertebereiche, die in diesem Kapitel vorgestellt werden, wurden in einem iterativen Prozess mit Hilfe folgender Schritte bewertet:

- Identifikation der wesentlichen Umweltaspekte der Keramikindustrie,
- Untersuchung der Techniken, die für dieser Umweltaspekt am relevantesten sind,
- Identifizieren des besten Umweltleistungsniveaus auf Basis der in der EU und weltweit verfügbaren Daten,
- Untersuchen der Bedingungen, unter denen dieses Leistungsniveau erreicht wurde, z.B. der Kosten, medienübergreifender Effekte und der Haupttriebkkräfte zur Einführung dieser Techniken,
- Auswahl der „Besten Verfügbaren Techniken“ (BVT) und der damit verbundenen Emissions- und/oder Verbrauchswerte für die Keramikindustrie im allgemeinen Sinne entsprechend Artikel 2 (11) und Anhang IV der Richtlinie.

In jedem diese Schritte und der Art, wie diese Informationen hier präsentiert werden, hat die Bewertung durch Experten des europäischen IPPC-Büros und der zuständigen Technischen Arbeitsgruppe (engl. Abkürzung: TWG) eine entscheidende Rolle gespielt.

Auf der Basis dieser Bewertung werden in diesem Kapitel die Techniken und, soweit möglich, Emissions- und Verbrauchswerte bei der Anwendung von BVT präsentiert, die für die gesamte Keramikindustrie als anwendbar angesehen werden und in vielen Fällen die derzeitige Leistung von Anlagen der Keramikindustrie repräsentieren. Wenn „mit den besten verfügbaren Techniken verbundene“ Emissions- oder Verbrauchswerte angegeben werden, dann ist das so zu verstehen, dass diese Werte das Umweltleistungsniveau darstellen, das bei Anwendung der dargestellten Techniken in dieser Industrie angenommen werden kann, unter Berücksichtigung des in der Definition von BVT geforderten ausgewogenen Kosten-Nutzen-Verhältnisses. Jedoch sind dies weder Emissions- noch Verbrauchsgrenzwerte und sollten auch nicht als solche verstanden werden. In einigen Fällen könnte es technisch möglich sein, bessere Emissions- oder Verbrauchswerte zu erreichen, aber wegen der damit verbundenen Kosten oder medienübergreifenden Bewertungen werden diese Werte nicht als geeignet angesehen, um BVT für die gesamte Keramikindustrie zu sein. Jedoch können diese Werte in Sonderfällen als gerechtfertigt angesehen werden, wenn es besonderen Handlungsbedarf gibt.

Die Emission- und Verbrauchswerte, die mit der Anwendung von BVT verbunden sind, sind im Zusammenhang mit den angegebenen Referenzbedingungen (z.B. Mittelungszeiträumen) zu verstehen.

Der Begriff der „mit der Anwendung von BVT verbundenen Werte“ ist von dem an anderer Stelle im vorliegenden Dokument verwendeten Begriff der „erreichbaren Werte“ zu unterscheiden. Wenn ein Wert als bei Anwendung eines bestimmten Verfahrens oder einer Verfahrenskombination als „erreichbar“ beschrieben wird, so ist dies so zu verstehen, dass bei Verwendung dieser Techniken in einer gut gewarteten und betriebenen Anlage oder einem solchen Prozess die Einhaltung dieses Wertes über einen längeren Zeitraum erwartet werden kann.

Soweit verfügbar, wurden bei der Beschreibung der Techniken im vorangegangenen Kapitel auch Kostendaten angegeben. Diese geben einen groben Hinweis auf die Höhe der damit verbundenen Kosten. Die tatsächlichen Kosten jedoch, die mit der Anwendung einer Technik verbunden sind, hängen stark von der spezifischen Situation ab, z.B. von den Steuern, den Abgaben und den technischen Besonderheiten der Anlage. Es ist nicht möglich, solche anlagenspezifischen Faktoren vollständig in diesem Dokument zu beurteilen. Bei Nichtverfügbarkeit von Kostendaten werden Schlussfolgerungen über die wirtschaftliche Tragfähigkeit aus der Beobachtung bestehender Anlagen gezogen.

Es ist beabsichtigt, dass die allgemeinen BVT-Schlussfolgerungen in diesem Kapitel bei der Bewertung der Leistung einer bestehenden Anlage oder einer Projektierung für eine neue Anlage als Bezugspunkt dienen. In diesem Sinne werden sie bei der Festlegung geeigneter, auf BVT basierender Anforderungen für diese Anlage oder bei der Einführung von allgemeinverbindlichen Rechtsvorschriften entsprechend Artikel 9(8) helfen. Für neue Anlagen ist vorgesehen, dass diese so geplant werden, dass sie das hier beschriebene, allgemeine BVT-Niveau oder ein besseres Niveau erreichen. Es kommt ebenso in Betracht, dass sich bestehende Anlagen dem BVT-Niveau annähern oder darüber hinausgehen könnten, je nach technischer und ökonomischer Machbarkeit im Einzelfall.

Wenngleich die BVT-Merkblätter keine rechtsverbindlichen Standards setzen, dienen sie dazu, Industrie, Mitgliedsstaaten und Öffentlichkeit richtungsweisende Informationen über erreichbare Emissions- und Verbrauchswerte bei Anwendung bestimmter Techniken zu geben. Die geeigneten Grenzwerte sind für jeden Einzelfall auf der Grundlage der Ziele der IVU-Richtlinie und der lokalen Umstände zu bestimmen.

Die BVT-Schlussfolgerungen für die Keramikindustrie werden in diesem Dokument auf zwei Ebenen dargestellt: Abschnitt 5.1 präsentiert die allgemeinen BVT-Schlussfolgerungen, die generell in der gesamten Keramikindustrie anwendbar sind. Abschnitt 5.2 enthält spezielle BVT-Schlussfolgerungen für die neun Untersektoren der Keramikindustrie, die in diesem Dokument behandelt werden. BVT für eine spezielle Anlage wird in der Regel die Anwendung einer einzelnen oder einer Kombination von Techniken und Maßnahmen sein, die im allgemeinen oder im sektorspezifischen Abschnitt dieses Kapitels aufgeführt werden (Abschnitte 5.1 und 5.2).

Wenn Techniken, die für sich als BVT identifiziert wurden, in Kombination genutzt werden können, sollten die Effekte dieser Kombination bei der Festlegung der auf BVT basierenden Genehmigungsanforderungen für den Einzelfall Berücksichtigung finden.

### **Empfehlung für die Nutzer/Leser dieses Dokuments:**

Es wird dringend empfohlen, Kapitel 5 in Verbindung mit Kapitel 4 zu lesen, weil nicht nur die Anwendbarkeit, sondern auch die Beschränkungen hinsichtlich der Anwendbarkeit der Techniken und Maßnahmen – wie in Kapitel 4 angegeben – berücksichtigt werden müssen. Um den Leser dabei zu unterstützen, wurden in Kapitel 5 Querverweise zu Kapitel 4 eingefügt.

Hinsichtlich der Normbedingungen für die Messung der Volumenströme und der Konzentrationswerte wird auf die nachfolgenden Definitionen hingewiesen, die ebenfalls im Glossar enthalten sind:

m <sup>3</sup> /h	Volumenstrom: Wenn nicht anders angegeben, beziehen sich die Angaben auf 18 Vol.-% Sauerstoffgehalt und Standardbedingungen
mg/m <sup>3</sup>	Konzentration: Wenn nicht anders angegeben, beziehen sich die Konzentrationsangaben für gasförmige Stoffe oder Verbindungen auf trockenes Abgas, 18 Vol.-% Sauerstoffgehalt und Standardbedingungen; Konzentrationsangaben für Benzol beziehen sich auf 15 Vol.-% Sauerstoffgehalt und Standardbedingungen
Standardbedingungen	bezogen auf die Temperatur 273 K und den Atmosphärendruck 1013 hPa

Es wird noch einmal betont, dass – wie ausführlich im Vorwort beschrieben – in diesem Dokument keine Emissionsgrenzwerte vorgeschlagen werden. Bei der Bestimmung geeigneter Genehmigungsanforderungen sind lokale, standortspezifische Faktoren wie die technische Beschaffenheit der betreffenden Anlage, ihr Standort und die lokalen Umweltbedingungen zu berücksichtigen. Ferner ist bei bestehenden Anlagen die wirtschaftliche und technische Vertretbarkeit einer Modernisierung zu beachten. Allein das Ziel eines hohen Schutzniveaus für die Umwelt als Ganzes erfordert oft ein Abwägen verschiedenartiger Umweltauswirkungen, welches wiederum oft von lokalen Erwägungen beeinflusst wird.

Oggleich im vorliegenden Dokument der Versuch unternommen wird, einige dieser Aspekte aufzugreifen, ist eine umfassende Berücksichtigung hier nicht möglich. Somit sind die in Kapitel 5 aufgeführten Techniken und Zahlenwerte nicht notwendigerweise auf alle Anlagen anwendbar. Andererseits verlangt die Pflicht zur Sicherung eines hohen Umweltschutzniveaus einschließlich der Verminderung der weiträumigen oder grenzüberschreitenden Umweltverschmutzung, dass Genehmigungsaufgaben nicht nur auf der Basis lokaler Erwägungen festgesetzt werden. Daher ist die vollständige Berücksichtigung der im vorliegenden Dokument enthaltenen Informationen durch die Genehmigungsbehörden von größter Bedeutung.

## 5.1 Allgemeine BVT-Schlussfolgerungen

Dieser Abschnitt enthält allgemeine BVT-Schlussfolgerungen, die für alle neun Sektoren der Keramikindustrie, die in diesem Dokument behandelt werden, anwendbar sind. BVT für eine spezielle Anlage wird in der Regel die Anwendung einer einzelnen oder einer Kombination von Techniken und Maßnahmen sein, die im diesem allgemeinen oder dem sektorspezifischen Teil dieses Kapitels (Abschnitt 5.2) aufgeführt werden.

Die besten verfügbaren Techniken und die angegebenen Emissions- oder Verbrauchswerte oder -wertebereiche, die mit BVT verbunden sind (engl. Abkürzung BAT-AEL = Best Available Techniques - Associated Emission Level), beziehen sich auf Anlagen mit verschiedenen Ofengrößen, verschiedenen Ofen-Betriebsarten (z.B. kontinuierlich oder diskontinuierlich) und unterschiedlich vielen Betriebsstunden pro Jahr. Spezielle lokale Erwägungen können nicht berücksichtigt werden. BAT-AEL ist keine Definition oder Empfehlung von Emissionsgrenzwerten.

Es wird dringend empfohlen, Kapitel 5 in Verbindung mit Kapitel 4 zu lesen, weil nicht nur die Anwendbarkeit, sondern auch die Beschränkungen hinsichtlich der Anwendbarkeit der Techniken und Maßnahmen – wie in Kapitel 4 angegeben – berücksichtigt werden müssen. Die BVT-Schlussfolgerungen aus diesem Kapitel 5 können daher nur dann korrekt interpretiert werden, wenn sie in Verbindung mit Kapitel 4 gelesen werden. Um den Leser dabei zu unterstützen, wurden in Kapitel 5 Querverweise zu Kapitel 4 eingefügt.

### 5.1.1 Umweltmanagement

Eine Reihe von Umweltmanagementtechniken werden als BVT identifiziert. Der Umfang (z.B. Detaillierungsgrad) und die Art des Umweltmanagementsystems (z.B. standardisiertes oder nicht standardisiertes UMS) wird im Allgemeinen von der Art, Größe und Komplexität der Anlage abhängen und von der Breite der Umweltwirkungen, die von ihr ausgehen können.

**BVT ist, ein Umweltmanagementsystem (UMS) einzuführen und aufrecht zu erhalten, welches – den individuellen Umständen angemessen – die folgenden Elemente enthält (siehe Abschnitt 4.7):**

- a) Definition einer Umweltpolitik für die Anlage durch die Unternehmensleitung (das Engagement der Unternehmensleitung wird als Vorbedingung für eine erfolgreiche Umsetzung der anderen Elemente des UMS angesehen)
- b) Planung und Festlegung der benötigten Verfahrensabläufe
- c) Umsetzung dieser Verfahrensabläufe mit besonderem Augenmerk auf:
  - I. Struktur und Zuständigkeiten
  - II. Schulung, Problembewusstsein und Kompetenz
  - III. Kommunikation
  - IV. Einbeziehung der Mitarbeiter
  - V. Dokumentation
  - VI. Effiziente Prozesssteuerung
  - VII. Wartungsprogramme
  - VIII. Vorbereitung auf Notfälle und Reaktionen im Notfall
  - IX. Gewährleistung der Einhaltung von umweltrechtlichen Anforderungen.

- d) Funktionsüberprüfung und Ergreifung von Korrekturmaßnahmen, unter besonderer Berücksichtigung von
  - I. Überwachung und Messungen (siehe auch BVT-Merkblatt zum Monitoring von Emissionen)
  - II. Fehlerbeseitigung und Vorsorgemaßnahmen
  - III. Pflege der Unterlagen/Akten
  - IV. Unabhängige (wenn möglich) interne Betriebsprüfung, um festzustellen, ob das UMS der vorgesehenen Gestaltung entspricht und ob es richtig eingeführt und gepflegt wurde
- e) Überprüfung durch die Unternehmensleitung

Drei weitere Elemente, die die obengenannten stufenweise ergänzen können, werden als unterstützende Maßnahmen angesehen. Fehlen diese jedoch, bedeutet das grundsätzlich noch keine Abweichung von BVT. Diese drei zusätzlichen Schritte sind:

- f) Validierung des Managementsystems und der Betriebsüberprüfung durch eine akkreditierte Zertifizierungsstelle oder einen externen UMS-Prüfer
- g) Erstellung und Veröffentlichung (und eventuell externe Prüfung) einer regelmäßigen Umwelterklärung, die alle wesentlichen Umweltaspekte der Anlage beschreibt und einen jährlichen Vergleich mit den Umweltzielen wie auch mit Branchen Kennziffern ermöglicht
- h) Einführung und Aufrechterhaltung eines international akzeptierten freiwilligen Systems wie EMAS und EN ISO 14.001:2004. Dieser freiwillige Schritt könnte dem UMS eine höhere Glaubwürdigkeit verleihen. Insbesondere EMAS, welches alle oben angegebenen Elemente enthält, führt zu einer höheren Glaubwürdigkeit. Nichtstandardisierte Systeme können jedoch prinzipiell genauso effektiv sein, wenn sie gut ausgestaltet und eingeführt sind.

Speziell für die Keramikindustrie ist es auch wichtig, die folgenden Aspekte im UMS zu berücksichtigen:

- i) Bei Projektierung von neuen Anlagen die Umweltwirkungen ihrer Außerbetriebnahme im Falle der Stilllegung
- j) die Entwicklung sauberer Technologien
- k) die regelmäßige Anwendung – soweit möglich – von Branchen Kennziffern (Benchmarks), auch hinsichtlich Energieeffizienz und Energiesparmaßnahmen, Wahl des eingesetzten Rohstoffe, Luftemissionen, Wassereinleitungen und -verbrauch sowie Abfallerzeugung.

### 5.1.2 Energieverbrauch

Allgemeine Erwägungen zum Energieverbrauch sind Abschnitt 3.2.1 zu entnehmen.

- a) **BVT ist, den Energieverbrauch durch Anwendung einer Kombination der folgenden Maßnahmen zu mindern:**
  - I. Technische Verbesserung der Brennöfen und Trockner. In diesem Zusammenhang wird auf Abschnitt 4.1.1 verwiesen, in dem verschiedene Maßnahmen vorgestellt werden, die bei Öfen und Trocknern einzeln oder in Kombination umgesetzt werden können.
  - II. Rückgewinnung der überschüssigen Wärme aus den Brennöfen, insbesondere aus deren Kühlzonen (siehe Abschnitt 4.1.2). Vor allem die Überschusswärme aus der Kühlzone – in Form von heißer Luft – kann zur Beheizung der Trockner verwendet werden.
  - III. Wechsel der Brennstoffart für die Befuerung der Brennöfen (Ersetzen von Schweröl und festen Brennstoffen durch emissionsarme Brennstoffe). In diesem Zusammenhang wird auf Abschnitt 4.1.4 verwiesen, in dem die Umstellung der Feuerung auf gasförmige Brennstoffe oder Heizöl EL beschrieben wird.
  - IV. Modifikation keramischer Massen. In diesem Zusammenhang wird auf Abschnitt 4.1.5 verwiesen, in dem mehrere Möglichkeiten für die Modifikation keramischer Massen und deren Anwendungsbereiche vorgestellt werden.

- b) **BVT ist, den Primärenergieverbrauch durch Einsatz von Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen zu mindern, wenn ein Bedarf für die nutzbare Wärme besteht und die energiewirtschaftlichen Rahmenbedingungen einen wirtschaftlich tragfähigen Betrieb ermöglichen.**

### 5.1.3 Staubemissionen

Allgemeine Erwägungen zu Staubemissionen sind dem Abschnitt 3.1.1.1 zu entnehmen.

#### 5.1.3.1 Diffuse Staubemissionen

**BVT ist, die diffusen Staubemissionen durch Anwendung einer Kombination der folgenden Techniken zu mindern:**

- a) Maßnahmen für staubende Vorgänge. In diesem Zusammenhang wird auf Abschnitt 4.2.1 verwiesen, in dem verschiedene Maßnahmen vorgestellt werden, die einzeln oder in Kombination umgesetzt werden können.
- b) Maßnahmen für Schüttgutlagerungsbereiche. In diesem Zusammenhang wird auf Abschnitt 4.2.2 verwiesen, in dem verschiedene Maßnahmen vorgestellt werden, die einzeln oder in Kombination umgesetzt werden können.

#### 5.1.3.2 Gefasste Staubemissionen aus staubenden Vorgängen

Staubemissionen, die bei staubenden Vorgängen mit Ausnahme von Trocknung, Sprühtrocknung und Brennprozess entstehen.

**BVT ist, die gefassten Staubemissionen aus staubenden Vorgängen (siehe Abschnitt 4.2.3, in dem Techniken beschrieben werden, die ausschließlich der Entstaubung dienen) durch Einsatz von Gewebefiltern (siehe Abschnitt 4.2.3.2) auf einen Halbstundenmittelwert von 1 bis 10 mg/m<sup>3</sup> zu mindern. Bei besonderen Betriebsbedingungen kann dieser Wertebereich jedoch größer sein.**

#### 5.1.3.3 Staubemissionen aus Trocknungsprozessen

Staubemissionen, die bei Trocknungsprozessen entstehen.

**BVT ist, die Staubemissionen aus Trocknungsprozessen auf einen Tagesmittelwert von 1 bis 20 mg/m<sup>3</sup> durch Reinigung der Trockner, Vermeidung der Ansammlung von Staubresten im Trockner und Festlegung geeigneter Wartungsprotokolle (siehe Abschnitt 4.2) zu begrenzen.**

#### 5.1.3.4 Staubemissionen aus der Feuerung der Brennöfen

Staubemissionen, die bei der Feuerung der Brennöfen entstehen.

**BVT ist, die Staubemissionen aus den Abgasen von Brennöfen auf einen Tagesmittelwert von 1 bis 20 mg/m<sup>3</sup> durch Anwendung einer Kombination der folgenden primären Maßnahmen/Techniken zu mindern:**

- a) Verwendung von aschearmen Brennstoffen, z.B. Erdgas, LNG, LPG und Heizöl EL (siehe Abschnitt 4.1.4)
- b) Minimierung der Staubbildung beim Beschicken des Ofens mit dem Brenngut (siehe Abschnitt 4.2).

**Bei Anwendung einer trockenen Abgasreinigung mittels Filter (siehe Abschnitt 4.3.4.3) gilt ein Staubemissionswert von weniger als 20 mg/m<sup>3</sup> im gereinigten Abgas als BVT (BAT-AEL).**

Bei Einsatz von Kaskaden-Schüttichtfiltern (siehe Abschnitt 4.3.4.1) gilt ein Staubemissionswert von weniger als  $50 \text{ mg/m}^3$  im gereinigten Abgas als BVT (BAT-AEL).

Für Blähtonerzeugnisse wird auf die sektorspezifischen BVT-Schlussfolgerungen (siehe Abschnitt 5.2.4.1) verwiesen.

### 5.1.4 Gasförmige Verbindungen

Allgemeine Erwägungen zu gasförmigen Verbindungen sind dem Abschnitt 3.1.1.2 zu entnehmen.

#### 5.1.4.1 Primäre Maßnahmen/Techniken

- a) BVT ist, die Emissionen an gasförmigen Verbindungen (z.B. HF, HCl, SO<sub>x</sub>, VOC, Schwermetalle) aus den Ofenabgasen durch Anwendung einer einzelnen oder einer Kombination der folgenden primären Maßnahmen/Techniken zu mindern:
- I. Minderung des Eintrags von Vorläufersubstanzen. In diesem Zusammenhang wird auf Abschnitt 4.3.1 verwiesen, in dem verschiedene Möglichkeiten zur Minderung des Eintrags von Vorläufersubstanzen vorgestellt werden.
  - II. Optimierung der Brennkurve. In diesem Zusammenhang wird auf Abschnitt 4.3.3.1 verwiesen, in dem verschiedene Aspekte der Prozessoptimierung durch Optimierung der Temperaturführung beim Brennprozess vorgestellt werden.
- b) BVT ist, die NO<sub>x</sub>-Emissionen aus den Abgasen der Brennöfen durch Anwendung einer Kombination von Primärmaßnahmen/-techniken (siehe Abschnitte 4.3.1 und 4.3.3, insbesondere die Minderung des Eintrags von Vorläufersubstanzen von NO<sub>x</sub>-Vorläufersubstanzen) auf Tagesmittelwerte unter  $250 \text{ mg/m}^3$ , angegeben als NO<sub>2</sub>, für Brennofengastemperaturen unter  $1300 \text{ °C}$  und auf Tagesmittelwerte unter  $500 \text{ mg/m}^3$ , angegeben als NO<sub>2</sub>, für Brennofengastemperaturen ab  $1300 \text{ °C}$  zu mindern, mit Ausnahme der Herstellung von Blähtonerzeugnissen.
- c) BVT ist, die NO<sub>x</sub>-Emissionen aus Abgasen von Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen auf Tagesmittelwerte unter  $500 \text{ mg/m}^3$ , angegeben als NO<sub>2</sub>, durch Anwendung von Maßnahmen zur Prozessoptimierung (siehe Abschnitte 4.1.3 und 4.3.1) zu begrenzen.

#### 5.1.4.2 Sekundäre Maßnahmen/Techniken und deren Kombination mit primären Maßnahmen/Techniken

BVT ist, die Emissionen an gasförmigen Verbindungen aus den Abgasen der Brennöfen durch Anwendung einer der folgenden sekundäre Maßnahmen/Techniken zu mindern:

- a) Kaskaden-Schüttichtfilter (siehe Abschnitt 4.3.4.1)
- b) Trockene Abgasreinigung mit einem Filter (Gewebe- oder Elektrofilter, siehe Abschnitt 4.3.4.3)

Bei Anwendung einer Kombination der in Abschnitt 5.1.4.1.a genannten primären Maßnahmen/Techniken und/oder der in diesem Abschnitt genannten sekundären Maßnahmen/Techniken sind die folgenden Emissionswerte für gasförmige Verbindungen aus den Abgasen der Brennöfen mit BVT assoziierte Emissionswerte (BAT-AEL):

Parameter	Einheit (Tagesmittelwert)	BAT-AEL <sup>1)</sup>
Fluorid, angegeben als HF	mg/m <sup>3</sup>	1 – 10 <sup>2)</sup>
Chlorid, angegeben als HCl	mg/m <sup>3</sup>	1 – 30 <sup>3)</sup>
SO <sub>x</sub> , angegeben als SO <sub>2</sub> Rohstoff-Schwefelgehalte ≤0,25 %	mg/m <sup>3</sup>	<500
SO <sub>x</sub> , angegeben als SO <sub>2</sub> Rohstoff-Schwefelgehalte >0,25 %	mg/m <sup>3</sup>	500 – 2000 <sup>4)</sup>
<sup>1)</sup> Die Wertebereiche hängen vom Gehalt des entsprechenden Schadstoffs (Vorläufers) in den Rohstoffen ab, d. h. beim Brennen keramischer Erzeugnisse mit einem niedrigen Gehalt des entsprechenden Schadstoffs (Vorläufers) im Rohstoff gelten niedrigere Werte innerhalb des Wertebereichs und beim Brennen keramischer Erzeugnisse mit einem hohen Gehalt des entsprechenden Schadstoffs (Vorläufers) im Rohstoff höhere Werte innerhalb des Wertebereichs als BAT-AEL.		
<sup>2)</sup> Je nach Rohstoffbeschaffenheit kann der obere Wert der BAT-AEL-Spanne niedriger liegen.		
<sup>3)</sup> Je nach Rohstoffbeschaffenheit kann der obere Wert der BAT-AEL-Spanne niedriger liegen. Auch sollte der obere Wert der BAT-AEL-Spanne der Wiederverwendung der Abwässer nicht entgegenstehen.		
<sup>4)</sup> Der obere Wert der BAT-AEL-Spanne gilt nur für Rohstoffe mit einem extrem hohen Schwefelgehalt.		

Tabelle 5.1: Mit BVT assoziierte Emissionswerte für gasförmige Verbindungen aus den Abgasen der Brennöfen

### 5.1.5 Prozessabwasser (Emissionen und Verbrauch)

Allgemeine Erwägungen zum Prozessabwasser (Emissionen und Verbrauch) sind den Abschnitten 3.1.2 und 3.2.2 zu entnehmen.

- BVT ist, den Wasserverbrauch durch Anwendung von Maßnahmen zur Prozessoptimierung zu reduzieren. In diesem Zusammenhang wird auf Abschnitt 4.4.5.1 verwiesen, in dem verschiedene Maßnahmen zur Prozessoptimierung vorgestellt werden, die einzeln oder in Kombination umgesetzt werden können.**
- BVT ist, das Prozessabwasser in einer Prozessabwasserbehandlungsanlage zu reinigen. In diesem Zusammenhang wird auf Abschnitt 4.4.5.2 verwiesen, in dem verschiedene Abwasserbehandlungstechniken vorgestellt werden, die einzeln oder in Kombination umgesetzt werden können. So ist sicherzustellen, dass das Abwasser hinreichend gereinigt wird, damit es anschließend im Herstellungsprozess wieder verwendet oder direkt in Gewässer oder indirekt in das kommunale Abwassersystem eingeleitet werden kann.**
- BVT ist, die Schadstofffracht der Abwassereinleitungen zu reduzieren. Für Abwassereinleitungen sind die folgenden Emissionswerte BAT-AEL:**

Parameter	Einheit	BAT-AEL (2-Stunden-Mischprobe)
Schwebstoffe	mg/l	50,0
AOX	mg/l	0,1
Blei (Pb)	mg/l	0,3
Zink (Zn)	mg/l	2,0
Cadmium (Cd)	mg/l	0,07

Tabelle 5.2: Mit BVT assoziierte Emissionswerte (BAT-AEL) für Schadstoffgehalte von Abwassereinleitungen

Wenn mehr als 50 % des Prozesswassers in den Herstellungsprozessen wiederverwendet werden, können auch höhere Schadstoffkonzentrationen noch BAT-AEL sein, solange die spezifische Schadstofffracht pro Produktionsmenge (pro kg verarbeiteter Rohstoffe) nicht höher ist als die Schadstofffracht, die sich bei einer Wiederverwendungsrate des Prozesswassers von weniger als 50 % ergäbe.

### 5.1.6 Schlämme

Allgemeine Erwägungen zu Schlämmen sind dem Abschnitt 3.1.3 zu entnehmen.

**BVT ist, Schlämme durch Anwendung einer oder einer Kombination der folgenden Techniken wieder- oder weiterzuverwerten:**

- a) Systeme zur Wiederverwertung von Schlämmen (siehe Abschnitt 4.5.1.1)
- b) Weiterverwertung der Schlämme in anderen Produkten (siehe Abschnitt 4.5.1.2).

### 5.1.7 Feste Prozessverluste/Abfälle

Allgemeine Erwägungen zu festen Prozessverlusten/Abfällen sind dem Abschnitt 3.1.3 zu entnehmen.

**BVT ist, den Anfall an festen Prozessverlusten/Abfällen durch Anwendung einer Kombination der folgenden Techniken zu mindern:**

- a) Rückführung ungemischter Rohstoffe (siehe Abschnitt 4.5.2.1)
- b) Rückführung beschädigter Scherben in den Herstellungsprozess (siehe Abschnitt 4.5.2.1)
- c) Verwendung von festen Prozessverlusten in anderen Industrien (siehe Abschnitt 4.5.2.1)
- d) Elektronische Steuerung des Brennprozesses (siehe Abschnitt 4.5.2.2)
- e) Anwendung optimierter Besatztechniken (siehe Abschnitt 4.5.2.2).

### 5.1.8 Lärm

Allgemeine Erwägungen zu Lärmemissionen sind dem Abschnitt 3.1.4 zu entnehmen.

**BVT ist, die Lärmemissionen durch Anwendung einer Kombination der folgenden Techniken (siehe Abschnitt 4.6) zu mindern:**

- a) Einhausung von Anlagenteilen
- b) Schwingungsisolierung von Anlagenteilen
- c) Verwendung von Schalldämpfern und langsam rotierenden Lüftern
- d) Anordnung von Fenstern, Toren und lauten Anlagenteilen an der von den Nachbarn abgewandten Seite
- e) Schallisolation von Fenstern und Wänden
- f) Schließen von Fenstern und Toren
- g) Ausführen von lauten (Freiluft-)Tätigkeiten nur am Tage
- h) Sorgfältige Instandhaltung der Anlage



## 5.2 Sektorspezifische BVT-Schlussfolgerungen

Dieser Abschnitt enthält spezifische BVT-Schlussfolgerungen für die neun Sektoren der Keramikindustrie, die in diesem Dokument behandelt werden. BVT für eine spezielle Anlage wird in der Regel die Anwendung einer einzelnen oder einer Kombination von Techniken und Maßnahmen sein, die im sektorspezifischen Abschnitt oder dem allgemeinen Teil dieses Kapitels (Abschnitt 5.1) aufgeführt werden.

Die besten verfügbaren Techniken und die angegebenen Emissionen- oder Verbrauchswerte oder -wertebereiche, die mit BVT verbunden sind (engl. Abkürzung BAT-AEL = Best Available Techniques - Associated Emission Level), beziehen sich auf Anlagen mit verschiedenen Ofengrößen, verschiedenen Ofen-Betriebsarten (z.B. kontinuierlich oder diskontinuierlich) und unterschiedlich vielen Betriebsstunden pro Jahr. Spezielle lokale Erwägungen können nicht berücksichtigt werden. BAT-AEL ist keine Definition oder Empfehlung von Emissionengrenzwerten.

Es wird dringend empfohlen, Kapitel 5 in Verbindung mit Kapitel 4 zu lesen, weil nicht nur die Anwendbarkeit, sondern auch die Beschränkungen hinsichtlich der Anwendbarkeit der Techniken und Maßnahmen – wie in Kapitel 4 angegeben – berücksichtigt werden müssen. Die BVT-Schlussfolgerungen aus diesem Kapitel 5 können daher nur dann korrekt interpretiert werden, wenn sie in Verbindung mit Kapitel 4 gelesen werden. Um den Leser dabei zu unterstützen, wurden in Kapitel 5 Querverweise zu Kapitel 4 eingefügt.

### 5.2.1 Ziegelsteine und Dachziegel

#### 5.2.1.1 Gasförmige Verbindungen / primäre Maßnahmen/Techniken

**BVT ist, die Emissionen an gasförmigen Verbindungen (z.B. HF, HCl, SO<sub>x</sub>) aus den Ofenabgasen durch Zugabe von kalziumreichen Zusatzstoffen (siehe Abschnitt 4.3.2) zu mindern, sofern dies die Qualität des Endprodukts nicht beeinträchtigt.**

#### 5.2.1.2 Flüchtige organische Verbindungen

**BVT ist, die Emissionen an flüchtigen organischen Verbindungen aus dem Ofenabgas – bei Rohgaswerten von mehr als 100 bis 150 mg/m<sup>3</sup>, abhängig von den Rohgaseigenschaften (z.B. Zusammensetzung, Temperatur) – auf einen Tagesmittelwert von 5 bis 20 mg/m<sup>3</sup>, angegeben als Gesamtkohlenstoff, durch Anwendung einer thermischen Nachverbrennung mit einem Ein- oder Drei-Kammer-Thermoreaktor (siehe Abschnitt 4.3.5.1) zu mindern.**

### 5.2.2 Steinzeugrohre

#### 5.2.2.1 Gefasste Staubemissionen

**BVT ist, die gefassten Staubemissionen aus der Sprühglasierung durch Anwendung von Gewebefiltern (siehe Abschnitt 4.2.3.2) oder Sinterlamellenfiltern (siehe Abschnitt 4.2.3.3) auf einen Halbstundenmittelwert von 1 bis 10 mg/m<sup>3</sup> zu mindern.**

### 5.2.3 Feuerfeste Erzeugnisse

#### 5.2.3.1 Flüchtige organische Verbindungen

a) **BVT ist, die Emissionen von flüchtigen organischen Verbindungen aus der Behandlung mit organischen Verbindungen bei geringen Abgasvolumenströmen durch Anwendung von Aktivkohlefiltern (siehe Abschnitt 4.3.4.5) zu mindern. Bei hohen Abgasvolumenströmen ist BVT, die Emissionen von flüchtigen organischen Verbindungen aus der Behandlung mit organischen Verbindungen durch Anwendung einer thermischen Nachverbrennung (siehe Abschnitt 4.3.5.1) auf einen Tagesmittelwert von 5 bis 20 mg/m<sup>3</sup>, angegeben als Gesamtkohlenstoff, zu mindern.**

- b) **BVT ist, die Emissionen von flüchtigen organischen Verbindungen aus dem Ofenabgas – bei Rohgaskonzentrationen von über 100 bis 150 mg/m<sup>3</sup>, abhängig von den Rohgaseigenschaften (z.B. Zusammensetzung, Temperatur) – durch Anwendung einer thermischen Nachverbrennung mit einem Ein- oder Drei-Kammer-Thermoreaktor (siehe Abschnitt 4.3.5.1) auf einen Tagesmittelwert von 5 bis 20 mg/m<sup>3</sup>, angegeben als Gesamtkohlenstoff, zu mindern.**

### 5.2.3.2 Feste Prozessverluste/Abfälle

**BVT ist, den Anfall an festen Prozessverlusten/Abfällen in Form verbrauchter Gipsformen aus der Formgebung durch Anwendung einer einzelnen oder einer Kombination der folgenden Maßnahmen (siehe Abschnitt 4.5.2.2) zu mindern:**

- a) Ersetzen der Gipsformen durch Polymerformen
- b) Ersetzen der Gipsformen durch Metallformen
- c) Verwendung von Vakuum-Gipsmischern
- d) Weiterverwertung von gebrauchten Gipsformen in anderen Industriezweigen

## 5.2.4 Blähtonerzeugnisse

### 5.2.4.1 Gefasste Staubemissionen

**BVT ist, die gefassten Staubemissionen aus heißen Abgasen durch Anwendung von Elektrofiltern (siehe Abschnitt 4.2.3.5) oder nassen Staubabscheidern (siehe Abschnitt 4.2.3.4) auf einen Tagesmittelwert von 5 bis 50 mg/m<sup>3</sup> zu mindern.**

### 5.2.4.2 Gasförmige Verbindungen / primäre Maßnahmen/Techniken

**BVT ist, die Emissionen von NO<sub>x</sub> aus den Abgasen von Drehrohröfen durch Anwendung einer Kombination von Primärmaßnahmen/-techniken (siehe Abschnitte 4.3.1 und 4.3.3) auf einen Tagesmittelwert unter 500 mg/m<sup>3</sup>, angegeben als NO<sub>2</sub>, zu begrenzen.**

## 5.2.5 Wand- und Bodenfliesen

### 5.2.5.1 Gefasste Staubemissionen

- a) **BVT ist, die gefassten Staubemissionen aus der Sprühtrocknung durch Anwendung von Gewebefiltern (siehe Abschnitt 4.2.3.2) auf einen Halbstundenmittelwert von 1 bis 30 mg/m<sup>3</sup>, oder bei bestehenden Anlagen durch Anwendung von Zyklonen (siehe Abschnitt 4.2.3.1) in Kombination mit nassen Staubabscheidern (siehe Abschnitt 4.2.3.4) auf 1 bis 50 mg/m<sup>3</sup> zu mindern, sofern das Spülwasser wieder verwendet werden kann.**
- b) **BVT ist, die gefassten Staubemissionen aus der Sprühglasierung durch Anwendung von Gewebefiltern (siehe Abschnitt 4.2.3.2) oder Sinterlamellenfiltern (siehe Abschnitt 4.2.3.3) auf einen Halbstundenmittelwert von 1 bis 10 mg/m<sup>3</sup> zu mindern.**

### 5.2.5.2 Staubemissionen aus der Feuerung der Brennöfen

**BVT ist, die Staubemissionen (Gesamtstaub) aus den Ofenabgas durch Anwendung einer trockenen Abgasreinigung mit Gewebefiltern (siehe Abschnitt 4.3.4.3), die auch zur Entfernung von Fluoriden dient, auf einen Tagesmittelwert von 1 bis 5 mg/m<sup>3</sup> zu mindern.**

### 5.2.5.3 Gasförmige Verbindungen / sekundäre Maßnahmen/Techniken

- a) BVT ist, die Emissionen von HF aus den Ofenabgas durch Anwendung z.B. einer trockenen Abgasreinigung mit Gewebefiltern (siehe Abschnitt 4.3.4.3) auf einen Tagesmittelwert von 1 bis 5 mg/m<sup>3</sup> zu mindern.
- b) BVT ist, die Emissionen von gasförmigen anorganischen Verbindungen aus den Ofenabgasen durch Anwendung von Moduladsorbern (siehe Abschnitt 4.3.4.2) zu mindern, insbesondere bei geringen Abgasvolumenströmen (unter 18000 m<sup>3</sup>/h) und wenn die Rohgaskonzentrationen von anorganischen Verbindungen mit Ausnahme von HF (SO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub>, HCl) und von Staub gering sind.

### 5.2.5.4 Wiederverwendung von Prozessabwässern

BVT ist, die Prozessabwässer im Herstellungsprozess durch Anwendung einer Kombination von Maßnahmen zur Prozessoptimierung und Abwasserbehandlungssystemen – wie in Abschnitt 4.4.5 beschrieben – mit einer Wiederverwendungsrate von 50 bis 100 % (abhängig von der Art der herzustellenden Fliesen, siehe Abschnitt 4.4.5.1) wiederzuverwenden.

### 5.2.5.5 Wiederverwertung von Schlamm

BVT ist, die bei der Prozessabwasseraufbereitung anfallenden Schlämme durch Einsatz eines Schlammaufbereitungssystems (siehe Abschnitt 4.5.1.1) bei der Herstellung der Scherben mit einem Anteil von 0,4 bis 1,5 Gewichtsprozent (hinzugegebenen trockenen Schlamms bezogen auf die Scherbenmasse) wiederzuverwenden, soweit möglich.

## 5.2.6 Tafelgeschirr und Dekorationsartikel (Haushaltskeramik)

### 5.2.6.1 Gefasste Staubemissionen

- a) BVT ist, die gefassten Staubemissionen aus der Sprühtrocknung durch Anwendung von Gewebefiltern (siehe Abschnitt 4.2.3.2) auf einen Halbstundenmittelwert von 1 bis 30 mg/m<sup>3</sup>, oder bei bestehenden Anlagen durch Anwendung von Zyklonen (siehe Abschnitt 4.2.3.1) in Kombination mit nassen Staubabscheidern (siehe Abschnitt 4.2.3.4) auf 1 bis 50 mg/m<sup>3</sup> zu mindern, sofern das Spülwasser wiederverwendet werden kann.
- b) BVT ist, die gefassten Staubemissionen aus der Sprühglasierung durch Anwendung von Gewebefiltern (siehe Abschnitt 4.2.3.2) oder Sinterlamellenfiltern (siehe Abschnitt 4.2.3.3) auf einen Halbstundenmittelwert von 1 bis 10 mg/m<sup>3</sup> zu mindern.

### 5.2.6.2 Gasförmige Verbindungen / sekundäre Maßnahmen/Techniken

BVT ist, die Emissionen von gasförmigen anorganischen Verbindungen aus den Ofenabgasen durch Anwendung von Moduladsorbern (siehe Abschnitt 4.3.4.2) zu mindern, insbesondere bei geringen Abgasvolumenströmen (unter 18000 m<sup>3</sup>/h) und wenn die Rohgaskonzentrationen von anorganischen Verbindungen mit Ausnahme von HF (SO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub>, HCl) und von Staub gering sind.

### 5.2.6.3 Wiederverwendung von Prozessabwässern

BVT ist, die Prozessabwässer im Herstellungsprozess durch Anwendung einer Kombination von Maßnahmen zur Prozessoptimierung und Abwasserbehandlungssystemen – wie in Abschnitt 4.4.5 beschrieben – mit einer Wiederverwendungsrate von 30 bis 50 % wiederzuverwenden.

#### 5.2.6.4 Feste Prozessverluste/Abfälle

**BVT ist, den Anfall an festen Prozessverlusten/Abfällen in Form verbrauchter Gipsformen aus der Formgebung durch Anwendung einer einzelnen oder einer Kombination der folgenden Maßnahmen (siehe Abschnitt 4.5.2.2) zu mindern:**

- a) Ersetzen der Gipsformen durch Polymerformen
- b) Ersetzen der Gipsformen durch Metallformen
- c) Verwendung von Vakuum-Gipsmischern
- d) Weiterverwertung von gebrauchten Gipsformen in anderen Industriezweigen

#### 5.2.7 Sanitärkeramik

##### 5.2.7.1 Gefasste Staubemissionen

**BVT ist, die gefassten Staubemissionen aus der Sprühglasierung durch Anwendung von Gewebefiltern (siehe Abschnitt 4.2.3.2) oder Sinterlamellenfiltern (siehe Abschnitt 4.2.3.3) auf einen Halbstundenmittelwert von 1 bis 10 mg/m<sup>3</sup> zu mindern.**

##### 5.2.7.2 Gasförmige Verbindungen / sekundäre Maßnahmen/Techniken

**BVT ist, die Emissionen von gasförmigen anorganischen Verbindungen aus den Ofenabgasen durch Anwendung von Moduladsorbern (siehe Abschnitt 4.3.4.2) zu mindern, insbesondere bei geringen Abgasvolumenströmen (unter 18000 m<sup>3</sup>/h) und wenn die Rohgaskonzentrationen von anorganischen Verbindungen mit Ausnahme von HF (SO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub>, HCl) und von Staub gering sind.**

##### 5.2.7.3 Wiederverwendung von Prozessabwässern

**BVT ist, die Prozessabwässer im Herstellungsprozess durch Anwendung einer Kombination von Maßnahmen zur Prozessoptimierung und Abwasserbehandlungssystemen – wie in Abschnitt 4.4.5 beschrieben – mit einer Wiederverwendungsrate von 30 bis 50 % wiederzuverwenden.**

##### 5.2.7.4 Feste Prozessverluste/Abfälle

**BVT ist, den Anfall an festen Prozessverlusten/Abfällen in Form verbrauchter Gipsformen aus der Formgebung durch Anwendung einer einzelnen oder einer Kombination der folgenden Maßnahmen (siehe Abschnitt 4.5.2.2) zu mindern:**

- a) Ersetzen der Gipsformen durch Polymerformen
- b) Ersetzen der Gipsformen durch Metallformen
- c) Verwendung von Vakuum-Gipsmischern
- d) Weiterverwertung von gebrauchten Gipsformen in anderen Industriezweigen

#### 5.2.8 Technische Keramik

##### 5.2.8.1 Gefasste Staubemissionen

- a) **BVT ist, die gefassten Staubemissionen aus der Sprühtrocknung durch Anwendung von Gewebefiltern (siehe Abschnitt 4.2.3.2) auf einen Halbstundenmittelwert von 1 bis 30 mg/m<sup>3</sup>, oder bei bestehenden Anlagen durch Anwendung von Zyklonen (siehe Abschnitt 4.2.3.1) in Kombination mit nassen Staubabscheidern (siehe Abschnitt 4.2.3.4) auf 1 bis 50 mg/m<sup>3</sup> zu mindern, sofern das Spülwasser wiederverwendet werden kann.**

- b) **BVT ist, die gefassten Staubemissionen aus der Sprühglasierung durch Anwendung von Gewebefiltern (siehe Abschnitt 4.2.3.2) oder Sinterlamellenfiltern (siehe Abschnitt 4.2.3.3) auf einen Halbstundenmittelwert von 1 bis 10 mg/m<sup>3</sup> zu mindern.**

#### **5.2.8.2 Gasförmige Verbindungen / sekundäre Maßnahmen/Techniken**

**BVT ist, die Emissionen von gasförmigen anorganischen Verbindungen aus den Ofenabgasen durch Anwendung von Moduladsorbern (siehe Abschnitt 4.2.3.3) zu mindern, insbesondere bei geringen Abgasvolumenströmen (unter 18000 m<sup>3</sup>/h) und wenn die Rohgaskonzentrationen von anorganischen Verbindungen mit Ausnahme von HF (SO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub>, HCl) und von Staub gering sind.**

#### **5.2.8.3 Flüchtige organische Verbindungen**

**BVT ist, die Emissionen von flüchtigen organischen Verbindungen aus dem Ofenabgas – bei Rohgaskonzentrationen von über 100 bis 150 mg/m<sup>3</sup>, abhängig von den Rohgaseigenschaften (z.B. Zusammensetzung, Temperatur) – durch Anwendung einer thermischen Nachverbrennung mit einem Ein- oder Dreikammer-Thermoreaktor (siehe Abschnitt 4.3.5.1) auf einen Tagesmittelwert von 5 bis 20 mg/m<sup>3</sup>, angegeben als Gesamtkohlenstoff, zu mindern.**

#### **5.2.8.4 Feste Prozessverluste/Abfälle**

**BVT ist, den Anfall an festen Prozessverlusten/Abfällen in Form verbrauchter Gipsformen aus der Formgebung durch Anwendung einer einzelnen oder einer Kombination der folgenden Maßnahmen (siehe Abschnitt 4.5.2.2) zu mindern:**

- a) Ersetzen der Gipsformen durch Polymerformen
- b) Ersetzen der Gipsformen durch Metallformen
- c) Verwendung von Vakuum-Gipsmischern
- d) Weiterverwertung von gebrauchten Gipsformen in anderen Industriezweigen

### **5.2.9 Keramisch gebundene Schleifmittel**

#### **5.2.9.1 Flüchtige organische Verbindungen**

**BVT ist, die Emissionen von flüchtigen organischen Verbindungen aus dem Ofenabgas – bei Rohgaskonzentrationen von über 100 bis 150 mg/m<sup>3</sup>, abhängig von den Rohgaseigenschaften (z.B. Zusammensetzung, Temperatur) – durch Anwendung einer thermischen Nachverbrennung mit einem Ein- oder Dreikammer-Thermoreaktor (siehe Abschnitt 4.3.5.1) auf einen Tagesmittelwert von 5 bis 20 mg/m<sup>3</sup>, angegeben als Gesamtkohlenstoff, zu mindern.**



## 6 EMERGING TECHNIQUES FOR CERAMIC MANUFACTURING

### 6.1 Radiant tube burners

Reduction of water vapour levels in the kiln gases usually results in lower emission rates for fluoride, because the basic mechanism for the release of fluorine from clay minerals is pyrohydrolysis. This reaction occurs at temperatures of 800 °C and upwards.

In laboratory tests, it was found that reducing the water content in the kiln atmosphere, did result in reduced emissions of HF as well as of SO<sub>x</sub>. In practice, a reduction of the water content in the kiln atmosphere would be technically difficult to achieve, given that water is produced during the combustion of the fossil fuels used to heat the kiln. This production of water can be avoided by heating the kiln indirectly with gas-fired radiant tube burners (see Section 4.3.3.2).

For application in the ceramic industry, radiant-tube burners are made of silicon carbide with a high thermal conductivity and a high heat resistance to strongly fluctuating temperatures. With these radiant-tube burners, the kilns are heated indirectly (except the preheating zone of the kiln) and the flame of the burner is placed in a heat resistant tube, where combustion takes place. Heat transfer from the burner to the process is mainly carried out by thermal radiation, the corresponding high values for the heat flux are in a range of between 70 – 120 kW/m<sup>2</sup>.

The radiant-tube burners are, in principle, applicable in the wall and floor tiles, table- and ornamentalware, sanitaryware, technical ceramics and inorganic bonded abrasives industries, but the production scale in the sectors bricks and roof tiles, vitrified clay pipes, refractory products and expanded clay aggregates is too large. Projects have proven that they can be applied in roller hearth kilns and shuttle kilns, although the technology is not yet proven for tunnel kilns.

A pilot project in the Netherlands, where a roller hearth kiln was equipped with radiant tube burners for the manufacture of wall and floor tiles, showed HF emissions of between 0.7 mg/m<sup>3</sup> (wall tile manufacture) and 1.2 mg/m<sup>3</sup> (floor tile manufacture), and specific HF emission factors of between 3 to 6 mg/kg. The additional costs for radiant tube burner equipment and operating a kiln with a production capacity of 500000 m<sup>2</sup> tiles per year were estimated at more than EUR 450000 [5, InfoMil, 2003].

### 6.2 Microwave assisted firing and microwave dryers

The firing or sintering of ceramic ware is a critical step in the manufacturing process. Heavy loads on large kiln cars make the heat transfer from the outside to the middle of the setting and into the centre of individual bricks difficult. Temperature gradients can lead to thermal stresses and damaged products – surface temperatures are frequently higher than those in the centre of the unit or setting.

Considerable research has been conducted on applying microwave energy in the firing of ceramic ware. This process heats the product directly – including the centre of the units. In order to avoid undue heat loss to the kiln structure, microwave energy has been used in combination with conventional heating such as gas or electrical energy.

Technical problems, including safety aspects still need to be solved before the process can be applied economically on full-scale manufacture kilns and also relatively high electrical energy costs have to be taken into account. However, experimental work has indicated a number of significant benefits which should be developed in the future:

- minimisation of thermal stresses throughout the firing cycle
- product throughputs considerably increased, i.e. much shorter firing cycles
- energy consumption for firing considerably reduced – but there may be less excess heat available for drying purposes
- reduction of solid process losses/solid waste
- quality improvements, including significant gain in mechanical properties
- enhanced binder removal (from refractory products)
- reduced emissions based upon less energy consumption and higher production output
- lower fluoride emissions – which are closely related to the time the product spends above 800 °C.

Microwave energy can, in principle, also be used for drying ceramic ware (see Section 2.2.5.8). The advantages and disadvantages, as listed above for firing, are also valid for drying processes with microwave ovens. Research showed that microwave assisted drying is not applicable for complex product shapes, only for thin shapes [20, CERAME-UNIE, 2004] [28, Schorcht, 2005] [30, TWG Ceramics, 2005].

### 6.3 New type of drying system for refractory products

#### Description and achieved environmental benefits

The drying of large size refractory building components such as ladle lids or the roofs of electric arc furnaces can be very time consuming and energy intensive. By placing heat resistant stainless steel foils (with heating temperatures of up to 1100 °C) or carbon fibres (at lower drying temperatures of less than 250 °C) as the heating element into the refractory mix which needs to be poured, the component can be dried from the inside out. The foils or carbon fibres adapt to the structure and cause no interference.

As drying takes place from the inside out, the water moves in the same direction as the temperature front. This reduces drying times considerably.

Controlling the setting temperature improves the quality of the building components substantially, resulting in more even drying with fewer dry cracks and improved structural stability. Improvements were achieved in the following parameters:

- cold crushing strength: +50 %
- bending strength: +50 %
- abrasion resistance: +70 %
- extension of service life: +50 %.

This drying technique results in considerable energy savings, which can be further increased – particularly in the case of very large building components – by insulating the refractory product during drying.

#### Cross-media effects

No issues.



### Operational data and applicability

Carbon fibres can be used at temperatures of up to approx. 250 °C, and metal foils at higher temperatures of up to 1100 °C. Tests with a 9 tonne building component showed that the previous energy requirement for drying was 77000 kWh at residual moisture of 6 %. Installation of heating foils and insulation during drying reduced the energy requirement to 2000 kWh, which corresponds to about 97 % savings. The drying time decreased from about five days to about three days.

### Economics

Significant cost savings can be achieved, particularly in the case of very large building components with weights of up to 20 tonnes, by reduced energy consumption.

### Driving force for implementation

- better quality and longer service life of building components
- cost savings
- time savings.

### Example plant and reference literature

The technique is used by several manufacturers, e.g. Wolf GmbH, Urbar, Germany, [30, TWG Ceramics, 2005] [32, TWG Ceramics, 2006].

## 6.4 Advanced process waste water management with integrated glaze recovery

An innovative model waste water treatment system has been built at a ceramics factory, resulting in considerable reductions in pollutants and savings in the manufacture of sanitaryware, tableware and wall and floor tiles.

The new process waste water system has five modules:

- microfiltration: the process waste water from the largest glazing process (white glazing, 80 % of total glaze consumption) is passed through a microfiltration plant for glaze recovery. The recovered glaze is returned to glaze preparation
- treatment of a tributary process waste water stream: the process waste water from paste preparation in wall and floor tile manufacture, which is low in volume but highly contaminated, is passed to a separate treatment plant. The resulting sewage sludge, which contains high quality components which help increase the sinter ability of the ceramic body, is sent to paste preparation while the effluent goes to the municipal waste water treatment plant for removal of biodegradable constituents
- inclusion of existing sedimentation tanks: the process waste water from glaze preparation is passed through a system of sedimentation tanks, which have been upgraded by additional measures and are monitored automatically. The resulting sewage sludge is also returned to paste preparation in wall and floor tile manufacture while the process waste water is passed to the new, substantially smaller process waste water treatment plant
- construction of a new central process waste water treatment plant: the previous process waste water treatment plant handled up to 3500 m<sup>3</sup> of process waste water per day. The developed shed structures in the wall and floor tile works area made it impossible to separate rainwater and production waste water when the first waste water treatment plant was built in the early 1970s. The new centralised plant, which represents current state of the art, collects the process waste water from the factory and pumps it to the new system over ground, so that no mixing with rainwater occurs. An adjustment to the process waste water volumes of 700 – 800 m<sup>3</sup>/day, the reduced pollutant loads in process waste water streams, and improved technology have made it possible to design it as a fully automated plant whose operation requires only 20 % of the original personnel needs and generates considerable savings in energy and flocculants. Part of the sewage sludge from this plant can also be re-used in tile production. As its pollutant loads are lower and as it also has lower water content (25 % maximum) because of a new chamber filter press, the remainder can be stored at the factory's own disposal site without any risk. Tests showed that the material is also suitable to be used as a component of the mineral sealing layer of landfill final cover systems
- separation of rainwater: as process waste water is separated from the underground sewerage system, costly modernisation of old sewers and shafts is not required. Reduction and automation regarding the use of flocculants promises considerable material and cost savings.

The redesigning of the system has the following environmental advantages

- recovery of white glaze and re-use within the process
- saving of landfill capacity
- use of biocides and activated charcoal filters is no longer necessary
- highly contaminated process waste water is treated separately
- in-plant recycling of sewage sludge
- biologically polluted process waste water fractions are fed to the municipal waste water treatment plant
- no risk from polluted process waste water in the old sewerage system
- energy savings due to adaptation of the plants
- savings in flocculants for sludge separation.

Cost advantages

- reduction of personnel costs to 20 % of the original number of staff required through automation
- reduction of energy costs
- reduction in chemical additives
- recovery of re-usable glaze
- reduction of landfill costs.

The total costs of the process waste water treatment system are EUR 2.8 million. Because of the resulting savings, the expected payback period is 3 – 4 years.

Potential disadvantages

Although the system presented here can be characterised as a model system, the risks that could result when circumstances differ from those described, may lead to the following economic and qualitative disadvantages:

- energy costs for the filtration technology may exceed the savings achieved from recovery of raw materials (depending on the original rate of raw material loss)
- incorrect design of the microfiltration plant with the consequence of excessive investment costs or insufficient capacity
- long phase of research into the use of recovered glaze (colour corrections may be necessary)
- mixing of tributary streams is possible to a limited extent only, otherwise the saving effects from high quality recovery are no longer achieved
- high technical competence is necessary regarding the overall system
- redundancy measures have to be taken into account in the planning phase.

Conclusion: this kind of implementation of state-of-the-art environmental technology continues to be an industrial trial of model character subject to strictly defined conditions [30, TWG Ceramics, 2005] [32, TWG Ceramics, 2006].

## 6.5 Lead-free glazing of high quality table porcelain

Description and achieved environmental benefits

Lead glazes have been used in the past mainly for high quality table porcelain. The advantages of lead glazing include perfect surfaces and simple processing techniques in particular due to the melting and wetting behaviour typical of glazes containing lead.

Lead-free glaze formulations based on alkali boron silicates have been developed by a tableware producer, which are very much like systems containing lead in terms of quality and properties of application. This has led to annual savings in lead oxide of 60 tonnes. The use of minimal quantities of organic process additives means that environmental impacts due to organic emissions during firing are largely avoided.

The glazes are applied by wet spraying using rheologically adapted glazing suspensions. Process waste water streams generated in the spray booth, such as overspray and water from booth and rack cleaning, as well as glaze dust from the dry separator are treated and re-used for glazing together with fresh glaze. This closed glazing cycle has made it possible to optimise glaze input (glaze losses and actual requirement). The downstream thermal processes drying and firing have been adapted to the new glazing systems and optimised.

Simple patterns do not require additional firing and can be baked together with the glaze using an under-glaze technique. Complex, coloured on- and in-glaze patterns have to be baked separately.

### Cross-media effects

A higher energy requirement is needed for the treatment and recovery of process waste water from glaze application.

### Operational data and applicability

This technique is used for high quality table porcelain. Its use for colourful under-glaze patterns is not yet possible or would require additional investment.

### Economics

With this technique, the manufacturer currently makes annual savings in lead oxide of 60 tonnes at two production sites. The conversion to this technique was carried out in the framework of a fundamental optimisation of the whole process. The implementation of this technique as part of modern process technology has led to increased economic viability and competitiveness in the world market.

### Driving force for implementation

Cost savings for feedstock and the prevention of lead emissions.

### Example plants and reference literature

Villeroy & Boch AG, Germany, [30, TWG Ceramics, 2005], [32, TWG Ceramics, 2006]

## 7 CONCLUDING REMARKS

### Timing of the work process

The information exchange on Best Available Techniques for Ceramic Manufacturing was carried out from late 2003 to the beginning of 2006 within the international technical working group (TWG) which was established for this purpose. It took approximately two and a half years to draft and develop this document based on the information provided and comments arising from the two consultations and the final TWG meeting. Table 7.1 shows the milestones of the work.

Start of Ceramics BREF work	October 2003
Kick-off meeting	1 – 2 December 2003
Draft 1	October 2004
Draft 1 comments	January 2005
Draft 2	June 2005
Draft 2 comments	September 2005
Change of the BREF author	September 2005
Final TWG meeting	14 – 17 February 2006
Final draft	September 2006

**Table 7.1: Timing of the work process on the BREF on Ceramic Manufacturing**

### Sources of information and development of this document

This document is based on over 30 sources of information, with key information from both industry and Member States. Some reports were elaborated already prior to the kick-off meeting on purpose to provide targeted information for the development of this document and many contributions were also provided after the kick-off meeting. The reports were submitted by CERAME UNIE, the industry association representing the majority of European ceramic manufacturers, and the Member States Austria, Belgium, Finland, Germany, Italy, the Netherlands, Portugal and Spain and can be considered the building blocks of this document.

Additional useful information was obtained by visiting ceramic manufacturing sites in Austria, Belgium, Denmark, Finland, France, Germany, Italy and Spain, usually organised and accompanied by TWG members.

This document was developed based on about 1000 comments to the first draft and more than 750 comments to the second draft from almost all of the TWG members. In this context it has to be noted that in fact the information exchange was carried out within EU-15, because the 10 new Member States of EU-25, with a few exceptions, did not participate actively.

Based on the information provided and the comments received, the scope and the structure of this document were developed so that the nine major ceramic sectors are covered. These are:

- wall and floor tiles
- bricks and roof tiles
- table- and ornamentalware (household ceramics)
- refractory products
- sanitaryware
- technical ceramics
- vitrified clay pipes
- expanded clay aggregates
- inorganic bonded abrasives.

The order of the chapters of this document (Executive Summary, Preface, Scope, Chapters 1 – 9 including BAT – Chapter 5 and Concluding Remarks – Chapter 7) follows the standard order of the BREF Outline and Guide. This BREF Outline and Guide was given by the Information Exchange Forum (IEF), which is established by the European Commission to assist the IPPC information exchange (in this context, see also the Preface).

### **Information gaps that still exist**

Despite much very useful information and many comments provided, regarding several issues, some data problems and the corresponding consequences for the document have to be pointed out:

- to a certain extent, a lack of consistent quantitative information regarding actual economic (cost) data for some abatement techniques other than flue-gas cleaning techniques in context with the corresponding performance data. This has resulted in some qualitative rather than quantitative economic statements especially in Chapter 4 and consequently in some BAT conclusions, which are now based mainly on a qualitative approach
- the multitude of product groups and individual manufacturing process steps have also led to qualitative rather than quantitative statements especially the BAT conclusions regarding energy efficiency. The data which were submitted in this context, show many specific aspects or details, but lead to the conclusion that, until now, general quantitative statements regarding this issue can hardly be made
- regarding the use of alternative (e.g. biogas/biomass) or solid fuels (e.g. coal, petroleum coke) only few emission and consumption data were provided, most of them very late in this document's development process – some of them even during the final TWG meeting – and therefore they could not be fully taken into consideration.

### **Level of consensus at the final TWG meeting**

The main discussion items at the final TWG meeting were the BAT conclusions, which were set out on two levels:

- generic BAT conclusions, i.e. those that are generally applicable to the whole ceramic industry
- sector specific BAT conclusions, i.e. those for the nine major ceramic sectors under the scope.

The BAT proposals were discussed case by case and in this context, it was also discussed and concluded that the BAT chapter does not set or propose emission limit values but suggests consumption and emission values that are associated with the use of a selection of BAT and that 'Best Available Techniques' for a specific installation will usually be the use of one individual or a combination of the techniques and measures listed in the BAT chapter under the generic and sector specific sections.

Another discussion point was to explicitly mention in the Concluding Remarks Chapter the difficulties in handling the information which was received very late. This is in particular relevant to petroleum coke as a fuel for the kiln firing process, along with the recommendation for further information gathering in order to help with the updating of this ceramics document.

A high degree of consensus was achieved during the final TWG meeting, no split views were recorded, and therefore – as also seen retrospectively over the whole information exchange period – the information exchange process can be considered successful.

### **Recommendations for future work**

The information exchange and its result, i.e. this document, present an important step forward in achieving the integrated prevention and control of pollution from ceramic manufacturing. Further work could continue the process by providing information from all EU-25 Member States including actual cost data of abatement techniques and more data on energy efficiency linked with the corresponding techniques.

Also more information regarding alternative and solid fuels including all kinds of emission and consumption data, e.g. real measured emission data, will be necessary to obtain a full understanding of the emission behaviour for a future revision of this document.

Additionally, the BAT associated emission levels (BAT AEL) have to be peer reviewed for a revision of this document, in particular regarding the high BAT AEL range for SO<sub>x</sub> emissions from the kiln firing process by using raw material with high sulphur content, taking into account advancing abatement techniques.

For the revision of this document, an oxygen level of 17 % should be considered as the reference level.

### **Suggested topics for future R&D work**

In particular regarding the techniques described in the Emerging Techniques Chapter (Chapter 6), some future R&D work will still be necessary and useful, so that these techniques can be considered in the determination of BAT for ceramic manufacturing.

Besides that, the EC is launching and supporting, through its RTD programmes, a series of projects dealing with clean technologies, emerging effluent treatment and recycling technologies and management strategies. Potentially these projects could provide a useful contribution to future BREF reviews. Readers are therefore invited to inform the EIPPCB of any research results which are relevant to the scope of this document (see also the preface of this document).





## 8 REFERENCES

- 1 BMLFUW (2003). "Austrian Study on State of the Art of Manufacturing Ceramic Goods by Firing".
- 2 VITO (2003). "The Flemish BAT-report on the ceramic industry (brick and roof tile industry), English translation of parts of the original Dutch version - published in 1999".
- 3 CERAME-UNIE (2003). "Proposed Best Available Techniques (BAT) Reference Document (BREF) for the European Ceramic Industry, Rev. Nov. 2003".
- 4 UBA (2001). "Exemplary Investigation into the State of Practical Realisation of Integrated Environmental Protection within the Ceramics Industry under Observance of the IPPC-Directive and the Development of BAT Reference Documents".
- 5 InfoMil (2003). "Dutch Fact Sheets for the Production of Ceramics".
- 6 Timellini, G., Canetti, A. (2004). "The Italian Ceramic Tile Industry. Contribution to the identification and specification of the Best Available Techniques".
- 7 Dodd, A., Murfin, D. (1994). "Dictionary of Ceramics", The Institute of Materials.
- 8 Ullmann's (2001). "Encyclopedia of Industrial Chemistry, Sixth Edition", Wiley-VCH Verlag GmbH, Weinheim, Germany.
- 10 Navarro, J. E. (1998). "Integrated Pollution Prevention and Control in the Ceramic Tile Industry. Best Available Techniques (BAT)".
- 11 Shreve, R. N. (1945). "The Chemical Process Industries, The Ceramic Industries", McGraw-Hill Chemical Engineering Series.
- 12 CTCV (2004). "Portuguese Ceramic Industry Data".
- 13 SYKE (2004). "The contribution of Finland to the exchange of information in the EU on the use of BAT to control the environmental impact of the manufacture of ceramic products, DRAFT June 28, 2004".
- 14 UBA (2004). "Production of inorganic bonded abrasives".
- 17 Burkart, M. (2004). "Personal Communication by site visits".
- 20 CERAME-UNIE (2004). "Proposed Best Available Techniques (BAT) Reference Document (BREF) for the European Ceramic Industry, Rev. Jan. 2004".
- 21 Almeida, M., Vaz, S., Baio, D. (2004). "Impactes Ambientais e Comércio de Emissões Indústria Cerâmica - Um caso de estado".
- 22 SYKE (2004). "Report on Best Available Techniques in the Finnish ceramic industry".
- 23 TWG Ceramics (2005). "Merged and sorted comments master spread sheet on draft 1".
- 24 VKI-Germany (2004). "Breviary Technical Ceramics".
- 25 Volland, T., Leuenberger, C., Roque, R. (2004). "Statistic correlations between two methods of pollutant emission evaluation", L'INDUSTRIE CÉRAMIQUE & VERRIÈRE, No 994 - Mai-Juin 2004, pp. 54 - 66.

## References

---

- 26 UBA (2005). "Basic information and data on the expanded clay industry in Germany", Compilation by German National Working group and German expanded clay industry.
- 27 VDI (2004). "Emission control ceramic industry, VDI Guideline 2585, Draft July 2004".
- 28 Schorcht, F. (2005). "Personal Communication by site visits".
- 29 IMA-Europe (2005). "IMA-Europe's comments on the inclusion of calcined clays, 4. May 2005".
- 30 TWG Ceramics (2005). "Merged and sorted comments master spread sheet on draft 2".
- 31 Probst, R. (2005). "Development of processes for cleaning ceramic waste water", cfi ceramic forum international Berichte der Deutschen Keramischen Gesellschaft.
- 32 TWG Ceramics (2006). "Final TWG meeting Ceramics".

## 9 GLOSSAR

ENGLISH TERM	Deutscher Begriff	Beschreibung
absorption	Absorption	ein Volumenprozess, bei dem eine Substanz eine andere durchdringt (aufsaugt)
acid	Säure	Protonenlieferant. Eine Substanz, die - mehr oder weniger bereitwillig - Wasserstoff-Ionen in wässrigen Lösungen abgibt.
acidification	Ansäuerung	Zugabe einer Säure zur Einstellung saurer Bedingungen
acute effect	akute Wirkung	
acute toxicity	akute Toxizität	
adsorption	Adsorption	Oberflächenprozess; Akkumulation von Molekülen aus der Gas- oder Flüssigphase und deren Anlagerung an eine Feststoffoberfläche (Oberflächenassimilation)
aeration	Belüftung	Vorgang, bei dem eine Flüssigkeit mit Luft (Sauerstoff) gemischt wird
aerobic	aerob	ein biologischer Prozess, der in Gegenwart von Sauerstoff abläuft
alkali	Base	Protonenempfänger. Eine Substanz, die - mehr oder weniger bereitwillig - Wasserstoff-Ionen in wässrigen Lösungen aufnimmt.
anaerobic	anaerob	ein biologischer Prozess, der bei Abwesenheit von Sauerstoff stattfindet
AOCl	AOCl	adsorbierbare organische Chlorverbindungen
AOX	AOX	adsorbierbare organisch gebundene Halogene. Die Gesamtkonzentration aller Halogenverbindungen in einer Wasserprobe (außer Fluor), die von Aktivkohle adsorbiert werden, angegeben als Chlor in Milligramm pro Liter.
atm	atm	Standarddruck ( $1 \text{ atm} = 101.325 \text{ N/m}^2$ )
bar	bar	Einheit des Drucks
BAT	BVT	beste verfügbare Techniken
BAT AEL	BAT AEL	mit BVT verbundener Emissionswert (engl. <u>BAT Associated Emission Level</u> )
BF		diskontinuierliche Flockung
BFW	Kesselspeisewasser	Kesselspeisewasser zur Dampferzeugung
biochemicals	Biochemikalien	Natürliche oder naturidentische Chemikalien. Beispiele findet man u.a. bei den Hormonen, Pheromonen oder Enzymen. Biochemikalien wirken wie Pestizide durch ungiftige, nicht tödliche Wirkmechanismen, wie dem Stören des Paarungsmusters von Insekten, dem Eingreifen in das Wachstum oder dem Wirken als Abwehrmittel.
biodegradable	biologisch abbaubar	etwas, das physikalisch und/oder chemisch durch Mikroorganismen abgebaut werden kann. Zum Beispiel sind viele Chemikalien, Lebensmittelreste, Baumwolle, Wolle und Papier biologisch abbaubar.

ENGLISH TERM	Deutscher Begriff	Beschreibung
biodiversity	Biodiversität; biologische Vielfalt; Artenvielfalt	Die Zahl und die Vielfalt unterschiedlicher Organismen in den ökologischen Komplexen, in denen sie natürlich auftreten. Organismen sind auf vielen Niveaus organisiert, die von kompletten Ökosystemen bis zu biochemischen Strukturen, die die molekulare Grundlage der Vererbung sind, reichen. Demnach erstreckt sich der Begriff über verschiedenartige Ökosysteme, Spezies und Gene, die für eine gesunde Umwelt anwesend sein müssen. Eine große Anzahl von Spezies muss die Nahrungsmittelkette charakterisieren, was auf vielfältige Räuber-Beute-Verhältnisse hinweist.
biscuit	Biskuit; Schrüh(ware/-brand)	(1) Keramik, die gebrannt, aber noch nicht glasiert wurde. (2) Der Wortbestandteil ‚Schrüh-‘ steht für „unglasiert“ und wird vorwiegend in zusammengesetzten Ausdrücken wie `Schrühbrand` verwendet.
BOD	BSB	Biologischer Sauerstoffbedarf: die Menge an gelöstem Sauerstoff, die von Mikroorganismen für die Zersetzung von organischen Stoffen benötigt wird. Die Maßeinheit ist mg O <sub>2</sub> /l. In Europa wird der BSB üblicherweise nach drei (BSB <sub>3</sub> ), 5 (BSB <sub>5</sub> ) oder 7 (BSB <sub>7</sub> ) Tagen bestimmt.
body	(1) keramische Masse  (2) Scherben	(1) Gemisch/Zubereitung zur Herstellung keramischer Produkte  (2) gebrannter keramischer Körper ohne Glasur
BREF	BVT-Merkblatt	Merkblatt über beste verfügbare Techniken
BTEX	BTEX	Benzol, Toluol, Ethylbenzol, Xylol
BTX	BTX	Benzol, Toluol, Xylol
calcite	Kalzit	kristalline Form von Kalziumkarbonat
cassette	Kassette	speziell geformtes Brennhilfsmittel zum Transport von Brenngut, z.B. Dachziegel
CEN	CEN	Europäisches Komitee für Normung
ceramics	Keramik	Im Allgemeinen wird der Begriff „Keramik“ (keramische Erzeugnisse) für anorganische Materialien (eventuell mit einem geringen Anteil von organischen Stoffen) verwendet, die aus nichtmetallischen Verbindungen hergestellt und mittels eines Brennprozesses beständig gemacht werden.
chalk	Kreide	amorphe Form von Kalziumkarbonat
clay	Ton	ein natürliches Material, das durch seine Plastizität charakterisiert ist, so wie es der Tongrube entnommen oder nachdem es gemahlen und mit Wasser gemischt wurde.

ENGLISH TERM	Deutscher Begriff	Beschreibung
COD	CSB	Chemischer Sauerstoffbedarf: die Menge Kaliumdichromat, die benötigt wird, um die im Abwasser enthaltenen Substanzen bei etwa 150 °C chemisch zu oxidieren, angegeben als Sauerstoffmenge.
cross-media effects	medienübergreifende Effekte/ Auswirkungen	Die Ermittlung der Umweltwirkungen von Wasser-/Luft-/Bodenemissionen, Energieverbrauch, Rohmaterialverbrauch, Lärm und Wasserentnahme (d.h. von allem was von der IVU-Richtlinie gefordert wird).
dH	dH	Einheit der Wasserhärte (deutsche Härte)
diffuse emission	diffuse Emission	Emissionen aus dem direkten Kontakt flüchtiger oder leicht staubender Substanzen mit der Umwelt (Atmosphäre; unter normalen Betriebsbedingungen). Diese können bedingt sein durch: <ul style="list-style-type: none"> <li>- die Gestalt der Aggregate (z.B. Filter, Trockner etc.)</li> <li>- die Betriebsbedingungen (z.B. während des Materialtransportes zwischen Behältnissen)</li> <li>- die Betriebsart (z.B. Wartungsarbeiten)</li> <li>- die schrittweise Freisetzung in andere Medien (z.B. in Kühl- oder Abwasser).</li> </ul> Flüchtige Emissionen sind ein Teil der diffusen Emissionen.
diffuse sources	diffuse Quellen	Vielzahl von Quellen ähnlicher diffuser oder direkter Emissionen, die über eine bestimmte Fläche verteilt sind.
DN	DN	Normweite
dolomite	Dolomit	Kalkstein mit zusätzlichem (hohen) Magnesiumanteil, Kalzium-Magnesiumkarbonat, CaMg(CO <sub>3</sub> )
DS	TS	Trockensubstanz(-gehalt). Die Masse eines Materials nach dem Trocknen mit einer standardisierten Testmethode.
EC50	EC50	
effluent	Ableitung; Einleitung	Technisches Fluid (Luft oder Wasser zusammen mit Fremdstoffen), das eine Emission darstellt
EIPPCB	EIPPCB	Europäisches IVU-Büro (IVU= engl. IPPC)
emission	Emission	die direkte oder indirekte Freisetzung von Stoffen, Erschütterungen, Wärme oder Lärm aus Punkt- oder diffusen Quellen einer Anlage in die Luft, das Wasser oder den Boden.
emission limit values	Emissionsgrenzwerte	die im Verhältnis zu bestimmten spezifischen Parametern ausgedrückte Masse, die Konzentration und/oder das Niveau einer Emission, die in einem oder mehreren Zeiträumen nicht überschritten werden dürfen

<b>ENGLISH TERM</b>	<b>Deutscher Begriff</b>	<b>Beschreibung</b>
end-of-pipe technique	nachgeschaltete („End-of-Pipe-“) Verfahren/Technik	nachgeschaltete Technik zur Reduzierung von Emissionen oder Verbrauchswerten; der eigentliche Prozess wird dabei nicht wesentlich beeinflusst. Synonyme: sekundäre Maßnahme; Minderungstechnik Antonyme: prozessintegrierte Technik; primäre Maßnahme (eine Technik, die irgendwie in den Kernprozess eingreift und dabei die Rohgasemissionen oder die Verbräuche reduziert).
engobe	engobieren	Ummantelung eines porösen Scherbens mit weißem oder farbigem Schlicker, um das Aussehen zu verbessern.
ESP	E-Filter	Elektrofilter
eutrophication	Eutrophierung	die Verschmutzung eines Gewässers durch Abwasser, ausgewaschene Düngemittel und Industrieabfälle (anorganische Nitrate und Phosphate). Diese Verbindungen unterstützen das Algenwachstum, reduzieren den Sauerstoffgehalt des Wassers und töten so Tiere mit einem hohen Sauerstoffbedarf.
existing installation	bestehende Anlage	Eine Anlage, die in Betrieb ist oder die im Rahmen der vor Beginn der Anwendung dieser Richtlinie bestehenden Rechtsvorschriften zugelassen worden oder nach Ansicht der zuständigen Behörde Gegenstand eines vollständigen Genehmigungsantrags gewesen ist, sofern die zuletzt genannte Anlage spätestens ein Jahr nach dem Beginn der Anwendung dieser Richtlinie in Betrieb genommen wird
firing	Brennen	Wärmebehandlungsprozess für keramische Waren in einem Ofen, um eine glasartige oder kristalline Bindung zu erhalten, die den Waren die typischen Eigenschaften keramischer Materialien verleiht.
flue-gas	Abgas; Rauchgas	Abgas eines Feuerungs- oder Verbrennungsprozesses
flux	Flussmittel	Substanz, die sogar in kleinen Mengen, den Schmelzpunkt von Material, in dem es natürlich vorkommt (z.B. Alkalien in Ton), oder von Material, dem es zugesetzt wurde (z.B. Borax-Zugabe in Glasuren), herabsetzt.
frit	Fritte	eine keramische Zubereitung, aus der durch Schmelzen und Abschreckung Glas erzeugt und die üblicherweise granuliert wird.
fuel oil EL	Heizöl EL	leichtes Heizöl

ENGLISH TERM	Deutscher Begriff	Beschreibung
fugitive emission	Leckverlust	Emissionen aus Undichtigkeiten oder Lecks: Emissionen in die Umwelt wegen Undichtigkeiten in einem eigentlich dichten System (für Gase oder Flüssigkeiten), im Wesentlichen verursacht durch Druckunterschiede und daraus resultierende Lecks. Beispiele hierfür sind Lecks im Bereich von Flanschen, Pumpen, abgedichteten oder festsitzenden Anlagenteilen  (nicht zu verwechseln mit "flüchtige Emission")
GDP	BIP	Brutto-Inlandsprodukt
GJ	GJ	Gigajoule
glass	Glas	ein Feststoff mit amorpher Struktur
glaze	Glasur	dünne, glasartige Schicht auf der Oberfläche von keramischen Produkten, die durch Brennen gebildet wird
glost	Glatt-	Dieser Wortbestandteil steht für 'Glasur-' oder 'glasiert' und wird vorwiegend in zusammengesetzten Ausdrücken wie 'Glattbrand' oder 'Glattware' verwendet.
green ware	Grünware, Rohware	keramische Produkte, die bereits geformt aber noch nicht getrocknet oder gebrannt sind
HFO	Heizöl S	schweres Heizöl
hPa	hPa	Hektopascal
IEF	IEF	Informationsaustauschforum (informelles Beratungsgremium im Rahmen der IVU-Richtlinie)
immission	Immission	Auftreten und Intensität eines Schadstoffes, Geruchs oder von Lärm in der Umwelt
installation	Anlage	eine ortsfeste technische Einheit, in der eine oder mehrere der in Anhang I genannten Tätigkeiten sowie andere unmittelbar damit verbundene Tätigkeiten durchgeführt werden, die mit den an diesem Standort durchgeführten Tätigkeiten in einem technischen Zusammenhang stehen und die Auswirkungen auf die Emissionen und die Umweltverschmutzung haben können
IPPC	IVU	Integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung
I-TEQ	I-TEQ	Toxizitätsäquivalent für Dioxine/Furane
K	K	Kelvin (0 °C = 273.15 K)
kaolin	Kaolin	Abgeleitet vom chinesischen Kao-Lin, einem hohen Hügel, wo dieser weiße feuerfeste Ton zuerst entdeckt wurde (auch Porzellanerde genannt)
kcal	kcal	Kilokalorien (1 kcal = 4.19 kJ)
kiln	Ofen	Hochtemperatureinrichtung zum Brennen keramischer Produkte
kiln capacity	Ofenkapazität	befeuertes Ofenvolumen

<b>ENGLISH TERM</b>	<b>Deutscher Begriff</b>	<b>Beschreibung</b>
kiln furniture	Brennhilfsmittel	allgemeine Bezeichnung für Teile aus feuerfestem Material, die als Hilfsmittel beim Brennen keramischer Produkte eingesetzt werden
facing brick	Vormauerziegel	Mauerziegel mit einer geringen Wasseraufnahme und einer hohen Druckfestigkeit, die als Konstruktionsziegel oder zur Vormauerung geeignet sind
kWh	kWh	Kilowattstunde (1 kWh = 3600 kJ = 3.6 MJ)
LAS	LAS	geradkettige (lineare) Alkylbenzolsulfonate
LC50	LC50	mittlere letale Konzentration; die niedrigste Konzentration einer Substanz in Wasser oder Umgebungsluft, angegeben in Milligramm pro Liter, die bei 50 % der Testpopulation in einer definierten Zeit (z.B. 96 Stunden bei Fischen, 48 Stunden bei Daphnien) zum Tod führt
LD50	LD50	mittlere letale Dosis; die niedrigste Dosis einer Substanz, die bei Verabreichung an eine Tierart wie Mäusen oder Ratten bei 50 % der Testpopulation in einer definierten Zeit (nicht länger als 14 Tagen) zum Tod führt, angegeben in Milligramm der Testsubstanz pro Kilogramm Körpergewicht
limestone	Kalkstein	mineralisches Gestein, das hauptsächlich aus CaCO <sub>3</sub> besteht; wird unbehandelt oder als Rohmaterial für die Herstellung von Branntkalk (Kalziumoxid) oder gelöschtem Kalk (Kalziumhydroxid) verwendet
LNG	LNG	verflüssigtes Erdgas
LOEC	LOEC	die niedrigste, experimentell bestimmte Konzentration einer Testsubstanz, bei der negative Wirkungen beobachtet werden können
LPG	LPG	Flüssiggas (Propan/Butan)
LWA	Blähtonerzeugnis	Blähtonerzeugnis: durch plötzliches Erhitzen geeigneter Tone in einem Drehrohrofen oder auf dem Sinterrost aufgeblähtes Tonerzeugnis
m <sup>3</sup> /h	m <sup>3</sup> /h	Volumenstrom: wenn nicht anders angegeben, beziehen sich die Angaben auf 18 Vol.-% Sauerstoffgehalt und Standardbedingungen
magnesia	Magnesia; Magnesiumoxid	Magnesiumoxid (MgO)
magnesite	Magnesit; Magnesiumkarbonat	Magnesiumkarbonat (MgCO <sub>3</sub> )



ENGLISH TERM	Deutscher Begriff	Beschreibung
mg/m <sup>3</sup>	mg/m <sup>3</sup>	Konzentration: wenn nicht anders angegeben, beziehen sich die Konzentrationsangaben für gasförmige Stoffe oder Verbindungen auf trockenes Abgas, 18 Vol.-% Sauerstoffgehalt und Standardbedingungen; Konzentrationsangaben für Benzol beziehen sich auf 15 Vol.-% Sauerstoffgehalt und Standardbedingungen
MJ	MJ	Megajoule (1 MJ = 1000 kJ = 106 J)
monitoring	(Emissions-)Überwachung/Kontrolle	Prozess den tatsächlichen Wert einer Emission oder eines anderen Parameters zu bewerten oder zu bestimmen, basierend auf systematischen, periodischen oder Einzelüberwachungen/-kontrollen, Inspektionen, Probenahme und Messung oder anderen Bewertungsmethoden, mit denen Informationen über die Emissionsmengen und/oder den Trend von emittierten Schadstoffen zur Verfügung gestellt werden können.
MPa	MPa	Megapascal
multi-media effects	siehe „cross media effects“	
n/a	n. a.	nicht anwendbar
n.a.	n. v.	nicht verfügbar
naphthenes	Naphthene <sup>7</sup>	Kohlenwasserstoffe mit einem oder mehreren gesättigten Ringen von 5 oder 6 Kohlenstoffatomen im Molekül, an die paraffinartige Äste gebunden sind (Adjektiv: naphthenisch)
n/d	k. A.	keine Angabe
N-Kj	Kj-N	Stickstoff analysiert nach der Kjeldahl-Methode; Kjeldahl-Stickstoff
Nm <sup>3</sup>	Nm <sup>3</sup>	Normkubikmeter Normkubikmeter (273 K, 1013 hPa)
NOAC	NOAC	(höchste) Konzentration, bei der noch keine akuten Wirkungen beobachtet werden
NOEC	NOEC	(höchste) Konzentration, bei der noch keine Wirkungen beobachtet werden
off-gas	Abluft; Abgas	allgemeiner Ausdruck für Gas (Luft), das (die) von Verbrennungsprozessen oder Extraktionsprozessen bei Umgebungstemperatur freigesetzt wird
operator	(Anlagen-)Betreiber	jede natürliche oder juristische Person, die die Anlage betreibt oder besitzt oder der - sofern in den nationalen Rechtsvorschriften vorgesehen - die ausschlaggebende wirtschaftliche Verfügungsmacht über den technischen Betrieb der Anlage übertragen worden ist
particulate matter	Feststoffe; Schwebstaub; Schwebstoffteilchen	Staub

<sup>7</sup> Anm. der Übersetzer: in der Petrochemie gebräuchliche Bezeichnung für Cycloalkane (veraltet)

ENGLISH TERM	Deutscher Begriff	Beschreibung
pH	pH	Symbol für den Säure- oder Basengehalt einer Lösung. Der pH-Wert ist gleich dem negativen dekadischen Logarithmus der Konzentration von Hydroniumionen in einer wässrigen Lösung.
pollutant	Schadstoff	Einzelstoff oder Stoffgruppe, der (die) der Umwelt schaden oder sie negativ beeinflussen kann
pottery	Töpferwaren; (Haushalts)Keramik	Dieser Ausdruck wird vorrangig für Haushaltskeramik verwendet.
ppm	ppm	Anteil pro Million (Konzentrationsangabe)
primary measure/technique	primäre Maßnahme/Technik	eine Technik oder Maßnahme, die einen Kernprozess so ändert, dass die Rohemissionen oder Verbrauchswerte gemindert werden (siehe „end-of-pipe technique“).
PTFE	PTFE	Polytetrafluorethylen (Teflon)
rpm	U/min	Umdrehungen pro Minute
secondary measure/technique	sekundäre Maßnahme/Technik	siehe “end-of-pipe technique”
setting density	Besatzdichte	Masse des Brenngutes (ohne Brennhilfsmittel) im befeuerten Ofenraum bezogen auf das gesamte befeuerte Ofenvolumen
sintering	sintern	allgemeiner Begriff für die Verdichtung eines pulverigen Formkörpers durch Wärme zur Erzeugung eines polykristallinen Scherben
slip	Schlicker, (Gieß-)Masse	Suspension aus Ton und/oder anderen keramischen Materialien in Wasser
sludge	Schlamm	Suspension mit einem relativ hohen Feststoffanteil
SME	KMU	kleine und mittlere Unternehmen
sorption	Sorption	Prozess, bei dem eine Substanz eine andere durch Absorption oder Adsorption aufnimmt oder zurückhält.
specific emission	spezifische Emission	Emission bezogen auf eine Referenzgröße, wie die Produktionskapazität oder die tatsächliche Produktionsmenge (z.B. in kg pro t Produkt oder pro produzierte Einheit)
SS	suspendierte Feststoffe	Schwebstoffe
standard state	Standardbedingungen	bezogen auf die Temperatur 273 K und den Atmosphärendruck 1013 hPa
TJ	TJ	Terrajoule
TOC	Gesamt-C	Gesamtkohlenstoff
TS	Feststoffgehalt	Gesamtfeststoffgehalt: Feststoffgehalt vor der Trocknung des Materials.
TSS	gesamte suspendierte Feststoffe; gesamter suspendierter Feststoffgehalt (in Wasser)	siehe auch “SS”
TWG	TWG	Technische Arbeitsgruppe
vitreous	glasartig; verglast	Dieser Begriff beschreibt keramische Erzeugnisse, die in Folge einer weitgehenden Verglasung (im Gegensatz zur Sinterung) eine extrem niedrige Porosität aufweist.

ENGLISH TERM	Deutscher Begriff	Beschreibung
vitrification	Verglasung	Die fortschreitende partielle Verschmelzung des Tons oder der keramischen Masse als Resultat eines Brennprozesses
VOC	VOC	flüchtige organische Verbindungen
vol-%	Vol.-%	Volumenprozent
W/(mK)	W/(mK)	Wärmeleitfähigkeit
wt-%	Gew.-%	Masseprozent
µg	µg	Mikrogramm
µS	µS	Mikrosiemens

### CHEMISCHE SYMBOLE

Al...Aluminium	H <sub>2</sub> O...Wasser	PbO...Bleioxid
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ... Aluminiumoxid	HCl...Chlorwasserstoff	Pr...Praseodym
BaO...Bariumoxid	HCN...Zyanwasserstoff	Pt...Platin
BN...Bornitrid	HF...Fluorwasserstoff	Rh...Rhodium
Ca...Kalzium	K <sub>2</sub> O...Kaliumoxid	S...Schwefel
Ca(OH) <sub>2</sub> ...Kalziumhydroxid	MgCO <sub>3</sub> ...Magnesiumkarbonat	Sb...Antimon
CaCl <sub>2</sub> ...Kalziumchlorid	MgO...Magnesiumoxid	Si...Silizium
CaCO <sub>3</sub> ...Kalziumkarbonat	Mn...Mangan	SiC...Siliziumkarbid
CaF <sub>2</sub> ...Kalziumfluorid	Mo...Molybdän	SiO <sub>2</sub> ...Siliziumdioxid
CaO...Kalziumoxid	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ...Natriumkarbonat	Sn...Zinn
CaSO <sub>3</sub> ...Kalziumsulfid	Na <sub>2</sub> O...Natriumoxid	SO <sub>2</sub> ...Schwefeldioxid
CaSO <sub>4</sub> ...Kalziumsulfat	Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> ...Natriumsulfid	SO <sub>3</sub> ...Schwefeltrioxid
Cd...Kadmium	NaCl...Natriumchlorid	SO <sub>x</sub> ...Schwefeloxide
Ce...Cerium	NaF...Natriumfluorid	Ti...Titan
Co...Kobalt	NaHCO <sub>3</sub> ...Natriumhydrogenkarbonat	TiN...Titannitrid
CO...Kohlenmonoxid	NaOH...Natriumhydroxid	TiO <sub>2</sub> ...Titandioxid
CO <sub>2</sub> ...Kohlendioxid	NH <sub>3</sub> ...Ammoniak	V...Vanadium
Cr...Chrom	Ni...Nickel	W...Wolfram
Cu...Kupfer	NO <sub>2</sub> ...Stickstoffdioxid	WB <sub>2</sub> ...Wolframborid
F...Fluor	NO <sub>x</sub> ...Stickstoffoxide	Zn...Zink
Fe...Eisen	O <sub>2</sub> ...Sauerstoff	Zr...Zirkonium
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ...Eisen(III-)oxid	Pb...Blei	ZrO <sub>2</sub> ...Zirkonumdioxid