

# Merkblätter

Nr. 19

Anforderungen an raumluftechnische  
Maßnahmen mit Gasabscheidung  
in Chemischreinigungen



---

# Merkblätter

---

Nr. 19

Anforderungen an raumluftechnische  
Maßnahmen mit Gasabscheidung  
in Chemischreinigungen

---

Essen, Dezember 1999

---

## **Impressum**

**Herausgeber:** **Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen (LUA NRW)**  
Wallneyer Straße 6 • D-45133 Essen  
Telefon (0201) 7995-0 • Telefax (0201) 7995-1448  
e-mail: poststelle@essen.lua.nrw.de  
**Essen 1999**

**Verfasser:** Dr. Dieter Menge

**ISSN 0947-5788**

---

**Informationsdienste:** Umweltdaten aus NRW, Fachinformationen des LUA NRW:  
• Internet unter <http://www.lua.nrw.de>  
Aktuelle Luftqualitätswerte:  
• WDR-Videotext (3. Fernsehprogramm, Tafeln 167 bis 169)

**Bereitschaftsdienst:** Nachrichtenzentrale des LUA NRW  
(24-Std.-Dienst): Telefon (0201) 714488

Gedruckt auf 100 % Altpapier ohne Chlorbleiche

## VORWORT

Unter dem Aspekt von Schutz und Vorsorge wird eine Begrenzung der Gesundheits- und Umweltgefährdungen, die von leichtflüchtigen Halogenkohlenwasserstoffen ausgehen, bei den Anlagen, die derartige Stoffe als Lösemittel verwenden, durch die dort unmittelbar geltenden Vorschriften zur Emissionsbegrenzung erreicht. Bei den Chemischreinigungsanlagen, die meist in Wohngebieten angesiedelt sind, sind dies die Vorschriften der Verordnung zur Emissionsbegrenzung von leichtflüchtigen Halogenkohlenwasserstoffen - 2. BImSchV. Die Maßnahmen zielen darauf ab, die PER-Belastung in der Nachbarschaft dieser Anlagen so zu begrenzen, dass die Konzentration des Lösemittels in der Raumluft angrenzender Wohnungen von  $0,1 \text{ mg/m}^3$  nicht überschritten wird. Mit Ablauf des 31.12.1994 waren sämtliche Übergangsvorschriften der 2. BImSchV außer Kraft getreten. Die Verordnung, die zuletzt im Dezember 1990 novelliert wurde, ist seitdem uneingeschränkt anzuwenden.

Wie hochgesteckt das vorgegebene Vorsorgeziel war wird deutlich, wenn man im Rückblick die PER-Belastung im Umfeld von Chemischreinigungen betrachtet. Aus einer Pilotstudie der eh. Landesanstalt für Immissionsschutz Nordrhein-Westfalen zur Überwachung von Tetrachlorethen in der Nachbarschaft von 39 Chemischreinigungen in NRW aus dem Jahr 1989 <sup>[1]</sup> geht beispielsweise hervor, dass bei nahezu 90 % der durchgeführten Messungen in Wohnräumen PER-Konzentrationen vorlagen, die oberhalb von  $0,1 \text{ mg/m}^3$  und teilweise sogar um Größenordnungen darüber lagen. Dass das Vorsorgeziel durch die konsequente Umsetzung von Maßnahmen der Nach- bzw. Umrüstung tatsächlich erreicht werden konnte, verdeutlichen die Ergebnisse eines vom Landesumweltamt in NRW durchgeführten <sup>[2]</sup> sowie eines bundesländerweiten Vorhabens im Untersuchungszeitraum 1993-1995. <sup>[3]</sup>

Nun kommt es in der Vollzugspraxis aber vor, dass unter Berücksichtigung besonderer Umstände des Einzelfalls einzelne Anforderungen der Verordnung nur mit unverhältnismäßig hohem Aufwand erfüllt werden können. Sofern in derartigen Einzelfällen das Vorsorgeziel durch eine Ersatzmaßnahme dennoch erreicht werden kann, besteht die Möglichkeit der Erteilung einer Ausnahme. Hiernach ist zu prüfen, welche Mindestanforderungen zu erfüllen sind und unter welchen Randbedingungen Ausnahmen von bestimmten Anforderungen zugelassen werden können.

Der vorliegende Bericht beschreibt den Handlungsrahmen hierzu und dient als Vollzugshilfe bei der praktischen Realisierung einer Ersatzmaßnahme, als Ausnahme zur Ableitung der Abluft aus raumluftechnischen Einrichtungen bei Chemischreinigungsanlagen in den freien Luftstrom, ohne das Vorsorgeziel der 2. BImSchV in Frage zu stellen.

Essen, im Dezember 1999



Dr.-Ing. Harald Irmer  
Präsident des  
Landesumweltamtes NRW



# Inhalt

<b>0.</b>	<b>Zusammenfassung.....</b>	<b>7</b>
<b>1.</b>	<b>Ausgangssituation.....</b>	<b>8</b>
<b>2.</b>	<b>Beschreibung der Maßnahme .....</b>	<b>10</b>
<b>3.</b>	<b>Adsorption an Aktivkohle .....</b>	<b>11</b>
<b>4.</b>	<b>Betriebsbedingungen.....</b>	<b>17</b>
4.1	PER-Konzentration .....	17
4.2	Volumenstrom.....	17
4.3	Temperatur und relative Feuchte .....	18
<b>5.</b>	<b>Standzeitverhalten.....</b>	<b>18</b>
<b>6.</b>	<b>Mindestanforderungen .....</b>	<b>20</b>
<b>7.</b>	<b>Anlagenvergleich .....</b>	<b>23</b>
7.1	Beschreibung der Anlagen.....	25
7.1.1	Anlage mit Aktivkohleschüttfilter .....	25
7.1.2	Anlage mit Aktivkohleschütt- und Aktivkohleringfilter .....	27
7.2	Auslegung der Anlagen.....	28
7.2.1	Gasabscheider .....	28
7.2.2	Übrige Komponenten der Anlage .....	32
<b>8.</b>	<b>Stand der Technik .....</b>	<b>32</b>
8.1	Aufbau.....	33
8.2	Ausführung.....	33
	Kondensator.....	33
	Ventilator .....	33
	Flusenfilter.....	33
	Aktivkohlefilter .....	34
	Schallschutz.....	34
8.3	Betrieb.....	34
<b>9.</b>	<b>Musterbeispiele.....</b>	<b>36</b>
9.1	Berechnung des Raumluf austausches.....	38
9.2	Auslegung des Aktivkohlefilters.....	39
9.3	Ermittlung der Standzeit .....	39
<b>10.</b>	<b>Empfehlung .....</b>	<b>40</b>
<b>11.</b>	<b>Anhang .....</b>	<b>45</b>
	Abbildungen .....	45
	Index .....	46
	Anmerkungen und Literatur .....	47



## **0. Zusammenfassung**

Die vorliegende Untersuchung beschreibt und bewertet die in Nordrhein-Westfalen erstmals in Chemischreinigungen umgesetzte Ersatzmaßnahme "Reinigung der Abluft aus lüftungstechnischen Einrichtungen über eine Adsorption von PER an Aktivkohle", die als Ausnahme von den Anforderungen an die „Ableitung in den freien Luftstrom“ nach § 14 der 2. BImSchV probeweise zugelassen wurde. Auf Basis des derzeitigen Kenntnisstands und einer Bestandsaufnahme führt die Bewertung der vorgefundenen, unterschiedlichen technischen Ausführungen im direkten Vergleich und unter Berücksichtigung bestimmter Mindestanforderungen zu einer Empfehlung an die Umsetzung der Ersatzmaßnahme.

Dieser Bericht zeigt auf, unter welchen Randbedingungen die Ersatzmaßnahme in Chemischreinigungen eingesetzt werden kann und wie die technische Realisierung in der Praxis erfolgt. Entscheidende Größen sind dabei die Ausführung der raumluftechnischen Einrichtung und die Dimensionierung der Gasabscheider. Zu einer praxisgerechten Umsetzung der Ersatzmaßnahme, die im bestimmungsgemäßen Betrieb von Chemischreinigungsanlagen bestimmten Mindestanforderungen genügen muss, ist die Kenntnis des Durchbruchverhaltens derartiger Gasabscheider eine wesentliche Voraussetzung.

Nach vorliegendem Kenntnisstand sind bei bekannter Gleichgewichtbeladung bereits Voraussagen zum Durchbruchverhalten und damit zur Standzeit derartiger Gasabscheider möglich. Zur Standzeitberechnung werden Mindestanforderungen festgelegt und berücksichtigt, die auf dem Vorsorgeprinzip der 2. BImSchV beruhen. Weiterhin werden bei Ausführung der Ersatzmaßnahme die relevanten Vorschriften der UVV VBG 66, ArbStättV und ASR beachtet. Zusammen mit den technischen Rahmenbedingungen legen diese dann eine Ausführungsform der raumluftechnischen Einrichtung fest und bilden unter Beachtung der praktischen Erfahrungen von Messinstituten, Aktivkohlelieferanten, Luftfilterproduzenten sowie Mess- und Regeltechnikern den Handlungsrahmen für die Anbieter dieser Anlagen.

Letztendlich kann durch diese Vorgehensweise ein Stand der Technik für die Ersatzmaßnahme formuliert werden. Den Genehmigungsbehörden wird damit eine Empfehlung an die Hand gegeben, die in der Verwaltungspraxis eine Entscheidungshilfe bei der Erteilung von Ausnahmen von § 14 der 2. BImSchV bieten soll.



## 1. Ausgangssituation

Für die Reinigung von Textilien in Chemischreinigungen wird der leichtflüchtige Halogenkohlenwasserstoff (HKW) Tetrachlorethen, Perchlorethen (PER) eingesetzt. PER ist ein Arbeitsstoff, der nach Angaben der Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe (DFG) im Verdacht steht, ein nicht zu unterschätzendes kanzerogenes Potential zu besitzen. Hieraus resultiert die Forderung, das Auftreten von PER-Emissionen während des Reinigungsprozesses zum Schutz für Mensch und Natur nach Möglichkeit vollständig zu vermeiden. Dies ist vom technischen Standpunkt aus gesehen zur Zeit nicht realisierbar. Trotz des Einsatzes von mittlerweile geschlossenen Chemischreinigungsmaschinen, die eine Rückführung und Aufbereitung (Destillation) des verwendeten Lösemittels ermöglichen, lässt sich eine vollständige Vermeidung von PER-Emissionen nicht erzielen. Unvermeidbare Emissionen treten beim Öffnen der Trommel der Chemischreinigungsmaschine auf. Eine potenzielle Emissionsquelle ist das in den behandelten Kleidungsstücken enthaltenen Restlösemittel, das beim Trocknungsprozess innerhalb der Trommel nicht vollständig entfernt werden kann und zum größten Teil beim Bügeln wieder ausgetrieben und so in die Raumlufte der Chemischreinigung gelangt. Zu vermeiden ist jedoch ein Übertritt von PER auf die Nachbarschaft der Chemischreinigung. Dies gilt konkret, wenn Betriebe in unmittelbarer Nähe von Wohnungen, lebensmittelverarbeitenden Betrieben oder Lebensmittelgeschäften angesiedelt sind, was häufig der Fall ist. Dieser Forderung wird mit der Verordnung zur Emissionsbegrenzung von leichtflüchtigen Halogenkohlenwasserstoffen - 2. BImSchV - Rechnung getragen, insbesondere im § 14 und 15 dieser Verordnung:

§ 14 der 2. BImSchV: *Die abgesaugten Abgase sind durch eine Abgasleitung, die gegen leichtflüchtige Halogenkohlenwasserstoffe beständig ist, so abzuleiten, dass ein Abtransport mit der freien Luftströmung gewährleistet ist. Satz 1 gilt entsprechend für die Abluftlüftungstechnischer Einrichtungen.*

§ 15 der 2. BImSchV: *(1) Anlagen nach § 15 Abs. 1 dürfen nur betrieben werden, wenn der Übertritt von Halogenkohlenwasserstoffen*

*1. in einem dem Aufenthalt von Menschen dienenden betriebsfremden Raum oder*

*2. in einen angrenzenden Betrieb, in dem Lebensmittel im Sinne des § 1 des Lebensmittel- und Bedarfsgegenstände-Gesetzes hergestellt, behandelt, in den Verkehr gebracht, verzehrt oder gelagert werden, nach dem Stand der Technik begrenzt ist.*

(2) Wird in einem der in Absatz 1 aufgeführten Bereiche eine Raumlufkonzentration an Tetrachlorethen von mehr als 0,1 mg/m<sup>3</sup>, ermittelt über einen Zeitraum von sieben Tagen, festgestellt, die auf einen Betrieb einer benachbarten Anlage zurückzuführen ist, hat der Betreiber dieser Anlage innerhalb von sechs Monaten Maßnahmen zu treffen, die sicherstellen, dass eine Raumlufkonzentration von 0,1 mg/m<sup>3</sup> nicht überschritten wird.

Die Erfüllung der Forderung des § 14 der 2. BImSchV - Abtransport der Abgase mit der freien Luftströmung - stellt für einige Chemischreiniger ein Problem dar, da die Installation einer entsprechend dimensionierten Abgasleitung nicht immer realisiert werden kann. Die Gründe hierfür sind häufig bautechnischer oder -rechtlicher Art oder auch einfach das fehlende Einverständnis des Hauseigentümers. Eine Lösung dieser Situation kann auf der Basis des § 17 der 2. BImSchV erfolgen. Hier räumt der Verordnungsgeber den zuständigen Behörden die Möglichkeit der Erteilung einer Ausnahmeregelung ein,

*soweit unter Berücksichtigung der besonderen Umstände des Einzelfalles einzelne Anforderungen der Verordnung nur mit unverhältnismäßig hohem Aufwand erfüllt werden können, schädliche Umweltwirkungen nicht zu erwarten sind und die Ausnahmen bei der Vorsorge gegen schädliche Umwelteinwirkungen nicht entgegenstehen.*

Hiernach ist zu prüfen, ob etwa die Zulassung einer Ersatzmaßnahme der Vorsorge gegen schädliche Umwelteinwirkungen nicht entgegensteht.

1993 hatte erstmals ein Lüftungsbauer aus Baden-Württemberg den Chemischreinigern den Einbau einer raumluftechnischen Einrichtung angeboten,<sup>[4]</sup> die über eine Abluftreinigung den Verzicht auf den Abtransport der Abluft mit der freien Luftströmung ermöglichen sollte. Bei diesem Verfahren (Investitionskosten etwa 10.000 DM) werden Gasabscheider eingesetzt, die die Adsorptionsfähigkeit von PER an Aktivkohle ausnutzen. Erste Messberichte und Gutachten des Forschungsinstituts Hohenstein<sup>[5]</sup> und des RWTÜV<sup>[6, 7]</sup> belegten die erwartete, prinzipielle Anwendbarkeit dieses Verfahrens. Eine Empfehlung zur Zulassung der Ersatzmaßnahme konnte damals die eh. Landesanstalt für Immissionsschutz Nordrhein-Westfalen (LIS) auf Anfrage des Ministeriums für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft Nordrhein-Westfalen (MURL) jedoch nicht aussprechen,<sup>[8]</sup> da das Standzeitverhalten solcher Gasabscheider nicht bekannt war und keine Ergebnisse aus Langzeituntersuchungen vorlagen.

Dennoch haben die zuständigen Behörden seit 1993 Ausnahmegenehmigungen nach § 17 der 2. BImSchV für den Einsatz derartiger Ersatzmaßnahmen zugelassen. 1996 waren es in Baden-Württemberg 9 Anlagen<sup>[9]</sup> und in Nordrhein-Westfalen 10 Anlagen.

In allen Fällen, die dem Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen (LUA) bekannt geworden sind, hat sich gezeigt, dass die mit den Ausnahmen verbundenen Auflagen und Randbestimmungen zunächst ausnahmslos nicht in der Praxis eingehalten wurden. Insbesondere wurde der festgelegte Grenzwert ( $0,1 \text{ mg/m}^3$  PER) für die dauerhaft zu unterschreitende PER-Konzentration nach dem Abscheider im Reingas z.T. erheblich überschritten. Dies hatten messtechnische Überprüfungen ergeben. [10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20]

Eine im Reinigungsbetrieb sichere und dauerhafte Einhaltung des geforderten Maximalwertes für die PER-Konzentration in der Abluft konnte entgegen der Prognosen der Anbieter bisher nicht gewährleistet werden. Aufgrund dieser Resultate herrschte Unsicherheit bei den Chemischreinigern, den Herstellern der betreffenden Anlagen sowie den Genehmigungsbehörden im Hinblick auf die Einsatzmöglichkeit dieser Ersatzmaßnahme.

## **2. Beschreibung der Maßnahme**

Es werden von verschiedenen Herstellern raumluftechnische Einrichtungen mit Gasabscheider angeboten, die angeblich so konzipiert sind, dass nach Durchgang der Raumluf die im Reingas verbleibende PER-Konzentration in der Abluft so gering ist, dass das Vorsorgeprinzip des § 17 der 2. BImSchV auch ohne einen Abtransport der Abluft in die freie Luftströmung erfüllt wird. Die Abscheidung des PER aus der an verschiedenen Einzelplätzen einer Chemischreinigungsanlage (Maschinenaufstellungsbereich, Detachierplätze, Bügeltische, Kleiderband etc.) abgesaugten Abluft findet im Gasabscheider über den physikalischen Prozess der Adsorption statt. Hierzu ist ein Aktivkohleschüttfilter integriert. Weitere Anlagenteile der raumluftechnischen Einrichtung ist ein Ventilator zur Bewegung der Luftmassen, verschiedene zum Schutz der Aktivkohle dienende Vorfilter und häufig ein Schalldämpfer zur Vermeidung von Lärmemissionen. Insgesamt hat der Chemischreiniger inkl. Aufbau der Anlage, Rohrleitungen und Ansaugstutzen mit Investitionskosten im Bereich von 10.000-20.000 DM zu rechnen. [21, 22, 23] Sie variieren je nach Anbieter der raumluftechnischen Einrichtung und Größe der Chemischreinigung. Zuzüglich zu diesen Fixkosten entstehen noch Aufwendungen durch Betrieb und Wartung der Anlage. Insbesondere sind in diesem Zusammenhang die Kosten für den Austausch bzw. die Regeneration der eingesetzten Aktivkohle zu nennen. Für einen Austausch von ca. 100 kg Aktivkohle sind Kosten von ca. 4000 DM zu veranschlagen.<sup>[24]</sup> Erfahrungsgemäß erfolgt dieser Austausch 1 bis 2 mal pro Jahr. Es existieren allerdings auch Anlagen, bei denen der Austausch hinausgezögert oder gar darauf verzichtet wird und stattdessen eine Regeneration der Aktivkohle vor Ort erfolgt. Auf diese Verfahrensweise sollte allerdings, wie in Kapitel 7.2.1 ab Seite 28 noch ausgeführt wird, verzichtet werden.

Kernpunkt des Verfahrens ist die Adsorption des PER an Aktivkohle. Die Verwendung von Aktivkohlen ist in Chemischreinigungen bereits durch den Einsatz von Abscheidern zur Absaugung und Rückgewinnung von PER aus den Abgasen der Chemischreinigungs- und Textilausrüstungsmaschinen gängige Praxis. Allerdings arbeiten die in diesem Bereich eingesetzten Aktivkohlefilter, wie z.B. die Abscheider

„offener Anlagen“ nach § 4 Abs. 2 der 2. BImSchV, im Vergleich zu denen, die zur Reinigung von Raumabluft von Chemischreinigungen benötigt werden, unter weitaus günstigeren verfahrenstechnischen Randbedingungen. Im Gegensatz zur Abscheidung von PER aus Maschinenabluft aus offenen Anlagen, liegen, wie im folgenden Kapitel näher ausgeführt wird, bei der Raumabluft vergleichsweise ungünstig hohe Volumenströme geringer PER-Konzentration vor. Die über Aktivkohleabscheider zu führenden Raumabluftströme liegen um den Faktor 10 höher, wobei die mitgeführten PER-Konzentrationen im Roh- und Reingas, um den Faktor 100 niedriger liegen.

Vergleichbare Betriebsbedingungen, wie hohe Abluftvolumenströme mit geringer Lösemittelkonzentration, liegen andernorts, beispielsweise in Lackieranlagen vor. Dort wird die Abluft erfasst und über Aktivkohleadsorptionsräder aufkonzentriert. Bei Chemischreinigungsanlagen kommt der Einsatz derartiger Adsorptionsräder aufgrund der räumlich begrenzten Möglichkeiten schon aus Platzgründen nicht in Frage.

Vom verfahrenstechnischen Standpunkt betrachtet ist die prinzipielle Eignung der Adsorption von PER an Aktivkohle zur Reinigung der Raumabluft aus Chemischreinigungen zwar gegeben. Für die technische Umsetzung ist eine direkte Übertragung von Erfahrungswerten aus dem Betrieb der Abscheider „offener Anlagen“ aber nicht möglich.

Um diesen Sachverhalt zu verdeutlichen und um Verständnis für die Entwicklung der Anforderungen an die technische Ausführung der raumluftechnischen Einrichtungen zu wecken muss zunächst auf den Adsorptionsprozess näher eingegangen werden.

### **3. Adsorption an Aktivkohle**

Mit Adsorption bezeichnet man die Anlagerung gasförmiger oder gelöster Stoffe an die Oberfläche von Festkörpern (siehe Abbildung 1). Verantwortlich hierfür sind Anziehungskräfte im Molekularbereich, die sogenannten van-der-Waals-Kräfte. Geeignete Festkörper für die Adsorption sind Stoffe, die an ihrer Oberfläche sogenannte aktive Zentren aufweisen, an denen die Bindungskräfte zwischen den einzelnen Atomen des Feststoffverbandes nicht abgesättigt sind.

Zur Adsorption werden in der Praxis Feststoffe eingesetzt, die eine relativ große Oberfläche im Vergleich zu ihrem Volumen besitzen. Dies wird durch eine ausgeprägte Porosität erreicht. Beispiele für geeignete Stoffe sind Aktivkohle, Silikate, Aluminiumoxide oder auch Zeolithe. Die verwendeten Aktivkohlen stellen kohlenstoffhaltige Produkte dar, die eine poröse Struktur aufweisen und eine große innere Oberfläche aufweisen. Das Porenvolumen ist meist größer als 0,2 ml/g Aktivkohle, die Porenweite beträgt 0,3-2000 nm und die innere Oberfläche weist meist eine Fläche zwischen 400 und 1600 m<sup>2</sup>/g Aktivkohle auf. Aktivkohlen sind in verschiedenen Ausführungen erhältlich, die sich in ihrer Korngröße unterscheiden und Bindemittel enthalten können. Granulate und Formlinge enthalten meist Bindemittel im Gegensatz zu Aktivkohle-Vliese, die frei von Bindemittel sind.

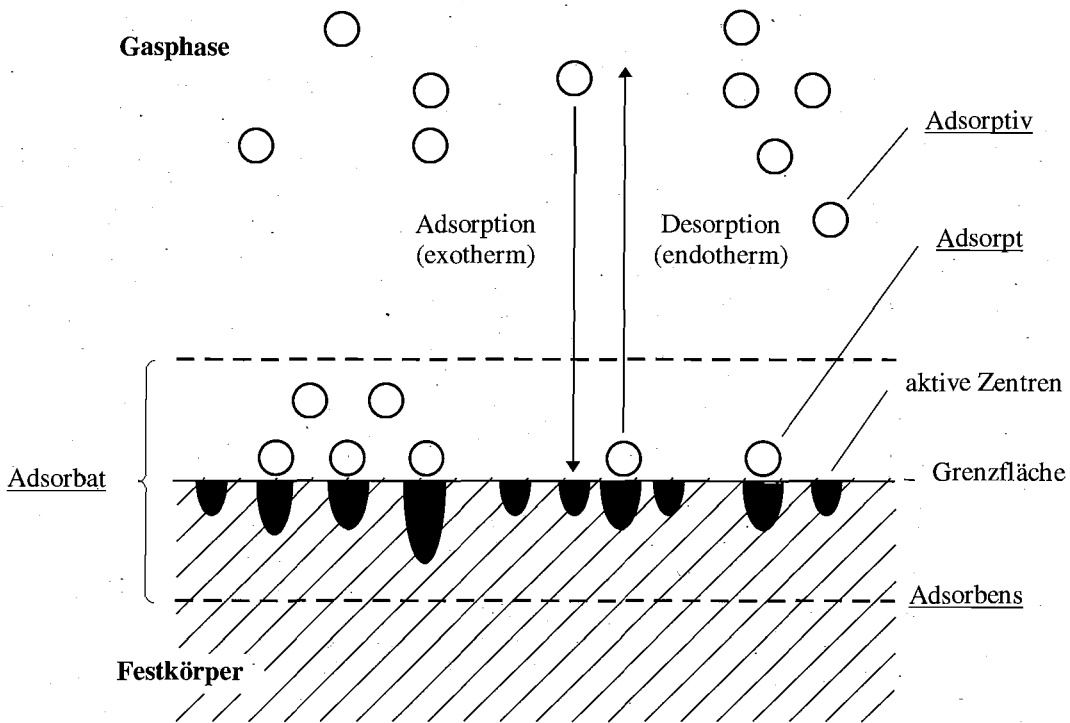


Abbildung 1: Grundbegriffe der Adsorption <sup>[26]</sup>

Erläuterungen zu Abbildung 1:

- Adsorbens → Poröser Feststoff, der das Gas aufnimmt
- Adsorptiv → Gas, das zur Adsorption vorgesehen ist
- Adsorbat → Komplex aus Adsorbens + Adsorpt

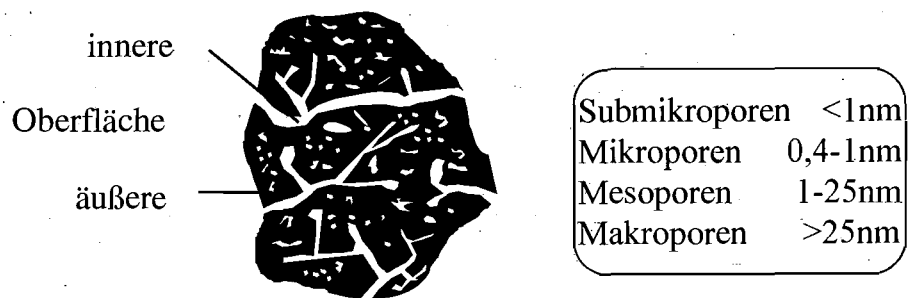
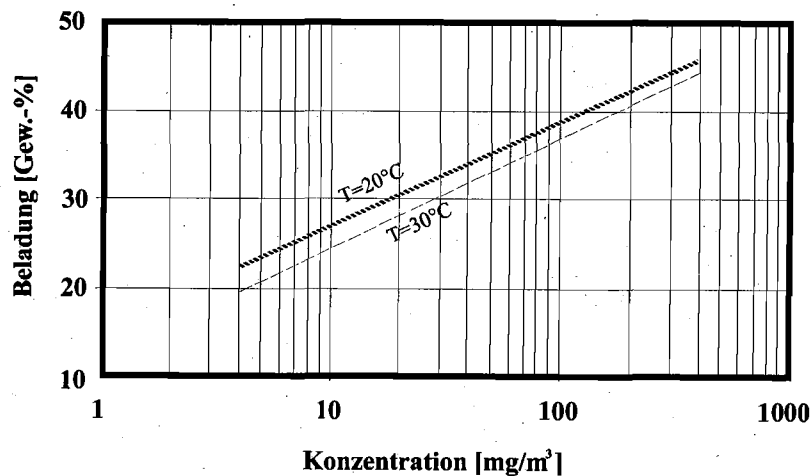


Abbildung 2: Vereinfachtes Aktivkohlen-Modell <sup>[26]</sup>

Die Herstellung der Aktivkohle verläuft über die chemische Aktivierung von unverkohltem pflanzlichen Material wie Holz, Cellulose oder Torf mit hygroskopischen (wasserentziehenden) Chemikalien wie Orthophosphorsäure ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ), Kaliumhydroxid (KOH), Zinkchlorid ( $\text{ZnCl}_2$ ) oder Natriumsulfat ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ). Anschließend erfolgt die Verkohlung durch Erhitzen auf  $400\text{-}600^\circ\text{C}$  unter Luftausschluss. Die Oberfläche der Aktivkohlen wird durch Gasaktivierung verändert. Partiiell wird dabei das Rohmaterial im  $\text{H}_2\text{O}$ -Dampf- oder  $\text{CO}_2$ -Strom bei  $600\text{-}1000^\circ\text{C}$  ebenfalls unter Luftausschluss vergast. Dadurch erreicht man eine starke Vergrößerung der inneren Oberfläche. Im Inneren der Aktivkohle bilden sich Kanäle und Kavernen (siehe Abbildung 2) aus. Ein zusätzliches wichtiges Phänomen bei der Adsorption ist die Kapillar-Kondensation. In den Poren des Adsorbens erfolgt eine Kondensation (Verflüssigung) der adsorbierten Dämpfe (Adsorpt). Mit diesem Effekt, der vorrangig in den Mikroporen abläuft, werden weitaus höhere Beladungen (Masse Adsorpt / Masse Adsorbens x 100 %) als durch reine Adsorption erzielt.

Die Adsorption ist ein exothermer Prozess, d.h. Adsorptionswärme wird freigesetzt. Diese Wärme kann zum überwiegenden Teil nur über die Wärmeleitung innerhalb der Aktivkohleschüttung abgeführt werden, da die Wärmekapazität von Gasen nur gering ist. D.h. das Festbett wird während der Beladung aufgeheizt. Mit zunehmender Temperatur nimmt jedoch die Aufnahmefähigkeit des Adsorbens ab. Für die Adsorption von Halogenkohlenwasserstoffen an Aktivkohle ist ein Wert von etwa  $50\text{ kJ/mol}$  realistisch. Die Adsorptionsgeschwindigkeit ist von der Art der Aktivkohle, der Korngröße, der Porengröße und -verteilung, den physikalisch-chemischen Eigenschaften des zu adsorbierenden Stoffes sowie von verfahrenstechnischen Parametern abhängig. Mit fortschreitender Sättigung der Aktivkohle vermindert sich die Adsorptionsgeschwindigkeit.

Während des Adsorptionsvorgangs stellt sich ein Gleichgewicht zwischen adsorbierter Stoffmenge und der verbleibenden Restkonzentration ein. Trägt man die Gleichgewichtsbeladung gegen die Restkonzentration bei konstanter Temperatur auf, erhält man die Adsorptionsisotherme. Dieses stoffabhängige Gleichgewicht lässt sich für viele Stoffe durch empirische Isothermengleichungen (siehe Abbildung 3) beschreiben. Zu dessen Beschreibung sind verschiedene Modelle aufgestellt worden. Die bekanntesten sind die von Langmuir, Freundlich und Brunauer, Emmett, Teller (Langmuir-, Freundlich-, BET-Isotherme).

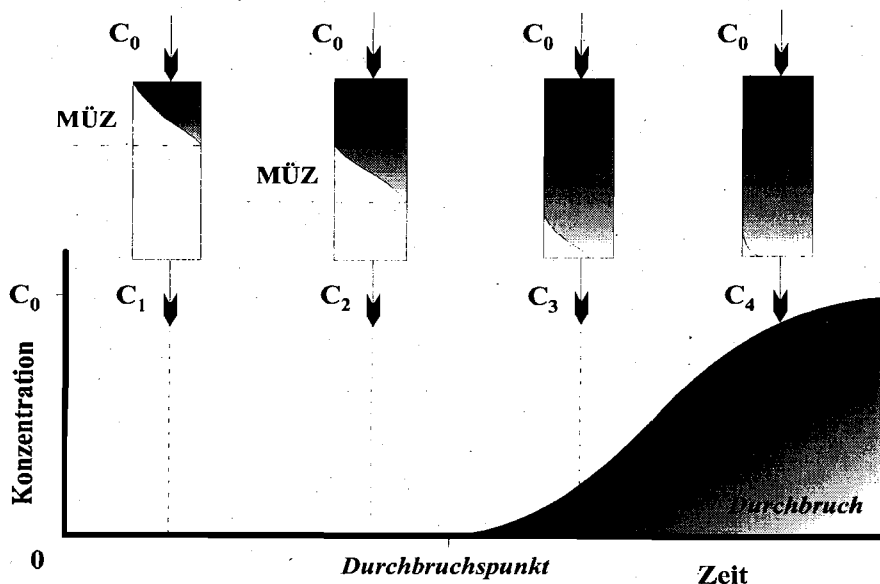


**Abbildung 3:** Adsorptionsisothermen von PER aus Luft an einer Aktivkohle

Die Adsorptionskapazität bezeichnet die Beladungshöhe von Aktivkohle gegenüber einer in einer bestimmten Konzentration vorliegenden Substanz. Steht die Beladungshöhe im Gleichgewicht mit einer bestimmten Stoffkonzentration, so spricht man von Gleichgewichtsbeladung.

Die Desorption ist die Umkehrung der Adsorption. Der Umkehrprozess ermöglicht die Regenerierung der beladenen Aktivkohle mit Wasserdampf, Heißdampf oder im Vakuum. Von Bedeutung sind Desorptionsvorgänge bei der Rückgewinnung von Lösemitteln. Die Restbeladung gibt die Stoffmenge an, die durch Desorption nicht von der Aktivkohle entfernt wird. Entsprechend der Restbeladung reduziert sich die folgende Adsorptionsphase. Die Zusatzbeladung bezeichnet bei regenerierten Aktivkohlen die um die Restbeladung reduzierte, praktisch nutzbare Beladungshöhe. Entfernt man auch die nach dem Desorptionsprozess noch verbliebenen Restmoleküle von der Aktivkohleoberfläche - dies geschieht durch längeres Erhitzen der Aktivkohle unter Schutzgasstrom oder im Vakuum bei erhöhten Temperaturen ( $> 250\text{ °C}$ ) - so spricht man von einer Reaktivierung.

In der Praxis werden hauptsächlich Festbettadsorber eingesetzt. Die anzuführenden Gründe sind die einfache Bauweise und Berechnung, aber auch der schonende Umgang mit abriebempfindlichen Adsorbentien, die für den Einsatz im Fließbettadsorber nicht geeignet sind. Die vom Adsorbens im Gleichgewicht erreichbare Beladung ist bei konstanter Temperatur durch die Adsorptionsisotherme gegeben. Für die Beschreibung haben sich die Langmuir- und die Freundlich-Isotherme als geeignet erwiesen. Wie bereits erwähnt, nimmt mit zunehmender Temperaturerhöhung aufgrund der freigesetzten Adsorptionswärme, die Aufnahmefähigkeit des Adsorbens ab. Dies ist ein Grund, warum im dynamischen Fall praktisch nur ein Teil der Beladung, die bei isothermem Gleichgewicht (statischer Fall) erreichbar wäre, genutzt werden kann. Ein weiterer Grund ist darin zu sehen, dass aufgrund der vorgelagerten langsamen Diffusion im betrachteten Adsorberabschnitt die Kontaktzeit im dynamischen Fall nicht ausreicht um dort das Adsorptionsgleichgewicht zu erreichen. Die Adsorption des Gases erfolgt



**Abbildung 4:** Schema des zeitlichen Verlaufs der Adsorption [22]

daher nicht im gesamten Adsorber, sondern nur in einer durch den Adsorber wandernden Adsorptionszone, der sogenannten Massenübergangszone (MÜZ) (mass transfer zone MTZ). Die Adsorptionszone wandert in Strömungsrichtung durch den Reaktor, vor ihr liegt unbeladenes Adsorbens, hinter ihr liegt der beladene Bereich. D. h. unter der Adsorptionszone (oder Arbeitszone) versteht man das Konzentrationsgefälle, das sich während des Adsorptionsvorganges in einem Festbettadsorber längs der Aktivkohleschicht ausbildet, wobei die Ausgangskonzentration auf einen beliebig kleinen Wert absinkt. In der Technik kann die Länge der Adsorptionszone durch verschiedene Faktoren wie Feuchtigkeit,



Gasverunreinigungen sowie Verdrängungseffekte bei Anwesenheit verschiedener Gas-  
komponenten beeinflusst werden. Ferner hängt die Adsorptionszone von den  
Eigenschaften der Aktivkohle, der zu adsorbierenden Substanz und ihrer  
Konzentration sowie der Gasgeschwindigkeit bzw. der Kontaktzeit ab. Mit  
Verringerung der Konzentration des zu adsorbierenden Stoffes und mit Erhöhung der  
Gasgeschwindigkeit (Verringerung der Kontaktzeit) ist mit einer Verbreiterung der  
Adsorptionszone zu rechnen, d. h. der Abfall der Konzentration erfolgt über einen  
größeren Bereich innerhalb der Aktivkohleschüttung (vgl. Abbildung 4). Nach  
hinreichend langer Dauer erreicht die MÜZ das Ende des Festbettes und das Adsorptiv  
bricht durch. D.h. im Fall des Durchbruchs treten ersten Spuren der zu adsorbierenden  
Substanz im Reingasstrom auf. Die dazu gehörende Beladung nennt man  
Durchbruchbeladung (siehe Abbildung 4). Nach Eintreten des Durchbruchs steigt die  
Konzentration der zu adsorbierenden Substanz hinter der Aktivkohleschicht langsam -  
bis sie der Eingangskonzentration ins Aktivkohlebett entspricht - an. Nun ist die  
Gleichgewichtsbeladung erreicht. Hieraus folgt: Die Durchbruchbeladung ist immer  
niedriger als die Gleichgewichtsbeladung. Der Unterschied zwischen beiden  
Beladungsgrößen hängt entscheidend von der Breite der Adsorptionszone ab und  
damit von den die Breite beeinflussenden Parametern. Das Ziel eines jeden  
wirtschaftlich geführten Adsorptionsprozesses ist es eine möglichst hohe  
Durchbruchbeladung zu erzielen. Hierdurch kann eine maximale Ausnutzung der  
Aktivkohle bei vollständiger Abscheidung des abzutrennenden Stoffes erreicht  
werden.

Neben den Eigenschaften der zu entfernenden Komponente hängt der  
Adsorptionsvorgang wesentlich von der Porenstruktur, der relativen Feuchte und der  
Temperatur des Adsorptivs sowie von der Strömungsgeschwindigkeit der Gasphase  
ab. Generell kann gesagt werden, dass mit Erhöhung der relativen Feuchte und der  
Temperatur die erreichbaren Beladungshöhen abnehmen. Die  
Strömungsgeschwindigkeit muss für einen optimalen Adsorptionsvorgang innerhalb  
eines von der Struktur der Aktivkohle und den Eigenschaften des zu adsorbierenden  
Stoffes bestimmten Bereichs liegen. Bei zu hoher Strömungsgeschwindigkeit strömen  
die Gasmoleküle zu schnell durch die Aktivkohleschicht, so dass die Zeit für eine  
Anlagerung zu kurz wird. Im umgekehrten Fall einer zu geringen  
Strömungsgeschwindigkeit besteht die Gefahr, dass die kinetische Energie der Gas-  
moleküle zu gering ist, um eine ausreichende Diffusion in die Poren der Aktivkohle zu  
gewährleisten.

Die Adsorption an Aktivkohle ist ein vielschichtiger Prozess <sup>[25, 26, 27]</sup>, der von einer  
Vielzahl unterschiedlicher Parameter abhängt. Die technische Realisierung und  
letztlich die Anwendungsbreite einer auf diesem Verfahren aufbauenden  
Ersatzmaßnahme, mit der die PER-Konzentration in der Abluft von  
Chemischreinigungen reduziert werden soll um das Vorsorgeziel der 2. BImSchV zu  
erfüllen, ist durch die in Chemischreinigungen vorgefundenen Betriebsbedingungen  
vorgegeben. Entscheidend sind Betriebsdaten, die Rückschlüsse auf die Ausführung  
der raumlüftechnischen Einrichtung und auf die Standzeit der Aktivkohle zulassen.  
Hierzu wurden namhafte Aktivkohlehersteller und auf diesem Gebiet arbeitende  
Forschungsinstitute angesprochen.

## **4. Betriebsbedingungen**

Zunächst sind die relevanten verfahrenstechnischen Betriebsdaten innerhalb der Chemischreinigungen zu ermitteln, die im wesentlichen das Adsorptionsverhalten beeinflussen. Die wichtigsten Parameter bei der Adsorption von PER an Aktivkohle lassen sich mit den folgenden, für die Reinigung der Raumabluft relevanten Betriebsgrößen beschreiben:

- PER-Konzentration
- Volumenstrom
- Temperatur und relative Feuchte

### **4.1 PER-Konzentration**

Die Durchschnittskonzentration von PER in der Raumluft der Chemischreinigungen ergibt sich aus verschiedenen Messungen des TÜV <sup>[9, 10, 11, 12, 15, 16]</sup>, der DEKRA Umwelt GmbH <sup>[13, 14]</sup> und der DRÄGER AG Lübeck <sup>[7, 8]</sup> sowie einem Untersuchungsbericht des LUA <sup>[2]</sup> zu einem Wert von ca. 10 mg/m<sup>3</sup>. Hierbei sind je nach Anordnung der Messstelle (Nähe zum Trommelbereich der Chemischreinigungsmaschine) und Betriebszustand der Chemischreinigungsanlage (Entnahme von Textilien) kurzfristig auftretende Spitzenwerte von 40-50 mg/m<sup>3</sup> mit berücksichtigt.

Ein typisches Konzentrationsprofil kann nicht angegeben werden. Hierzu fehlen reproduzierbare Daten. Es bleibt jedoch festzustellen, dass im Normalbetrieb der Chemischreinigungsmaschinen eine PER-Konzentration in der Raumluft im Bereich von 5-15 mg/m<sup>3</sup> vorherrscht. Lediglich bei Entnahme von Textilien aus der Anlage ist kurzfristig mit den bereits beschriebenen Spitzenbelastungen zu rechnen. <sup>[24]</sup>

### **4.2 Volumenstrom**

Die Abluftmenge pro Zeiteinheit bemisst sich nach der Größe der Chemischreinigung und den gültigen Arbeitsschutzvorschriften und Unfallverhütungsvorschriften. Nach der UVV VBG 66 muss die Erneuerung der Raumluft mindestens dem 60fachen der maximal zulässigen Füllmenge des Behandlungsgutes in kg aller Chemischreinigungsmaschinen entsprechen (Durchführungsanweisung zu § 11 der UVV VBG 66). Zudem ist diese auf eine Lufterneuerungsrate von 5 pro Stunde zu begrenzen. Hieraus ergibt sich ein Wert für die abzuführende Abluftmenge pro Stunde, der je nach Größe der Chemischreinigungsanlage zwischen 1000 und 2500 m<sup>3</sup>/h liegt.

### 4.3 Temperatur und relative Feuchte

Die Temperatur der Abluft liegt sowohl auf der Rohgas- als auch auf der Reingasseite generell unter 30 °C. Dies geht aus Messberichten der TÜV hervor. Sie liegt damit nur unerheblich höher als die vorherrschende Raumtemperatur innerhalb der Chemischreinigungen. Die Tatsache, dass es sich bei der Adsorption von PER an Aktivkohle um einen exothermen Prozess handelt, der mit der Freisetzung von Wärme verbunden ist, spielt trotz der relativ großen Gasmengen, aufgrund der relativ niedrigen Eingangskonzentration, keine bedeutsame Rolle. Konkrete Angaben zur relativen Luftfeuchte liegen nicht vor. Es ist aber mit einer im Vergleich zur Luft außerhalb der Chemischreinigung erhöhten relativen Feuchte zu rechnen. Diese wird durch Einzelplatzabsaugungen im Bereich der Bügeltische, in dem eine regelmäßige Dampfbildung erfolgt, hervorgerufen. Eine hohe relative Feuchte beeinträchtigt die Adsorptionsfähigkeit der Aktivkohle. Die Adsorptionszentren werden durch das in Konkurrenz mit dem PER stehende Wasser belegt. Die Installation einer wasserabscheidenden Vorstufe - etwa ein Kondensator - könnte daher ggf. erforderlich sein.

## 5. Standzeitverhalten

Zur Sammlung von Daten zur Adsorption von PER an Aktivkohle bei den in Chemischreinigungen praxisüblichen Bedingungen wurde eine ausführliche Recherche durchgeführt. Ansprechpartner waren hauptsächlich die Anbieter der Aktivkohlen. Zusätzlich wurde Kontakt mit dem Institut für Technische Chemie und der Naturwissenschaftlichen Bibliothek der Uni Essen aufgenommen. Die Fragen zielten hauptsächlich daraufhin ab, genauere Angaben hinsichtlich des Durchbruchverhaltens zu erhalten. Da am Durchbruchpunkt erstmals PER hinter dem Aktivkohlefilter registriert werden kann (vgl. Kapitel 3 auf Seite 14), ist eine Überschreitung eines vorgegebenen Grenzwertes für die PER-Konzentration zu befürchten. Dies kann vermieden werden, wenn eine auf der Kenntnis der Durchbruchbelastung basierend berechnete Standzeit der Aktivkohle, nach deren Ablauf eine Regeneration oder Reaktivierung der Kohle erfolgt, eingehalten wird. Die Standzeit berechnet sich nach:

$$(1) \quad t_{\text{Stand}} = \frac{m_{\text{Aktivkohle}} \cdot B_{\text{durch}}}{v_{\text{Raumluft}} \cdot c_{\text{PER}} \cdot t_{\text{Betrieb}}} \cdot 10000$$

$t_{\text{Stand}}$	Standzeit der Aktivkohle in Tage
$m_{\text{Aktivkohle}}$	Masse der eingesetzten Aktivkohle
$B_{\text{durch}}$	theoretische Durchbruchbelastung in % für PER an Aktivkohle für $c_{\text{PER}} = 10 \text{ mg/m}^3$
$v_{\text{Raumluft}}$	Rohgasstrom in $\text{m}^3/\text{h}$ (Ventilatorleistung)
$c_{\text{PER}}$	PER-Konzentration im Rohgas $c_{\text{PER}} = 10 \text{ mg/m}^3$
$t_{\text{Betrieb}}$	Dauer des Betriebs pro Tag in h/d

Der Zähler des Bruches gibt die maximal von der Aktivkohle aufnehmbare PER-Menge bis zum Durchbruch wieder, der Nenner die Menge PER, die pro Tag über den Aktivkohlefilter geleitet wird.

Die Recherche ergab, dass für die PER-Konzentrationen, die in der Raumluft von Chemischreinigungen vorherrschen, bereits Angaben zu einigen Aktivkohlen in bezug auf die maximal mögliche Beladung (Gleichgewichtsbeladung) in Form von Adsorptionsisothermen existieren (Beispiel siehe Abbildung 3). Die Gleichgewichtsbeladung beträgt je nach Aktivkohle bei 20 °C, 1013 mbar und einer relativen Luftfeuchte von < 60% ungefähr 20%. Die Angaben variieren mit der Wahl des Aktivkohletyps. So beträgt die Gleichgewichtsbeladung beispielsweise 13 % bei der Aktivkohle "Desorex CA 40" der LURGI Aktivkohle GmbH Frankfurt <sup>[28]</sup> und 24% bei der Aktivkohle "D 47/4" der CARBOTECH Aktivkohlen GmbH Essen. <sup>[29]</sup> Die Unterschiede sind auf unterschiedliche Porenstrukturen und Aktivierungszustand zurückzuführen.

Die Kenntnis der Gleichgewichtsbeladung ist allerdings nicht ausreichend für die Ermittlung der Standzeit. Nachfragen bei den Anbietern der Gasabscheider haben ergeben, dass die Standzeitberechnung im Regelfall lediglich auf der Angabe von Aktivkohlelieferanten zur Gleichgewichtbeladung aus der Adsorptionsisotherme beruhen. Entscheidend ist aber, wie bereits dargelegt, die Kenntnis der Durchbruchbeladung der Aktivkohle. Untersuchungen hierzu sind allerdings für den relevanten Konzentrationsbereich von etwa 5-15 mg/m<sup>3</sup> bisher für PER nicht bekannt. Nach Informationen der LURGI Aktivkohle GmbH, Frankfurt und der DEGUSSA AG liegt bei den vorgegebenen Rahmenbedingungen mit Berücksichtigung eines Sicherheitsfaktors die Durchbruchbeladung bei 40% der Gleichgewichtsbeladung. Dies entspricht bei einer Gleichgewichtsbeladung von 16-25 % (je nach Aktivkohletyp) einer Durchbruchbeladung von maximal 6,4-10 %. Die Angabe der 40 % leitet sich im wesentlichen auf Erfahrungen bei der Adsorption anderer Kohlenwasserstoffe (Toluol an Aktivkohle) und ist wissenschaftlich nicht nachgewiesen. Dies ist letztendlich auch schwierig, da der gesamte Adsorptionsprozess von einer Vielzahl von Parametern beeinflusst wird. Insbesondere spielen Faktoren wie Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Kontaktzeit des Gases an der Oberfläche, Anströmgeschwindigkeit des Gases, Porenstruktur der Aktivkohle, Konzentration in der Gasphase und deren Stabilität etc. eine Rolle.

**Zur Ermittlung der Standzeit wird näherungsweise davon ausgegangen, dass der Durchbruch erfolgt, wenn 40 % der Gleichgewichtsbeladung erreicht ist - die Einhaltung der optimalen Abscheidebedingungen vorausgesetzt.**

Entscheidende Größen für das Erreichen einer optimalen Durchbruchbeladung sind die Kontaktzeit des Gases an der Aktivkohleschicht und die Anströmgeschwindigkeit der Gasphase. Die Kontaktzeit bestimmt die Zeit, die den einzelnen PER-Molekülen verbleibt sich innerhalb der Schüttschicht an die Aktivkohle anzulagern. Die Anströmgeschwindigkeit ist dafür verantwortlich, dass eine optimale Ausnutzung der gesamten Aktivkohle inklusive des gesamten Porenvolumens vorliegt. Zu dem System PER / Aktivkohle ist für den vorgegebenen Konzentrationsbereich direkt kein Zahlenwert für diese beiden Parameter bekannt. Jedoch ist nach Angaben der

DEGUSSA AG und der LURGI Aktivkohlen GmbH, Frankfurt, die Übertragung früherer Erfahrungswerte bei der Realisierung der Ersatzmaßnahme zulässig.

**Erfahrungsgemäß sollte ein Aktivkohlefilter so dimensioniert sein, dass eine Kontaktzeit des Gases an der Aktivkohleoberfläche von mindestens 0,5 s und eine Anströmgeschwindigkeit im Bereich von 0,4 m/s eingehalten wird.**

## **6. Mindestanforderungen**

Bei der Genehmigung einer Ersatzmaßnahme als Ausnahme von §14 auf der Basis des § 17 der 2. BImSchV muss das Vorsorgeprinzip beachtet werden. D.h. eine Ausnahme darf nur erteilt werden, *soweit unter Berücksichtigung der besonderen Umstände des Einzelfalles einzelne Anforderungen der Verordnung nur mit unverhältnismäßig hohem Aufwand erfüllt werden können, schädliche Umweltwirkungen nicht zu erwarten sind und die Ausnahmen bei der Vorsorge gegen schädliche Umwelteinwirkungen nicht entgegenstehen.* Aus diesem Vorsorgeprinzip resultieren Mindestanforderungen an eine raumlufttechnische Einrichtung, die über eine PER-Reduktion in der Abluft, eine Ausnahme nach § 17 der 2. BImSchV rechtfertigt. Neben der 2. BImSchV sind weitere Rechtsvorschriften berührt, die bei der Aufstellung der Mindestanforderungen berücksichtigt werden müssen. Zu nennen sind hier die Unfallverhütungsvorschriften (UVV VBG 66) die Arbeitsstättenverordnung (ArbStättV) inkl. der Arbeitsstättenrichtlinien (besonders ASR 5), und die TA Lärm.

1. Die PER-Emission in der Abluft der Chemischreinigung ist derart zu begrenzen, dass in einem dem Aufenthalt von Menschen dienenden benachbarten betriebsfremden Raum oder in einem angrenzenden Betrieb, in dem Lebensmittel im Sinne des § 1 des Lebensmittel- und Bedarfsgegenständegesetzes hergestellt, behandelt, in den Verkehr gebracht, verzehrt oder gelagert werden, eine Raumlufkonzentration an PER von  $0,1 \text{ mg/m}^3$  (7-Tage-Mittelwert) nicht überschritten wird (vgl. § 15 Abs. 1 und 2 der 2. BImSchV). Diese Anforderung kann erfüllt werden, indem
  - a) die PER-Konzentration in der Abluft der Lüftungstechnischen Einrichtung auf den Wert von  $0,1 \text{ mg/m}^3$  begrenzt wird oder
  - b) bei einer höheren PER-Konzentration in der Abluft durch den Betreiber nachgewiesen werden kann, dass das Ziel des § 15 Abs. 2 der 2. BImSchV erreicht wird. Die maximal zulässige PER-Konzentration in der Abluft darf allerdings  $1 \text{ mg/m}^3$  nicht überschreiten.. Die Ausströmöffnung ist so vorzusehen, dass keine direkte Konvektion in Richtung stark von Menschen frequentierten Orten ermöglicht bzw. ein Sicherheitsabstand von mindestens 10 m eingehalten wird.
2. Es ist generell zu vermeiden, dass die Ableitung der Abluft in einen umbauten Raum oder in unmittelbarer Nähe von stark von Menschen frequentierten Orten wie z.B. Fenster, Türen, Balkone, Gehwege erfolgt (vgl. Nr. 1).
3. Im bestimmungsgemäßen Betrieb sollte die PER-Konzentration in der Raumluf der Chemischreinigungsanlage über ein ggf. registrierendes, eignungsgeprüftes

Messgerät quasikontinuierlich überwacht werden. Die reingasseitige Überwachung der in der Abluft zulässigen PER-Konzentration sollte ebenfalls, sofern verhältnismäßig und zumutbar, bevorzugt mit entsprechend geeigneter Mess- und Regeltechnik erfolgen (vgl. § 12 der 2. BImSchV). Die Messdaten sollten im Rahmen der Eigenkontrolle erfasst werden (vgl. § 11 der 2. BImSchV).

4. Der Aktivkohleabscheider muss regenerierbar sein (vgl. § 4 Abs. 3 der 2. BImSchV). Bestimmungsgemäß sollte die Aktivkohle nach Entnahme und ggf. Behandlung für vergleichbare Einsatzzwecke einer weiteren Verwendung zugeführt werden. Es sollte gewährleistet werden, dass die Entnahme der mit PER belasteten Rückstände nur mit einer geschlossenen Vorrichtung (vgl. § 13 Abs. 2 der 2. BImSchV) erfolgt. Die Lagerung, der Transport und die Handhabung dieser Rückstände darf nur in geschlossenen Behältnissen (§ 13 Abs. 3 der 2. BImSchV) erfolgen. Über die Instandhaltung und Wartung des Aktivkohlefilters sind Aufzeichnungen zu führen. Die Regeneration bzw. der Austausch ist zu dokumentieren, anzugeben ist der Zeitpunkt des Austauschs in Betriebsstunden und die ausgetauschte oder ersetzte Aktivkohlemenge (vgl. § 11 der 2. BImSchV).
5. Die Erneuerung der Raumluf<sup>3</sup>t in m<sup>3</sup>/h muss mindestens dem 60fachen Zahlenwert der maximal zulässigen Füllmenge in kg des Behandlungsgut aller Chemischreinigungsmaschinen betragen (Durchführungsanweisung zu § 11 der UVV VBG 66).
6. Die Lüfterneuerungsrate ist dann auf 5/h zu begrenzen, wenn sich nach Nr. 5 rein rechnerisch ein höherer Wert ergibt (Durchführungsanweisung zu § 11 der UVV VBG 66). Die Lüfterneuerungsrate L berechnet sich wie folgt:

$$(2) \quad L = \frac{v_{Raumluf<sup>3</sup>t}}{V_{Betrieb}} \leq 5$$

$v_{Raumluf<sup>3</sup>t}$  Erneuerung der Raumluf<sup>3</sup>t in m<sup>3</sup>/h

$V_{Betrieb}$  Volumen aller Betriebsräume in m<sup>3</sup>

Zu den Betriebsräumen gehören alle Räume, die dem Betriebszweck der Chemischreinigungsanlage zuzurechnen sind. Neben dem Raum für die Chemischreinigungsmaschine zählen hierzu auch Aufenthaltsräume oder Pausenräume für die Angestellten, der Verkaufsraum, der Lagerraum der gereinigten Textilien und die Räume in denen Tätigkeiten wie vorreinigen, bügeln oder detachieren erfolgen. Dies ergibt sich aus den Zweifelsfragen bei der Auslegung und Anwendung der 2. BImSchV. <sup>[30]</sup>

7. Eine vollständige Rückführung der gereinigten Abluft ist auszuschließen. Eine Rückführung der gereinigten Raumluf<sup>3</sup>t ist derart zu begrenzen, dass eine Mindest-Frischluf<sup>3</sup>tzufuhr gewährleistet ist, die dem natürlichen Luftwechsel (Lüfterneuerungsrate von 1-1,5 h<sup>-1</sup>) entspricht. Die Steuerung der

Frischluftezufuhr erfolgt entsprechend den Auslegungskriterien nach Prüfung der spezifischen örtlichen Gegebenheiten der betreffenden Chemischreinigung. Nach § 4 Abs. 4 der 2. BImSchV hat die Lüftung ausschließlich durch eine Lüftungstechnische Einrichtung zu erfolgen. Damit wird durch Erzeugung eines leichten Unterdrucks innerhalb der Räume einer unkontrollierten Ausbreitung von Immissionen in der Nachbarschaft wirkungsvoll entgegen gewirkt. Fenster und Türen sind geschlossen zu halten. Ggf. wird aus Arbeitsschutzgründen die Installation einer Klimaanlage erforderlich.

8. Der Mindestaußenluftstrom  $A$  beträgt:

$$(3) \quad A = 40 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \left[ P + 0,2 \text{m}^{-2} \cdot F_{\text{Betrieb}} \right]$$

$F_{\text{Betrieb}}$       Fläche aller Betriebsräume in  $\text{m}^2$   
 $P$                 Anzahl der beschäftigten Personen

Eine Verringerung dieses Außenluftstromes ist nur außerhalb des Temperaturbereichs 0-26°C erlaubt. Sie erfolgt linear auf minimal 50% des Mindestaußenluftstromes für den Bereich 26-32 °C bzw. 0 -12 °C. (§ 4.2 der ASR 5).

9. Die Luftgeschwindigkeit an den Arbeitsplätzen ist zur Vermeidung von Zuglufterscheinungen auf einen Wert von 0,2 m/s zu begrenzen (§ 4.4.2 der ASR 5).
10. Die relative Luftfeuchtigkeit ist bei einer Lufttemperatur von 20, 22, 24, 26 °C auf 80, 70, 62, 55% zu begrenzen (§ 4.2.3 der ASR 5).
11. Die Abscheideanlage ist jeden Tag vor Betriebsbeginn auf Funktionstüchtigkeit zu überprüfen. Diese Überprüfung ist zu dokumentieren (§ 11 der 2. BImSchV).
12. Die von raumluftechnischen Einrichtungen ausgehenden Lärm-Emissionen dürfen in Abhängigkeit von der Lage des Chemischreinigungsbetriebes die folgenden Grenzwerte nicht überschreiten (TA Lärm):

Lage	Grenzwerte TA Lärm	
	Tagsüber [dB(A)]	nachts* [dB(A)]
reines Wohngebiet	50	35
allgemeines Wohngebiet	55	40
Mischgebiet	60	45
Gewerbegebiet	65	50
Industriegebiet	85	70

\* von 22:00-6:00 Uhr

**Tabelle 1: Grenzwerte nach TA Lärm**

## 7. Anlagenvergleich

Chemischreinigung	Lüftungsbauer	Bemerkungen*
	Filtersystem Hersteller	
Chemischreinigung A Düsseldorf	Lüftungsbauer 1 Schüttfiltersystem, Hersteller 1	bisher keine Einhaltung des Grenzwertes 0,1 mg/m <sup>3</sup>
Chemischreinigung B Velbert	Lüftungsbauer 2 Schüttfilter, keine Herstellerangabe	bisher keine Einhaltung des Grenzwertes 0,1 mg/m <sup>3</sup>
Chemischreinigung C Hilden	Lüftungsbauer 1 Schüttfiltersystem, Hersteller 1	bisher keine Einhaltung des Grenzwertes 0,1 mg/m <sup>3</sup>
Chemischreinigung D Moers-Asberg	Lüftungsbauer 2 Schüttfilter, keine Herstellerangabe	bisher keine Messungen
Chemischreinigung E Essen	Lüftungsbauer 1 Schüttfiltersystem, Hersteller 1	bisher keine Einhaltung des Grenzwertes 0,1 mg/m <sup>3</sup>
Chemischreinigung F Herten	Lüftungsbauer 3 Schüttfiltersystem, Hersteller 2	bisher keine Messungen
Chemischreinigung G Essen	Lüftungsbauer 3 Schüttfiltersystem, Hersteller 2	bisher keine Einhaltung des Grenzwertes von 1 mg/m <sup>3</sup>
Chemischreinigung H Kamen	Lüftungsbauer 2 Schüttfilter, keine Herstellerangabe	bisher keine Einhaltung des Grenzwertes von 0,1 mg/m <sup>3</sup>
Chemischreinigung I Refrath	Lüftungsbauer 4 Schüttfiltersystem, Hersteller 3	bisher partiell Einhaltung des Grenzwertes von 0,1 mg/m <sup>3</sup>
Chemischreinigung J Köln	Lüftungsbauer 5 Schüttfilter-/Ringfiltersystem, Hersteller 4	Nachbesserungen, mittlerweile Einhaltung des Grenzwertes von 0,1 mg/m <sup>3</sup>

\*Nach Auswertung von Messberichten über Messung der nach § 26 BImSchG zugelassenen Messstellen

**Tabelle 2:** In Chemischreinigungen betriebene raumluftechnische (RLT-) Anlagen mit Gasabscheider in NRW <sup>[31]</sup>



In Nordrhein-Westfalen bestanden 1996 insgesamt 10 Genehmigungen zum Betrieb von raumluftechnischen Einrichtung mit Gasabscheider. Dies geht aus den Rückantworten einer Anfrage an die Bezirksregierungen und Staatlichen Umweltämter des Landes hervor.<sup>[32]</sup>

Mit Stand von 1998 sind es nur noch 6 Chemischreinigungsanlagen die in Nordrhein-Westfalen über raumluftechnische Einrichtung mit Gasabscheider verfügen. Der Grund hierfür war in drei Fällen die nachträgliche Installation eines Abluftkamins und in einem Fall die Substitution des Reinigungsmittel PER durch KWL.

Die Übersicht zeigt, dass innerhalb der Chemischreinigungen von NRW zur Zeit 5 verschiedene Lüftungsbauer Anlagen mit Gasabscheider zur Reduktion der PER-Konzentration in der Abluft anbieten. Die Einhaltung des geforderten Grenzwertes von  $0,1 \text{ mg/m}^3$  PER auf der Reingasseite kann in der Regel nicht erreicht werden. Eine Ausnahme bildet die Chemischreinigung J, Fa. Meurer, Uniflott, Köln. Die Überschreitungen liegen bei den übrigen Chemischreinigungen teilweise so hoch, dass auch ein Grenzwert von  $1 \text{ mg/m}^3$  von den meisten nicht sicher eingehalten werden kann. Diese Erkenntnis deckt sich im wesentlichen mit einer für den Bereich Baden-Württemberg durchgeführten Untersuchung an PER-Abscheidern<sup>[33]</sup> des Forschungsinstitutes Hohenstein, Bönnigheim. Von einigen Chemischreinigungen lagen keine Messungen der PER-Konzentration in der Abluft vor. Dies war dadurch bedingt, da in diesen Fällen eine messtechnische Überwachung erst später als eine Randbestimmung der Ausnahmegenehmigung festgeschrieben war. Ausnahmslos bei allen Chemischreinigungsanlagen waren Nachbesserungen am Gasabscheider erforderlich.

Die Mindestanforderungen in bezug auf die Auslegung der Lüftung, Nrn. 5-8 (siehe Seite 21 und 22), werden inzwischen von allen Chemischreinigungen erfüllt. Auf die Nrn. 9-12 (siehe Seite 22) der Mindestanforderungen wird in den Ausnahmegenehmigungen nicht besonders eingegangen. Diese Anforderungen sind ohnehin beim Betrieb einer RLT-Anlage zu erfüllen. Es sei aber darauf hingewiesen, dass bei Einbau von Gasabscheidern, durch den zu erwartenden Druckverlust in RLT-Anlagen, die Überwachung der Anforderungen in Nr. 9 und insbesondere in Nr. 12 eine höhere Priorität einnehmen kann. Werden die durch Druckverluste verminderten Abluftvolumenströme durch eine Erhöhung der Ventilatorleistung ausgeglichen, so können sich Lärmbelastungen ergeben. Abhilfe bietet in diesem Fall der Einbau eines Schalldämpfers.

Nachfolgend werden die Gasabscheider der verschiedenen Anbieter näher beschrieben. Danach gilt es anhand des Aufbaus und der Auslegung der Anlagen die Vor- und Nachteile der einzelnen Gasabscheider zu ermitteln. Insbesondere soll eine Erklärung gefunden werden, warum die teilweise hohen Überschreitungen des festgelegten Grenzwertes für die PER-Konzentration in der Abluft der Chemischreinigung auftraten.

## 7.1 Beschreibung der Anlagen

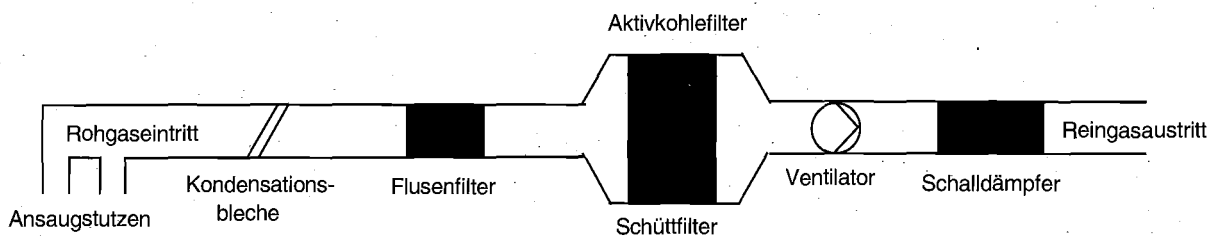
Bauausführung und Betrieb der eingesetzten Gasabscheider wurde in den betroffenen Chemischreinigungen zusammen mit Vertretern des zuständigen STUA und in einigen Fällen im Beisein der Hersteller der Gasabscheider in Augenschein genommen. Im Hinblick auf ihre Eignung im Reinigungsbetrieb waren Auskünfte aufgrund der praktischen Erfahrungen der Chemischreiniger eine wichtige Informationsquelle. Durch häufige Stillstandzeiten, bedingt durch die erforderlich gewordenen Nachbesserungen der Gasabscheider war der Informationsfluss allerdings oft unterbrochen. Fragen an die Lüftungsbauer, zur Auslegung und zum Langzeitverhalten der Abscheider, wurden nur unzureichend beantwortet.

In allen Fällen wurden Aktivkohleschüttfilter eingesetzt, die in die bestehende RLT-Anlage integriert waren. In einem Fall war ursprünglich eine Rückführung der gereinigten Raumabluft vorgesehen. Bei einer Reinigungsanlage war nach einem Schüttfilter zusätzlich ein Bündel von Ringfiltern angeordnet. Diese Ausführungsvariante wurde später im Rahmen von Nachbesserungen bei den Anlagen, die nur über einen Schüttfilter verfügten, eindeutig favorisiert. Bis auf eine Ausnahme waren alle Gasabscheider lediglich auf den hier betrachteten Adsorptionsbetrieb ausgelegt. Die Ausnahme bestand darin, dass bei einem Aktivkohleschüttfilter durch Wasserdampfdesorption zusätzlich eine Regenerationsphase vor Ort vorgesehen war. Die eingesetzten Gasabscheider lassen sich bauartbedingt unterscheiden in:

- ◆ Aktivkohleschüttgutfilter oder auch -Schüttfilter
- ◆ Aktivkohle-Ringfilter

### 7.1.1 Anlage mit Aktivkohleschüttfilter

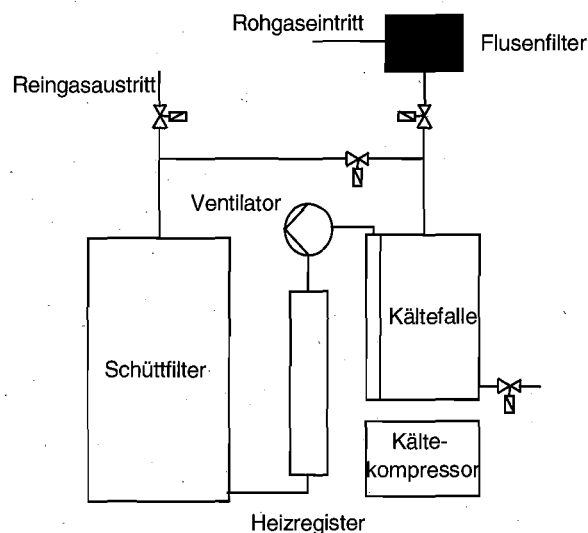
Von den 5 in NRW tätigen Anbietern von Abscheideanlagen zeichnen sich die des Lüftungsbauer 1, Lüftungsbauer 2 und Lüftungsbauer 4 durch die Installation eines Schüttgutfilters aus. Anhand der folgenden Prinzipskizze (siehe Abbildung 5) soll die Arbeitsweise beschrieben werden. Gezeigt ist die RLT-Anlage mit dem Filtersystem des Lüftungsbauer 1.



**Abbildung 5:** Prinzipskizze zur RLT-Anlage mit Gasabscheider bei Chemischreinigung E

Die Raumluft wird an den Entstehungsstellen der Emissionen (Maschinen, Bügeltische, Kleiderband) mit Hilfe eines hinter dem Aktivkohlefilter arbeitenden Ventilators (saugseitige Anordnung) mit Erfassungseinrichtungen nachgeschalteten Kondensatorblechen und Flusenfilter über einen Schüttfilter abgesaugt. Die Kondensatorbleche (Umlenkleche aus Metall) begünstigen bei hoher Luftfeuchtigkeit eine Tropfenbildung und führen zur Wasserabscheidung. Der Flusenfilter (Feststofffiltermatten) dient zur Abscheidung von mitgeführten Feststoffpartikeln. Der Schüttfilter besteht aus einem geschlossenen, quaderförmigen Behälter, der an zwei gegenüberliegenden Seiten jeweils durch eine Lochbleche begrenzt wird und mit Aktivkohlepellets (max. 1 cm lange Rundstäbchen) gefüllt ist. Nach Abscheidung des PER wird die gereinigte Abluft über den Ventilator ins Freie geleitet. Die Installation eines Schalldämpfers dient der Verringerung von Lärm-Emissionen. Bei der Ausführung des Lüftungsbauer 4 ist zusätzlich eine Rückführung der gereinigten Abluft vorgesehen.

Die Ausführung des Lüftungsbauer 3 sieht eine direkte Regeneration der Aktivkohle vor Ort vor (siehe Abbildung 6). Hiernach soll ein Austausch der Aktivkohle auf einen späteren Zeitpunkt hinausgeschoben werden. Nach Angaben des Kundendienstes soll ein Austausch erst nach 5-6 Jahren erforderlich sein. Gasabscheider dieses Typs werden in 2 Chemischreinigungen eingesetzt.



**Abbildung 6:** Prinzipskizze zur RLT-Anlage mit Gasabscheider bei Chemischreinigung G <sup>[34]</sup>

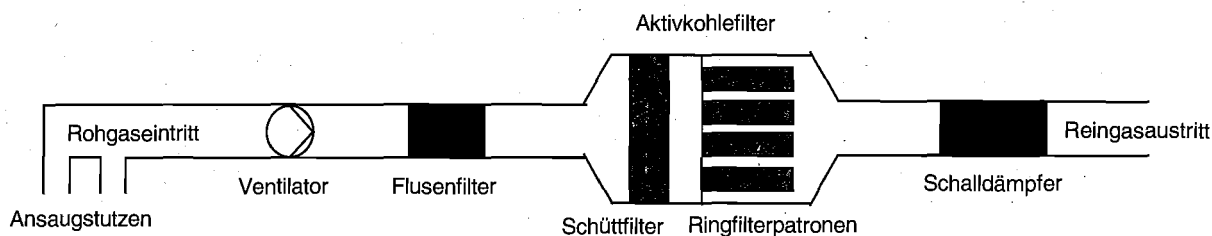
Im Gegensatz zu der Chemischreinigung E ist hier der Ventilator druckseitig, d.h. vor dem Gasabscheider angeordnet (vgl. Abbildung 6). Die angesaugte Raumluft wird erst über einen Vorfilter zur Abscheidung der mitgeführten Feststoffpartikel, dann über einen Kondensator mit Sammelgefäß für Wasser (Arbeitstemperatur des Kompressor beträgt 10 °C) geleitet und anschließend dem Gasabscheider (Schüttfilter) zugeführt.

Die Regeneration der Aktivkohle erfolgt nach Schließen der Ventile am Rohgaseintritt und am Reingasaustritt durch Aufgabe eines Stickstoff-Überdrucks im nun

geschlossenen Kreislauf (Dauer 3-4 h) bei einer Temperatur von 140 °C. Das hierbei desorbierte PER wird in der Kältefalle als Kondensat bei einer Temperatur von -10 °C aufgefangen. Danach wird die Luft wieder über das Heizregister auf 140 °C aufgeheizt und erneut zur Desorption über die Aktivkohle geleitet.

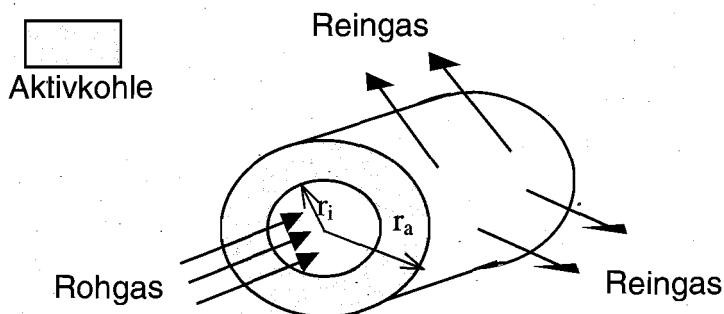
### 7.1.2 Anlage mit Aktivkohleschütt- und Aktivkohleringfilter

Raumluftechnische Anlagen dieses Typs sind außer mit einem Aktivkohleschüttfilter zusätzlich mit einem Aktivkohle-Ringfiltersystem ausgerüstet. Bisher sind nur zwei derartige Anlagen installiert.



**Abbildung 7:** Prinzipskizze zur RLT-Anlage mit Gasabscheider bei Chemischreinigung J<sup>[2]</sup>

Wie aus der Prinzipskizze hervorgeht, ist der Ventilator hier ebenfalls druckseitig installiert. Auf eine Wasserabscheidung der Abluft wird bei dieser Ausführung verzichtet. Eine Besonderheit stellt die Kombination von Schüttfilter mit nachgeordnetem Ringfiltersystem dar. Der hier dargestellte Aktivkohlefilter des Hersteller 4, Fa. CAMFIL GmbH Reinfeld besteht aus einem Aktivkohleschüttfilter (30 kg Aktivkohle) als Vorfilter und 32 parallel angeordneten Ringfilterpatronen mit je 2 kg Füllgewicht als Hauptfilter. Eine Patrone besteht aus einem einseitig geöffneten, doppelwandigen Hohlzylinder. Die durchströmte Aktivkohleschicht wird durch die gasdurchlässige innere und äußere gelochte Mantelfläche der Patrone umschlossen. Das einströmende Rohgas strömt vom Inneren der Patrone durch die, zwischen den beiden Zylindern angeordnete Aktivkohle radial nach außen (siehe Abbildung 8). Mit der Betriebsdauer verbreitert sich die Adsorptionsfront. Ausgehend von der gegebenen Anströmfläche (innere Mantelfläche) verbreitert sie sich maximal um den Faktor  $(r_a - r_i)/r_i$ .



**Abbildung 8:** Filterpatrone vom Typ CAMCARB 2600 der Fa. CAMFIL

## 7.2 Auslegung der Anlagen

Bei der Gesamtbeurteilung der raumluftechnischen Einrichtung kann zwischen dem für die Reduktion des PER verantwortlichen Aktivkohlefilter und dem Einfluss der übrigen Anlagenteile der raumluftechnischen Anlage auf die Abscheideleistung unterschieden werden.

### 7.2.1 Gasabscheider

Nach den Ausführungen in Kapitel 3, Seite 11 ff lassen sich Kriterien festlegen, anhand derer eine Beurteilung der Qualität eines Aktivkohlefilters im Hinblick auf die zu leistende PER-Reduktion möglich ist. Bei einem optimalen arbeitenden Aktivkohlefilter darf eine Überschreitung des Durchbruchpunktes nicht erfolgen. Als maßgeblicher Parameter zur Beurteilung, ob diese Forderung eingehalten wird, dient die maximale Standzeit des Aktivkohlefilters. Zudem ist zur Gewährleistung einer optimalen Ausnutzung der Aktivkohle eine Kontaktzeit der Abluft an der Aktivkohle von mindestens 0,5 s und eine Anströmgeschwindigkeit der Abluft an die Aktivkohleschicht von maximal 0,4 m/s einzuhalten. Für die Einhaltung dieser optimalen Abscheidebedingungen können ebenfalls Parameter zur Beurteilung angegeben werden. Diese sind die Mindestmenge Aktivkohle und die Mindestanströmfläche für die Abluft.

Die **Mindestmenge an Aktivkohle** berechnet sich nach:

$$(4) \quad V_{\text{Aktivkohle}} \geq t_{\text{Kontakt}} \cdot v_{\text{Raumluft}} / 3,6$$

$V_{\text{Aktivkohle}}$     Volumen Aktivkohle in l (x 1/2 = mA-Kohle)  
 $t_{\text{Kontakt}}$     Kontaktzeit der Abluft an Aktivkohle, beträgt 0,5 s  
 $v_{\text{Raumluft}}$     Rohgasstrom in m<sup>3</sup>/h (Ventilatorleistung)

Die **Mindestanströmfläche** berechnet sich nach:

$$(5) \quad F_{\text{quer}} \geq \frac{v_{\text{Raumluft}}}{v_{\text{quer}} \cdot 3600}$$

$F_{\text{quer}}$     Anströmfläche  
mit Anströmgeschwindigkeit  $v_{\text{quer}} = 0,4 \text{ m/s}$

Die **Standzeit** wird wie folgt ermittelt:

$$(1) \quad t_{S \text{ tan } d} = \frac{m_{\text{Aktivkohle}} \cdot B_{\text{durch}}}{v_{\text{Raumluft}} \cdot c_{\text{PER}} \cdot t_{\text{Betrieb}}} \cdot 10000$$

$t_{S \text{ tan } d}$	Standzeit der Aktivkohle in Tage
$m_{\text{Aktivkohle}}$	Masse der eingesetzten Aktivkohle in kg
$B_{\text{durch}}$	theoretische Durchbruchbeladung in % für PER an Aktivkohle für PER-Konzentration von $10 \text{ mg/m}^3$ , entsprechend 40% der Gleichgewichtsbeladung $B_{\text{gleich}}$ aus der Adsorptionsisotherme
$c_{\text{PER}}$	PER-Konzentration im Rohgas $c_{\text{PER}} = 10 \text{ mg/m}^3$
$t_{\text{Betrieb}}$	Dauer des Betriebs pro Tag in h/d

Anhand der ermittelten Kenngrößen aus Gleichung (1), (4) und (5) lässt sich für jeden Reinigungsbetrieb ein Soll-Profil für die Gasabscheidung erstellen. Die Daten des Ist-Zustandes des jeweiligen Reinigungsbetriebs wurden aus den Angaben der Lüftungsbauer, der Filter-Hersteller und Chemischreiniger, so weit mitgeteilt und plausibel, ergänzt durch eigene Begutachtung vor Ort, ermittelt. Durch den Vergleich des so ermittelten Ist-Profiles mit dem vorgegebenen Soll-Profil, kann überprüft werden, ob der Gasabscheider den Anforderungen entsprechend ausgelegt ist. Nach Datenlage ergab sich nachfolgende Gegenüberstellung:

**Tabellen 3-5:** Vergleich von erhobenen (Ist-Profil) - mit berechneten (Soll-Profil) Anlagedaten

	Ist-Zustand	Soll-Zustand	Ist/Soll- Vergleich
<b>Aktivkohle (Mindestmenge)</b>	72 kg	125 kg	zu gering (-42,4%)
<b>Angabe der maximalen Standzeit</b>	100 d	40 d	zu hoch (+150 %)
<b>Anströmfläche (Mindestquerschnitt)</b>	ca. 0,25 m <sup>2</sup> (0,5 m x 0,5 m)	1,25 m <sup>2</sup> (1,10 m x 1,10 m)	zu gering (-80 %)

**Tabelle 3:** Chemischreinigung E (Lüftungsbauer 1, Filter-Hersteller 1)<sup>[35]</sup>  
Ventilatorleistung:  $1800 \text{ m}^3/\text{h}$ ; Betriebszeit: ca. 10 h/d;  $B_{\text{gleich}} = 25\%$

	Ist-Zustand	Soll-Zustand	Ist/Soll- Vergleich
<b>Aktivkohle (Mindestmenge)</b>	140 kg	158 kg	zu gering (-11,4%)
<b>Angabe der maximalen Standzeit</b>	Regeneration nach 70 d	61 d	zu hoch (+14,8 %)
<b>Anströmfläche (Mindestquerschnitt)</b>	ca. 0,5 m <sup>2</sup> (1 m x 0,5 m)	1,58 m <sup>2</sup> (1,25 m x 1,25 m)	zu gering (-68,4 %)

**Tabelle 4:** Chemischreinigung G (Lüftungsbauer 3, Filter-Hersteller 2)<sup>[34]</sup>  
Ventilatorleistung: 2280 m<sup>3</sup>/h; Betriebszeit: ca. 10 h/d; Bgleich = 25%

	Ist-Zustand	Soll-Zustand	Ist/Soll- Vergleich
<b>Aktivkohle (Mindestmenge)</b>	30 kg + 32 x 2 kg	100 kg	zu gering (-6%)
<b>Angabe der maximalen Standzeit</b>	100 d	66 d	zu hoch (+52 %)
<b>Anströmfläche (Mindestquerschnitt)</b>	ca. 1,20 m <sup>2</sup> (32 x 2π0,02 m x 0,3 m)	1,00 m <sup>2</sup>	hoch (+20 %)

**Tabelle 5:** Chemischreinigung J (Lüftungsbauer 5, Filterhersteller 4)<sup>[36]</sup>  
Ventilatorleistung: 1440 m<sup>3</sup>/h; Betriebszeit: ca. 10 h/d; Bgleich = 20%

Vergleicht man die vorgefundenen Daten der Gasabscheider mit den berechneten, zeigen sich deutliche Diskrepanzen zwischen Auslegung und Anforderung. Die Mindestmenge an Aktivkohle wurde oft nicht erreicht. Die Standzeiten (Ist-Zustand) waren zu hoch veranschlagt. Zu hoch angesetzte Standzeiten führten dazu, dass der Austausch der Aktivkohle zumeist erst nach einem Durchbruch erfolgt. Es fällt auf, dass von Standzeiten (Ist-Zustand) ausgegangen wurde, die wie im Fall der Chemischreinigung E (siehe Tabelle 3) bis zum Faktor 1,5 höher lagen als die nach Soll-Zustand tatsächlich berechnete Standzeit. Unterstellt man, dass die Betriebs- und Anlagedaten bekannt und bei der Dimensionierung der Gasabscheider entsprechend berücksichtigt wurden, so ergibt sich nur eine plausible Erklärung. Abweichungen in dieser Größenordnung sind nach Gl. (1) vermutlich dadurch bedingt, dass statt der Durchbruchbelastung  $B_{durch}$  die Gleichgewichtsbelastung  $B_{gleich}$  zugrundegelegt wurde, die um einen Faktor in dieser Größenordnung höher ist. Zur Dimensionierung wurden ausnahmslos keine Daten zum dynamischen Abscheideverhalten der Gasabscheider herangezogen. Diesbezügliche Untersuchungen hätten im Ergebnis eine, bei Auslegung zugrundezulegende Durchbruchbelastung  $B_{durch}$  ergeben, die bei weniger als 10 % zu veranschlagen wäre. Die Auslegung der Gasabscheider beruhte auf Erfahrungen der Lüftungsbauer und den Angaben der Aktivkohlehersteller

und -lieferanten. Ein wesentlicher Anhaltspunkt war hierbei die Angabe der Aktivkohlehersteller zur Gleichgewichtsbeladung  $B_{\text{gleich}}$ , die bekannterweise bei 20-30 % zu erwarten ist. Hierauf beruhten ausnahmslos die Standzeitangaben der eingesetzten Gasabscheider. Auf den Unterschied zwischen der Durchbruchbeladung  $B_{\text{durch}}$  und der Gleichgewichtsbeladung  $B_{\text{gleich}}$  wurde bereits in Kapitel 3 auf Seite 16 eingegangen.

Darüber hinaus arbeiteten die meisten Gasabscheider nicht bei optimalen Adsorptionsbedingungen. Bei vorgegebener Ventilatorleistung bzw. Rohgasstrom wird die nach Gl. (5) erforderliche Mindest-Anströmfläche nicht erreicht. Dies führt dazu, dass bei der messtechnischen Überprüfung der PER-Konzentration auf der Reingasseite regelmäßig eine erhebliche Überschreitung des geforderten Grenzwertes beobachtet werden musste.

Eine Anlage, die hier eine Ausnahme bildet ist das System der Fa. CAMFIL GmbH. Hier wird aufgrund des Einsatzes der Ringfilterpatronen die optimale Anströmfläche sogar geringfügig überschritten. Zudem ist die Mindestmenge an Aktivkohle beinahe erreicht. Die angegebene Standzeit der Aktivkohle ist allerdings auch hier zu hoch veranschlagt.

Ein noch nicht angesprochenes Problem im Zusammenhang mit der Abschätzung der Standzeit ist die Wiederaufbereitung der Aktivkohle. Nach Ablauf der Standzeit besteht die Möglichkeit die Aktivkohle entweder im System selbst zu regenerieren (vgl. Lüftungsbauer 3, Hersteller 2), durch Regenerat oder durch Reaktivat zu ersetzen. Bei der Regeneration erfolgt eine Desorption mit Heißluft, Dampf oder auch durch Anlegen eines Vakuums. Es ist mit einer Restbeladung zu rechnen. Diese liegt nach Angaben der KLE Industrieanlagen GmbH Erdmannhausen bei 1-1,5 %. Andere Quellen <sup>[37, 38]</sup> deuten sogar auf noch höhere Restbeladungen (ca. 2 bzw. 5 %) hin. Die Konsequenz ist, dass die effektive Aufnahmekapazität der Aktivkohle in den nächsten Perioden um diese 2-5 % sinkt. Dies hat eine teilweise erhebliche Erniedrigung der Standzeit zur Folge. Bei 2 % Restbeladung muss bereits davon ausgegangen werden, dass sich die Standzeit um ca. 20-40 % erniedrigt. Zudem ist anzunehmen, dass nach dem Desorptionsprozess die Restbeladung gleichmäßig auf die gesamte Aktivkohle verteilt ist. Die Konsequenz ist, dass bei den folgenden Adsorptionsperioden lediglich eine PER-Konzentration auf der Reingasseite erreicht würde, die der Gleichgewichtskonzentration aus der Adsorptionsisotherme bei der Beladung von 2 bzw. 5 % entspricht. Dieser Reingaswert liegt schätzungsweise bereits oberhalb des geforderten Grenzwertes von  $0,1 \text{ mg/m}^3$  und ist damit nicht mehr tolerierbar. Die Konsequenz: Es sollte nur reaktivierte Aktivkohle eingesetzt werden. Bei dem technisch und energetisch aufwendigeren und damit allerdings auch kostenintensiveren Prozess der Reaktivierung verbleibt keine Restbeladung auf der Aktivkohle. Somit entfällt die soeben geschilderte Problematik.

Für gebrauchte Aktivkohlen, die nach Erreichen der Standzeit gegen frische (reaktivierte) Aktivkohlen ausgetauscht werden, besteht -ohne weitere Vorbehandlung- für anlagenseitig abgesaugte Maschinenabluft aber auch die Möglichkeit des Einsatzes zur Gasabscheidung in geschlossenen und offenen Anlagen.



## 7.2.2 Übrige Komponenten der Anlage

Neben dem Aktivkohlefilter sind noch weitere Anlagenteile in der raumlufttechnischen Einrichtung integriert. Beispielsweise erfolgt je nach Anbieter die Installation des Ventilators druck- oder saugseitig oder es ist ein Kondensator zur Abscheidung des Wassers aus der zu reinigenden Abluft vorhanden bzw. nicht vorgesehen. Die zusätzlichen Einbauten, insbesondere der Einbau eines Schalldämpfers bedingen eine höhere Ventilatorleistung der raumlufttechnischen Einrichtung.

Die Installation eines Kondensators zur Abscheidung von Wasser aus der zu reinigenden Abluft wird positiv bewertet, da anzunehmen ist, dass die abgesaugte Raumlufte eine hohe relative Feuchte besitzen kann. Innerhalb der Chemischreinigung entsteht beim Bügeln vermehrt Wasserdampf, der durch Direktabsaugungen an den Bügeltischen in die Abluft gelangt. Eine Kondensatwasserabscheidung kann dann sinnvoll sein, denn die Adsorptionsfähigkeit der Aktivkohle für PER bei relativen Feuchten von mehr als 60 % nimmt stark ab. In diesem Fall wird vermehrt Wasser an Stelle des PER adsorbiert. Bei der technischen Ausführung ist darauf zu achten, dass das Wasser auch aus dem Rohrleitungssystem entfernt wird. Es darf keine Möglichkeit bestehen, dass die Abluft sich wieder mit dem Wasser sättigt. Es ist daher die Ausführungsform der Chemischreinigung G, bei der die Abscheidung durch eine Temperaturniedrigung erfolgt und das Wasser abgeführt werden kann, der Lösung der Chemischreinigung E vorzuziehen (vgl. Abbildung 5 und Abbildung 6, Seite 25 und 26). Hier erfolgt lediglich eine Tröpfchenbildung, ohne dass das Wasser entfernt werden kann.

Die Anordnung des Ventilators erfolgt druck- oder saugseitig. Aus folgenden Erwägungen ist die druckseitige Anordnung zu bevorzugen. Erfolgt die Anordnung des Ventilators saugseitig, d.h. hinter dem Aktivkohlefilter, so besteht die Gefahr, dass bei leicht auftretenden Undichtigkeiten des Rohrleitungssystems zwischen Aktivkohlefilter und Ventilator PER-belastete Raumlufte direkt angesaugt wird. Diese wird damit nicht mehr vollständig über den Aktivkohlefilter geleitet und gelangt somit z.T. ungereinigt ins Freie. Treten diese Undichtigkeiten längs der Adsorptionsstrecke, am Blechkanal des Abscheiders auf, so ergeben sich Überströmungen bzw. Kurzschlussströme in der Aktivkohleschicht mit vorzeitigen Durchbrüchen. Hierdurch wurden die Abscheideleistungen erheblich verringert, da die Überschreitung des Grenzwertes noch vor Ablauf der sonst üblichen Standzeit erfolgte. Bei einer druckseitigen Anordnung besteht diese Gefahr nicht. Hier ist allerdings zu beachten, dass ein ausreichender Abstand zwischen Ventilator und Aktivkohlefilter eingehalten wird, um eine gleichmäßige Anströmung des Filters zu erzielen.

## **8. Stand der Technik**

Für den bestimmungsgemäßen Betrieb von RLT-Anlagen mit Gasabscheider in Chemischreinigungen wurden in Kapitel 6 ab Seite 20 Mindestanforderungen genannt, die an den Immissions- und Arbeitsschutz zu stellen sind. Die technischen Erfordernisse wurden mit der Auslegung, in Kapitel 7.2 auf Seite 28 ff, beschrieben. Die dabei zu Grunde gelegten Anlagendaten basieren auf den Erkenntnissen zur

Adsorption von PER an Aktivkohle (siehe Kapitel 3, Seite 11 ff) und den Ergebnissen aus Anlagenbegehungen, im Erfahrungsaustausch mit betroffenen Chemischreinigern, Lüftungsbauern und Aktivkohlelieferanten.

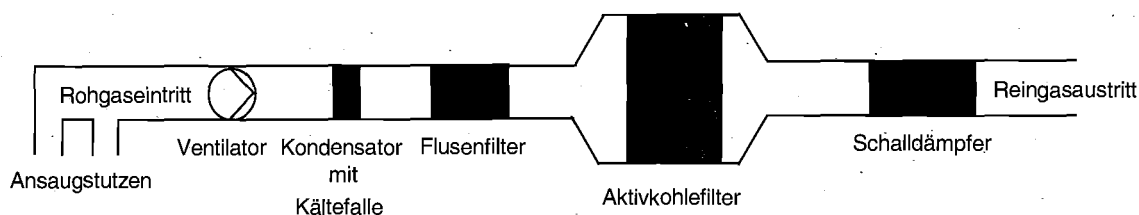
Eine RLT-Anlage mit Gasabscheider, die eine Erteilung einer Ausnahme von § 14 der 2. BImSchV auf der Basis des § 17 Abs. 1 rechtfertigt, sollte folgenden Anforderungen an Aufbau, Ausführung und Betrieb genügen:

## 8.1 Aufbau

Die RLT-Anlage mit Gasabscheider sollte über folgende Anlagenteile verfügen:

- a) Kondensator zur Abscheidung des Wassers aus der Abluft
- b) Flusenfilter zur Zurückhaltung von Feststoffpartikeln
- c) Ventilator
- d) Aktivkohlefilter
- e) (Schallschutz)

Die Anordnung der einzelnen Anlagenteile ist nach folgendem Schema vorzusehen:



**Abbildung 9:** Aufbau einer raumlufttechnischen Einrichtung mit Gasabscheider zur Reduktion von PER-Emissionen in der Abluft von Chemischreinigungen

## 8.2 Ausführung

### Kondensator

Der Kondensator ist so zu konzipieren, dass abgeschiedenes Wasser direkt aus dem Rohrleitungssystem entfernt werden kann, bzw. nicht wieder durch vorbeiströmende Abluft aufgenommen werden kann. Die Restfeuchte in der weitergeführten Abluft sollte einen Wert von 60 % relative Feuchte nicht überschreiten.

### Ventilator

Die Auslegung der Leistung des Ventilators hat derart zu erfolgen, dass die Nrn. 5-8 der in Kapitel 6 ab Seite 21 aufgelisteten Mindestanforderungen erfüllt werden.

### Flusenfilter

Der Flusenfilter muss die Abscheidung der Feststoffpartikel (Flusen) sicher gewährleisten. Hierbei ist auf Druckverlust durch Verstopfen des Filters zu achten (ggf. Differenzdruckanzeige vorsehen).

## Aktivkohlefilter

Die Aktivkohlemenge des Gasabscheiders muss derart bemessen sein, dass eine Kontaktzeit der mit PER belasteten Abluft von mindestens 0,5 s gewährleistet wird:

$$(4) \quad V_{\text{Aktivkohle}} \geq t_{\text{Kontakt}} \cdot v_{\text{Raumluft}} / 3,6$$

$V_{\text{Aktivkohle}}$	Volumen Aktivkohle in l
$t_{\text{Kontakt}}$	Kontaktzeit der Abluft an Aktivkohle, beträgt 0,5 s
$v_{\text{Raumluft}}$	Rohgasstrom in m <sup>3</sup> /h

Der Aktivkohlefilter muss derart dimensioniert sein, dass eine Anströmgeschwindigkeit des Rohgases beim Eintritt in die Aktivkohleschicht von 0,4 m/s nicht überschritten wird. Die Berechnung erfolgt nach Gleichung

$$(5) \quad F_{\text{quer}} \geq \frac{v_{\text{Raumluft}}}{v_{\text{quer}} \cdot 3600}$$

$F_{\text{quer}}$  Anströmfläche der Aktivkohleschicht;  $v_{\text{quer}} = 0,4 \text{ m/s}$

## Schallschutz

Die Auslegung des Schallschutzes hat derart zu erfolgen, dass die unter Nr. 12 (Kapitel 6 auf Seite 22) der Mindestanforderungen aufgeführten Grenzwerte der TA Lärm sicher unterschritten werden.

## 8.3 Betrieb

Die raumlufttechnische Einrichtung hat während des Reinigungsbetriebes zuzüglich einer Nachlaufzeit von 1 h in Betrieb zu sein.

Alle Anlagenteile der raumlufttechnischen Einrichtung sind in regelmäßigen Abständen auf ihre Funktionstüchtigkeit hin zu überprüfen. Wartungsarbeiten sind schriftlich zu dokumentieren. Die Zeitabstände sind so festzulegen, dass der bestimmungsgemäße Betrieb der einzelnen Anlagenteile sicher gewährleistet werden kann.

Die eingesetzte Aktivkohle ist aus Sicherheitsgründen nach 90 % der maximal erreichbaren Standzeit, die für die Bedingungen der Chemischreinigung berechnet wurde, gegen reaktivierte Aktivkohle auszuwechseln. Hierbei ist darauf zu achten, dass eine offene Lagerung der zum Einsatz vorgesehenen Aktivkohle in den Betriebsräumen der Chemischreinigung bereits zu einer unbeabsichtigten Vorbelastung

führen kann und die Aktivkohle unbrauchbar werden lässt, was unbedingt zu vermeiden ist.

Die **Standzeit** berechnet sich nach:

$$(1) \quad t_{Stand} = \frac{m_{Aktivkohle} \cdot B_{durch}}{v_{Raumluft} \cdot c_{PER} \cdot t_{Betrieb}} \cdot 10000$$

- $t_{Stand}$  Standzeit der Aktivkohle in Tage
- $m_{Aktivkohle}$  Masse der eingesetzten Aktivkohle in kg
- $B_{durch}$  theoretische Durchbruchbeladung für PER an Aktivkohle in %  
für PER-Konzentration von  $10 \text{ mg/m}^3$ . Ersatzweise 40 % der Gleichgewichtsbeladung  $B_{gleich}$  oder  $B_{durch} = 8 \%$  anzunehmen.
- $c_{PER}$  PER-Konzentration im Rohgas,  $c_{PER} = 10 \text{ mg/m}^3$
- $t_{Betrieb}$  Dauer des Betriebs pro Tag in h/d + Nachlaufzeit von 1 h/d

Die Berechnung der Standzeit geht von einem normalen Betriebszustand aus. Bei Störfällen, im Sinne des Auftretens erhöhter PER-Emissionen innerhalb des Chemischreinigungsbetriebes, reduziert sich nach  $B = B_{durch} - B_{Störfall}$  die berechnete Standzeit um die störfallbedingte Beladung. Die nach dem Störfall verbleibende Reststandzeit ließe sich zwar prinzipiell durch die Bestimmung der Beladung der Aktivkohle z.B. durch Wägung ermitteln. Dies wird aber praktisch kaum zu realisieren sein. Dabei käme nur eine indirekte Wägung ohne Entnahme der Aktivkohle in Frage. Der weitere Abscheidebetrieb hätte, nach Entnahme und der Wiederbefüllung, einhergehend mit der Verteilung der Aktivkohle aus der Massenübergangszone (MÜZ) (siehe Abbildung 4) längs des Adsorbers, eine Verflachung des Konzentrationsprofils in Strömungsrichtung zufolge, sodass das Abscheidevermögen am Adsorbierende verringert wird.

Dem Anlagenbetreiber sollte die Möglichkeit der Erweiterung der Standzeit der Aktivkohle gegeben werden. Hierzu muss er allerdings nachweisen, dass eine Überschreitung der festgelegten PER-Konzentration in der Abluft auch nach Ablauf der berechneten Standzeit nicht erfolgt. Ein solcher Nachweis kann durch eine quasikontinuierliche Messung der PER-Konzentration in der Abluft für eine Aktivkohlecharge erbracht werden. Die Messung ist erstmalig 2 Wochen vor dem Austauschtermin der Aktivkohle und in Abständen von 2 Wochen solange zu wiederholen, bis die gemessene PER-Konzentration in der Abluft einen Wert von 90% des in den Auflagen geforderten Grenzwerts erreicht. Danach sollte die Aktivkohle ausgetauscht werden. Die hierbei erzielte Standzeit ist nun festzuschreiben. Die Messungen erfolgen generell nur mit den für diesen Zweck zugelassenen Messgeräten mit ausreichender Nachweisgrenze ( $\leq 0,02 \text{ mg/m}^3$ ) und ausreichender Querempfindlichkeit oder durch aktive Probenahme mit Adsorptionsröhrchen durch

die bekannt gegebenen Messstellen nach § 26 des BImSchG. Die Ergebnisse sind schriftlich zu dokumentieren und den zuständigen Behörden mitzuteilen.

Auf die Festlegung einer Standzeit der Aktivkohle kann generell verzichtet werden, wenn der Betreiber der Anlage eine kontinuierliche Messung der PER-Konzentration in der Abluft durchführt. Über den Verlauf der PER-Konzentration in der Abluft sind Aufzeichnungen zu führen. Für die verwendeten Messgeräte gelten die im vorigen Abschnitt dargelegten Einschränkungen. Der Austausch der Aktivkohle hat auch in diesem Fall spätestens zu erfolgen, wenn die PER-Konzentration in der Abluft der Chemischreinigung auf 90 % des einzuhaltenden Grenzwertes angestiegen ist.

Der Austausch der Aktivkohle ist während der betriebsfreien Zeit der Chemischreinigungsanlagen durchzuführen. Die Betriebszeit der RLT-Anlage und die Zeitpunkte des Austausches der Aktivkohle sind im Rahmen der Eigenkontrolle nach § 11 der 2. BImSchV aufzuzeichnen. Die Aufzeichnungen sind vor jeder Messung der nach § 26 des BImSchG beauftragten Messstelle vorzulegen, die diese Daten in den Messbericht übernimmt. Der Einsatz von regenerierter Aktivkohle ist zu untersagen (Begründung siehe in Kapitel 8 auf Seite 29).

## **9. Musterbeispiele**

Die Kriterien für die Auslegung der raumluftechnischen Einrichtung sind im vorangestellten Kapitel dargelegt. Die Übertragung in die Praxis soll nun anhand zweier Beispiele erfolgen.

### **Chemischreinigung A**

3 Mitarbeiter, 1 Arbeitsraum mit 50 m<sup>2</sup> Grundfläche (Höhe 2,4 m), 1 Verkaufsraum mit 30 m<sup>2</sup> Grundfläche (Höhe 2,4 m) Chemischreinigungsmaschine mit max. Beladegewicht von 18 kg Öffnungszeiten: Werktags 8:30-18:30 Uhr und Samstags 8:30-13:00, Ventilatorleistung zwischen 1000 und 1500 m<sup>3</sup>/h (regelbar in 100 m<sup>3</sup>/h-Schritten) Aktivkohle mit Gleichgewichtsbeladung von 20 %.

### **Chemischreinigung B**

7 Mitarbeiter, 1 Arbeitsraum mit 140 m<sup>2</sup> Grundfläche (Höhe 2,8 m) + 1 Verkaufsraum mit 45 m<sup>2</sup> Grundfläche (Höhe 2,8 m) + Büro-bzw. Pausenraum mit 20 m<sup>2</sup> Grundfläche (Höhe 2,6 m) 2 Chemischreinigungsmaschinen mit je max. Beladegewicht von 22 kg Öffnungszeiten: Werktags 9:00-18:30 Uhr und Samstags 9:00-13:00 Ventilatorleistung zwischen 2000 und 3000 m<sup>3</sup>/h (regelbar in 200 m<sup>3</sup>/h-Schritten) Aktivkohle mit Gleichgewichtsbeladung von 25 %.

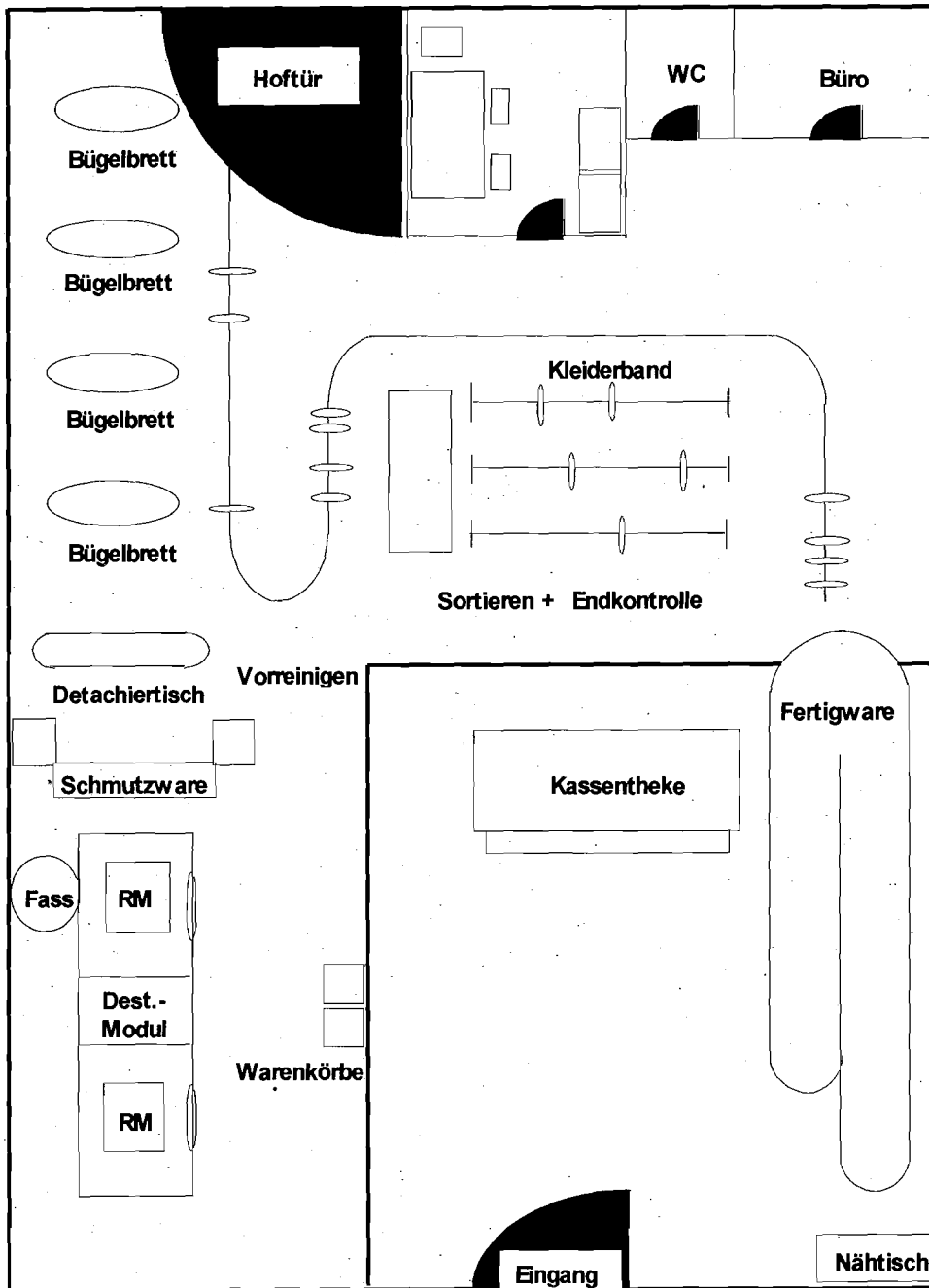


Abbildung 10: Beispiel für eine Chemischreinigungsanlage

## 9.1 Berechnung des Raumluf austausches

Die Berechnung des Raumluf austausches erfolgt anhand der Summe der maximalen Beladegewichte aller Chemischreinigungsmaschinen des jeweiligen Betriebes. Der Raumluf austausch muss mindestens dem 60fachen des ermittelten Wertes entsprechen. Hieraus resultiert für Chemischreinigung A ein Abluf tvolumenstrom von  $60 \times 18 = 1080 \text{ m}^3/\text{h}$  und für Chemischreinigung B ein Abluf tvolumenstrom von  $2640 \text{ m}^3/\text{h}$ . Demnach muss aufgrund der vorgegebenen Leistungsstufen der Ventilatoren für Chemischreinigung A mit einem Abluf tvolumenstrom von  $1100 \text{ m}^3/\text{h}$  und für Chemischreinigung B mit einem Abluf tvolumenstrom von  $2800 \text{ m}^3/\text{h}$  gerechnet werden. Es verbleibt noch zu prüfen, ob die Bedingungen der Nrn. 6-8 der Mindestanforderungen (siehe ab Seite 21) eingehalten werden. Dies geschieht mit Hilfe der Gleichungen (2) und (3) (vgl. Seite 21 und 22) für beide Reinigungsbetriebe.

### Chemischreinigung A

$$L = \frac{1100 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}}{232 \text{ m}^3} = 4,74 \text{ h}^{-1} \leq 5 \text{ h}^{-1}$$

$$\text{mit } V_{\text{Betrieb}} = 55 \text{ m}^2 \cdot 2,8 \text{ m} + 30 \text{ m}^2 \cdot 2,6 \text{ m} = 232 \text{ m}^3$$

$$A = 40 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \left[ 3 + 0,2 \text{ m}^{-2} \cdot 30 \text{ m}^2 \right] = 360 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

### Chemischreinigung B

$$L = \frac{2800 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}}{570 \text{ m}^3} = 4,91 \text{ h}^{-1} \leq 5 \text{ h}^{-1}$$

$$\text{mit } V_{\text{Betrieb}} = 140 \text{ m}^2 \cdot 2,8 \text{ m} + 45 \text{ m}^2 \cdot 2,8 \text{ m} + 20 \text{ m}^2 \cdot 2,6 \text{ m} = 570 \text{ m}^3$$

$$A = 40 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \left[ 7 + 0,2 \text{ m}^{-2} \cdot 45 \text{ m}^2 \right] = 640 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

**Fazit:** Mit den eingesetzten Ventilatoren können die Mindestanforderungen erfüllt werden. Bei der Chemischreinigung B ist noch anzumerken, dass der Büro- und der separate Pausenraum auch zu den Betriebsräumen zugerechnet wird.

## 9.2 Auslegung des Aktivkohlefilters

Nach Stand der Technik ist eine Kontaktzeit des Gases an der Aktivkohle von mindestens 0,5 s und eine Anströmgeschwindigkeit von maximal 0,4 m/s einzuhalten. Für die Auslegung des Aktivkohlefilters ergibt sich nach Gleichung (4) die Mindestmenge an Aktivkohle und nach Gleichung (5) die Anströmfläche.

### Chemischreinigung A

$$V_{\text{Aktivkohle}} \geq 0,5s \cdot 1100m^3h^{-1} \cdot 3,6^{-1}l \cdot m^{-3} \cdot s^{-1} \cdot h \geq 152l$$

$$F_{\text{quer}} \geq \frac{1100m^3h^{-1}}{0,4m \cdot s^{-1} \cdot 3600s \cdot h^{-1}} \geq 0,76m^2$$

### Chemischreinigung B

$$V_{\text{Aktivkohle}} \geq 0,5s \cdot 2800m^3h^{-1} \cdot 3,6^{-1}l \cdot m^{-3} \cdot s^{-1} \cdot h \geq 389l$$

$$F_{\text{quer}} \geq \frac{2800m^3h^{-1}}{0,4m \cdot s^{-1} \cdot 3600s \cdot h^{-1}} \geq 1,94m^2$$

Für die geometrische Abmessung des Aktivkohlefilters ergeben sich bei einem quaderförmigen Schüttbett mit quadratischer Anströmfläche bei der Chemischreinigung A die Raummaße 0,87 m x 0,87 m x 0,2 m und bei der Chemischreinigung B die Raummaße 1,39 m x 1,39 m x 0,2 m. Die Masse der Aktivkohle in kg liegt bei einer Schüttdichte von ca. 0,5 kg/l bei etwa dem doppelten der Volumenangabe, gemessen in l. Für die weiteren Berechnungen sei angenommen, dass der Aktivkohlefilter bei Chemischreinigung A 80 kg und bei Chemischreinigung B 200 kg Aktivkohle enthält.

## 9.3 Ermittlung der Standzeit

Die theoretische Standzeit des Aktivkohlefilters wird durch Gleichung (1) ermittelt. Setzt man die vorgegebenen Werte ein, so ergeben sich für die Gasabscheider in den Chemischreinigungen A und B folgende Standzeiten.



## Chemischreinigung A

$$t_{S \tan d, A} = \frac{80 \text{ kg} \cdot 0,4 \cdot 20\%}{1100 \text{ m}^3/h \cdot 10 \text{ mg/m}^3 \cdot \frac{5d \cdot (10 \text{ h/d} + 1 \text{ h/d}) + 1d \cdot (4,5 \text{ h/d} + 1 \text{ h/d})}{6d}} \cdot 10000$$
$$t_{S \tan d, A} = 58d$$

## Chemischreinigung B

$$t_{S \tan d, B} = \frac{200 \text{ kg} \cdot 0,4 \cdot 25\%}{2800 \text{ m}^3/h \cdot 10 \text{ mg/m}^3 \cdot \frac{5d \cdot (9,5 \text{ h/d} + 1 \text{ h/d}) + 1d \cdot (4 \text{ h/d} + 1 \text{ h/d})}{6d}} \cdot 10000$$
$$t_{S \tan d, B} = 75d$$

Der Bruch im Nenner der Gleichung gibt die durchschnittliche Betriebszeit der Anlage pro Tag gemittelt über eine gesamte Woche wieder. Wird die Standzeit vorsorglich auf 90% der theoretischen Standzeit begrenzt, so wird ein Austausch der Aktivkohle bzw. eine Reaktivierung nach einer Betriebszeit von 52 bzw. 67 Arbeitstagen erforderlich.

## 10. Empfehlung

Alle Entscheidungen bei Ausnahmen von § 14 der 2. BImSchV mit dem Ziel der Zulassung der beantragten Ersatzmaßnahme „RLT-Anlage mit Gasabscheider“ basierten bisher lediglich auf Erfahrungswerten und überschlägigen Berechnungen zum Adsorptionsgleichgewicht von PER an verschiedenen Aktivkohlen. Zur Bestimmung der Standzeiten wurden bisher die maximal möglichen Beladungen von Aktivkohlen mit PER zugrundelegt.

Um sicherzustellen, dass künftig der für das Reingas festgelegte Grenzwert im Reinigungsbetrieb unterschritten wird, muss zur Auslegung der Ersatzmaßnahme über die v.g. Gleichgewichtsbetrachtung hinaus das dynamische Abscheideverhalten von PER an der eingesetzten Aktivkohle bekannt sein. Anhand grundlegender, dynamischer Versuche an einem Modellreaktor (Festbettadsorber) wird derzeit das Durchbruchverhalten von PER an ausgewählten Aktivkohlen unter den im Reinigungsbetrieb üblichen Bedingungen untersucht. Anhand der gefundenen Ergebnisse wird zu einem späteren Zeitpunkt eine Handlungsanleitung zur standzeitsicheren Auslegung derartiger Gasabscheider erstellt.<sup>[39]</sup>

Nach bisher vorliegenden Erkenntnissen kann in erster Näherung davon ausgegangen werden, dass im bestimmungsgemäßen Betrieb unter den in Chemischreinigungen üblichen Betriebsbedingungen die Aufnahmekapazität derartiger Gasabscheider bei einer Durchbruchbeladung, die etwa 40 % der Gleichgewichtsbeladung entspricht, erschöpft ist.

Im Hinblick auf die Zulassung der Ersatzmaßnahme werden den zuständigen Genehmigungsbehörden die folgenden Empfehlungen gegeben:

### ***Technische Ausführung***

Aus den Antragsunterlagen soll hervorgehen, dass die beantragte Ersatzmaßnahme die Mindestanforderungen (vgl. Kapitel 6 ab Seite 20) erfüllt und dem Stand der Technik (vgl. Kapitel 8 ab Seite 32) entspricht. Eine Betriebsgenehmigung sollte nur erteilt werden, wenn die genannten Anforderungen an die raumluftechnische Einrichtung mit Gasabscheider (Aufbau und Auslegung der einzelnen Komponenten) erfüllt werden und zu der beantragten Betriebsweise bei vorgegebenem Grenzwert eine plausible Standzeitberechnung vorliegt.

### ***Wartungsvertrag***

Der Anlagenbetreiber soll einen Wartungsvertrag (vgl. Kapitel 2 auf Seite 10 und Kapitel 8.3 auf Seite 34) über den Austausch der Aktivkohle für die Dauer der beantragten Ersatzmaßnahme abschließen. Dadurch soll sichergestellt werden, dass der Betrieb des Gasabscheiders nicht über die festgelegte Standzeit hinaus erfolgt. Der vorzulegende Wartungsvertrag sollte die Option eines außerplanmäßigen Aktivkohleaustausches beinhalten, da sich im Hinblick auf das Überwachungsergebnis ggf. sofortiger Handlungsbedarf ergeben kann.

### ***Grenzwertfestlegung***

Im Genehmigungsbescheid ist der Grenzwert über die maximal zulässige PER-Konzentration in der Abluft der Chemischreinigung festzulegen. Maßgeblich für die Festlegung ist Nr. 1 und 2 der Mindestanforderungen (siehe Kapitel 6 auf Seite 20)

### ***Messplätze***

Mit Installation der Abscheideanlage sind die Messstellen für die Messungen am Rohgaseintritt und Reingasaustritt einzurichten. Für die Messung der kontinuierlich zu ermittelnden Parameter sowie ersatzweise für die diskontinuierlichen Einzelmessungen sind Messplätze einzurichten, die der

Richtlinie VDI 2066 Blatt 1 vom Oktober 1975 entsprechen. Die Messplätze sollen ausreichend groß, leicht begehbar und so beschaffen sein, dass eine für die Emission der Anlage repräsentative und messtechnisch einwandfreie Emissionsmessung ermöglicht wird. Die genaue Festlegung hat in Abstimmung mit dem Sachverständigen einer nach § 26 BImSchG bekannt gegebenen Stelle zu erfolgen. Der Sachverständige sollte dem Chemischreiniger vor der ersten Inbetriebnahme und Überwachung der Anlage schriftlich bescheinigen, dass die vorstehend genannten Anforderungen erfüllt sind. Dieser Nachweis ist der zuständigen Überwachungsbehörde auf Verlangen vorzuzeigen.

### ***Überwachung***

Im Genehmigungsbescheid ist festzulegen, wie die Überwachung, d.h. wie die erstmalige und die wiederkehrende Messung, durch eine bekannt gegebene Messstelle nach § 26 BImSchG zu erfolgen hat:

- a) Kontinuierliche Messung der PER-Konzentration in der Abluft (vgl. § 12 Abs. 7 und 8 der 2. BImSchV). Die Messung erfolgt generell nur mit geeigneten Messgeräten ausreichender Nachweisgrenze ( $\leq 0,02 \text{ mg/m}^3$ ) und Querempfindlichkeit (ggf. Eignungsprüfung)

oder

- b) Wiederholte diskontinuierliche Messung der PER-Konzentration in der Abluft (vgl. § 12 Abs. 5, 2. BImSchV) durch extraktive Probenahme mit Adsorptionsröhrchen.

Eine kontinuierliche Überwachung der PER-Konzentration nach a) wird favorisiert. Diese Überwachungsmethode ist aber zur Zeit unverhältnismäßig und daher nicht zumutbar, da die geeigneten Messgeräte (GC -FID) Investitionskosten in Höhe von 30.000 bis 70.000 DM erfordern.

Die Durchführung der erstmaligen und jährlich wiederkehrenden Messung soll frühestens 2 Wochen vor Ablauf der festgelegten Standzeit erfolgen. Zusätzliche Messungen können erforderlich werden, nachdem wesentliche Änderungen der raumluftechnischen Einrichtung vorgenommen wurden oder sich die Betriebsbedingungen verändert haben. Dies ist beispielsweise der Fall, wenn ein Wechsel der Aktivkohlen-Sorte, Veränderungen der Ventilatorleistung oder die Erweiterung der Chemischreinigungsanlage durch neue Maschinen, Betriebsräume etc. vorliegt.

Nach Feststellung einer erhöhten PER-Konzentration im Reingas sind vom Chemischreiniger unverzüglich Maßnahmen zu treffen, um die Einhaltung des Grenzwertes im Reingas zu gewährleisten. In der Regel ist ein Aktivkohlewechsel vorzunehmen (siehe Wartungsvertrag). Sind die

Maßnahmen nicht zielführend, ist die Fortsetzung des Reinigungsbetrieb zu untersagen.

### ***Eigenkontrolle***

Die Aufzeichnungspflichten des Anlagenbetreibers (vgl. auch Nr. 3, 4 und 11 der Mindestanforderungen ab Seite 20) sollen in den Nebenbestimmungen des Genehmigungsbescheides benannt werden. Diese Aufzeichnungen sind vom Anlagenbetreiber über einen Zeitraum von 3 Jahren aufzubewahren und auf Verlangen der Behörde vorzulegen.



## 11. Anhang

### Abbildungen

Abb. 1: Grundbegriffe der Adsorption <sup>[26]</sup> .....	12
Abb. 2: Vereinfachtes Aktivkohlen-Modell <sup>[26]</sup> .....	12
Abb. 3: Adsorptionsisothermen von PER aus Luft an einer Aktivkohle.....	14
Abb. 4: Schema des zeitlichen Verlaufs der Adsorption <sup>[22]</sup> .....	15
Abb. 5: Prinzipskizze zur RLT-Anlage mit Gasabscheider bei Chemischreinigung E .....	25
Abb. 6: Prinzipskizze zur RLT-Anlage mit Gasabscheider bei Chemischreinigung G <sup>[34]</sup> .....	26
Abb. 7: Prinzipskizze zur RLT-Anlage mit Gasabscheider bei Chemischreinigung J <sup>[2]</sup> .....	27
Abb. 8: Filterpatrone vom Typ CAMCARB 2600 der Fa. CAMFIL.....	27
Abb. 9: Aufbau einer raumluftechnischen Einrichtung mit Gasabscheider zur Reduktion von PER-Emissionen in der Abluft von Chemischreinigungen ..	33
Abb.10: Beispiel für eine Chemischreinigungsanlage.....	37

# Index

## A

<b>Adsorption</b> .....	10, 12
-gleichgewicht .....	13, 14
-isotherme.....	13, 30, 32, 36
-kapazität .....	14
-modelle.....	13
-steuerung .....	16
-zone .....	15, 16

## Aktivkohlen

herstellen .....	13
reaktivieren.....	15, 18, 32, 41, 43
regenerieren.....	14

## Anforderungen

Mindestanforderungen .....	7, 20, 25, 32, 34, 35, 39, 43, 44
2. BImSchV.....	8
weitere Vorschriften.....	7
Ausnahmen.....	9

## Anlagen

Investitions- und Betriebskosten.....	10
Übersicht und Vergleich .....	23

## D

<b>Desorption</b> .....	14, 32
Durchbruchbeladung .....	16, 18, 19, 20, 30, 36
Gleichgewichtsbeladung .....	13, 16, 19, 30, 32
Restbeladung .....	14, 32
Zusatzbeladung.....	14

## G

<b>Gasabscheider</b> .....	24, 26
Abscheideleistung .....	28
Standzeit.....	9, 17, 31
-Ausgangsdaten .....	17
-Berechnung .....	18, 19, 20, 29, 32, 36, 40
-Beispiele.....	37

## P

<b>PER</b> .....	14
------------------	----

## Ü

## Überwachung

Meßtechnische Überprüfungen .....	10
Meßinstitute.....	17

## Anmerkungen und Literatur

- 1 Pilotstudie zur Überwachung von Tetrachlorethen in der Nachbarschaft von Chemischreinigungsanlagen in Nordrhein-Westfalen, Landesanstalt für Immissionsschutz NRW (LIS), LIS-Bericht Nr. 90, ISSN 0720-8499, Essen 1989
- 2 Begleitende messtechnische Erfolgskontrolle bei der Sanierung einer Textilreinigungsanlage, Materialien Nr. 16 Herausgeber Landesumweltamt NRW (LUA), Essen 1995
- 3 Reduzierung der Lösemittelkonzentration in der Nachbarschaft von Textilreinigungen, Abschlußbericht des Bekleidungsphysiologischen Institutes Hohenstein e.V. (BPI Hohenstein), Forschungsvorhaben durchgeführt im Auftrag der Forschungsstelle Textilreinigung e.V. des Landes Brandenburg, der Freien und Hansestadt Hamburg, des Landes Hessen, des Freistaats Sachsen, des Landes Rheinland-Pfalz und des Landes Baden-Württemberg (BW), Schloss Hohenstein, Bönningheim 1994
- 4 Schreiben einer Firma aus BW (Lüftungsbauer 4) vom 09.02.1993 an das Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft Nordrhein-Westfalen (MURL)
- 5 Untersuchungsbericht BPI Hohenstein Nr. 93.6.93 / 5120 (2. Fassung)
- 6 Gutachten des RWTÜV, G.-Nr.: 2.1.9 / 1258 / 93 Lah / Nob vom 20.12.1993
- 7 Gutachten des RWTÜV, G.-Nr.: 2.1.9 / 168 / 94 Lah / Nob vom 25.03.1995
- 8 Stellungnahme der LIS vom 10.05.1993 auf Erlaß V A 4-8817.1 des MURL vom 06.04.1993
- 9 Mitteilung des BPI Hohenstein an die ehem. LIS und MURL, Umweltministerium BW und ehem. Staatl. GAA Bauzen
- 10 Messbericht des RWTÜV, G. Nr.: 2.1.9 / 1258 / 93 Lah / Nob vom 08.12.1994
- 11 Messbericht der Firma Dräger AG Analysentechnik, Lübeck, Nr. E 02 11 96 vom 28.02.1996
- 12 Messbericht der Firma Dräger AG Analysentechnik, Lübeck, Nr. E 02 15 96 vom 06.03.1996
- 13 Messbericht des RWTÜV, G.-Nr.: 2.1.9 / 708 / 93 Lah /Nob vom 05.09.1995
- 14 Messbericht des RWTÜV, G.-Nr.: 2.1.9 / 995 / 93 Lah /Nob vom 30.11.1994
- 15 Messbericht des RWTÜV, G.-Nr.: 2.1.9 / 995 / 93 Lah /Nob vom 12.10.1995
- 16 Messbericht des TÜV Rheinland, Nr. 919 / 763934 / 01 vom 20.12.1993
- 17 Messbericht der DEKRA Umwelt GmbH Nr. 1143 / 2624 LM 305100 vom 19.01.1995
- 18 Messbericht der DEKRA Umwelt GmbH Nr. 1143 / 2624 LX 305168 vom 11.01.1996



- 19 Messbericht des TÜV Rheinland Nr. 437 / 754715 / 01 vom 16.01.1995
- 20 Messbericht des RWTÜV G.-Nr.: 2.1.9 / 711 / 95 Lah /Nob vom 20.11.1995
- 21 Schreiben von Lüftungsbauer 2 an Chemischreinigung D vom 25.08.1995
- 22 Schreiben des technischen Kundendienstes von Lüftungsbauer 3 an  
Chemischreinigung G vom 23.01.1993
- 23 Schreiben von Lüftungsbauer 1 an Chemischreinigung E vom 12.11.1993
- 24 Mitteilung von Lüftungsbauer 5 bei Chemischreinigung J am 25.09.1996
- 25 Informationsschrift "Aktivkohle zur Gas- und Luftreinigung" der LURGI  
Aktivkohle GmbH Frankfurt
- 26 Informationsschrift "Kohlenstoffhaltige Adsorptionsmittel in Technik und  
Umweltschutz" der Fa. CARBOTECH GmbH Essen
- 27 Ullmann
- 28 Schreiben der Fa. LURGI Aktivkohlen GmbH Frankfurt an das LUA vom  
17.09.1996
- 29 Schreiben der Fa. CARBOTECH GmbH Essen an das LUA vom 22.08.1996
- 30 Zweifelsfragen bei der Auslegung und Anwendung der 2. BImSchV, LAI-  
Schriftenreihe Bd. 3, Erich Schmidt Verlag, ISBN 3 503 03622 9, Berlin 1994
- 31 Berichte der Staatlichen Umweltämter (STUÄ) und Bezirksregierungen (BR)  
auf MURL -Erlasses vom 23.05.1996:
- BR Düsseldorf vom 23.07.1996
  - STUA Duisburg vom 03.07.1996
  - STUA Krefeld vom 13.06.1996
  - BR Detmold vom 11.07.1996
  - BR Münster vom 03.07.1996
  - BR Arnsberg vom 05.07.1996
  - STUA Köln vom 02.07.1996
  - STUA Aachen vom 11.07.1996
- 32 Erlass des MURL an BR und STUÄ - V A 4 - 8817.1 vom 23.05.1996
- 33 Untersuchungsbericht "Zusammenstellung der Untersuchungen an  
Tetrachlorethen-Gasabscheidern zur Reduzierung der  
Arbeitsraumluftkonzentration in Textilreinigungen" des BPI Hohenstein,  
Bönnigheim vom 07.06.1996
- 34 Prospekt des Lüftungsbauer 3
- 35 Mitteilung von Lüftungsbauer 1 bei Chemischreinigung E am 24.09.1996
- 36 Mitteilung von Filter-Hersteller 4 bei Chemischreinigung J am 25.09.1996

- 37 Mitteilung des STUA Duisburg vom 11.10.1996
- 38 Mitteilung der Firma Carbotech Aktivkohlen GmbH, Essen vom 29.04.1999
- 39 Forschungsvorhaben „Untersuchung des Abscheideverhaltens von PER an Aktivkohlen am Modellreaktor (Festbettadsorber) 1999-2000



**Seit 1. April 1994 sind bisher folgende Merkblätter im Landesumweltamt NRW erschienen:**

1	Bestimmung von polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) in Bodenproben	15,00 DM
2	Betrieb und Unterhaltung von mechanisch-biologischen Kläranlagen	15,00 DM
3	Abwasserbeseitigung im Außenbereich (Kleinkläranlagen)	15,00 DM
4	Leitfaden für die Abwicklung der Luftreinhalteplanung in NRW	15,00 DM
5	Leitfaden für die Vorgehensweise bei akuten Dioxin-Schadensfällen	15,00 DM
6	Bestimmung von 6 polychlorierten Biphenylen (PCB) in Böden, Schlämmen, Sedimenten und Abfällen	15,00 DM
7	Anforderungen an die Verwendung von Stahlwerksschlacken im Wasserbau	15,00 DM
8	Anforderungen an biologische Bodenbehandlungsanlagen nach dem Mietenverfahren	20,00 DM
9	Anforderungen an Sachverständige bei der Bearbeitung von Altlasten (Stand Juli 1997)	15,00 DM
10	Geräuschimmissionsprognose von Sport- und Freizeitanlagen – Berechnungshilfen –	15,00 DM
11	Richtlinie – Schnittstellenspezifikation für die Vorlage von Betriebskennndaten bei der nach § 3 Abs. 1 zuständigen Behörde gemäß Deponieselbstüberwachungsverordnung	30,00 DM
12	Merkblatt zur Anwendung der TA Siedlungsabfall bei Deponien	30,00 DM
13	Bemessung kommunaler Kläranlagen – Hinweise für die Bemessung von Belebungsanlagen mit dem Programm ARA-BER (Version 4.0)	15,00 DM
14	Gewässerstrukturgüte in Nordrhein-Westfalen Kartieranleitung	30,00 DM
15	Simulation kommunaler Kläranlagen – Hinweise zur Anwendung der dynamischen Simulation am Beispiel von SIMBA –	20,00 DM
16	Referenzgewässer der Fließgewässertypen Nordrhein-Westfalens	30,00 DM
17	Leitbilder für kleine bis mittelgroße Fließgewässer in Nordrhein-Westfalen Gewässerlandschaften und Fließgewässertypen	30,00 DM
18	Ökologische Durchgängigkeit von Hochwasserrückhaltebecken	20,00 DM
19	Anforderungen an raumluftechnische Maßnahmen mit Gasabscheidung in Chemischreinigungen	20,00 DM

