

Merkblätter

Nr. 27

Umweltgerechte Entsorgung
lösemittelhaltiger Textilflusen aus
Chemischreinigungen



Merkblätter

Nr. 27

Umweltgerechte Entsorgung lösemittelhaltiger
Textilflusen aus Chemischreinigungen

Landesumweltamt NRW, Essen 2001

Impressum

Herausgeber: **Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen (LUA NRW)**
Wallneyer Straße 6 • D-45133 Essen
Telefon (0201) 7995-0 • Telefax (0201) 7995-1448
e-mail: poststelle@lua.nrw.de
Essen 2001

Verfasser: Dr. Dieter Menge

ISSN 0947-5788

Druck: **Druckerei JVA Geldern, Geldern**

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: Nachrichtenbereitschaftszentrale des LUA NRW
(24-Std.-Dienst): Telefon (0201) 714488

Gedruckt auf 100 % Altpapier ohne Chlorbleiche

Vorwort

Die messtechnische Begleitung der Nachrüstung einer Textilreinigungsanlage (siehe Materialien Nr. 16, LUA, Essen 1995) erbrachte ein bedeutsames Emissionsminderungspotential beim Umgang mit Lösemittel und lösemittelhaltigen Destillationsrückständen. Die Raumlufbelastungen, die bisher bei deren Entnahme aus der Reinigungsmaschine auftraten, konnten durch die Installation eines geschlossenen Systems, ähnlich dem, wie es bereits zur Befüllung mit Frischware (Sicherheitsgebilde) verwendet wird, vermieden werden.

Mit der Einführung des geschlossenen Entsorgungssystems war die bislang praktizierte Zugabe der in Nadelfänger und Flusensieb von Chemischreinigungsmaschinen anfallenden lösemittelhaltigen Flusen zu den Destillationsrückständen nicht mehr möglich. Für die Flusen musste deshalb ein anderer Entsorgungsweg gefunden werden. Dazu waren Untersuchungen zu Mengenanfall und Lösemittelgehalt der Flusen notwendig, die Gegenstand des vorliegenden Berichtes sind. Anhand der ermittelten Ergebnisse erfolgt eine Abfallbewertung und eine Empfehlung für den künftigen Entsorgungsweg der lösemittelhaltigen Textilflusen.

Vor diesem Hintergrund startete jüngst eine Initiative zur Selbstverpflichtung des Textilreinigungsgewerbes. Unter Einbindung namhafter Ver-/Entsorgungsunternehmen soll in Textilreinigungen bei der Lösemittelver-/entsorgung mit Frisch-/Altware bis zum Jahr 2004 auf Sicherheitsgebilde umgestellt werden. Bereits bis Ende 2000 soll in NRW bei der Belieferung mit Frischware eine Umstellungsquote von mehr als 80% und bei der Rücknahme von Altware eine Quote von mehr als 35% erreicht werden.



Essen, 2001

Dr.-Ing. Harald Irmer
Präsident des
Landesumweltamtes NRW

Inhalt

0. ZUSAMMENFASSUNG.....	7
1. ZIEL DER UNTERSUCHUNG.....	8
2. LÖSEMITTEL IN DER CHEMISCHREINIGUNG.....	9
2.1. LÖSEMITTEL TETRACHLORETHEN (PER)	9
2.2. PER-REINIGUNGSTECHNIK.....	10
2.2.1. <i>Reinigung</i>	11
2.2.2. <i>Aufbereiten des Lösemittels</i>	12
2.2.3. <i>Trocknung</i>	12
2.2.3.1. <i>Luftführung im geschlossenen System</i>	14
2.2.3.2. <i>Luftführung im offenen System</i>	17
3. EXPERIMENTELLER TEIL	17
3.1. MESSPLANUNG.....	17
3.2. UNTERSUCHTE CHEMISCHREINIGUNGSANLAGEN	19
3.3. ANALYTISCHE UNTERSUCHUNGEN.....	20
3.3.1. <i>Headspace-Gaschromatographie</i>	20
3.3.2. <i>Bestimmung des PER-Gehaltes von Flusen</i>	22
3.3.3. <i>Bestimmung des PER-Gehaltes von Flusen nach Lagerung</i>	23
3.3.4. <i>Bestimmung des Flusenanzfalls</i>	23
4. ERGEBNISSE.....	24
4.1. PER-GEHALT VON FLUSEN AUS FLUSENFILTER UND NADELFÄNGER	24
4.2. PER-GEHALT VON FLUSEN AUS FLUSENFILTER UND NADELFÄNGER BEI GETRENNTER UND KOMPAKTER ANORDNUNG IN GESCHLOSSENEN SYSTEMEN	24
4.3. PER-GEHALT VON FLUSEN AUS FLUSENFILTER UND NADELFÄNGER BEI GETRENNTER ANORDNUNG IN OFFENEN SYSTEMEN	26
4.4. PER-GEHALT VON FLUSEN AUS FLUSENFILTER UND NADELFÄNGER IN ABHÄNGIGKEIT VON VERFAHRENS- UND TEXTILSPEZIFISCHEN PARAMETERN	28
4.5. PER-GEHALT VON FLUSEN NACH LAGERUNG	30
4.6. UNTERSUCHUNGEN ZUR ANFALLENDEN FLUSENMENGE.....	30
4.7. FEHLERABSCHÄTZUNG	32
5. DISKUSSION DER ERGEBNISSE.....	33
5.1. PER-GEHALT VON FLUSEN AUS FLUSENFILTER UND NADELFÄNGER	33
5.2. PER-GEHALT VON FLUSEN IN ABHÄNGIGKEIT VON TEXTILSPEZIFISCHEN PARAMETERN.....	34
5.3. PER-GEHALT VON FLUSEN NACH LAGERUNG	34
6. EMPFEHLUNG	34
7. ANHANG	37
ABBILDUNGEN	39
TABELLEN	41
INDEX	53
LITERATUR	55

0. Zusammenfassung

Im Rahmen von Textilreinigungsverfahren mit Tetrachlorethen (PER) muss das Reinigungsgut nach der eigentlichen Reinigungsbehandlung getrocknet werden. Zu diesem Zweck wird erwärmte Luft durch die Trommel der Reinigungsmaschine und anschließend über Nadelfänger und Flusenfilter geleitet. Dabei werden Textilflusen nicht nur im Flusenfilter, sondern auch im Nadelfänger zurückgehalten. Flusenfilter und Nadelfänger müssen zur Sicherstellung eines ordnungsgemäßen Arbeitsablaufes regelmäßig gereinigt werden.

Systematische Untersuchungen zum PER-Gehalt der dabei anfallenden Flusentrückstände sowie zu einem sachgerechten Entsorgungsweg lagen bisher nicht vor. Ziel der vorliegenden Untersuchung war daher die Bestimmung des PER-Gehaltes der Flusen, die Untersuchung des Abklingverhaltens (z.B. bei Zwischenlagerung der Rückstände aus dem Flusenfilter bzw. Nadelfänger), die Erfassung der anfallenden Flusenmengen und das Aufzeigen eines umweltgerechten Entsorgungsweges.

Die Untersuchungen ergaben, dass die PER-Gehalte der Rückstände aus Flusenfiltern und Nadelfänger unter 2000 mg/kg lagen. Die für Rückstände aus Flusenfiltern bzw. Nadelfängern ermittelten PER-Konzentrationen wiesen relativ große Schwankungsbreiten auf. Dies gilt auch für baugleiche Chemischreinigungsmaschinen. Deshalb ist davon auszugehen, dass diese Schwankungen nicht in den unterschiedlichen Systemen der untersuchten Hersteller begründet sind. Konstruktionsmerkmale wie die Anordnung von Flusenfilter und Nadelfänger (kompakt oder getrennt) und deren Bauart, offene oder geschlossene Systeme oder die Beladepazität haben keinen nachweisbaren Einfluss auf den PER-Gehalt der Flusen.

Es ist vielmehr davon auszugehen, dass die Hauptursache für die unterschiedlichen PER-Gehalte in der unterschiedlichen Beschaffenheit der in der Praxis zu reinigenden Textilien liegt. Darüber hinaus kann der (im Einzelfall nicht bekannte) Wartungszustand sowie die jeweilige Beladung der Maschinen eine Rolle spielen. Im Falle der Nadelfänger-Rückstände ist ferner zu berücksichtigen, dass das Flusenmaterial bei Nadelfängern deutlich inhomogener ist als bei Flusenfiltern. Ein Vergleich der einzelnen untersuchten Maschinensysteme hinsichtlich der PER-Gehalte von Rückständen aus Flusenfiltern bzw. Nadelfängern ist somit aufgrund der genannten Gegebenheiten nicht zulässig bzw. sinnvoll.

Die Untersuchungen zum Abklingverhalten zeigen, dass unter den gewählten Versuchsbedingungen etwa die Hälfte des in den Flusen enthaltenen PER bereits nach ca. 3 bis 4 Stunden verdampft ist und dass nach ca. 2-3 Tagen nur noch etwa 10 % der Ausgangskonzentration vorhanden ist. Durch eine etwa einwöchige Lagerung der Flusen in geeigneten gasdurchlässigen Behältnissen (z.B. Textil-Beutel oder -Netze), in dem Bereich des Chemischreinigungsbetriebes, in dem auch die gereinigte Ware bis zur Abholung durch den Kunden aufbewahrt wird, könnte der PER-Gehalt somit um 90 %

oder mehr reduziert werden. Derzeit werden in Deutschland pro Jahr ca. 150000 t Textilien gereinigt. Da hiervon ca. 70 % in PER gereinigt werden, bedeutet dies bei einem ermittelten Flusenanstieg von ca. 0,25 g/kg eine Gesamt-Flusenmenge von ca. 30 t pro Jahr.

Unter Annahme eines mittleren Ausgangs-PER-Gehaltes der Flusen von 2 g/kg ergibt sich hieraus ein Gesamt-Ausgangs-PER-Gehalt der Flusen von ca. 60 kg pro Jahr. Dieser könnte durch eine einwöchige Lagerung um ca. 90 % auf ca. 0,2 g/kg bzw. eine Gesamtmenge von ca. 6 kg PER pro Jahr reduziert werden. Bei einer Gesamtzahl von etwa 3900 Chemischreinigungsbetrieben, von denen ca. 70 %, also ca. 2730 Betriebe, mit PER reinigen, bedeutet dies pro Betrieb und Jahr eine durchschnittliche PER-Menge von ca. 2 g, die in den Flusen anfällt und entsorgt werden muss. Bei 250 Arbeitstagen pro Jahr entspricht dies etwa 9 mg PER pro Arbeitstag und Betrieb.

Aufgrund der Ergebnisse ist somit - insbesondere unter Berücksichtigung der Tatsache, dass ein großer Teil des anfallenden Hausmülls verbrannt wird (1993: 62 % in den alten Bundesländern, 45 % in Deutschland) und damit nicht zu einer Grundwasserbelastung beitragen kann - davon auszugehen, dass eine Entsorgung der Rückstände aus Flusenfiltern und Nadelfängern von Textilreinigungsanlagen für PER über den Hausmüll möglich ist, wenn die Rückstände zuvor mindestens eine Woche in geeigneten Behältnissen im Chemischreinigungsbetrieb gelagert werden.

1. Ziel der Untersuchung

Im Rahmen von Chemischreinigungsverfahren für Textilien muss das Reinigungsgut nach der eigentlichen Reinigungsbehandlung getrocknet werden. Zu diesem Zweck wird die gereinigte Ware am Ende des Reinigungsvorganges zunächst geschleudert. Anschließend wird erwärmte Luft durch die Trommel der Reinigungsmaschine geleitet. Das dabei aufgenommene Tetrachlorethen (PER) wird aus der im Kreislauf gefahrenen Luft mit Hilfe geeigneter Techniken wieder auskondensiert. Vorher wird der Luftstrom über einen Flusenfilter geführt, um Flusen zurückzuhalten. Die genaue Führung des Luftstromes durch die Maschine, z.B. hinsichtlich der Anordnung von Nadelfänger und Flusenfilter, hängt im Detail vom Maschinentyp ab.

Der Flusenfilter muss zur Sicherstellung eines ordnungsgemäßen Arbeitsablaufes regelmäßig gereinigt werden. Systematische Untersuchungen zum PER-Gehalt der dabei anfallenden Flusenrückstände sowie zu einem sachgerechten Entsorgungsweg lagen bisher nicht vor.

Ziel der vorliegenden Untersuchung war daher die Bestimmung des PER-Gehaltes der Flusen, die Untersuchung des Abklingverhaltens (z.B. bei Zwischenlagerung der Rückstände aus dem Flusenfilter), die Erfassung der anfallenden Flusenmengen und das Aufzeigen eines umweltgerechten Entsorgungsweges.

2. Lösemittel in der Chemischreinigung

In der Chemischreinigung (Textilreinigung) werden Textilien in erster Linie in nichtwässrigen, organischen Lösemitteln gereinigt. Hierbei kommt derzeit dem einzigen, noch zulässigen ^[1] halogen- bzw. chlorhaltigen Lösemittel Tetrachlorethen (Perchlorethylen, PER) mit einem Marktanteil von ca. 70 % die mengenmäßig größte Bedeutung zu. Daneben werden auch halogen- und aromatenfreie Kohlenwasserstofflösemittel (KWL) verwendet. Ferner wurden in den vergangenen Jahren Nassreinigungsverfahren (Wetclean) entwickelt, die mit speziellen Methoden eine wässrige Reinigung bestimmter Textilien erlauben, die nicht mit üblichen wässrigen Waschverfahren gewaschen werden können. Ein großer Teil der in Textilreinigungsbetrieben bearbeiteten Textilien kann aber nach wie vor nur in organischen Lösemitteln gereinigt werden.

Bei den Textilreinigungsbetrieben handelt es sich vor allem um handwerkliche Kleinunternehmen, die in der Regel mit bis zu 2 Chemischreinigungsmaschinen ausgestattet sind. Im gesamten Wirtschaftsraum der EU wurde für 1991 die Zahl der Textilreinigungsbetriebe auf 60000 geschätzt. ^[2] Nach Angaben des Deutschen Textilreinigungs-Verbandes (DTV) betrug die Anzahl der Textilreinigungsbetriebe in Deutschland 1996/1997 ca. 3900. ^[3, 4] Von diesen Betrieben werden pro Jahr ca. 150000 Tonnen Textilien (ca. 223 Millionen Teile) gereinigt. ^[3, 4] Dies entspricht etwa 580 Tonnen oder 892000 Teilen pro Tag.

2.1. Lösemittel Tetrachlorethen (PER)

Aufgrund der 2. Bundes-Immissionsschutz-Verordnung (2. BImSchV) ^[1] ist seit dem 01.01.1993 als Halogenkohlenwasserstoff für die Chemischreinigung von Textilien nur noch Tetrachlorethen (PER) zugelassen. PER ist eine farblose, leichtflüchtige und unbrennbare Flüssigkeit mit einem Siedepunkt von 121 °C und einer Dichte von ca. 1,6 g/ml. Der Dampfdruck beträgt 19 hPa bei 20 °C und ist somit deutlich höher als z.B. bei den KWL. Aufgrund seines apolaren Charakters ist es mit Wasser nicht mischbar und weist eine relativ geringe Wasserlöslichkeit (ca. 160 mg/l) sowie ein hohes Fettlösevermögen auf. Gegenüber Schmutzkomponenten besitzt PER ein hohes Reinigungsvermögen und gegenüber Textilien und Färbungen ist es schonend.

Um ein sicheres Arbeiten mit PER in der Chemischreinigung zu gewährleisten, sind in der 2. BImSchV, im Anhang 52 "Chemischreinigung" zur Rahmen-Abwasserabwasserverwaltungsvorschrift (zukünftig Abwasserverordnung) sowie in der Unfallverhütungsvorschrift Chemischreinigung (VBG 66) zahlreiche Vorschriften für den Umgang mit PER festgelegt.

2.2. PER-Reinigungstechnik

Unabhängig von der verfahrenstechnischen bzw. maschinentechnischen Auslegung weisen alle am Markt befindlichen PER-Reinigungsmaschinen große Ähnlichkeit auf. Die Textilreinigung mit PER lässt sich in drei grundlegende Schritte einteilen:

- Reinigung
- Trocknung und Lösemittelrückgewinnung
- Aufbereitung des Lösemittels

Abbildung 1 zeigt exemplarisch die schematische Darstellung einer Chemischreinigungsmaschine mit den wichtigsten Systemteilen und deren Verbindungen untereinander.

Abbildung 2 zeigt das Bild einer handelsüblichen Chemischreinigungsmaschine in der Rückansicht.

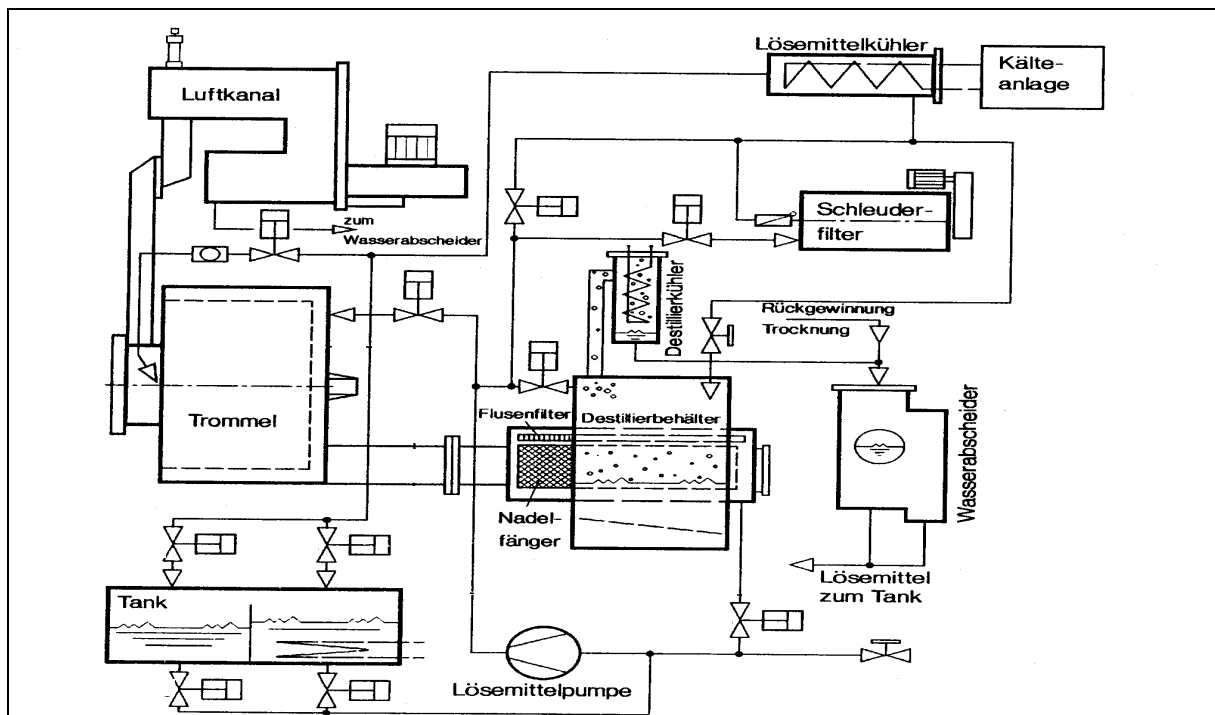


Abbildung 1: Schematische Darstellung einer Chemischreinigungsmaschine (PER)

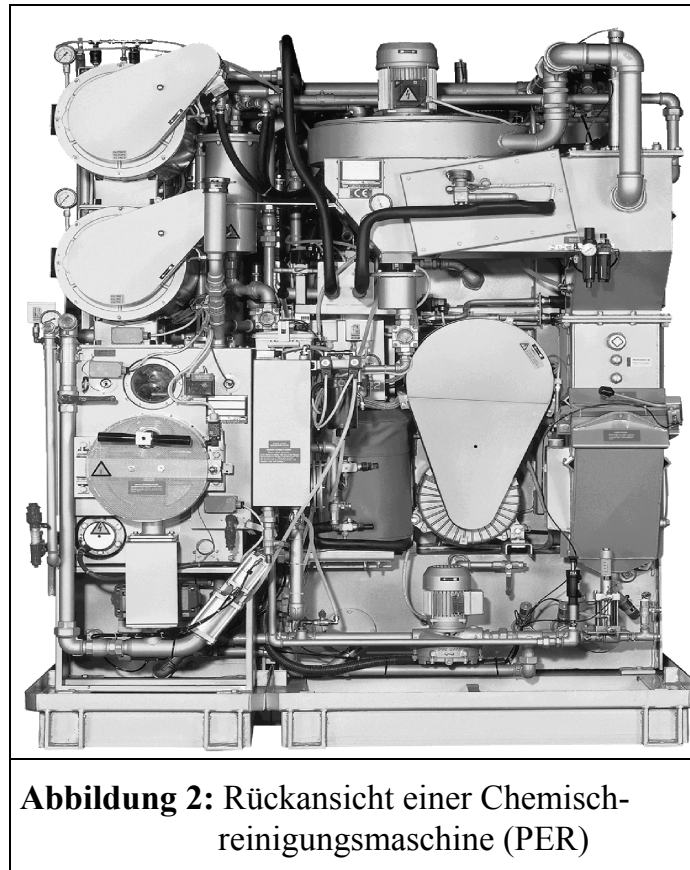


Abbildung 2: Rückansicht einer Chemischreinigungsmaschine (PER)

2.2.1. Reinigung

Im ersten wesentlichen Verfahrensschritt erfolgt die eigentliche Reinigung der Textilien in einem Lösemittelbad, dem je nach Textilien bzw. Verfahren geringe Mengen Reinigungsverstärker und Wasser zugesetzt werden.

Zum Reinigungssystem gehören insbesondere die Trommel, welche die Ware aufnimmt, Lösemitteltanks, aus denen PER in die Trommel gepumpt wird sowie Hilfseinheiten, aus denen Wasser und Reinigungsverstärker zudosiert werden. Zu Beginn des Reinigungsvorganges wird nach Schließen der Beladetür das Lösemittel aus dem Arbeitstank in die Trommel gepumpt. Nach Zudosierung der Hilfsmittel (Reinigungsverstärker, Wasser etc.) läuft je nach Programmierung der Maschine das vorgewählte Reinigungsprogramm (z.B. 1-Bad-Verfahren, 2-Bad-Verfahren, Imprägnierverfahren) ab. Durch reversierende Bewegung der Trommel wird Mechanik in die Reinigungsflotte eingebracht, die zur Schmutzentfernung beiträgt.

Während des Reinigungsprozesses wird das Lösemittel umgewälzt. Hierbei werden durch den Nadelfänger, der in der Regel aus einem perforierten Metallsieb besteht, grobe Schmutzbestandteile (z.B. Knöpfe, Haare, größere Faser- oder Gewebestücke usw.) zurückgehalten, um das Pumpensystem und die in den Kreislauf integrierten

Lösemittel-Feinfilter zu schützen. Diese Filter haben die Aufgabe, kleine, ungelöste Schmutzpartikel aus der Reinigungsflotte abzutrennen.

Der Nadelfänger befindet sich in der Regel unterhalb des Niveaus des Trommelauslaufflansches innerhalb eines Metallgehäuses, welches mit einer Öffnungsklappe versehen ist, um die Einheit reinigen zu können. Die Bauweise des perforierten Metallsiebes ist entweder zylindrisch oder kubisch, wobei das den Nadelfänger umgebende Metallgehäuse der Form des Siebes angepasst ist.

2.2.2. Aufbereiten des Lösemittels

In einem dritten Schritt wird das Lösemittel zur Wiederverwendung durch Destillation gereinigt: Nach dem Reinigungsvorgang enthält das aus der Trommel abgelassene und abgeschleuderte Lösemittel Schmutz, welcher durch die gereinigten Textilien sowie durch Hilfsmittel (Detachiermittel, Reinigungsverstärker, Wasser) eingetragen worden ist. Deshalb wird das verschmutzte Lösemittel durch Destillation wieder aufbereitet. Diese soll im folgenden nicht weiter betrachtet werden, da sie für die Fragestellung des vorliegenden Projektes von untergeordneter Bedeutung ist.

2.2.3. Trocknung

In einem zweiten Schritt wird das Reinigungsgut getrocknet, wobei das Lösemittel aus der Trocknungsluft durch Kondensation und Adsorption entfernt und zurückgewonnen wird. Zur Trocknung werden die Textilien zunächst geschleudert, wobei der Ware aufgrund der Zentrifugalkraft Lösemittel entzogen wird.

Nach dem Schleudern haftet noch ein Teil des Lösemittels sowohl an der Faseroberfläche als auch in den Kapillaren der Fasern. Zur Entfernung dieses Lösemittelanteils wird mit Hilfe eines Gebläses erhitzte Luft im Kreislauf durch die Ware geleitet (Konvektionstrocknung). Durch die Wärmeenergie der erhitzten Luft wird das noch auf der Ware befindliche Lösemittel verdampft und mit dem Luftstrom abgeführt.

Zum Schutz des Systems (Gebläse, Kondensationseinheit, Heizregister etc.) vor Textilflusen und anderen, von der Trocknungsluft mitgerissenen Partikeln ist in den Kreislauf ein Flusenfilter integriert, der die aus der Trommel ausgetragene Luft reinigt.

Der Flusenfilter kann entweder gemeinsam mit dem Nadelfänger in einem Gehäuse untergebracht sein oder getrennt durch einen Luftführungsschacht mit diesem verbunden sein. In beiden Fällen wird die Trocknungsluft während der Trocknungsphase nicht nur über den Flusenfilter, sondern auch über den Nadelfänger geleitet. Dadurch werden auch vom Nadelfänger während der Trocknungsphase Flusen zurückgehalten. In **Abbildung 3** ist die kompakte Anordnung von Nadel- und Flusenfilter dargestellt, in **Abbildung 4**

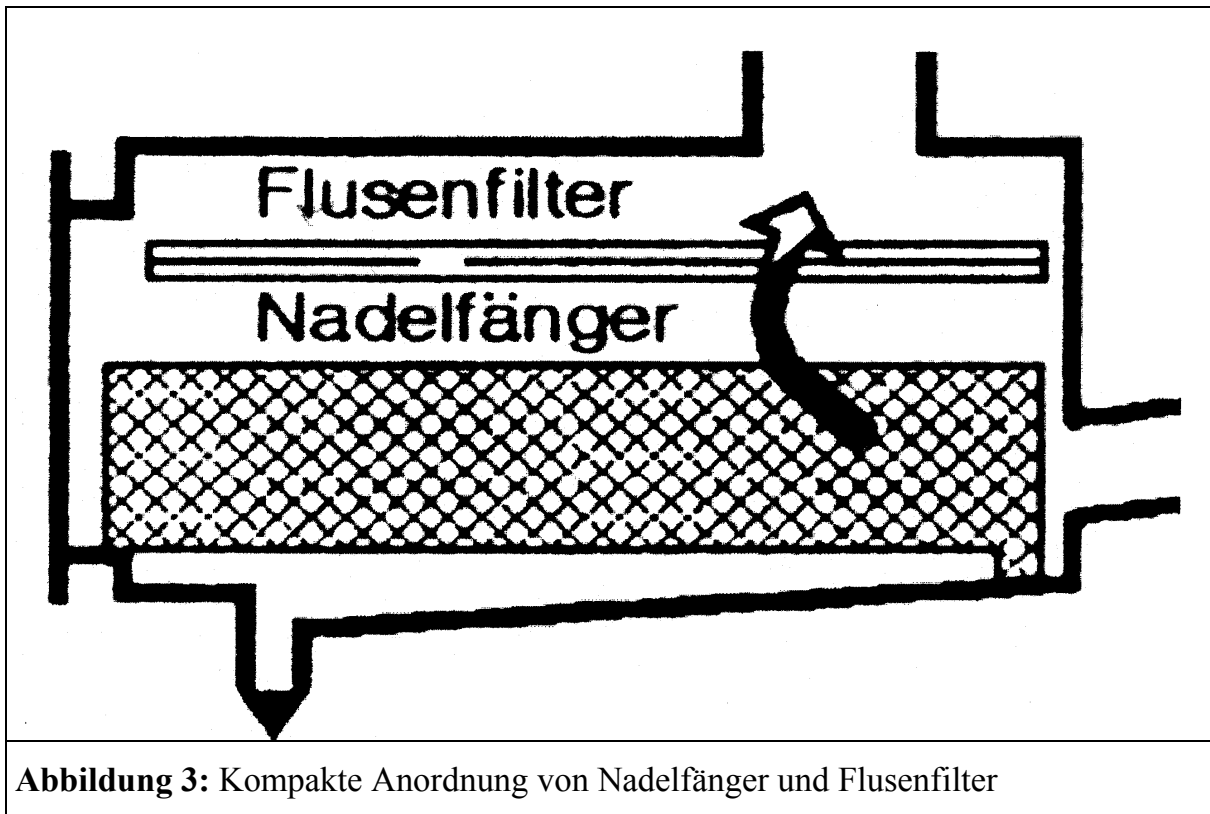


Abbildung 3: Kompakte Anordnung von Nadelfänger und Flusenfilter

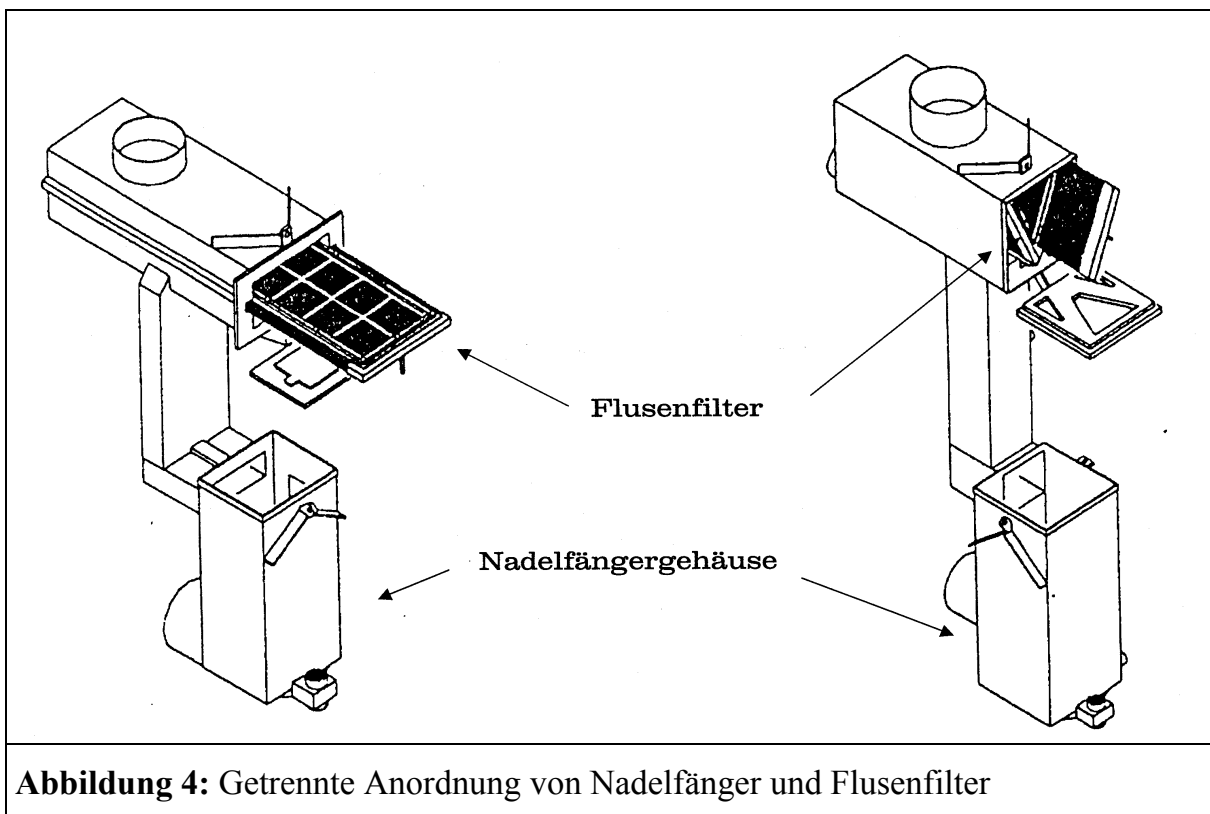


Abbildung 4: Getrennte Anordnung von Nadelfänger und Flusenfilter

die getrennte Anordnung. Der Nadelfänger ist über ein verschließbares Metallgehäuse zur Durchführung von Wartungs- und Säuberungsarbeiten zugänglich.

Im Rahmen der durchgeführten Untersuchungen wurden beide Systeme untersucht, um eventuelle, durch diese Konstruktionsmerkmale bedingte Unterschiede in den PER-Gehalten der Flusen zu erfassen.

Je nach Maschinenhersteller kann der Flusenfilter als "Flusensack" oder als "Flusenmatte" ausgeführt sein. Der Flusensack wird zur Stabilisierung während der Luftzirkulation über ein Metallgitter gespannt. Die planar konstruierten Flusenmatten bestehen aus luftgängigem, geschäumten Kunststoff und sind ebenfalls durch ein Metallgerüst stabilisiert.

Hinsichtlich der Luftführung bei der Minimierung der PER-Konzentration in der Trocknungsluft nach der Trocknungsphase unterscheidet man geschlossene und offene Systeme. Bei den geschlossenen Systemen erfolgt die Minimierung der PER-Konzentration in einem geschlossenen Kreislauf, während bei den offenen Systemen die Luft in einem letzten Schritt über Aktivkohlefilter in die Umgebungsluft geblasen („ausgeblasen“) wird.

2.2.3.1. Luftführung im geschlossenen System

2.2.3.1.1. Trocknungsphase

Die Luftführung im Trocknungssystem ist im folgenden näher erläutert; **Abbildung 5** zeigt exemplarisch eine schematische Darstellung.

Nach dem Abpumpen der Reinigungsflotte aus der Trommel wird die Luft mit einem Gebläse über ein Heizregister geführt. Dieses erhitzt die Luft in der Regel auf Temperaturen von 80 bis 95 °C (Trommeleingangstemperatur je nach Programmwahl). Die Luft wird auf die Ware geleitet, wobei diese auf Trocknungstemperaturen von 55 bis 65 °C erwärmt wird. Die Luft nimmt Lösemittel auf und strömt über den Trommelausgang durch den Nadelfänger und Flusenfilter zum Kälteaggregat, wo das Lösemittel auskondensiert und so zurückgewonnen wird. Danach wird die Luft wieder über das Heizregister geführt, erwärmt und erneut in die Trommel geblasen. Zur besseren Energieausnutzung wird bei fast allen Maschinen zusätzlich die Abwärme des Kälteaggregats zur Lufterwärmung mitgenutzt.

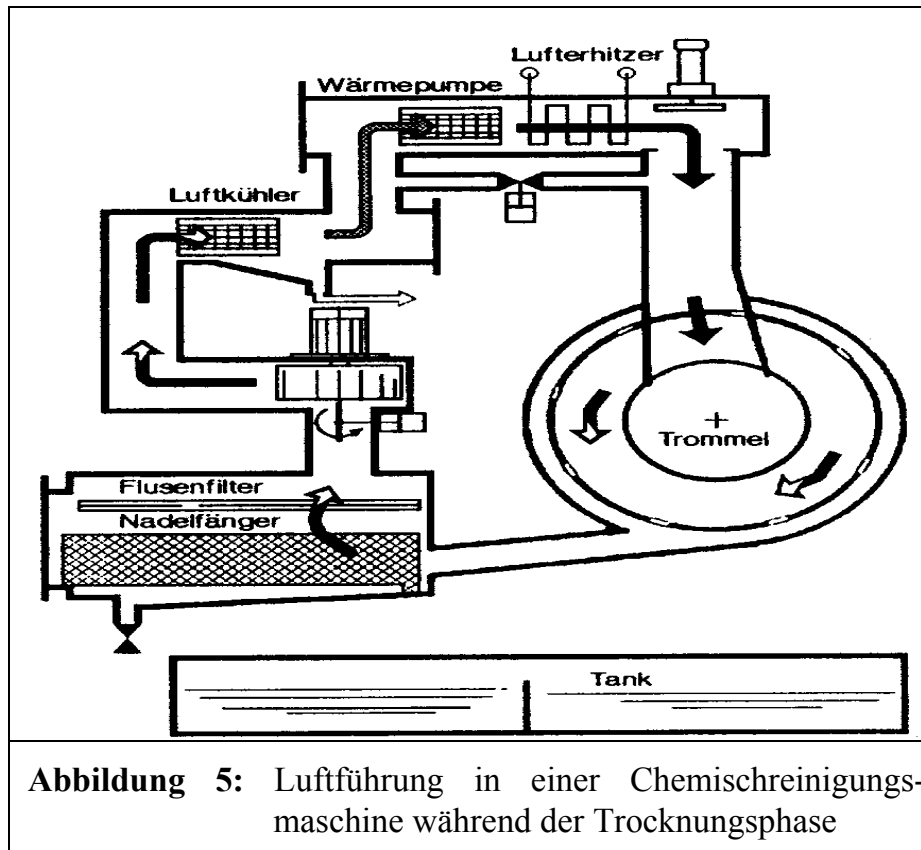


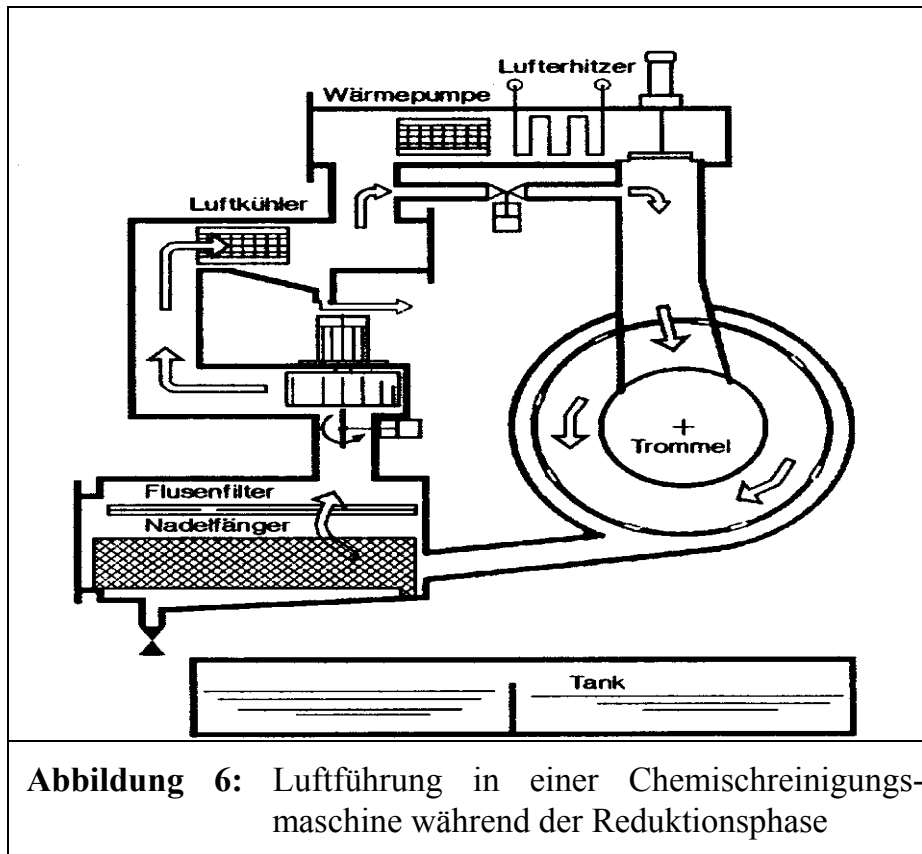
Abbildung 5: Luftführung in einer Chemischreinigungsmaschine während der Trocknungsphase

2.2.3.1.2. Reduktionsphase

Da die Aufnahmekapazität der Trocknungsluft für PER von der Temperatur abhängt, (große Lösemittelaufnahmekapazität bei erwärmter Luft, geringe Lösemittelaufnahmekapazität bei kalter Luft) kann nach der Trocknung der Ware die Lösemittelkonzentration der Luft durch Kühlung (Kälteaggregat) weiter reduziert werden.

Der prinzipielle Ablauf während der Reduktionsphase ist in **Abbildung 6** exemplarisch dargestellt.

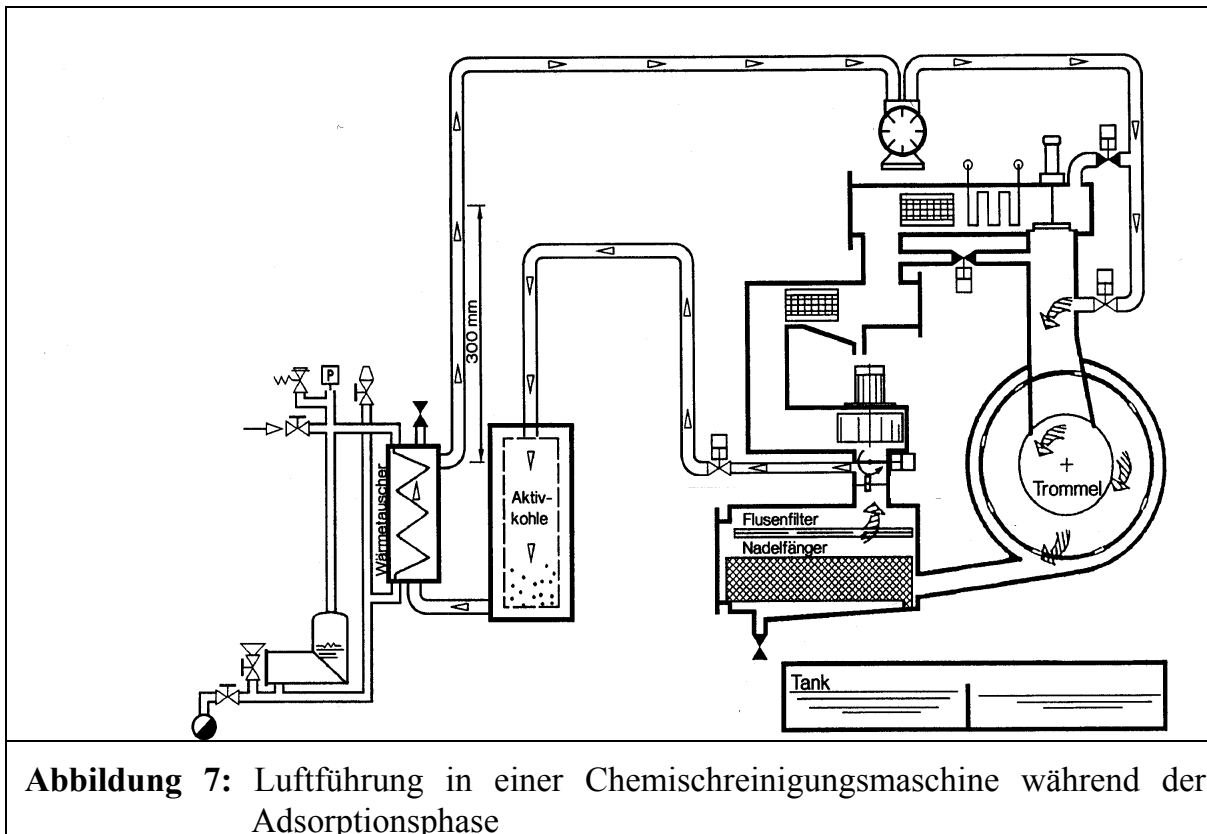
Unter Umgehung des Heizregisters wird die Luft durch die Trommel geblasen. Nach Austritt aus der Trommel durchströmt sie wieder Nadelfänger und Flusenfilter, bevor am Kälteaggregat die Temperatur reduziert, Lösemittel verflüssigt und die Lösemittelkonzentration weiter vermindert wird.



2.2.3.1.3. Adsorptionsphase

Zur Einhaltung der Grenzwerte der 2. BImSchV (PER-Konzentration der Luft am Trommelausgang $< 2 \text{ g/m}^3$ bei einer Warentemperatur $> 35 \text{ °C}$) muss der Lösemittelgehalt der Luft nach der Trocknung weiter erniedrigt werden, als dies durch die ausschließliche Verwendung eines Kälteaggregates möglich ist. Deshalb wird die Luft zur Erreichung des höchstzulässigen PER-Gehaltes von 2 g/m^3 im Kreislauf über Aktivkohle geblasen.

In **Abbildung 7** ist die Luftführung während der Adsorptionsphase dargestellt. Die Luft wird aus der Trommel zunächst über den Nadel- und Flusenfilter und anschließend über die Aktivkohle geführt. Über eine Messeinheit zur Überwachung der PER-Konzentration wird die Adsorption überprüft, d.h. dieser Kreislauf wird solange fortgesetzt, bis die maximal zulässige PER-Konzentration unterschritten wird. Danach wird das System freigegeben und die Beladetür kann entriegelt werden.



2.2.3.2. Luftführung im offenen System

Bei offenen oder ausblasenden Systemen wird die Luft nach der Trocknungs- bzw. Reduktionsphase nicht bis zum Erreichen der zulässigen maximalen PER-Konzentration im Kreis gefahren, sondern über Aktivkohlefilter nach draußen geblasen und auf diese Weise gereinigt (einzuhaltender PER-Grenzwert: 20 mg/m^3).

Derartige Systeme haben nur noch einen geringen Marktanteil. Zur Einhaltung der Grenzwerte der 2. BImSchV sind häufig zusätzliche Nachrüstungen, z.B. mit Kälteaggregaten, vorgenommen worden. Im Prinzip sind sonst alle wesentlichen Systemteile denen geschlossener Reinigungsmaschinen vergleichbar.

3. Experimenteller Teil

3.1. Messplanung

Aus früheren Untersuchungen des Forschungsinstitutes Hohenstein liegen Ergebnisse zur Bandbreite des Lösemittel-Restgehaltes von Textilien mit unterschiedlicher Faser-Zusammensetzung vor. Die Untersuchungen wurden an einer Reinigungsmaschine in geschlossener Bauweise durchgeführt, die bereits die Anforderungen der 2. BImSchV vom 10.12.1990 erfüllt. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen basieren auf dem vom Forschungsinstitut Hohenstein beschriebenen Extraktionsverfahren mit Toluol mit anschließender Flüssiginjektion. ^[5] Hiernach ergibt sich der Rest-PER-Gehalt für Wolle

zu 0,147 g/kg, für Baumwolle zu 0,242 g/kg, für Polyester zu 0,331 g/kg und für Polyacryl zu 0,48 g/kg Flachmaterial.

Anhand einer aus der Praxis stammenden Anteilsverteilung dieser Textilien wurden die so ermittelten Rest-PER-Gehalte gewichtet. Damit wurde die zu erwartende Lösemittelmenge ermittelt, die durch Textilien einer "normalen Charge" ausgetragen wird. Hiernach besteht eine "normale Charge" aus Ware mit Anteilen von 40% Wolle, 20% Baumwolle, 20% Polyester, 10% Polyacryl und 10% Sonstige Fasern (Viskose, Seide, Polyamid, Leinen).

Aus Nadelfänger und Flusenfilter entnommene Flusenrückstände von Textilien repräsentieren ebenfalls einen Mix unterschiedlicher Textil-Fasern. Daher lag die Vermutung nahe, dass der Rest-PER-Gehalt der Flusen innerhalb o.g. Bandbreite liegt und im Idealfall dem einer "normaler Charge" entspricht. In projektbegleitenden Voruntersuchungen hat das Landesumweltamt Flusenproben aus Chemischreinigungen in NRW entnommen und ebenfalls nach dem bereits vom Forschungsinstitut Hohenstein beschriebenen Extraktionsverfahren analysiert, und den PER-Gehalt der Flusen gaschromatographisch bestimmt. ^[5, 6] Beprobte wurden ausschließlich Reinigungsmaschinen in geschlossener Bauweise. Die Untersuchungen wurden unter Praxisbedingungen, d.h. während des Reinigungsbetriebes, durchgeführt.

Als sicherer und schneller als das Extraktionsverfahren mit Toluol gilt das Verfahren der Mehrfach-Dampfraum-Analyse (Mehrfach-Headspace-Extraktion, MHE) mit gaschromatographischer Trennung und Quantifizierung (Head-Space-Gaschromatographie, HSG). ^[7] Dieses Verfahren wird auch bei der Bestimmung leichtflüchtiger, halogener Kohlenwasserstoffe (LHKW) in Wässern seit Jahren praktiziert.

Während des Trocknungsprozesses werden Textil-Flusen im Nadelfänger und im Flusenfilter zurückgehalten. Der PER-Gehalt der Flusen kann prinzipiell von maschinentechnischen, verfahrenstechnischen und textilspezifischen Parametern abhängen. Um die vermuteten spezifischen Einflüsse auf den PER-Gehalt der Flusen zu ermitteln, wurde der PER-Gehalt der Flusen deshalb überwiegend nach diesem Verfahren bestimmt. Zur Gewährleistung repräsentativer Ergebnisse mussten im Rahmen der Untersuchung Maschinensysteme unterschiedlicher Bauweise (offene und geschlossene Systeme, Nadel- und Flusenfilter getrennt und in einer Einheit) berücksichtigt werden.

Diese Arbeiten wurden beim wfk-Institut für Angewandte Forschung GmbH, Krefeld, unter Praxisbedingungen durchgeführt. Hierzu wurden Chemischreinigungsbetriebe ermittelt, in denen die verschiedenen Maschinen-Techniken installiert sind und bei denen eine Bereitschaft zur Kooperation bestand.

Textilspezifische Einflüsse lassen sich im Routinebetrieb einer Chemischreinigung nicht erfassen, da hier unterschiedliche Textilien in einer Charge gereinigt werden. Deshalb wurden entsprechende Reinigungsversuche in einer Technikumsanlage des wfk-Institutes durchgeführt.

3.2. Untersuchte Chemischreinigungsanlagen

Das Landesumweltamt entnahm Flusenproben aus 20 Chemischreinigungsmaschinen in 16 Anlagen an verschiedenen Standorten Nordrhein-Westfalens. Insgesamt standen 70 Flusenproben aus Flusenfilter und Nadelfänger für die Analyse beim Landesumweltamt zur Verfügung.

Maschinentypen:

- Ama M60 E
- Böwe P 532, P 540
- Multimatic S, Phönix 360X2, 480X2, Phönix 420, 500, MD 640, 4892 K 4918
- Seco Shopstar 200

Bei den vom Landesumweltamt untersuchten Reinigungsmaschinen handelte es sich ausschließlich um solche in geschlossener Bauweise. Bei der Flusenentnahme wurde registriert, ob die gereinigten Chargen erheblich von einer "normalen Charge" abwich. Dies war beispielsweise der Fall, wenn überwiegend Wolldecken, Pullover oder Gardinen gereinigt wurden. Um zu überprüfen, ob durch den Wartungszustand von Nadelfänger und Flusenfilter ein Einfluss auf den PER-Gehalt der Flusen gegeben ist, wurde bei jeder Probenahme der letzte Wartungszeitpunkt (Entleerung von Nadelfänger und Flusenfilter) registriert. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind in **Tabelle A0, Teil 1-3** im Anhang ab Seite 42 aufgeführt.

Das wfk-Institut untersuchte 13 Chemischreinigungsbetriebe an unterschiedlichen Standorten in Nordrhein-Westfalen. Bei den untersuchten Reinigungsmaschinen handelte es sich um solche in geschlossener und offener Bauweise. Die beprobten Maschinen unterscheiden sich hinsichtlich ihres Baujahres und ihrer Beladepazität sowie in der Bauweise bzw. Anordnung von Nadelfänger und Flusenfilter. Zu den vom wfk-Institut beprobten Anlagen gehörten zwei offene Systeme. Eine zusätzliche Chemischreinigungsanlage für Modelluntersuchungen stand im Technikum zur Verfügung. In **Tabelle A 1** im Anhang (Teil 1 und 2, ab Seite 45) sind die maschinenrelevanten Daten sowie die im folgenden für die verschiedenen Chemischreinigungsmaschinen benutzte Nummerierung aufgelistet. Im wfk-Institut wurden über 70 gereinigte Chargen beprobt, die an insgesamt 14 verschiedenen Standorten 19 Chemischreinigungsmaschinen entnommen wurden. Insgesamt wurden über 450 Proben ausgewertet. Die Einzelergebnisse der Untersuchungen zur PER-Konzentration in Flusen- und Nadelfängerrückständen sind in **Tabelle A 2** im Anhang ab Seite 47 aufgeführt.

Maschinentypen:

- Ama M35 E, M45 E, M60 E
- Böwe P 525, P 532, P 540, Permac R30m und R30 Maxima
- Multimatic S, Phönix und Phönix BW
- Sovrana PS 402

Hersteller bzw. Lieferanten aller untersuchten Maschinen:

- Böwe Garment Care Systems GmbH
Rumplerstr. 2
D-86159 Augsburg
- Heprotex Maschinen GmbH
Oberburger Str. 165
D-63811 Stockstadt
- Multimatic Reinigungs-Systeme GmbH & Co.
Gerdenerstr. 71
D-49324 Melle
- Seco Maschinenfabrik GmbH
D-72108 Rottenburg
- Sovrana S.r.l.
Via Livelli 57
I-43010 Polesine
Parmense-Parma

3.3 Analytische Untersuchungen

3.3.1 Headspace-Gaschromatographie

Bei diesem Verfahren kann das Probenmaterial (Textilflusen) wenige Sekunden nach der Probenahme direkt und unverändert in die Headspace-Vials (siehe Kapitel 3.3.2 auf Seite 22) gegeben und gasdicht verschlossen werden. In diesen Gefäßen erfolgt auch die spätere gaschromatographische Quantifizierung.

Als Detektoren wurden ein Elektroneneinfangdetektor (ECD) und ein Flammenionisationsdetektor (FID) verwendet. Im Rahmen von Voruntersuchungen zeigte sich, dass die Empfindlichkeit des FID zur Bestimmung der PER-Konzentrationen in Flusen aus Chemischreinigungsmaschinen ausreichend ist. Ein weiterer Vorteil des FID liegt in seinem großen linearen Kalibrationsbereich.

Da der Analyt (hier: PER) bei der Mehrfach-Headspace-Extraktion vollständig aus der Matrix (hier: Flusen etc.) entfernt wird, können Matrixeffekte eliminiert werden. Störungen der Tetrachlorethylenanalytik durch flüchtige organische Verbindungen, wie sie z.B. in Reinigungsverstärkern enthalten sein können, treten bei der MHE-Technik unter den gewählten Randbedingungen nicht auf.

Die durch Integration der an einer Probe (Flusen) gemessener Detektorsignale berechneten Flächenwerte werden nach Extrapolation aufsummiert. Aus der erhaltenen

Summe kann die PER-Konzentration der Probe über eine Kalibrierfunktion bzw. einen Response-Faktor berechnet werden. Dieser kann aus den für Standards nach Integration der gemessenen Detektorsignale und Extrapolation erhaltenen Flächensummen berechnet werden. Alle analytischen Parameter müssen für Proben und Standards identisch sein. [8]

In **Abbildung 8** sind die mit Mehrfach-Headspace-Extraktionstechnik erhaltenen Chromatogramme einer perhaltigen Flusenprobe dargestellt. Die Signalintensität nimmt vom ersten bis zum vierten Injektionsschritt exponentiell ab.

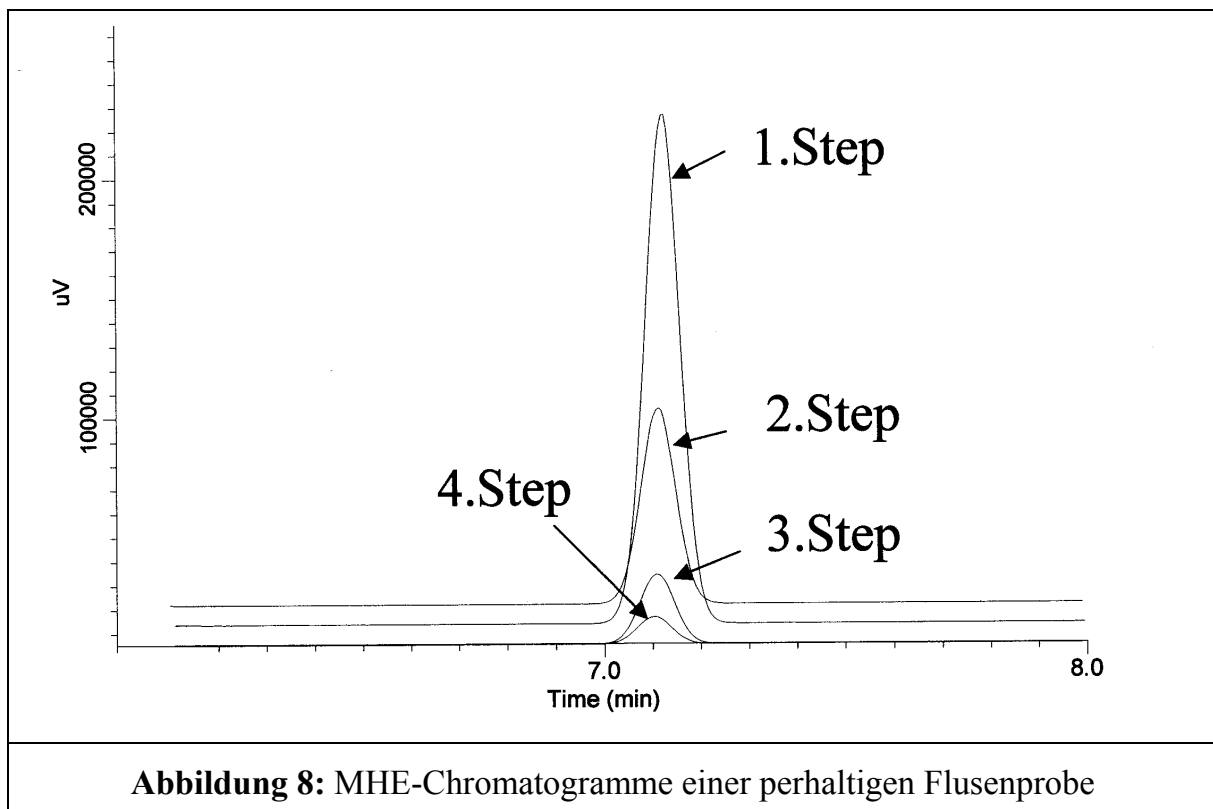


Abbildung 8: MHE-Chromatogramme einer perhaltigen Flusenprobe

Für die Mehrfach-Dampfdruckanalyse wurde ein automatisches Headspace-System "HS 40 XL" (Fa. Perkin Elmer GmbH, Überlingen) verwendet, das über eine beheizbare Transferleitung mit einem Gaschromatographen "AutoSystem" (Fa. Perkin Elmer GmbH, Überlingen) gekoppelt war. Die Auswertung erfolgte rechnerunterstützt mit der Software "TurboChrom[®]", Version 4.1 (Perkin Elmer GmbH, Überlingen). Als analytische Trennsäule wurde eine Rtx[®]-502.2-Säule (Fa. Restek GmbH, Bad Soden), Länge: 30 m, ID: 0,32 mm, dF: 1,8 µm eingesetzt. In den **Tabellen 1** und **2** sind die Geräteparameter im Detail aufgeführt.

Tabelle 1: Geräteparameter für das Headspace-System „HS 40 XL“

Ofentemperatur:	80 °C
Nadeltemperatur:	100 °C
Temperatur der Transferleitung:	100 °C
Thermostatisierzeit:	20 min
Trägergas:	Helium, Qualität: 5.0
Säulenvordruck:	200 kPa
Druckaufbauzeit:	1,5 min
Aufgabe- bzw. Injektionszeit:	0,06 min
Nadelverweilzeit:	0,2 min
Flaschenentlüftung:	Ein
Anzahl der Injektionen pro Probe:	4

Tabelle 2: Geräteparameter für Gaschromatograph „AutoSystem“

Temperatur des Injektionsport:	95 °C
Detektor:	FID
Detektortemperatur:	300 °C
Ofenprogramm:	
• Temperatur 1	40 °C
• IsoTime 1	0 min
• Rate 1	4 °C/min
• Temperatur 2	76 °C/min
• IsoTime 2	0 min
• Rate 2	35 °C/min
• Temperatur 3	250 °C
• IsoTime 3	1 min

3.3.2 Bestimmung des PER-Gehaltes von Flusen

Für die Bestimmung des PER-Gehaltes von Nadelfänger- und Flusenfilter-Rückständen wurden in den Textilreinigungsbetrieben die Flusen direkt vor Ort in die Headspacegläschen (Perkin Elmer GmbH, Überlingen) gegeben und mit PTFE-

beschichteten Spezial-Verschlusskappen (Perkin Elmer GmbH, Überlingen) unmittelbar nach der Probenahme gasdicht verschlossen. Zur Vermeidung eines PER-Eintrages in die Probengefäße aus der Umgebungsluft vor oder während der Probenahme wurden die Probenfläschchen unmittelbar vor der Probenahme mit einem Inertgas (Argon, höhere Dichte als Luft) gespült.

Zur Probenahme wurden nach Beendigung des kompletten Reinigungsprogramms, d.h. nach Entriegelung der Beladetür, die Klappen von Nadelfänger und/oder Flusenfilter geöffnet. Die Entnahme des Probenmaterials erfolgte mit einer Pinzette. In der Regel wurden von jeder Charge aus Nadelfänger und Flusenfilter mindestens zwei Proben entnommen. Die Entnahmemenge lag im Bereich zwischen 10 und 100 mg Flusen (Flusenfilter) bzw. Rückstand (Nadelfänger). Die Probenmasse wurde jeweils nach der gaschromatographischen Analyse im Labor ausgewogen.

3.3.3 Bestimmung des PER-Gehaltes von Flusen nach Lagerung

Für die Untersuchungen zum Abklingverhalten (Abnahme der PER-Konzentration von Textilflusen in Abhängigkeit von der Zeit, z.B. bei der Lagerung) wurden nach Beendigung eines Reinigungsvorganges, d.h. nach Entriegelung der Beladetür, aus den Rückständen eines Flusenfilters in insgesamt 20 Probenfläschchen Flusen überführt.

Zur Bestimmung des Ausgangswertes wurden unmittelbar nach der Probenahme einige Fläschchen verschlossen. Alle übrigen wurden nicht verschlossen, sondern im Labor in PER-freier Atmosphäre bei Raumtemperatur gelagert.

Nach Verstreichen verschiedener, bekannter Zeitintervalle wurden jeweils zwei Probenfläschchen verschlossen und der PER-Gehalt der enthaltenen Flusen bestimmt.

3.3.4 Bestimmung des Flusenfalls

Für die Bestimmung der in Chemischreinigungsanlagen anfallenden Flusenmengen wurde ein voll ausgelastetes Unternehmen ausgewählt, in dem permanent zwei Chemischreinigungsmaschinen in Betrieb waren, so dass eine effektive Durchführung der Untersuchungen sowie repräsentative Ergebnisse gewährleistet waren.

In diesem Betrieb wurden an verschiedenen Tagen an zwei Chemischreinigungsmaschinen ganztägig und nach Chargen getrennt die Rückstände aus Flusenfilter und Nadelfänger in Kunststoffbeutel eingeschlossen. Anschließend wurde die Flusenmenge im Labor ausgewogen. Ferner wurde zu jeder Charge die Art des Reinigungsgutes sowie die Maschinenbeladung in kg erfasst. Bei den gereinigten Chargen handelte es sich häufig um gemischte Ware, wie sie unter den Praxisbedingungen der Chemischreinigung oft anfällt.

4. Ergebnisse

4.1 PER-Gehalt von Flusen aus Flusenfilter und Nadelfänger

In **Abbildung 9** sind die vom Landesumweltamt ermittelten PER-Gehalte von Flusen aus Flusenfilter und Nadelfänger dargestellt.

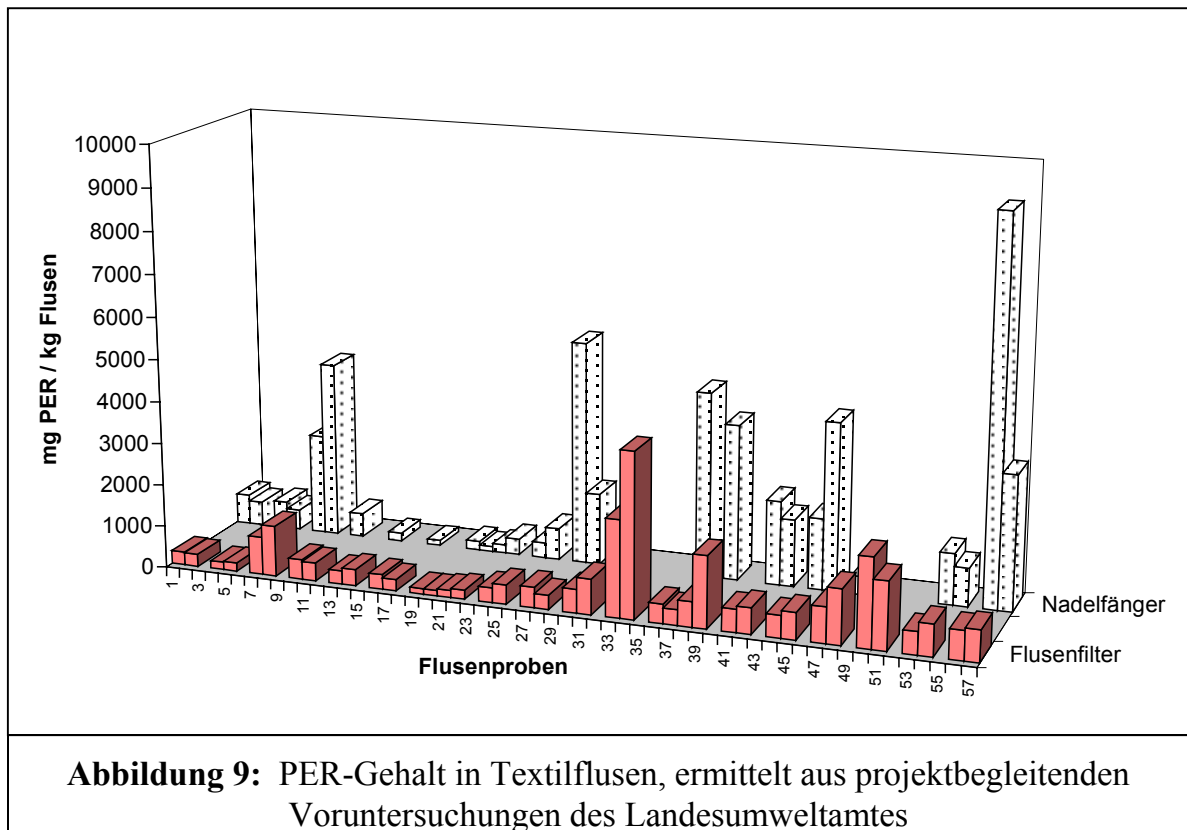


Abbildung 9: PER-Gehalt in Textilflusen, ermittelt aus projektbegleitenden Voruntersuchungen des Landesumweltamtes

4.2 PER-Gehalt von Flusen aus Flusenfilter und Nadelfänger bei getrennter und kompakter Anordnung in geschlossenen Systemen

In **Abbildung 10** sind die ermittelten PER-Gehalte von Flusen aus Flusenfilter und Nadelfänger (getrennte Anordnung) in geschlossenen Systemen dargestellt.

In **Abbildung 11** sind die ermittelten PER-Gehalte von Flusen aus Flusenfilter und Nadelfänger (kompakte Anordnung) in geschlossenen Systemen dargestellt.

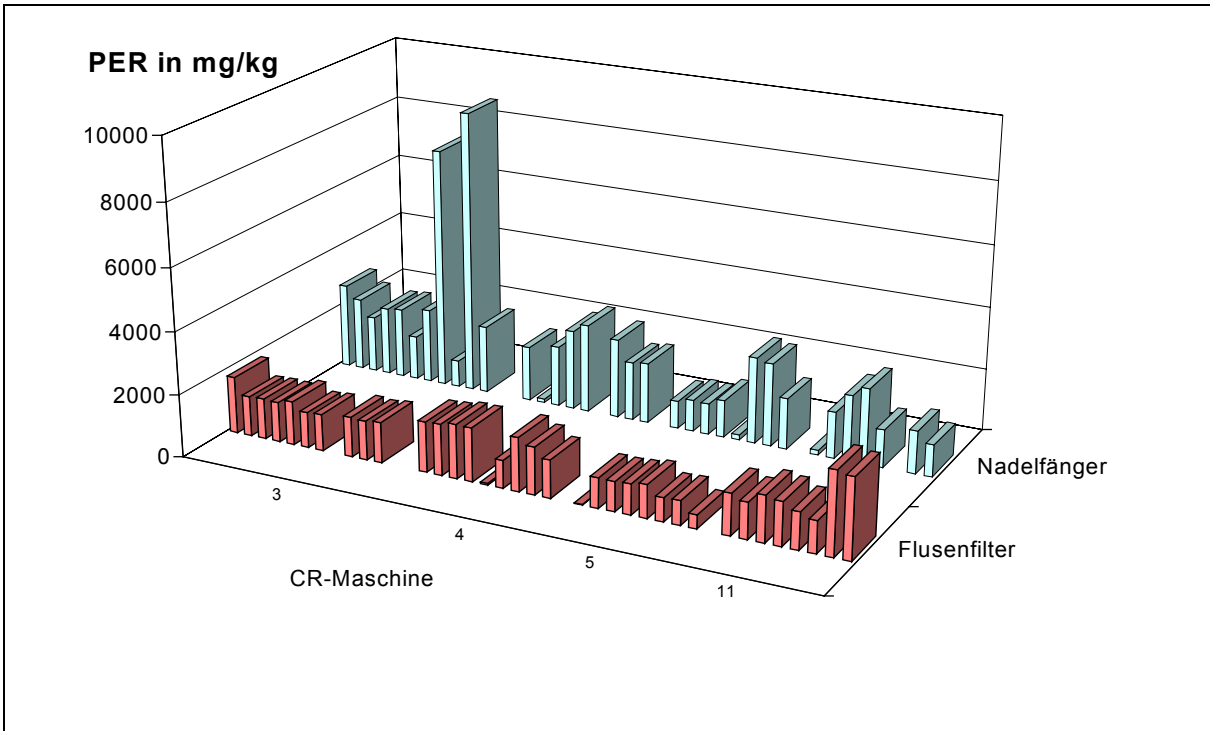


Abbildung 10: PER-Gehalt von Flusenfilter- und Nadelfängerrückständen in geschlossenen Systemen (getrennte Anordnung).

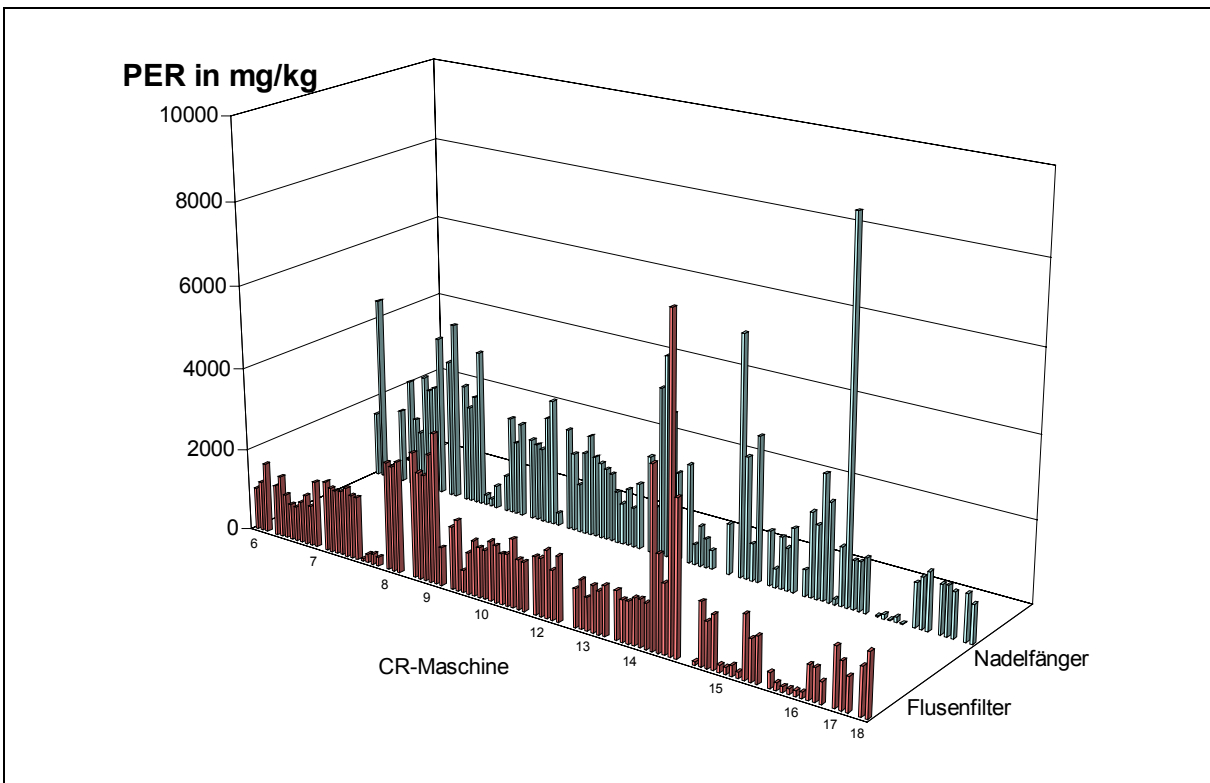
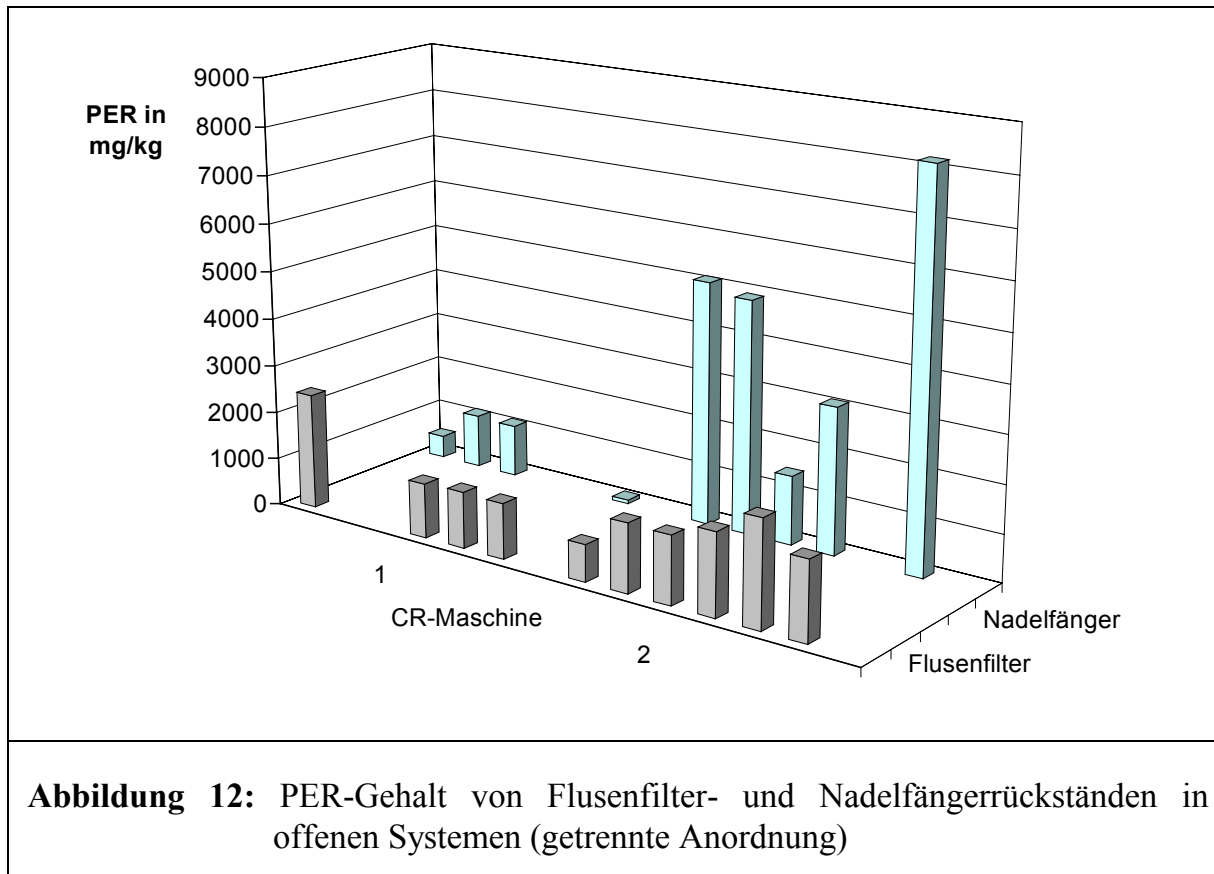


Abbildung 11: PER-Gehalt von Flusenfilter- und Nadelfängerrückständen in geschlossenen Systemen (kompakte Anordnung)

4.3 PER-Gehalt von Flusen aus Flusenfilter und Nadelfänger bei getrennter Anordnung in offenen Systemen

In **Abbildung 12** ist der PER-Gehalt von Flusen aus Flusenfilter bzw. Nadelfänger für die im Rahmen der vorliegenden Untersuchung beprobten offenen Systeme bei getrennter Anordnung dargestellt.



Zur Übersicht sind in **Abbildung 13** sämtliche Messergebnisse der vom Landesumweltamt und vom wfk-Institut untersuchten Chemischreinigungsmaschinen dargestellt.

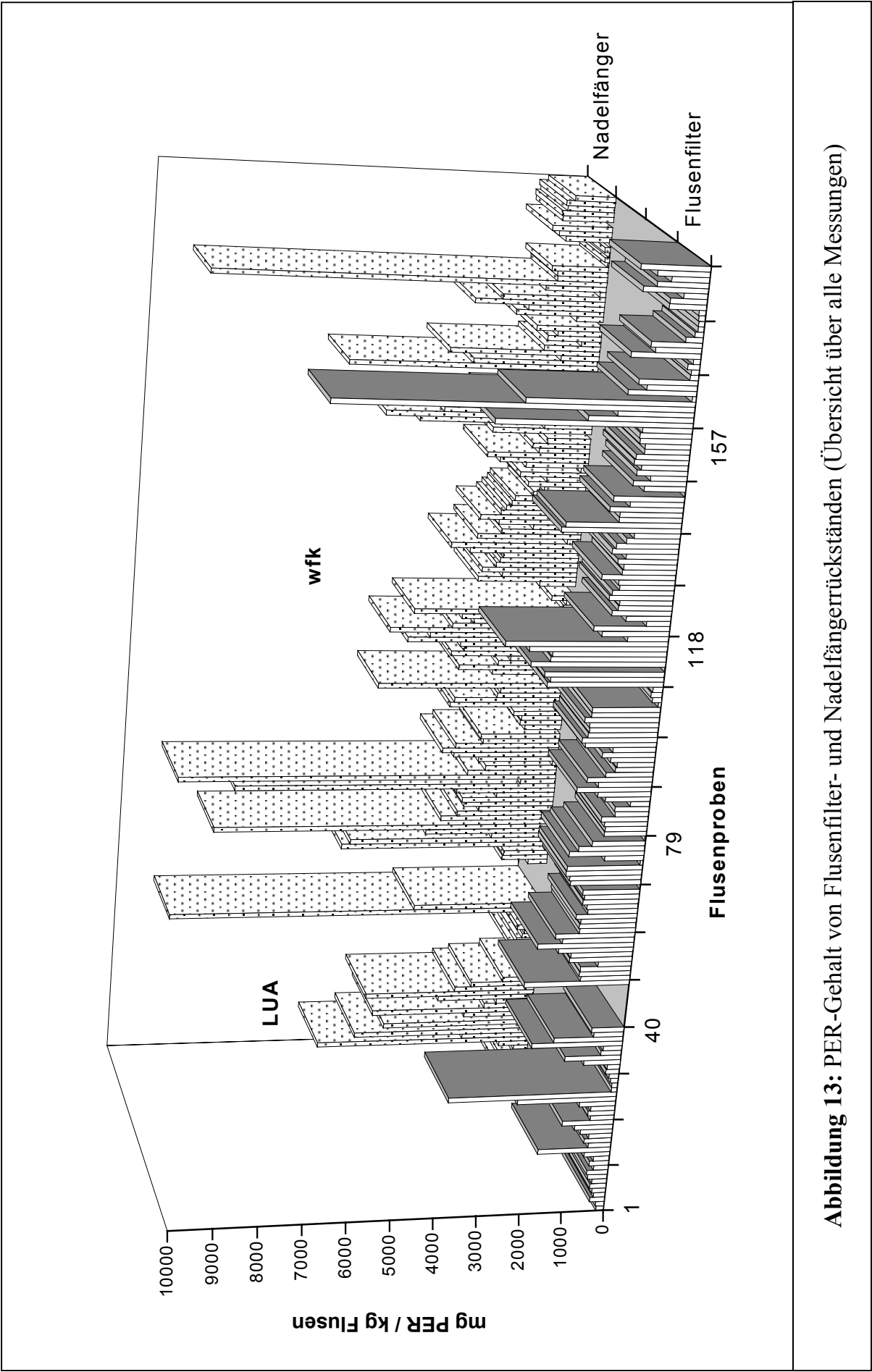
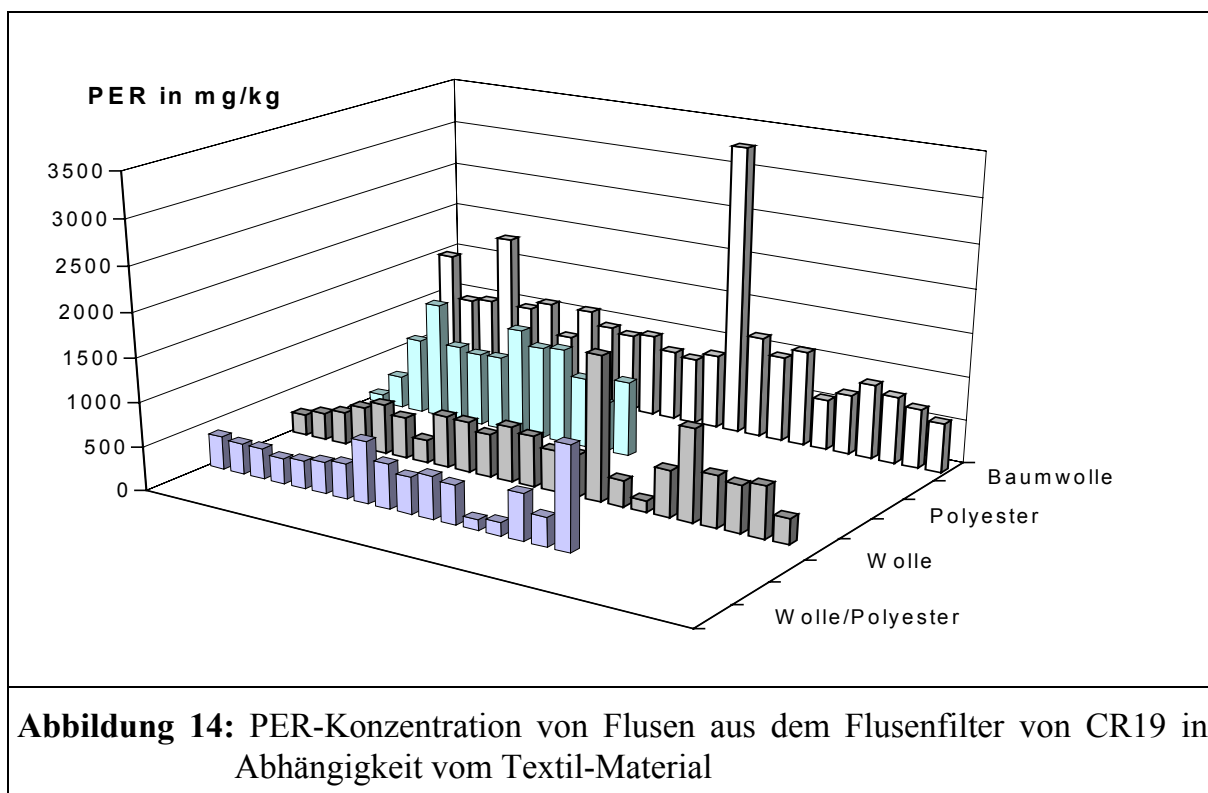


Abbildung 13: PER-Gehalt von Flusenfilter- und Nadelfängerrückständen (Übersicht über alle Messungen)

4.4 PER-Gehalt von Flusen aus Flusenfilter und Nadelfänger in Abhängigkeit von verfahrens- und textilspezifischen Parametern

In **Abbildung 14** sind die PER-Gehalte von Flusen aus dem Flusenfilter in Abhängigkeit vom gereinigten Textilmaterial dargestellt (siehe auch **Tabelle A 2**, im Anhang, Seite 47). Die Versuche wurden in einer Technikumsanlage durchgeführt. Dabei wurden sämtliche Parameter des Reinigungsvorganges an praxisübliche Verfahren angepasst und bei den Versuchen konstant gehalten. Die Chemischreinigungsmaschine (CR19) wurde mit Geweben aus Baumwolle, Wolle, Polyester und Mischgewebe aus Wolle/Polyester beschickt.

Zur Untersuchung einer eventuellen Anreicherung von PER in Flusenfilterrückständen in Abhängigkeit von der Anzahl der gereinigten Chargen (ohne zwischenzeitliche Reinigung des Flusenfängers) wurden nach dem Reinigen von 1, 2 und 3 Chargen jeweils Flusen entnommen und auf ihren PER-Gehalt untersucht. Die Ergebnisse sind in **Abbildung 15** dargestellt (siehe auch **Tabelle A 3**, im Anhang, Seite 51).



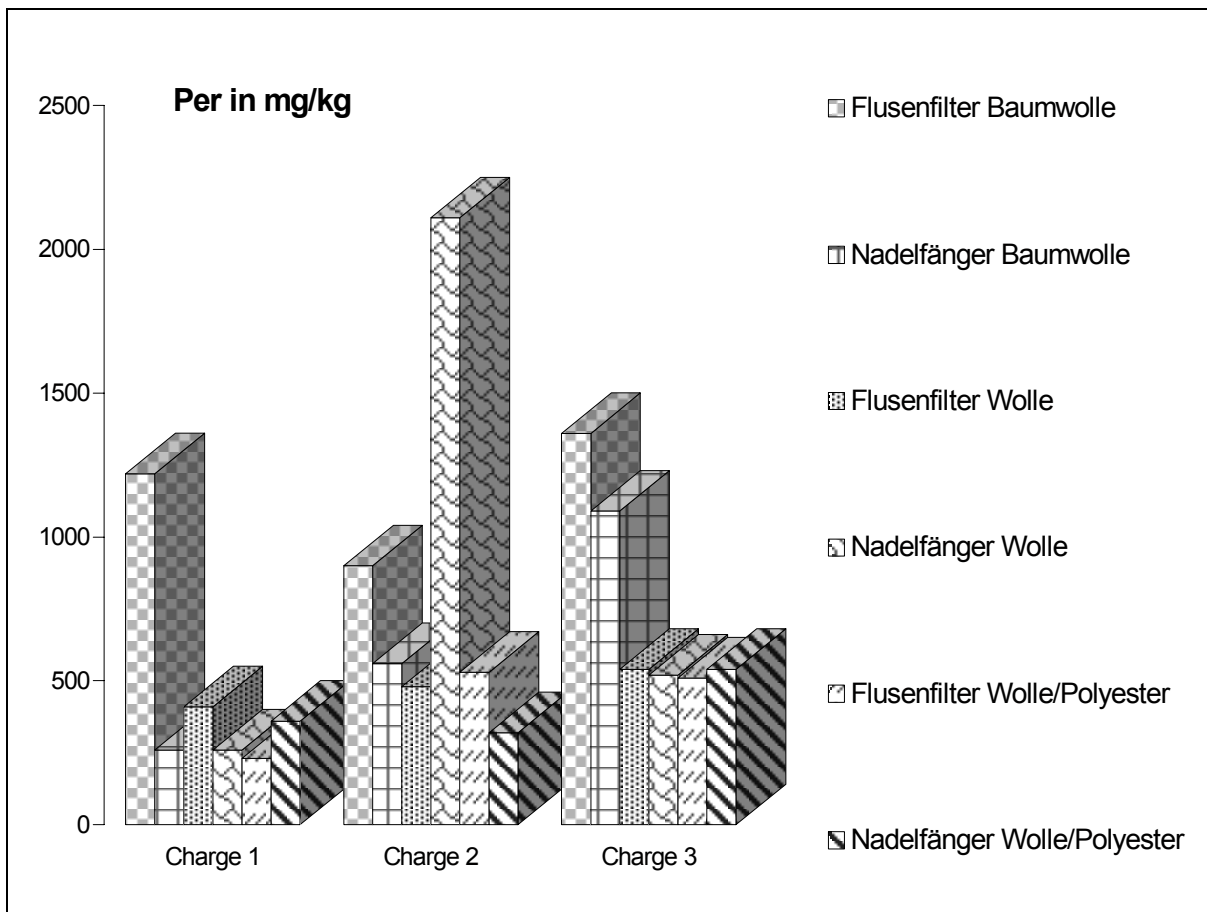
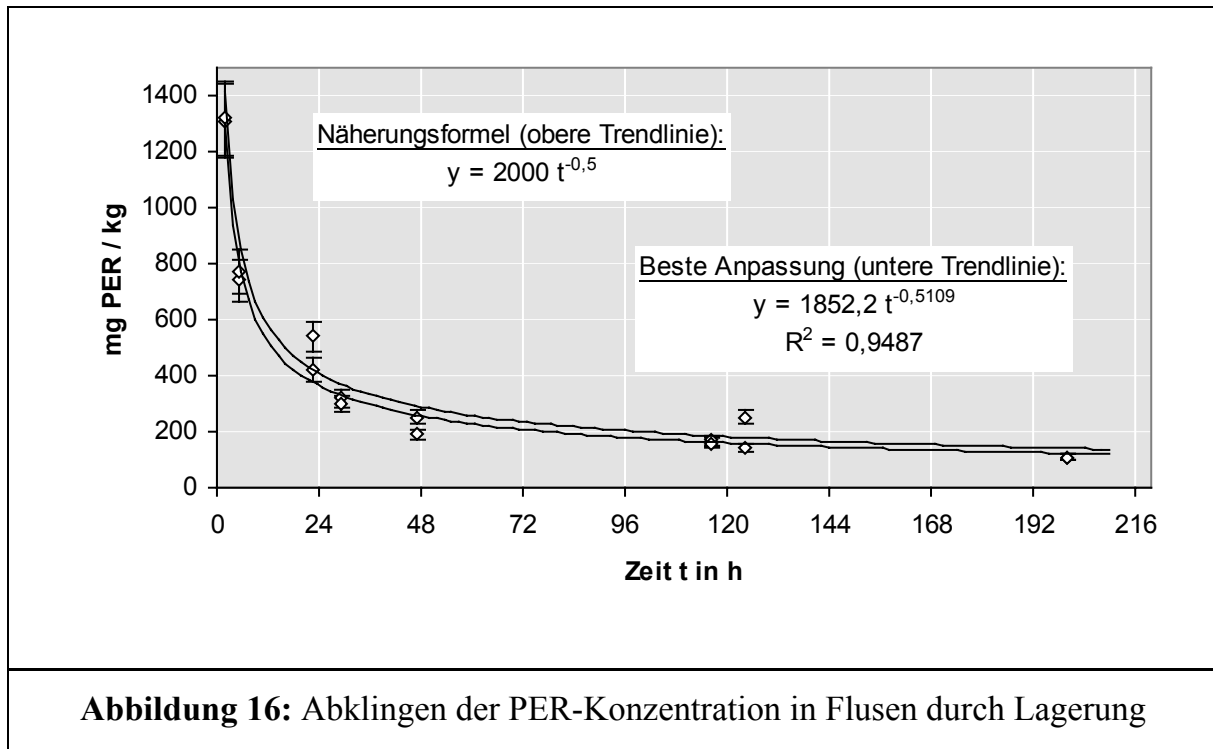


Abbildung 15: PER-Konzentration von Flusen aus Flusenfilter und Nadelfänger von CR19 nach dem Reinigen von 1, 2 und 3 Chargen

Bei den Probennahmen, die das Landesumweltamt durchgeführt hat, wurde gleichfalls die Anzahl der Chargen seit der letzten Flusenentnahme aus Flusenfilter und Nadelfänger protokolliert (siehe **Tabelle A0, Teil 1-3** auf Seite 42). Diese Proben entstammten allerdings unterschiedlichen Reinigungsmaschinen. Ein direkter Vergleich ist daher nicht möglich. Da die bis dahin erbrachten Ergebnisse aber keinen Hinweis auf einen signifikanten Zusammenhang zwischen dem PER-Gehalt der Textilflusen und dem Wartungszustand der Reinigungsmaschinen ergaben, bestand zu dieser Frage kein weiterer Untersuchungsbedarf.

4.5 PER-Gehalt von Flusen nach Lagerung

In **Abbildung 16** ist der zeitabhängige Verlauf der PER-Konzentration in Flusen aus Flusenfiltern dargestellt. Durch die nach chromatographischer Analyse erhaltenen Messpunkte wurde eine Ausgleichsfunktion gelegt. Die der Kurve zugrundeliegenden Daten sind in **Tabelle A 4** im Anhang auf Seite 51 aufgelistet.



Die Untersuchungen zum Abklingverhalten (vgl. **Tabelle A 4** auf Seite 51) zeigen, dass etwa die Hälfte des in den Flusen enthaltenen PER bereits nach ca. 3 bis 4 Stunden verdunstet ist und dass nach ca. 3 Tagen nur noch etwa 10 % der Ausgangskonzentration vorhanden ist. Die zeitabhängigen Rest-PER-Gehalte lassen sich recht einfach nach der in **Abbildung 16** angegebenen Näherungsformel berechnen, wenn man für die Abklingzeit t die Anzahl der Tage d einsetzt. So beträgt der Rest-PER-Gehalt z.B. nach 6 Tagen (144 h) 170 mg pro kg Flusen:

$$c_{PER} = \frac{1}{\sqrt{6t}} = (6t)^{-\frac{1}{2}} \quad [t] = d \quad \text{und} \quad [c_{PER}] = 10^3 \text{ mg / kg}$$

4.6 Untersuchungen zur anfallenden Flusenmenge

Zur Ermittlung der in der Chemischreinigung anfallenden Flusenmengen wurden 46 Chargen untersucht. In **Tabelle 3** sind die jeweiligen Beladungen und die ermittelten Flusenmengen zusammengestellt.

Tabelle 3: Daten zum Flusenfall

Chargen-Nr.	Beladung in kg	Flusenmenge in g	Flusenmenge in g/kg	Art des Reinigungsgutes
1	12	4,76	0,40	Gemischte Ware
2	12	2,13	0,18	Gemischte Ware
3	10	3,30	0,33	Gemischte Ware
4	20	25,09	1,25	Wolle
5	15	2,34	0,16	Gemischte Ware
6	15	3,59	0,24	Gemischte Ware
7	16	6,51	0,41	Wolle
8	10	3,74	0,37	Gemischte Ware
9	20	5,95	0,30	Gemischte Ware
10	18	3,07	0,17	Gemischte Ware
11	4	2,17	0,54	Wolle
12	20	3,31	0,17	Gemischte Ware
13	15	3,39	0,23	Gemischte Ware
14	12	2,67	0,22	Gemischte Ware
15	10	9,61	0,96	Wolle
16,17,18	45	12,43	0,28	Gemischte Ware
19	15	6,08	0,41	Gemischte Ware
20*	6	44,75	7,46	Wollteppich
21	7	6,89	0,98	Gemischte Ware
22	8	3,47	0,43	Gemischte Ware
23	23	2,79	0,12	Gemischte Ware
24,25,26	60	9,00	0,15	Gemischte Ware
27	22	2,55	0,12	Gemischte Ware
28	13	4,37	0,34	Wollteppich
29	17	4,15	0,24	Gemischte Ware
30	17	1,57	0,09	Gemischte Ware
31	17	4,80	0,28	Gemischte Ware

Tabelle 3: Daten zum Flusenfall

Chargen-Nr.	Beladung in kg	Flusenmenge in g	Flusenmenge in g/kg	Art des Reinigungsgutes
32	17	2,92	0,17	Gemischte Ware
33,34,35	60	12,19	0,20	Gemischte Ware
36	4	2,74	0,69	Angora
37	12	3,14	0,26	Gemischte Ware
38	12	2,18	0,18	Gemischte Ware
39,40,41	71	7,51	0,11	Gemischte Ware
42	10	1,67	0,17	Gemischte Ware
43	25	2,92	0,12	Gemischte Ware
44	25	3,04	0,12	Gemischte Ware
45	25	2,52	0,10	Gemischte Ware
46	20	2,69	0,13	Gemischte Ware
45 Chargen	$\Sigma = 736 \text{ kg}$	$\Sigma = 183 \text{ g}$	$\bar{x} = 0,25 \text{ g/kg}$	

* Charge Nr. 20 wurde aufgrund der völlig untypischen Werte bei der Berechnung nicht berücksichtigt.

Aus den erfassten Daten ergibt sich somit eine durchschnittliche Flusenmenge von ca. 0,25 g pro kg gereinigter Ware. Bei dieser Berechnung wurde die in Tabelle 3 aufgeführte Charge 20 nicht berücksichtigt, da diese im Vergleich zu allen anderen Daten völlig untypische Werte aufweist. Bei der Reinigung reiner Wollchargen zeigt sich insgesamt eine Tendenz zu höheren Flusenmengen: Der durchschnittliche Flusenfall für gemischte Ware (die auch Wolle enthält) liegt bei ca. 0,2 g/kg während der durchschnittliche Flusenfall bei reinen Wollchargen ca. 0,7 g/kg beträgt.

4.7 Fehlerabschätzung

Zur Abschätzung des Analysenfehlers der Konzentrationsangaben zum PER-Gehalt von Flusen müssen die Teilschritte des Analysenganges sowie die für die Berechnung relevanten Größen berücksichtigt werden. Der Analysengang läßt sich in drei maßgebliche Teilbereiche gliedern:

- Ansetzen von PER-Stammlösungen (Pipettierfehler)
- Gaschromatographische Analyse [methodenbedingter Fehler (Detektorsignale)]
- Wägung zur Bestimmung der Masse der beprobten Flusen (Wägefehler)

Der Gesamtfehler der PER-Konzentration der Flusen setzt sich additiv aus den Fehlern dieser Teilschritte zusammen.

In **Tabelle A 5** (siehe Anhang auf Seite 52) sind die an den Kalibrierstandards bei den jeweiligen Injektionsschritten gemessenen Detektorcounts wiedergegeben. Ferner wurde die Annahme gemacht, dass es sich bei allen Daten um eine Grundgesamtheit handelt. Der daraus berechnete relative Fehler der gaschromatographischen Messungen beträgt ca. 7,7 %.

Für den Wägefehler sowie den Pipettierfehler wurden je rund 0,5 % ermittelt.

Aus den genannten Fehlern resultiert für die ermittelten PER-Konzentrationen in Flusen somit ein Fehler von < 9 %.

5. Diskussion der Ergebnisse

5.1 PER-Gehalt von Flusen aus Flusenfilter und Nadelfänger

Sowohl der Mittelwert für die PER-Gehalte aller Rückstände aus Flusenfiltern [1300 mg/kg (ausreißerfrei)] als auch der Mittelwert für die PER-Gehalte aller Rückstände aus Nadelfängern [1980 mg/kg (ausreißerfrei)], ermittelt nach MHE, liegen unter 2000 mg/kg. Die vom Landesumweltamt ermittelten PER-Gehalte, ermittelt nach dem Extraktionsverfahren mit Toluol, liegen ebenfalls in dieser Größenordnung. Zum Vergleich: Der Mittelwert für die PER-Gehalte der Rückstände aus Flusenfiltern ergibt 0,8 g/kg (ausreißerfrei), der Mittelwert für die PER-Gehalte der Rückstände aus Nadelfängern ergibt 1,8 g/kg (ausreißerfrei). Die für Rückstände aus Flusenfilter bzw. Nadelfänger ermittelten PER-Konzentrationen weisen relativ große Schwankungsbreiten auf. Dies gilt sowohl für die an verschiedenen Chemischreinigungsmaschinen ermittelten Werte einerseits als auch für die jeweils an einer Chemischreinigungsmaschine ermittelten Werte andererseits. Auch baugleiche Systeme weisen erhebliche Unterschiede in den PER-Gehalten der Flusen auf. Es ist deshalb davon auszugehen, dass diese Schwankungen nicht in den unterschiedlichen Chemischreinigungsmaschinen der untersuchten Hersteller begründet sind. Konstruktionsmerkmale wie die Anordnung von Flusenfilter und Nadelfänger (kompakt oder getrennt) und deren Bauart (z.B. „Sack“ bzw. „Matte“), offene oder geschlossene Systeme oder die Beladekapazität haben keinen signifikanten Einfluss auf den PER-Gehalt der Flusen.

Es ist vielmehr davon auszugehen, dass die Hauptursache für die unterschiedlichen PER-Gehalte in der unterschiedlichen Beschaffenheit (z.B. Ein- oder Mehrlagigkeit, Flächengewicht, Dicke und Luftdurchlässigkeit) der in der Praxis zu reinigenden Textilien, nicht jedoch im textilen Material selbst liegt. Darüber hinaus kann der (im Einzelfall nicht bekannte) Wartungszustand sowie die jeweilige Beladung der Maschinen eine Rolle spielen. Im Falle der Nadelfänger-Rückstände ist ferner zu berücksichtigen, dass das Flusenmaterial bei Nadelfängern deutlich inhomogener ist als bei Flusenfiltern.

Ein Vergleich der einzelnen untersuchten Maschinensysteme hinsichtlich der PER-Gehalte von Rückständen aus Flusenfiltern bzw. Nadelfängern ist somit aufgrund der genannten Gegebenheiten nicht zulässig bzw. sinnvoll.

Auch die im Rahmen eines Forschungsprojektes ^[9] bestimmten PER-Konzentrationen in gereinigten Textilien wiesen große Schwankungen auf. Insgesamt liegen die in den Flusen gefundenen PER-Konzentrationen höher als die für gereinigte Textilien bestimmten Werte. ^[9] Mögliche Ursachen hierfür können darin liegen, dass die Temperatur am Eingang zum Nadelfänger bzw. Flusenfilter niedriger ist als am Trommeleingang, dass der zeitliche Temperaturverlauf in der Trommel einerseits und in Nadelfänger bzw. Flusenfilter andererseits verschieden ist und dass die Flusen eine wesentlich größere Oberfläche und damit ein anderes Adsorptionsverhalten aufweisen als die gereinigten Textilien.

5.2 PER-Gehalt von Flusen in Abhängigkeit von textilspezifischen Parametern

Die für die unterschiedlichen textilen Materialien gemessenen PER-Konzentrationen liegen in der gleichen Größenordnung und erlauben keine Rückschlüsse auf wesentliche Einflüsse des textilen Materials selbst. Dagegen sind Konstruktionsmerkmale wie z.B. Ein- oder Mehrlagigkeit, Flächengewicht, Dicke und Luftdurchlässigkeit der gereinigten Textilien von großer Bedeutung.

5.3 PER-Gehalt von Flusen nach Lagerung

Die Untersuchungen zum Abklingverhalten des PER-Gehaltes in Textilflusen zeigen, dass unter den gewählten Versuchsbedingungen nach ca. 2-3 Tagen nur noch etwa 10 % der Ausgangskonzentration vorhanden ist.

Durch eine z.B. einwöchige Lagerung der Flusen in geeigneten gasdurchlässigen Behältnissen (z.B. Textil-Beutel oder -Netze), z.B. in dem Bereich des Chemischreinigungsbetriebes, in dem auch die gereinigte Ware bis zur Abholung durch den Kunden aufbewahrt wird, könnte der PER-Gehalt somit um mehr als 90 % reduziert werden.

6. Empfehlung

Derzeit werden in Deutschland pro Jahr ca. 150000 t Textilien gereinigt. Da hiervon ca. 70 % in PER gereinigt werden, bedeutet dies bei einem Flusenanstieg von ca. 0,25 g/kg (siehe 4.6) eine Flusen-Gesamtmenge von ca. 30 t pro Jahr. Unter Annahme eines mittleren Ausgangs-PER-Gehaltes der Flusen von 2 g/kg ergibt sich hieraus ein Gesamt-Ausgangs-PER-Gehalt der Flusen von ca. 60 kg pro Jahr. Dieser könnte durch eine einwöchige Lagerung um ca. 90 % auf ca. 0,2 g/kg bzw. eine Gesamtmenge von ca. 6 kg PER pro Jahr reduziert werden.

Bei einer Gesamtzahl von etwa 3900 Chemischreinigungsbetrieben, wovon ca. 70 %, also ca. 2730 Betriebe, mit PER reinigen, bedeutet dies pro Betrieb und Jahr eine durchschnittliche PER-Menge von ca. 2 g, die in den Flusen anfällt und entsorgt werden muss. Bei 250 Arbeitstagen pro Jahr entspricht dies etwa 9 mg PER pro Arbeitstag und Betrieb.

Die Ablagerung des Abfalls auf Deponien der Klasse II stellt keinen geeigneten Entsorgungsweg dar. Um den Abfall als frei von schädlichen Verunreinigungen auszuweisen, müsste der Gehalt an PER auf ≤ 50 mg/kg gesenkt werden.

Aufgrund der Ergebnisse ist - insbesondere unter Berücksichtigung der Tatsache, dass ein großer Teil des anfallenden Hausmülls verbrannt wird (1993: 62 % in den alten Bundesländern, 45 % in Deutschland ^[10]) und damit nicht zu einer Grundwasserbelastung beitragen kann - davon auszugehen, dass eine Entsorgung der Rückstände aus Flusenfiltern und Nadelfängern von Textilreinigungsanlagen für Tetrachlorethen (PER) über den Hausmüll möglich ist, wenn die Rückstände zuvor mindestens eine Woche in geeigneten Behältnissen im Chemischreinigungsbetrieb gelagert werden. Als Lagerort sind nur die Bereiche geeignet, an denen die Raumluft über Erfassungseinrichtungen abgesaugt wird. Weiterhin muss sichergestellt werden, dass dieser Abfall in einer dafür geeigneten Verbrennungsanlage entsorgt wird und nicht einen anderen möglichen Weg bei der Hausmüllentsorgung beschreitet. Die Anlieferung des Abfalls muss separat erfolgen. Die Aufgabe in die Verbrennung ist so zu steuern, dass ein störungsfreier Betrieb der Anlage gewährleistet wird. Ist dies nicht leistbar, bleibt nur die Sonderabfallverbrennung wie für die übrigen Rückstände (Destillationsrückstände) aus Chemischreinigungen.

In jedem Fall ist für die Textilflusen eine separate Mitnahmemöglichkeit zu schaffen.

7. Anhang

Abbildungen

ABBILDUNG 1: SCHEMATISCHE DARSTELLUNG EINER CHEMISCHREINIGUNGSMASCHINE (PER).....	10
ABBILDUNG 2: RÜCKANSICHT EINER CHEMISCHREINIGUNGSMASCHINE (PER).....	11
ABBILDUNG 3: KOMPAKTE ANORDNUNG VON NADELFÄNGER UND FLUSENFILTER	13
ABBILDUNG 4: GETRENNTE ANORDNUNG VON NADELFÄNGER UND FLUSENFILTER	13
ABBILDUNG 5: LUFTFÜHRUNG IN EINER CHEMISCHREINIGUNGSMASCHINE WÄHREND DER TROCKNUNGSPHASE	15
ABBILDUNG 6: LUFTFÜHRUNG IN EINER CHEMISCHREINIGUNGSMASCHINE WÄHREND DER REDUKTIONSPHASE	16
ABBILDUNG 7: LUFTFÜHRUNG IN EINER CHEMISCHREINIGUNGSMASCHINE WÄHREND DER ADSORPTIONSPHASE	17
ABBILDUNG 8: MHE-CHROMATOGRAMME EINER PERHALTIGEN FLUSENPROBE.....	21
ABBILDUNG 9: PER-GEHALT IN TEXTILFLUSEN, ERMITTELT AUS PROJEKTBEGLEITENDEN VORUNTERSUCHUNGEN DES LANDESUMWELTAMTES.....	24
ABBILDUNG 10: PER-GEHALT VON FLUSENFILTER- UND NADELFÄNGERRÜCKSTÄNDEN IN GESCHLOSSENEN SYSTEMEN (GETRENNTE ANORDNUNG).	25
ABBILDUNG 11: PER-GEHALT VON FLUSENFILTER- UND NADELFÄNGERRÜCKSTÄNDEN IN GESCHLOSSENEN SYSTEMEN (KOMPAKTE ANORDNUNG).....	25
ABBILDUNG 12: PER-GEHALT VON FLUSENFILTER- UND NADELFÄNGERRÜCKSTÄNDEN IN OFFENEN SYSTEMEN (GETRENNTE ANORDNUNG).....	26
ABBILDUNG 13: PER-GEHALT VON FLUSENFILTER- UND NADELFÄNGERRÜCKSTÄNDEN (ÜBERSICHT ÜBER ALLE MESSUNGEN).....	27
ABBILDUNG 14: PER-KONZENTRATION VON FLUSEN AUS DEM FLUSENFILTER VON CR19 IN ABHÄNGIGKEIT VOM TEXTILMATERIAL.....	28
ABBILDUNG 15: PER-KONZENTRATION VON FLUSEN AUS FLUSENFILTER UND NADELFÄNGER VON CR19 NACH DEM REINIGEN VON 1, 2 UND 3 CHARGEN.....	29
ABBILDUNG 16: ABKLINGEN DER PER-KONZENTRATION IN FLUSEN DURCH LAGERUNG	30

Tabellen

TABELLE 1:	GERÄTEPARAMETER FÜR DAS HEADSPACE-SYSTEM „HS 40 XL“	22
TABELLE 2:	GERÄTEPARAMETER FÜR GASCHROMATOGRAPH „AUTOSYSTEM“	22
TABELLE 3:	DATEN ZUM FLUSENANFALL	31
TABELLE A 0:	ÜBERSICHT ÜBER DIE IN PROJEKTBEGLEITENDEN VORUNTERSUCHUNGEN VOM LANDESUMWELTAMT UNTERSUCHTEN CHEMISCHREINIGUNGSMASCHINEN.....	42
TABELLE A 1:	ÜBERSICHT ÜBER DIE VOM WFK-INSTITUT UNTERSUCHTEN CHEMISCHREINIGUNGSMASCHINEN CR1 BIS CR18 UND CR19.....	45
TABELLE A 2:	PER-GEHALT VON NADELFÄNGER- UND FLUSENFILTERRÜCKSTÄNDEN IN MG/KG (CR-MASCHINEN CR1 BIS CR18 UND CR19).....	47
TABELLE A 3:	PER-GEHALT VON FLUSEN AUS FLUSENFILTER UND NADELFÄNGER NACH DEM REINIGEN VON 1, 2 UND 3 CHARGEN IN CR19	51
TABELLE A 4:	UNTERSUCHUNGEN ZUM ABKLINGVERHALTEN DES PER-GEHALTES	51
TABELLE A 5:	AN STANDARDS GEMESSENE DETEKTORSIGNALE UND RELATIVE STANDARDABWEICHUNG DES MITTELWERTES	52

Tabelle A0, Teil 1-3: Übersicht über die in projektbegleitenden Voruntersuchungen vom Landesumweltamt untersuchten Chemischreinigungsmaschinen											
Nr.	Hersteller Modell, Typ	Baujahr	Füllmenge		PER-Gehalt der Flusen in g/kg						
			Charge		Nadelfänger		Flusenfilter		Nadelfänger		Flusenfilter
1	Multimatic Phönix 4892 K 4918	1992	20 kg	1. Probe	2. Probe	1. Probe	2. Probe	1. Probe	2. Probe	1. Probe	2. Probe
				5,3	1,7	0,49	0,34	0,49	0,34		
2	Multimatic Phönix 500	1991	25 kg	1. Probe	2. Probe	1. Probe	2. Probe	1. Probe	2. Probe	1. Probe	2. Probe
				58*	130*	2,1	1,6	2,1	1,6		
3	Multimatic Phönix 500	1994	25 kg	1. Probe	2. Probe	1. Probe	2. Probe	1. Probe	2. Probe	1. Probe	2. Probe
				1,7	4	0,53	0,64	0,53	0,64		
4	Multimatic Phönix 500	1994	25 kg	1. Probe	2. Probe	1. Probe	2. Probe	1. Probe	2. Probe	1. Probe	2. Probe
				0,43	0,38	0,85	1,3	0,85	1,3		
5	Multimatic Phönix MD 640	1995	32 kg	1. Probe	2. Probe	1. Probe	2. Probe	1. Probe	2. Probe	1. Probe	2. Probe
				9,1	3,2	0,69	0,75	0,69	0,75		
6	Multimatic Phönix 480 X2	1992	18 kg	1. Probe	2. Probe	1. Probe	2. Probe	1. Probe	2. Probe	1. Probe	2. Probe
				2	1,6	0,55	0,62	0,55	0,62		

* Charge Nr. 2 (Nadelfänger) wurde aufgrund der völlig untypischen Werte bei der Berechnung nicht berücksichtigt

Fortsetzung (Teil 2)

Tabelle A 0, Teil 1-3: Übersicht über die in projektbegleitenden Voruntersuchungen vom Landesumweltamt untersuchten Chemischreinigungsmaschinen

Nr.	Hersteller Modell, Typ	Baujahr	Füllmenge		PER-Gehalt der Flusen in g/kg			
			Charge		Nadelfänger		Flusenfilter	
7	<u>Multimatic</u> Phönix 360 X2	1992	24 kg	1. Probe	2. Probe	1. Probe	2. Probe	Flusenfilter
				2,4	4,2	0,9	1,2	
8	<u>Multimatic</u> Phönix 420	1994	21 kg	1. Probe	---	0,46	0,37	Flusenfilter
				4,4	---	0,46	0,37	
9	<u>Multimatic</u> Phönix 420	1994	21 kg	1. Probe	2. Probe	1. Probe	2. Probe	Flusenfilter
				3,7	---	0,6	1,7	
10	<u>Multimatic</u> Multimatic S	1994	14 kg	1. Probe	2. Probe	1. Probe	2. Probe	Flusenfilter
				0,71	0,57	0,31	0,29	
11	<u>Böwe</u> P 540	1994	20 kg	1. Probe	2. Probe	1. Probe	2. Probe	Flusenfilter
				0,81	---	0,56	0,84	
12	<u>Böwe</u> P 532	1993	16 kg	1. Probe	2. Probe	1. Probe	2. Probe	Flusenfilter
				0,64	0,48	0,18	0,2	
13	<u>Böwe</u> P 540	1991	20 kg	1. Probe	2. Probe	1. Probe	2. Probe	Flusenfilter
				0,12	---	0,35	0,27	

Tabelle A 0, Teil 2-3: Übersicht über die in projektbegleitenden Voruntersuchungen vom Landesumweltamt untersuchten Chemischreinigungsmaschinen											
Nr.	Hersteller Modell, Typ	Baujahr	Füllmenge		PER-Gehalt der Flusen in g/kg						
			Charge		Nadelfänger		Flusenfilter		Flusenfilter		
14	<u>Böwe</u> P 540	1994	20 kg	1. Probe	2. Probe	Nadelfänger		Flusenfilter		Flusenfilter	
				0,36	0,75	0,35	0,46	0,46			
15	<u>Böwe</u> P 540	1994	20 kg	1. Probe	2. Probe	Nadelfänger		Flusenfilter		Flusenfilter	
				0,57	---	0,47	0,43	0,43			
16	<u>Böwe</u> P 532	1989	18 kg	1. Probe	2. Probe	Nadelfänger		Flusenfilter		Flusenfilter	
				0,21	0,12	0,13	0,13	0,13			
17	<u>Böwe</u> P 540	1992	20 kg	1. Probe	2. Probe	Nadelfänger		Flusenfilter		Flusenfilter	
				0,2	0,38	0,17	0,22	0,22			
18	<u>Seco</u> Shopstar 200	1990	20 kg	1. Probe	2. Probe	Nadelfänger		Flusenfilter		Flusenfilter	
				400*	44*	2,3	3,9	3,9			
19	<u>Ama</u> 1160 E	1994	28 kg	1. Probe	2. Probe	Nadelfänger		Flusenfilter		Flusenfilter	
				1,22	0,92	0,54	0,75	0,75			

* Charge Nr.18 (Nadelfänger) wurde aufgrund der völlig untypischen Werte bei der Berechnung nicht berücksichtigt

Tabelle A 1: Übersicht über die vom wfk-Institut untersuchten Chemischreinigungsmaschinen CR1 bis CR18 und CR19					
Maschinen-codierung	Baujahr	Belade-kapazität	Maschinen-system	Standort	
CR1	1975	30 kg	Offenes System, getrennte Anordnung von Nadelfänger und Flusenfilter	Wohngebiet, Seitenstrasse zur Einkaufsstrasse, Raumgröße: ca. 1200 m ³	
CR2	1972	30 kg	Offenes System, getrennte Anordnung von Nadelfänger und Flusenfilter	Wohngebiet, Seitenstrasse zur Einkaufsstrasse, Raumgröße: ca. 1200 m ³	
CR3	1995	16 kg	Geschlossenes System, getrennte Anordnung von Nadelfänger und Flusenfilter	Wohngebiet, Seitenstrasse zur Einkaufsstrasse, Raumgröße: ca. 200 m ³	
CR4	1995	16 kg	Geschlossenes System, getrennte Anordnung von Nadelfänger und Flusenfilter	Wohngebiet, Seitenstrasse zur Einkaufsstrasse, Raumgröße: ca. 200 m ³	
CR5	1994	24 kg	Geschlossenes System, getrennte Anordnung von Nadelfänger und Flusenfilter	Wohngebiet, Seitenstrasse zur Einfallsstrasse, Raumgröße: ca. 200 m ³	
CR6	1998	32 kg	Geschlossenes System, kompakte Anordnung von Nadelfänger und Flusenfilter	Randlage, Einkaufszentrum, Raumgröße: ca. 400 m ³	
CR7	1990	18 kg	Geschlossenes System, getrennte Anordnung von Nadelfänger und Flusenfilter	Zentrale Lage, Fußgängerzone, Raumgröße: ca. 600 m ³	
CR8	1990	20 kg	Geschlossenes System, kompakte Anordnung von Nadelfänger und Flusenfilter	Zentrale Lage, Einkaufsstrasse, Raumgröße: ca. 150 m ³	
CR9	1990	20 kg	Geschlossenes System, kompakte Anordnung von Nadelfänger und Flusenfilter	Zentrale Lage, Einkaufsstrasse, Raumgröße: ca. 150 m ³	
CR10	1994	28 kg	Geschlossenes System, getrennte Anordnung von Nadelfänger und Flusenfilter	Randlage, Einkaufszentrum, Raumgröße: ca. 250 m ³	

Fortsetzung (Teil 2)

Tabelle A 1: Übersicht über die vom wfk-Institut untersuchten Chemischreinigungsmaschinen CR1 bis CR18 und CR19						
Maschinen-codierung	Baujahr	Belade-kapazität	Maschinen-system	Standort		
CR11	1993	20 kg	Geschlossenes System, getrennte Anordnung von Nadelfänger und Flusenfilter	Wohngelände, Einkaufsstrasse, Raumgröße: ca. 150 m ³		
CR12	1992	20 kg	Geschlossenes System, kompakte Anordnung von Nadelfänger und Flusenfilter	Zentrale Lage, Fußgängerzone, Einkaufszentrum, Raumgröße: ca. 350 m ³		
CR13	1992	20 kg	Geschlossenes System, kompakte Anordnung von Nadelfänger und Flusenfilter	Zentrale Lage, Fußgängerzone, Einkaufszentrum, Raumgröße: ca. 350 m ³		
CR14	1991	20 kg	Geschlossenes System, kompakte Anordnung von Nadelfänger und Flusenfilter	Zentrale Lage, Fußgängerzone, Einkaufszentrum, Raumgröße: ca. 400 m ³		
CR15	1991	12,5 kg	Geschlossenes System, kompakte Anordnung von Nadelfänger und Flusenfilter	Wohngelände, Einkaufsstrasse, Raumgröße: ca. 200 m ³		
CR16	1990	20 kg	Geschlossenes System, kompakte Anordnung von Nadelfänger und Flusenfilter	Cityrandlage, Industriegebiet, Raumgröße: ca. 1500 m ³		
CR17	1993	16 kg	Geschlossenes System, kompakte Anordnung von Nadelfänger und Flusenfilter	Zentrale Lage, Einkaufsstrasse, Raumgröße: ca. 250 m ³		
CR18	1993	16 kg	Geschlossenes System, kompakte Anordnung von Nadelfänger und Flusenfilter	Zentrale Lage, Einkaufsstrasse, Raumgröße: ca. 250 m ³		
CR19	1995	12 kg	Geschlossenes System, kompakte Anordnung von Nadelfänger und Flusenfilter	Technikumsanlage, Raumgröße: ca. 3250 m ³		

**Tabelle A 2: PER-Gehalt von Nadelfänger- und Flusenfilterrückständen in mg/kg
(CR-Maschinen CR1 bis CR18 und CR19)**

Maschine	Charge	Nadelfänger			Flusenfilter		
		Probe 1	Probe 2	Probe 3	Probe 1	Probe 2	Probe 3
CR1	1	470	1130	1100	2420		
	2			80	1140	1180	1170
CR2	1	5100	4900	1450	770	1440	1420
	2	3080		8180	1720	2210	1650
CR3	1	2740	2350	1820	1820	1280	1300
	2	2210	2260	1420	1280	1400	1140
	3	2410	7750	860	1170		1280
	4	9100	2190		1250	1300	
CR4	1	1760	120	1950	1610	1640	1730
	2	2570	2850		1720	60	
	3		2540		890	1710	
	4	1880	1940		1510	1210	
CR5	1	890	1020	990	20	960	950
	2	1200	170	2770	980	1060	760
	3	2670	1640		780	440	
CR6	1	1570	4530		1020	1200	1690
CR7	1	130	1820		1220	1480	1070
	2	2640	1700	1400	870	840	1000
	3	2850	2550	2650	1200	970	1610
	4	3930		3400		1690	1570
	5	4370		2890	1550	1560	1680
	6	2380	2680	3830	1540	1530	60
	7	250	180	550	210	250	220
CR8	1	880	2380		2600	2540	
	2	1800	2300		2680		
CR9	1	1980	1890		3010	2580	
	2	1820	2630		2550	3070	
	3	3090	310		3610	920	

Fortsetzung (Teil 2)

**Tabelle A 2: PER-Gehalt von Nadelfänger- und Flusenfilterrückständen in mg/kg
(CR-Maschinen CR1 bis CR18)**

Maschine	Charge	Nadelfänger			Flusenfilter		
		Probe 1	Probe 2	Probe 3	Probe 1	Probe 2	Probe 3
CR10	1	2480	1910	1170	1500	1700	530
	2	2000	2460	1980	1000	1330	1200
	3	1860	1740	1670	1180	1430	1370
	4	1250	1000	1390	1220	1250	1640
	5	960	1600		1200	1180	
CR11	1	160	1490	2120	1320	1150	1470
	2	2430	1210		1390	1180	1020
	3	1370	1030		2640	2550	
CR12	1	2350	1140	4090	1390	1390	1620
	2	4890	3540	2130	1190	1560	
CR13	1	2410	500	980	920	1170	800
	2	710	470		1120	1030	1200
CR14	1	1230		5830	1170	1000	1000
	2	2960	910	3520	1120	1140	1090
	3		1330	460	4290	2300	1670
	4	1270	1040	1550	7780	3680	
CR15	1	640	2060	1790	80	1500	1100
	2	3040	2410	140	1290	180	170
	3	1430	9090	1180	260	150	1520
	4	1190	1330		1000	1110	
CR16	1	30	110	20	370	180	130
	2	130	20		130	140	150
	3	1070	1240	1410	810	800	520
CR17	1	1190	1210	1100	1410	1120	820
CR18	1	1140	940		1140	1510	

Fortsetzung (Teil 3)

**Tabelle A2: PER-Gehalt von Nadelfänger- und Flusenfilterrückständen in mg/kg
(Technikumsanlage CR19)**

Material	Filterart	Charge						
			Probe 1	Probe 2	Probe 3	Probe 4	Probe 5	Probe 6
Baumwolle	Nadelfänger	1	270	290	240	300	210	
	Flusenfilter	1	1470	960	1000	1800	1000	1100
	Nadelfänger	2	800	510	490	160	610	770
	Flusenfilter	2	740	1100	950	900	940	800
	Nadelfänger	3	1130	1110	950	990	1010	1340
	Flusenfilter	3	760	850	3290	1160	980	1090
	Nadelfänger	4	1240	680				
	Flusenfilter	4	580	690				
	Nadelfänger	5	570	550				
	Flusenfilter	5	860	770				
	Nadelfänger	6	1030	1150				
	Flusenfilter	6	680	570				
Wolle	Nadelfänger	1	170	210	230	200	230	530
	Flusenfilter	1	240	310	370	480	570	470
	Nadelfänger	2	2060	5610	230	550		
	Flusenfilter	2	260	590	580	490		
	Nadelfänger	3	350	400	670	660		
	Flusenfilter	3	630	580	470	480		
	Nadelfänger	4	590	60				
	Flusenfilter	4	1640	300	130			
	Nadelfänger	5	260	570				
	Flusenfilter	5	530	1050				
	Nadelfänger	6	1260	620				
	Flusenfilter	6	590	540				
Polyester	Nadelfänger	7	560	280				
	Flusenfilter	7	590	290				
	Nadelfänger	1	920	760	820	770		
	Flusenfilter	1	100	370	860			
	Nadelfänger	2	600	3120				
	Flusenfilter	2	1330					
	Nadelfänger	3	1380	4380				
	Flusenfilter	3	880	840	850			

Fortsetzung

**Tabelle A2: PER-Gehalt von Nadelfänger- und Flusenfilterrückständen in mg/kg
(Technikumsanlage CR19)**

	Nadelfänger	4	1300	1370	310			
	Flusenfilter	4	1220	1060	1090			
	Nadelfänger	5	530	4640	950			
	Flusenfilter	5	800	560	860			
Misch- gewebe	Nadelfänger	1	250	100	340			
	Flusenfilter	1	380	350	350			
	Nadelfänger	2	640	450	510			
	Flusenfilter	2	290	320	360			
	Nadelfänger	3	500	540	500			
	Flusenfilter	3	400	710	510			
	Nadelfänger	4		920				
	Flusenfilter	4	420	490	450			
	Nadelfänger	5	670	620				
	Flusenfilter	5	120					
	Nadelfänger	6	1000	790				
	Flusenfilter	6	150	530				
	Nadelfänger	7	1060	1100				
	Flusenfilter	7	330	1170				

Tabelle A 3: PER-Gehalt von Flusen aus Flusenfilter und Nadelfänger nach dem Reinigen von 1, 2 und 3 Chargen in CR19				
Material	Filterart	Charge 1	Charge 2	Charge 3
Baumwolle	Flusenfilter	1220	900	1360
	Nadelfänger	260	560	1090
Wolle	Flusenfilter	410	480	540
	Nadelfänger	260	2110	520
Wolle/Polyester	Flusenfilter	230	530	510
	Nadelfänger	360	320	540

Tabelle A 4: Untersuchungen zum Abklingverhalten des PER-Gehaltes	
Zeit in h	PER-Gehalt der Flusen in mg/kg (Start: 4 Proben; sonst: je 2 Proben)
0 (Startwert)	1600/1880/1910/1970
2	1310/1320
5	740/770
22,5	420/540
29,25	320/300
47	190/250
116,25	170/160
124,5	140/250
200	110/110

Tabelle A 5: An Standards gemessene Detektorsignale und relative Standardabweichung des Mittelwertes

	Standard 1	Standard 2	Standard 3	Standard 4	Standard 5	Standard 6	Standard 7	Standard 8	Standard 9	Standard 10
Step 1	6706933	6162016	6080906	5846557	5679931	5832254	5914845	6452616	6116896	6317574
Step 2	2772743	2286351	2341571	2093498	2072968	1998424	2058524	2449722	2211865	2302112
Step 3	935947	745878	752125	674925	718217	66096	694019	808795	734021	750828
Step 4	314601	243767	255264	219262	247729	213091	228217	264001	25931	255073
	Standard 11	Standard 12	Standard 13	Standard 14	Standard 15	Standard 16	Standard 17	Standard 18	Standard 19	Standard 20
Step 1	6337725	6180839	5973199	6480109	6816900	6720687	6706948	6706175	6686887	6729339
Step 2	2329803	2290980	2155286	2499472	2759399	2637988	2651854	2743332	2692610	2728578
Step 3	776448	751467	718674	814929	910380	899452	868465	890343	913559	910564
Step 4	262166	251957	247002	267152	301021	312341	294157	292283	316966	291574
	Standard 21	Standard 22	Standard 23	Standard 24	Standard 25	Standard 26	Standard 27	Standard 28	Standard 29	Standard 30
Step 1	6707353	6656157	6635075	6770075	6562173	6704632	6838138	6640804	6567512	6851133
Step 2	2716801	2643611	2834558	2743940	2678933	2829229	2746919	2595864	2629167	2022371
Step 3	913797	867525	941370	890463	884818	940493	960908	906954	871696	907293
Step 4	296007	288760	304005	297371	320971	318486	322118	317199	287923	307489
	Anzahl der Messwerte n: 30									
	Mittelwert f. Summe Step 1-4: 10016173									
	rel. Standardabweichung: 7,66 %									

Index

P

PER	9
Analytische Bestimmung des PER-Gehaltes in Textilflusen	21
Analysenschritte	32
Fehlerabschätzung	33
Messverfahren	20
Probenahme	
→ Bestimmung des PER-Gehaltes in Flusen	23
→ Bestimmung des PER-Gehaltes in Flusen nach Zwischenlagerung	23
Auswertung der Messergebnisse	
→ PER-Gehalt in Flusenfilter- und Nadelfängerrückständen	25, 26, 27
→ PER-Gehalt in Flusen nach Zwischenlagerung (Abklingverhalten)	30, 34
Einflussparameter	
▣ Betriebsweise	28, 29, 33
▣ Temperatur	34
▣ Textilmaterial	28, 33, 34

T

Textilreinigungen

Anzahl der Betriebe	9
Umsatz	9
Flusenmenge aus Nadelfänger und Flusenfilter	24, 30, 32
Lösemittel-Einsatz	9
Reinigungsmaschinen (Typen, Hersteller und Lieferanten)	
Aufbau	10, 11
Betrieb offener und geschlossener Reinigungsmaschinen	14, 17
Anforderungen	
2. BImSchV	9
-Grenzwerte	16
Abwasserverordnung	9
Unfallverhütungsvorschrift VBG 66	9
Destillationseinheit	12
Flusenfilter	
Bauweise	14
Funktion	12
-getrennte Anordnung	13
-kompakte Anordnung	13
Nadelfänger	
Bauweise	12
Funktion	12
Reinigungstechnik	10
Reinigungsverfahren	11
Trocknungstechnik	12, 14
→ Messtechnische Überwachung	16
-Adsorptionsphase	16, 17
-Reduktionsphase	16
- Trocknungsphase	15

Literatur

- [1] Zweite Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung zur Emissionsbegrenzung von leichtflüchtigen Halogenkohlenwasserstoffen - 2. BImSchV) vom 10.12.1990 (BGBl. I S. 2694) geänd. d. VO vom 05.06.1991 (BGBl. I S. 1218)
- [2] Commission of the European Community, Organization and Environment
Technical and Economic Aspects of Water Pollution Abatement Measures for Discharges from Dry Cleaning Firms
Final Report 1991
- [3] Deutscher Textilreinigungsverband (DTV) Das Textilreinigungsgewerbe; Zahlen und Fakten 1996/1997 DTV, Bonn, 1997
- [4] Deutscher Textilreinigungsverband (DTV) Mündliche Mitteilung Bonn, 1998
- [5] Forschungsinstitut Hohenstein, Gutachten Nr. 92.692/6198, Mai 1992
Untersuchung des Lösemittelrestgehaltes von Textilien nach der Reinigung in Multimatic-Maschinen
- [6] Landesumweltamt NRW
Gaschromatographische Untersuchungen von Tetrachlorethen (PER) in Textilfasern per498.doc vom 17.04.1998, Erlass des MURL V A 4 / IV A 6-180 vom 06.03.1998
- [7] Hachenberg, H.
Die Headspace-Gaschromatographie als Analysen- und Meßmethode Eigenverlag DANI Analysetechnik, Mainz-Kastel, 1991
- [8] Dietzel, B., Grote, H., Günther, W., Hövermann, W., Kolb, B. Meltzow, W., Schlegelmilch, F.
Gaschromatographie mit Kapillar-Trennsäulen Vogel-Verlag, Würzburg, 1986
- [9] Kurz, J., Klein, P., Engelhardt, H.
Abbau von Arbeitsplatzbelastungen in Textilreinigungen am Beispiel von Betrieben der neuen Bundesländer; Teilprojekt: Bestimmung des Absorptionsgrades von Textilien
Abschlußbericht FKZ 01 HK 811/0, Bönnigheim, 1995

[10] Statistisches Bundesamt
Umweltschutz, Fachserie 19, Reihe 1.1, 20, 28
Metzler Poeschl, 1993

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 Betriebskenndaten 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 raumlufttechnische Maßnahmen mit Gasabscheidung in Chemischreinigungen	20,00 DM
20	Empfehlungen für die Durchführung und Auswertung von Säulenversuchen gemäß Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV)	20,00 DM
21	Praxisleitfaden zum Einsatz der Ionenmobilitätsspektrometrie bei der Untersuchung von Rüstungsaltlasten	25,00 DM
22	Weitere Sachverhaltsermittlung bei Überschreitung von Prüfwerten nach der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung für die Wirkungspfade Boden – Mensch und Boden – Nutzpflanze	30,00 DM
23	Abwasserbehandlung in Pflanzenanlagen	20,00 DM
24	Leitfaden zur Erstellung digitaler Bodenbelastungskarten – Teil I: Außenbereiche	30,00 DM
25	Leitfaden zur Prognose von Geräuschen bei der Be- und Entladung von LKW	30,00 DM
26	Gewässerstrukturgüte in Nordrhein-Westfalen Anleitung für die Kartierung mittelgroßer bis großer Fließgewässer	30,00 DM
27	Umweltgerechte Entsorgung lösemittelhaltiger Textilflusen aus Chemischreinigungen	25,00 DM