

Umweltforschungsplan des Bundesministers für Umwelt, Naturschutz und
Reaktorsicherheit

Forschungsbericht 297 44 906/2

**Stand der Technik und Potentiale zur Senkung der VOC-Emissionen
aus Anlagen zur Reinigung von Oberflächen**

von

Dr. Winfried Schwarz
Dr. André Leisewitz

Öko-Recherche
Büro für Umweltforschung und -beratung GmbH
Frankfurt/Main

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

November 1999

Berichts - Kennblatt

1. Berichtsnummer UBA-FB 297 44 906/2	2.	3.
4. Titel des Berichts <div style="text-align: center;">Stand der Technik und Potentiale zur Senkung der VOC-Emissionen aus Anlagen zur Reinigung von Oberflächen</div>		
5. Autoren, Namen, Vornamen Dr. Winfried Schwarz, Dr. André Leisewitz	8. Abschlußdatum 30.11.1999	
	9. Veröffentlichungsdatum Dezember 1999	
6. Durchführende Institution (Name, Anschrift) Öko-Recherche, Büro für Umweltforschung und -beratung GmbH, Kaiserstr. 61, 60329 Frankfurt am Main	10. UFOPLAN - Nr. 297 44 906/2	
	11. Seitenzahl IX + 125	
7. Fördernde Institution (Name, Anschrift) Umweltbundesamt, Bismarckplatz 1, 14193 Berlin	12. Literaturangaben 138	
	13. Tabellen und Diagramme 30 + 4	
	14. Abbildungen 18	
15. Zusätzliche Angaben Eine englische Übersetzung der Zusammenfassung ist beim Umweltbundesamt erhältlich.		
16. Kurzfassung <p>Der politische Kontext der Studie ist die EU-Lösemittelrichtlinie (VOC-RL), die innerhalb der nächsten 2 Jahre in deutsches Recht zu überführen ist. Der Forschungsbericht ermittelt erstens aktuelle statistische Daten über die Oberflächenreinigung mit halogenfreien organischen Lösemittel und zweitens Minderungspotentiale für VOC-Emissionen auf betrieblicher Ebene. Insgesamt werden in den sechs verschiedenen Sektoren jährlich ca. 63 700 t Frischware auf Basis brennbarer Kohlenwasserstoffe (KW) den Betrieben zum Zweck der Oberflächenreinigung zugeführt. Davon emittieren 49% bzw. ca. 31 150 t, bei Anwendung in die Luft. Die anderen 51% werden entsorgt. Von den ca. 32 500 t entsorgter KW-Reiniger werden rd. 6300 t extern zum Wiedereinsatz rückgewonnen und bilden wieder einen Teil (10%) der Jahreszufuhr. Rund 2300 t werden für mindere Einsatzzwecke aufgearbeitet. Etwa 1000 t (sauerstoffhaltige KW-Derivate) gelangen mit Spülwasser in die Kanalisation und werden in der Kläranlage abgebaut. Der größte Teil der Altware, fast 23 000 t (70%), wird unter Energienutzung verbrannt.</p> <p>Bei 1 : 1-Umsetzung der VOC-RL auf betrieblicher Ebene können die VOC-Emissionen aus der Oberflächenreinigung um 8310 t sinken. Bezogen auf VOC-Gesamtemissionen von 31 150 t sind dies fast 27%. Bereinigt um die nicht zur Oberflächenreinigung im Sinne der VOC-RL gehörenden Anwendungen machen die Emissionssenkungen infolge der VOC-RL sogar über 32% aus. Von der VOC-RL nicht verlangt, aber nach Stand der Technik möglich ist eine zusätzliche Reduzierung der Emissionen im bereinigten Bereich um 5250 t oder um 27%. Somit beträgt das Minderungspotential der VOC-Emissionen aus der Oberflächenreinigung fast 50%.</p>		
17. Schlagwörter EU VOC-Lösemittelrichtlinie; VOC-Emissionen; Oberflächenreinigung; halogenfreie organische Lösemittel; Kohlenwasserstoff-Reiniger; Metallentfettung; Präzisionsreinigung; organische Entlackung; VOC-Emissionsminderung.		
18. Preis	19.	20.

Report Cover Sheet

1. Report No. UBA-FB 297 44 906/2	2.	3.
4. Report Title The state of the art and the potential to reduce VOC emissions from surface cleaning installations		
5. Authors, Family Names, First Names Dr. Winfried Schwarz, Dr. André Leisewitz	8. Report Date 30.11.1999	
	9. Publication Date December 1999	
6. Performing Organization (Name, Address) Öko-Recherche, Büro für Umweltforschung und -beratung GmbH, Kaiserstr. 61, D-60329 Frankfurt am Main	10. UFOPLAN - Ref. No. 297 44 906/2	
	11. No. of Pages IX + 125	
7. Sponsoring Agency (Name, Address) Umweltbundesamt (German Federal Environmental Agency), Bismarckplatz 1, D-14193 Berlin	12. No. of References 138	
	13. No. of Tables, Diagrams 30 + 4	
	14. No. of Figures 18	
15. Supplementary Notes An English version of the summary of this report is available from the sponsoring agency.		
16. Abstract The political context of the study is the EC VOC solvent directive (VOC directive) that will be transposed into German law within the next two years. This research report gives up-to-date statistical data on surface cleaning with halogen-free organic solvents and also determines the potential for VOC emissions reduction on an operational level. Altogether, about 63,700 tonnes (t) of fresh solvents made of inflammable hydrocarbons (HC) are supplied to facilities every year for surface cleaning purposes in six different sectors. In 1998, halogen-free organic solvents for surface cleaning were used and emitted as follows. About 49 percent, or 31,150 t, were emitted into open air during use. The other 51 percent became waste and were disposed of in different ways. Of the 32,550 t of used cleaning solvent, about 6300 t were recovered for reuse and were a part (10 percent) of the annual supply. About 2300 t were processed for other purposes. Slightly more than 1000 t (oxygenous HC derivatives) were rinsed into the sewage system and did not decompose until they reach water purification plants. Most of the used solvents, about 23,000 t (70 percent) were burned for energy consumption. Complete realisation of the VOC directive's limit values can reduce VOC emissions from surface cleaning at installations by 8310 tonnes, especially in the sector of metal degreasing. This is nearly 27 percent of the present total emissions of 31,150 tonnes per year. This figure increases to about 32 percent when it is adjusted to exclude the applications that do not fall under the VOC directive's surface cleaning category. Adjusted additional technologically feasible reductions not required by the VOC directive amount to 5250 tonnes, or 17 percent. Thus, the potential to reduce VOC emissions in surface cleaning amounts to nearly 50 percent.		
17. Keywords EC VOC solvent directive; VOC emissions; surface cleaning; halogen-free organic solvents; hydrocarbon cleaning agents; metal degreasing; precision cleaning; lacquer removal; VOC emissions reduction.		
18. Price	19.	20.

Inhalt

Inhalt	I
Zusammenfassung	V
1 Bestandsaufnahme: Von 63 7000 t Lösemitteln emittieren fast 50%	V
2 Emissionsminderung: 30% realistisch, nach Stand der Technik mehr möglich	VII
3 Emissionssenkung nach VOC-RL und nach Stand der Technik: 50%	IX
1. Kapitel KW-Reinigung im Dienstleistungsbereich	1
1 Teilereinigung in Kfz- und sonstigen Service-Werkstätten	1
2 Verdunstungsreiniger in Kfz- und sonstigen Service-Werkstätten	5
2.1 Bremsenreiniger	5
2.2 Allzweck- oder Universalreiniger	6
2.3 Andere Anwendungszwecke für Bremsenreiniger	6
3 Service-Reiniger: Versorgung, Entsorgung, Emission	6
3.1 Der Weg des KW-Teile-Reinigers (nach Abb. 2)	6
3.2 Der Weg der Verdunstungsreiniger	8
4 VOC-Emissionsminderung bei Teile- und Verdunstungsreinigung	8
5 VOC-Substitution	9
5.1 Substitution bei der Teilereinigung	9
5.1.1 <i>Der wäßrige Waschautomat autop Jet-Cleaner 82 t</i>	8
5.1.2 <i>Das VOC-Substitutionspotential durch wäßrige Teilereinigung</i>	10
5.2 Substitution bei der Verdunstungsreinigung	10
5.2.1 <i>Der wäßrige Pkw-Bremsen-Heißwäscher 500 PW</i>	10
5.2.2 <i>Das VOC-Substitutionspotential durch Bremsen-Heißwäscher</i>	11
6 Anwenderstruktur und Relevanz der VOC-Richtlinie	12
7 Emissionsminderung nach VOC-RL und nach Stand der Technik	12
Nachweise zu Kapitel 1	13
2. Kapitel Entkonservierung von Pkw	15
1 Konservierung und Entkonservierung nach Fahrzeugmarken	15
2 Entkonservierung paraffinbewachster Fahrzeuge	17
2.1 Entwachsung in automatischen Durchlaufanlagen (Abb. 5)	17
2.1.1 <i>Lösemittelkreislauf und Abluft (Abb.5, 1-6)</i>	17
2.1.2 <i>Die VOC-Emissionen der automatischen Entwachsungsanlagen</i>	18
2.2 Manuelle Entwachsung im Autohaus	19
2.2.1 <i>Manuelle Entwachsung ohne Kreislaufanlage (Abb. 6, 1-4)</i>	19
2.2.2 <i>Manuelle Entwachsung mit Kreislaufanlage (Abb. 6, 1-3 u. 5-8)</i>	20
2.2.3 <i>VOC-Verbrauch und Luftemissionen bei manueller Entwachsung</i>	21
2.3 Verbrauchs- und Emissionsminderung von VOC bei der Entwachsung	21
2.3.1 <i>Dezentrale Entwachsung und Verbrauchsreduzierung</i>	22
2.3.2 <i>Zentrale Entwachsungsanlagen mit 95%-iger Emissionssenkung</i>	22
3 VOC-Substitution bei der Fahrzeug-Entkonservierung	23
3.1 Der Verzicht auf Konservierung und seine gegenwärtigen Grenzen	23
3.2 Synthetische Wachse (Polyacrylate) statt Paraffinwachs	24

3.3	Konservierung mit Kunststoff-Folien	25
3.4	Möglicher Trend künftiger Konservierung und Entkonservierung	25
3.4.1	<i>Weniger Fahrzeuge überhaupt noch konserviert</i>	25
3.4.2	<i>Trend zur Folie bei konservierungsbedürftigen Fahrzeugen</i>	25
4	Emissionsminderung nach VOC-RL und nach Stand der Technik	26
	Nachweise zu Kapitel 2	27
3. Kapitel	Allgemeine Metallentfettung in der Industrie	29
1	Kohlenwasserstoff-Reiniger als Nachfolger der CKW	30
1.1	Die Trends des CKW-Ersatzes: wäßrige und KW-Reinigung	30
1.2	Die unterproportionale KW-Mengenentwicklung beim CKW-Ausstieg	31
1.3	CKW-KW-Umstiegsbeispiele: fünf Großbetriebe der Metallindustrie	32
2	Hauptanwendungen und Einrichtungen zur KW-Metallentfettung	33
2.1	Manuelle KW-Reinigung in der industriellen Werkstatt	34
2.2	Manuelle KW-Reinigung industrieller Produktionsmittel vor Ort	36
2.2.1	<i>Ortsfeste Reinigungseinrichtungen</i>	36
2.2.2	<i>Mobile Reinigungsgefäße</i>	37
2.3	Manuelle KW-Reinigung metallischer Produkte	38
2.3.1	<i>Großvolumige Teile geringer Stückzahl</i>	39
2.3.2	<i>Kleine Restteile geringer Stückzahl</i>	40
2.3.3	<i>Meß- und Kontrollreinigung</i>	41
2.4	KW-Reinigung in Anlagen	41
2.4.1	<i>Anforderungen an die Anlagentechnik beim Einsatz von KW</i>	42
2.4.2	<i>Einfache Anlagen für Kaltreiniger ohne Trocknung</i>	43
2.4.3	<i>Anlagenreinigung unter dem Flammpunkt mit Umlufttrocknung</i>	44
2.4.4	<i>Anlagen mit Reinigung über Flammpunkt und Trocknung im Vakuum</i>	46
3	Anwenderstruktur und Relevanz der VOC-Richtlinie	49
3.1	Die Absatzstruktur von sechs ausgewählten Handelsniederlassungen	49
3.2	Hochrechnung: Die bundesweite KW-Anwenderstruktur	51
4	Emissionsminderung durch VOC-RL und Stand der Technik	52
4.1	Die Wirkung der 1 : 1-Umsetzung der VOC-RL	52
4.1.1	<i>Emissionsobergrenze von 20% bei allen manuellen Reinigungen > 2 t</i>	52
4.1.2	<i>Strenger Abgasgrenzwert für alle KW-Anlagen</i>	52
4.2	Maßnahmen nach Stand der Technik bei Kleinanwendungen <2 t/a	53
4.2.1	<i>Kurzfristiger wäßriger KW-Ersatz bei manueller Kleinteilereinigung</i>	53
4.2.2	<i>Grenzwerteinhaltung bei KW-Anlagen</i>	54
4.3	Emissionssenkungen um knapp 60% möglich	54
5	Fünf exemplarische betriebliche Fälle des KW-Ersatzes	55
	<i>Fall 1: KW-Ersatz in der Industriewerkstatt</i>	55
	<i>Fall 2: KW-Ersatz bei manueller Vor-Ort-Reinigung industrieller Produktionsmittel</i>	56
	<i>Fall 3: KW-Ersatz bei manueller Reinigung großflächiger Produkte</i>	56
	<i>Fall 4: KW-Ersatz bei manueller Produktreinigung für Meß- und Kontrollzwecke</i>	57
	<i>Fall 5: KW-Ersatz bei Anlagen mit Kaltreinigung und Umlufttrocknung</i>	58
	Nachweise zu Kapitel 3	59

4. Kapitel	Organische Spezialreinigung	61
1	Komponentenvielfalt und Lieferanten der Spezialreiniger	61
2	Hauptanwendungen organischer Spezialreiniger	62
2.1	Stationäre Gießanlagen für PU, Epoxid und Silikon (2K)	62
2.1.1	<i>Lösemittelspülung mischungsführender Teile</i>	62
2.1.2	<i>Vorwiegend A-I-Stoffe im Einsatz</i>	63
2.2	Dichtstoffherstellung (1K)	63
2.2.1	<i>Mischkesselreinigung mit Bürstenanlagen bei Rezepturwechsel</i>	64
2.2.2	<i>Hoher Anteil manueller Reinigung</i>	65
2.2.3	<i>A-I-Lösemittel der Klebstoffproduktion oder spezielle A-III-Reiniger</i>	66
2.3	Tampondruck-Klischees	67
2.3.1	<i>Einsatzgebiete des industriellen Tampondrucks</i>	67
2.3.2	<i>Drucktechnik</i>	67
2.3.3	<i>Das Klischee-Reinigergemisch</i>	68
2.3.4	<i>Weit über 100 000 Anwender reinigen</i>	68
2.4	Produkt-Finishing und weitere Anwendungen	68
2.4.1	<i>Beispiel: Dichtungsentfernung</i>	69
2.4.2	<i>Beispiel: Produktfinishing Automobil</i>	69
2.4.3	<i>Beispiel: Produktfinishing Büromöbel</i>	69
3	Emissionsminderung und Ersatz organischer Spezialreiniger	70
3.1	Emissions- und Verbrauchsminderung bei Gießanlagen für 2K-Medien	70
3.2	Emissions- und Verbrauchsminderung bei 1K-Dichtstoff-Herstellern	71
3.2.1	<i>Einsparmöglichkeiten gegenüber dem Normalstand</i>	71
3.2.2	<i>Niedrige VOC-Konzentration im Abgas</i>	72
3.2.3	<i>Nachpigmentierung führt zu weiterer Ersparnis</i>	73
3.3	Wäßrige VOC-Substitution bei einem 1K-Dichtstoff-Hersteller	74
3.4	Tampondruck: Ersatz von A-I- durch A-III-Reiniger spart 3000 kg/a	75
3.5	Pflanzenölester in der Erprobung	77
4	Emissionsminderung durch VOC-RL und Stand der Technik	77
4.1	Emissionsminderung infolge 1 : 1-Umsetzung der VOC-RL	77
4.1.1	<i>Die doppelte Wirkungsbegrenzung der VOC-RL bei Spezialreinigung</i>	77
4.1.2	<i>Von der VOC-RL erfaßte Verbräuche und Emissionen</i>	78
4.2	Emissionssenkung infolge Generalisierung des Standes der Technik	79
4.3	Mögliche Emissionssenkungen aus VOC-RL und Stand der Technik	79
	Nachweise zu Kapitel 4	81
5. Kapitel	Feinreinigung	83
1	Brennbare Lösemittel in ex-geschützten Anlagen	84
1.1	Emissionssteigerung durch Ex-Schutz-Dauerabsaugung	85
1.1.1	<i>Kühlung und Absaugung der Lösemittel</i>	86
1.1.2	<i>Füllvolumen, Badoberfläche und Emissionskoeffizienten</i>	86
1.1.3	<i>Abgaskonzentrationen weit über 75 mg C/m³</i>	87
1.2	Lösemittelverbrauch in der Regel über dem Schwellenwert	88
2	Glasreinigung in der Feinoptik	90
2.1	Lösemittelzwang durch wasserunbeständige Glassorten	91
2.2	Hohe Lösemittelreinheit - häufige Entsorgung	92
2.3	Feinoptischer Lösemittelverbrauch nach Betriebsgrößen	93
2.4	Übergewicht der Großverbraucher auch bei manueller Reinigung	94

3	Elektronik	95
3.1	Bestückte Leiterplatten	95
3.2	Sonstige Elektronikprodukte	96
3.3	Zufuhr, Emissionen, Entsorgung bei der Produktreinigung	97
3.4	Hilfsmittel der elektronischen Fertigung: Siebe und Schablonen	98
3.5	Rein manuelle Reinigungen in der elektronischen Fertigung	100
4	Feinmechanik	101
5	Möglichkeiten zur VOC-Emissionsminderung und -Substitution	102
5.1	Wäßrige Reiniger und Hochsieder-Lösemittel in der Feinmechanik	102
5.2	Elektronikreinigung wäßrig, halbwäßrig oder in Lösemitteldampf	102
5.3	Feinoptik: Klärungsbedarf bei Minderungsmaßnahmen	103
6	Emissionssenkung nach VOC-RL und nach Stand der Technik	104
6.1	Emissionssenkung durch Einhaltung der VOC-RL: 1915 t/a	104
6.2	Zusätzliche Emissionssenkung durch Stand der Technik: 100 t/a	105
	Nachweise zu Kapitel 5	107
6. Kapitel	Entlackung	109
1	Die Entlackungsverfahren	110
2	Chemische Entlackung	110
3	Organische Entlackung: Entlackungsmittel, Anlagen, Prozeß	111
3.1	Standardrezepturen organischer Entlackungsmittel	112
3.2	Typische Entlackungsanlagen	112
3.3	Der Grundprozeß der betrieblichen Entlackung	113
4	Der inländische Kreislauf der organischen Entlackungsmittel	114
5	Lösemittelbilanz nach VOC-RL bei Stand der Technik-Anwendern	115
5.1	Die Lösemittelausträge O/4, O/5 und O/8	116
5.2	Lösemittel-Einsätze I/1 und I/2	116
5.3	Die Kennziffern Verbrauch und diffuse Emissionen	117
6	Relevanz der VOC-Richtlinie für organische Entlacker	117
6.1	Problematische Zuordnung der Entlackung zur Oberflächenreinigung	117
6.2	Generelle Schwellenwertüberschreitung	118
6.3	Mittlere einzelbetriebliche Emissionsrate von 14%	118
7	Das Potential zur Emissionsminderung	119
7.1	20 t Emissionen aus offener Betriebsweise überflüssig	119
7.2	30 t Emissionen durch separate Haken-Entlackung vermeidbar	120
8	Zur wäßrig-alkalischen Entlackung	120
	Nachweise zu Kapitel 6	122
	Tabellen	123
	Abbildungen, Diagramme, Grafik	125

Stand der Technik und Potentiale zur Senkung der VOC-Emissionen aus Anlagen zur Reinigung von Oberflächen

Zusammenfassung

Flüchtige organische Verbindungen (VOC) sind maßgeblich an der Bildung von bodennahem Ozon beteiligt. Höhere Ozonkonzentrationen schädigen die menschliche Gesundheit und wirken auf Pflanzen wachstumshemmend. Um das Umweltziel der dauerhaften Unterschreitung von $110\mu\text{g}/\text{m}^3$ Ozon in der Luft zu erreichen, ist eine Verminderung der VOC-Emissionen gegenüber 1990 um 70-80% notwendig. Hauptverursacher von VOC-Emissionen ist in Deutschland die Lösemittelanwendung, zu der u.a. die Oberflächenreinigung mit halogenfreien organischen Lösemitteln gehört.

Der vorliegende Forschungsbericht ermittelt für die Oberflächenreinigung erstens aktuelle statistische Daten über Verbräuche, Luftemissionen und Entsorgung halogenfreier organischer Lösemittel (Istzustand) und zweitens Minderungspotentiale für VOC-Emissionen auf betrieblicher Ebene (Sollzustand). Dies geschieht in jedem Sektor der Oberflächenreinigung, wobei die Primärresultate auf Vor-Ort-Recherchen beim Anwender sowie auf der Direktbefragung von Experten aus Lösemittelhandel, Anlagenbau, Verbänden, Fachjournalismus, Wissenschaft usw. basieren.

Der politische Kontext der Studie ist die im März 1999 erlassene „Richtlinie 1999/13/EG des Rates über die Begrenzung von Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen, die bei bestimmten Tätigkeiten und in bestimmten Anlagen bei der Verwendung organischer Lösemittel entstehen“ (EU-Lösemittelrichtlinie - VOC-RL), die innerhalb der nächsten 2 Jahre in deutsches Recht zu überführen ist.

1. Bestandsaufnahme: Von 63 700 t Lösemitteln emittieren fast 50%

Anwendungsstruktur und Istzustand der gesamten Oberflächenreinigung mit halogenfreien organischen Lösemitteln zeigt Tabelle 1 für 1998.

Tabelle I: Oberflächenreinigung mit halogenfreien organischen Lösemitteln nach Teilbereichen in Deutschland 1998			
Zufuhr, Luftemissionen und Entsorgung in t/a			
	Zufuhr in t/a	Luftemission in t/a	Entsorgung in t/a
1. Dienstleistung außerhalb der Industrie	11000	6200	4800
2. Pkw-Entkonservierung	6600	1225	5375
3. Allgemeine industr. Metallentfettung	27200	12000	15200
4. Industrielle Spezialanwendungen	12000	8600	3400
5. Präzisionsreinigung	4400	2755	1645
6. Entlackung	2500	370	2130
Summe	63700	31150	32550

Insgesamt werden jährlich ca. 63 700 t Frischware auf Basis brennbarer Kohlenwasserstoffe (KW) den Betrieben zum Zweck der Oberflächenreinigung zugeführt. Davon emittieren 49%, über 31 000 t, bei Anwendung in die Luft. Die

anderen 51% werden entsorgt. Von den ca. 32 500 t entsorgter KW-Reiniger werden rd. 6300 t extern zum Wiedereinsatz rückgewonnen und bilden wieder einen Teil (10%) der Jahreszufuhr. Rund 2300 t werden für mindere Einsatzzwecke (Universalverdünner, Frostschutzmittel u. dgl.) aufgearbeitet. Etwa 1000 t (sauerstoffhaltige KW-Derivate) gelangen mit Spülwasser in die Kanalisation und werden in der Kläranlage abgebaut. Der größte Teil der Altware, etwa 23 000 t (70%), wird unter Energienutzung verbrannt.

Die allgemeine Verwendungsstruktur der Lösemittel ist in den sechs Haupteinsatzbereichen halogenfreier Lösemittelreiniger jeweils verschieden.

1. Dienstleistungen außerhalb der Industrie

Im Dienstleistungsbereich mit Schwerpunkt Kfz-Handwerk wird nicht seriell gereinigt, sondern diskontinuierlich und manuell. Dafür werden einfachen Reinigungstischen 6000 t KW-Reiniger der VbF-Klasse A-III zugeführt, vor allem von Händlern, die die verschmutzte Ware zur Aufarbeitung abholen. Darum ist der Regeneratanteil an der Zufuhr (46%) hoch. Die diffusen Luftemissionen liegen bei 20% der Einsatzmenge. Außerdem werden aus Spraydosen zum Reinigen von Fahrzeugen und Geräten 5000 t Lösemittel der VbF-Klassen A-I und B appliziert, die zu 100% verdunsten.

2. Pkw-Entkonservierung

Zur Entwachsung fabrikneuer Pkw dienen 6600 t KW (VbF: A-III) im Gemisch mit 95% heißem Wasser. In großem Maßstab (Verbrauch > 2 t/a) erfolgt dies automatisch in 29 Anlagen von Spediteuren und manuell in über 200 Autohäusern. Die teils gefaßten Abgasemissionen und teils diffusen Emissionen betragen zusammen 1225 t.

3. Allgemeine industrielle Metallentfettung

Der Haupteinsatz halogenfreier KW-Oberflächenreiniger ist mit 27 200 t die allgemeine Metallentfettung in der Industrie. Sie wird standardmäßig mit entaromatisierten KW betrieben, die den VbF-Klassen A-II und A-III angehören, d.h. einen Flammpunkt oberhalb 21°C bzw. 55°C besitzen. Sie ersetzen zum Teil frühere chlorierte Kohlenwasserstoffe. Zu 90% werden KW für die manuelle Reinigung mit Pinsel und Lappen benutzt, die diskontinuierlich und kalt erfolgt: in Industriewerkstätten und an Produktionsanlagen, außerdem an Produkten, die in keine Waschanlage passen wie großvolumige Teile mit niedrigem Durchsatz, kleine Restteile von geringer Stückzahl, Meß- und Kontrollteile zur Zwischenreinigung. Zehn Prozent der KW-Zufuhr geht in Reinigungsmaschinen für den seriellen Betrieb. Neben 250 Anlagen, die kalt reinigen und nur warm trocknen, gibt es bereits über 300 geschlossene KW-Anlagen, die dank Vakuumtechnik hohe Reinheitsgrade erzielen, da sie mit heißem Lösemittel und Dampf entfetten können. Ihre Abgasemissionen sind dank Tiefkühlkondensation niedrig.

4. Industrielle Spezialanwendungen

Organische Reiniger mit verstärktem Lösevermögen (Ester, Ketone, Aromaten, Spezialbenzin, Alkohole, Glykolether) kommen im Umfang von 12 000 t zum Einsatz, wo Verschmutzungen gegen einfache KW beständig sind. Typische Verunreinigungen sind nicht Fette und Öle, sondern Polymerisate wie Kleb- und Dichtstoffe, Harze, Farben u.dgl. Diese sind häufiger von Produktionsmitteln (Auftragsgeräten) als von Produkten abzureinigen. Die - meist manuell-offene - Reinigung findet stets ohne Erwärmung statt. Diese verbietet die leichte Entzündlichkeit der A-I- und A-II-Formulierungen. Aus ihrer Leichtflüchtigkeit folgt außerdem, daß die diffusen Emissionen in die Umgebungsluft mit etwa 72% sehr hoch sind.

5. Feinreinigung

In Elektronik, Optik und Feinmechanik wurden FCKW häufig durch milde Lösemittel ersetzt, die hohe Oberflächenreinheit garantieren und schnell trocknen: Cyclohexan, Isopropanol, Aceton. Da diese alle leicht entflammbar sind, benötigen sie explosionsgeschützte Anlagen, die aus Sicherheitsgründen der Dauerabsaugung unterliegen. Dadurch steigen die ohnehin hohen Emissionen auf über zwei Drittel des Einsatzes. Diese Emissionsrate gilt auch für die in der Feinoptik weit verbreitete manuelle Alkohol-Reinigung. Die Emissionen wären noch höher, wenn nicht in jüngerer Zeit viele hochflüchtige Lösemittel durch schwerflüchtige wie Glykolether oder N-Methyl-Pyrrolidon (NMP) ersetzt worden wären. Gesamter Lösemiteleininsatz: 4400 t.

6. Entlackung

Zur Entlackung fehlbeschichteter Teile aus Aluminium oder verzinktem Metall dienen organische Lösemittel wie Glykolether und NMP. Diese sind in der Lage, bei 50-60 °C den Lack anzuquellen und zu lösen. Die diffusen Luftemissionen betragen ca. 15% (370 t) der 2500 t eingesetzter Lösemittel. Über 700 t werden wässrig abgespült und erst im Abwasser der Kläranlage abgebaut. Etwa 1100 t werden aus dem Lackschlamm für frische Entlackungsmittel zurückgewonnen.

Zu den Eigenarten der halogenfreien KW-Oberflächenreinigung gehört der hohe Anteil des manuellen Betriebs. Von den 63 700 t Lösemittel werden fast 50 000 t manuell angewendet, weniger als 14 000 t gelangen in Anlagen. Davon wiederum werden rund 10 000 t erwärmt. KW-Reinigung ist in erster Linie manuelle Kaltreinigung.

Die Zahl der Betriebe mit KW-Oberflächenreinigung beträgt rund 100 000. (Dabei sind die jährlich nur je 30-35 kg und insgesamt 4000 t verbrauchenden 120 000 industriellen Tampondrucker [manuelle Klischeereinigung] nicht mitgerechnet.) Betriebe, die pro Jahr mehr als 2 t Lösemittel verbrauchen, gibt es allerdings nur etwa 3000. Deren Masse, ca. 2100, ist in der allgemeinen Metallentfettung angesiedelt. Auf jene 3% der Anwender entfallen aber über 60% der gesamten Lösemittelzufuhr zur Oberflächenreinigung und knapp 45% der VOC-Emissionen (ohne Tampondruck).

2. Emissionsminderung: 30% realistisch, nach Stand der Technik mehr möglich

Da die Studie im Kontext der EU- Lösemittelrichtlinie (VOC-RL) entstand, deren Ziel eine nachdrückliche VOC-Emissionssenkung ist, wird das Potential zur Emissionsminderung erörtert. In jedem Teilbereich der Oberflächenreinigung wird gefragt: Welchen Effekt auf die Emissionen hat die VOC-RL, wenn ihr Instrumentarium für die Tätigkeit "sonstige Oberflächenreinigung" in den Betrieben vollständig oder, salopp formuliert, 1 : 1 umgesetzt wird? Dieses Instrumentarium besteht im wesentlichen aus dem Grenzwert für diffuse Emissionen von 20% auf die Einsatzmenge und dem Grenzwert für gefaßte Emissionen von 75 mg C pro Kubikmeter Abgas. Beide gelten ab einem Schwellenwert, den die EU auf 2 t/a Lösemittelverbrauch festgesetzt hat.

Unabhängig von den Emissionssenkungen aufgrund der VOC-RL ist zu fragen: Wie groß ist generell das Minderungspotential für VOC-Emissionen aus der Oberflächenreinigung nach dem Stand der Technik? Die Tauglichkeit der VOC-RL zur Reduzierung von VOC-Emissionen mißt sich daran, inwieweit sie dieses Minderungspotentiale ausschöpft, soweit das finanziell zumutbar ist. Tabelle II enthält

nicht nur die Emissionssenkungen durch 1 : 1-Umsetzung der VOC-RL, sondern auch Emissionssenkungen nach dem Stand der Technik, soweit sie darüber hinausgehen.

Tabelle II: Oberflächenreinigung nach Sektoren: VOC-Emissionssenkungen durch Umsetzung der VOC-RL und nach Stand der Technik in t/a						
Sektor	Gesamtheit der		Lösemittelverbrauch > 2 t/a		Emissionssenkung in t/a durch 1 : 1 Umsetzung der VOC-RL (Betriebe > 2 t/a)	Zusätzliche Emissionssenkung nach Stand der Technik in t/a
	Betriebe (Stck)	Emissionen t/a	Betriebe (Stck)	Emissionen t/a		
1. Dienstleistg.	50000	6200	40	25	5	2900
2. Entkonserv. ¹	2300	1225	250	890	entf.	1125
3. Metallentfett.	27000	12000	2100	9800	6090	1080
4. Spezialanw. ¹	138000 ²	8600 ²	400	750	300	2200
5. Feinreinigung	1100	2755	240	2365	1915	100
6. Entlackung	250	370	100	360	< 1	70
Gesamt	218650	31150	3130	14190	8310	7475

¹ Entkonservierung unterliegt nicht, Spezialanwendungen unterliegen nur zu etwa der Hälfte der "Oberflächenreinigung" im Sinne der VOC-RL.

² einschließlich Tampondrucker (120 000 Betriebe, 3500 t Emissionen)
Tabellenerläuterung im nachfolgenden Text.

1. In drei Teilbereichen zeigt die VOC-RL praktisch keine emissionsmindernde Wirkung. Bei Dienstleistungen (Tab. II, Zeile 1) und bei der Entlackung (Zeile 6) wird der 20%-Grenzwert für diffuse Emissionen eingehalten, während die Entkonservierung (Zeile 2) wegen des niedrigen KW-Gehalts der Reinigungsflüssigkeit durch Sonderklausel von der Erfüllung der festgelegten Grenzwerte ausgenommen ist.

Die Ausschöpfung des Minderungspotentials nach Stand der Technik, unabhängig von der VOC-RL, senkt dagegen die Emissionen deutlich: bei Dienstleistungen um 2900 t, wenn die Betriebe über 20 Beschäftigte allgemein wäßrige Warmreinigung einführen; bei der Pkw-Entkonservierung um 1125 t, wenn infolge von mehr unbewachten Neuwagen weniger gereinigt wird und wenn, dann in Anlagen mit zeitgemäßer Abgasreinigung; in der Entlackung um 70 t, wenn organische Lösemittel auf materialbedingt notwendige Anwendungen (Aluminium) beschränkt werden.

2. Allgemeine Metallentfettung (Zeile 3) und Feinreinigung (Zeile 5) sind die Bereiche, in denen die 1 : 1-Umsetzung der VOC-RL die größte Wirkung entfaltet. Die Gesamtemissionen von 14 755 t (12 000 + 2755) sinken um 54%, wenn die 2340 Betriebe über 2 t/a Lösemittelverbrauch die Emissionsgrenzwerte einhalten. Die Hauptreduktion kommt vom 20%-igen Grenzwert für diffuse Emissionen auf alle manuellen und anlagebetriebenen Reinigungsprozesse. Zweitwichtigste Maßnahme sind unter dem Druck der niedrigen Abgasgrenzwerte vorgenommene Umstellungen von hochemissiven Anlagen auf KW-Systeme, die entweder geschlossen im Vakuum reinigen oder bei offenem Betrieb schwerflüchtige Lösemittel verwenden.

Die nach Stand der Technik mögliche, aber von der VOC-RL nicht geforderte Emissionssenkung beträgt 1180 t (1080 + 100). Sie resultiert vor allem daraus, daß Betriebe über dem Schwellenwert nicht nur Grenzwerte für KW-Reinigung einhalten,

sondern letztere durch wäßrige Verfahren ersetzen. Zweiter Grund ist die Begrenzung von KW-Emissionen auf das technische Minimum auch unter dem 2-t-Schwellenwert.

3. Bei Spezialanwendungen (Zeile 4) ist die emissionsmindernde Wirkung der VOC-RL doppelt begrenzt. Erstens: Oberflächenreinigung (etwa das Säubern von Klebewerkzeugen), die keine eigenständige betriebliche Tätigkeit ist, sondern untergeordneter Prozeßschritt einer anderen von der VOC-RL regulierten Lösemittelanwendung (hier: Klebebeschichtung), wird rechtlich letzterer zugeordnet und gilt nicht als Oberflächenreinigung im Sinne der VOC-RL. Zu ihr zählen von den mit Speziallösemitteln vorgenommenen Reinigungen nur knapp die Hälfte. Zweitens: Die Anwendungen von Speziallösemitteln sind zwar sehr zahlreich, aber in der Regel recht klein. Nur in wenigen Fällen verbrauchen sie mehr als 2 t. Die VOC-RL greift mit ihren für die Oberflächenreinigung geltenden Emissionsgrenzwerten nur in ca. 250 Betrieben und bewirkt dort eine insgesamt mäßige Emissionssenkung um 300 t.

Die von den Begrenzungen der VOC-RL unabhängigen Maßnahmen nach Stand der Technik bewirken eine sieben Mal so große Emissionssenkung. Diese ergibt sich durch schwerer flüchtige Lösemittel zur Werkzeugreinigung im Tampondruck sowie aus baulichen Änderungen zur Verringerung der Lösemittelspülung von Gießanlagen für zweikomponentige Harze. Gleichwohl sind die zusätzlichen Emissionssenkungen mit 2200 t relativ gering, weil die Eindämmung diffuser Emissionen in diesem Sektor besonders schwierig ist.

3. Emissionssenkung nach VOC-RL und nach Stand der Technik: 50%

Durch die 1 : 1 Umsetzung der VOC-RL sinken die VOC-Emissionen aus der Oberflächenreinigung um 8310 t. Bezogen auf VOC-Gesamtemissionen von 31 150 t sind dies fast 27%. Bereinigt um nicht zur Oberflächenreinigung im Sinne der VOC-RL gehörende Teile der VOC-Emissionen aus organischen Spezialanwendungen und die ganzen Emissionen aus der Pkw-Entkonservierung (minus 5525 t/a) machen die Emissionssenkungen durch die VOC-RL über 32% aus. Von der VOC-RL nicht verlangt, aber nach Stand der Technik möglich ist eine zusätzliche Reduzierung der Emissionen im bereinigten Bereich um 5250 t oder fast 17%. Somit beträgt das Minderungspotential der VOC-Emissionen aus der Oberflächenreinigung im engeren Sinne fast 50%.

Angesichts der umweltpolitischen Notwendigkeit nachdrücklicher Senkung der VOC-Emissionen einerseits und der begrenzten Wirkung der VOC-Richtlinie andererseits, bleibt zu überprüfen, inwieweit diese verschärft werden kann.

1. Kapitel

KW-Reinigung im Dienstleistungsbereich

Im Dienstleistungsbereich mit dem Schwerpunkt Kfz-Handwerk wird nicht seriell gereinigt, sondern von Fall zu Fall und manuell. Für Ausbauteile werden an einfachen Reinigungstischen KW-Reiniger der VbF-Klasse A-III eingesetzt. 70 Prozent der insgesamt 50 000 Kfz- und sonstigen Werkstätten mit solchen Waschtischen erhalten den Reiniger von Händlern, die auch die verschmutzte Ware zur Aufarbeitung abholen. Darum ist der Regeneratanteil an der Zufuhr (46%) hoch. Die diffusen Luftemissionen liegen bei den Waschgeräten im Durchschnitt bei 20% der Einsatzmenge.

Die zweite Hauptform der KW-Reinigung von Fahrzeugen und Geräten heißt hier Verdunstungsreinigung, weil von den aufgespritzten oder aufgetragenen Lösemitteln der VbF-Klassen A-I und B kein Rücklauf in den Behälter erfolgt. Mengenmäßig am wichtigsten ist mit 3000 t das Pkw-Bremsenreiniger-Spray, gefolgt von Universalreinigern in Spraydosen oder drucklosen Behältnissen. Die gesamte Einsatzmenge beträgt 4000 Tonnen im Kfz- und 1000 Tonnen im sonstigen Servicebereich.

Anwendung	Einsatz in t/a	Luftemission in t/a	Regenerat t/a	Abfall in t/a
Teilereinigung am Waschtisch	6000	1200	2760	2040
Kfz-Handwerk	4000	800	1840	1360
Sonstige Dienstleistungen	2000	400	920	680
Verdunstungsreinigung (Sprays)	5000	5000	0	0
Kfz-Handwerk (Bremsenreiniger)	4000	4000	0	0
Sonstige Dienstleistungen	1000	500	0	0
Summe	11000	6200	2760	2040

Ein Durchschnittsbetrieb kauft pro Reinigungstisch 120 kg A-III-Lösemittel, verbraucht wegen externer Wiederaufarbeitung aber weit weniger. Kaum ein Anwender verbraucht über 2 t/a. Der Schwellenwert der EU-VOC-Richtlinie wird praktisch nicht erreicht, selbst wenn Sprays in den betrieblichen KW-Reinigerverbrauch eingerechnet werden.

1 Teilereinigung in Kfz- und sonstigen Service-Werkstätten

Im Servicebereich außerhalb der Industrie gibt es mit brennbaren Flüssigkeiten zur kalten Reinigung von Öl und Fett eine lange Erfahrung. Diese führte zu standardisierten Reinigungsgeräten, die strenge Arbeitssicherheitsauflagen mit relativ einfacher, emissionsarmer Bauweise und leichter Bedienbarkeit vereinen. Die Auflagen nach BG-Richtlinie ZH 1/562 (alte und neue Fassung) für die offen, unbeheizt und ohne Absaugung betriebenen Teile-Reinigungsgeräte sind folgende (vgl. Hohmann 1998):

- Brennbare Lösemittel mit Flammpunkt unter 55°C sind nicht erlaubt. Das verlangt den Einsatz von Reinigern der VbF-Klasse A-III.
- Das Lösemittel wird den Werkstücken über eine Leitung (Schlauch, Rohr) drucklos (Überdruck unter 0,1 bar) zugeführt, um Sprühnebel zu vermeiden.
- Die Werkstücke werden von Hand mit Bürsten, Pinseln u. dgl. gereinigt.
- Das Lösemittel muß über eine Wanne sofort in den Vorratsbehälter zurückfließen.
- Der Vorratsbehälter darf nicht mehr als 200 Liter (ein Faß) fassen.

2 Reinigung im Dienstleistungsbereich

Die Reinigungstische stammen von vielen Herstellern und variieren nach Größe (50- bis 200-Liter-Volumen) und Querlage bzw. Aufrechtstand des Vorratsbehälters, zusätzlicher Tauchreinigung u. dgl. Ihre Bau- und Bedienweise ist aber prinzipiell stets dieselbe, so daß sie an einer typischen Ausführung gezeigt werden kann (Abb. 1).

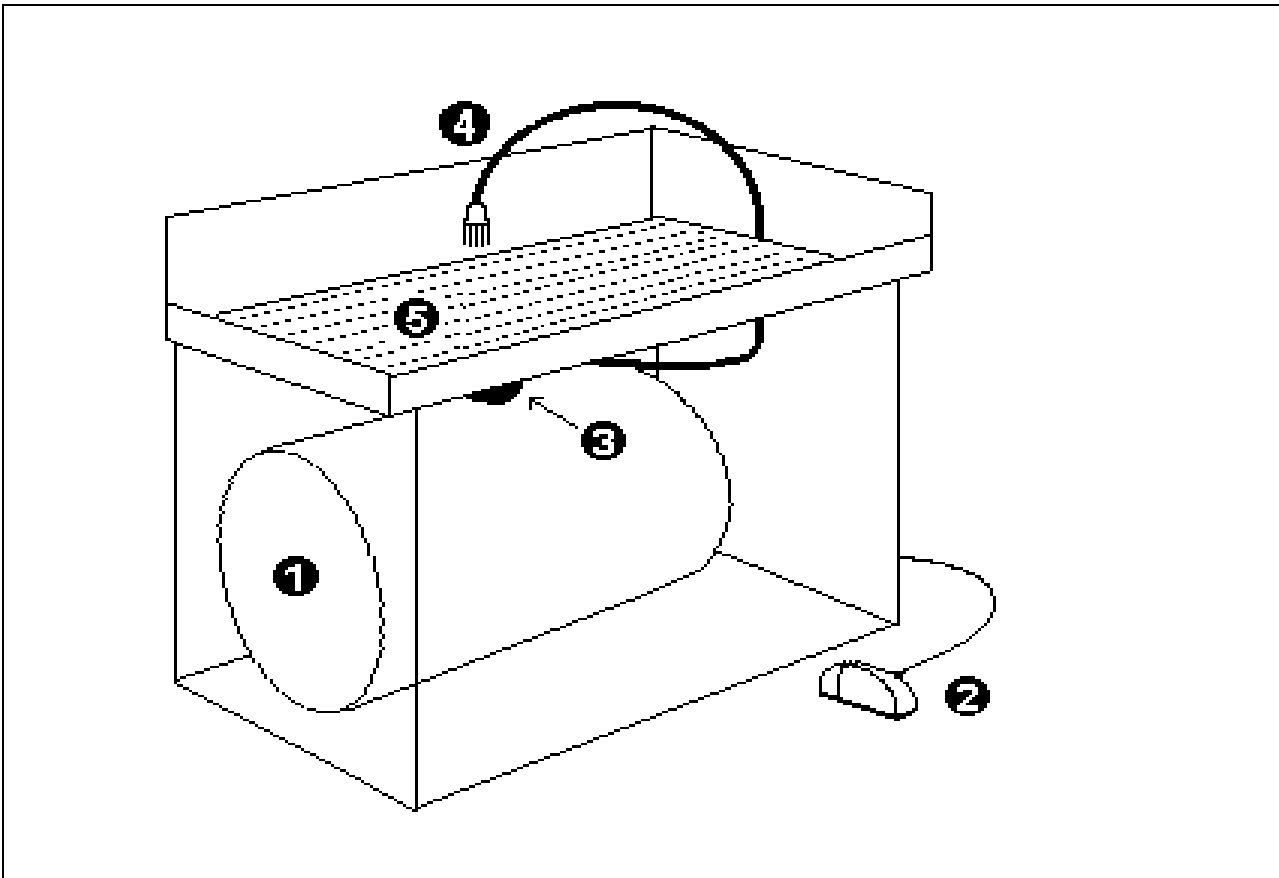


Abb. 1: Teile-Reinigungsgerät im nichtindustriellen Servicebereich. 1 = Vorratsbehälter. 2 = Sicherheitsfußschalter. 3 = Förderpumpe und Rücklaufschlauch (verdeckt). 4 = Pinselschlauch und Reinigungspinsel. 5 = Arbeitsfläche aus Lochblech mit Sammelwanne darunter.

Der Druck auf den Sicherheitsfußschalter (2) schaltet die Förderpumpe (3) ein, die den Reiniger aus dem Vorratsbehälter (1) über eine Schlauchleitung durch den Reinigungspinsel (4) drückt. Vom Reinigungsgut läuft das Lösemittel durch die Arbeitsfläche, die aus Lochblech gefertigt ist und als Grobfilter dient, in die Sammelwanne. Aus dieser gelangt es über den Rücklaufschlauch (3) wieder in den Vorratsbehälter zurück, dessen Inhalt seine Reinigungswirkung bis zu einem gewissen Verschmutzungsgrad beibehält.

Die Waschtische sind nur begrenzt belastbar. Darum dienen sie vor allem der Reinigung von Kleinteilen, die zwecks Wartung oder Reparatur aus größeren Aggregaten (z.B. Autos) ausgebaut werden. Für die Hauptanwendung Kfz-Betrieb (35 000 Tische) sind typische Kleinteile Lichtmaschinen, Anlasser, Bremsen- und Kupplungsteile, Antriebswellen, Zylinderköpfe u. dgl.; außerdem eingewachste Neuteile sowie Alerteile, die nicht mehr eingebaut, sondern zur zentralen Aufbereitung geschickt werden.

Die durchschnittliche Standzeit eines Behälters beträgt ein Jahr. Der Austausch schmutzbeladener gegen Frischwarebehälter erfolgt in ca. 70% der Fälle durch Spezialfirmen der kombinierten Waschtisch- und Lösemittelbelieferung wie Safety-Kleen, Upex, Terma oder IBS-Scherer, welche die Schmutzfässer zur stofflichen Regeneration abholen. Die restlichen 30% Reiniger, die von diversen anderen Händlern

stammen, werden betrieblich als Lösemittelgemisch oder mitunter zusammen mit dem Altöl entsorgt, was in der Regel Verbrennung heißt (Befragung Teilereinigung)¹.

Die Gesamtzahl der im nichtindustriellen Servicebereich eingesetzten Reinigungsgeräte wird auf ca. 50 000 Stück geschätzt, davon 35 000 in Kfz-Betrieben und 15 000 in sonstigen Service-Werkstätten (Befragung Teilereinigung). Das Verhältnis von ca. 2 zu 1 (Kfz-Handwerk zu sonstigen Dienstleistern) gilt auch für den Reinigereinsatz.

Bei "sonstiger Dienstleistung" geht es um vier Hauptbereiche:

1. Bau-, Transport- und Verkehrsbetriebe:
Die Eigenwerkstätten dieser Unternehmen reinigen Kleinteile aus Baumaschinen, Lkw und Anhängern, Schienenfahrzeugen, Flugzeugen bei Wartung und Reparatur.
2. Handwerkliche Gerätewartung:
Kleine Serviceunternehmen warten und reparieren für Anwender ohne Eigenwerkstatt Aggregate wie Elektromotoren, Agrargeräte, Kettensägen, Bohrmaschinen, Telekommunikationsgeräte, Bootsmotoren u.dgl.
3. Kommunale Einrichtungen und andere Behörden:
Öffentlicher Nahverkehr, kommunale Energieversorgung, Müllabfuhr, Straßenreinigung, Kläranlagen, Feuerwehr verfügen über Spezialfahrzeuge und Geräte, die überwiegend in Eigenregie gewartet werden. Behörden wie die Polizei halten wartungsbedürftige Kfz-Bestände, Behörden wie Bau-, Garten- oder Friedhofsämter besitzen Geräteparks, die zu warten und daher zu reinigen sind.
4. Militär
Bei der Bundeswehr sind komplexe Waffensysteme für Land-, Luft- und See-Einsatz instandzuhalten. Dazu der Fahrzeugbestand für Personen- und Lastentransporte.

Den vier Bereichen der "sonstigen Dienstleistungen" werden jährlich rd. 2000 Tonnen KW-Reiniger zugeführt. Eine Untergliederung der 2000 Tonnen in die vier Bereiche ist schwierig. Eine differenzierte Aufstellung liegt lediglich für eine deutsche Großstadt vor, die ein Lieferant von Waschtischen und KW-Reinigern anfertigte (s. Kasten auf nächster Seite). Die Aufstellung ist zwar nicht bundesweit repräsentativ, aber sehr illustrativ.

Mit einiger Gewißheit läßt sich sagen, daß auf Bundesebene Tiefbau-, Transport- und Verkehrsunternehmen (einschl. Dt. Bahn und Dt. Post AG) sowie kommunale Einrichtungen aufgrund des großen Wartungs- und Reinigungsbedarfs ihrer Fahrzeuge (Baumaschinen, Straßen- und Schienenfahrzeuge) die relativ größten KW-Verbraucher unter den sonstigen Dienstleistungen sind. Dies deckt sich mit den Verhältnissen in der im Kasten dargestellten Großstadt. Im Bundesmaßstab mehr Anteil am KW-Einsatz als in jener Stadt hat dagegen die Bundeswehr. Bundes- wie stadtweit ist dagegen die handwerkliche Gerätewartung eher ein kleiner KW-Verbraucher.

KW-Teilereinigung in drei der sonstigen Dienstleistungsbereiche erfolgt nahezu ausschließlich im Zusammenhang mit Fahrzeugen. Da dies auch für das Kfz-Handwerk gilt, läßt sich die KW-Reinigung im ganzen Dienstleistungsbereich mit gewissem Recht als Reinigung von Fahrzeugteilen kennzeichnen. Nur der handwerkliche Geräteservice fällt aus dem Rahmen.

¹ Behälter des Marktführers Safety-Kleen haben kürzere Standzeiten: Sie werden auch bei geringer Verschmutzung regelmäßig gewechselt, im Mittel zwei Mal pro Jahr (Garbaty u.a. 1998). Dies hängt mit der Firmenpolitik des sog. Komplettservices zusammen, nämlich gegen jährliche Festbeträge die Reinigungsgeräte zu vermieten (statt zu verkaufen) und sie dabei kontinuierlich zu betreuen.

KW-Teilereinigung im Servicebereich einer deutschen Großstadt

Ein Kombilieferant von KW-Reinigern und Waschtischen wertete die Liste seiner Kunden in einer deutschen Großstadt (250 bis 300 Tsd. Einwohner) nach Kfz-Handwerk und den vier weiteren Dienstleistungsbereichen aus (s. Tabelle 1). Die Zahl der Kunden und ihre 1997er Reinigermengen in Liter stammen aus Geschäftsunterlagen, die Marktanteile in der Stadt aus Schätzungen. Die auf dieser Basis vorgenommene Hochrechnung auf die KW-Reinigerzufuhr der ganzen Stadt ergibt in der letzten Spalte annähernd die Relation zwischen Kfz-Handwerk (Zeile 1) und sonstiger Dienstleistung (Zeilen 2-5) von 2 zu 1, nämlich 21 000 zu 11 200 Liter oder in Tonnen 16,8 zu 9 (Dichte 0,8). Die mittlere Abnahmemenge pro Kunde beträgt 140 Liter (110 kg).

**Tab. 1: KW-Reinigerabsatz und Kundenstruktur im Dienstleistungsbereich einer Großstadt (250 bis 300 Tsd. Einwohner) 1997
Hochrechnung der Daten eines Lieferanten (in Liter pro Jahr)**

Dienstleistungsbereich	Lieferant			Hochrechnung auf ges. Stadt
	Kunden in der Stadt	Reiniger in Liter/a	Marktanteil in d. Stadt	
1. Kfz-Handwerk	40	4000	18-20%	21000
Autohäuser (fabrikatgebunden)	20	2960		
Reparaturwerkstätten (freie)	20	1040		
2. Bau/Transport/Verkehr	13	2000	50%	4000
Baumaschinen- u. Tiefbaubetriebe	10	1600		
Transport- und Reiseunternehmen	3	400		
3. Handwerkl. Gerätewartung	10	500	50%	1000
E-Motoren, Agrar-, Telekomgeräte, Bootsmotoren, Kettensägen u. dgl.	10	500		
4. Kommunaleinrichtung/Behörden	16	4500	75%	6000
Stadtwerke	1	1900		
Kläranlage I und I	2	900		
Hoch-, Tief-, Straßenbauamt	3	550		
Grünflächen-, Schulamt, Theater	3	500		
Polizei	4	500		
Andere Behörden	3	150		
5. Militär	1	200	100%	200
Militärflugplatz	1	200		
Summe	80	11200	33%	32200

Quellen: Anonymisierte Kundenliste des nicht namentlich genannten (Vertraulichkeitszusage) kombinierten Waschtisch- und Lösemittellieferanten, von dem auch die Schätzungen seiner städtischen Marktanteile bezüglich Lösemittelabsatz stammen.

Aus der Tabelle 1 geht hervor, daß der Lieferant in dieser Stadt zwar seine meisten Kunden im Kfz-Handwerk hat, die meisten Lösemittel aber an kommunale Einrichtungen und Behörden verkauft. Seine Lieferstruktur weicht insofern von der Mengenstruktur der gesamten Stadt ab (vgl. letzte Spalte). Stadtweit dominiert mit 21 000 Liter (ca. 65% des Gesamteinsatzes) das Kfz-Handwerk. Auf die vier sonstigen Bereiche entfallen 11 200 Liter (ca. 35%). Von diesen kaufen Kommunaleinrichtungen und Behörden die meisten Reiniger (6000 Liter bzw. 18,6%), gefolgt von den 4000 Liter für Bau/Transport/Verkehr (12,4%). Auf die handwerkliche Gerätewartung kommen 1000 Liter oder 3,1%. Das Militär weist in der Stadt wenig Präsenz und somit kaum Reinigernachfrage auf: 200 Liter sind 0,6% oder gerade ein Faß.

2 Verdunstungsreiniger in Kfz- und sonstigen Service-Werkstätten

Zu 80% erfolgt "Verdunstungsreinigung" aus Spraydosen. Diese sind Lösemittelbehälter für KW-Reiniger, die nur einmal verwendet werden und absolut sauber bleiben sollen. Im Gegensatz zum Teilereinigungsgerät, bei dem das Lösemittel durch den Kreislauf zunehmend verschmutzt, bleibt es in der geschlossenen Druckgaspackung (so die korrekte Bezeichnung) geschützt. Mit der Spraydose werden Bauteile gereinigt, die ihrerseits hohe Sauberkeit verlangen und keine ev. Rückbefüllung durch den Reiniger vertragen. Der Sprühreinigung zugängliche Teile brauchen nicht ausgebaut zu werden. Aerosolreiniger werden daher meist am Aggregat - sprich: Fahrzeug - benutzt.

2.1 Bremsenreiniger

Für die Pkw-Wartung, die im Kfz-Handwerk, aber auch in sonstigen Service-Werkstätten erfolgt, ist mit 3000 t Verbrauch wichtigster Aerosolreiniger der Bremsenreiniger. Sprays für Glascheibenreinigung, Dichtungs- und Teerentferner sind kaum relevant. Lediglich Allzweckreiniger erreichen noch große Verkaufszahlen.

Im Rahmen der Bremsenwartung beim Pkw sind die Bremsen gründlich zu reinigen. Die Wartung wird bei Trommelbremsen, mit der Pkw-Hinterachsen von der Mittelklasse abwärts ausgerüstet sind, in Abständen von 100 000 und mehr Fahrkilometern vorgenommen (neue Bremsbacken). Scheibenbremsen, die in Fahrzeugen fast aller Klassen vorne und in den oberen Klassen auch hinten installiert sind, haben kürzere Wartungsintervalle: Scheiben werden etwa alle 80 000, Bremsklötze wegen Belagschwunds alle 30 bis 40 000 Kilometer ausgetauscht (Umfrage Kfz-Betriebe).

Bei der Wartung werden Belagabrieb (Bremsstaub), Lagerfett und Straßenschmutz entfernt, die in Zwischenräumen, Kanten und Zapfen des Bremssystems festsitzen. Dies ist nicht nur bei Trommelbremsen der Fall, deren Innenverschmutzung zu 90% aus Bremsstaub besteht. Auch Scheibenbremsen, deren Belagabrieb weitgehend auf die Straße emittiert, sind, wenn auch weniger, mit Bremsstaub und Ölschmiere behaftet. Die Verschmutzungen können die Funktionstüchtigkeit der Bremse beeinträchtigen: bei Trommelbremsen etwa den Bremshebel, bei Scheibenbremsen den gleichmäßigen Zangendruck beider Bremsklötze auf die Scheibe (Isleib 1998).

Die Bremse muß nicht nur gründlich, sondern unbedingt naß gereinigt werden; letzteres wegen der Lungengängigkeit der Bremsstaubpartikel, die zu binden sind, um sie aus der direkten Atemluft des Monteurs fernzuhalten (Schickert 1998). Andererseits darf Feuchtigkeit weder Korrosion auslösen noch den Bremsbelag angreifen.

Auf die Bremsanlage wird daher ein Reiniger aufgesprüht, der organisch, somit unkorrosiv ist, der hohes Löse- und Schmutztragevermögen aufweist und ohne Gefährdung des Bremsbelags schnell verdunstet. Chemisch ist eine typische Rezeptur: 50-80% Spezialbenzin 60/95 (VbF-Klasse A-I) plus 20-40% Isopropanol (VbF-Klasse B). Manche Abfüller verwenden außer Benzin und Alkohol noch bis zu 20% Aceton, andere nehmen ausschließlich Spezialbenzin (Befragung Autochemie).

Pro Bremse werden zwischen 50 und 150 ml verbraucht - je nach Verschmutzung, die bei Trommelbremsen deutlich höher als bei Scheibenbremsen ist. Für die Bremsenwartung eines ganzen Fahrzeugs (Pkw) wird mit einer Standarddose von 500 ml bzw. 375 Gramm (Dichte 0,75) gerechnet (Umfrage Kfz-Betriebe). Der aufgesprühte Reiniger

löst den Belag ab, nimmt ihn auf und spült ihn weg. Aufgrund der schnellen Reinigerverdunstung bleibt im Auffangbehälter oder am Boden häufig nur trockener Bremsstaub zur Entsorgung mit dem Besen übrig.

2.2 Allzweck- oder Universalreiniger

Am Fahrzeug sind nicht nur Bremsen, sondern auch zahlreiche andere Teile zu reinigen. Das Spektrum reicht von Motor-, Vergaser- und Getriebeteilen über Elektrokontakte, Schaltelemente, verharzte Schmiermittel von Scharnieren und Gelenken, Ölflecken in Bodenbelägen und Stoffen bis zur Vor- und Nachbehandlung bei Kleb- und Abdichtarbeiten auf Metall und Glas. Für diese Teile reicht ein Allzweckreiniger bzw. Verdünner aus, der entweder als Spray angeboten wird oder - preiswerter - in drucklosen Blechdosen oder Kanistern zur Anwendung mit dem Lappen.

Eingesetzt werden jährlich je 1000 t standardisierte Universalreiniger-Drucksprays aus dem Angebot der Autochemiefirmen und Universalreiniger verschiedener Zusammensetzung in drucklosen Blechdosen aus lokalen Lackfabriken ("Verdünner", "Nitroverdünner"). Beide sind wie Bremsenreiniger schnell verdunstende Lösemittel (meist VbF-Klasse A-I). Universalreiniger machen im wesentlichen die restlichen 40% Verdunstungs-Reiniger im Servicebereich aus, die in der Summe mit den Bremsenreinigern 5000 t ergeben. (Universalreiniger in drucklosen Gebinden werden hier der Einfachheit halber mit Druckdosen-Sprays zusammengefaßt.)²

2.3 Andere Anwendungszwecke für Bremsenreiniger

Zwischen Universalreinigern und anwendungstechnisch als Bremsenreinigern bezeichneten Reinigungssprays gibt es Überschneidungen.

In vielen Kfz-Werkstätten wird der vorhandene Bremsenreiniger für eine Reihe von Reinigungen am Fahrzeug mitbenutzt, die auch mit Universalreiniger durchgeführt werden könnten. Diese Fälle sind so zahlreich, daß einige Autochemie-Firmen keinen speziellen Bremsenreiniger mehr anbieten, sondern nur noch einen "Montagereiniger" bzw. "Schnellreiniger" für Bremse wie für sonstige Montage- und Reparatur. Auch die Anbieter spezieller Bremsenreiniger führen in Begleittexten meist zusätzliche Eignungen an, am häufigsten die Entfettung von Klebe- und Dichtflächen.

Die Abschätzung der für sonstige Zwecke benutzten Bremsenreinigermenge fällt den Autochemie-Händlern schwer. Sie vermuten zwischen 20 bis 90 Prozent (Befragung Autochemie), was wegen dieser Streuung nicht herangezogen werden kann. Kfz-Betriebe sind sich einig (Umfrage Kfz-Betriebe): Ihnen zufolge wird der Aerosol-Bremsenreiniger zu zwei Dritteln für Bremsen benutzt. Das sind 2000 Tonnen pro Jahr.

3 Service-Reiniger: Versorgung, Entsorgung, Emission

3.1 Der Weg des KW-Teile-Reinigers (nach Abb. 2)

Kfz-Handwerk und sonstige Dienstleistungswerkstätten werden mit Teile-Reiniger von den gleichen Händlern versorgt, auch wenn deren Lieferstrukturen nach relativem Gewicht von Kfz- und sonstigem Servicebereich voneinander abweichen.

² Auch die Autochemie bietet Reiniger in drucklosen Pumpsprays an, allerdings mit mäßigem Erfolg.

1. In beiden Sektoren zusammen werden pro Jahr 6000 t (1) zugeführt, davon 4000 t im Kfz-Handwerk und 2000 t in sonstigen nichtindustriellen Werkstätten. Bedient werden insgesamt 50 000 Reinigungstische.

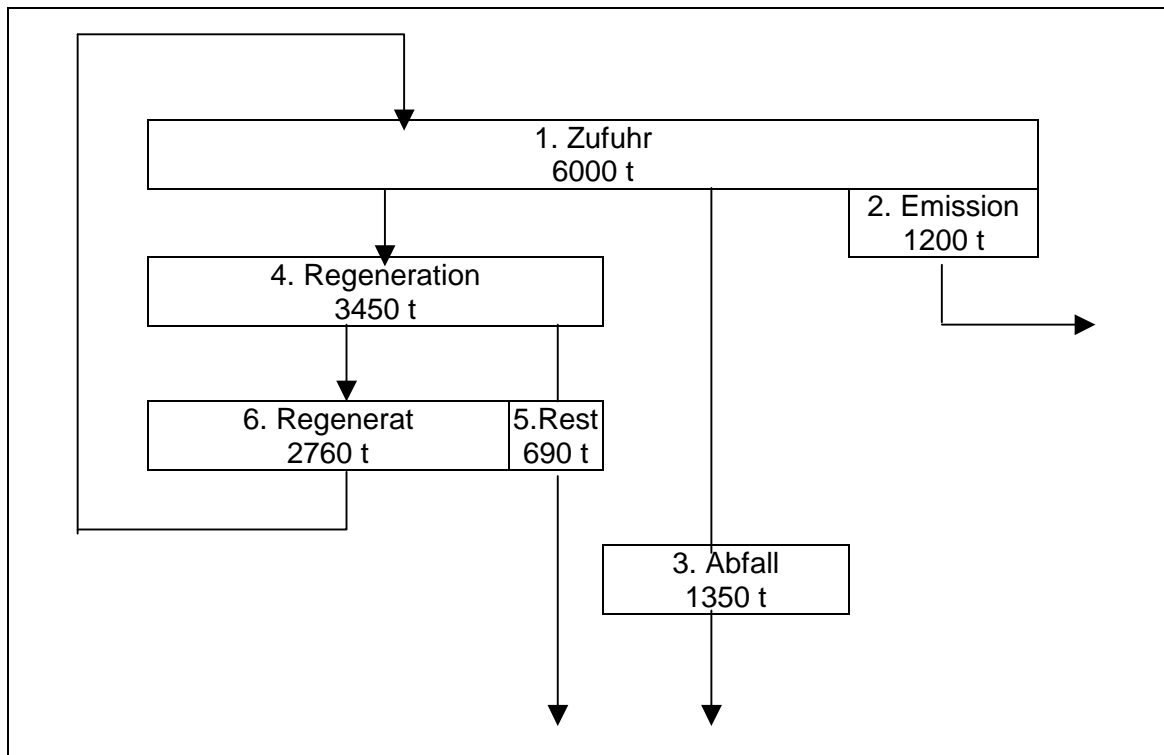


Abb. 2: Fließbild des A-III-KW-Teile-Reinigers im Servicebereich. Von den 6000 t/a Zufuhr emittieren bei der Reinigung 1200 t. Vom verschmutzten Reiniger (hier ohne Schmutz berechnet) werden 1350 t direkt entsorgt und 3450 t regeneriert. Aus der Aufarbeitung kommen 2760 t Regenerat, 690 t werden als Rest im Destillationssumpf der Abfallverwertung zugeführt.

2. Die - diffusen - Emissionen während der Teilereinigung betragen im Durchschnitt 20% oder insgesamt 1200 t (2). Die 20% sind ein Mittelwert aus den höheren Emissionsraten derjenigen Tische, deren Lösemittel auf Bestellung und damit jährlich nur 1 Mal, und den niedrigeren Emissionsraten der Tische, deren Lösemittel regelmäßig, im Mittel zwei Mal jährlich, gewechselt wird. Im Bestellfall beträgt die mittlere Jahreszufuhr 120 Liter, im Rahmen des "Komplettservice" dagegen 240 Liter pro Tisch. Bei gleicher mittlerer Jahresemission pro Tisch von 30 Liter sind die Emissionsraten bei 120 Liter Jahreseinsatz 25%, bei 240 Liter dagegen nur 12,5%. Der Verbrauch (Zufuhr minus Regenerat) ist in beiden Fällen gleich. Die mittlere Emissionsrate 20% ergibt sich durch die Lösemittelversorgung von Safety-Kleen, deren Marktanteil bei Lösemitteln mit ca. 40% weit über dem der betreuten Tische (ca. 25%) liegt.

3. Die Lösemittelhändler unterscheiden sich nicht nur danach, ob sie auf Bestellung oder in festen Intervallen liefern, sondern auch nach der Art der Entsorgung. 30% der Reiniger stammen von Händlern, die das gelieferte Lösemittel nicht zur Aufarbeitung zurücknehmen. Die Schmutzware, die nach Emission noch 75% des eingesetzten Reinigers, insgesamt 1350 t (und zusätzlich 10% Schmutz) enthält, wird direkt als Abfall entsorgt (3), sei es geordnet als Lösemittelgemisch oder weniger sortenrein zusammen mit dem Altöl. In beiden Fällen wird das Lösemittel verbrannt.

4. Zu 70% kommt der KW-Reiniger von Kombi-Anbietern von Tisch und Reiniger (Befragung Teilereinigung), die die Altware zur Regeneration (4) in eigenen oder

vertraglich verbundenen Anlagen abholen. Bei der Vakuumdestillation liegt die Ausbeute auf den in der Schmutzware enthaltenen Reiniger im Durchschnitt bei 80%. (Bei Safety-Kleen, das doppelt so häufig regeneriert, ist die Verschmutzung geringer und die Ausbeute höher). Von den 3450 t Reiniger, die insgesamt der Regeneration zugeführt werden, gehen 20% oder 690 t (5) als Abfall (Restlösemittel im Ölschlamm) ab. 2760 t gewonnenes Regenerat (6) gehen in die 6000 t jährlicher frischer Reinigerzufuhr ein und ersparen auf diese Weise 46% Neuwere aus der Raffinerie.

3.2 Der Weg der Verdunstungsreiniger

Ein Fließbild für die überwiegend als Sprays verwendeten Verdunstungsreiniger macht wenig Sinn, da Verbrauch und Emission identisch sind. Die Emissionsrate beträgt (von unvollständiger Entleerung abgesehen) immer 100%. Trotzdem ist eine Spraydose nicht emissionsträchtiger als andere Behälter, da aus ihr der Reiniger nur beim bestimmungsgemäßen Gebrauch entweicht.

Spraydosen fallen nicht unter "Einrichtungen zum Reinigen mit Lösemitteln" nach ZH 1/562 - in der alten Fassung nicht, weil sie kein "Fassungsvermögen von mehr als 1 Liter" besitzen (ZH 1/562, 1.1.). In der neuen Fassung gibt es zwar für "Reinigungsgefäße" keine Untergrenze, aber Spraydosen werden hier nicht erwähnt.

Die Entsorgung der Dosen ist bislang nicht aufwendig, sofern sie entleert sind. Bis 31.12.1998 galt die deutsche Abfallschlüsselnummer 35105 (Eisenmetallbehältnisse, entleert), die eine hausmüllartige Entsorgung erlaubte. Der neue EU-Code, der seit 1.1.1999 in Kraft ist dürfte 150104 sein (Verpackungen aus Metall).

4 VOC-Emissionsminderung bei Teile- und Verdunstungsreinigung

Der Reinigungsbedarf im Servicebereich insgesamt geht zurück. Im Kfz-Bereich verlängern sich die Wartungsintervalle, und im Schadensfall werden tendenziell mehr Teile ausgetauscht statt wieder instandgesetzt. Damit sinken auch VOC-Emissionen; um wieviel pro Jahr, läßt sich allerdings nicht sagen, zumal der weiterhin zunehmende Fahrzeugbestand in die Gegenrichtung wirkt.

Emissionsminderungen bei A-III-Reinigungstischen sind kaum mehr möglich. Es sind Geräte zur Kreislaufreinigung: Der Reiniger, der nach Gebrauch in den Vorratsbehälter zurückfließt, wird mehrfach verwendet. Die so erzielbare Sauberkeit ist zwar nicht außergewöhnlich hoch, aber genügt im Werkstattbereich. Häufigere Regeneration der Reinigers führt zwar zu reinerem Lösemittel. Die Emissionsmenge, d.h. die Abdunstung von Reinigungsteilen, in Liter oder Kilogramm wird dadurch aber nicht berührt.

Bei Spraydosen sind nicht VOC-Emissionen zu mindern, wohl aber der Dosenabfall. Dafür gibt es wiederbefüllbare Druckluftdosen aus Aluminium oder Edelstahl (wegen der Korrosionsgefahr nicht Weißblech), die in der Werkstatt aus preiswerten Großbinden mit einem Füllgerät neubefüllt werden. Als Treibmittel dient normale Druckluft aus der betrieblichen Versorgungsleitung, die u.a. auch für Autoreifen da ist. Der erhebliche Preisvorteil macht bisher aber nicht die Bequemlichkeit der herkömmlichen Einmaldose wett, die einen Marktanteil von rund 90% hält (Befragung Autochemie). Die mangelnde Akzeptanz beim Mechaniker soll sich allerdings auch, so wird behauptet, auf eine geringere Sprühgenauigkeit der Mehrfachdose gründen.

5 VOC-Substitution

5.1 Substitution bei der Teilereinigung

In großen Dienstleistungsbetrieben, etwa des Kfz-Gewerbes, fällt Teilereinigung häufig in so großem Umfang und solcher Regelmäßigkeit an, daß die Frage steht, ob Teilereinigung per Hand das rentabelste Verfahren ist. In der Tat gibt es bereits eine nennenswerte Verbreitung automatischer Waschgeräte. Deren Medium ist allerdings nur selten ein Kohlenwasserstoff, sondern fast ausschließlich wäßriger Reiniger. Es gibt einige kleine Anbieter, seit 1998 ist sogar Safety-Kleen mit der "Teilereinigungsanlage Modell 110" dabei. Marktführer ist aber die Fa. Autoperkute mit ihrem Hauptgerät "autop Jet-Cleaner 82 t". Dessen Funktionsweise und Kosten seien kurz wiedergegeben:

5.1.1 Der wäßrige Waschautomat autop Jet-Cleaner 82 t

Die verschmutzten Teile werden in einen runden Waschkorb von 77 cm Durchmesser und 88 cm Beladehöhe gelegt und nach Schließen des Deckels über ein Düsensystem allseitig bespritzt. Der Spritzstrahl von 3 bar ist zugleich Antrieb des Drehkorbs, der eine Beladung bis 500 kg aushält. Die Reinigung mit der 70-80°C heißen Waschlauge dauert 5 bis 8 Minuten.

Die 140 Liter Flüssigkeit reichen gewöhnlich 8 Wochen, so daß pro Jahr 6-8 mal entsorgt werden muß - etwa 1 Kubikmeter (Kosten pro m³: ca. 1200 Mark). Dazu kommt



die Entsorgung des am Gerät angebrachten Ölabscheiders, der mit einer Gummischeibe täglich 2 Liter Flüssigkeit mit ½ Liter Öl aus dem Waschtank in einen Entsorgungsbehälter befördert. Vom Pulverreiniger (Kilopreis 6 Mark) muß jährlich ca. 55 kg zugesetzt werden. Das Waschgerät selbst kostet 11 000 Mark. Insgesamt errechnen sich auf diese Weise jährliche Gesamtkosten von ca. 3000 Mark pro Gerät, wenn der Geräteanschaffungspreis auf 10 Jahre verteilt wird.

Abb. 3: KW-Substitution durch wäßrige Reinigungsautomaten: Hier autop Jet-Cleaner 82 t und 122 t.

Den wirtschaftlichen Einwand, daß dieser Betrag 50 Prozent über den vergleichbaren Kosten einer manuellen KW-Reinigung am Waschtisch liegt, weist der Hersteller mit der Zeitersparnis der Maschine gegenüber Handarbeit zurück: Erstens kann am herkömmlichen Waschtisch immer nur ein Mechaniker ein Teil abpinseln und zweitens ist er während dieses Vorgangs ausschließlich damit befaßt. In den Waschautomat passen dagegen mehrere Teile gleichzeitig, vor allem aber müssen sie nur eingelegt und herausgenommen werden, so daß sich der Mechaniker in der Zwischenzeit einer anderen (fast immer beliebteren und weniger ungesunden) Tätigkeit zuwenden kann. In Betrieben mit hohem Reinigungsanfall amortisieren sich auf diese Weise schnell die aufs Jahr umgelegten 1100 Mark Mehrkosten der Geräteanschaffung durch Einsparung bei den Arbeitskosten (Schoberth 1998).

5.1.2 Das VOC-Substitutionspotential durch wäßrige Teilereinigung

Nach Herstellerangaben sind von den autop-Waschautomaten bereits 3000 in Gebrauch, davon 90 % in Kfz- und 10 % in anderen Service-Werkstätten (Bucher 1999). Als Hauptzielgruppe für die Geräte gelten selbständige Autohäuser mit einer Zahl der Beschäftigten von 20 aufwärts. Das sind zwar nur ca. 6500 oder 13,4 Prozent der vorhandenen Kfz-Betriebe (vgl. Tabelle 2), zu denen noch einmal 2000 Betriebe im sonstigen Dienstleistungsbereich kommen dürften. Die wenigen größeren Betriebe konzentrieren aber im Kfz-Handwerk über die Hälfte der Beschäftigten und damit auch der Hälfte des Fahrzeugdurchsatzes und des Reinigungsbedarfs auf sich.

Tab. 2: Die 48 750 Kfz-Betriebe nach Größenklassen in Deutschland 1997		
Zahl der Beschäftigten	Anteil der Betriebe	Zahl der Betriebe
1-4	36,8%	17 940
5-9	30,1%	14 675
10-19	19,7%	9 600
20-49	8,2%	4 000
50 u. mehr	5,2%	2 535
Gesamtzahl: 538 000	100%	48 750

Quelle: Geschäftsbericht 1997/98 des Deutschen Kraftfahrzeuggewerbe e.V. - Zentralverband, Bonn Juni 1998, S. 42. Die Zahlen gelten in Fachkreisen übrigens als zu niedrig.

Eine kurzfristig durchgeführte Umfrage bei sechs Betreibern eines Jet-Cleaners ergab als durchschnittliche Betriebsgröße sogar 187 Beschäftigte (Jet-Cleaner-Umfrage 1999). Nur ein Service-Betrieb lag mit 25 Beschäftigten/12 Monteuren nicht in der obersten Größenkategorie (vgl. Tabelle 2, Zeile 5), sondern in der zweiten (Zeile 4).

Würden sämtliche Service-Betriebe mit über 20 Beschäftigten ihre KW-Teilereinigung mit durchschnittlich 300 kg Jahreseinsatz durch wäßrige Reinigung ersetzen, würden sie 2000 t (ein Drittel) A-III-Reiniger weniger einsetzen und 400 t weniger emittieren.

5.2 Substitution bei der Verdunstungsreinigung

5.2.1 Der wäßrige Pkw-Bremsen-Heißwäscher 500 PW

Es ist ein mit Sprühpistole für heißes Wasser versehener Durchlauferhitzer auf Rollen, der für die Reinigung am Fahrzeug nur mit der Steckdose verbunden sein muß. Dem Mechanikervorbehalt gegen jede Alternative zum herkömmlichen Spray soll das schnelle Anspringen der Wassertemperatur von kalt auf 95°C in nur 60 Sekunden entgegenwirken, ebenso wie die kurze Reinigungszeit pro Bremse von 30 Sekunden pro Scheiben- bzw. 60 Sekunden pro Trommelbremse (Schickert GmbH 1998).

Anders als die für Großaggregate eingesetzten Hochdruckgeräte, deren Strahl mit 100 bar Wasserdruck aufprallt, benetzt der Heißwäscher die Bremse rückstoßarm mit einem heißen Sprühnebel - bei 5 bar Austrittsdruck und 1 Liter Durchsatz pro Minute. Die hohe Wassertemperatur garantiert die Reinigungswirkung gegenüber festgebackenem Bremsabrieb und Öl bei gleichzeitig schneller Trocknung der Bremse, der wäßrige Niederdruck-Sprühstrahl sichert eine dauerhafte Bindung des Bremsstaubs, da er erstens ohne Rückprall auftrifft und zweitens dank seiner geringen Eigenverdunstung den Schmutz in eine Auffangwanne schwemmt, die in den Schlammfang entsorgt wird.

Im Gegensatz zum schnellverdunstenden Sprayreiniger, der den Bremsstaub nur während seiner kurzen Flüssigphase wirklich bindet, bleiben Atem- und Werkstattluft bei wässriger Heißreinigung viel wirksamer geschützt - ein wesentlicher Arbeitsschutzvorteil, da bei lungengängigem Feinabrieb auch von asbestfreien Belägen keine Risikoentwarnung für die Gesundheit gegeben werden kann (Schickert 1997).



Die Betriebskosten des Bremsen-Heißwäschers an Strom und Wasser sind minimal und werden vom Hersteller (Schickert GmbH 1998) auf 1-2 Pfennige pro Bremse geschätzt. Zu Buche schlägt der einmalige Anschaffungspreis von 2800 Mark. Bei einer zehnjährigen Abschreibung der Investition ist den 280 bis 300 DM jährlichen Kosten die Zahl der eingesparten Spraydosen mit Bremsenreiniger entgegenzusetzen.

Abb.4: KW-Ersatz durch wässrige Bremsen-Reinigung: Schickert Heißwäscher 500 PW.

Bei einem mittleren Preis von 5 Mark für eine 500 ml-Einmaldose (Kfz-Betrieb 19/1993) lohnt sich ein Heißwäscher schon ab etwa 60 Dosen oder 30 Liter jährlich (5 Dosen pro Monat)³. Damit ist das Anwenderpotential recht groß, da jeder Kfz-Betrieb mit mehr als nur einer vollen Bremseninspektion pro Woche finanzielle Vorteile hätte.

Eine Umfrage bei sechs Nutzern von Bremsen-Heißwäschern des Fabrikats Schickert (Bremsenheißwäscher-Umfrage 1999) bestätigte, daß diese im Durchschnitt 80 Prozent ihres früheren Dosenspray-Bedarfs eingespart haben. Daß es keine 100 Prozent sind, liegt an den oben (2.3) genannten zahlreichen anderen Reinigungszwecken am Fahrzeug⁴, denen die Bremsensprays in der Kfz-Werkstatt dienen.

5.2.2 Das VOC-Substitutionspotential durch Bremsen-Heißwäscher

Im Unterschied zum Nutzfahrzeugbereich, wo Bremsenreinigung mit Sprays nie eine große Rolle spielte und die Heißwäsche längst eingeführt ist, werden die seit 1996 für die Pkw-Bremsenreinigung angebotenen Heißwäscher bisher in einer Stückzahl von etwa 800 eingesetzt (Schickert 1999). Damit konnten bereits ca. 150 m³ oder ca. 110 t Spray eingespart werden, rechnet man die Durchschnittersparnis von 190 Liter/a Bremsenreiniger aus unserer kleinen Bremsenheißwäscher-Umfrage hoch.

Der Heißwäscher wird zwar wie ein Bremsenreiniger auf Aerosolbasis vor allem für die Bremse eingesetzt. Aber von dem Drittel anderer Reinigungen, die sonst mit Bremsenreinigerspray getätigt werden, kann auch er einen Teil übernehmen: am Motor, am Getriebe, an der Hinterachse usw. Sein Substitutionspotential liegt einerseits unter

³ Safety-Kleen, das 1998 auch ein wässriges Bremsenreinigungsgerät (Modell 267) eingeführt hat, das mit Reinigerzusatz kalt arbeitet, gibt als Rentabilitätsgrenze dafür 120 Spraydosen an (Garbaty u.a. 1998).

⁴ Als Ausnahme wurde in der kleinen Umfrage immer wieder Textilreinigung genannt. Die mittlere Mechanikerzahl pro "Substitutions"-Werkstatt betrug nur 18 (vgl. 187 Beschäftigte beim Jet-Cleaner).

100% der eingesetzten Gesamtmenge organischen Bremsenreinigers, da gewisse Reinigungsaufgaben wäßrig nicht zu bewältigen sind. Es geht aber andererseits über die 2000 t effektiv für die Bremse eingesetzte Menge von Bremsenreiniger-Spray hinaus. Hier wird angenommen, daß in den ca. 10 000 Betrieben über 18 Beschäftigte (Kfz- und anderer Service) rund 2500 Tonnen Bremsenreiniger auf Aerosolbasis durch das hier dargestellte oder ein vergleichbares wäßriges System ersetzt werden könnten. Die führenden Automobilhersteller haben das System für ihre Kfz-Vertragswerkstätten freigegeben (Schickert 1999).

6 Anwenderstruktur und Relevanz der VOC-Richtlinie

Von den ca. 50 000 Werkstattbetrieben mit KW-Reinigung im Dienstleistungsbereich gibt es kaum einen, der den 2-Tonnen-Schwellenwert der EU-VOC-Richtlinie erreicht. Der Durchschnittseinsatz liegt bei 120 kg A-III-Reiniger pro Reinigungstisch. Die große Mehrzahl der Anwender (über 90 Prozent) verfügt nur über einen davon. Werden, was die VOC-RL nicht vorsieht, Aerosolreiniger mitgerechnet, kommt es zu einer Verdopplung des KW-Einsatzes.

Bereits die in Tabelle 1 zitierte Liste der achtzig Kunden des Lieferanten von A-III-Reinigern im Dienstleistungssektor einer deutschen Großstadt mit der mittleren Einsatzmenge von 140 Liter bzw. 110 kg offenbarte diese Anwenderstruktur. Der größte Kunde in der Stadt, die Stadtwerke, kommen mit 1900 Liter Einkauf (entspricht ca. 400 l Verbrauch!) nicht annähernd in die Nähe des 2 t/a-Schwellenwerts. Der Kundengruppe Stadtwerke als mögliche Großverbraucher nachgehend, stießen wir bei den Stadtwerken Frankfurt a. M. erstmals auf mehr als 2 t Reiniger-Verbrauch: 2600 Liter, deren verschmutzter Rest nicht recyclet, sondern von einem Altölsorger abgeholt wird. Darauf gründet sich die Schätzung, daß in Deutschland nicht mehr als 40 Service-Betriebe über den Schwellenwert von 2 t/a KW-Verbrauch kommen.

Von den Autohäusern kommen selbst die größten nicht an einen so großen KW-Verbrauch heran, selbst dann nicht, wenn der KW-Verbrauch der Reinigungstische und der Sprays zusammengefaßt wird.

7 Emissionsminderung nach VOC-RL und nach Stand der Technik

Die EU-VOC-Lösemittelrichtlinie hat auf Spryanwendungen keinen Einfluß, und mit der KW-Reinigung am Waschtisch kommen maximal 40 Anwender über den Schwellenwert von 2 t/a. Verbrauchen diese 40 Betriebe zusammen 100 t/a und emittieren davon 25 t, zwingt sie die VOC-RL zu einer Emissionssenkung von insgesamt 5 t. Die Einhaltung des Emissionsgrenzwerts von 20% des Einsatzes ist unter den gängigen Anwendungsbedingungen durchaus möglich.

Führen dagegen die 10 000 Service-Betriebe über 18 Beschäftigte generell wäßrige Reinigung mit Waschautomaten und Heißwäschern ein (auch wenn das die VOC-RL nicht verlangt), so realisieren sie damit den Stand der Technik und vermindern die KW-Emissionen um insgesamt 2900 t/a: 400 t durch Waschtischreiniger und 2500 t Sprayreiniger.

Nachweise zu Kapitel 1

- autop Heilbronn Franz Hörstein, GB der Autoperkute Maschinenbau GmbH (Klaus Bucher, Armin Goldfuss) Fachgespräch automechanika Frankfurt 17.9.1998;
- Befragung Autochemie = Direkte und telefonische Befragung führender Anbieter von Reinigungssprays für das Kfz-Gewerbe 10/97-9/98 bei:
 Theo Förch GmbH & Co. KG, Neuenstadt (Zutterkirch), Fachgespräch automechanika Frankfurt 15.9.1998;
 Adolf Würth GmbH & Co. KG, Künzelsau (Erhard; Stockert) Fachgespräch Künzelsau 4.12. und 17.12.1997;
 Albert Berner GmbH & Co. KG, Künzelsau (Kempf), Fachgespräch Künzelsau 4.12.1997;
 Henkel Teroson GmbH, Heidelberg (Beck), pers. Mitt. 3.12.1997;
 Liqui Moly GmbH, Ulm (Baumann), Fachgespräch autotechnika Berlin 30.10.1997;
 Tunap Deutschland Vertriebs GmbH & Co Betriebs KG, Wolfratshausen (Rosenbaum), Fachgespräch automechanika Frankfurt 15.9.1998);
- Befragung Teilereinigung = Direkte und telefonische Befragung der führenden Anbieter von Reinigungstischen und dazugehörigen KW-Reinigern 6/98-1/99:
 IBS Scherer GmbH, Gaubickelheim (Axel Scherer, Wolfgang Scherer), Fachgespräch Gaubickelheim 23.6.1998;
 Terma-GmbH, Garbsen/Hannover (Dieter C. Müller), Fachgespräch automechanika Frankfurt 17.9.1998;
 UPEX Chemie GmbH, Stadthagen (Beumelburg), pers. Mitt. 25.1.1999;
 Safety Kleen Deutschland GmbH, Porta Westfalica (Garbaty, Kuhn, Nenneker) Fachgespräch Porta Westfalica 24.11.1998;
- Bremsenheißwäscher-Umfrage 1999: Telefonische und direkte Befragung 9/98 und 1/99 von Kfz-Betrieben mit Schickert-Bremsen-Heißwäscher bei:
 Ford-Lott (Lott), Neudenu; Opel-Biebighäuser (Caroli), Battenberg; BMW-Hanauer Landstr. (Galli), Frankfurt; Mercedes-Autohaus am Stern (Möller), Potsdam; Ford-Bartolme (Bartolme), Weinstadt; Audi-Nickl (Stegmaier), Augsburg.
- Bucher, Klaus (autop Heilbronn Franz Hörstein) Heilbronn, pers. Mitt. 29.1.1999;
- Hohmann, Sigurd (Norddeutsche Metall-Berufsgenossenschaft, Hannover): Antworten auf Fragen. Verwendungsbeschränkungen für Lösemittel in Teilereinigungsgeräten?, in: mo 52 (1998) 11, 854-855;
- Isleib, Thomas (Adolf Würth GmbH & Co. KG) Künzelsau, pers. Mitt. 27.1.1999;
- Jet-Cleaner-Umfrage 1999 = Telefonische Befragung 1/99 von Kfz-Betrieben mit autoperkute-Jet-Cleaner zur wässrigen Teilereinigung 1/99:
 Mercedes-Benz Daimlerstr. (Hartel), Offenbach; Mercedes-Benz Hahnstr. (Kreisel), Frankfurt a.M.; Mercedes-Benz Heerstr. (Hohmann), Frankfurt a.M.; Mercedes-Benz Truck & Bus Service-Center (Mahrwald), Rosbach; Mercedes-Herbrand (Gerats), Kevelaer; Ford-Hentschel (Kiene), Hannover.
- Kfz-Betrieb (83) 12/1993: Volle Ladung aus der Nachfüllbox (Bericht über das Dosen-Nachfüllgerät der Fa. Tunap);
- Kuhn, Hans-Jürgen (Safety Kleen Deutschland GmbH), Porta Westfalica, pers. Mitt. 29.1.1999;
- Schickert Edgar (Schickert GmbH, Fellbach), Schreiben an Öko-Recherche vom 5.12.1997;
- Schickert GmbH, Fellbach: Schickert-Bremsen- und Universal-Heißwäscher. Ohne viel Druck und Chemie eine saubere Sache. Informationsmaterial 1998;
- Schickert, Edgar (Schickert GmbH, Fellbach), pers. Mitt. 26.1.1999;

14 Reinigung im Dienstleistungsbereich

Schoberth, Edgar (Autoperkute Maschinenbau GmbH, Rheine) Fachgespräch autotechnika Berlin 30.10.1997;

Umfrage Autohaus: Schriftliche Befragung vom 1.10. bis 3.11.1997 zur Teile- und Aerosolreinigung bei 36 zufällig ausgewählten Autohäusern in 16 Bundesländern (20 Rückläufe, 8 von freien, 12 von fabrikatgebundenen Betrieben):

Höft Kiel (Opel); Reinert Stralsund (BMW); Ficke Hamburg (Nissan); Lampe Bremen-Lemwerder (VAG); Horstmann Oldenburg (frei); Hentschel Hannover (Ford); AH Antonplatz Berlin (Renault); AH Am Stern Potsdam (Mercedes); Krause Cottbus (frei); Freimfelde Halle (frei); Herbrand Kevelaer (Mercedes); Gerth Dortmund (frei); AH Haedenkampstraße Essen (Honda); Autocenter Ost Dresden (frei); AH Gera Nord Gera (frei); Köhler Koblenz (Honda); Veidt Weilrod (VAG); Herzing Maintal (frei); Engelberger Tübingen (frei); Nickl Augsburg (Audi).

ZH 1/562 (alte Fassung): Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (Hrsg.), Richtlinien für Einrichtungen zum Reinigen von Werkstücken mit Lösemitteln, Bestell-Nr. ZH 1/562, Ausgabe April 1992;

ZH 1/562 (neue Fassung): Berufsgenossenschaftliche Regeln für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit BGR 180 (bisherige ZH 1/562): Reinigen von Werkstücken mit flüssigen Reinigungsmitteln (Entwurf Dezember 1998). Hrsg.: Fachausschuß "Oberflächenbehandlung" der BGZ und Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften.

2. Kapitel

Entkonservierung von Pkw

Die Entkonservierung fabrikneuer Pkw wird in Deutschland überwiegend mithilfe organischer Lösemittel vorgenommen, die im Gemisch mit heißem Wasser eine zwischen 10 und 20 μ dicke Schicht aus Paraffinwachs (Killinger 1998) von den Autokarossern abreinigen. Jährlich werden für diesen Zweck 6600 t Reiniger (A-III) eingesetzt, von denen 1225 t in die Luft emittieren und 5375 t als Abfall entsorgt bzw. verbrannt (energetisch verwertet) werden.

Anwendung	Einsatz in t/a	Luftemission in t/a	Abfall in t/a
Kfz-Entkonservierung	6600	1225	5375
Spediteure (automat. Entwachsung)	4600	555	4045
Autohäuser (manuelle Entwachsung)	2000	670	1330

Über 2 t/a Lösemittel pro Betrieb werden in 29 automatischen Großanlagen von Spediteuren und in rund 250 Autohäusern, die manuell entkonservieren, verbraucht. Die EU-VOC-Richtlinie nimmt die Entkonservierung von einer Regulierung aus, da der Lösemittelgehalt im Entkonservierungsmittel unter 30 Gewichtsprozent beträgt.

1 Konservierung und Entkonservierung nach Fahrzeugmarken

Von den jährlich rd. 3,5 Mio. in Deutschland neuzugelassenen Pkw (VDA 1998) in- und ausländischer Herkunft werden rd. 70 Prozent werkseitig mit Außenkonservierung versehen. Die Schutzschicht aus Paraffinwachs, Acrylatwachs oder Klebefolie bewahrt frischlackierte Karossern vor aggressiven Luftschadstoffen, feuchter Seeluft, Vogel- und Insektenkot, Funkenflug, Staubaufwirbelungen, Oberleitungsabrieb u.dgl. bei Transport und Lagerung der Fahrzeuge.

Das in der Autofabrik aufgetragene Material wird von den mit dem Transport beauftragten Spediteuren wieder entfernt, bevor die Fahrzeuge an die Autohändler gelangen. Ein Teil der Autohändler führt die Entkonservierung selber durch.

Tab. 3, Zeile 11 zeigt: Fast die Hälfte der 1997 in Deutschland neuverkauften 3,528 Fahrzeuge (Spalte 2), nämlich 1,630 Mio. Stück (Spalte 3), war werkseitig mit Paraffinwachs konserviert, das mithilfe organischer Lösemittel entfernt werden muß. Davon wurden im Inland 1,420 Mio., im Ausland 0,210 Mio. Fahrzeuge entparaffiniert.

Die übrigen konservierten Pkw waren entweder mit synthetischem Wachs auf Basis von Acrylaten (484 Tsd.) oder mit Klebefolien aus Polyethylen (300 Tsd.) geschützt. Acrylate befanden sich ausschließlich auf französischen und italienischen Fahrzeugen. Bei Folien gibt es keine eindeutige Zuordnung zur geographischen Herkunft. Etwa 30 Prozent der Neufahrzeuge (über 1,1 Mio.) gelangten unkonserviert und folglich ohne Entkonservierung an die Kunden (Zeile 11, Spalte 6). Dabei handelt es sich fast ausschließlich um deutsche Marken (Zeile 2-4, jeweils Spalte 6).

Tab. 3: Zahl der im Inland 1997 neuverkauften Pkw nach Fahrzeugmarken in Bezug auf Konservierungsmittel und Entkonservierung in Tsd. Stück					
Schätzung					
1. Fahrzeugmarken	2. Gesamt-Absatz '97	3. Paraffin-Konserv.	4. Acrylat-Konserv.	5. Folien-Konserv.	6. Ohne Konserv.
2. Volkswagen, Opel, Audi, BMW, Porsche	1670	1100	-	70	500
3. Mercedes-Benz	299	-	-	-	299
4. Ford	381	-	-	153	228
5. Seat, Skoda	90	85	-	-	5
6. Renault, PSA, Fiat	484	-	484	-	-
7. Volvo	37	-	-	37	-
8. Rover	29	-	-	-	29
9. Toyota, Nissan, Mazda, Mitsubishi, Honda, Suzuki, Hyundai, Daihatsu, Subaru	431	381	-	40	10
10. Sonstige (< 9 Tsd.)	107	64	-	-	43
11. Inlandsabsatz	3528	1630	484	300	1114
davon im Ausland entkonserviert*		210	60	28	-
davon im Inland entkonserviert		1420	424	272	-

Quellen: Befragung dt. Autohersteller und Befragung Autoimporteure. Zum Inlandsabsatz wurden hilfsweise die Daten der Neuzulassungen herangezogen - nach VDA 1998.

* Schon in belgischen und niederländischen Seehäfen wurden 190 Tsd. japanische Pkw (in Zeile 9, Spalte 3 enthalten) entparaffiniert (Nissan, Honda, Mazda) bzw. entklebt (50% der 56 Tsd. Honda-Importe - in Zeile 9, Spalte 5 enthalten). Von den 64 Tsd. sonstigen Pkw mit Paraffinschutz (Zeile 10, Spalte 3) wird die im Ausland entwachste Stückzahl auf 20 Tsd. geschätzt. Bei den 60 Tsd. acrylatentkonservierten Fahrzeugen handelt es sich um 50% der 120 Tsd. PSA-Einfuhren (Peugeot/Citroen), die in den 484 Tsd. (Zeile 6, Spalte 4) französisch-italienischen Importen enthalten sind und im Elsaß entkonserviert werden.

Von den paraffinbewachsten Fahrzeugen kommen fast 80% von den fünf deutschen Herstellern Volkswagen, Opel, Audi, BMW und Porsche (Zeile 2, Spalte 3)⁵. Diese setzen für den Inlandsabsatz als Konservierungsmittel keine Acrylate ein und bislang nur wenig Folien. Allerdings verzichten sie bei etwa 30% der Auslieferungen an inländische Kunden bzw. bei 500 Tsd. Neufahrzeugen auf eine Konservierung (Zeile 2, Spalte 6).

Verzichtet wird bei kurzen Vertriebswegen: bei Wagen für Werksangehörige und Selbstabholer sowie für große Autohäuser mit überdachter Lagerung, ebenso bei Fahrzeugen für Kunden in der räumlichen Nähe der Autofabrik. Weil nur da, wo die Absatzwege ab Werk kurz sind, eine Konservierung unterbleibt, kommen Importfahrzeuge (lange Wege) nur selten unkonserviert auf den deutschen Markt (s. Zeilen 5-9, jeweils Spalte 6). Umgekehrt ist Konservierung bei deutschen Neufahrzeugen für den Export generell üblich, zumal für Überseetransport. Sie bleibt außerhalb unserer Betrachtung, weil die Entkonservierung im Ausland geschieht.

⁵ Auch die aus Spanien und Tschechien importierten Fahrzeuge des VW-Konzerns (Seat und Skoda) kommen paraffinbewachst ins Land (Zeile 5). Unkonserviert sind nur Pkw für grenznahe Autohäuser.

Unter den deutschen Herstellern fallen Mercedes und Ford in Bezug auf den Inlandsmarkt aus dem Rahmen (Zeilen 3 und 4). Mercedes konserviert für seine inländischen Kunden gar nicht, Ford konserviert wenig und wenn, dann nicht mit Paraffinwachs, sondern mit Folie (Befragung dt. Autohersteller).

Die Hintergründe dieser Unterschiede im Konservierungsverhalten zwischen deutschen Herstellern werden am Schluß dieses Kapitels erörtert. Hier reicht die generelle Schlußfolgerung aus Tabelle 3, daß Paraffinbewachsung zwar die zur Zeit vorherrschende Form der Fahrzeugkonservierung ist, daß es aber Alternativen zu ihr gibt.

2 Entkonservierung paraffinbewachster Fahrzeuge

Die Entwachsung geschieht durch Aufspritzen von 70-85°C heißem Wasser, dem ca. 5% Lösemittel zudosiert sind. Sie findet zum größten Teil in automatischen Durchlauf-Waschanlagen statt, von denen es in Deutschland 29 Stück gibt. Ihre Betreiber sind 8 bis 10 Speditionsunternehmen, die den Fahrzeugtransport von der Autofabrik oder - bei Importfahrzeugen aus Übersee - von den Häfen zu den inländischen Autohäusern abwickeln (Befragung Spediteure).

Einen kleineren Teil der bewachsten Neuwagen liefern die Spediteure unverändert an Autohäuser weiter. Diese sind solche, die unüberdachte Lagerbestände halten und die Fahrzeuge von Fall zu Fall selber entwachsen. Die Entkonservierung wird dort manuell durchgeführt, d.h. in einer Waschhalle mit einem Hochdruckstrahlgerät (HD-Gerät).

Aufgrund verschärfter Umweltauflagen hat sich die Entwachsung in den letzten Jahrzehnten von den Autohäusern weg und zu den Speditionsanlagen hin verlagert. Gegenwärtig werden jährlich über 1 Mio. Fahrzeuge bei Spediteuren entwachst, in Autohäusern sind es rd. 400 000 Stück (Salmann 1998; Kuhn 1998; Springer 1998).

2.1 Entwachsung in automatischen Durchlaufanlagen (Abb. 5)

2.1.1 Lösemittelkreislauf und Abluft (Abb. 5, 1-6)

Die bewachsten Fahrzeuge durchfahren in einem bis zu 25 Meter langen Tunnel (1) eine Vor-, Haupt- und Nachwäsche durch Hochdruckbesprühung (5). Die Hauptwäsche geschieht mit ca. 85°C heißem Wasser, das 5 % A-III-Lösemittel (Isoparaffine des Siedebereichs 210-240°C) enthält. (Nur Karossen mit sehr hart gewordener Wachsschicht werden mit purem Lösemittel vorgewaschen.) Aufgrund des hohen Sprühdruks und der hohen Temperatur, die den Erweichungspunkt des Wachses erreichen muß, bildet die Flüssigkeit eine stabile Emulsion.

Pro Fahrzeug werden je nach Größe 3-6 Liter Lösemittel und 400 bis 1000 Liter Wasser eingesetzt, um 300-750 Gramm Paraffinwachs zu entfernen (Salmann 1998). Das Abwassergemisch wird vom Sammelgraben der Anlage in eine Trenneinheit (2) abgezogen. Darin setzt sich das lösemittelhaltige Wachs ab (im Bild schwarzes Kreissegment) und gelangt in einen Schmutztank zur Abfallentsorgung. Gebrauchtes Wasser und Lösemittel gehen je nach Verschmutzung zwei Hauptwege: Stark verschmutztes Wasser wird über eine Emulsionsspaltanlage in die Kanalisation geleitet (nicht abgebildet). Geringer verunreinigtes Wasser (im Bild punktiert) wird im Wärmetauscher (4) wiedererhitzt und in die Waschanlage zurückgepumpt, wobei

Frischwasser nach Bedarf nachdosiert wird. Stark verschmutztes Lösemittel (im Bild grau) gelangt als Brennstoff in den Heizkessel (3) und ersetzt dort Heizöl. Gering verschmutztes Lösemittel (im Bild weiß) gelangt nach Wiedererhitzung (4) in die Waschanlage zurück. Lösemittelverluste werden aus dem Frischtank ergänzt.

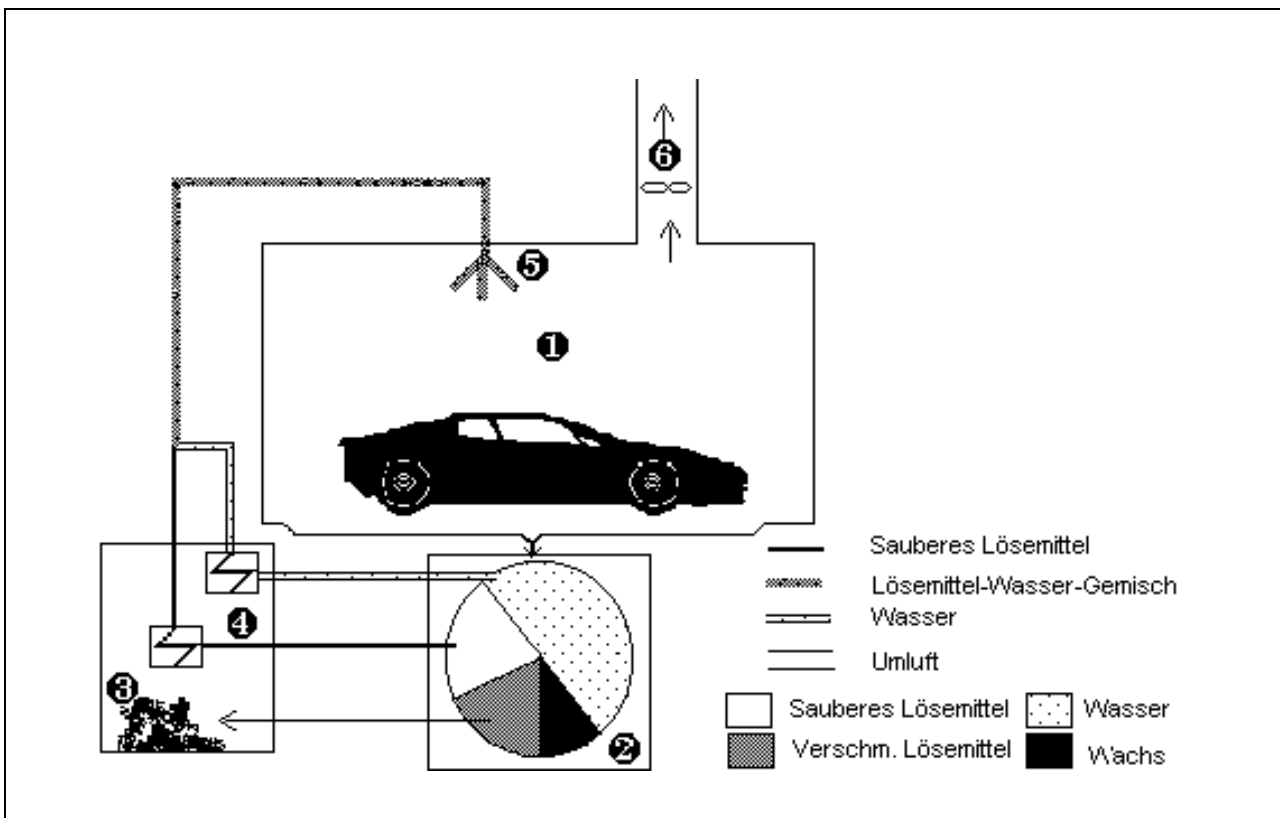


Abb. 5: Vereinfachtes Schema Entwachsungsanlage. 1 = Waschtunnel. 2 = Trenneinheit (Wasser/Wachs/Sauberes Lösemittel/Verschmutztes Lösemittel). 3 = Heizkessel. 4 = Wärmetauscher Wasser u. sauberes Lösemittel. 5 = Sprühsystem. 6 = Abgasansaugung mit Ventilator.

Ein Teil des Lösemittels gelangt beim Anlagenbetrieb in die Abluft. Eine Ventilation mit ca. 8000 m³/h Durchsatz (6) saugt aus dem Waschtunnel laufend lösemittelhaltige Aerosole ab, um die Begehrbarkeit der Anlage zu gewährleisten und um u.a. Schimmelbildung durch Feuchtigkeit vorzubeugen. Bei Abgastemperaturen von 50 °C beträgt die Lösemittelkonzentration ca. 4 g/m³. Das bedeutet, daß bei diesem Anlagentyp pro Betriebsstunde rund 32 kg VOC-Lösemittel durch das Abgasrohr nach außen gelangen. Darüber hinaus kommt es am Tunnelein- und -ausgang zu diffusen Emissionen von mindestens 1 kg/h. Übliche Stundenwerte für gesamte VOC-Emissionen sind 30 bis 35 kg Lösemittel.

Entwachsungsanlagen fallen nicht unter das BimSchG; sie gelten als Autowaschstraßen. Allerdings müßten sie die TA Luft trotzdem einhalten (Salmann 1998). Der Schwellenwert von 3 kg/h wird von Entwachsungsanlagen des dargestellten Typs um das Zehnfache überschritten, obwohl sie vom eingesetzten Lösemittel 80% nicht in die Luft ablassen, sondern als Brennstoff verwerten (direkt als Heizölersatz mit 90% von dessen Heizwert oder indirekt im Zementwerk als Rest im Wachsabfall).

2.1.2 Die VOC-Emissionen der automatischen Entwachsungsanlagen

Der stündliche Fahrzeugdurchsatz beträgt bei Entwachsungsanlagen rd. 40 Stück (Salmann 1998). Der Lösemittelverbrauch liegt bei 4 kg pro Fahrzeug oder 160 kg pro

Betriebsstunde. Die VOC-Emissionen betragen bei alten Anlagen (s.o.) pro Stunde ca. 33 kg. Auf ein Fahrzeug umgerechnet (der vierzigste Teil) sind das über 0,8 kg.

Im Mittel der wechselnden Automobilkonjunktur ist die Entwachsungsanlage im Jahr 1000 Stunden in Betrieb. In diesem Zeitraum verbraucht sie 160 t Lösemittel, wovon sie 33 t in die Luft emittiert und etwa 127 t direkt und indirekt als Brennstoff nutzt. Wegen der großen Abnahmemengen für Lösemittel werden die Anlagen nicht über Zwischenhändler, sondern von den Mineralölherstellern selbst beliefert (Forner 1998).

Die Anzahl der Altanlagen, die keine Abgasreinigung betreiben, beträgt 13 Stück.

Daneben gibt es weitere zwölf, bei welchen die warme Abluft über Wärmetauscher zur Vorwärmung des Frischwassers mitbenutzt wird. Die Ablufttemperatur sinkt dabei um ca. 10 °C, das Abgas wird durch den Kondensationseffekt teilweise von Lösemittel entsättigt - je nach Siedehöhe des Lösemittels bis auf Konzentrationen von 1 g/m³. Diese Anlagen neuerer Bauart emittieren pro Betriebsstunde ca. 10 kg Lösemittel.

Aus der Zeit vor 1988 stammen weitere vier Anlagen mit thermischer Nachverbrennung des Abgases. Aufgrund der energetischen Ineffizienz (hoher Aufwand an Fremdenergie, die als ungenutzte Abwärme verloren geht) wurde dieses Konzept in Deutschland seitdem nicht mehr weiterverfolgt. Emissionen aus diesen Anlagen, die Abgaskonzentrationen von 10 mg/m³ einhalten, sind vor allem diffuser Art: etwa 1 kg/h.

Alle 29 Entwachsungsanlagen verbrauchen zusammen pro Jahr ca. 4600 t Lösemittel, wovon sie 555 t in die Luft emittieren: ca. 430 t Emissionen von den 13 Anlagen ohne jegliche Abgasbehandlung, ca. 120 t von den Anlagen mit gewisser Abluftkondensation und knapp 5 t von den Anlagen mit thermischer Nachverbrennung. Die durchschnittliche Emission pro Anlage (gewichteter Mittelwert) liegt bei 19,1 t/a.

2.2 Manuelle Entwachsung im Autohaus

Rund 2300 von 30 000 mit Neuwagenhandel befaßten Autohäusern entkonservieren Neufahrzeuge selber, und zwar manuell (Garbaty u.a. 1998). Der Jahresdurchsatz liegt bei insgesamt 400 000 Stück oder durchschnittlich 200 Fahrzeugen pro Händler. Die Spannbreite reicht von weniger als 100 bis weit über 4000 Fahrzeuge pro Händler und Jahr. Die Motive der Selbstentwachsung liegen teils in dem Vorteil, unüberdachte Lagerbestände halten zu können, teils in der Ersparnis der vom Spediteur verlangten Entwachungskosten von rd. 50 DM pro Fahrzeug.

Über 90 Prozent der selbstentkonservierenden Autohäuser, etwa 2100 Kfz-Betriebe, entfernen den Wachsüberzug, ohne unverdunstetes Lösemittel aufzufangen. Sie behandeln pro Jahr im Durchschnitt >100 Fahrzeuge, insgesamt 240 000 Stück. Die anderen 10 Prozent, etwa 200 Autohäuser, verfügen über geschlossene Kreislaufanlagen zur Aufbereitung lösemittelhaltigen Prozeßwassers aus der (tensidlosen) Entkonservierung. Diese - in der Regel größeren - Händler haben einen mittleren Fahrzeugdurchsatz von rd. 800 Wagen. Der entsprechende Gesamtdurchsatz beträgt rd 160 000 Fahrzeuge. Ihr Lösemittelverbrauch reicht von 0,8 bis 4 t/a pro Betrieb. Rund 200 selbstentwachsende Betriebe verbrauchen über 2 t/a.

2.2.1 Manuelle Entwachsung ohne Kreislaufanlage (Abb. 6, 1-4)

Im Prinzip wird wie in der Großanlage entwacht, d.h. es wird heißes Wasser, das mit 3-6% Lösemittel versetzt ist, auf die Karosserie gespritzt. Dies geschieht in einer Waschhalle mit einem HD-Gerät (1) mit 50 bar Druck, dessen Durchlauferhitzer für Temperaturen über 70°C sorgt. Die Entwachsung pro Fahrzeug dauert länger als in der automatischen Anlage: zwischen 15 und 30 Minuten, je nach Professionalität des Bedienpersonals und Größe des Fahrzeugs. Die Waschhalle, in der mit dem HD-Reiniger meist auch Unterboden- und Motorwäschen vorgenommen werden, verfügt für Schmutzwasser (2) über einen Schlammfang (3), der die Sinkstoffe, die schwerer als Wasser sind, zurückhält. Darauf folgt der Benzinabscheider (4) nach DIN 1999, Teil 1-3, bei dem unemulgierte Leichtflüssigkeiten aus dem Abwasser aufschwimmen.

Stand der Technik ist statt des Benzinabscheiders ein wirkungsvollerer Koaleszenzabscheider (DIN 1999, Teil 4-6). Beide Systeme sind aber damit überfordert, stabile Emulsionen zu trennen, wie sie die Schmutzwässer aus der Entkonservierung infolge der hohen Arbeitsdrücke und -temperaturen sind (LWA 1992, 30/31; Mercedes-Benz 1991, 86/87). Darum sind die Grenzwerte für die Abwassereinleitung in den Kanal auf diese Weise nur schwer einzuhalten, obwohl tensidlos gereinigt wird.

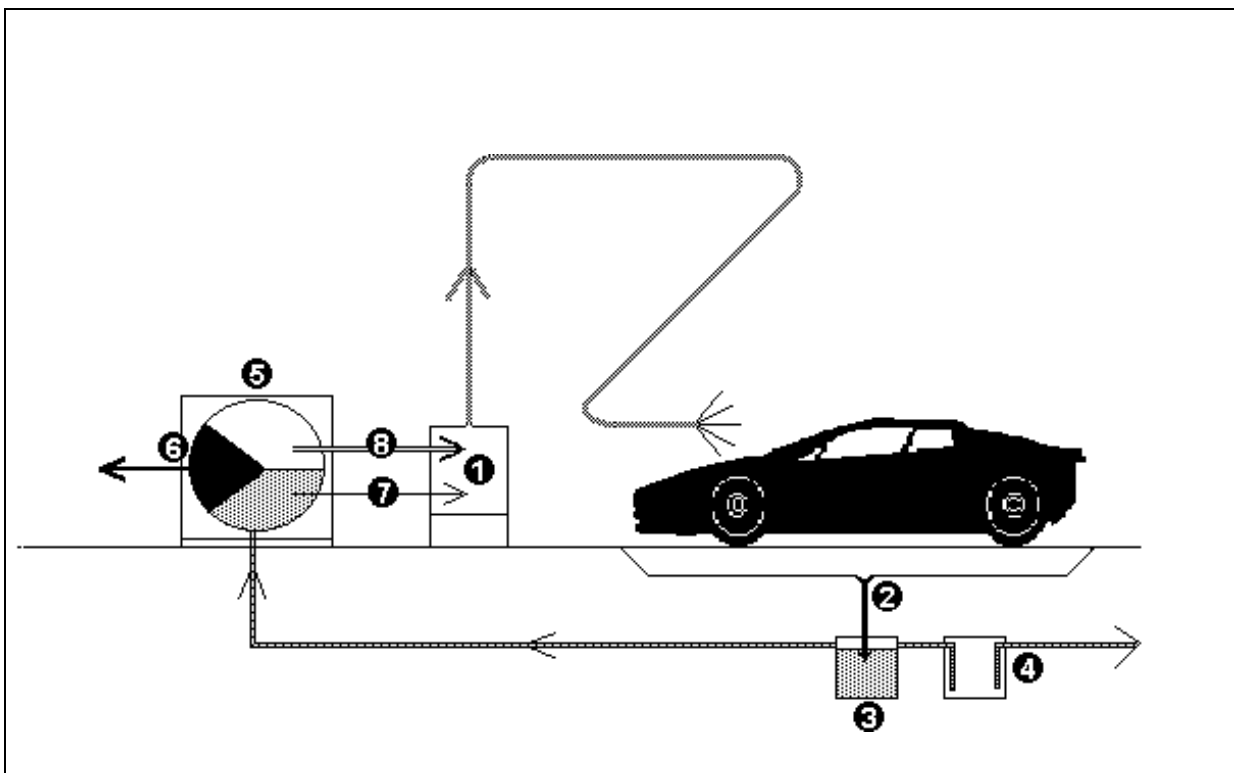


Abb. 6: Prozeßschema bei manueller Kfz-Entwachsung. 1 = Hochdruckgerät mit Spritzeinrichtung. 2 = Schmutzwasser-/Emulsions-Ablauf. 3 = Schlammfang. 4 = Benzinabscheider mit Kanalablauf. 5 = Trenneinheit/Kreislaufanlage. 6 = Abgeschiedenes Wachs zur Entsorgung. 7 = Entkonservierer. 8 = Wasser. Der Prozeß ohne Kreislaufanlage durchläuft nur die Stationen 1 - 2 - 3 - 4. Der Prozeß mit Kreislaufanlage läßt Station 4 (Benzinabscheider und Zulauf in den Kanal) weg: 1 - 2 - 3 - 5 - 6 - 7 - 8.

2.2.2 Manuelle Entwachsung mit Kreislaufanlage (Abb. 6, 1-3 u. 5-8)

Kreislaufanlagen, die 45 000 bzw. 60 000 DM aufwärts kosten, lohnen sich bei Fahrzeugdurchsätzen ab ca. 500 Stück pro Jahr, da sie ca. 75 Prozent Lösemittel und Was-

ser einsparen (KUPS 1998). Die Kreislaufanlage für die Aufbereitung von lösemittelhaltigem tensidlosem Prozeßwasser aus der Entkonservierung, aber auch der Motorreinigung und Unterbodenwäsche, heißt bei Safety-Kleen "Awamat" (Safety-Kleen 1991) und bei KUPS Umwelttechnik "KUPS 1000". Beide Geräte können im Durchfluß das Wachs aus dem Lösemittel-Wasser-Gemisch entfernen und in der Ruhephase Wasser und Entkonservierer durch Schwerkraft trennen.

Die Entwachsung des Fahrzeugs selbst erfolgt mit Kreislaufanlage nicht anders als ohne; die Stationen 1-3 in Abb. 6 sind für beide Verfahren gleich. Erst nach dem Schlammfang unterscheiden sich die Wege des Mischwassers. Statt in den Benzinabscheider (4) fließt es in die Aufbereitungsanlage (5). Dort wird das Wachs (6) aus dem Lösemittel-Wasser-Gemisch separiert, während Entkonservierungslösemittel (7) und Wasser (8) in das Hochdruck-Gerät zurückgelangen. Regelmäßig entsorgt wird grundsätzlich nur das Wachs mit Resten von Lösemittel und Wasser. Während bei dem einen Anlagentyp Lösemittel nur im Maße seiner Verdunstung nachdosiert wird⁶, wird bei dem anderen ab und zu das mehrfach gebrauchte Lösemittel durch neues ersetzt und das alte zur Regeneration abgeholt. Das auf diese Weise erhaltene Regenerat beläuft sich pro Jahr allerdings auf weniger als 25 Tonnen (Kuhn 1999).

2.2.3 VOC-Verbrauch und Luftemissionen bei manueller Entwachsung

Bei der dezentralen Entkonservierung hängt der effektive Lösemittelverbrauch davon ab, ob der Betreiber eine Recyclingeinrichtung für das Schmutzwasser betreibt oder nicht. Zwar werden in beiden Fällen pro Fahrzeug 5-6 Liter (5 kg) Entkonservierer eingesetzt, von denen über 1 Liter oder ca. 1 kg in die Atmosphäre verdunsten. Doch im Falle einer Kreislaufanlage wird die restliche Menge von ca. 4 kg zurückgewonnen und - um den Verdunstungsverlust ergänzt - neu eingesetzt. Wird dagegen ohne Kreislaufanlage entwacht, sind auch die 4 kg Entkonservierer im Schmutzwasser nicht wiederzuverwenden. Sie werden aus dem Abscheider als Sonderabfall entsorgt. Ein nicht unerhebliches Quantum gelangt in die Kanalisation.

Für die manuelle Fahrzeugentwachsung werden jährlich 1,2 Mio. kg oder 1200 t Lösemittel eingesetzt, davon >1000 t in Autohäusern ohne und 160 t in Autohäusern mit Kreislaufanlage. An "Entkonservierer" wird von den Autohäusern aber eine deutlich größere Menge eingekauft, insgesamt rd. 2000 t (Garbaty u.a. 1998). Zu mindestens einem Drittel (Hoyer 1998) wird dieser, wie oben bemerkt, nämlich zur tensidlosen HD-Reinigung von Motor und Unterboden eingesetzt. (Obwohl diese Anwendung keine Entkonservierung ist, wird sie hier nicht gesondert behandelt, sondern der Entkonservierung zugerechnet, zumal es sich technisch um das gleiche Verfahren und chemisch-physikalisch um das gleiche organische Lösemittel handelt.)

Von den jährlich der manuellen Entkonservierung (im weiteren Sinne) zugeführten 2000 t Reiniger emittieren bei den 2300 Anwendern in die Luft aus der Entwachsung 400 t und aus sonstigen Anwendungen 270 t - zusammen 670 t. Zu Abfall (incl. Abwasserbelastung) werden 1330 t.

⁶ Der Kaltreiniger muß dafür laufend gefiltert werden, so daß zur Entsorgung außerdem gebrauchtes ölhaltiges Filtervlies ansteht (Schmidt 1998).

2.3 Verbrauchs- und Emissionsminderung von VOC bei der Entwachsung

Zu unterscheiden ist die zentrale Durchlauf-Entwachsung bei Speditionen mit 555 t Luftemissionen von der dezentralen manuellen Entwachsung bei Autohäusern mit 670 t Luftemissionen.

2.3.1 Dezentrale Entwachsung mit Verbrauchsreduzierung

Bei der manuellen Entwachsung können durch stärkere Verbreitung von Kreislaufanlagen zwar nicht die Luftemissionen von insgesamt 670 t reduziert werden, wohl aber durch Kreislaufanlagen die Lösemittelabfälle. Solange kleine Autohändler mit geringem Neuwagendurchsatz selber entwachsen, stehen der Verbrauchs- und Abfallersparnis durch Kreislaufanlagen aber deren Anschaffungskosten gegenüber, die sich meist erst bei höheren Durchsätzen amortisieren. Preiswerter dürfte die Verlagerung der Entwachsung auf die Großanlagen der Spediteure sein. Technisch steht dem nicht viel im Wege. Die o.a. Motive für Selbstentwachsung - Lagerhaltung im Freien, Kosteneinsparungen - sind nicht sehr überzeugend.

Bei der Entwachsung in automatischen Durchlaufanlagen, die z. Zt. 4600 t/a Lösemittel verbrauchen, sind die gemittelten Emissionswerte pro Fahrzeug günstiger: 0,5 gegenüber 0,1 kg. Außerdem muß der Lösemittelabfall nicht abtransportiert werden, sondern wird an Ort und Stelle zum Heizen mitbenutzt.

2.3.2 Zentrale Entwachsungsanlagen mit 95%-iger Emissionssenkung

Auch wenn Durchlaufanlagen mit 0,5 kg pro Fahrzeug weniger VOC-Emissionen verursachen als die manuelle Entwachsung mit 1 kg, sind 19,1 kg Emissionen pro Betriebsstunde überaus viel. Der sorglose Umgang mit der Abluft stammt technisch aus einer Zeit, als den Emissionen organischer Lösemittel erst wenig Aufmerksamkeit galt.

Um die Emissionen auf die Hälfte des 3 kg/h-Schwellenwerts der TA Luft zu senken, schlägt der Marktführer für Entwachsungsanlagen, die Hohmeier Anlagenbau GmbH, eine im Ausland bereits mehrfach realisierte Nachrüstung mit optimierter Abgasreinigung und Umluftführung vor. Dabei senkt ein Kondensator in der Abluftanlage dank Kühlwasserkreislauf die angesaugte Abluft von 50 °C auf 30 °C und entsättigt sie dadurch von 4 g/m³ auf 0,7 g/m³ Lösemittel (vgl. Dt. Exxon 1998). Von der durch Abkühlung so weit auskondensierten Luft wird ein großer Teilstrom wiedererhitzt und als getrocknete Umluft in den Tunnel zurückgeführt. Ein kleinerer Teil der entsättigten Abluft wird als Verbrennungsluft abgezweigt und in den Heizkessel geleitet.

Nach außen führt ein viel geringerer Teilstrom als bei üblichen Anlagen: in der Regel nur 2000 m³/h statt 8000 m³/h. Die stündliche Abgasemission beträgt nur noch 1,4 kg (2000 m³ x 0,7 g). Außerdem wirkt die in die Tunnelöffnungen geblasene Umluft (ca. 8000 m³/h) als Barriere gegen den Austritt diffuser Emissionen, die auf ca. 0,1 kg veranschlagt werden. Die Emissionen im Normalbetrieb belaufen sich auf maximal 1,5 kg. Das ist eine Senkung gegenüber den Altanlagen um 95%, gegenüber den weniger alten immer noch um 85%. Über eine solche emissionsgeminderte Entwachsungsanlage in Antwerpen liegt ein Meßbericht vor, der die Werte im großen und ganzen bestätigt (SGS 1994). Damit sind zwar nicht die Emissionsgrenzwerte für das Abgas lt. VOC-RL zu erzielen, aber wenigstens würde die TA Luft eingehalten.

Die zusätzlichen Kosten des Abluftsystems belaufen sich auf 1 Mio. DM bei sehr alten und etwa 500 000 DM bei weniger alten Anlagen. (Salmann 1998). Bei Nachrüstung aller bestehenden 25 Entwachsungsanlagen (für insgesamt 19 Mio. DM) könnten die VOC-Emissionen von derzeit 555 t/a auf unter 40 t/a sinken. Die Kosten sind so hoch, daß sie ohne rechtlichen Zwang kaum aufgebracht werden.

Hier wirkt sich die Ausnahme der Entkonservierung aus der Regulierung durch die VOC-RL ungünstig aus. Eine Emissionssenkung von 415 t wird infolge einer Sonderklausel über Reinigungsmittel mit geringem VOC-Lösemittelgehalt vergeben.

In den USA werden übrigens Entwachsungsanlagen mit thermischer Nachverbrennung noch gebaut. Sie arbeiten außer mit Kondensation zusätzlich mit nachgeschalteter thermischer Nachverbrennung (Hohmeier o.J.). Wegen der großen zusätzlichen Energiezufuhr, die zur Hälfte in ungenutzter Abwärme resultiert, würde dieses Verfahren in Deutschland wegen des höher bewerteten Klimaschutzes auf mehr Skepsis stoßen. Der Abgasgrenzwert der VOC-RL von 75 mgC/m³ in der Abluft könnte allerdings eingehalten werden.

3 VOC-Substitution bei der Fahrzeug-Entkonservierung

Statt mit Paraffinwachs können Neufahrzeuge auch mit synthetischen Wachsen oder Folien geschützt werden. Da aber bei Totalverzicht auf Konservierung überhaupt keine Entkonservierung erforderlich ist, gilt die Aufmerksamkeit zunächst dieser umweltschonendsten Form der VOC-Substitution.

3.1 Der Verzicht auf Konservierung und seine gegenwärtigen Grenzen

Eingangs dieses Kapitels wurde der Verzicht auf Außenschutz von Neufahrzeugen als typisch für kurze Absatzwege ab Fabrik gekennzeichnet. So unterbleibt die Konservierung bei 30% der auf den Inlandsmarkt gebrachten Pkw derjenigen deutschen Autohersteller, die sonst Paraffinwachs einsetzen.

Andere Automobilunternehmen fassen "kurze Absatzwege" weiter und konservieren für den ganzen deutschen Markt nicht. Das gilt für den deutschen Hersteller Mercedes-Benz. Das gilt in gewisser Hinsicht aber auch für die japanischen Hersteller Nissan, Honda und Mazda, die nach der Paraffinentwachsung in belgischen bzw. niederländischen Seehäfen die Verteilung ihrer Fahrzeuge zu deutschen Autohäusern ohne erneuten Wachsüberzug vornehmen. Auch die im Elsaß entkonservierten Pkw von Peugeot und Citroen werden nach ganz Deutschland ausgeliefert, ebenso wie die britischen Rover-Fahrzeuge, welche die kurze Überfahrt über den Kanal ohne Außenschutz machen. (Vgl. Tabelle 3.)

Der Verzicht auf Konservierung ist aber an bestimmte Bedingungen geknüpft.

Zunächst gilt festzuhalten, daß die deutschen Massenhersteller VW und Opel in höherem Maße als Audi, BMW oder Porsche inländische (selbstentwachsende) Autohäuser beliefern, die ihre Neufahrzeuge z. T. monatelang unüberdacht lagern und sie darum konserviert anfordern (Befragung dt. Autohersteller).

Entscheidender ist aber dies: Allen Autofirmen, die den ganzen deutschen Markt ohne Konservierung beliefern, ist gemeinsam, daß sie für den Transport nicht die Eisenbahn in Anspruch nehmen, sondern ausschließlich Straßenfahrzeuge.

Beim Straßentransport gilt das Schadensrisiko für den Karosserielack nicht als so hoch wie bei der Bahn. Auf diese entfallen aber 50% aller Neuwagen-Transporte der deutschen Autohersteller (Adam 1998; Dicke 1998). In diesen Durchschnittswert gehen die 75% von Audi genauso ein wie die "Null Prozent" von Mercedes.

Als bahnspezifische Risikofaktoren werden von allen deutschen Autoherstellern genannt: Funkenflug von der Lokomotive, Abrieb von den Oberleitungen und insbesondere Schmutzteilchen-Verwirbelungen infolge der hohen Relativgeschwindigkeit bis zu 240 km/h im Falle von Verkehr auf dem Gegengleis. Die Aufwirbelungen können bei dem geringen Abstand zum Gegenzug den Lack durch Partikelauflaufprall schädigen und gelten als bahnspezifisches Hauptrisiko. Es ist durch einfache Überdachungen der Waggons nicht auszuschalten (Befragung dt. Autohersteller).

Der Schienentransport ist der Grund dafür, daß Ford heute für den Absatz in Deutschland wieder Neufahrzeuge konserviert, nachdem das Unternehmen jahrelang versucht hatte, innerhalb Europas ganz darauf zu verzichten. Das Unternehmen ist jedoch nicht zur Paraffinbewachung zurückgekehrt, sondern hat für Bahntransporte generell die Konservierung mit Klebefolie eingeführt.

3.2 Synthetische Wachse (Polyacrylate) statt Paraffinwachs

Tabelle 3 eingangs dieses Kapitels zeigte, daß über 400 Tsd. französische und italienische Importfahrzeuge mit polymeren Acrylatwachsen ins Land kommen und davon entkonserviert werden. Im Unterschied zur Paraffinentwachsung, die physikalisch, nämlich durch Schmelzung der Schutzschicht, erfolgt, liegt der Entfernung der Polyacrylate ein chemischer Prozeß zugrunde (Killinger 1998).

Es werden stark alkalische Reinigerkonzentrate (pH 13,5) auf den Lack aufgesprüht. Sie reagieren mit dem sauren Wachs. Dabei zerreißt der Schutzfilm, der dann mit viel Wasser (über 800 Liter je Pkw) abgespült wird (LWA 1992, 49). Im Falle von Durchlaufanlagen bei Spediteuren geschieht die Entkonservierung automatisch, und zwar mit einem Durchsatz von über 30 Fahrzeugen pro Stunde. Im Falle der dezentralen Entwachsung im Autohaus wird mit einem HD-Gerät gearbeitet. Wegen der hohen Alkalität des Reinigers und seiner Aerosole sind unbedingt Schutzbrille und Schutzkleidung zu tragen (Befragung Spediteure).

Im Unterschied zur - technisch vergleichbaren - Paraffinentwachsung enthalten weder Abluft noch Abwasser Kohlenwasserstoffe. Allerdings sind durch das vollständig gelöste Schutzwachs der CSB-Wert und durch den Reiniger der pH-Wert des unbehandelten Abwassers sehr hoch. Darum muß das Abwasser vor Einleitung behandelt werden. Als technischer Nachteil der Acrylate wird ihre schwierige Entfernbarekeit von der lackierten Karosserie genannt. So sei diese Art der Konservierung auf maximal drei Monate begrenzt (danach müsse sie erneuert werden), und außerdem gelinge die Entkonservierung selten "kontaktlos", d.h. ohne mechanische Bürsten, die zu Lackkratzern führen können.

3.3 Konservierung mit Kunststoff-Folien

Mit Folien wird seit über zehn Jahren experimentiert. Sehr spektakulär waren die von BMW eingesetzten wiederverwendbaren Schutzhauben mit Reißverschluß, die das ganze Fahrzeug einfaßten, die aber aus Kostengründen gestoppt wurden. Aktuell bei mehreren Autoherstellern in der Entwicklung befinden sich Sprühfolien, die den Wachsen vergleichbar auf die Karosserie aufgetragen werden können.

Gegenwärtig in Anwendung sind selbstklebende Folien aus Polyethylen, die unter der Marke "Rapguard" (von Du Pont) bekannt wurden, aber auch von anderen Unternehmen angeboten werden. Meist werden sie unter Aussparung der Fenster nur auf die waagrechten Blechpartien des Fahrzeugs aufgebracht: Kühlerhaube, Dach und Kofferraumdeckel. Senkrechte Partien (Türen u. dgl.) werden weniger häufig beklebt. Die Klebefläche der 50 µ dicken Folie beträgt pro Pkw ca. 5 qm, ihr Gewicht ca. 2 kg. Gegen Sonnenstrahlung ist sie weiß pigmentiert.

Entkonserviert im Sinne von Folien-Abziehen werden in Deutschland die bahntransportierten Ford-Neufahrzeuge sowie alle importierten Volvos. Darüber hinaus das in den Niederlanden gebaute Modell Carisma von Mitsubishi. Von den deutschen Autofirmen mit Schwerpunkt Paraffinkonservierung gibt es ebenfalls einige kleinere Modellreihen mit Folienbeschichtung, so von Audi oder BMW. Der neue "Beetle" von VW wird von Amerika nach Deutschland mit Folienschutz geliefert.

Die Entkonservierung erfolgt bislang manuell. Als Problem wird von den Spediteuren der Müllanfall genannt, der sich aber in der Verbrennung relativ harmlos verhält, da die Folie bis auf das Weißpigment Titandioxid und den Klebstoff (< 1% Anteil) aus reinem Polyethylen besteht (Befragung dt. Autohersteller).

3.4 Möglicher Trend künftiger Konservierung und Entkonservierung

3.4.1 Weniger Fahrzeuge überhaupt noch konserviert

Schon aus Kostengründen dürften mittelfristig Neufahrzeuge aus dem Inland für das Inland nur noch zum Transport mit der Eisenbahn und für Autohändler mit großer Lagerung im Freien konserviert werden. Die damit einhergehende Reduktion auf wirklich konservierungsbedürftige Fahrzeuge wird vor allem die bisher paraffinbewachsen betreffen. Sie wird eintreten, sobald die Hersteller logistische Probleme gelöst haben, die einer reibungslosen EDV-gestützten Fertigungssteuerung der Automobile nach ev. Konservierungsbedarf noch im Wege stehen (Befragung dt. Autohersteller).

Nach Eigenschätzung brauchen auf diese Weise jährlich mindestens 200 Tsd. Neufahrzeuge aus deutscher Produktion im Inland nicht mehr entwachst zu werden.

3.4.2 Trend zur Folie bei konservierungsbedürftigen Fahrzeugen

Innerhalb der noch erforderlichen Konservierung ist eine Abkehr vom Paraffinwachs zu erwarten. Alternativen sind Acrylatwachs oder Kunststoff-Folie.

Acrylat-Entkonservierung wird in Deutschland aufgrund der französisch-italienischen Importe praktiziert. Auch die Acrylat-Konservierung selbst wird in einigen Autofabriken

angewendet - so bei Audi und VW für den US-Markt. Bei der Entkonservierung fallen die atmosphärischen VOC-Emissionen zwar weg, es bleiben jedoch Abwasser- und Arbeitsschutzprobleme, vor allem bei manueller Arbeitsweise. Doch nicht nur diese sprechen gegen eine Totalumstellung auf Acrylatbe- und entwachsung. Es müßten nämlich nicht nur die Autofabriken mit hohen Investitionen ihre Paraffinwachsanlagen durch solche zur Acrylatbewachsung ersetzen. Vielmehr müßte auch die Kundenseite - Speditionen und Autohäuser - eine umfangreiche Infrastruktur zur Entkonservierung aufbauen.⁷

Darum sind dem gegenwärtigen Trend vom Paraffinwachs zur Folie größere Erfolgchancen einzuräumen. Generellen Folienschutz gibt es in Deutschland bei Ford (bahntransportierte Pkw für In- und Ausland) und Mercedes (Exportfahrzeuge nach Übersee), sporadisch tragen auch die übrigen deutschen Hersteller Folie auf.

Gewiß erfordert auch eine Totalumstellung auf Folienauftrag in den Autowerken hohe Investitionen in Neuanlagen. Doch obwohl pro konserviertes Fahrzeug das reine Folienmaterial mit ca. 10 DM mehr kostet als das 1 bis 2 Mark teure Wachs (Befragung dt. Autohersteller), fallen die zusammengefaßten Kosten der Konservierung bei Autoherstellern und der Entkonservierung bei den Kunden nicht höher, sondern eher niedriger aus. Grund: Eine Infrastruktur zur Entkonservierung, vergleichbar der Paraffin- oder Acrylatentwachsung, ist nicht nötig. Folien sind nicht nur beim Auftrag im Werk und bei der Entkonservierung auf der Kundenseite das umweltverträglichste Verfahren, sondern gesamtwirtschaftlich betrachtet wohl auch das billigste.

In mehreren Autounternehmen werden z. Zt. die Umstiegskosten von Paraffinwachs auf Folie durchgerechnet (Befragung dt. Autohersteller). Haupthemmnis beschleunigter Umstellung sind nicht die künftig erwarteten laufenden Kosten, sondern die hohen einmaligen Investitionen in Neuanlagen. Sie kämen auf die Autounternehmen zu einem Zeitpunkt zu, an dem ihre Anlagen zur Paraffinbewachsung noch intakt sind.

Die Investitionen in Neuanlagen zum Folienauftrag würden sicher umso eher realisiert, wenn politisch-rechtliche Rahmenbedingungen die mit beträchtlichem Lösemittelverbrauch verbundene Entkonservierung im Falle der Paraffinbewachsung erschwerten.

4 Emissionsminderung nach VOC-RL und nach Stand der Technik

Wie mehrfach bemerkt, bewirkt die VOC-RL durch ihre Ausnahmeklausel bei der Pkw-Entkonservierung keine VOC-Emissionsminderung.

Unabhängig davon könnten durch nachträgliche Einführung des Standes der Technik bei 25 zentralen Entwachsungsanlagen die VOC-Emissionen um 510 t/a reduziert werden. Hält der Trend von dezentraler Entwachsung zu zentralen Duchlaufenanlagen an, werden auch die Emissionen aus der manuellen Entwachsung gesenkt. Wenn - drittens - die wachsfreie Konservierung vorankommt und damit der Entwachsungsbedarf absolut sinkt, ist als Resultat aller drei Maßnahmen nur noch mit 100 t VOC-Emissionen jährlich zu rechnen. Zum Vergleich: Gegenwärtig sind es 1225 t.

⁷ Der Mangel an flächendeckender Acrylatentwachsung auf dem Stand der Technik ließ übrigens die Option Acrylatbewachsung für Ford bei der Wiederaufnahme der Konservierung für den inländischen Bahntransport scheitern (Befragung dt. Autohersteller).

Nachweise zu Kapitel 2

- Adam, Michael (Deutsche Bahn Cargo), Mainz, pers. Mitt. 15.1.1998;
- Befragung Autoimporteure: Ende 1998 durchgeführte telefonische und schriftliche Umfrage bei den Niederlassungen der nach Deutschland je über 9 Tsd. Neufahrzeuge liefernden ausländischen Autohersteller:
- Daihatsu Deutschland GmbH (Fr. Kleiner) Tönisvorst, pers. Mitt. 29.12.1998;
 - Deutsche Renault AG (Zuckerieder) Brühl, pers. Mitt. 4.12.1998;
 - Fiat Automobil AG (Steinmann) Heilbronn, pers. Mitt. 4.12.1998;
 - Honda Deutschland GmbH (Dersch) Offenbach, pers. Mitt. 3.12.1998;
 - Hyundai Motor Deutschland GmbH (Mill) Neckarsulm, pers. Mitt. 22.12.1998;
 - Mazda Motors GmbH (Grüdke) Leverkusen, pers. Mitt. 4.12.1998;
 - MMC Auto Deutschland GmbH (Torwart) Trebur, pers. Mitt. 3.12.1998;
 - Nissan Motor Deutschland GmbH (Münzinger) Neuss, pers. Mitt. 4.12.1998;
 - Peugeot Deutschland GmbH (Huth) Saarbrücken, pers. Mitt. 4.12.1998;
 - Rover Deutschland GmbH (Neldnder) Neuss, pers. Mitt. 4.12.1998;
 - Seat Deutschland GmbH (Riek) Mörfelden, pers. Mitt. 4.12.1998;
 - Skoda Automobile Deutschland GmbH (Weber) Weiterstadt, pers. Mitt. 23.12.1998;
 - Subaru Deutschland GmbH (Fr. Ladendorf) Friedberg, pers. Mitt. 29.12.1998;
 - Suzuki Auto GmbH Deutschland & Co. KG (Göttner) Oberschleißheim, pers. Mitt. 3.12.1998;
 - Toyota Deutschland GmbH (Fr. Rainer) Köln, pers. Mitt. 3.12.1998;
 - Volvo Deutschland GmbH (Fr. Heubeck) Köln, pers. Mitt. 29.12.1998;
- Befragung dt. Autohersteller: Ende 1998 durchgeführte telefonische und schriftliche Umfrage bei den sieben deutschen Autounternehmen:
- Adam Opel AG (Fenkl) Rüsselsheim, pers. Mitt. 11.1.1999;
 - Audi AG (Achatz), Ingolstadt, pers. Mitt. 12.12.1998;
 - BMW AG (Papakostidis) München, pers. Mitt. 2.12.1998;
 - DaimlerChrysler AG (Zwick) Sindelfingen, pers. Mitt. 6.11.1998;
 - Ford Werke AG (Clysters) Köln, pers. Mitt. 14.12.1998;
 - F. Porsche AG (Schreck) Stuttgart, pers. Mitt. 23.12.1998;
- Befragung Spediteure: Ende 1998 durchgeführte telefonische und schriftliche Umfrage bei maßgeblichen Automobilspediteuren:
- Altmann GmbH Speditionen (Hofmann) Wolnzach, pers. Mitt. 2.12.1998;
 - Egerland Spedition (von Rüden) Osnabrück, pers. Mitt. 2.12.1998;
 - Harms GmbH & Co Automobil Transport und Carshipping Service (Beckmann) Bremerhaven, pers. Mitt. 7.11.1998;
 - Kuhnwaldt Helmut (Rehfeld) Hamburg, pers. Mitt. 7.12.1998;
 - Mosolf Horst GmbH & Co. (Galm) Nlssg. Illingen, pers. Mitt. 2.12.1998;
 - Strasser Erik Spezialtransporte GmbH & Co. KG (Rotaug) Nlssg. Groß-Gerau, pers. Mitt. 3.12.1998;
 - Strasser Erik GmbH & Co.KG (Richter) München, pers. Mittl. 30.9.1998;
 - Tramosa Fahrzeug-Spezial-Transporte GmbH (Reinert) Emden, pers. Mitt. 3.12.1998;
- Dicke, Bernhard (Verband der Automobilindustrie e.V. VDA), Frankfurt am Main, pers. Mitt. 15.1.1998;
- Deutsche EXXON Chemical GmbH: Sicherheitsdatenblatt für Exxsol D 220/230 sowie Sättigungskurve des Entkonservierungsmittels Exxsol Dewax 90, Köln 1998;

- Forner, Lothar (Deutsche EXXON Chemical GmbH, Köln), Fachgespräch in Frankfurt anl. der automechanika 18.9.98;
- Garbaty, Thomas R. (Leitung Marketing), Kuhn, Hans-Jürgen (Vertriebsleiter Marketing), Nenneker, Karl Heinrich (Leiter Zentrale Technik) bei Safety Kleen Deutschland GmbH, Porta Westfalica, Fachgespräch 24.11.1998;
- Hohmeier Anlagenbau GmbH, Stadthagen, Entwachsungsanlage BMW-Spartanburg, Bildmaterial o.J.;
- Hohmeier Anlagenbau GmbH, Stadthagen, Prozeßschema Entwachsungsanlage, Ausdruck 28.4.1998;
- Hoyer (Safety-Kleen, Nlssg. Braunschweig), pers. Mitt. 2.12.1998;
- Killinger, Helga (Pfinder Chemie, Forschung und Entwicklung Wachse), Böblingen, pers. Mitt. 30.9. und 3.12.1998;
- Kuhn, Hans-Jürgen (Safety Kleen Deutschland GmbH, Vertriebsleiter Marketing), Porta Westfalica, pers. Mitt. 25.11.1998; pers. Mitt. 28.1.1999;
- KUPS Umwelttechnik GmbH & Co KG, Bochum, Kreislaufführung KUPS 1000 - Brauchwasseraufbereitung für Reinigungsarbeiten an kohlenwasserstoffbelasteten Flächen mit Hilfe von Hochdruck-Dampfstrahlgeräten, Schreiben an Öko-Recherche 18.12.1998;
- LWA (Landesamt für Wasser und Abfall Nordrhein-Westfalen), Merkblatt Nr. 8: Mineralöhlhaltiges Abwasser aus Kfz-Werkstätten, Waschanlagen und Tankstellen, Düsseldorf, April 1992;
- Mercedes Benz: Erfassung, Untersuchung und Vorbehandlung von Abwasser in Niederlassungen der Mercedes-Benz AG, Zentralwerkstofftechnik-Bericht (intern), Stuttgart 04.03.1991;
- Safety-Kleen Deutschland GmbH, Porta Westfalica: awamat-mobil - Kreislaufanlage zur Neuwagen-Entkonservierung, Motorwäsche, Unterbodenwäsche, Prospektmaterial vom Juni 1993;
- Salmann, Friedrich (Hohmeier Anlagenbau GmbH, Prokurist), Stadthagen, Fachgespräch 24.9.1998;
- Schmidt, Leopold (KUPS Umwelttechnik GmbH & Co KG), Bochum, pers. Mitt. 20.1.1999;
- SGS EcoCare Analytical Services, Bericht über die am 13.01.94 durchgeführte Schadstoffmessung an einer Hohmeier-Entkonservierungsanlage mit Kondensationsanlage, Antwerpen 1994;
- Springer, Arnold (KUPS Umwelttechnik GmbH & Co KG), Bochum, pers. Mitt. 18.12.1998;
- VDA Pressedienst: VDA-Pressekonferenz am 29. Januar 1998 in Frankfurt am Main, 29.01.1998.

3. Kapitel

Allgemeine Metallentfettung in der Industrie

Der Kernbereich der Oberflächenreinigung mit halogenfreien Kohlenwasserstoffen ist die allgemeine Metallentfettung in der Industrie. Sie wird überwiegend mit entaromatisierten⁸ Alkanen im Schnittbereich C₉/C₁₅ betrieben, die den VbF-Klassen A-II und A-III angehören, d.h. einen Flammpunkt oberhalb 21°C bzw. 55°C besitzen. Diese sind die seit etwa 1990 marktüblichen Standard-Kohlenwasserstoff-Reiniger. Die Oberflächenreinigung in der Industrie, soweit sie spezielle Lösemittelzubereitungen erfordert, wird in den nachfolgenden Kapiteln 4 bis 6 behandelt.

Anwendung	Einsatz in t/a	Luftemission in t/a	Entsorgung in t/a
Manuelle Reinigung	25000	11100	13900
Manuelle Werkstattreinigung	4000	1000	3000
Manuelle Vor-Ort-Reinigung	6000	2000	4000
Manuelle Produktreinigung	15000	8100	6900
Anlagenreinigung	2200	900	1300
Kaltreinigung ohne Trocknung	300	100	200
Kaltreinigung mit Umlufttrocknung	1700	700	1000
Vakuumreinigung mit Dampffentf.	200	100	100
Summe	27200	12000	15200

Quellen: Gesamteinsatzmenge: Befragung Lösemittelhandel. Einzelne Anwendungen: Recherchen im Rahmen dieser Studie. Manuelle Reinigung = offene Reinigung von Hand; Anlagenreinigung = Reinigung von Werkstücken in Anlagen.

Die Eingangstabelle zeigt für das mit ca. 27 000 t/a Neueinsatz größte Einsatzfeld der Kohlenwasserstoff-Reiniger (KW-Reiniger) mit 25 000 t/a oder 90% eine klare Dominanz der manuellen gegenüber der Anlagenreinigung. Kennzeichnend für manuelle Reinigung ist der diskontinuierliche, nicht serielle Reinigungsanfall. Von Hand wird grundsätzlich mit kaltem Medium gereinigt. Das wirkt begrenzend auf Verdunstungsemissionen, aber auch auf den erzielbaren Reinheitsgrad (Ölfreiheit) der Oberflächen.

Anders als in der Kfz-Werkstatt, wo die Reinigungseinrichtungen alle mehr oder weniger einheitlich sind, weisen die Einrichtungen zur Metallentfettung in der Industrie eine große bauliche Vielfalt auf, die aus der Heterogenität der Reinigungsaufgaben entspringt. Die Zahl der Betriebe, die KW-Reiniger einsetzen, wird hier auf über 27 000 geschätzt. Die Zahl der Reinigungseinrichtungen ist weitaus höher: Erstens wird in zahlreichen Betrieben mehr als eine Einrichtung mit KW-Reinigern benutzt. Zweitens kommt in manchen Betrieben KW-Reinigung in verschiedenen Anwendungen gleichzeitig vor, etwa wenn außer der Produktreinigung in der Fertigung auch in der Werkstatt KW-Reiniger für Werkzeuge zum Einsatz kommen.

Der betriebliche Verbrauch der KW-Reiniger reicht von wenigen Litern bis über 100 Tonnen pro Jahr. Die Zahl der Betriebe, die mehr als 2 Tonnen jährlich verbrauchen, liegt bei 2100. Auf diese entfallen von den 27 000 t KW-Zufuhr 75% und von den 12 000 t VOC-Emissionen sogar 80%.

⁸ Die wegen der Entaromatisierung verminderte Reinigungskraft wird öfters durch polare Additive kompensiert, die als Reinigungsverstärker und Kriechverbesserer wirken sollen (Hellstern 1993, 119). Die Dosis ist gering (meist < 2 Prozent), so daß der chemisch-physikalische Charakter der Standard-KW-Reiniger als n-, iso- und Cyclo-Alkane erhalten bleibt. Entaromatisiert heißt: Aromatenanteil < 100 ppm.

1 Kohlenwasserstoff-Reiniger als Nachfolger der CKW

Bis Mitte der achtziger Jahre war die Hauptmasse der organischen Lösemittel zur Metallreinigung in der Industrie chloriert: Perchlorethylen, Trichlorethylen, 1.1.1.-Trichlorethan, Dichlormethan. Diese stellten den Löwenanteil sowohl bei der heißen Anlagenreinigung als auch bei der offenen/halboffenen Kaltreinigung, wobei nach Schätzung der Autoren in der alten Bundesrepublik und der DDR zusammen jeweils über 100 000 t chlorierte Lösemittel (CKW) verbraucht wurden.⁹

Halogenfreie organische Lösemittel wurden als sog. Kaltreiniger schon vor der 2. BImSchV von 1986 eingesetzt. Bräutigam/Kruse (1992, 42-47) schätzen die damals für die Metallreinigung bei Raumtemperatur verwendeten Mengen aromatenreicher Spezial- und Testbenzine auf immerhin 20 000 t/a. Diese Kaltreiniger-Zubereitungen enthielten jedoch in der Regel halogenierte Zusätze, üblicherweise bis zu 50 Prozent CKW-Regenerate, teils um den Flammpunkt zu erhöhen, teils um sie aus zolltechnischen Gründen zu vergällen (Werner 1997; Hönsch 1997).

Seit 1986 sind in Bezug auf die chlorierten Reiniger drastische Änderungen eingetreten. Da die meisten heutigen KW-Anwendungen in der Metallentfettung ursprünglich CKW-Anwendungen waren, ist nur mit Blick auf jene Veränderungsprozesse die aktuelle Situation der halogenfreien KW-Reinigung zu verstehen.

1.1 Die Trends des CKW-Ersatzes: wäßrige und KW-Reinigung

Die ordnungsrechtlichen Maßnahmen gegenüber halogenierten Oberflächenreinigern (2. BImSchV) lösten zwei Haupt-Substitutionstrends aus (Leisewitz/Schwarz 1994):

- Die heiße CKW-Anlagenreinigung (einschließlich Dampfentfettung) wurde dank neuer Technik zwar weitgehend emissionsdicht und verbrauchsarm. Jedoch wurde sie noch häufiger durch wäßrige Heißreinigung ersetzt.¹⁰ In gewissem Umfang wurden CKW-Anlagen auch für den Einsatz kalter KW-Reiniger umgebaut. Spezielle, emissionsarme KW-Anlagen zur Warmreinigung kamen erst im Laufe der 90er Jahre auf den Markt, ohne dort bislang mehr als eine Nebenrolle zu spielen.
- An die Stelle der manuellen CKW-Kaltreinigung (vor allem mittels Dichlormethan und 1.1.1-Trichlorethan) trat zunächst die Reinigung durch halogenfreie, entaromatisierte Kohlenwasserstoffe, ein Umstieg, der außer Inkaufnahme längerer Abdunstzeiten keine größeren betrieblichen Umstellungen verlangte. Der Prozeß der wäßrigen Substitution erfaßte in den 90er Jahren dank preiswerter Anlagen allerdings auch diesen gerade erst entstandenen KW-Anwendungsbereich.

⁹ Bräutigam/Kruse kommen für 1986 für die industrielle Reinigung auf ca. 165 000 t Verbrauch bzw. 130 000 t Emissionen von CKW/FCKW (ohne Textilreinigung) (Materialband II, 42-56). Höher schätzt die VOC-Kommission "Konzeption zur Minderung der VOC-Emissionen in Baden-Württemberg" 1993 den HKW-Gesamtverbrauch in der Oberflächenbehandlung: für 1985 auf 270 000-300 000 t (S.458). Dazwischen liegen Schätzungen des Umweltbundesamtes: 246 000 t CKW als Lösemittel 1985 (Brackemann u.a. 1995). Laut VCI dienten 1986 rund. 92-97 000 t CKW zur Metallentfettung - von insgesamt rd. 180 000 t (VCI 1988). Alle Daten beziehen sich nur auf die alten Bundesländer.

Verbindliche Daten gibt es aber nicht. Der heutige jährliche CKW-Verbrauch wird hier übereinstimmend mit Winet (1998) auf 7 - 8000 t Per und Tri zur Metalloberflächenreinigung geschätzt.

¹⁰ Wäßrige Substitution als Hauptursache des CKW-Verbrauchsrückgangs wird in einem Schreiben des VCI-AK CKW-Lösemittel an die Verfasser neuerdings bestritten. Stattdessen wird der Verbrauchsrückgang primär mit der Einführung geschlossener CKW-Anlagen begründet (VCI 1999).

Im Ergebnis des Substitutionsprozesses hat die Zunahme bei den halogenfreien Löse-
mitteln den Rückgang der CKW bei weitem nicht kompensiert. Die wäßrige Reinigung
hat der halogenfreien KW-Reinigung nur wenige ehemalige CKW-Anwendungen über-
lassen: im wesentlichen solche mit geringem bzw. diskontinuierlichem Teiledurchsatz
oder solche, wo organische Lösemittel noch als unverzichtbar gelten.

1.2 Die unterproportionale KW-Mengenentwicklung beim CKW-Ausstieg

Die Menge der gegenwärtig zur allgemeinen Metallentfettung eingesetzten einfachen
KW-Reiniger ist durch vier Faktoren bestimmt.

1. Der Hauptweg der CKW-Substitution seit 1985/86 ist ungebrochen die wäßrige
Reinigung. Diese hat vor allem in der seriellen Anlagenreinigung metallischer
Werkstücke die Rolle der CKW übernommen und stellt in den meisten Betrieben den
Hauptprozeß der Teilereinigung dar.
2. In der ersten Umstellungsphase von 1985/86 bis 1990/91 entfiel etwa ein Drittel des
CKW-Ersatzes auf halogenfreie Kohlenwasserstoffe.

Diese konnten erstens bei manuellen diskontinuierlichen Kaltreinigungen
(offene/halboffene Becken) ihr vorhandenes Einsatzniveau auf Kosten der CKW
kräftig erhöhen¹¹.

KW kamen zweitens in Reinigungsanlagen mit kontinuierlichem Teiledurchsatz zum
Zuge, wo CKW-Altanlagen umgenutzt werden konnten; z. T. wurden auch technisch
vergleichbare Anlagen für KW neugebaut. Der kalten Reinigung folgte hier eine
warme Trocknung, um den Nachteil der langsamen KW-Abdunstung auszugleichen.

3. In der zweiten Phase, von 1990/91 bis in die Gegenwart hinein, werden mehr KW-
Anwendungen abgeschafft als neu eingeführt.

Zwar gibt es nun für KW eigenständige Anlagen, welche mittels Vakuumtechnik
heiße Lösemittelreinigung (Nutzung der Dampfphase) und kurze Trocknungszeiten
ohne Halogene gestatten. Ihre emissionsdichte und damit verbrauchsarme Bau-
weise führt aber zu keiner nennenswerten Ausweitung des KW-Verbrauchs. Der
KW-Bedarf für Anlagen geht in der zweiten Phase sogar zurück, da die auf KW
umgestellten emissionsträchtigen CKW-Altanlagen aus dem Bestand ausscheiden.

Bei der offen/halboffen betriebenen manuellen Kaltreinigung sinkt die KW-
Einsatzmenge, weil viele Betriebe nach völlig lösemittelfreien Reinigungsverfahren
suchen, die sie häufig im wäßrigen Prozeß finden.

4. Außerdem führen niedriger Dampfdruck und geringere Dichte zu einer
unterproportionalen Mengenentwicklung der KW gegenüber den durch sie ersetzten
CKW, drückt man sie in Gewichtseinheiten aus:

¹¹ Eine empirische Bestätigung lieferte die vom VDMA 1988 und 1991 durchgeführte Fragebogenaktion
bei 3000 Firmen des Maschinen- und Anlagenbaus (Maschinenbau Nachrichten 12/92, 67-70). Die
Branche reduzierte innerhalb von drei Jahren ihren CKW-Verbrauch um fast 15 000 t: von über 20 000 t
auf ca. 6000 t. Der Verbrauch halogenfreier Kohlenwasserstoffe stieg gleichzeitig um 5000 t an, auf
9260 t (vorwiegend A-II- und A-III-Produkte).

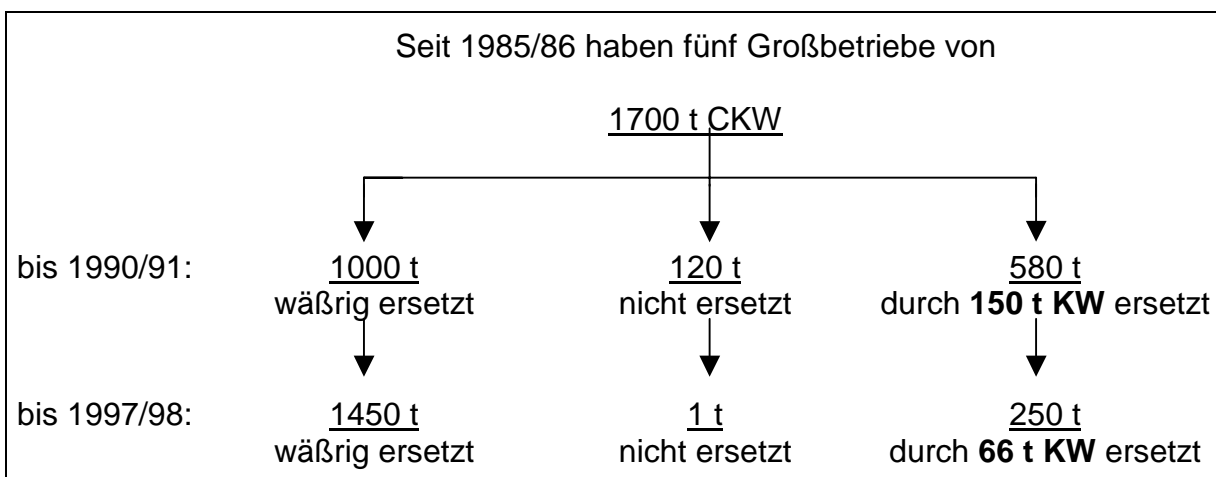
Bei gleichem Arbeitsvolumen der Medien verdunstet aufgrund des niedrigeren Dampfdrucks der KW von diesen viel weniger, so daß entsprechend weniger als Emissionsersatz nachdosiert werden muß: erfahrungsgemäß nur die Hälfte.

Gleiches Flüssigkeitsvolumen wiegt aufgrund der niedrigeren Dichte der KW (0,74 - 0,80) nur halb so viel wie im Falle der CKW (1,4 - 1,6).

Beide physikalischen Eigenschaften zusammen erklären, weshalb unter sonst gleichbleibenden Umständen beim Umstieg von CKW auf KW nur etwa ein Viertel des ursprünglichen Lösemittelgewichts erforderlich ist: für 1 t CKW nur 0,25 t KW.¹²

1.3 CKW-KW-Umstiegsbeispiele: fünf Großbetriebe der Metallindustrie

Einen - wenngleich überspitzten - Eindruck von der Richtung und Dynamik der CKW-Substitution vermitteln die Zahlen aus fünf ausgewählten Großbetrieben der Metallverarbeitung zu ihrer Reinigungssituation in den Stichjahren 1985/86, 1990/91 und 1997/98 (s. Kasten-Grafik 1). Es handelt sich um ein Werk für Pkw-Getriebe (Kiechle u.a. 1992), Betriebe für Antriebstechnik und für Fahrzeuggetriebe, ein Werk für Stoßdämpfer (Heinemann 1994), und um eine Metallwarenfabrik (Uhlig 1997). Die Betriebsgrößen reichen von 4000 bis 20 000 Beschäftigten.



Grafik 1: CKW-Ersatz bei fünf ausgewählten Metall-Großbetrieben bis 1990/91 bzw. 1997/98 durch wäßrige und KW-Reiniger. Ersatz durch Reinigungsverzicht und Fremdvergabe sind aus der CKW-Ausgangsmenge herausgerechnet, die real fast 2000 t betrug. Mit anderen Worten: Es wird nur der CKW-Ersatz dargestellt, der durch flüssige Reinigungsmedien erfolgte.

Die fünf befragten Großbetriebe hatten 1985/86 zusammen noch einen Jahresbedarf von 1700 Tonnen verschiedener CKW zur Oberflächenreinigung (vgl. Grafik 1).

- In der ersten Phase bis 1990/91 haben sie davon 1000 t (ca. 60%) wäßrig substituiert, 120 t CKW weiterverwendet und 580 t CKW (34%) durch halogenfreie KW ersetzt. Obwohl der CKW-Ersatz durch KW immerhin ein Drittel der ursprünglichen CKW-Einsatzmenge betraf, war - in Gewichtseinheiten ausgedrückt - statt der 580 t CKW nur etwa ein Viertel davon, nämlich 150 t KW erforderlich. (Dem liegen die bereits erwähnten physikalischen Eigenschaften der KW zugrunde: Erstens verflüchtigen sie langsamer als die ersetzten CKW, die sich in emissionsträchtigen

¹² Daß es mehr als ein Viertel sind, liegt u.a. an den Verschleppungen mit nassen Teilen, die aufgrund langsamerer Verdunstung höher als bei CKW sind. Darauf weist der VCI-AK CKW-Lösemittel in seinem bereits erwähnten Schreiben (VCI 1999) mit Recht hin.

Altanlagen befunden hatten, so daß nur ein halb so großes Volumen erforderlich wurde. Zweitens beträgt aufgrund des physikalischen Dichteunterschieds bei gleichem Volumen das Gewicht der KW fast nur die Hälfte der CKW.)

- Bedeutsam ist der Fortgang des Substitution zwischen 1990/91 und 1997/98: Die wäßrige Reinigung übernahm nicht nur fast alle verbliebenen CKW-Anwendungen bis auf 1 Tonne, sondern sie reduzierte auch die in der ersten Phase der CKW-Substitution neueingesetzten KW um über die Hälfte: von 150 auf 66 Tonnen¹³.

In der Konsequenz der Realisierung des CKW-Ersatzes sind die fünf Betriebe nicht repräsentativ für die ganze Metallentfettung. Erstens sind es durchweg sehr große Betriebe. Zweitens gehören alle zu finanzkräftigen Konzernen, die Umweltschutz nicht nur bezahlen können, sondern wegen der Produktnähe zum Endverbraucher aus Imagegründen auch brauchen. Insofern steht ihr Reinigungsverhalten eher für die Tendenz als für das, was heute möglich ist - nicht dafür, was heute üblich ist.

2 Hauptanwendungen und Einrichtungen zur KW-Metallentfettung

Manuelle Metallentfettung industrieller Produktionsmittel, sei es in einer separaten Betriebswerkstatt oder im Fertigungsraum, ist nicht auf die Metallbranchen beschränkt. In fast allen Industriezweigen sind Produktionswerkzeuge, Maschinen und Anlagen überwiegend aus Metall. Diese Produktionsmittel sind regelmäßig zu warten und bei Bedarf zu reparieren und werden in diesem Zusammenhang oft einer Reinigung unterzogen. Wartungs- und Reparatur- und damit der Reinigungsbedarf hängen nicht direkt von der Größe des Betriebes ab, sondern von dem Umfang, der Belastung, dem Alter und der Störanfälligkeit seines Maschinen- und Anlagenparks.

Manuelle Metallentfettung industrieller Produkte findet definitionsgemäß in den metallverarbeitenden Branchen statt. Typisch für sie ist aber genauso wie für die Produktionsmittel der diskontinuierliche Reinigungsanfall oder die geringe Stückzahl, die eine Anlagenreinigung unökonomisch machen. KW-Anlagenreinigung ist, wie generell jede Anlagenreinigung, der manuellen bei kontinuierlichen und größeren Teiledurchsätze überlegen - oder dort, wo Handarbeit überfordert ist. KW-Anlagen stehen in direktem Wettbewerb mit CKW-Anlagen, seitdem sie durch Vakuum-Dampfentfettung sehr hohe Oberflächenreinheit erzielen¹⁴. Gegenüber wäßrigen Anlagen, die in der Regel als Lösungen favorisiert werden, weisen sie in bestimmten Fällen Vorzüge auf: bei Reinigungsgut aus verschiedenen Metallen, bei räumlich beengten Bedingungen, bei Schwierigkeiten mit der Abwasserbeseitigung u. dgl.

Wo nur fallweise und in Abständen zu reinigen ist, entfalten KW-Lösemittel als Reinigungsmedium ihre Vorzüge gegenüber wäßriger Reinigung, die in der Regel manuell wenig wirksam, sondern auf beheizte Anlagentechnik angewiesen ist. Erstens zeigen sie gegenüber öligen und fettigen Verschmutzungen auch bei Raumtemperatur meist ausreichende Reinigungswirkung. Zweitens kommen sie - wegen des Kaltbetriebs - mit einfachem und preiswertem Reinigungsgerät aus. Beide Faktoren ermöglichen die für diskontinuierliche Reinigung günstige kurzfristige Verfügbarkeit.

¹³ Im Detail lief es zum Teil anders. So wurden erst 1995 in einem Betrieb 35 t CKW durch 8 t KW ersetzt, die vorher noch nicht dagewesen waren.

¹⁴ Höchste Fettfreiheit der Oberflächen, wie sie etwa zum Kleben benötigt wird, ist mit KW-Reinigern nicht möglich. Hier sind CKW im Vorteil oder halogenfreie substituierte Alkohole (Eiberger 1999, Hösel 1999).

2.1 Manuelle KW-Reinigung in der industriellen Werkstatt

Oft erfolgt die Maschinen- und Werkzeugwartung durch den Kundendienst der entsprechenden Lieferanten. Im Sinne ungestörten Fertigungsflusses verzichten Betriebe ab einer gewissen Minimalgröße aber nicht auf spezielles Eigenpersonal, das Teile und Werkzeuge aus den Fertigungsanlagen ausbaut und in einer mechanischen Werkstatt oder Schlosserei instandsetzt. Die Reinigung ausgebauter Teile findet üblicherweise an Geräten statt, die denen in Autowerkstätten vergleichbar sind. In großem Ausmaß handelt es sich sogar um identische Gerätetypen, da die Lieferanten oft dieselben sind. Der Spielraum für die Bauweise der Teile-Reinigungsgeräte ist durch die Berufsgenossenschaften (Richtlinie ZH 1/562) vorgegeben. Die Auflagen für betriebsoffene Reinigungstische werden hier wiederholt:

- Brennbare Lösemittel mit Flammpunkt unter 55°C sind nicht erlaubt. Das verlangt den Einsatz von Reinigern der VbF-Klasse A-III.
- Das Lösemittel wird den Werkstücken über eine Leitung (Schlauch, Rohr) drucklos (Überdruck unter 0,1 bar) zugeführt, um Sprühnebel zu vermeiden.
- Die Werkstücke werden von Hand mit Bürsten, Pinseln u. dgl. gereinigt.
- Das Lösemittel muß über eine Wanne sofort in den Vorratsbehälter zurückfließen.
- Der Vorratsbehälter darf nicht mehr als 200 Liter (ein Faß) fassen.

Tab. 4: Manuelle KW-Reinigung in Industrie-Werkstätten				
Typische betriebliche Fälle nach Branche, Reinigungsgut und -einrichtung sowie Zufuhr von A-III-Reiniger				
Industrie-Betrieb Nr.	Beschäftigte	Reinigungsgut	Reinigungseinrichtung	Reiniger pro Jahr
1. Gelenkwellen	740	Getriebe u. and. Maschinenteile	1 Schlauchpinsel-Tisch à 100 l	560 kg
2. Klein-Eisenteile	560	Motoren, Lager, Stanzwerkzeuge	1 Schlauchpinsel-Becken m. Deckel u. Absaug.	700 kg
3. Transformatoren	300	Stanz- und Schleifwerkzeuge	1 Tauchbecken à 160 l m. Schiebetür u. Absaug.	150 kg
4. Techn. Gummitteile	1100	Düsen für Flüssigsilikon	1 Schlauchpinsel-Tisch à 200 l	500 kg
5. Büromöbel	750	Sägemaschinenge triebe	1 Schlauchpinsel-Tisch à 200 l	150 kg
6. Druckmaschinen	1500	Maschinenteile	3 Tauchbecken à 200 l m. Gitterrost u. Deckel	900 kg
7. Förderband-Klammern	120	Maschinenteile	1 Schlauchpinsel-Tisch à 100 l	100 kg
8. Chemie-Park	4000	Anlagenteile, Pumpen u.dgl.	13 Schlauchpinsel-Tische à 200 l	2800 kg
9. Sektellerei	700	Teile aus Abfüllanlagen	1 Schlauchpinsel-Tisch à 200 l	160 kg
10. Fertig-Betonwerk	150	Anlagenteile	1 Schlauchpinsel-Tisch à 200 l	160 kg
11. Kunststoff-Folien	160	Extrusions-/Druckanlagenteile	1 Schlauchpinsel-Tisch à 200 l	160 kg

Quellen: Eigenerhebungen im Rahmen dieser Studie.

Alle Reinigungseinrichtungen der Industriewerkstätten in Tabelle 4 entsprechen bei Lösemitteln und Füllvolumina den ZH/562-Anforderungen. Nicht alle, aber die meisten erfüllen auch das Kriterium des sofortigen Rückflusses in den Vorratsbehälter. Dieser Punkt ist für betriebsoffene Tische wichtig, weil Luftemissionen nur dann niedrig ausfallen, wenn der Reiniger das Vorratsfaß nur kurzzeitig zur Teilebenetzung verläßt.

Wie Tabelle 4 zeigt, findet KW-Werkstatt-Reinigung branchenübergreifend statt: vom Gelenkwellenwerk über Möbelfabriken und Kunststoffbetriebe bis zur Sektkellerei. Das Spektrum von Reinigungseinrichtungen in Industriewerkstätten umfaßt nicht nur die bekannten Tische mit Schlauchzufuhr des Reinigers. Es kommen auch Tauchbecken vor, in denen die Teileverschmutzung vor dem Abpinseln eingeweicht wird. In diesen Fällen ist für die Emissionsbegrenzung die Abdeckelung entscheidend. Die Tauchbecken in Tabelle 4 (Fall 3 und 6) verfügen über Deckel bzw. Schiebetüre, auch wenn diese in der Realität bei Nichtbetrieb nicht immer geschlossen sind¹⁵. Daß einige Geräte zusätzlich eine Absaugung während des Tauchvorgangs haben, ist bei den verwendeten A-III-Lösemitteln nicht notwendig, trägt sogar zu überflüssigen Luftemissionen bei. Diese Geräte sind allerdings durchweg über 15 Jahre alt und waren früher mit CKW-Kaltreiniger befüllt. Auch damals hatte die Absaugung zwar die Emissionen erhöht, sie war aber eine sinnvolle Einrichtung des Arbeitsschutzes angesichts des gesundheitlichen Risikopotentials jener Lösemittel am Arbeitsplatz.

Emissionen

Bei der gängigen Werkstattreinigung mit A-III-Produkten betragen die diffusen Verluste bis zur Verwerfung des Reinigers selten 25% der Einkaufsmenge, meist deutlich weniger. Die Anzahl der KW-Waschtische in Industriewerkstätten wird hier - alle Bauarten zusammengenommen - auf etwa 20 000 geschätzt, von denen 7000 von kombinierten Tisch- und Lösemittel-Lieferanten betreut werden, die rückgenommene Altware regenerieren (Sie wurden in Kapitel 1 als Hauptversorger der Kfz-Betriebe genannt.) Von den 4000 t KW-Zufuhr emittieren etwa 1000 t.

Entsorgung

Bei Frischwarebelieferung durch reine Händler, die nicht selbst formulieren, wird der verworfene Reiniger meist einem Entsorger übergeben, der das Lösemittelgemisch bei der Altölabfuhr mitnimmt und der Verbrennung zuführt. Stoffliche Verwertung, speziell Regeneration zur Wiederverwendung, ist selten, weil die reinen Entsorger auf Belieferung mit Regenerat nicht eingestellt sind. Anders dort, wo kombinierte Waschtisch- und Lösemittel-Lieferanten die Versorgung der Werkstätten innehaben. Sie sind an der Altware als Rohstoff für neue Lösemittel interessiert und lassen daher die gebrauchten Reiniger überwiegend destillativ aufarbeiten. Der Verkaufspreis von Regeneraten liegt niedriger als der von frischen Reinigern.

VOC-RL-Relevanz

Die KW-Mengen für die Werkstattreinigung sind allgemein relativ gering, so daß nur wenige Betriebe allein infolge dieser Anwendung den 2-t-Schwellenwert beim Verbrauch überschreiten. In der Tabelle 4 liegen alle Anwender außer einem deutlich darunter. Der einzige Betrieb mit mehr als 2 t Jahreszufuhr (3,6 t) ist ein Chemie-Park mit 13 industriellen Werkstätten, die zu vier rechtlich eigenständigen Unternehmen gehören. Da die Altware regeneriert wird, liegt der Verbrauch nur bei 1 Tonne.

¹⁵ Dem in der Praxis häufigen Vergessen des Deckelschließens wird mitunter durch Geräte vorgebeugt, deren Deckel sich von selbst senkt (Zwangsschließung), sobald der Fuß von der Öffnungspedale genommen wird.

2.2 Manuelle KW-Reinigung industrieller Produktionsmittel vor Ort

Die Handreinigung kleiner Ausbauteile in der Werkstatt ist branchenübergreifend ein einheitlicher Vorgang. Dem entspricht der Pinselwaschtisch als universelles Reinigungsgerät. Die manuellen Reinigungseinrichtungen für Produktionswerkszeuge und Maschinen in den Fertigungsräumlichkeiten sind heterogener. Zudem gliedern sie sich in ortsfeste (stationäre) und mobile Behältnisse.

2.2.1 Ortsfeste Reinigungseinrichtungen

Der einfache Schlauchpinsel-Waschtisch ist bei der Vor-Ort-Reinigung nur eine von vielen Lösungen. Er kommt praktisch nur da vor, wo kleine Teile häufig zu reinigen sind, aber die Werkstatt zu weit entfernt ist (vgl. Tabelle 5, Fall 6: Flechtwerkzeuge für Schlauchgewebe werden direkt neben der Wickelmaschine von Garnresten gereinigt).

Tab. 5: Manuelle KW-Reinigung industrieller Produktionsmittel vor Ort Typische betriebliche Fälle nach Branche, Reinigungsgut und -einrichtung sowie Reinigerzufuhr				
Industrie-Betrieb Nr.	Beschäftigte	Reinigungsgut	Reinigungseinrichtung	Reiniger pro Jahr
1a. Klein-Eisenteile	560	Stanz- u. Biegemaschinen (innen)	Pinsel-Gefäß à 10 l auf Handwagen	1300 kg A-III
1b. Klein-Eisenteile	560	Stanz- u. Biegemaschinen (außen)	Pinsel-Gefäß à 10 l auf Handwagen	1200 kg A-III
2. Pkw-Getriebe	20 000	Drehmaschinen (innen)	Pumpsprühflaschen à 1 l (nachfüllbar)	1600 kg A-I
3. Fein-Optik	900	Vakuumanlagen (innen)	Sicherheitskannen à 2 l und Wischtuch	140 kg A-I
4. Fein-Optik	350	Linsen-Träger	Sprühdosen à 0,5 l	70 kg A-I
5. Lenkräder	2000	Schäum- u. Gießformen (angelöst)	30 offene Eimer à 10 l mit Pinsel	41 000 kg A-III
6. Techn. Gummiteile	1100	Flechtköpfe für Schlauchgewebe	1 Schlauchpinsel-Tisch à 200 l	450 kg A-III
7. Druckmaschinen	1500	Fräsköpfe	1 Tauch-Bodenbecken à 200 l mit Deckel	320 kg A-III
8. Fahrzeug-Getriebe	4500	Preßwerkzeuge	2 Tauchbecken à 200 l (offen) und Handbürsten	15 000 kg A-III
9. Kalt-Walzwerk	1500	Walzenlager (Kranzufuhr)	Tauchwanne à 500 l m. Drucklufttrocknung	100 000 kg A-III

Quellen: Eigenerhebungen im Rahmen dieser Studie.

Die Fälle 7 bis 9 aus Tabelle 5 legen nahe, daß auch andere ortsfeste Vor-Ort-Reinigungseinrichtungen für Produktionsmittel (Bodenbecken, Tauchwannen) in der Nähe bestimmter Maschinen oder Anlagen installiert sind. Diese sind oft solche Maschinen, deren Werkzeuge

- regelmäßigen Wartungs- und Reinigungsbedarf aufweisen,
- rasch demontierbar sind und
- für den Transport zur Werkstatt zu schwer oder sonstwie ungeeignet sind.

Diese Bedingungen sind bei jenen drei in Tabelle 5 zitierten Fällen erfüllt:

- in einer Druckmaschinenfabrik, wo pro Woche ein zentnerschwerer Fräskopf 24 Stunden lang in einem Tauchbecken neben den Fräsmaschinen liegt (Fall 7),
- in einem Fahrzeuggetriebewerk, wo von den Pressen abgenommene Umformwerkzeuge in Becken getaucht und mit Handbürsten nachgereinigt werden (Fall 8),
- in einem Kaltwalzwerk, wo täglich die Lager und Kopfstücke der Walzen per Kran in eine Tauchwanne gesenkt, von Hand mit Pinseln von Fett und Stahlabrieb befreit und schließlich mit Druckluft getrocknet werden (Fall 9).

Das Walzwerk verdient besondere Beachtung. Das Reinigen der Walzen stellt einen der größten KW-Einzelverbräuche in vorliegender Studie dar. Der tägliche Neuansatz von ca. 500 Liter A-III-Kaltreiniger summiert sich im Jahresverlauf auf 100 Tonnen, von denen rd. 80 Tonnen als Abfall entsorgt und danach verbrannt werden.

2.2.2 Mobile Reinigungsgefäße

In der Mehrzahl der Fälle geschieht die manuelle Reinigung von Produktionsmitteln im Fertigungsraum jedoch nicht mit stationären, sondern mit mobilen Reinigungseinrichtungen. Die Tabelle 5 zeigt einen kleinen Ausschnitt aus der realen Vielfalt der trag- oder fahrbaren Lösemittelbehältnisse, die zur Reinigung der betrieblichen Maschinerie benutzt werden: Pinsel-Gefäße auf Handwagen, Pumpsprühflaschen, Kannen mit Pistolengriff-Öffnung, Spraydosen, einfache Blecheimer.

Alle diese Behältnisse, die in den Fällen 1-5 der Tabelle 5 vorkommen, haben nur ein geringes Füllvolumen. Es reicht von 1 bis 10 Liter. Die Einmalspraydosen in dem feinoptischen Betrieb (Fall 4) fassen sogar nur 0,5 Liter. Mit Ausnahme der Spraydosen gelten Kleinbehälter, die im Betrieb aus größeren Vorratstanks nachgefüllt werden, gemäß der Berufsgenossenschafts-Richtlinie ZH 1/562 als "Reinigungsgefäße". Das sind "unbeheizte Reinigungseinrichtungen ohne kraftbetriebene Einbauten mit einem Fassungsvermögen bis maximal 10 Liter Reinigungsmittel ohne Absaugung" (§2.2).

Solche Gefäße sind ihrem Hauptzweck angepaßt, Maschinen- und Anlagenteile ohne Demontage zu reinigen. Eine typische Anwendung ist die Reinigung von Maschinenmotoren und -getrieben im Zuge einer Reparatur oder Kontrolle. Dabei wird mit A-III-Reiniger aus dem mitgebrachten Gefäß der ölige und fettige Schmutz abgepinselt (vgl. Tabelle 5, Fall 1a). Wo besonders schnell gearbeitet werden muß, etwa im laufenden Maschinenbetrieb oder wo die Stellen schwer zugänglich sind, werden oft Sprühdosen mit schnellverdunstenden A-I-Stoffen eingesetzt (Fälle 2 und 3 der Tabelle 5).

Manuelle Reinigung aus mobilen Gefäßen findet nicht nur im Zuge der Wartung und Reparatur von Produktionsmitteln statt. Mitunter stellt die Reinigung selbst die Funktionsfähigkeit von Produktionsmitteln her. Ein Beispiel dafür ist Fall 5 aus Tabelle 5: Um die Formwerkzeuge für PU-Integralschaum von angebackenem Trennmittel zu reinigen, werden sie nach jeder Schicht mit einer Löse-Paste eingepinselt und danach mit A-III-Kaltreiniger ausgewaschen und mit Preßluft getrocknet. Die Fabrik setzt pro Jahr immerhin 41 Tonnen A-III-Reiniger ein, die zu über 90% zunächst in die Raumluft und dann über die betriebliche Absaugung in die Außenluft gelangen.

Nr. 1b in Tabelle 5 steht für die vielen Fälle, in denen vorhandene Kaltreinigertanks und -gefäße dazu verleiten, das Äußere von Maschinen großflächig mit Lösemittel abzuspülen, statt mit Seifenlauge abzuwaschen. In diesem Fall werden jährlich 1,2 Tonnen KW-Reiniger benutzt.

Emissionen

Sofern die Produktionsmittelreinigung außerhalb der Werkstatt an ortsfesten Reinigungseinrichtungen wie Tischen oder Tauchbecken mit A-III-Produkten erfolgt, liegen die diffusen Reinigerverluste in der Größenordnung der Werkstatt-Waschtische: bei ca. 20 Prozent der Zufuhr. Deutlich höher sind sie dagegen bei der manuellen Reinigung aus mobilen Reinigungsgefäßen. Ein Grund ist die Verwendung nicht abgedeckelter Behälter. Ausschlaggebender ist jedoch, daß bei zahlreichen Vor-Ort-Anwendungen das Reinigungsmedium aus dem Gefäß nur ausgetragen wird, ohne in das Gefäß zurückzufließen. Die Emissionen bei mobiler Reinigung von Hand betragen daher weit über 50 Prozent der Einsatzmenge. Sie treiben die Emissionsrate für die gesamte Produktionsmittelreinigung außerhalb der Werkstatt auf über ein Drittel der Zufuhr hoch.

Entsorgung

Was an verschmutztem Reiniger ordnungsgemäß in den Entsorgungstank gekippt wird, ist nicht nur relativ weniger als bei der Werkstatt-Reinigung. Es wird auch relativ weniger davon der stofflichen Wiederaufarbeitung zugeführt. Das liegt daran, daß bei den Reinigungseinrichtungen in den Fertigungshallen kombinierte Waschtisch- und Lösemittel-Versorger eine noch geringere Rolle spielen als bei den Reinigungstischen in der Industriewerkstatt. Die Wiederaufarbeitungsrate liegt nahe am Durchschnittswert der allgemeinen Metallentfettung, und das sind ca. zehn Prozent in Bezug auf die entsorgten Reiniger. Dabei ist zu beachten, daß die Regenerate vornehmlich in andere Anwendungen gelangen: als "Terpentinersatz", Pinselreiniger, Lösemittel für Straßenmarkierungen u. dgl. Die Aufarbeitung zur Wiederverwendung ist die Ausnahme, und wird hier auf weniger als 5% der entsorgten Reinigermenge geschätzt (Befragung Lösemittelhandel).

VOC-RL-Relevanz

Die Einsatzmengen der KW-Reiniger für die manuelle Entfettung der Produktionsmittel im Fertigungsbereich sind viel höher als für ihre manuelle Werkstattreinigung. Nicht zufällig enthält die Tabelle 5 gleich drei betriebliche Überschreitungen des 2-Tonnen-Schwellenwerts in Bezug auf den Jahresverbrauch, darunter eine mit dem zwanzigfachen und eine mit dem fünfzigfachen Betrag. Die Werkstattreinigung in Tabelle 4 wies dagegen keine Überschreitungen auf.

2.3 Manuelle KW-Reinigung metallischer Produkte

Die - bisher betrachtete - Oberflächenentfettung von Produktionsmitteln aus Metall ist branchenübergreifend. Dagegen findet die Reinigung metallischer Produkte nur in metallverarbeitenden Industriezweigen statt. Die manuelle Entfettung von Produkten ist mit ca. 15 000 Tonnen Jahreszufuhr das größte einzelne Einsatzgebiet von KW-Reinigern. Sie läßt sich in drei typische Anwendungen gliedern, für welche in Tabelle 6 jeweils Fälle dokumentiert sind.

2.3.1 Großvolumige Teile geringer Stückzahl

Vornehmlich im Maschinen- und Anlagenbau werden im Produktionsprozeß Aggregate gebaut, die kaum hohe Stückzahlen erreichen, aber für sich genommen große Komplexität und Volumina aufweisen. Am Ende der Fertigung wird an ihnen oft eine Reinigung durchgeführt - meist vor der Endlackierung. Anlagenreinigung, die in vorgelagerten betrieblichen Prozessen vorkommen kann, ist bei dieser Endreinigung in der Lackiererei aus zwei Gründen oft unökonomisch. Erstens erfordert die Teilegröße von den Waschanlagen Sonderanfertigungen, die im Anschaffungspreis weit über den marktverfügbaren Standard-Waschanlagen liegen. Zweitens wäre die Auslastung einer speziellen Waschanlage aufgrund der geringen Stückzahlen der Produkte sehr niedrig.

Manuelle KW-Kaltreinigung bietet sich in solchen Fällen als preiswerte Lösung an, zumal sie die die vom Folgeprozeß gestellten Ansprüche an die Oberflächenreinheit im Falle des Auftrags lösemittelhaltigen Lacks durchaus erfüllt.

Tab. 6: Manuelle KW-Reinigung industrieller Produkte				
Typische betriebliche Fälle nach Branche, Reinigungsgut und -einrichtung sowie Reinigerzufuhr				
Industrie-Betrieb Nr.	Beschäftigte	Reinigungsgut	Reinigungseinrichtung	Reiniger pro Jahr
1. Druckmaschinen	1000	Großteile vor Lackieren -Kranzufuhr	Wanne unter Bodengitter à 200 l/Schlauchbürste	1400 kg A-II
2. Stahlgieß-Maschinen	90	Großteile vor Lackieren -Kranzufuhr	Bodenwanne unter Rost Eimer, Pinsel, Lappen	700 kg A-I
3. Diesel-Motoren	5100	Großmotoren vor Lackieren	Lackierkabine (Spritzschlauch aus 200 l-Faß)	15 000 kg A-III
4a. Exzenter-Pressen	1100	Stahlkörper vor Lackieren	Eimer à 10 l u. Pinsel (ohne Auffangwanne)	3500 kg A-II
4b. Exzenter-Pressen	1100	Großteile nach Spanen	20 Kannen à 2,5 l mit Pistolengriff-Öffnung	400 kg A-II
5. Förderband-Klammern	120	Klein-Drehteile (vor Härten)	1 Schlauchpinseltisch à 200 l	200 kg A-III
6. Klein-Eisenteile	40	Stanzteile	1 Tauchschüssel à 10 l anschl. Ofentrocknung	2700 kg A-III
7. Hydraulik-Pneumatik	50	Ventile mit Bohrlöchern	1 Tauchbecken à 100 l	160 kg A-III
8. Diesel-Motoren	5100	Kleine Dreh- u. Stanzteile	40 Pinsel-Tauchbecken zw. 20 und 200 Liter	35 000 kg A-III
9. Druckmaschinen	1500	Zahnräder vor Vermessen	20 Schlauchpinselbecken à 50 l (m. Deckel)	4000 kg A-III
10. Pkw-Getriebe	20 000	Zahnräder vor Vermessen	120 Rundtöpfe à 5 l m. Deckel/Schmelzlot	15 000 kg A-II
11a. Fahrzeug-Getriebe	4500	Getriebe auf dem Prüfstand	50 Spraydosen à 0,4 l (m. Wiederbefüllung)	3000 kg A-I
11b. Fahrzeug-Getriebe	4500	Getriebe mit Mängeln (Rücklauf)	1 Schlauchpinseltisch à 200 l	2000 kg A-III

Quellen: Eigenerhebungen im Rahmen dieser Studie.

Die Reinigungsfälle 1 - 4a der Tabelle 6 betreffen Großteile vor dem Lackieren: Druck- und Gießmaschinen, Dieselmotoren und Großpressen. Die Reinigungseinrichtungen stehen jeweils in der Lackiererei; auch die Reinigung wird vom Lackierpersonal vorgenommen. Üblich sind ortsfeste Einrichtungen: meist der Teilegröße angepaßte Bodenwannen mit Gitterrost, worauf das Reinigungsgut per Kran gehoben wird.

Zum eigentlichen Reinigen wird das kalte Lösemittel entweder durch einen Schlauch gepumpt, so daß es mit geringem, rückprallfreiem Spritzdruck das Teil benetzt, oder es wird mit einem in den Eimer getauchten Pinsel bestrichen. Zur Trocknung wird mitunter mit Druckluft oder Lappen nachgeholfen. Allerdings kommen nicht nur langsam verdunstende A-III-Reiniger zum Einsatz. Vielmehr ist es gerade ein Merkmal der fertigungsintegrierten Produktreinigung, daß schnelle Trocknung gewünscht wird, was A-II-Reiniger (auch A-I-Stoffe werden benutzt) gewährleisten sollen. Die Kehrseite ist, daß vom eingesetzten Lösemittel weniger vom Reinigungsgut wieder in den Vorlagebehälter zurückläuft und stattdessen mehr in die Hallenluft verflüchtigt.

Der Fall 4b in Tabelle 6 dokumentiert, daß Großteile nicht nur vor dem Lackieren mit Kaltreiniger behandelt werden. Hier werden Bearbeitungsemulsionen und Konservierfette von gespannten Rundteilen von 1 bis 2 Meter Durchmesser entfernt. Dazu dienen Wischlappen, die aus einer Sicherheitskanne mit Pistolengriff (Öffnung nur möglich, solange die Hand greift) mit A-II-Reiniger getränkt werden.

2.3.2 Kleine Restteile geringer Stückzahl

Nicht nur bei großen Fertigungsteilen mit geringer Stückzahl (erste fünf Fälle der Tabelle 6) wird manuelle KW-Entfettung betrieben. Auch bei kleinen Fertigungsteilen in geringer Stückzahl bietet sich manuelle Reinigung an. Die Fälle 5 bis 8 stehen für Kleinteilereinigung von Hand, weil die Stückzahlen für Anlagenreinigung zu gering sind.

Die Kleinbetriebe 6 und 7 der Tabelle 6 leisten sich zum Reinigen ihrer Stanzteile bzw. Ventile keine Anlage, weil ausreichende Oberflächenreinheit auch durch Schwenken in einfachen Tauchgefäßen erzielt wird. Bei den Stanzteilen (Fall 6) wird die 10-Liter-Schüssel täglich ein bis zwei Mal entleert und Neubefüllt. Dadurch kommt es zu einem so hohen jährlichen Lösemittelverbrauch (3200 Liter bzw. 2,7 Tonnen), daß der Kostenvorteil manueller Reinigung in diesem Fall hinterfragt werden muß.

Im mittelgroßen Betrieb für Förderbandklammern (Tabelle 6, Fall 5) gibt es eine wäßrige Waschanlage. Ein Rest des Teilespektrums (einzelgefertigte Drehteile) ist für die Waschkörbe zu klein dimensioniert (er fällt hindurch) und wird deshalb am Schlauchpinsel-Tisch fallweise von Hand entfettet.

Der Fall 8 (Werk für große Dieselmotoren) demonstriert schließlich, daß manuelle Reinigung von "restlichen" Teilen im Falle niedriger Stückzahlen nicht auf kleine Betriebe begrenzt ist. Das Werk wäscht seine Massenteile in wäßrigen Durchlaufanlagen. Darüber hinaus werden in der mechanischen Fertigung noch derart viele Kleinteile in geringen Chargen hergestellt, daß deren Reinigung etwa 40 Kaltreiniger-Handbecken erfordert. Diese haben Fassungsvermögen von 20 bis 200 Liter, wobei die größeren Geräte Kurbel-Tauchbecken sind (durch Kurbeldrehen wird das Gitter mit den Teilen in die Flüssigkeit gesenkt), die noch aus der CKW-Zeit stammen.

Kaltreinigerbilanz Dieselmotorenwerk

Jährlich werden in der mechanischen Fertigung an rd. 40 Hand-Reinigungsbecken 35 Tonnen A-III-Reiniger eingesetzt. Sie gehen nach Gebrauch - abzüglich 10 Tonnen Verdunstungsverluste - im Umfang von 25 Tonnen zur kundenspezifischen Regeneration außer Haus: Davon gewinnt der Destillateur etwa 17 Tonnen (Ausbeute: 70%) zurück. Diese werden mit Frischware auf 35 Tonnen aufgefüllt und vom selben Betrieb zum selben Zweck wiedereingesetzt. Die 8 t Destillationsrückstand des Regenerators werden verbrannt. Betrieblicher Verbrauch: 10 t/a.

2.3.3 Meß- und Kontrollreinigung

Weit verbreitet ist die Anwendung kalter KW-Reiniger bei der Prüfung von Präzisionsdrehteilen, die vor dem Messen von Bearbeitungsöl gesäubert werden müssen. In Tabelle 6 stehen für diesen Vorgang die Fälle 9 und 10, wo Zahnräder mit A-III bzw. All-Reiniger abgepinselt werden.

Dieser fertigungsintegrierten Meßreinigung von Produkten folgen in der Tabelle 6 die Fälle 11a und 11b als Beispiele für Kontrollreinigung an der Peripherie bzw. außerhalb der Produktfertigung:

So werden bei der Endkontrolle fertiger Fahrzeuggetriebe in großen Mengen Sprays mit schnellverdunstendem Al-Lösemittel eingesetzt (jährlich 3 Tonnen), im wesentlichen zur Abreinigung noch anhaftender Ölreste (Fall 11a).

Werden am fertigen Aggregat bei Endkontrollen Mängel festgestellt, etwa fehlende Bohrungen, wird es zwecks Fehlerbehebung in die Montage zurückgebracht. Für die außerplanmäßige Arbeit am Produkt steht ein 200 l-Waschtisch bereit, der durch die monatliche Neubefüllung pro Jahr 2400 Liter A-III-Reiniger verbraucht. (Fall 11b)

Entsorgung, Emissionen und VOC-RL-Relevanz

Die Entsorgung der Reinigungseinrichtungen für die manuelle Produktreinigung ist grundsätzlich dem Vorgehen bei der Produktionsmittelreinigung außerhalb der Werkstatt (s. Abschnitt 2.3.2) vergleichbar. Die Emissionsrate ist allerdings noch höher, weil der Reiniger viel seltener in einen Vorratsbehälter zurückläuft und außerdem zur Beschleunigung der Trocknung noch häufiger abgeblasen wird, da mitten im Fertigungsprozeß der Faktor Zeit wichtiger ist als an der Peripherie. Von den knapp 15 000 t Reinigerzufuhr gelangen ca. 8000 t (> 50%) nicht in die Entsorgung.

Pro Reinigungsfall werden größere Reiniger Mengen als bei der Produktionsmittelreinigung eingesetzt. Die Anzahl der Betriebe, die den 2-t-Schwellenwert allein durch manuelle Produktreinigung, d.h. auch ohne andere Anwendungen in der Werkstatt u. dgl., überschreiten, geht in die Hunderte.

2.4 KW-Reinigung in Anlagen

KW-Metallentfettung in Anlagen statt von Hand bietet sich an, wo Teile nicht nur fallweise, sondern regelmäßig und in größerer Stückzahl von vergleichbarer Verschmutzung zu säubern sind. Dies gilt speziell für den Fertigungsprozeß

metallischer Produkte. Selten bilden Produktionsmittel innerhalb und außerhalb der Werkstatt so große Durchsätze, daß sich die Übertragung manueller Reinigung auf eine Anlage lohnt.

Anlagenbetrieb ist dann zwingend, wenn die Reinigung von Hand nicht durchführbar ist - etwa im Falle zu heißer Reinigungsflüssigkeiten - oder nur unzureichende Reinigungsergebnisse erbringt.

Halogenfreie Kohlenwasserstoffe spielen in der anlagenbetriebenen allgemeinen Metallentfettung gegenüber wäßrigen Medien nur eine untergeordnete Rolle, und dort, wo organische Lösemittel vorteilhafter sind, sind oft CKW etabliert. Dennoch sind KW-Anlagen nicht nur vorhanden, sondern, soweit es sich um Neuentwicklungen handelt, seit 1995 auf Wachstumskurs.

2.4.1 Anforderungen an die Anlagentechnik beim Einsatz von Kohlenwasserstoffen

Der Anlagenbau ist mit zwei stofflichen Eigenschaften der Kohlenwasserstoffe konfrontiert, die besondere technische Lösungen verlangen: ihre Brennbarkeit und ihr niedriger Dampfdruck.

- Brennbarkeit

Wegen der Brand- und Explosionsgefahr liefen bis Mitte der 90er Jahre praktisch alle KW-Reinigungsanlagen mit unbeheiztem Medium oder - bei Einsatz von A-III-Stoffen - in geringer Erwärmung bis auf 15°C unterhalb des Lösemittel-Flammpunktes. Diese aus Sicherheitsgründen vorgeschriebene Begrenzung der Badtemperatur auf etwa 50°C schränkte auch die Reinigungswirkung ein. Diese reichte zwar in vielen Fällen aus. Aber bei hohen Ansprüchen an Öl- und Fettfreiheit war die KW-Reinigung gegenüber CKW, die 120°C heißen Dampf nutzen konnte, nicht wettbewerbsfähig.

Daran änderte auch die mitunter betriebene Badaufbereitung mittels Vakuumdestillation wenig. Sie hielt zwar beim KW-Reiniger die rückbefettende Ölkonzentration relativ niedrig. Aber der heiße¹⁶ und praktisch ölfreie Dampf der Vakuumdestille wurde nicht zur Teilereinigung eingesetzt.

- Niedriger Dampfdruck

Der geringe Dampfdruck der Kohlenwasserstoffe, der sich in langsamer Verdunstung (ausgedrückt in hohen Verdunstungszahlen) äußert, bewirkt einerseits niedrige Luftemissionen. Andererseits führt er zu langsamer Teiletrocknung, was für kontinuierlichen Anlagenbetrieb nachteilig ist.

Dampfdruck und Trocknungstempo steigen zwar mit der Temperatur der lösemittelnasen Teile an. Solange aber die Erwärmbarkeit wegen der Explosionsschutzvorsorge auf 15°C unter den Flammpunkt limitiert ist, sind die bei CKW- und wäßrigen Anlagen üblichen kurzen Taktzeiten mit KW-Anlagenreinigung nicht zu erzielen.

¹⁶ Mit Explosionsschutzeinrichtungen versehene Vakuumdestillen erhitzen das Lösemittel im übrigen über den Flammpunkt hinaus, auch wenn der Sinn des Vakuums eine (energiesparende) Erniedrigung des Siedebereichs ist, der bei A-III-Stoffen oberhalb 170°C liegt (Kargol 1999).

2.4.2 Einfache Anlagen für Kaltreiniger ohne Trocknung

Wo weder kurze Trocknungszeiten noch hohe Reinheitsgrade gefordert sind, genügen für A-III-Kohlenwasserstoffe Anlagen von einfacher Bauart. Der vorherrschende (nicht einzige) Typ solcher Anlagen ist ein verschließbarer Behälter mit rotierendem Drehkorb, auf dem die Teile von einer Sprüheinrichtung mit 1-2 bar Spritzdruck benetzt werden. Nach Ende des Waschganges bleibt die Kammer noch eine Weile geschlossen, um flüssigen Reiniger in den Tank ablaufen und um Sprühnebel sich niederschlagen zu lassen. (Die in manchen Fällen installierte Absaugung beschleunigt die Entfernung von Aerosolen aus der Kammer, dient aber nicht der Trocknung, sondern dem Arbeitsschutz.) Nach dem Öffnen sind die Teile nicht sofort trocken, sondern der Reiniger dunstet noch von ihnen ab. Die dabei entstehenden Emissionen werden auf ca. 300 Gramm pro Betriebsstunde geschätzt (Render 1999).

Tab. 7: KW-Anlagen-Reinigung industrieller Produkte				
Typische betriebliche Fälle nach Branche, Reinigungsgut und -einrichtung sowie Reinigerzufuhr				
Industrie-Betrieb Nr.	Beschäftigte	Reinigungsgut	Reinigungseinrichtung	Reiniger pro Jahr
1. Lohnläpper	10	geläppte Teile aus Buntmetallen	Einkammer-Spritzgerät mit Drehkorb (200 l)	1800 kg A-III
2. Elektroschalter	200	gestanzte Stahl- u. Kupferteile, Alu	Einkammer-Spritzgerät mit Drehkorb (50 l)	450 kg A-III
3. Schutzschläuche	110	kleine Messing-Verschraubungen	KW-Anlage von 1990* T (40°C) - Tr (45°C Luft)	1100 kg A-III
4. Antriebstechnik	5500	Getriebe (Konservieren)	2 umgeb. CKW-Anlagen KT - Tr (50°C Warmluft)	25 800 kg A-III
5. Feinmechanik	700	Kleinteile aus Alu, Stahl, Messing	Umgebaute CKW-Anlage KT - Tr (85°C Heißluft)	4700 kg A-III
6. Metallwaren	4000	Besteckteile nach Schleifen	2 Neuanlagen (1995) KT (US) - Vakuumtrock.	6500 kg A-III
7. Medizintechnik	2000	Polierte Stanzteile aus Stahl	Geschl. Vakuumanlage KT (US) - D - Tr	800 kg A-III
8. Metallwaren	250	Nieten aus Alu, MS, Stahl, Kupfer	Geschl. Vakuumanlage KT - D - Tr	160 kg A-III
9. Lohn-dreherei	55	Drehteile aus Stahl und Messing	Geschl. Vakuumanlage KT - D - Tr	1200 kg A-III

Quellen: Erhebungen im Rahmen dieser Studie. Abkürzungen: T = Tauchen. KT = Kalt-Tauchen. US = Ultraschall. D = Dampfentfettung. Tr = Trocknen.

* Grund für die relativ niedrige Reinigerzufuhr: Die Anlage läuft nur drei Stunden in der Woche.

In der Tabelle 7 stehen die Fälle 1 und 2 für Kaltreiniger-Anlagen ohne Trockner. In beiden Betrieben werden Teile aus verschiedenen Metallen gereinigt. Das ist typisch für die Anwender solcher Kaltreinigeranlagen. Wäßrige Reiniger sind in ihrer chemischen Zusammensetzung stärker bestimmten Metallen angepaßt. Organische Lösemittel sind universeller einsetzbar. Darum sind sie vor allem für Lohnbetriebe vorteilhaft, deren Teilespektrum nicht nur vielfältig ist, sondern häufig wechselt. Technisch gesehen könnten Lohnbetriebe auch CKW einsetzen. Wenn sie aber weder auf deren schnelle Taktzeiten noch auf hochreine Oberflächen angewiesen sind, sparen sie viel Geld mit

einfachen KW-Kaltreinigeranlagen. Diese sind bereits für 10 000 DM erhältlich. CKW-Anlagen kosten in der einfachsten Ausführung über 70 000 DM.

Einfache Kaltreiniger-Anlagen, von denen im Inland nur zum Zweck der allgemeinen Metallentfettung mit A-III-Standard-Kohlenwasserstoffen etwa 500 Stück laufen, werden nicht nur in der Fertigung, sondern auch im industriellen Werkstattbereich eingesetzt.

Entsorgung, Emission, VOC-RL-Relevanz

In der Regel muß bei einfachen Kaltreiniger-Anlagen das Medium monatlich gewechselt werden, da es keine Badpflege gibt. Bei einem durchschnittlichen Füllvolumen von 60 Liter beträgt die Jahreszufuhr pro Anlage 720 Liter oder knapp 600 kg. Die Anlagen laufen nur selten rund um die Uhr, im Durchschnitt ca. drei Stunden pro Tag. Reinigerverluste bzw. Emissionen liegen bei 300 Gramm pro Stunde oder knapp 1 kg pro Tag. Das sind bei 200 bis 220 Arbeitstagen etwa 200 kg. Auf alle 500 Anlagen hochgerechnet, beträgt die Jahreszufuhr 300 t, die jährliche Emissionsmenge 100 t KW-Reiniger. Der Emissionsgrenzwert der VOC-RL von 20% diffuse Verluste der Einsatzmenge spielt insofern keine Rolle, weil die Bagatellgrenze von zwei Tonnen Jahresverbrauch durch eine Anlage allein nicht überschritten wird.

2.4.3 Anlagenreinigung unter dem Flammpunkt mit Umlufttrocknung

Die zweite Kategorie von Anlagen stammt aus der Experimentierzeit des KW-Anlagenbaus, die von Ende der 80er bis in die Mitte der 90er Jahre datiert.

Im Kern ging es um den Ersatz von CKW- durch halogenfreie Lösemittel-Reinigung, welche die herkömmlichen schnellen Taktzeiten ohne damit verbundene toxikologische Nachteile gewährleisten sollte. Typische Bauweise, sowohl bei umgebauten CKW-Altanlagen als auch bei Neubauten, ist eine forcierte Trocknung im Anschluß an die maximal 15°C unter Flammpunkt betriebene KW-Entfettung. Die Heizung für heiße und dampfförmige Lösemittel entfällt oder ist stillgelegt. Erhitzt wird stattdessen Luft in mitunter sehr voluminösen Trockenkammern. Oft wird zur KW-Lösemittelaufarbeitung eine Destille betrieben, die zwecks Erniedrigung des Siedebereichs und - noch mehr - aus Gründen des Explosionsschutzes im Vakuum läuft. Ein wichtiger Anlagenbauer aus dieser Phase ist die Bertulies KG aus Unna.

Die Experimentierzeit des KW-Anlagenbaus ist auch die Phase der Neuformulierung der für Reinigungszwecke eingesetzten Kohlenwasserstoffe. Erstens werden sie zur Absenkung des gesundheitlichen Risikopotentials weitgehend entaromatisiert. Zweitens werden, um eingetragenes Öl und Fett destillativ abtrennen zu können, die Siedebereiche der einfachen KW-Reiniger auf 5 bis 15°C eingeengt (Kunz 1998). In beiden Fällen spielte die Shell AG eine führende Rolle.

Das kennzeichnende Merkmal jener Anlagen, die Umlufttrocknung, weist zwei Varianten auf. Entweder hat die auf die lösemittelnassen Teile geblasene Luft eine Temperatur unterhalb des Flammpunktes - praktisch bis zu 50°C, was zusätzliche Maßnahmen des Explosionsschutzes erspart. Die Teiletrocknung, sprich Aufnahme und Abfuhr der Feuchtigkeit durch den Luftstrom, dauert aber relativ lange. Schnelltaktender Teiledurchsatz erfordert groß ausgelegte Trockenstationen, in denen gleichzeitig mehrere gereinigte Chargen verweilen müssen.

Alternativ können Trocknungszeiten und Trocknerdimensionen reduziert werden, indem die zugeführte Luft über den Flammpunkt des Lösemittels hinaus erwärmt wird. In diesem Fall sind zusätzliche Sicherheitsvorkehrungen (Grundsätze für die lüftungstechnische Berechnung von Kammertrocknern und Durchlauftrocknern nach ZH 1/169) einzuhalten, die einer explosionsfähigen Konzentration der lösemittelhaltigen Trocknungsluft vorbeugen. Dazu sind Zu- und Abluftströme so abzustimmen, daß die stoffspezifische untere Explosionsgrenze (UEG) dauerhaft und sicher unterschritten wird.

In Tabelle 7 stehen die Fälle 3 und 4 für Trocknung unterhalb des Flammpunkts (45 bzw. 50°C Lufttemperatur) und Fall 5 für Trocknung über Flammpunkt (85°C). Fall 4 und 5 sind umgebaute CKW-Anlagen, deren Reinigungsstufe aus kalt betriebenen Tauchbecken besteht. Fall 3 ist eine erst 1990 gebaute Anlage, die in der Tauchreinigungsstufe Messing-Schüttgut mit 40°C warmem Lösemittel entölt.

Entsorgung, Emissionen, VOC-RL-Relevanz

Bezüglich Entsorgung gibt es bei Reinigungsanlagen mit Trocknung im Zuluft-/Abluftbetrieb keine Besonderheiten. Die Emissionen dagegen sind überdurchschnittlich hoch, unabhängig davon, ob der Flammpunkt unter- oder überschritten wird. Abtropfen von den nassen Teilen in das Bad findet kaum statt. Vielmehr nimmt die dem Trockner zugeführte Luft den Reiniger von den Teilen auf und trägt ihn über Dach nach außen. Das gilt auch für alle drei Fälle in Tabelle 7, von denen dort nur die Jahreszufuhr notiert ist, so daß die Luftemissionen in Tabelle 8 nachgetragen werden:

Tabelle 8: KW-Emissionen bei ausgewählten Anlagen mit Umlufttrocknung			
Industriebetrieb Nr.	stündl. Emissionen	Laufzeit	Jahresemissionen
3. Schutzschläuche	1,5 kg/h	150 h/a	225 kg
4. Antriebstechnik*	2 x 1,3 kg/h	2 x 3750 h/a	9750 kg
5. Feinmechanik	1,4 kg/h	2000 h/a	2800 kg

Quelle: Eigenrecherchen. Die drei Betriebe sind mit den Betrieben 3, 4 und 5 in Tabelle 7 identisch. * Hier sind zwei baugleiche Anlagen in Betrieb.

Tabelle 8 zeigt als stündliche Emissionen bei diesem Anlagentyp ca. 1,4 kg. Das dürfte auch der allgemeine Durchschnittswert sein. So hohe Reinigerverluste werden in Kauf genommen, weil es bei Inbetriebnahme der KW-Anlage weder andere Trocknungsverfahren noch Emissionsgrenzwerte gab. Als Richtgröße für die Emissionen wurde der (nur für genehmigungsbedürftige Anlagen vorgeschriebene) TA Luft-Schwellenwert von 3 kg/h herangezogen, der deutlich unterboten wird.

Der gegenwärtige Bestand von Anlagen zur KW-Kaltreinigung mit Umlufttrocknung wird für 1997/98 auf 250 Stück geschätzt. Bei einer mittleren stündlichen Emissionsmenge von 1,4 kg und einer mittleren jährlichen Laufzeit von knapp 2000 Stunden emittieren jährlich etwa 700 Tonnen in die Luft. Eine etwas größere Menge (1000 kg) wird der Entsorgung zugeführt. Die Jahreszufuhr von 1700 t teilt sich in 700 t Emissionen und 1000 t Entsorgungsmenge.

Unter der Fragestellung der VOC-Richtlinie ist zu beachten, daß in den Fällen 4 und 5 der Tabelle 8 die Bagatellgrenze von 2 t nicht erst von den Jahresverbräuchen der Anlagen, sondern bereits von Jahresemissionen überschritten wird. Im Fall 3 ist das lediglich deshalb nicht der Fall, weil die Anlage pro Woche nur drei Stunden in Betrieb ist. Letzteres ist keineswegs eine seltene Ausnahme. Ein Fünftel der umlufttrocknenden Kaltreinigungsanlagen dürfte wegen geringer Auslastung den 2-t-Schwellenwert der VOC-Richtlinie unterschreiten. Mit Gewißheit liegen rund 200 Anlagen darüber und

müssen demnächst den Konzentrationswert von 75 mg C pro m³ Abgas einhalten. Dies ist durch Verdünnung der Lösemittelfracht in großen Luftströmen technisch möglich. Unter Gesichtspunkten des Umweltschutzes ist dieses Verfahren allerdings mehr als fragwürdig.

2.4.4 Anlagen mit Reinigung über Flammpunkt und Trocknung im Vakuum

Die Nachteile einer KW-Reinigung mit nur mäßig warmem Lösemittel zeigen sich nicht nur in begrenzter Oberflächenreinheit, sondern auch in uneffektiver und emissionsstarker Teiletrocknung. Die seit 1992/93 erfolgende Hinwendung der bei wässriger und CKW-Reinigung führenden Anlagenbauer zur KW-Technologie brachte im gegebenen Rahmen zwar einige Verbesserungen. So verminderte die Tiefkühlkondensation der Abluft die hohen Emissionen aus der Umlufttrocknung. Und die bis 1995/96 in geringer Stückzahl gebauten KW-Anlagen mit Teiletrocknung im Vakuum verkürzten meist die Trocknungsdauer (Göller 1996, 244).

Die Begrenztheit dieser Maßnahmen bezüglich der Emissionen zeigt der Fall 6 in Tabelle 7: Aus den zwei betrieblichen Anlagen von 1995 mit Reinigung bei Raumtemperatur und mit Vakuum-Trockenkammer emittieren von je 3,25 t zugeführtem Reiniger über 2 t (Uhlig 1997), und zwar vor allem durch Lösemittelausschleppung infolge schlechter Trocknung. Der wirkliche Durchbruch bei Reinigung, Trocknung und Emissionsminderung gelang erst einer KW-Anlagentechnologie, die den Rahmen der Reinigung unterhalb des Flammpunkts verließ.

Die geschlossenen Vakuum-KW-Reinigungsanlagen, die seit 1995 auf den Markt kommen, erzielen durch Dampfentfettung über Flammpunkt sowohl Reinheitsgrade als auch Trocknungszeiten, die nahe an die von modernen CKW-Anlagen herankommen. Erstens ist das Reinigungsergebnis durch die hohe Temperatur (80°C) des Lösemitteldampfes¹⁷ viel besser. Der Ölgehalt des Reinigers, Ursache für Ölrückstände auf kalt gereinigten Oberflächen, beträgt im Dampf nur ein Prozent der Ölbelastung eines KW-Tauchbades, das destillativ aufbereitet wird (Hellstern 1995, 143). Zweitens wird die Trocknungszeit im Anschluß an die Reinigung oberhalb des Flammpunktes bei ca. 80°C reduziert (ebd., 146). Die im Dampf oder in der heißen Flüssigkeit erhitzten Teile trocknen dank ihrer Eigenwärme um 70 bis 85% schneller.

Die Vakuumtechnik wurden bereits früher genutzt - in der separaten Destille für die Lösemittelaufbereitung und in der Kammer zur Teiletrocknung. Die Neuerung besteht in der baulichen Verbindung beider Vakuumprozesse zu einem einheitlichen System in einer einzigen vakuumfest ausgelegten Anlage, was die Nutzung des heißen Destillationsdampfes zur Reinigung gestattet. Zum mehrfach beschriebenen Anlagenbetrieb (u.a. Digel 1997; Köger 1998) vgl. Abbildung 7 mit Erläuterung.

Die sicherheitstechnische Unbedenklichkeit der Reinigung über Flammpunkt gründet sich auf die jahrelange Erfahrung mit Vakuumdestillen, wo der Betrieb als sicher gilt, wenn der Siedevorgang unterhalb 100 mbar stattfindet. Da sich im Explosionsfall das Dampfvolument und damit der Druck in der Anlage auf das Achtfache erhöhen, steigt dieser auf maximal 800 mbar, bleibt also unter Umgebungsdruck, so daß die Explosion nur als leichtes Geräusch wahrzunehmen ist (vgl. Ziegler 1992, 116).

¹⁷ Statt Dampf dient manchmal flüssiger heißer Kohlenwasserstoff zur Reinigung.

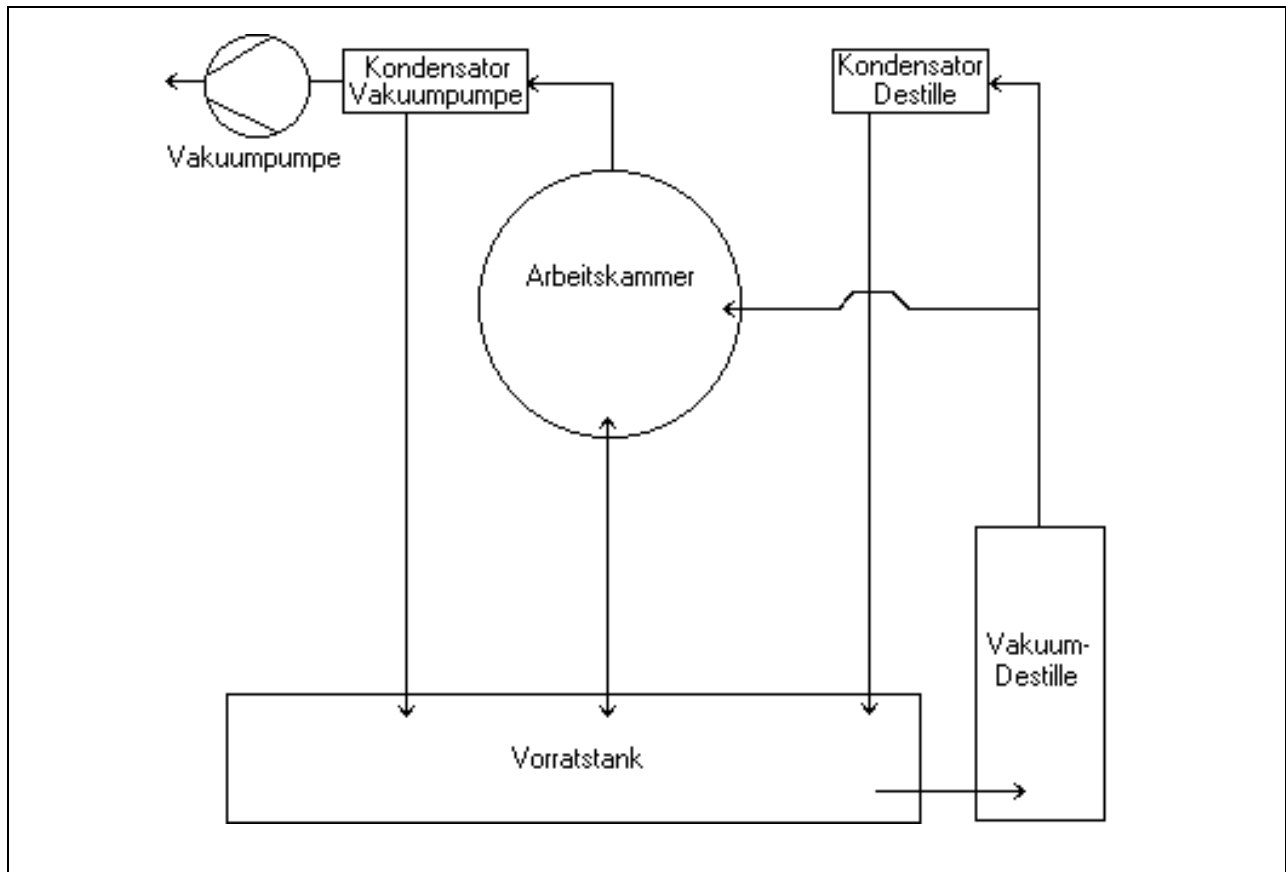


Abb. 7: Vereinfachtes Schema einer seit Mitte der 90er Jahre marktüblichen geschlossenen Reinigungsanlage mit Dampfentfettung und Trocknung im Vakuum. Erläuterung untenstehend.

KW-Dampfentfettung und Trocknung im Vakuum

1. Tauchreinigung. Die Vakuumpumpe entzieht der Arbeitskammer Luft bis auf einen Druck unter 100 mbar. Durch das Druckgefälle strömt Lösemittel aus dem Vorratstank in die Arbeitskammer und umspült die dort befindlichen Teile. Danach wird die Arbeitskammer wieder belüftet, das verschmutzte Lösemittel fließt in den Vorratstank zurück. Gleichzeitig läuft der Kreislauf der Aufbereitung des Lösemittels: Dieses steigt als 80°C heißer Dampf aus der Vakuumdestille (mit eigener Vakuumpumpe ausgestattet) zum Kondensator auf, wo es durch die Kälte flüssig wird und in den Vorratstank zurückfließt, der laufend Lösemittel in die Destille abgibt.
2. Dampfentfettung. Nach erneuter Evakuierung der Kammer durch die Vakuumpumpe auf 100 mbar wird der Heißdampf aus der Vakuumdestille in die Arbeitskammer umgeleitet. Er kondensiert dort an der Oberfläche der Teile, bis diese seine Temperatur erreicht haben, und fließt mit Spüleffekt ab.
3. Vakuumtrocknung. Während die Vakuumdestille wieder den Aufarbeitungskreislauf durchführt, senkt die Vakuumpumpe durch Entzug lösemittelgesättigter Luft den Unterdruck in der Arbeitskammer noch weiter ab - auf bis zu 1 mbar. Das Hochvakuum und die Eigenwärme der Teile bewirken, daß das Lösemittel von den Teilen abdunstet, bis sie trocken sind. Dabei zieht die Vakuumpumpe den von den Teilen abgegebenen Dampf - wie schon bei der Einleitung der Trocknung - auf dem Weg nach außen durch einen Tiefkühlkondensator. Das hier verflüssigte Lösemittel fließt dann in den Vorratstank zurück. Je tiefer der Kondensator kühlt (bis minus 30°C), desto weniger Lösemittel emittiert mit der Abluft der Vakuumpumpe.

Anlagenzahl, Anlagenzufuhr

Bis Ende 1998 ist der Inlandsbestand geschlossener vakuumbasierender KW-Reinigungsanlagen, die einfache Kohlenwasserstoffe einsetzen, auf ca. 300 Stück gestiegen (Befragung Vakuumanlagenbauer). Dabei faßt die Masse entweder 500-600 oder 1000-1200 Liter. Etwa 5 bis 10 Prozent sind Sonderanfertigungen mit über 2000 Liter Volumen. Der jährliche Reinigerverbrauch wird von Experten (Befragung Vakuumanlagenbauer) auf die Größenordnung einer Anlagen-Füllung geschätzt. Damit werden die Abluftemissionen ausgeglichen, die je nach Anlagengröße und Betriebsdauer von 200 bis 600 kg reichen. Zweitens wird der Reiniger ersetzt, der im Destillationsrückstand der Entsorgung zugeführt wird. Die betrieblichen Fälle 7-9 aus Tabelle 7 mit 800 kg, 160 kg und 1200 kg Verbrauch liegen in diesem Rahmen. Die Jahreszufuhr für alle 300 Anlagen beträgt ca. 240 m³ oder ca. 200 t Reiniger.

VOC-Emissionen

Lösemittel können aus der baulich geschlossenen Anlage grundsätzlich nur mit den 1 bis 6 Kubikmetern stündlicher Abluft von der Vakuumpumpe austreten. Der von der Pumpe während der Vakuumtrocknung angesaugte Lösemitteldampf, der von den Teilen abdunstet, wird über ein Tiefkühlaggregat geleitet und dabei weitgehend verflüssigt. Durch diese Form der Rückgewinnung des Reinigers ist die nach außen gelangende KW-Restmenge gering. Die stündlichen KW-Emissionen einer 500 Liter fassenden Anlage im Vollastbetrieb werden auf maximal 100 Gramm geschätzt (Befragung Vakuumanlagenbauer; Kunz 1998), bei größeren Füllvolumina auf entsprechend mehr, so daß die rechnerische Durchschnittsanlage von 800 Liter Füllmenge 150 g pro Stunde bzw. 300 kg pro Jahr emittiert. Gesamtemissionen aller Anlagen dieser Bauart: 90 Tonnen.

VOC-RL-Relevanz

Den Grenzwert der VOC-Richtlinie für abgasgeführte Emissionen in Höhe von 75 mg C/m³ können nur solche Anlagen einhalten, die über eine Absaugung verfügen und damit die austretenden Lösemittel im Abluftvolumenstrom (meist 500 m³/h) verdünnen. Von dieser Bauart gibt es nur wenige Anlagen. Üblicherweise findet eine weitergehende Abgasreinigung oder -verdünnung nach der vor der Vakuumpumpe angebrachten Tiefkühlkondensation nicht statt.

Allerdings überschreiten für sich genommen nur ca. 20 Sonderanlagen und Betriebe mit mehreren gleichzeitig betriebenen Anlagen den Schwellenwert von 2000 kg Jahresverbrauch. Für sie stellt sich die Frage nach dem Einbau eines zusätzlichen Kondensators hinter der Vakuumpumpe, der die Abluftkonzentration um 90% senken könnte (Kunz 1999). Ein Aktivkohlefilter kann die restliche KW-Konzentration aus der Abluft der Vakuumpumpe aufnehmen¹⁸, ist aber so gut wie nicht regenerierbar, so daß Einwegfässer auf das Abluftrohr gesetzt werden müssen (Hösel 1999). Den 75 mg-Grenzwert durch eine zusätzliche Absaugungsventilation zu unterbieten, ist dagegen ökologisch sehr problematisch, da dadurch die absolute Emissionsfracht pro Stunde nicht sinkt.

¹⁸ Die VOC-Emissionen durch "optimierte Tiefkühlkondensation und durch Einsatz eines Aktivkohlefilters zur Reinigung der Abluft aus den Vakuumpumpen" zu verringern, schlägt auch das 1998 abgeschlossene Verbundprojekt Ganzheitliche Bilanzierung/Bewertung von Reinigungs-/Vorbehandlungstechnologien in der Oberflächenbehandlung vor. Vgl. Striegel u.a. 1999, 22.

3 Anwenderstruktur und Relevanz der VOC-Richtlinie

Das Interesse an der Größenstruktur der Anwender in der allgemeinen KW-Metallentfettung wird durch die neue VOC-Richtlinie mit ihrem 2-Tonnen-Schwellenwert erhöht. Denn für diese sind zwei Fragen wesentlich:

1. Wieviele Betriebe überschreiten die Bagatellgrenze von 2 Tonnen Jahresverbrauch?
2. Welcher Anteil der jährlich eingesetzten KW-Reiniger entfällt auf diese Betriebe?

Mangels anderer Datenquellen lassen sich belastbare Zahlen zum Gesamtabsatz von Standard-KW-Reinigern der VbF-Klassen A-II und A-III am besten über die Lösemittelhändler gewinnen. Diese kennen ihre eigenen Verkäufe und haben oft klare Vorstellungen über ihren Marktanteil. Auf diese Weise kamen die in der Eingangstabelle zu Kapitel 3 präsentierten ca. 27 200 t Inlands-Gesamtabsatz zustande.

Die u.a. zwecks Emissionsabschätzung vorgenommene Untergliederung in die vier Anwendungsfelder 1. Manuelle Werkstattreinigung, 2. Manuelle Vor-Ort-Reinigung von Produktionsmitteln, 3. Manuelle Produktreinigung und 4. Anlagenreinigung ist dem Lösemittelhandel ebenso gleichgültig wie der VOC-Richtlinie. Beide interessieren nur die pro Kunde bzw. Betrieb insgesamt zur Oberflächenreinigung jährlich verbrauchten Kohlenwasserstoffreiniger, unabhängig davon, ob sie in nur einer oder in mehreren der vier betrieblichen Anwendungsformen vorkommen.

Daher ergibt sich aus Daten von Lösemittelhändlern über ihre Kundenstruktur ein Zugang zur Beantwortung der beiden oben angeführten Fragen der VOC-Richtlinie.

Hinweis: In der industriellen Metallentfettung spielt außerhalb des Werkstattbereichs Regeneration zur Wiederverwendung eine so geringe Rolle, daß die Begriffe Zufuhr oder Absatz weitgehend mit dem Begriff Verbrauch übereinstimmen.

3.1 Die Absatzstruktur von sechs ausgewählten Handelsniederlassungen

Von den im Rahmen vorliegender Studie befragten Lösemittelhändlern waren einige bereit, bezüglich A-II- und A-III-Standard-Reinigern ihre Verkaufslisten nach Absatzmenge pro Kunde auszuwerten und - anonymisiert - zur Verfügung zu stellen. Für eine möglichst repräsentative Auswahl wurden die Listen von sechs Unternehmen¹⁹ zusammengeführt,

- die teils groß und teils klein sind,
- die teils überregional, teils nur regional agieren,
- die teils reine Händler, teils auch Formulierer sind.

Um Rückschlüsse auf die Einzellisten sicher auszuschalten, wurde von überregionalen Unternehmen nur je eine regionale Niederlassung einbezogen.

Die Ergebnisse bei den sechs Niederlassungen sind folgende:

Alle sechs Niederlassungen zusammen verkauften im Jahre 1997 insgesamt knapp 800 t (799 t) KW-Reiniger (isoparaffinische Kohlenwasserstoffgemische im Bereich C₉-

¹⁹ Der besondere Dank gilt: Avia Mineralöl AG, München; Biesterfeld Chemiedistribution GmbH & Co KG, Hamburg; Brenntag Chemiepartner GmbH, Mülheim an der Ruhr; CG Chemikalien GmbH & Co KG, Laatzten; IBS Scherer GmbH, Gaubickelheim; Karl Löffler GmbH & Co KG, Köln.

C₁₅) an 802 verschiedene Kunden. Die durchschnittliche Absatzmenge pro Kunde betrug ca. 1 Tonne.

Aufschlußreich ist die Absatzstruktur, die bei allen sechs Niederlassungen für sich genommen und erst recht in der Summe grafisch einen typischen exponentiellen Kurvenverlauf aufweist.

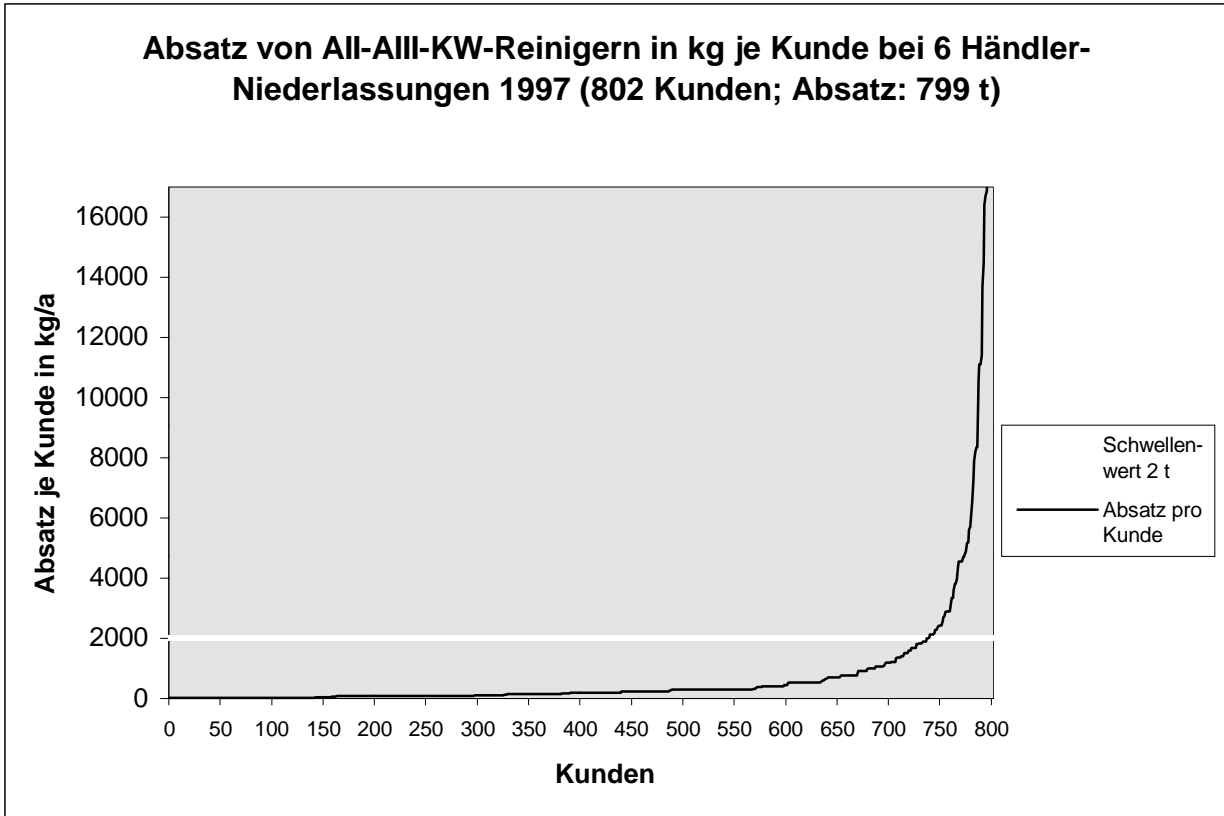


Diagramm 1: Absatz von A-II- und A-III-Reinigern in kg je Kunde bei 6 ausgewählten Händlerniederlassungen 1997 (ohne Verkauf an Wiederverkäufer). 738 Anwender kaufen jährlich weniger als 2 t. 64 kaufen mehr als 2 t. Auf letztere entfällt die Masse des Absatzes.

Wie Diagramm 1 zeigt, liegt der "Absatz je Kunde" für 738 von 802 Kunden unterhalb der Grenze von 2000 kg. Erst der 739. Kunde liegt oberhalb dieses Schwellenwerts der VOC-Richtlinie. Zur Erinnerung: Absatz und Verbrauch gelten hier als gleichgroß. Danach steigt die Absatzkurve steil an bis zum - hier nicht eingetragenen - Höchstwert von 100 000 kg.

- Die große Mehrzahl der Kunden, nämlich 738 von 802 (92%), kauft jährlich weniger als 2000 kg. Nur 64 Kunden (8%) kaufen mehr.

Tab. 9: Zahl der Kunden von KW-Reinigern unter und über 2 t/a Zufuhr 1997				
Werte von sechs ausgewählten Lösemittel-Handelniederlassungen				
	Anzahl		KW-Reiniger-Zufuhr	
	numerisch	in %	in Tonnen	in %
Kunden < 2 t/a	738	92%	218 t	27%
Kunden > 2 t/a	64	8%	581 t	73%
Summe	802	100%	799 t	100%

Quelle: Aufbereitete Verkaufslisten von 6 ausgewählten Lösemittelhändlern. Kunden, die Wiederverkäufer sind, wurden nicht berücksichtigt.

Die zusammenfassende Tabelle 9 für die ausgewählten Handelsniederlassungen zeigt die ungleiche Absatzverteilung in Zahlen: Die 738 kleineren Kunden (< 2 t/a) kaufen von den knapp 800 t nur 218 t KW-Reiniger oder 27 Prozent. Dagegen kaufen die 64 Kunden mit mehr als 2 t Jahreseinkauf 581 t KW-Reiniger oder 73% der Gesamtmenge. Die Differenzierung beim Absatz läßt sich auch anders ausdrücken: Die durchschnittliche jährliche Einkaufsmenge der Kunden mit weniger als 2 t/a beträgt 295 kg. Der vergleichbare Wert der Kunden mit über 2 t Jahreszufuhr beträgt 9000 kg.

3.2 Hochrechnung: Die bundesweite KW-Anwenderstruktur

Wird für die Verhältnisse bei den sechs ausgewählten Niederlassungen ein ausreichendes Maß an Repräsentativität unterstellt, dann führt eine Hochrechnung anhand ihres inländischen Marktanteils zu bundesweiten Mengen- und Strukturdaten.

Der Marktanteil der sechs ausgewählten Niederlassungen beträgt ca. 2,94 Prozent, wenn ihre verkauften 799 t auf den auf 27 200 t geschätzten Gesamtabsatz bezogen werden. Daraus errechnen sich für die Bundesrepublik des Jahres 1997 die in Tabelle 10 dargestellten absoluten und prozentualen Inlandswerte - für Anzahl der Kunden und für verkaufte KW-Reiniger.²⁰

Tab. 10: Inländische KW-Reiniger-Anwender unter und über 2 t Zufuhr 1997				
Hochrechnung auf Basis der Daten von sechs Lösemittelhändlern				
	Anzahl		KW-Reiniger-Absatz	
	numerisch	in %	in Tonnen	in %
Kunden < 2 t/a	25129	92%	7427	27%
Kunden > 2 t/a	2179	8%	19773	73%
Summe	27308	100%	27200	100%

Quelle: Basisdaten siehe Tabelle 6.

Die Hochrechnungstabelle 10 zeigt:

1. Numerisch gibt es im Inland über 27 000 (rechnerisch 27308) Anwender von einfachen KW-Reinigern der VbF-Klassen A-II und A-III, von denen aber nur rd. 2100 (rechnerisch 2179) mehr als 2 t pro Jahr einkaufen.
2. Prozentual stellen die rd. 2100 Großanwender weniger als 8 Prozent aller Verbraucher dar. Sie setzen mit fast 20 000 t (rechnerisch 19 773) aber 74 Prozent der abgesetzten KW-Reiniger ein.

Das bedeutet:

- Die große Masse der Lösemittel, fast drei Viertel, geht an weniger als zehn Prozent der gesamten Anwenderbetriebe, die den Schwellenwert der VOC-Richtlinie überschreiten. (Wiederholt: Absatz wird mit Verbrauch gleichgesetzt, da externe Regeneration zum Wiedereinsatz ohne große Bedeutung ist.)

Anders: Die VOC-Richtlinie erfaßt durch Konzentration auf eine überschaubare Anwenderzahl die Hauptmasse der halogenfreien KW zur Oberflächenreinigung.

²⁰ Die Zahlen der sechs Niederlassungen sind jeweils mit dem Faktor 34,05 zu multiplizieren.

4 Emissionsminderung durch VOC-RL und Stand der Technik

4.1 Die Wirkung der 1 : 1-Umsetzung der VOC-RL

Eine 1 : 1-Umsetzung der VOC-RL schränkt die emissionsmindernde Wirkung zwar auf Großanwender über 2 t/a Verbrauch ein. Diese vereinigen in der allgemeinen Metallentfettung aber 80% den Emissionen auf sich, nämlich 9800 von 12 000 t. Die emissionsmindernde Wirkung der VOC-RL ist daher groß und beträgt 6090 t.

4.1.1 Emissionsobergrenze von 20% bei allen manuellen Reinigungen >2 t/a

Der Löwenanteil der 9800 t Emissionen, nämlich 9100 t, stammt aus der manuellen Vor-Ort-Reinigung und Produktreinigung in den Fertigungsräumen (weniger in den Werkstätten) jener Großanwender. Die 9100 t sind rund 50% diffuse Emissionen auf die Einsatzmenge von 18 300 t.

Gemäß der VOC-RL sind diffuse Emissionen auf 20% der Einsatzmenge, mithin um 5440 t zu senken. Dies ist zweifellos keine einfache Aufgabe.

Konsequente betriebliche Überprüfungen der Minderungsmöglichkeiten diffuser Emissionen aus Einrichtungen zur manuellen KW-Entfettung würden aber zeigen:

- Häufig können installierte Zwangsschließungen des Deckels VOC-Verflüchtigungen aus offenstehenden Behältnissen verringern.
- Oftmals kann der Ersatz schnellflüchtiger A-II- durch langsamer verdunstende A-III-Stoffe die Luftemissionen zugunsten des Rücklaufs in den Behälter senken.
- Häufig kann auf eine Reinigung überhaupt verzichtet werden.
- Sehr viele Betriebe mit manueller Vor-Ort-Entfettung von Produktionsmitteln aus mobilen Gefäßen sowie von Großteilen mit geringem Durchsatz werden mit KW ihre bisherige offene manuelle Reinigung nicht aufrechterhalten können. Dann wird die Frage einer KW-freien Reinigung geprüft werden müssen, was oft auf den Wechsel zu (a) wässriger und (b) anlagenbetriebener Reinigung hinauslaufen dürfte.

Daß der betriebliche Einfallsreichtum und Sachverstand dem Einzelfall angepaßte Wege zur KW-Emissionsminderung und -Substitution finden wird, wenn er unter dem Druck der VOC-RL erst danach suchen muß, lehrt die Erfahrung mit ähnlichen emissionsmindernden Auflagen aus anderen Bereichen (Beispiel: FCKW-Verbot).

4.1.2 Strenger Abgasgrenzwert für alle KW-Anlagen

Bei KW-Anlagen, die ihren ca. 200 Anwendern Verbräuche von je über 2 t/a und insgesamt 700 t/a Emissionen verursachen, ist eine deutliche Emissionsminderung leichter realisierbar. Dies betrifft nicht die Kaltreinigungsanlagen ohne Trockner (300 t Jahreszufuhr - 100 t Emissionen), die Kleinverbraucher sind. Ebenso wenig die Mehrzahl der Vakuumanlagen mit Heißreinigung (200 t Jahreszufuhr - 90 t Emissionen), deren Jahresverbräuche meistens den Schwellenwert unterschreiten. Vor allem sind 700 t Emissionen zu reduzieren, die aus technisch veralteten Anlagen zur Kaltreinigung mit Warmlufttrocknung (Zufuhr: 1700 t) stammen. Von diesen 700 t erfaßt die VOC-RL 680 t aus Anwendungen über 2 t/a Verbrauch.

Heute schon technisch ersetzbar sind die zwischen 1986 und 1994 in Betrieb genommenen ca. 250 KW-Anlagen, die oft umgebaute CKW-Altanlagen sind, sei es durch wäßrige Reinigungsanlagen oder durch Lösemittel-Vakuumanlagen. Ein Ersatz vor dem Ende der Lebensdauer ist nicht kostenneutral. Das Ende der Funktionsfähigkeit jener Anlagen und ihr Ersatz durch neue dürfte allerdings in die von der VOC-RL vorgesehene Übergangsfrist fallen, so daß der Austausch reibungslos vonstatten gehen kann. An seinem Ende werden von 700 t KW-Emissionen noch 20 t übrig bleiben, die aus den rund 50 Anlagen in Betrieben unterhalb des Schwellenwerts stammen und von der VOC-RL nicht reguliert werden. Durch Ausmusterung der 200 hochemissiven Anlagen werden Emissionsminderungen von ca. 680 t erzielt, denen neue Emissionen durch emissionsgeminderte Folgeanlagen im Umfang von ca 50 t gegenüberstehen. Die Emissionsminderung beträgt per Saldo folglich: 630 t.

Die VOC-RL fordert auch für die wenigen geschossenen Anlagen auf Vakuumbasis, die entweder überdurchschnittlich große Sonderanfertigungen sind oder in größerer Anzahl im selben Betrieb eingesetzt werden, die Einhaltung des Abgasgrenzwertes 75 mg C/m³, wenn ihre betrieblichen Jahresverbräuche 2 t/a übersteigen. Zu den technischen Möglichkeiten "Kondensationsstufe nach der Vakuumpumpe" und "Aktivkohlefilter" wurden bereits am Schluß des zweiten Abschnitts (2.4.4) einige Anmerkungen gemacht. Emissionen im Umfang von 20 t können auf weniger als 5 t gesenkt werden.

4.2 Maßnahmen nach Stand der Technik bei Kleinanwendungen < 2 t/a

Emissionssenkungen bei Anwendungen unterhalb des Schwellenwerts werden von der VOC-RL zwar nicht verlangt, sind aber nach dem Stand der Technik möglich und finanziell zumutbar.

4.2.1 Kurzfristiger wäßriger KW-Ersatz bei manueller Kleinteilereinigung

Wäßrige Einkammer-Spritzanlagen bieten sich als kostengünstige und praxisbewährte Alternativen zu ortsfesten KW-Reinigungstischen dort an, wo Einzelteile mäßiger Größe und mäßigen Gewichts zwar diskontinuierlich, aber nicht allzu selten zu entfetten sind.

Diese Bedingungen sind in industriellen Werkstätten mit Verbräuchen unter 2 t/a oft gegeben, so daß sich dort eine wäßrige Waschanlage für 10 bis 15 Tsd. DM durch Ersparnis bei der Arbeitszeit bald amortisiert und die Substitution fast kostenneutral ausfällt.²¹ Wird für die industrielle Werkstattreinigung mit wäßrigem Reiniger eine vergleichbare Einsatzschwelle wie für Kfz-Betriebe angelegt (s. Kapitel 1, Abschn. 5.1.2), können auf diese Weise ein Drittel des KW-Einsatzes von 4000 t kurzfristig ersetzt und damit 330 t Emissionen vermieden werden.

Aus Abschnitt 2 dieses Kapitels ist bekannt, daß ortsfeste KW-Reinigungstische bzw. -becken für Kleinteile auch außerhalb der Werkstatt vorkommen: bei der manuellen Vor-Ort-Reinigung von demontierbaren Produktionsmitteln und der Reinigung kleiner Produktteile - letzteres vornehmlich bei Restchargen sowie Meß- und Prüfstücken. Auch bei diesen Anwendungen ist wäßrige Substitution kurzfristig möglich, am kostengünstigsten meistens wiederum durch einfache Einkammer-Spritzanlagen. Aber auch eine Zentralisierung der Reinigung in einer größeren wäßrigen Anlage kann

²¹ Vgl. dazu den Substitutionsfall 1 im Abschnitts 5.

vorteilhaft sein²². Kurzfristiger KW-Ersatz durch wäßrige Reinigung ist außerhalb der Werkstatt, wo die Anwendungen emissionsstärker sind, quantitativ im gleichen Ausmaß wie innerhalb der Werkstatt möglich, d.h. in einer Größenordnung von 1500 t beim Jahreseinsatz, wodurch Emissionen im Betrag von etwa 670 t vermieden werden.

4.2.2 Grenzwerteinhaltung bei KW-Anlagen

Technisch möglich und finanziell zumutbar ist der mittelfristige Austausch jener 50 veralteten KW-Anlagen mit Umlufttrocknung, die infolge geringer Auslastung weniger als 2 t/a verbrauchen, aber dennoch hochemissiv sind. Bei Ersatz durch vakuumbasierte KW- oder wäßrige Reinigung fallen Emission von 20 t/a weg.

Auch die 70 t Emissionen der 270 modernen Vakuumanlagen mit Verbräuchen unterhalb des Schwellenwertes können technisch auf ein Zehntel gesenkt werden - genauso wie die bereits erwähnten Vakuumanlagen oberhalb des Schwellenwerts. Der Emissionsrückgang betrüge 60 t/a.

4.3 Emissionssenkungen um knapp 60% möglich

In Tabelle 11 sind die Emissionssenkungen zusammengestellt, die oberhalb des Schwellenwerts aus der 1 : 1-Umsetzung der VOC-RL und unterhalb des Schwellenwerts aus der Einführung des Standes der Technik resultieren.

Tab. 11: Emissionssenkung durch 1 : 1 Umsetzung der VOC-RL und zusätzlich bei Verbrauchern < 2 t/a durch Maßnahmen nach Stand der Technik	
Ausgangsemissionen: 12 000 t	
Emissionssenkung durch 1 : 1-Umsetzung der VOC-RL bei Verbrauch > 2 t/a	6090 t
Optimierung manueller KW-Einrichtungen	5440 t
Ersatz der 200 KW-Anlagen mit Umlufttrocknung	630 t
Abgasgrenzwert für 30 große KW-Vakuumanlagen	20 t
Emissionssenkung durch Maßnahmen nach Stand der Technik bei Verbrauch < 2 t/a	1080 t
Werkstattreinigung in wäßrigen Kleinanlagen	330 t
Wäßrige Reinigung in Fertigungsräumen	670 t
Ersatz der 50 KW-Anlagen mit Umlufttrocknung	20 t
Zusätzliche Abgasreinigung an 270 Vakuumanlagen	60t
Emissionssenkung durch alle Maßnahmen zusammen	7170 t

Die Gesamtemissionen aus der Metallentfettung können um 7170 t oder 60% reduziert werden. Den größten Anteil daran hat die VOC-RL. Sie entfaltet ihre Hauptwirkung gegenüber den diffusen Emissionen aus manuellen KW-Anwendungen in der betrieblichen Fertigung. Die konsequente Umsetzung des Emissionsgrenzwerts im Verbrauchsbereich über 2 t/a senkt die Emissionen um 5440 t (von 50% auf 20% oder von 9100 t auf 3660 t). Dazu kommen Emissionsminderungen bei Anlagen im Umfang von 650 t. Nach Stand der Technik vorgenommene Maßnahmen in Betrieben < 2 t/a Lösemittelverbrauch tragen zusätzlich 1080 t zur Emissionssenkung bei.

²² Für wäßrigen KW-Ersatz bei der Produktreinigung zu Kontroll- und Meßzwecken steht im Abschnitt 5 der Substitutionsfall 4.

5 Fünf exemplarische betriebliche Fälle des KW-Ersatzes

Eine illustrative Darstellung des KW-Ersatzes in fünf betrieblichen Fällen soll sowohl typische als auch spezifische Bedingungen für Reinigereinsparung und Emissionssenkung dokumentieren.

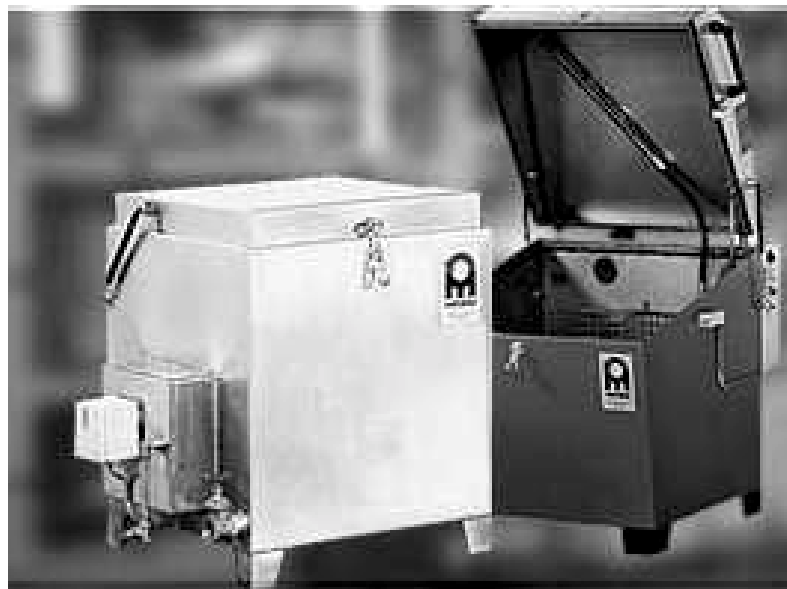
Fall 1: KW-Ersatz in der Industriewerkstatt

Wäßrige Einkammer-Spritzmaschine statt KW Reinigungstisch spart 560 kg KW

In der zentralen Instandhaltungswerkstatt ("Schlosserei") eines Gelenkwellenwerks (740 Beschäftigte) wurden bis 1996 ausgebaute Maschinenteile vor der Reparatur an einem 100-Liter-Schlauchpinsel-Tisch mit Kohlenwasserstoffen (A-III) manuell von Schmutz und Fett gereinigt. Zur Trocknung wurden die Teile nach Bedarf mit Preßluft abgeblasen, wobei Aerosole in die Raumluft gelangten. Der Jahresverbrauch an KW-Reiniger betrug 700 Liter à 2,50 DM (1750 DM). Entsorgt wurden 550 Liter ölhaltige Altware²³ für 400 DM. Gesamtkosten: 2150 DM pro Jahr.

Seit 1997 wird die gleiche Reinigung wäßrig in einer Einkammer-Spritzanlage (Toplader Metalas MC 100) durchgeführt. Die Teile liegen in einem Drehkorb von 920 mm Durchmesser und werden nach Schließen des Deckels aus Düsen mit 2,2 bar Druck bespritzt. Die Waschflüssigkeit, die 1,5% Pulverreiniger enthält, ist auf 65°C erhitzt. Sie wird aus einem 100 Liter-Tank gepumpt, in den sie durch ein Filter beständig zurückfließt. Ein Waschgang dauert 10 Minuten einschließlich Trocknung, die wegen der Eigenwärme der Teile durch Verdunstung rasch vonstatten geht.

Die Waschlauge wird nachts mit einem Skimmer entölt und monatlich abgelassen. Sie wird als "wäßrige Waschflüssigkeit" für 460 DM pro Jahr entsorgt (0,38 DM pro Liter).



Dazu kommen 50 DM für das abgeschimmte Altöl. Leitungswasser wird als Verdunstungsausgleich regelmäßig nachdosiert, ebenso Pulverreiniger, um die Konzentration von 1,5% aufrechtzuerhalten. Jährlicher Reinigerbedarf: 40 kg à 4 DM (160 DM). Der Strom kostet jährlich 1500 DM bei 0,25 DM/kWh. Er wird gebraucht für die Spritzpumpe (2,2 kW) und vor allem für die geregelte Heizung (6 kW), die täglich 8 Stunden lang die Reinigungsflüssigkeit auf Einsatztemperatur hält.

Abb. 8: Wäßrige Spritzanlagen statt KW-Reinigungstische für die Industriewerkstätten (hier: Metalas MC 100; MC 75).

²³ Seit 1999 heißt der Abfall "andere Lösemittel und Lösemittelgemische" und trägt die Abf-Nr. 140103.

Die reinen Betriebskosten der Reinigung sind mit der wäßrigen Anlage mit ca. 2170 DM pro Jahr etwa so hoch wie mit dem Tisch zur manuellen KW-Reinigung. Die Anschaffungskosten der wäßrigen Anlage betragen 13 000 DM, die auf zehn Jahre umgelegt zusätzliche Betriebskosten von 1300 DM jährlich bilden. Diesen Mehrkosten sind die Einsparungen für das Reinigungspersonal gegenüberzustellen, das während des automatischen Waschvorgangs andere Arbeit erledigt. Nicht zu vergessen sind die Vorteile für die Gesundheit: kein Einatmen von Lösemitteldämpfen und keine Hautentfettung beim (üblichen) Reinigen ohne Handschuhe mehr.

Fall 2: KW-Ersatz bei manueller Vor-Ort-Reinigung industrieller Produktionsmittel

Kalte Neutralreiniger-Flüssigkeit statt KW-Lösemittel bei der Maschinenreinigung

In einem Werk für Klein-Eisenteile für die Automobilindustrie (560 Beschäftigte) werden am Wochenende die Gebäude von einer Reinigerkolonne (Fremdfirma) gereinigt. Diese hat auch die Aufgabe, die zahlreichen Stanz- und Biegemaschinen außen abzupinseln. Dies geschieht mithilfe zweier Handwagen, auf denen je ein 10-Liter-Gefäß mit A-III-Kaltreiniger fixiert ist - eine Einrichtung, die an den Arbeitstagen vom regulären Werkzeugbau für Reinigungen vor Ort genutzt wird. Pro Wochenendreinigung werden über 30 Liter Reiniger verbraucht, die teils verdunsten, teils in den Ölsumpf unter den Maschinen tropfen, in den sonst Bearbeitungsöle fließen.

Anders in einem Automobilwerk (24 000 Beschäftigte). 1985 wurden im Werk noch 30 Tonnen Maschinenreiniger eingesetzt, der zu 65% aus Dichlormethan und zu 35% aus halogenfreien Kohlenwasserstoffen bestand, ein für damalige Zeiten typischer Kaltreiniger. Der Ersatz dieses CKW-haltigen Produkts erfolgte nicht durch halogenfreie Kohlenwasserstoff-Kaltreiniger, sondern durch ein wäßriges Neutralreiniger-Konzentrat. Davon werden jährlich für das ganze Werk 7,5 Tonnen eingekauft, die zur Anwendung mit 70% Leitungswasser auf 25 Tonnen Flüssigkeit aufgefüllt werden. Damit waschen die Arbeiter (keine externe Reinigungsfirma) die Maschinen ab. Die 7,5 Tonnen Neutralreiniger kosten 22 500 DM. 25 Tonnen Kohlenwasserstoff-Reiniger der VbF-Klasse AIII würden im Einkauf (ohne Entsorgung) 60 000 DM kosten.

Fall 3: KW-Ersatz bei manueller Reinigung großflächiger Produkte

Wäßrige Waschlauge ersetzt 6,6 Tonnen Kohlenwasserstoffe im Preßwerk

In zwei Betrieben für Exzenterpressen werden großflächige Stahlkörper mit Ausmaßen bis zu 15 Meter Länge und 10 Meter Höhe und Breite für die Endmontage bearbeitet. Vor der Endlackierung sind die Teile von Verschmutzungen zu reinigen, die vor allem aus öligen Fußabtritten der Arbeiter stammen, die auf den Stahlkörpern arbeiten (Bohren, Kabel einziehen usw.). In beiden Betrieben ist es Aufgabe des Lackierers, die Außenwände davon zu reinigen, und zwar mit einem großen Malerpinsel aus einem Eimer mit A-II-Reiniger. Der erste Betrieb (1100 Beschäftigte) braucht dafür jährlich 3500 kg KW-Reiniger, die zu über 80 Prozent ohne Rücklauf in den Eimer in die Halle abdunsten.²⁴ Der zweite Betrieb (1300 Beschäftigte) setzte für den gleichen Zweck 7 Tonnen Lackverdünner ein, die vollständig in die Hallenluft emittierten.

²⁴ Diese Reinigung findet wie die Lackierung in der Regel außerhalb der Arbeitszeit der Monteure statt, um diese nicht mit Lösemitteldämpfen zu belastigen.

Im zweiten Betrieb wurden 1993 nach einer umfangreichen Renovierung der Halle einschließlich des Fußbodens auffällig weniger ölige Fußabdrücke auf den Stahlflächen festgestellt. Daraufhin wurden erstens im Rahmen einer Kampagne für "dauerhafte Sauberkeit im Betrieb" die Mitarbeiter auf die Ölverschleppung vom Fußboden auf die Produkte hingewiesen, die danach weiter zurückging. Zweitens zeigte ein nach mehreren Tests gefundenes, in kaltes Wasser gelöstes Konzentrat ausreichende Reinigungswirkung gegenüber den Restverschmutzungen aus Staub und Fußspuren: Der Lackierer wischt seitdem mit der "Seifenlauge" per Lappen die Stahlkörper nicht mehr ganzflächig ab, sondern nur an den Stellen, wo die Lackhaftung und -deckung beeinträchtigt ist. Auch nach Umstellung des Lacks von stark lösemittelhaltigem "Nitrolack" auf lösemittelarmen 2-K-PU-Lack blieb die Oberflächenreinheit ausreichend.

Ein Restproblem sind die für die Montage notwendigen Beschriftungen mit Markierstiften, die Bohrlöcher u. dgl. bezeichnen. Wasserlösliche Markierungen wurden beim Bearbeiten durch darüberlaufenden Kühlschmierstoff gelöscht, so daß wieder lösemittelhaltige Marker genommen werden mußten. Die Markierungen sind nur mit organischem Lösemittel zu entfernen. Dafür wird aus einem Eimer Lackverdünner benutzt, dessen Jahresverbrauch bei 500 Liter (rd. 400 kg) liegt. Die Lösemittelersparnis beträgt darum nicht 7 Tonnen, sondern 6,6 Tonnen jährlich.

Fall 4: KW-Ersatz bei manueller Produktreinigung für Meß- und Kontrollzwecke

Wäßrige Anlage erspart 20 Tonnen KW-Reiniger bei der Zahnradprüfung

In einer Druckmaschinenfabrik (1500 Beschäftigte) stehen im Bereich der Drehautomaten 20 ortsfeste 50-Liter-Reinigungsbecken mit AIII-Reiniger, um Zahnräder für die stichprobenhafte Meßprüfung von störendem Bearbeitungsöl zu säubern. Nach einem bestimmten System werden Teile aus dem Fertigungsprozeß herausgenommen, auf ein Gitter im Waschbecken gelegt und mit einem Schlauchpinsel bei geringem Austrittsdruck abgespritzt. Der Jahresverbrauch für den Reiniger beträgt 4000 kg.

Ähnlich geht es in einem Werk für Pkw-Getriebe (20 000 Beschäftigte) zu. Dort dienen als Reinigungseinrichtungen Rundtöpfe mit 5 l Fassungsvermögen, die auf Tischen kipp sicher befestigt sind. Daraus werden zur Zwischenreinigung die Zahnräder mit A-II-Reiniger abgepinselt. Alle 120 Gefäße sind mit einer Schmelzlotsicherung ausgestattet, bei der im Brandfall das Lot schmelzen würde, so daß der Deckel zufällt und den Brand erstickt. Jährlich werden 15 000 kg Reiniger eingesetzt.

In einem Werk für Fahrzeuggetriebe (4500 Beschäftigte) wurden für den gleichen Zweck bis 1997 rd. 20 000 kg A-III-Kaltreiniger eingesetzt. Die nach einem statistischen Verfahren ausgewählten Prüfteile wurden in ein zentrales Tauchbecken mit 1 m³ Füllvolumen gelegt, das alle zwei Wochen gewechselt wurde. Seit 1997 geschieht die Entfettung in einer wäßrigen Einkammer-Anlage, in der 50°C warme neutralreinigerhaltige Waschflüssigkeit mit 4-6 bar Spritzdruck auf die Teile gelangt. Die Reinigungszeit einschließlich Trocknung dauert 1 Minute. Die Standzeit der Waschflüssigkeit beträgt vier Wochen. Die Entsorgung wird in der vorhandenen Abwasseranlage vorgenommen. Die Anlage kostete 70 000 DM und dürfte sich aufgrund der Lösemittelersparnis von jährlich 60 000 DM bald amortisiert haben.

Wichtig ist an diesem Fall der Grundsatzcharakter: Häufig gilt eine kalte KW-Reinigung vor Meßprüfungen metallischer Werkstücke als unverzichtbar, weil wäßrige Warmreinigung das Metall ausdehne und damit zu Meßfehlern führe. (Wäßrige Kaltreinigung wiederum erbringe nicht die geforderte Oberflächenreinheit.) Im hier dargestellten Fall wäßriger Warmreinigung wird genügend Zeit zum Erkalten der Zahnräder eingehalten, so daß die Meßgenauigkeit nicht berührt wird. Die wäßrige Reinigung wird allerdings durch die Fertigungslogistik begünstigt, die zentrale statt dezentrale Reinigung und Prüfung vorsieht und damit ohnedies einen zeitlichen Puffer beinhaltet.

Fall 5: KW-Ersatz bei Anlagen mit Kaltreinigung und Umlufttrocknung

Stilllegung einer Konservieranlage spart 13 000 kg KW

In einem Großbetrieb für Antriebstechnik (5500 Beschäftigte) werden Ersatzteile aus Stahl (Getriebekomponenten, Zahnräder, Wellen) für den weltweiten Kundendienst in zwei ehemaligen CKW-Anlagen konserviert. Die 1992 und 1993 durchgeführten Umbauten - im wesentlichen der Anbau je eines Trockentunnels auf 20 m² Fläche - kosteten zwei Mal 600 Tsd. DM.

Zur Vorreinigung werden die Teile in ein 1800-Liter-Becken mit A-III-Reiniger getaucht, zur Konservierung anschließend in ein zweites 1800-Liter-Becken mit im gleichen Reiniger gelöstem Wachs gesenkt. Die mit lösemittelnassem Wachsfilm überzogenen Teile gelangen dann in den Trockentunnel, wo sie 50°C warmer Umluft ausgesetzt werden, damit das Lösemittel verdampft. Bei 3750 Betriebsstunden betragen die Gesamtemissionen jährlich 4875 kg. Beiden Anlagen werden jährlich je 13 t KW-Reiniger zugeführt. Davon emittieren fast 4,9 t, und 8,1 t werden entsorgt - in diesem Falle durch externe kundenspezifische Regeneration für den gleichen Einsatzzweck.

Versuche in den Jahren 1994 bis 1997 mit anderen Verfahren des Langzeit-Korrosionsschutzes führten dazu, daß 1998 die Hälfte der Teile in Folie eingeschweißt wird. Die Konsequenz war die Stilllegung einer der beiden KW-Anlagen.

Die neuen Kosten der Folienkonservierung sind etwa so groß wie die weggefallenen Kosten des Konservierwachses. Allerdings spart der Betrieb durch eine Anlagen-Stilllegung jährlich 13 t KW-Reiniger, 180 000 kWh Strom und 17 000 m³ Erdgas, in Geld ausgedrückt: 85 000 DM.

Nachweise zu Kapitel 3

- Befragung Lösemittelhandel = Direkte Befragung führender Händler- und Formulierer von Kohlenwasserstoffreinigern 2/98-4/99:
- Brenntag Chemiepartner GmbH, Duisburg (Hr. Stroß) 11.2.99;
 - Chemische Werke Kluthe GmbH & Co, Heidelberg (P. Werner, P. Schuppe) 10.2.98;
 - CG Chemikaliengesellschaft, Laatzen (Martin Pitts, Zygmunt Manicki) 11.12.98;
 - Deutsche EXXON Chemical GmbH, Köln (Lothar Forner) 18.9.98;
 - Deutsche Shell Chemie GmbH, Eschborn (Bruno Halter) 14.5.98;
 - Haug Chemie GmbH, Sinsheim (Wolfgang Fabian, Ellen Leucht) 8.9.98;
 - Hermann Bantleon GmbH, Ulm (Manfred Hubl) 16.11.98;
 - Hugo Häffner GmbH & Co KG, Asperg (Herr Scholz) 26.11.97;
 - IBS Scherer GmbH, Gaubickelheim (Axel Scherer, Wolfgang Scherer) 23.6.98;
 - Karl Löffler GmbH & Co. KG, Köln (Jürgen Kader) 12.10.98;
 - Safety Kleen Deutschland GmbH, Porta Westfalica (Garbaty u.a. 24.11.98;
 - Terma-GmbH, Garbsen/Hannover (Dieter C. Müller) 17.9.98;
 - W.E.H. Biesterfeld, Hamburg (Weiner) 10.6.98 bzw. Frankfurt am Main (Gert Simacek) 2.2.98;
- Befragung Vakuumanlagenbauer = Befragung der neun inländischen Anbieter von KW-Vakuum-Reinigungsanlagen 2/98-4/99:
- Branson Ultraschall, Dietzenbach (Christine Böhle) 2.2.98 (Hr. Hemberger) 21.4.99;
 - Dürr Ecoclean GmbH, Filderstadt (Hartmut Digel) 23.4.99;
 - EMO Oberflächentechnik GmbH, Bretten-Gölshausen (Peter Hösel) 16.4.99;
 - EVT Eiberger Pföhler GmbH, Maulbronn (Harald Eiberger) 30.4.99;
 - Meißner Technik Müllenbach GmbH, Marienheide (Dirk Crone) 22.4.98;
 - MOC Danner GmbH, Ammerbuch (Thomas Danner) 22.4.98;
 - MULTIMATIC Oberflächentechnik GmbH & Co, Hilter (Hermann Ziegler) 22.4.98;
 - REK Reinigungstechnik GmbH, Murrhardt (Manfred Köger) 21.4.99 (Peter Riebesam) 30.4.99;
 - Roll Karl GmbH & Co, Mühlacker (Hans Oberauer) 22.4.98;
- Brackemann H. u.a.: Maßnahmen zur Vermeidung und Verringerung des Eintrags leichtflüchtiger Chlorkohlenwasserstoffe (CKW) in die Umwelt, in: UWSF - Z.Umweltchem. Ökotox. 7(1)27-32 (1995);
- Bräutigam, M./Kruse, D.K.: Ermittlung der Emissionen organischer Lösemittel in der Bundesrepublik Deutschland. Materialband II: Hauptanwendungs- und spezielle Anwendungsbereiche. Im Auftrag des Umweltbundesamtes, Berlin, April 1992;
- Eiberger, H. (EVT Pföhler GmbH, Maulbronn), pers. Mitt. 30.4.99;
- Digel, H.: Chirurgisch clean. Reinigen von Bestecken in der Medizintechnik, in: mo 51 (1997) 9, 630-631;
- Göller, D.: Tafelfein sauber. WMF setzt auf nichthalogenierte Kohlenwasserstoffe zur hochwertigen Reinigung von Besteckteilen, in: mo 50 (1996) 4, 242-246;
- Heinemann, B. (Fichtel & Sachs, Schweinfurt): Kostengünstig reinigen mit Emulsionen, in: Clean '94 - JOT-Fachtagung über die industrielle Teilereinigung und -vorbehandlung, München 1994, 71-93;
- Hellstern, R. (Dürr GmbH, Filderstadt): Reinigen mit brennbaren Lösemitteln. Vorteile und Grenzen; Neuester Stand der Anlagentechnik, in: Clean '93, JOT-Fachtagung über die industrielle Teilereinigung und -vorbehandlung am 28./29.10.1993 in München, 117-135;

- Hellstern, R. (Dürr GmbH, Filderstadt): Reinigen mit VbF A3-Lösemitteln über Flammpunkt, in: Clean '95 - JOT-Fachtagung über die industrielle Teilereinigung und -vorbehandlung, München 1995, 141-157;
- Hönsch (Klöckner & Co. AG, Duisburg), pers. Mitt. 15.5.1997;
- Hösel, P. (EMO Oberflächentechnik GmbH, Bretten-Gölshausen) pers. Mitt. 16.4.99;
- Kargol, D. (OFRU Recycling GmbH + Co. KG, Babenhausen) pers. Mitt. 24.4.99);
- Kiechle, A. u.a.: Substitution von halogenierten Kohlenwasserstoffen, Mercedes-Benz-Informationen der Zentralwerkstofftechnik, (Stuttgart) Juni 1992;
- Köger, M.: Kostengünstig reinigen mit Kohlenwasserstoff, in: JOT 1998/1, 30-31; auch in: NC-Fertigung 7/1998;
- Konzeption zur Minderung der VOC-Emissionen in Baden-Württemberg, Bericht der VOC-Kommission der Landesregierung von Baden-Württemberg an das Umweltministerium Baden-Württemberg, Karlsruhe, Januar 1993;
- Kunz, H. (Dürr Ecoclean GmbH, Filderstadt): Korrosionsschutz durch nichtwäßrige Medien, Vortrag beim "Praxis-Forum" über "Metallbearbeitung. Prozeßstoffe, Fertigungsschritte und Teilereinigung", Ltg. A.Kiechle, Bad Nauheim 31.3.1998;
- Kunz, H. (Dürr Ecoclean GmbH, Filderstadt) pers. Mitt. 22.4.1999;
- Leisewitz, A./Schwarz, W.: Metalloberflächenreinigung mit CKW, KW und wäßrigen Reinigern. Stoffstromanalyse und Umweltbelastungsvergleich. Im Auftrag des Umweltbundesamtes, Texte 65/94, Berlin 1994;
- Render, G. (Georg Render GmbH, Bad Salzuflen) pers. Mitt. 17.9.1998, 16.4.1999;
- Striegel, G. u.a.: Verfahren der Teilereinigung ganzheitlich bilanzieren, in: mo Jahrg. 53 (1999) 4, 19-23;
- Uhlig, J. (WMF AG, Geislingen): Reinigen mit CKW, KW oder wäßrig? in: Clean '97 - JOT-Fachtagung über die industrielle Teilereinigung und -vorbehandlung, München 1997, 1-30;
- VCI (Verband der Chemischen Industrie e.V.), Fachvereinigung Organische Chemie: CKW-Lösemittel. Der deutsche Markt, Verwendung, Substitutionsmöglichkeiten, Möglichkeiten der Aufarbeitung CKW-haltiger Rückstände bzw. Abfälle. Entwicklung 1986-1990/95. Frankfurt am Main Januar 1988;
- VCI (Verband der Chemischen Industrie e.V.), AK CKW-Lösemittel, Schreiben von Franz Nader an Öko-Recherche, Frankfurt, 11.11.1999.
- VDMA (Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V., Frankfurt):
1. Verwendung halogener Kohlenwasserstoffe (HKW) im Maschinen- und Anlagenbau, in: VDMA Nachrichten 08/89, 51-53;
 2. Lösemittelleinsatz im Maschinen- und Anlagenbau, in: Maschinenbau-Nachrichten 12/1992, 67-70;
- Werner, P. (Chemische Werke Kluthe, Heidelberg), pers. Mitt. 21.5.1997;
- Winet, M. (Dow Chemical Europe, Horgen), pers. Mitt. 21.1.99;
- ZH 1/562 (alte Fassung): Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (Hrsg.), Richtlinien für Einrichtungen zum Reinigen von Werkstücken mit Lösemitteln, Bestell-Nr. ZH 1/562, Ausgabe April 1992;
- ZH 1/562 (neue Fassung): Berufsgenossenschaftliche Regeln für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit BGR 180 (bisherige ZH 1/562): Reinigen von Werkstücken mit flüssigen Reinigungsmitteln (Entwurf Dezember 1998). Hrsg.: Fachausschuß "Oberflächenbehandlung" der BGZ und Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften.
- Ziegler, H. (Multimatic, Melle): Umweltgerechte und sicherere Reinigung mit brennbaren Lösemitteln, in: Clean '92, JOT-Fachtagung über die industrielle Teilereinigung am 26./27.11.1992 in München, 113-120.

4. Kapitel

Organische Spezialreinigung

Organische halogenfreie Reiniger mit verstärktem Lösevermögen kommen zum Einsatz, wo Verschmutzungen gegen einfache aliphatische Kohlenwasserstoffe beständig sind. Typische Verunreinigungen sind nicht Fette und Öle, sondern Polymerisate wie Kleb- und Dichtstoffe, Harze, Farben u.dgl. Diese sind häufiger von Produktionsmitteln (Auftragsgeräten) als von Produkten abzureinigen. Manuelle und maschinelle Reinigung finden bei Raumtemperatur statt. Dies ergibt sich aus der Dominanz leicht entzündlicher A-I- und A-II-Formulierungen, deren Erwärmung riskant ist. Das Reinigungsgut ist in der Regel aus Metall. Die Anwenderbranchen reichen aber weit über die Metallindustrie hinaus, da es meist um Produktionsmittelreinigung geht.

Anwendung	Zufuhr in t/a	Luftemiss. t/a	Entsorgung t/a	Regenerat t/a
Stationäre Gießanlagen f. 2K-Medien	2100	1400	700	-
Mischer/Rührwerke f. 1K-Dichtstoffe	1400	200	300	900
Klischees für industr. Tampondruck	4000	3500	500	-
Sonstiges einschl. Produkt-Finishing	4500	3500	1000	-
Summe	12000	8600	2500	900

Quellen: Recherchen im Rahmen dieser Studie.

Die Eingangstabelle zeigt in der Summe einen jährlichen Neueinsatz von 12 000 t, von dem 8600 t oder 72% in die Umgebungsluft emittieren. Regenerate zum Wiedereinsatz sind 900 t. Zur Entsorgung gelangen 2600 t (22%). Größtes Einsatzgebiet mit 4500 t Zufuhr ist "Sonstiges einschließlich Produkt-Finishing". Es handelt sich um eine heterogene Restgruppe, deren Daten zu Umfang und Struktur auf Expertenschätzungen beruhen. Belastbarer sind die Angaben zu den ersten drei Anwendungen: Stationäre Gießanlagen für 2K-Medien, Mischer/Rührwerke für 1K-Dichtstoffe und Klischees für industriellen Tampondruck. Die relative Homogenität der Reinigungsvorgänge in diesen Sektoren erlaubt höhere Datensicherheit.

Die VOC-RL ordnet der Oberflächenreinigung die Gerätereinigung mit organischen Spezialreinigern dann nicht zu, wenn diese beigeordneter Prozessschritt einer anderen Lösemittelanwendung ist. Mehr als die Hälfte der nachfolgend betrachteten Reinigungsfälle wird daher bei 1 : 1-Umsetzung von der VOC-Richtlinie (Oberflächenreinigung) nicht erfaßt. Die betrieblichen Einsatzmengen organischer Spezialreiniger weisen zwei Extreme auf. Die ca. 40 Betriebe, die einkomponentige Dichtstoffe herstellen, verbrauchen ausnahmslos, d.h. zu 100%, mehr als 2 t/a. Von den 120 000 Betrieben mit Tampondruck sind es höchstens 200 oder 0,15%. Auch bei den 18 000 stationären Misch- und Dosieranlagen für 2K-Medien gibt es gerade 150 Betriebe, die durch gleichzeitigen Einsatz mehrerer Anlagen 2 t/a verbrauchen.

1 Komponentenvielfalt und Lieferanten der Spezialreiniger

Organische Spezialreiniger sind meistens Gemische, um die Lösekraft durch Kombination verschiedener Lösemittel zu steigern. Die starken Löser in Reinigern, die schnell verdunsten sollen (A-I), sind, chemisch gesehen, meist Ester und Ketone. Wo

der Zeitfaktor keine so große Rolle spielt, kommen schwerflüchtige Glykolether und N-Methyl-Pyrrolidon zum Einsatz. Außer sauerstoffhaltigen Kohlenwasserstoff-Derivaten werden auch Kohlenwasserstoffe selbst verwendet, und zwar Aromaten wie Toluol (A-I), Xylole (A-II), Solvent Naphta (A-II und A-III) oder Trimethylbenzol (A-III).

Der Vielfalt der möglichen Reinigerkomponenten entspricht eine Vielfalt von Rezepturen, die auf kundenspezifische Aufgaben abgestimmt sind. Allein beim Marktführer Kluthe (Heidelberg) gibt es 2400 verschiedene Rezepturen (Kluthe 1998), von denen allerdings nur ein Bruchteil marktrelevant ist. Die Komponentenvielfalt kommt auch in der Übersichtstabelle 13 über die 10 Reiniger in den Industriebetrieben der Tabelle 12 zum Ausdruck: Die 10 Rezepturen enthalten 17 chemisch verschiedene Lösemittel, von denen nur sechs mehr als ein Mal vorkommen.

Wegen des Formulierungs-Know-hows ist die Rolle der Reinigerhersteller gegenüber reinen Reinigerhändlern ohne eigenes Labor stärker, als dies bei den KW-Standard-Reinigern (A-II und A-III) für die allgemeine Metallentfettung der Fall ist. Andererseits stehen sie im Wettbewerb mit den Lieferanten von Maschinen sowie von Klebstoffen, Druckfarben u. dgl., die dem Anwender Reiniger als Zubehör anbieten. Dazu kommt als dritter Wettbewerber der allgemeine Chemikalienhandel, der einfache, aber gleichwohl hochwirksame Rohstoffe (Ethylacetat, Aceton usw.) als Reiniger anbietet.

2 Hauptanwendungen organischer Spezialreiniger

Eine Besonderheit organischer Spezialformulierungen besteht darin, daß sie chemisch-physikalisch oft nicht nur ähnlich, sondern identisch mit den in Lacken, Farben, Kunstharzen, Kleb- und Dichtstoffen enthaltenen Lösemitteln sind und als Prozeß- oder Spülverdünner bei deren Auftrag eingesetzt werden. Händlern und Formulierern ist es gleichgültig, ob das Lösemittelgemisch zur Medienverdünnung oder zur Oberflächenreinigung benutzt wird. Im vorliegenden Zusammenhang werden organische Lösemittel aber nur in ihrer Eigenschaft als Oberflächenreiniger untersucht, auch dann, wenn sie sonst noch als Verdünner dienen.

2.1 Stationäre Gießanlagen für PU, Epoxid und Silikon (2K)

Ein großes Einsatzfeld für stark lösende organische Reiniger sind stationäre Misch- und Verarbeitungsanlagen für Vergußmassen und Klebstoffe aus Polyurethan, Epoxid und - in geringerem Maße - Silikonkautschuk. Solche Gießanlagen werden mit Schwerpunkt in Elektrotechnik, Elektronik und Automobilindustrie verwendet, etwa um Gehäuse mit elektronischen Baugruppen gegen chemische, thermische und Vibrations-Belastungen zu versiegeln und elektrisch zu isolieren. Die Industrie bevorzugt zweikomponentige Systeme aus Grundmasse und Härter (Komponente A und B). Denn diese härten nach ihrer Durchmischung schneller aus als einkomponentige.

2.1.1 Lösemittelspülung mischungsführender Teile

Aus separaten Vorratsbehältern werden Grundmasse und Härter über Leitungen einem Mischer zugeführt, wo sie miteinander zu einer pastösen Masse reagieren, die über eine Dosiereinrichtung portionsweise ausgestoßen wird. Die schnelle Härtung nach der Durchmischung ist bei der Verarbeitung erwünscht, führt bei Anlagestillständen über die

Topfzeit hinaus (Pausen, Schichtende) aber zu schnellem Verlust der Viskosität und damit zur Verstopfung der Mischungsführenden Teile und Leitungen.

Vor Stillständen werden daher der Mischer und die vom Mischer zum Auslaß führende Dosierleitung mit Lösemittel durchgespült. Dazu wird dieses vom Spülmittel-Reintank aus durch die Mischungsführenden Teile durchgepumpt und zusammen mit dem mitgerissenen Gemisch in einem Schmutztank aufgefangen. Ausgespültes Medium wie Harz oder Klebstoff kann nach Abtropfen über einem Sieb als separater Abfall entsorgt werden. Das durchgetropfte Lösemittel läuft, soweit nicht verdunstet, in den Reintank zurück. Bis zur nächsten Anwendung wird die Anlage luftdicht verschlossen.

Herkömmliche Gießanlagen brauchen im Durchschnitt aller Fälle pro Spülgang 2,5 Liter Lösemittel (Ehrle 1998). Dieser Mittelwert ist rein rechnerisch. Denn es gibt große Anlagen, die das Medium im Dauerbetrieb (6 Liter/min Ausflußrate) dosieren. Es gibt aber auch Kleinanlagen, die nur eine kleine Serie vergießen (Ausfluß 15 ml/min) und dann wochenlang stillstehen (Hilger u. Kern o.J.)

2.1.2 Vorwiegend A-I-Stoffe im Einsatz

Das Lösemittel war bis Anfang der 90er Jahre grundsätzlich Methylenchlorid. Danach wurden spezielle PU-Cleaner (Tabelle 12, Nr. 1) auf Basis von N-Methylpyrrolidon entwickelt (Strutz/Wolkenhaar 1993). Heute ist meistgenutztes Spülmittel jedoch Essigester (Tabelle 12, Nr. 2), gefolgt von Aceton (Ehrle 1998). Der Nachteil ihrer Hochentzündlichkeit wird angesichts relativ geringer Einsatzmengen meist in Kauf genommen. Beide "Rohstoff"-Lösemittel haben nicht nur in der Regel ausreichende Wirkung, sondern sind auch billiger als formulierte Spezialreiniger.

Wird pro Anlage wöchentlich zwei Mal mit 2,5 Liter gespült (pro Jahr 100 Mal), sind jährlich 250 Liter Lösemittel erforderlich. Bei 9000 stationären Dosier- und Mischanlagen dieser Bauart beträgt der Jahreseinsatz in der Industrie für die Spülung 2250 m³ oder rd. 2000 Tonnen (Ethylacetat-Dichte: 90 g/100 ml). Dazu kommen 100 t für weitere 9000 Anlagen neuerer Bauart (s. Abschnitt 3).

Im Falle des hochflüchtigen Ethylacetats verdunsten von der jährlich eingesetzten Menge im Durchschnitt zwei Drittel. Ein Drittel kann der Entsorgung zugeführt werden.

2.2 Dichtstoffherstellung (1K)

Einkomponentige (1K) Dichtstoffe sind im Prinzip bereits beim Hersteller vermischte zweikomponentige Systeme, die durch ein besonderes Verfahren an der chemischen Reaktion gehindert werden (Baust 1995, 61). Erst im Kontakt mit Luftfeuchtigkeit, d.h. nach Austritt aus der luftdichten Kartusche im Zuge der Verarbeitung, kommt die Vernetzung des Prepolymers in Gang, die den Dichtstoff aus plastischem in elastischen Zustand überführt (Pröbster 1998). Einkomponentige Reaktionssysteme gibt es bei Dichtstoffen folgender chemischer Rohstoffbasis:

- Polyurethan (PUR)
- Silikone (SI) und Modifizierte Silane (MS)
- Polysulfid (PSD).

Mengenmäßig am wichtigsten sind bei einkomponentigen Systemen PUR- und Silikon-Dichtstoffe. Ihre schnelle Aushärtung durch Luftfeuchte ist der Grund, weshalb bei der Herstellung (nicht der Verarbeitung) des Dichtstoffs gereinigt werden muß.

Tab. 12: Spezialreiniger-Anwendungen				
Typische betriebliche Fälle nach Branche, Reinigungsgut und -einrichtung sowie Zufuhr und Art von Reiniger				
Industrie-Betrieb Nr.	Besch-zahl	Reinigungsgut	Reinigungseinrichtung	Reiniger pro Jahr
1. Geschoß-zünder	730	PU-Schaum-Vergußanlage	integr. Spülung mit Rein- und Auffangtank (je 30 l)	740 kg PU-Löser
2. Meß-technik	650	Silikon-Eingießanlage	integr. Spülung mit Rein- und Auffangtank (je 1 l)	10 kg Essigester
3. PU/Si/PSD Dichtstoffe	400	Kessel/Rührwerke m. Dichtstoffrest	3 geschl. Anlagen m. Düsen u. Innenbürsten	157 000 kg Regeneratgem.
4. PU-Dichtstoffe	200	Kessel/Rührwerke m. Dichtstoffrest	Geschl. Anlage m. Spritzdüsen u. Innenbürste	18000 kg Harzlöser
5. Kunststoffwaren	25	Tampondruckklischees mit Farbe	2-Liter-Behälter (Deckel) mit Handpinsel	20 kg Reinigergemisch
6. Fernseh-Antennen	1500	Tampondruckklischees mit Farbe	1-Kammer-Spritzanlage à 50 l Füllvolumen	500 kg Diestergemisch
7. Pkw-Getriebe	20000	Getriebe m. angeback. Dichtungen	1 Tauchbecken à 200 l m. Deckel	900 kg Spülverdünner
8a. Automobilwerk	24000	Karosse mit Klebstoffresten	fußgeöffneter 30 l-Behälter zur Lappenbenetzung	200 kg Estergemisch
8b. Automobilwerk	24000	Karosse mit Dichtstoffresten	fußgeöffneter 30 l-Behälter zur Lappenbenetzung	200 kg Verdünner
9. Büromöbel	750	Plattenkanten m. Kleberrückstand	50 PE-Flaschen à 0,5 und 1,0 l + Wischlappen	3600 kg Kunststoffclean

Quellen: Eigenerhebungen. PU= Polyurethan. Si = Silikonkautschuk. PSD = Polysulfid.

2.2.1 Mischkesselreinigung mit Bürstenanlagen bei Rezepturwechsel

In der Produktion von Kleb- und Dichtstoffen werden spezielle organische Reiniger für Kessel und Rührwerke nicht bei lösemittelhaltigen Produkten eingesetzt²⁵, sondern bei lösemittelfreien, meist einkomponentigen, die schnell an der Luft aushärten. Vorliegende Studie befaßt sich nur mit 1K-Dichtstoffen. Der Gesamtbereich der Klebstoffe wurde im Hinblick auf VOC-Emissionen bereits anderweitig untersucht (VCI 1997).

Zwar erfolgt in den Rührkesseln unter Luftabschluß das Mischen der Roh-, Füll- und Hilfsstoffe zu fertigem Dichtstoff, der danach durch den Ablaufstutzen des Kessels direkt in die Abfüllstation und die Liefergebilde gepreßt wird. Bei Wechsel der Grundsubstanz oder des Farbtons müssen jedoch die 700 bis 1200 Liter fassenden Mischbehälter geöffnet werden, um die an den Innenwänden sowie an Rührwerk und Ablaufstutzen haftende Dichtmasse zu entfernen. Diese Reste, die nach Entleerung und manueller Ausspachtelung noch 2 bis 3 Prozent der letzten Füllung ausmachen (Haußler 1998), beginnen bei dem unvermeidlichen Luftkontakt sofort mit der Aushärtung, so daß ihre Abreinigung hohen Aufwand erfordert.

²⁵ Erstens haften lösemittelhaltige Produktreste nicht so fest an den Geräten. Zweitens wird im Falle einer Reinigung dasselbe Lösemittel eingesetzt, das danach als Rohstoff im Mischkessel bleiben kann.

Standardverfahren ist es, den runden Mischkessel auf Rollen an eine festmontierte Reinigungsanlage heranzuschieben. Diese besteht aus einer runden Bürstenscheibe, die sich hydraulisch als Deckel auf den oberen Kesselrand senkt und die Messingbürste in das Innere hinein und gegen die Innenwand drückt. Es beginnt ein 5-minütiges chemisch-mechanisches Waschprogramm: Erstens wird ständig Lösemittel an die Innenwände gespritzt, um die Dichtmasse anzulösen. Zweitens trägt die schnellrotierende Bürste laufend die vom Lösemittel "aufgequollene" (riobeer 1998) Dichtmasse von der Wand ab (Huber 1994). Am Ende des Waschganges wird die lösemittelhaltige Luft aus dem Kessel nach außen über Dach oder in die zentrale Abluftanlage abgesaugt. Der Lösemitteldurchsatz pro Waschgang beträgt etwa 500 Liter (Bauer/Ruch 1998), die aus einem Vorratstank zugeführt werden und durch den Ablaufstutzen am abgeschrägten Kesselboden ablaufen. Das kreislaufende Lösemittel wird durch Filtersysteme ständig von Dichtmasse gereinigt, bis es seinerseits so stark verschmutzt ist, daß es entsorgt und erneuert werden muß.

Tab. 13: Chemische Zusammensetzung der Spezialreiniger aus den zehn in Tabelle 12 präsentierten Industriebetrieben

<u>1. PU-Löser</u>	<u>2. Essigester</u>	<u>3. Regeneratgemisch</u>
A-II	A-I	A-I
N-Methylpyrrolidon 20%	Ethylacetat 100%	Butylacetat 20%
n-Butylacetat 80%	Dichte 90,0	Ethylacetat 20%
Dichte 101,8		Methoxypropanol 20%
	<u>5. Reinigergemisch</u>	Toluol 32%
<u>4. Harzlöser</u>	A-II	Spezialbenz. 80/110 5%
(A-III)	Cyclohexanon 12%	Ethanol 1%
N-Methylpyrrolidon 64%	Methoxypropanol 12%	Dichte 88,0
Ethylidiglykol 36%	Butylacetat 18%	
Dichte 101,0	Solventnaphta, leicht 60%	
	Dichte 89,0	
<u>6. Diestergemisch</u>	<u>7. Spülverdünner</u>	<u>8. Estergemisch</u>
Fp 102°C	A-II	A-I
Dimethylsuccinat 33%	Xylole 80%	Methylacetat 50%
Dimethylglutarat 33%	N-Methylpyrrolidon 10%	Ethylacetat 50%
Dimethyladipat 33%	Methoxypropanol 10%	Dichte 91,5
Dichte 109,0	Dichte 86,9	
<u>9. Verdünner</u>	<u>10. Kunststoff-Clean</u>	Die 10 Formulierungen stammen aus Tabelle 12. Ihre Nummern ordnen sie den dort präsentierten Industriebetrieben zu.
A-I	A-I	
Ethylacetat 30%	Ethanol 60%	
Aceton 30%	Spezialbenz. 100/140 40%	
Spezialbenz. 80/110 40%	Zitronen-Zusätze <1%	
Dichte 80,13	Dichte 77,2	

Quellen: Sicherheitsdatenblätter und Nachfragen bei den Formulierern.

2.2.2 Hoher Anteil manueller Reinigung

Für die Rührwerksreinigung gibt es nicht immer eine maschinelle Lösung. Weit verbreitet ist es, das Rührwerk nach manueller Abspachtelung des größten Rückstands abzumontieren und in ein Tauchbecken zu legen. Nach genügender Einweichzeit wird

es herausgehoben und von Hand mit Stahlbürsten endgesäubert. Manuell - mit Eimer und Bürste - erfolgt in jedem Falle die Reinigung des Ablaufstutzens des Kessels.

2.2.3 A-I-Lösemittel aus der Klebstoffproduktion oder spezielle A-III-Reiniger

Aus dem häufigen räumlichen Nebeneinander von Kleb- und Dichtstoffproduktion in einer und derselben Fabrik stammt die Praxis, von den für die Klebstoffproduktion als Rohstoff bevorrateten Lösemitteln einen Teil als Reiniger für Kessel und Rührwerke im Dichtstoffwerk abzuzweigen. Gereinigt werden muß überwiegend beim Dichtstoff. Denn selbst bei 1K-Klebstoffen ist die Reinigung von Kessel und Rührwerk wegen Produktwechsel nicht so häufig wie bei 1K-Dichtstoffen, wo die Palette der Farbtöne sowie der Grundsubstanzen (Viskosität u. dgl.) viel größer ist ²⁶. Die typischen Reiniger für die Dichtstoff-Rührkessel sind vielkomponentige, hochentzündliche Lösemittelgemische, die sich in der Zusammensetzung mit den Klebstofflösemitteln decken. Sie werden nach Gebrauch in der Dichtstoffanlagenreinigung zusammen mit Altlösemitteln aus der Klebstoffproduktion extern regeneriert ²⁷ und wieder zum Reinigen eingesetzt. Ein solcher Fall ist in Tabelle 12 die Nr. 3.

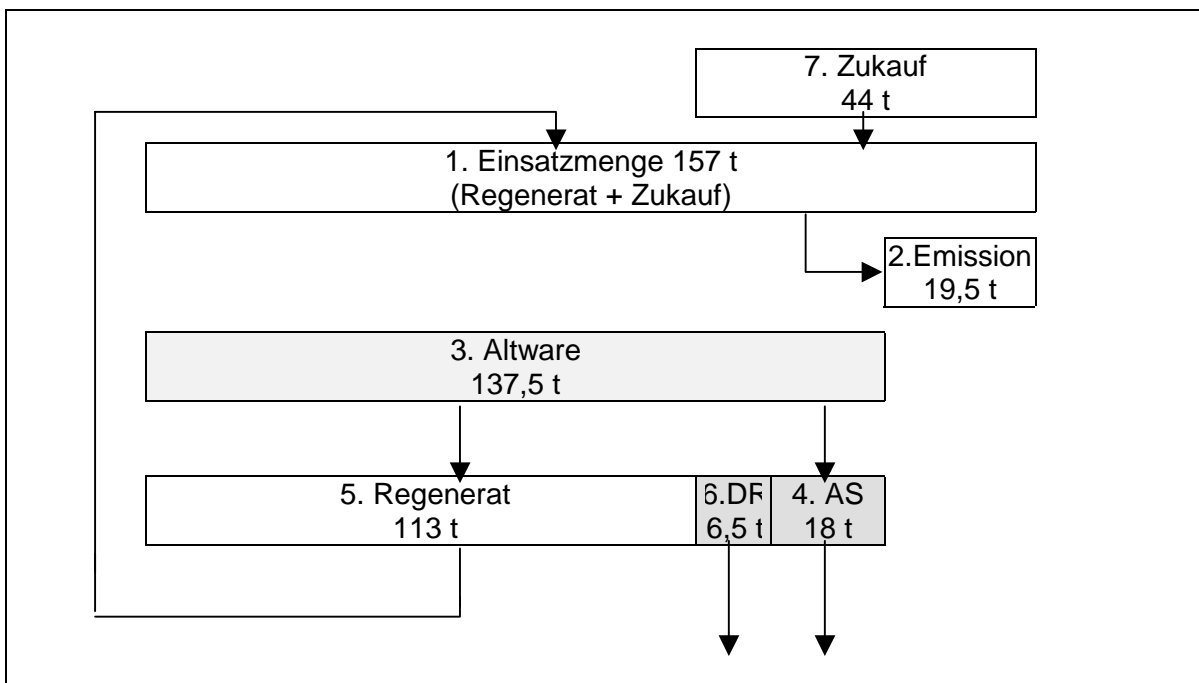


Abb. 9: Fließbild des A-I-Reinigergemischs im Kleb- und Dichtstoffwerk (Nr. 3). Von 157 t Einsatz (1) emittieren beim Reinigen 19,5 t (2). Es bleiben 137,5 t Altware (3) - ohne 40 t gelösten Dichtstoff eingetragen. Davon werden 18 t im (4) Absetzschlamm (AS) direkt entsorgt und 119,5 t extern regeneriert. Dabei fällt ein (6) Destillationsrest (DR) von 6,5 t Lösemittel im Sumpf an, der ebenfalls entsorgt wird. Aus der Aufarbeitung kommen 113 t Regenerat (5) in den Betrieb zurück. 44 t Zukauf (7) ergänzen die benötigte Einsatzmenge wieder auf 157 t. Der betriebliche Lösemittelverbrauch C ist die Differenz zwischen 157 t Einsatz und 113 t zum Wiedereinsatz aus der Altware rückgewonnener Lösemittel ($C = I/1 - O/8$) in Höhe von 44 t.

²⁶ Das ist einer der Gründe, warum sich die VCI-Studie (1997) zu VOC-Emissionen im Lack-, Druckfarben- und Klebstoffbereich mit der Reinigung bei der Klebstoffherstellung nicht befaßt. Dichtstoffe kommen in der Studie nicht gesondert vor (Winkels 1998).

²⁷ Für destillative Wiederaufarbeitung sollte die Beladung der Lösemittel mit Harz bzw. Dichtmasse 35% nicht übersteigen (Hoensch 1998).

Als Erfahrungswert gilt, daß pro Tonne 1K-Dichtstoff bzw. pro 1000-Liter-Mischbehälter 18-20 Liter Lösemittel zum Reinigen verbraucht werden. Betriebe mit 1000 t Jahresproduktion kaufen daher 17 bis 20 000 Liter bzw. 18 t Reiniger ein (vgl. Tabelle 12, Nr. 4). Die Menge ist unabhängig davon, ob A-I-Regenerate verwendet werden oder, wie in Betrieben ohne Herstellung lösemittelhaltiger Klebstoffe üblich, A-III-Reiniger. Davon emittieren in die Umgebungsluft je nach Flüchtigkeit der Lösemittel 5% (bei A-III) bis 15% (bei A-I), weitere ca. 15% bleiben im Absetzschlamm, der verbrannt wird, und rd. 70% werden regeneriert (s. Fließbild für den Betrieb Nr. 3).

Über Dichtstoffe gibt es keine Produktionsstatistik. Experten schätzen ihre Gesamtproduktion auf ein Drittel der Klebstoffe und damit auf 160 000 t/a (Handbuch Klebstoffe, 228). Über die Hälfte davon sind 1K-Systeme, 1K-PUR-Dichtstoffe allein werden auf einen Produktionsumfang von über 50 000 t geschätzt (Endlich 1998). Unter der Annahme, daß bei der Produktion von 85 000 t Dichtstoff mit Lösemittel gereinigt wird (pro Tonne knapp 17 kg), werden jährlich 1400 t Reiniger eingesetzt.

2.3 Tampondruck-Klischees

Reinigung im Tampondruck wird in dieser Studie behandelt, weil dieses Druckverfahren im eigentlichen graphischen Gewerbe kaum vorkommt, sondern überwiegend in anderen Industrien als Nebenprozeß.²⁸

2.3.1 Einsatzgebiete des industriellen Tampondrucks

Tampondruck kommt meist dort vor, wo unebene bzw. gewölbte Flächen bedruckt werden. Die Aufdrucke haben teils technische, teils dekorative Zwecke. Einige wichtige Branchen mit Tampondruck sind in Tabelle 14 wiedergegeben.

Tab. 14: Einsatzgebiete des industriellen Tampondrucks (Auswahl)	
Anwendungsfeld	Anwendungsbeispiele
Spielwaren	Mini-Eisenbahnen, Spielwürfel, Bälle usw.
Autozubehör	Schalter, Elektrikteile, Firmenzeichen usw.
Unterhaltungselektronik	Gehäuse, Tastaturen, Skalen usw.
Elektro-/Elektronikbauteile	Relais, Widerstände, Transistoren. usw.
Fotoindustrie	Gehäuse, Vorsatzlinsen, Objektivringe usw.
Hausgeräte	Tassen, Bürsten, Bedienknöpfe usw.
Verpackungen	Schraubverschlüsse, Verschlusskappen, Blister usw.
Werbeartikel	Kugelschreiber, Buttons, Brieftaschen usw.
Schuhe/Textilien	Skischuhe, Schmuckknöpfe, Broschen usw.

Quelle: Tampoprint website 1999.

2.3.2 Drucktechnik

Das Tampondruckverfahren ist ein indirektes Tiefdruckverfahren: Ein Druckklischee aus Stahl, in dessen Oberfläche das Druckbild fotochemisch eingätzt ist, wird mit Druckfarbe aus einer "Farbwanne" mithilfe eines "Rakelmessers" überstrichen. Dann fährt der Drucktampon darüber, nimmt die Farbe auf und überträgt sie als Druckbild auf

²⁸ Reine Tampondruckereien sind selten, etwas häufiger sind kombinierte Tampon- und Siebdruckbetriebe (Bese 1999).

das zu bedruckende Teil. Der Tampon besteht aus Silikonkautschuk, der sich durch Eigenverformung beim Aufpressen der Form des zu bedruckenden Teils anpaßt und dabei die übertragene Farbe ganz auf dem Werkstück zurückläßt.

2.3.3 Das Klischee-Reinigergemisch

Um die Druckwerkzeuge (Klischee, Rakel, Farbwanne) nach Ende einer Serie oder beim Farbwechsel einsatzfähig zu erhalten, müssen diese gereinigt werden. Die Druckfarbe ist eine lösemittelhaltige verfeinerte Siebdruckfarbe, die schnell trocknet. Da ihr Bindemittelsystem auf gute Haftung und Beständigkeit hin formuliert ist, erfordert ihre Wiederentfernung starke Lösemittel. Der Verdünner der Druckfarbe wird allerdings im Normalfall nicht zur Klischee-Reinigung genutzt, sondern üblich sind kostengünstigere Universalreiniger-Gemische der VbF-Klassen A-II (vorwiegend) und A-III (Burzenski 1999). Diese Reiniger auf Basis aromatischer Kohlenwasserstoffe, Ester, Ketone und Glykolether stammen wegen ihrer geringen Einzelmengen selten vom Chemikalienhandel, sondern werden üblicherweise vom Anbieter der Druckfarben oder Druckmaschinen als Zubehör mitgeliefert.

2.3.4 Weit über 100 000 Anwender reinigen

Die Zahl der Anwender von Tampondruckwerkzeug in Deutschland wird von Experten auf 100 000 bis 150 000 geschätzt (Schulz 1999; Bese 1999; Bicher 1999). Die Einsatzmengen weisen eine große Streubreite auf.

Die Mehrheit der Anwender verfügt nur über eine oder zwei Druckmaschinen, die von Fall zu Fall Kleinserien drucken. Die Druckwerkzeuge werden manuell gereinigt. In Tabelle 12 steht Nr. 5 für Kleinbetriebe mit unterdurchschnittlichem Reinigerverbrauch: Ein Hersteller von Souvenirwaren aus Kunststoff bedruckt sein Hauptprodukt Schneekugeln mit den Namen diverser Touristenorte. Er braucht zur Klischeereinigung jährlich 20 kg Reinigergemisch (A-II), das er in einen 2-Liter-Topf abfüllt, worin das Klischee einweicht, bevor er es mit einem Pinsel endreinigt.

Eine kleinere Zahl von Betrieben setzt gleichzeitig mehrere Maschinen das ganze Jahr über rund um die Uhr ein. Der in Tabelle 12 als Nr. 6 angeführte Antennenhersteller bedruckt ganzjährig elektrische Bauteile mit technischen Codes. Zur Reinigung der Klischees setzt er 500 kg eines Diestergemischs (Fp 102°C, damit jenseits A-III) in einer - vom Druckmaschinenhersteller mitgelieferten - Einkammerspritzanlage an.

Der mittlere rechnerische Reinigerverbrauch aller ca. 120 000 Anwender wird auf 35 Liter pro Jahr geschätzt. Insgesamt sind das 4550 m³ oder 4000 Tonnen.

2.4 Produkt-Finishing und weitere Anwendungen

Den bisher dargestellten Einsatzgebieten ist gemeinsam, daß grundsätzlich Produktionsmittel, nicht Produkte gereinigt werden. Bei Produkten kommen Spezialformulierungen organischer Lösemittelreiniger in geringerem Umfang vor. Gleichwohl gibt es sie in zahlreichen Anwendungen, auch wenn diese für sich genommen nicht die Größenordnungen der drei bisher angeführten Sektoren erreichen. Der jährliche Gesamtverbrauch von Spezialreinigern für diese "sonstigen

Anwendungen" (für Produkte und Werkzeuge) wird hier in Übereinstimmung mit Lösemittelhändlern auf 4000 bis 5000 t geschätzt (Befragung Lösemittelhandel).

2.4.1 Beispiel: Dichtungsentfernung

Zu den produktbezogenen Einsatzgebieten zählt etwa das Entfernen angebackener Dichtungen von Altaggregate. Dafür steht in Tabelle 12 der Fall 7: In einem Pkw-Getriebe-Werk werden Tauschgetriebe in einem 200-Liter-Tauchbecken bei geschlossenem Deckel in "Spülverdünner" eingeweicht. Bereits nach zwei Stunden sind die alten Dichtungen so weit angelöst, daß sie mechanisch leicht von Hand entfernt werden können. Von den jährlich dafür eingesetzten 900 kg Reiniger emittieren in die Atmosphäre nach Betreiberangaben 30%. Die Altware wird ohne Wiederaufarbeitung vom Altölentsorger mitgenommen.

2.4.2 Beispiel: Produktfinishing Automobil

Ein wichtiges Einsatzfeld organischer Spezialreiniger ist das "Finishing", d.h. die Kontrollreinigung versand- oder verpackungsfertiger Produkte.

In einem Automobilwerk kommen am Montageband jeweils 200 kg Kleb- und Dichtstoffreiniger zum Einsatz. Hilfsmittel sind Textillappen, die in je einem 30-Liter-Behälter befeuchtet werden, dessen Deckel per Fußdruck zu öffnen ist. Gereinigt wird nicht routinemäßig bei jedem Automobil, sondern nur auf Sichtkontrolle hin. Denn ab und zu führt der Kleb- oder Dichtstoffauftrag der Roboter zu Überständen, die nur manuell zu entfernen sind. Vgl. Tabelle 12, Nr. 8a und 8b.

2.4.3 Beispiel: Produktfinishing Büromöbel

Außer fallweisem Nacharbeiten gibt es auch ständige Kontroll- und Zwischenreinigungen am Produkt. Eines der zahlreichen Beispiele wird in Tabelle 12 als Fall Nr. 9 aufgeführt.

In einem Büromöbelwerk werden beschichtete Spanplatten zugeschnitten und an den Außenkanten maschinell entweder mit Holz furnier oder Kunststoff (ABS) beklebt. Im Falle Holz auf Spanplatte wird störender Klebstoff abgeschliffen. Im Falle Kunststoff auf Spanplatte (Regale, Tischplatten usw.) wird der Schmelzkleber, der beim Aufpressen des Kunststoffs auf die Plattenkante austritt, mit Lösemittel abgereinigt.

An den Stationen, die eine beklebte Platte passiert, insbesondere aber in der Endmontage vor dem Verpacken, sind insgesamt 50 PE-Flaschen mit 500 ml oder 1000 ml Füllvolumen im Einsatz. Die Arbeiter spritzen aus ihnen ein Benzin-Ethanol-Gemisch (A-I) auf den Kunststoff und wischen ihn mit einem Lappen ab. Wäßrig ist der Klebstoff (abgekühlter Schmelzkleber auf EVA- und Polyamid-Basis) nicht zu entfernen. Langsamer verdunstende Lösemittel werden abgelehnt, weil die Kanten sofort trocken sein müssen. Der Betrieb verbraucht für diesen Zweck jährlich 3600 kg Reiniger, der vollständig in die Hallenluft emittiert.

Außer Produkten werden mit stark lösenden organischen Reinigern auch viele manuelle Auftragswerkzeuge von Kleb- und Dichtstoffen oder Harzen gesäubert - im Handwerk, auf dem Bau, in der Industrie.

3 Emissionsminderung und Ersatz organischer Spezialreiniger

Quantitative Aussagen zu kostenneutraler Emissionsminderung in den Einsatzgebieten organischer Spezialreiniger sind aufgrund der Heterogenität der Anwendungen schwierig. Ausnahmen sind die Reinigung bei stationären Gießanlagen für 2K-Medien und - mit Einschränkungen - bei Mischanlagen für 1K-Dichtstoffe. Die betrieblichen Beispiele 3.1 bis 3.3 sollen die Realisierbarkeit von Emissionsminderungen in diesen Bereichen belegen. Der Fall aus dem Tampondruck (3.4) zeigt, daß auch hier emissionsmindernde Maßnahmen für organische Spezialreiniger möglich sind.

3.1 Emissions- und Verbrauchsminderung bei Gießanlagen für 2K-Medien

Im Abschnitt 2.1 wurden 9000 Misch- und Dosiergeräte erwähnt, die für das Ausspülen der mischungsführenden Teile pro Spülgang 2,5 Liter Lösemittel benötigen und insgesamt 2000 t/a verbrauchen. Nur kurz klang an, daß es bereits ebensoviele Geräte mit viel weniger Reinigerverbrauch gibt. Der Hintergrund ist der, daß die "Mehrverbraucher" aus der Zeit vor 1992 stammen und ursprünglich Methylenchlorid benutzten. Seitdem wurde bei neuen Geräten der Spülaufwand deutlich verringert.

Konstruktive Maßnahmen zur Verringerung des Spülaufwands

Bei Altgeräten, die heute 50% des Bestands bilden, ist der Mischer nahe an den Druckbehältern der Komponenten A und B angebracht. Vom Mischkopf aus führen daher z.T. meterlange Schlauchleitungen das pastöse Gemisch zum Auslaß hin.

- Erste Maßnahme: Verkürzung der mischungsführenden Stecke

Vereinfacht besteht der Hauptunterschied neuer Geräte gegenüber alten darin, das Mischen (Mischkopf und Mischer) so weit wie möglich zur Applikationsvorrichtung vorzuverlegen. In modernen Anlagen führen die von den Vorrattanks abgehenden Leitungen nur ungemischte Komponenten, die mangels Reaktionspartner nicht aushärten. Gemischführende Leitungen entfallen, so daß sich ein ev. notwendiger Spülgang auf das direkte Mischsystem und die Applikationsvorrichtung beschränkt.

- Zweite Maßnahme: Verzicht auf Spülen durch Einweg-Mischrohre

Bei über der Hälfte der neuen Dosieranlagen werden die Komponenten A und B sogar erst in einem sogenannten "statischen Mischer" zusammengeführt, wo die Durchmischung stattfindet und die chemische Reaktion des Härtens einsetzt. Mischer und Applikationsvorrichtung sind hier identisch. Es handelt sich dabei um einfache Kunststoffröhrchen von 15 bis 30 cm Länge und 1 bis 3 cm Durchmesser, in deren Innern sich sog. Mischwendel befinden. Je nach Anzahl der Wendel werden die Komponenten, die durch Luftdruck (pneumatisch) meist stoßweise durch das Rohr gepreßt werden, mehr oder weniger stark durchmischt.

Der Vorteil solcher Kunststoff-Mischer ist der Umstand, daß sie nach Gebrauch (Stückkosten 3 bis 4 DM) abgenommen und entsorgt werden können. Sie enthalten das Material ausgehärtet, so daß die Abfallbeseitigung problemlos ist. Nach Expertenschätzung (Ehrle 1998) haben sogar ca. 80% der aktuell verkauften Dosieranlagen solche spülfreien Einwegmischer.

- Senkung des Reinigerverbrauchs von 2100 auf 300 t/a bis 2005/6

Wird berücksichtigt, daß erstens in maximal 40% der neuen Misch- und Dosiergeräte überhaupt noch gepült wird²⁹, und daß zweitens der Spülaufwand infolge Verkürzung der Mischungsführenden Strecke generell um 80 bis 90% gesunken ist, dann beträgt der durchschnittliche Reinigerbedarf pro Spülgang statt 2,5 Liter nur noch 0,2 Liter.

Bei einer Anlagenlebensdauer von 15 Jahren setzt sich im Jahre 1998 der Gesamtbestand von 18 000 Geräten aus 9000 Altgeräten und 9000 Neugeräten zusammen. Die 9000 Altgeräte brauchen bei 100 Spülungen pro Jahr ca. 2000 t Spülmittel, die 9000 Neugeräte unter gleichen Einsatzbedingungen nur ca. 150 t.

Wenn in den Jahren 2005/2006 der Anlagenbestand vollständig umgewälzt ist und nur noch Gießanlagen mit geringem Spülaufwand umfaßt, wird sich der Reinigerbedarf von gegenwärtig ca. 2100 t auf 300 t vermindert haben.

Diese Entwicklung setzt sich über den Markt durch und braucht keine zusätzlichen staatlichen Auflagen. Sie ist darüberhinaus kostenneutral, weil die Altanlagen ohnehin durch neue zu ersetzen sind.

3.2 Emissions- und Verbrauchsminderung bei 1K-Dichtstoff-Herstellern

Das in Abschnitt 2.2 anhand des Reiniger-Fließbildes vorgestellte Kleb- und Dichtstoffwerk (Tabelle 12, Nr. 3) repräsentiert in Bezug auf die Reinigung seiner Kessel und Rührwerke den Normalstand. Dessen Merkmale werden hier wiederholt:

1. Externe Regeneration des verschmutzten Reinigungsgemischs.
2. Reinigung bei jedem Neuansatz wegen zahlreicher Farbtöne und Grundmassen.
3. Reinigung von Rührwerken und Ablaufstutzen von Hand.
4. Einsatz von A-I-Lösemittelgemisch aus der Klebstoffproduktion.
5. Kesselreinigung mit einfachen Innenbürstenanlagen.

Bei einem jährlichem Ausstoß von 9000 t 1K-Dichtstoff beträgt die Gesamtzufuhr an Reiniger 157 t. Darin enthalten sind 44 t Neuware zur Ergänzung verdunsteter und entsorgter Lösemittel.

3.2.1 Einsparmöglichkeiten gegenüber dem Normalstand

In einem anderen Dicht- und Klebstoffwerk (260 Beschäftigte, nicht in Tabelle 12 angeführt) mit einem halb so großen Ausstoß von 1K-Dichtstoffen (PU) werden jährlich zur Kessel- und Rührwerksreinigung lediglich 4 t (!) organischer Reiniger eingekauft, und zwar ausschließlich Neuware zur Emissionsergänzung. Der Niedrigverbrauch geht auf Maßnahmen und Verfahren zurück, die sich in den ersten vier der oben angeführten fünf Merkmale von der üblichen Reinigung unterscheiden.

Zu 1: Innerbetriebliche Destillation des umlaufenden Reinigers spart jährlich 70 t Reinigerbezug von außerhalb (nicht Reinigereinsatz für die Anlagen!): Von der

²⁹ Bei manchen Neugeräten muß entweder der Mischkopf durchgespült werden oder kann - bedingt durch Anlagengröße oder das Medium (z.B. PU-Schaum) - das Mischrohr kein Kunststoff-Einwegrohr sein und wird daher aus Metall gefertigt.

Reinigung läuft das PU-haltige Lösemittel in einen Absetztank, dessen Bodensatz laufend in die Vakuumdestille gezogen und bis auf Lösemittelgehalte unter 10% ausdestilliert wird. Das Destillat gelangt mit einer Destillationsleistung von 18 Liter/Stunde in den Frischtank zurück. Bei täglich 20 Arbeitsstunden und 20 Arbeitstagen pro Monat strömen pro Jahr rechnerisch 86 000, praktisch 78 000 Liter wiederaufbereitete Lösemittel zur Reinigung zurück. Der Destillationsschlamm härtet durch Verdunstung des Restlösemittels aus und wird wie Hausmüll entsorgt. Reinigerentsorgung zusammen mit Schlamm gibt es im Unterschied zum herkömmlichen Kleb- und Dichtstoffwerk (Tabelle 12, Nr. 3) nicht.

Zu 2: Von den vier Mischbehältern werden nicht alle bei jedem Neuansatz gereinigt. Einer wurde von der Produktionsplanung für Standardprodukte gleicher chemischer Zusammensetzung reserviert. Dieser "feste" Mischer produziert kontinuierlich bis zu einem Viertel Jahr lang im geschlossenen System ein identisches Produkt. Lediglich zum Wechsel der Standardfarben Schwarz, Weiß und Grau ist eine Reinigung erforderlich, die dann allerdings aufwendiger ist als bei den anderen Behältern. Die Jahresleistung des festen Mixers beträgt 25% des gesamten 1K-PU-Dichtstoffsaustrages. Etwa im gleichen Maße muß weniger oft gereinigt werden, was ein Viertel weniger Reinigereinsatz und -emissionen bedingt.

Zu 3: Manuell werden zwar die Abfüllrohre gereinigt, das Rührwerk aber maschinell. Von ihm wird nur der größte Rückstand von Hand abgespachtelt, um die Reinigung zu entlasten. Danach wird es in einen selbstkonstruierten verschließbaren Reinigungsbehälter eingefahren, in dem es mit 50 bar Druck mit Reiniger beaufschlagt wird, der die Dichtmassenreste entfernt. Dichtstoffhaltiger Reiniger läuft in den Absetztank und wird destilliert. Abdunstungsemissionen, die bei offenem manuellem Vorgehen während der ganzen Rührwerksreinigung vorkommen, entstehen erst am Ende der Reinigung, wenn der Reinigungsbehälter vom Rührwerk weggerollt worden ist und beide noch nasse Flächen aufweisen.

Zu 4: Der Reiniger ist kein leichtflüchtiges A-I-Regeneratgemisch, sondern ein schwerflüchtiger A-III-Reiniger (93% Solventnaphta, schwer, 7% Trimethylbenzol).

3.2.2 Niedrige VOC-Konzentration im Abgas

In dem Betrieb wird durch innerbetriebliche Destillation des gebrauchten Reinigers und des Absetzschlammes die Reiniger-Jahreszufuhr auf den Ausgleich der Luftemissionen vermindert. Sie wird weiterhin durch die niedrigere Reinigungsfrequenz gesenkt, die der "feste" Mischer für die Standardprodukte ermöglicht. Die Luftemissionen ihrerseits werden durch maschinelle statt manuelle Rührwerksreinigung und durch schwerflüchtige Reinigerlösemittel deutlich gesenkt. Damit ist es sogar möglich, die Lösemittelkonzentration in der zentralen betrieblichen Abluftanlage unter dem Grenzwert der Oberflächenreinigung von 75 mg C/m^3 (VOC-Richtlinie) zu halten.³⁰ Die 4 t Luftemissionen verteilen sich nämlich auf 4800 jährliche Arbeitsstunden, was einer mittleren Emissionsfracht von 830 g/h entspricht. Die vorhandene Absaugleistung beträgt $15\,000 \text{ m}^3/\text{h}$, und das sind nur 52 mg Lösemittel pro Kubikmeter Abluft.

³⁰ Dieser Betrieb wird allerdings formell nicht der Tätigkeit "Oberflächenreinigung" der VOC-RL zugeordnet.

3.2.3 Nachpigmentierung führt zu weiterer Ersparnis

Nachzutragen sind konkrete Werksplanungen, das Einfärben der Dichtstoffe nicht schon im Mischer, sondern erst im Abfüllsystem mittels Nachpigmentierung vorzunehmen. Mit dieser Maßnahme entfielen die Mehrzahl der - überwiegend durch Farbwechsel bedingten - heutigen Neuansätze der Mischer. Eine weitere deutliche Senkung der Reinigungsfrequenz wäre die Folge und damit zugleich eine weitere Minderung von Reinigereinsatz und -emissionen.

Zu 5: Das fünfte Merkmal konventioneller Kessel- und Rührwerksreinigung ist die Innenbürsten-Anlage für den Mischkessel. Hier gibt es ebenfalls neue Möglichkeiten der Reinigereinsparung und Verminderung von Luftemissionen, die der genannte Betrieb bislang nicht realisiert hat, die aber von Seiten der Hersteller von Kesselreinigungsanlagen angeboten werden. Der Marktführer auf diesem Gebiet, die Schweizer riobeer AG, bietet neben der Standard-Innenbürsten-Anlage V-ex die Weiterentwicklung V-ex T an, bei der die Bürste nach dem Prozeß bis zur nächsten Reinigung in einen geschlossenen Behälter ("Garage") zurückgezogen wird. In den Pausen zwischen den Reinigungsvorgängen gelangen keine Verdunstungsemissionen von der nassen Bürste in die Raumluft. Sie tropft ab.

Der Fa. riobeer (Huber 1999) zufolge ist die Gesamtoberfläche der Bürste mindestens ebenso groß wie die Oberfläche der Innenwände des Mischbehälters.

Die Luftemissionen, die nach der Reinigung durch Trocknung von Behälter und Bürste entstehen, werden bei der neuen Ausführung der Reinigungsanlage anähernd halbiert (Peterhans 1999).



Abb.10: Kesselreinigungsanlage mit Behälter für die Innenbürste. Auf dem Mischbehälter (unten) liegt während der Reinigung der Anlagendeckel, auf dem ein zylinderförmiger Behälter ("Garage") aufsitzt. Durch ihn hindurch führt die Antriebsstange der Innenbürste. Nach Reinigung und Entfernung des Mischbehälters gelangt durch Anheben der Stange die nasse Bürste in die "Garage" zum Abtropfen.

3.3 Wäßrige VOC-Substitution bei einem 1K-Dichtstoff-Hersteller

Die unter 3.2 angeführten Maßnahmen repräsentieren fast das gesamte Spektrum von Möglichkeiten zur Emissionsminderung bei der Kessel- und Rührwerksreinigung auf Basis organischer Lösemittel.³¹ Null-Verbrauch bzw. Null-Emissionen organischer Lösemittel sind nur durch Reinigungsverzicht oder durch Reinigung mit anderen Medien möglich. Das Substitutionsmedium schlechthin ist Wasser.

Ein großer süddeutscher Dichtstoffhersteller (770 Beschäftigte) reinigt seit 1995 bei einkomponentigen Dichtmassen aus PU und MS (Modifizierte Silane) Kessel und Rührwerke mit heißer wäßriger Lösung, um "ganz von Lösemitteln wegzukommen". Für die Jahresproduktion von 3000 t 1K-Dichtstoffen in 1000-Liter-Behältern aus Edelstahl sind 3000 Neuansätze erforderlich und ebensoviele Reinigungen (pro Tag etwa zwölf Neuansätze bei 250 Arbeitstagen).

Bis 1995 wurden in einer herkömmlichen Innenbürstenanlage für die Kessel und in einem Tauchbecken für die Rührwerke pro Tag 180 Liter A-III-Lösemittel verbraucht (nachdosiert), die zu 10% in die Luft emittierten (Absaugung über Dach) und zu 90% entsorgt wurden. Für manuelle Nacharbeiten (u.a. am Auslauf) wurden nochmals 20 Liter Ethylacetat eingesetzt, die verdunsteten.

Der wäßrige Waschprozeß der Kessel unterscheidet sich vom Verfahren her wenig von dem herkömmlichen. Die wichtigsten Unterschiede sind:

1. Statt kaltem Lösemittel spritzt 60°C heiße Reinigerlösung aus den Düsen der Innenbürsten.
2. Statt Bürsten aus Messing rotieren Stahlbürsten, um die schwächere Anquellwirkung der Lösung durch stärkere Mechanik auszugleichen.
3. Statt 5 bis 10 Minuten dauert das Waschprogramm 15 bis 20 Minuten.

Zwei Arbeiter führen die Nacharbeiten mit Spachtel und mit Reinigerlösung-getränktem Lappen durch. Ihre Hauptaufgabe ist die manuelle Reinigung der Rührwerke: Nach Vorabspachtelung und Einweichen in einem 50°C heißen Reinigerbecken tun sie dies mithilfe rotierender Stahlbürsten, die auf Handbohrmaschinen aufgesetzt sind.

Tab. 15: Vorher-Nachher-Vergleich sächlicher Betriebskosten von Lösemittel- und wäßriger Reinigung bei einem Dichtstoffhersteller

Lösemittelreinigung			Wäßrige Reinigung		
A-III-Lösemittel	45000 l	81000 DM	Reinigerkonzentrat	1200 l	2160 DM
Ethylacetat	5000 l	6000 DM	Entsorg. Altemulsion	18 t	2700 DM
Entsorgung	40000 l	8000 DM	Filter-/Absetzschlamm	20 t	14000 DM
			Heizenergie in kWh	50000	10000 DM
			Frischwasser	50 m ³	150 DM
			Stahlbürsten	12 mal	36000 DM
Summe in DM		95000 DM	Summe in DM		65010 DM

Quelle: Recherche im Rahmen vorliegender Studie (Betriebliche Angaben).

Im Vorher-Nachher-Vergleich (vgl. Tab. 15) zeigt sich: Die sächlichen Betriebskosten der wäßrigen Reinigung sind mit ca. 65 000 DM um ein Drittel niedriger als diejenigen

³¹ Die Hauptanwender von Kesselreinigungsanlagen sind im übrigen nicht die Kleb- und Dichtstoffhersteller, sondern die - hier nicht untersuchten - Lack- und Farbenproduzenten.

der Lösemittelreinigung. Dies resultiert ausschließlich aus dem Wegfall der Kosten der Lösemittelzufuhr. Bei der wässrigen Reinigung fallen die Kosten des Wassers und des Tensid-Phosphat-Reinigerkonzentrats kaum ins Gewicht. Nennenswerte Posten sind die Heizenergie mit 10 000 DM und vor allem die Stahlbürsten, die mit 36 000 DM allein über die Hälfte der sächlichen Kosten der wässrigen Reinigung ausmachen.

Das Hauptproblem bei der wässrigen Reinigung ist die hohe Abnutzung der Stahlbürsten: Monatlich müssen für 3000 DM neue Bürsten gekauft werden. Die stärkere mechanische Beanspruchung durch diese Bürsten hat den Behälterinnenwänden und Rührwerken bisher nicht nachweislich geschadet.

Pyrolyse für Rührwerksreinigung vor der Einführung

Nachzutragen ist die Investitionsplanung bei dem Dichtstoffhersteller: Noch 1999 wird für die Rührwerksreinigung ein Pyrolyseofen installiert, in dem die auf den abmontierten Rührwerken haftende Organik bei 400°C abschwelt. Die Versuche ergaben eine Pyrolysedauer von 40 bis 45 Minuten. Einer der bisher mit der manuellen Rührwerksreinigung beschäftigten Arbeiter wird innerbetrieblich umgesetzt.

3.4 Tampondruck: Ersatz von A-I- durch A-III-Reiniger spart 3000 kg/a

In einer Fabrik mit 1150 Beschäftigten werden Gummiteile für die Automobilindustrie gefertigt. Oberflächenreinigung mit organischem Spezialreiniger kommt im Tampondruck vor: Gummischläuche werden mit technischen Codes versehen, damit sie nach Einbau ins Auto im Schadensfall rückverfolgbar sind. Die Schläuche werden, oft in ihrer ganzen Länge, mit Datenreihen bedruckt, die über Hersteller, Automarken, Herstelldatum, Teilenummer usw. Auskunft geben.

Bei Farbwechsel (es gibt vier verschiedene Farbtöne) und bei Schichtende wird die metallische Druckplatte abgenommen, in einem Becken mit Lösemittel eingeweicht und mit einem Pinsel endgereinigt. Dafür stehen im ganzen Betrieb fünf Tauchbehälter à 20 Liter Füllvolumen zur Verfügung, deren Deckel nur bei Fußdruck offenbleiben und sonst zuklappen. Sie enthalten einen Teilekorb mit Siebboden sowie den Handpinsel.

Bis 1995 MEK/Toluol als Reiniger

Bis 1995 wurde dafür ausschließlich Methylethylketon (MEK) und Toluol im 1 zu 1-Gemisch eingesetzt. Es ist im Betrieb in großen Mengen als Prozeß-Lösemittel vorhanden, um Gummi vor Beschichtungs- und anderen Verarbeitungsgängen anzulösen. Von daher lag es nahe, sich für den Hilfsprozeß "Reinigung der Druckwerkzeuge" aus dem 20 m³-Tank zu bedienen. Die Lösekraft von MEK/Toluol ist sehr gut. Das Gemisch bildet jedoch mit der Druckfarbe eine homogene Flüssigkeit, die von einer bestimmten Farbbeladung an keinen sauberen Pinselauftrag mehr zuläßt und als ganze verworfen werden muß.

Seit 1995 A-III-Reiniger mit Orangenöl-Wirkstoff

1994 begannen Versuche mit einem A-III-Reiniger, der als Hauptwirkstoff mehr als 10% Zitrusöl aus Orangenschalen enthält. Außerdem enthält er zu jeweils unter 10% schwerflüchtige Löseverstärker wie Glykolether (Propylenglykol-n-Butylether) und N-Methylpyrrolidon sowie Tenside. Dieses langsam verdunstende Mittel löst nicht so stark

wie MEK/Toluol. Allerdings ist sein Vorteil, daß die über Pinsel in das Becken eingebrachte Druckfarbe in ihm eine eigene Phase bildet, die sich absetzt und vom abgeschrägten Beckenboden abgelassen werden kann, ohne daß nennenswerte Reinigermengen mit abgehen. Während verschmutzter MEK/Toluol als Sonderabfall entsorgt werden mußte, fällt bei der neuen Reinigung als Abfall nur die Druckfarbe an, die nach Austrocknung hausmüllartig beseitigt wird. Der Reiniger selbst wird pro Jahr etwa vier Mal verworfen und zum Altöl gegeben. Seit 1995 wird der Zitrusreiniger grundsätzlich im ganzen Werk für Tampondruckwerkzeuge eingesetzt.

Mengen- und Kostenvergleich A-I- und A-III-Reiniger

Im Falle MEK/Toluol wurde das mit Farbe verschmutzte Lösemittel wöchentlich verworfen und neues Lösemittel eingefüllt. Beim Zitrusreiniger wird drei Monate lang das Lösemittel nicht entfernt, sondern nur nachdosiert, was ausgeschleppt worden und verdunstet ist. Die sedimentierte Farbe (Bindemittel und Pigmente) wird wöchentlich vom abgeschrägten Beckenboden per Hand in einen Entsorgungsbehälter ausgelassen. Die betrieblichen Mengen und Kosten sind in Tabelle 16 aufgeschlüsselt, und zwar jeweils für MEK/Toluol und den Zitrusreiniger.

Tab. 16: Vorher-Nachher-Vergleich von Mengen und Betriebskosten bei der Reinigung von Tampon-Druckwerkzeugen			
MEK/Toluol		Zitrusreiniger	
Mengendaten		Mengendaten	
Zufuhr MEK/Toluol 5 Becken	5000 l	Zufuhr Zitrusreiniger 5 Becken	1150 l
Entsorgung Altware	4000 l		
- darin Farbe (20%)	500 l	Entsorgung abgesetzte Farbe	500 l
- darin MEK/Toluol (80%)	3500 l	Entsorgung Altreiniger	500 l
Emissionen	1500 l	Emissionen	650 l
Kostendaten		Kostendaten	
Reinigereinkauf (1,20 DM/l)	6000 DM	Reinigereinkauf (8,50 DM/l)	9775 DM
Entsorgung (2,50 DM/l)	10000 DM	Farbe i. Hausmüll (0,20 DM/l)	100 DM
		Reiniger im Altöl (0,30 DM/l)	150 DM
Summe	16000 DM	Summe	10025 DM

Quelle: Recherche im Rahmen vorliegender Studie (Angaben einer Fabrik für Gummiteile).

Aus den Mengendaten ist ersichtlich, daß der Reinigerverbrauch auf ein Viertel gesunken ist: von 5000 auf 1150 Liter bzw. von 4190 auf 960 kg. Der Schwellenwert der VOC-Richtlinie für die Oberflächenreinigung wird durch diesen Ersatz eines A-I- durch einen A-III-Reiniger unterschritten.³² Die Verdunstungsemissionen verringerten sich nicht so stark. Sie sanken um etwas über die Hälfte - von 1500 auf 650 Liter. Der Grund liegt darin, daß MEK/Toluol durch die wöchentliche Verwerfung wenig Zeit zum Verdunsten gehabt hatte und ein sehr hoher Anteil in die Entsorgung gelangt war.

Die Gesamtkosten der neuen Reinigung sind trotz des hohen Literpreises des Zitrusreinigers von 8,50 DM insgesamt deutlich niedriger als früher: 10 000 DM gegenüber 16 000 DM. Der Hauptgrund ist der Unterschied in den Entsorgungskosten. Für Druckfarbe-beladenen MEK/Toluol mußten pro Liter 2,50 DM oder insgesamt

³² Allerdings überschreitet der Betrieb durch den Großverbrauch von MEK/Toluol als Prozeßlösemittel den für Kautschukumwandlung geltenden Schwellenwert von 15 t/a beträchtlich.

10 000 DM für die Entsorgung bezahlt werden, die getrennt von der billigen Entsorgung des MEK/Toluol als Gummilösemittel abgewickelt wurde. Der neue Reiniger wird hingegen preiswert mit dem Altöl entsorgt, die lösemittelfreie, ausgehärtete Druckfarbe sogar mit dem Hausmüll.

Umstellungsprobleme

Anders als MEK/Toluol entfernt der Zitrusreiniger nur frische, nicht angetrocknete Farbe, so daß sich die Arbeiter auf Sofort-Reinigen umstellen mußten. Allerdings sind Verschmutzungen durch ausgehärtete Farbe an den Maschinen unvermeidlich, so daß es noch in gewissem Umfang Eimer-Pinsel-Reinigung mit MEK/Toluol gibt. Einer der fünf betrieblichen Tauchtanks enthält sogar ab und zu das alte statt das vorgeschriebene neue Lösemittel. Dies kommt bezeichnenderweise in der Halle vor, in der sich der große Vorratstank für MEK/Toluol als Prozeßlösemittel befindet. Bei den Arbeitern ist das MEK-Toluol-Gemisch wegen seiner besseren Lösekraft und schnelleren Trocknung immer noch beliebter, obwohl Toluol toxisch ist und einen MAK-Wert von nur 50 ml/m^3 (DFG 1998) hat. Der Zugriff darauf ist nach Auskunft des Sicherheitsbeauftragten nicht zu verhindern, wenn unter Zeitdruck gearbeitet wird.

3.5 Pflanzenölester in der Erprobung

An dieser Stelle ist auf Pflanzenölester zur Metallreinigung hinzuweisen, die im Rahmen des laufenden EU-Umweltförderprogramms LIFE in einigen Betrieben erprobt werden. Der ökologische Vorteil besteht darin, daß die aus Rapsöl oder Sonnenblumenöl u. dgl. stammenden Reiniger aus nachwachsenden Rohstoffen gewonnen werden. Sie sind aufgrund ihrer Schwerflüchtigkeit sehr emissionsarm, was auf der anderen Seite aber lange Trocknungszeit bzw. einen Film auf der Oberfläche bedeutet. Wo bisher sehr toxische Lösemittel eingesetzt werden, haben diese gesundheitsverträglicheren Produkte eine Zukunftschance, sofern der Oberflächenfilm nicht stört, sondern sogar erwünscht ist. Der Einsatz der Pflanzenölester ist z.Zt. noch so gering, daß diese Studie auf sie nicht weiter eingeht (Kooperationsstelle 1999).

4 Emissionsminderung durch VOC-RL und Stand der Technik

4.1 Emissionssenkung infolge 1 : 1 Umsetzung der VOC-RL

4.1.1 Die doppelte Wirkungsbegrenzung der VOC-RL bei Spezialreinigungen

Bei den organischen Spezialanwendungen ist die emissionsmindernde Wirkung der VOC-RL doppelt begrenzt. Erstens wirkt sich der allgemeine Schwellenwert von 2 t/a Verbrauch hier besonders hemmend aus. Denn Anwendungen von Speziallösemitteln zur Reinigung von Oberflächen sind zwar sehr zahlreich (etwa in 140 000 Betrieben), aber sie sind in der Regel recht klein. Nur selten (etwa in 400 Betrieben) übersteigen die Verbräuche 2 t/a. Zweitens: Die VOC-RL enthält begriffliche Einengungen der Tätigkeit "Oberflächenreinigung", aufgrund derer über die Hälfte der in diesem Kapitel behandelten Anwendungsfälle anderen VOC-Lösemittelanwendungen (mit teilweise anderen Schwellen- und Emissionsgrenzwerten) zuzuordnen ist.

So zählt etwa die 3,6 t/a verbrauchende Oberflächenreinigung des unter 2.4.3 zitierten Büromöbelherstellers zur Tätigkeit "Holz- und Kuststofflaminiierung". Da für diese aber ein Schwellenwert von 5 t/a vorgesehen ist, fällt sie aus der 1 : 1-Umsetzung der VOC-RL (Oberflächenreinigung) heraus.

Noch schwerwiegender ist die Bestimmung aus dem Anhang I, die alle vorgesehenen zwanzig "Tätigkeiten" der VOC-RL betrifft: "Zu der jeweiligen Tätigkeit gehört in jedem Fall auch die Reinigung der hierfür eingesetzten Geräte." Da organische Spezialreinigung vornehmlich an Produktionsanlagen und Geräten durchgeführt wird, fällt sie unter "Obeflächenreinigung" im Sinne der VOC-RL nur dann, wenn sie im Betrieb eine eigenständige Tätigkeit ist, nicht beigeordneter Prozeßschritt einer anderen regulierten Lösemittelanwendung. Die unter 3.4 dargestellte Reinigung von Tampondruckwerkzeugen in einem Betrieb für technische Gummitteile ist daher keine Oberflächenreinigung im Sinne der VOC-RL, sondern der Haupttätigkeit "Kautschukumwandlung" zuzuordnen. (Deren Schwellenwert beträgt übrigens 15 t/a.)

4.1.2 Von der VOC-RL erfaßte Verbräuche und Emissionen

Die strikte 1 : 1-Umsetzung der VOC-RL für die Oberflächenreinigung erfaßt aufgrund der doppelten Ausgrenzung, nämlich von Anwendungen unter 2 t/a Verbrauch sowie von Anwendungen, die anderen Tätigkeiten zugeordnet sind, nur wenige Fälle:

1. 2K-Gießanlagen. Von ca. 150 Großanwendern (> 2 t/a) mit mindestens vier Geräten werden von der VOC-RL rd 100 erfaßt (Haupteinsatz Elektrotechnik), die 300 t/a Lösemittel verbrauchen, wovon 200 t emittieren. Der Grenzwert für diffuse Emissionen von 20% ist bei Altgeräten nicht einzuhalten, so daß diese Betriebe durch die VOC-RL zu vorzeitigem Wechsel auf Neugeräte gezwungen werden, die 90% weniger verbrauchen und emittieren. Dadurch wird der Schwellenwert unterschritten und die VOC-RL erfüllt. Emissionssenkung: 180 t.
2. 1K-Dichtstoff-Mischer/Rührwerke. Die Reinigung betrifft Geräte der Dichtstoffproduktion und wird daher der Tätigkeit "Herstellung von Beschichtungsstoffen, Klarlacken, Druckfarben und Klebstoffen" zugeordnet (Schwellenwert:100 t/a).
3. Tampondruck. Die durch Kleinstmengen geprägte Anwenderstruktur weist maximal 100 Anwender über 2 t/a auf. Davon fallen unter die Oberflächenreinigung nach 1 : 1-Umsetzung der VOC-RL etwa 50 Betriebe. Sie verbrauchen zusammen knapp 120 t/a und emittieren ca. 85 t. Gezwungen, den Grenzwert von 20% einzuhalten, sinken die Emissionen auf 25 t. Emissionssenkung: 60 t.
4. Sonstiges einschl. Produktfinishing. Dieser schwer überschaubare Restbereich des Einsatzes organischer Spezialreiniger ist etwa zur Hälfte der Oberflächenreinigung im Sinne der VOC-RL zugehörig. In diesem von der VOC-RL erfaßten Bereich gibt es insgesamt kaum mehr als 100 Anwender, die jeweils über 2 t/a verbrauchen. Auch dies gilt nur im eingeschränkten Sinn:

Wie die drei unter 2.4.1 und 2.4.2 zitierten Fallbeispiele "Dichtungsentfernung von Altgetrieben" und "Endreinigung von Kleb- bzw. Dichtstoffresten am Automobil" zeigen, sind die jeweils verbrauchten Reinigermengen gering, und zwar auch in sehr großen Fertigungsbetrieben, die hier bewußt ausgewählt wurden. Die Anwender

überschreiten durchwegs den 2-t-Schwellenwert. Dies tun sie allerdings dank ihrer Metallentfettung, nicht aufgrund von organischen Spezialreinigern, die zum betrieblichen VOC-Gesamtverbrauch zur KW-Oberflächenreinigung nur einen kleinen Teil beitragen. Da die Verbräuche betrieblich addiert werden, sind diese Anwender jedoch infolge der VOC-RL auch motiviert, bei der Spezialreinigung den Emissionsgrenzwert (20% für diffuse Emissionen) einzuhalten.

Der Gesamtverbrauch von Speziallösemitteln bei den 100 Anwendern wird auf 100 t/a geschätzt. wovon knapp 80 t emittieren. Durch KW-Minderungs- und KW-Substitutionsmaßnahmen sind die Emissionen auf 20 t zu senken. Ersparnis: 60 t.

4.2 Emissionssenkung infolge Generalisierung des Standes der Technik

Von den Begrenzungen der VOC-RL befreit, führt der Stand der Technik zu Emissionssenkungen, die deutlich über die bisher ermittelten 300 t hinausgehen.

1. 2K-Gießanlagen. Hält der Trend zu emissionsarmen Neugeräten an, sind von den 1400 t Gesamtemissionen von 1998 in sieben bis acht Jahren nur noch 200 t übrig, die aus Neugeräten stammen. Von der Emissionssenkung um 1200 t gehen 180 t auf das Konto der VOC-RL (s.o.). Die übrigen 1020 t verdanken sich der Einführung des Standes der Technik überall dort, wo die VOC-RL nicht gilt.
2. 1K-Dichtstoff-Mischer/Rührwerke. Bei dieser Oberflächenreinigung von Produktionseinrichtungen, die von der VOC-RL eine andere Zuordnung erfährt, sind die technischen Voraussetzungen (Stand der Technik) heute bereits gegeben, in allen 40 Betrieben den Verbrauch und die Emissionen deutlich zu senken. Wo wäßrige Reinigung unerwünscht ist, kann auch auf Basis organischer Lösemittel die heutige Jahreszufuhr (1400 t, wovon 200 t emittieren) im Zuge von Ersatzinvestitionen (maschinelle Rührwerksreinigung, Abtropfstation für Innenbürsten bei der Kesselreinigung, A-III- statt A-I-Reiniger, reinigungsarme "feste Mischer" für Standardprodukte, Nachpigmentierung usw.) auf ein Drittel gesenkt werden. Damit sinken auch die Emissionen um zwei Drittel oder 130 t.
3. Tampondruck. Im industriellen Tampondruck gibt es ein nennenswertes Minderungspotential, das noch nicht ausgeschöpft ist, und zwar vor allem durch breiten Ersatz leichtflüchtiger durch schwerer flüchtige Reiniger. Das unter 3.4 wiedergegebene Beispiel aus der Gummibranche kann in seiner Größenordnung (Senkung der Emissionen auf über die Hälfte) sicher nicht verallgemeinert werden. Doch eine konsequente Prüfung sämtlicher Anwenderbetriebe auf die Ersetzbarkeit von A-I- und A-II-Reinigern durch A-III-Produkte könnte Verbrauch und Emissionen organischer Spezialreiniger um 20 bis 25% vermindern. Der dadurch bedingte zusätzliche Emissionsrückgang wird auf 875 t geschätzt.
4. Sonstiges einschl. Produktfinishing. In diesem Bereich wurde die Emissionssenkung durch die VOC-RL auf 60 t veranschlagt. Eine konsequente Optimierung aller bestehenden Anwendungen könnte mindestens 5% des nicht bereits durch die VOC-RL erfaßten Gesamtverbrauchs von 4400 t einsparen. Damit würden die Emissionen von über 3400 t ebenfalls um ca. 5% oder 175 t sinken.

4.3 Mögliche Emissionssenkungen aus VOC-RL und Stand der Technik

In Tabelle 17 sind für die vier Hauptbereiche der Anwendung von Speziallösemitteln die VOC-Emissionssenkungen eingetragen, die sich aus der 1 : 1-Umsetzung der VOC-RL und aus der davon unabhängigen Verallgemeinerung des Standes der Technik ergeben. Es zeigt sich, daß die VOC-RL nur Emissionssenkungen im Umfang von 300 t erzwingt. Nach dem Stand der Technik (in diesem Begriff ist hier auch die finanzielle Zumutbarkeit eingeschlossen) sind dagegen zusätzlich 2200 t möglich, wobei nicht verschwiegen werden darf, daß dieser Mehrbetrag hauptsächlich aus Anwendungen stammt, die dem Zugriff der VOC-RL versperrt sind.

Tab. 17: Emissionssenkung durch 1 : 1 Umsetzung der VOC-RL sowie zusätzlich durch Maßnahmen nach Stand der Technik	
Ausgangsemissionen: 8600 t	
Emissionssenkung durch 1 : 1-Umsetzung der VOC-RL (nur Tätigkeit "Oberflächenreinigung")	300
Stationäre Gießanlagen für 2K-Medien	180
Mischer/Rührwerke f. 1K-Dichtstoffe	entf.
Tampondruck	60 t
Produktfinishing	60 t
Zusätzliche Emissionssenkung durch Maßnahmen nach Stand der Technik (unabhängig von der VOC-RL)	2200 t
Stationäre Gießanlagen für 2K-Medien	1020 t
Mischer/Rührwerke f. 1K-Dichtstoffe	130 t
Tampondruck	875 t
Produktfinishing	175 t
Emissionssenkung durch alle Maßnahmen zusammen	2500 t

Angesichts von 8600 t Gesamtemissionen aus organischen Spezialreinigungen ist die 29%-ige Emissionssenkung durch beide Arten von Maßnahmen als mäßig zu bezeichnen.

Nachweise zu Kapitel 4

- Altnau, Gerald u. Granderatz, Norbert: Risikopotentiale von Lösemitteln systematisch bewerten, in: JOT 1999/8, 56-58;
- Bauer, Gerhard/Ruch, Klaus (Henkel Teroson GmbH) Heidelberg, 11.11.1998;
- Baust, Eberhard: Praxishandbuch Dichtstoffe. Industrieverband Dichtstoffe e.V. (IVD), 4. neu bearbeitete und erweiterte Auflage, Düsseldorf 1995, 61;
- Befragung Lösemittelhandel = Direkte Befragung führender Händler und Formulierer von Kohlenwasserstoffreinigern 2/98-4/99:
- Brenntag Chemiepartner GmbH, Duisburg (Hr. Stroß) 11.2.99; Chemische Werke Kluthe GmbH & Co, Heidelberg (P. Werner, P. Schuppe) 10.2.98; CG Chemikaliengesellschaft, Laatzen (Martin Pitts, Zygmunt Manicki) 11.12.98; Deutsche EXXON Chemical GmbH, Köln (Lothar Forner) 18.9.98; Deutsche Shell Chemie GmbH, Eschborn (Bruno Halter) 14.5.98; Haug Chemie GmbH, Sinsheim (Wolfgang Fabian, Ellen Leucht) 8.9.98; Hermann Bantleon GmbH, Ulm (Manfred Hubl) 16.11.98; Hugo Häffner GmbH & Co KG, Asperg (Herr Scholz) 26.11.97; IBS Scherer GmbH, Gaubickelheim (Axel Scherer, Wolfgang Scherer) 23.6.98; Karl Löffler GmbH & Co. KG, Köln (Jürgen Kader) 12.10.98; Safety Kleen Deutschland GmbH, Porta Westfalica (Garbaty u.a.) 24.11.98; Terma-GmbH, Garbsen/Hannover (Dieter C. Müller) 17.9.98; W.E.H. Biesterfeld, Hamburg (Weiner) 10.6.98; Frankfurt/Main (Gert Simacek) 2.2.98;
- Bese (Kroschewski Industrie Technik GmbH) Obertshausen, pers. Mitt. 21.5.1999;
- Bicher (Tamponcolor Druckmaschinen GmbH) Neu-Isenburg, pers. Mitt. 26.3.1999;
- Burzinski (Marabuwerke GmbH & Co) Tamm, pers. Mitt. 31.5.1999;
- DFG (Deutsche Forschungsgemeinschaft): MAK- und BAT-Werte-Liste 1998. Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe, Mitteilung 34, Weinheim 1998;
- Ehrle, Klaus (Hilger u. Kern GmbH, Industrietechnik, Sparte Dosiertechnik) Mannheim, pers. Mitt. 20.11.1998,
- Endlich, Wilhelm (ibc Ing.- u. Beratungsbüro für Kleb- und Dichttechnik) München, pers. Mitt. 27.10. 1998;
- Handbuch Klebstoffe 1998/2000, Herausgeber: Adhäsion kleben & dichten sowie Industrieverband Klebstoffe, Wiesbaden 1998, 228;
- Haußler, Jürgen (Sika Chemie GmbH) Bad Urach, pers. Mitt. 17.11.1998;
- Hilger u. Kern GmbH, Prospektmappe zu Ein- und Mehrkomponenten-Verarbeitungsgeräten, Mannheim o.J.;
- Hoensch (Klöckner & Co AG) Duisburg, pers. Mitt. 2.12.1998;
- Huber, Walter (riobeer Maschinenfabrik AG): Reinigen von Produktions- und Versandgebinden, in: farbe+lack, 100. Jahrgang, 1/1994, 35-41;
- Huber Walter, Reinigung von Lackgebinden - ein großer Kostenfaktor?, in: JOT 1999/6, 50-52;
- Kluthe, Chemische Werke GmbH & Co, Heidelberg (P. Werner, P. Schuppe) 10.2.98;
- Kooperationsstelle Hamburg/Nordeutsche Metall BG: "Metallreinigung mit Estern auf Basis pflanzlicher Öle", Dokumentation des Workshops in Bad Wilsnack 12.7.-14.7.1999;
- Peterhans, R. (riobeer Maschinenfabrik AG) Niederwil, Schweiz, Schreiben 9.6.1999;
- Pröbster, M.: Reaktive und nichtreaktive Dichtstoffe, in: Neue Entwicklungen in der Kleb- und Dichttechnik, Fachveranstaltung Haus der Technik e.V., Essen, Leiter und Herausgeber W. Endlich, Essen 1997, 57.69;

riobeer Maschinenfabrik AG) Niederwil, Schweiz, Schreiben von Walter Huber an Öko-Recherche , 23.10.1998;
Schulz, Manfred (Tampoprint GmbH) Korntal-Münchingen, Schreiben v. 27.5.1999;
Strutz, Matthias/Wolkenhaar, Jörg: CKW-freie Reinigung von 2K-Dosieranlagen, in:
Adhäsion kleben & dichten, Jahrgang 37, 10/93, 24-26;
VCI 1997 = Gemeinsamer Abschlußbericht zum Dialog des BMU und des VCI zu
Umweltzielen am Beispiel VOC, Dezember 1997;
Winkels, Klaus (Industrieverband Klebstoffe e.V.) Düsseldorf, pers. Mitt. 9.12.1998.

5. Kapitel

Feinreinigung

In der Elektronik, Optik und Feinmechanik spielen solche organischen Lösemittel eine große Rolle, die materialschonend reinigen und zugleich höchste Oberflächenreinheit gewährleisten. Nach dem FCKW-Verbot erfolgte daher in vielen Fällen ein Umstieg auf vergleichbar mild und sauber reinigende sowie schnell trocknende halogenfreie Lösemittel wie Cyclohexan, Isopropanol, Aceton. Da diese alle leicht entflammbar sind, verlangen sie explosionsgeschützte Anlagen. Die aus Sicherheitsgründen erforderliche Dauerabsaugung verstärkt ihre Emissionen derart, daß die Abgas-Emissionsgrenzwerte der VOC-Lösemittelrichtlinie nicht einzuhalten sind, die bei Überschreiten des Verbrauchs-Schwellenwertes gelten. In der Feinreinigung ist der Anteil manueller Reinigung hoch, besonders in der Feinoptik. Die manuelle Reinigung führt allerdings keine weiteren Betriebe über den Schwellenwert der VOC-Richtlinie hinaus. Denn sie erfolgt nur in solchen Betrieben in großem Maßstab, die bereits durch ihre Ex-Schutz-Anlagen die Schwellen- und Emissionswerte überschreiten.

Anwendung		Zufuhr in t/a	Luftemiss. t/a	Entsorgung t/a
Feinoptik	Anlagen	600	300	300
	manuell	1400	700	700
Elektronik	Anlagen	930	660	270
	manuell	270	145	125
Feinmechanik	Anlagen	1000	800	200
	manuell	200	150	50
Summe		4400	2755	1645

Quellen: Recherchen im Rahmen dieser Studie.

Die Eingangstabelle zeigt in der Summe einen jährlichen Neueinsatz von 4400 t, von dem 2755 t oder 63% diffus oder im Abgas in die Umgebungsluft emittieren. Zur Entsorgung gelangen 1645 t (37%). Externe Regeneration für den selben Einsatzzweck findet kaum statt, wohl aber werden innerhalb optischer Großbetriebe eigene Destillen zur Lösemittelaufarbeitung betrieben. Größtes Einsatzgebiet mit 2000 t Zufuhr ist die Feinoptik, wo zu über zwei Dritteln manuell gereinigt wird. In der Elektronik und Feinmechanik (jeweils rd. 1200 t Gesamtzufuhr) ist dagegen die anlagenbezogene Reinigung ausschlaggebend. Auf 240 Großanwender über 2 t/a Verbrauch entfallen 2365 t/a VOC-Emissionen. Diese sind durch die 1 : 1-Umsetzung der VOC-RL um 1915 t/a (70%) zu senken. Weitergehendes Minderungspotential beträgt 100 t/a.

Alle Sektoren der Feinreinigung arbeiten z.Zt. mit emissionsträchtigen Ex-Schutz-Anlagen, die in ihrer jetzigen Ausführung die Auflagen der VOC-Richtlinie nicht erfüllen können. Während in der Elektronik und Feinmechanik die Substitution durch wäßrige und halbwäßrige Verfahren sowie durch Lösemittelreinigung in geschlossenen Vakuumanlagen mit oder ohne Dampfspülung bereits in Gange ist, ist die Einhaltung von Grenzwerten für rund 40 feinoptische Großbetriebe schwieriger. Erstens erfordern wasserunbeständige Gläser manuelle Lösemittelreinigung, deren diffuse Emissionen hoch sind. Zweitens setzt die feinoptische Anlagenreinigung bislang leicht entzündliche Niedrigsieder ein, deren künftige Emissionsrückhaltemaßnahmen in der technischen Ausführung noch offen sind.

1 Brennbare Lösemittel in ex-geschützten Anlagen

In der Elektronik, Optik und Feinmechanik kommt es auf hohe Oberflächenreinheit bzw. Fleckenfreiheit an. Wäßrige Medien oder CKW sind dafür weniger gut geeignet. Standard-Lösemittel für milde Reinigung und rückstandsfreie Trocknung (letztere auch als Abschluß wäßriger Vorreinigung) war bis Anfang der 90er Jahre der FCKW-113. Er vereinte gutes Lösevermögen für Öle und Fette mit Mischbarkeit mit Alkoholen und Ketonen, und sein hoher Dampfdruck führte ohne Fremdenergie zu schneller, fleckenfreier Teiletrocknung in offen betriebenen Anlagen. Hauptvorteil des FCKW-113 war seine Unbrennbarkeit, die an die Anlagentechnik keine hohen Anforderungen stellte.

Das zwecks Regenerierung der Ozonschicht beschlossene Verbot des FCKW-113 sowie des - ebenfalls relativ milden - CKW 1.1.1-Trichlorethan löste eine intensive Suche nach Alternativen aus. Das führte - besonders in der Elektronik - in zahlreichen Fällen zu völligem Reinigungsverzicht. Wo dieser nicht möglich war, zeigten sich neue wäßrige Verfahren mit Reinstwasserspülung und Warmlufttrocknung (mitunter mit organischer A-III³³-Vorreinigung) oft als den FCKW ebenbürtig. Ein beachtlicher Rest blieb jedoch materialbedingt auf milde organische Lösemittel angewiesen.

Gleich schonend und gleich sauber wie FCKW reinigende und vergleichbar schnell trocknende halogenfreie Lösemittel sind Cyclohexan (bei Ölen/Fetten), Isopropanol (bei Flußmitteln), Aceton (bei Lacken). Da sie alle leicht entflammbar sind, stellt ihr Einsatz hohe Anforderungen an die Anlagentechnik. Anlagen mit den genannten Lösemitteln der VbF-Klassen A-I und B ("Ex-Schutz-Anlagen") müssen zahlreichen einschlägigen Explosionsschutz-Vorschriften genügen. Von diesen Sicherheitsauflagen werden nachfolgend nur die wichtigsten erwähnt (s. Kasten).

Die nach den den berufsgenossenschaftlichen Explosionsschutz-Richtlinien (EX-RL) in ZH1/10 erforderlichen Ex-Schutz-Maßnahmen betreffen im wesentlichen:

- Absaugung an den Kammeröffnungen ("primärer Ex-Schutz"),
- Einhaltung der Gefahrenzonen sowie ex-geschützte Ausführung elektrisch betriebener Vorrichtungen,
- Überwachung der Lösemittelkonzentration in der Luft (Gaswarnanlagen),
- automatische Feuerlöscheinrichtung,
- Indirekt-Beheizung der Bäder,
- Inertgasspülung der Ultraschall-Elemente.

Anders als die einige Jahre später auf den Markt gekommenen modernen A-III-Reinigungsanlagen, die wegen der langsamen Verdunstung der KW-Reiniger im Vakuum trocknen und daher zwangsläufig geschlossen sind, sind Ex-Schutz-Anlagen für leichtflüchtige Lösemittel offen gebaut, um die kurzen Trocknungszeiten zu nutzen. Der offene Betrieb gestattet darüber hinaus Mehrkammeranlagen und damit kontinuierlichen Durchlauf bzw. höheren Teile-Durchsatz als geschlossene Anlagen, wo der Materialfluß verfahrensbedingt immer wieder unterbrochen wird. Diese Vorteile wiegen nach

³³ Infolge einer gesetzlichen Lücke gibt es für beliebig wassermischbare Flüssigkeiten mit Flammpunkt über 21 °C keine Klassifizierung. A-III bedeutet: eine begrenzt wasserlösliche brennbare Flüssigkeit mit Fp. zwischen 55 und 100 °C. Wassermischbare Flüssigkeiten im selben Entflammungsbereich 55-100 °C werden von Lösemittelformulierern der Einfachheit halber ebenfalls mit "A-III" gekennzeichnet.

Herstellerangaben die beachtlichen Investitionskosten für den Ex-Schutz auf. Der Hauptnachteil der offenen Betriebsweise sind die hohen Lösemittel-Emissionen.

1.1 Emissionssteigerung durch Ex-Schutz-Dauerabsaugung

Beim Betrieb offener Anlagen mit leichtflüchtigen Flüssigkeiten entstehen zwangsläufig Lösemitteldämpfe, die durch Kältefallen (Kühlschlangen) nur zum Teil kondensiert und zurückgehalten werden können. Die Anlagen verfügen daher über eine permanent laufende Absaugung, welche die Emissionen abzieht und über Dach abführt. Die Absaugung erfüllt einen doppelten Zweck: einerseits gehört sie zum primären Ex-Schutz (vgl. ZH 1/10), der zündfähigen Gasgemische zu verhindern hat, andererseits dient sie der Einhaltung des jeweiligen MAK-Wertes aus Arbeitsschutzgründen.

Vor der Abschätzung ihrer Emissionen und ihres Verbrauchs wird in Grundzügen die Arbeitsweise einer Ex-Schutz-Anlage skizziert (vgl. Abb. 11).

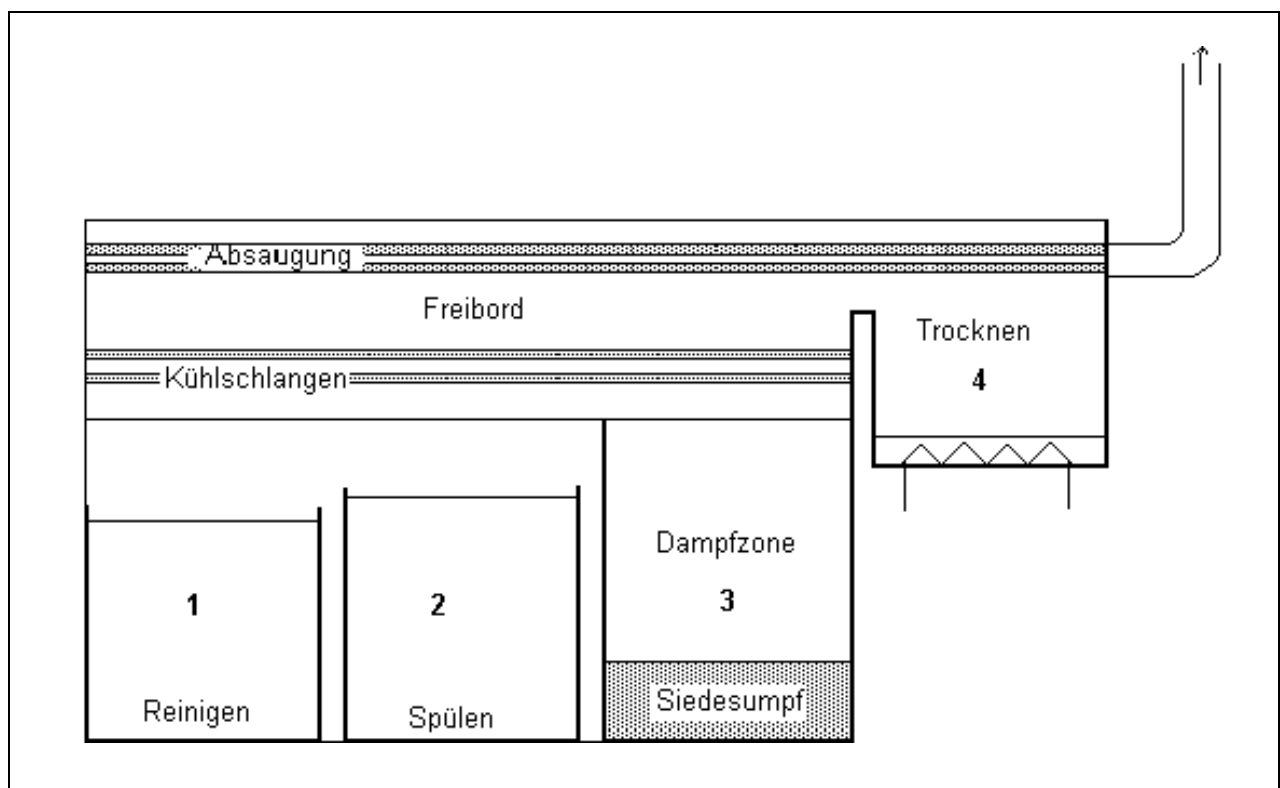


Abb. 11: Ex-geschützte Drei-Kammer-Reinigungsanlage. Badfolge von links nach rechts: Das Reinigungsgut gelangt von der Kammer 1 (Reinigen) in die zweite (Spülen) und wird in der dritten (Dampfzone) in Sattdampf nachgespült. In der Trockenstation (4) dunstet es ab. Kreislauf des Lösemittels: Schmutzbeladen gelangt es von 1 in den Siedesumpf der Dampfkammer, wo es verdampft (destilliert) wird. Nach Verflüssigung an den Kühlschlangen läuft es in Kammer 2 vor und von dort in Kammer 1 (Überläufe nicht eingetragen). Zur Reduzierung von Lösemittelverlusten und als Dampfsperre für Kammer 3 dienen Kühlschlangen über den lösemittelhaltigen Kammern. Randabsaugung: Am oberen Rand der Anlage (incl. Trockenzone) sind umlaufend Absaugschlitze angeordnet. Ein Ventilator (nicht eingetragen) zieht ständig aufsteigende Lösemitteldämpfe an und führt sie im Abgasrohr nach außen ab (rechts oben).

Mehrkammerige Reinigungsanlagen verfügen über eine oder mehrere Tauchbecken, in denen das Reinigungsgut in erwärmtem Lösemittel gewaschen und gespült wird, sowie über eine Dampfkammer, in der Sattdampf erzeugt wird, der auf den Teilen kondensiert, abläuft und Restschmutz abschwemmt ("Kondensatspülung"). Die letzte Stufe ist eine Trockenzone, wo das Lösemittel aufgrund der Eigenwärme der Teile abdunstet oder -

falls diese nicht reicht - mit Fremdwärme zum Verdunsten gebracht wird. (Vgl. Abb. 11) Tauchkammern sind i.d.R. mit Ultraschallgeneratoren ausgerüstet. Die Beheizung von Tauch-, Dampf- und ev. Trockenkammern erfolgt indirekt über Heißwasserrohre. Am oberen Rand aller lösemittelhaltigen Kammern ist die Absaugung angebracht.

Anlagenvariationen betreffen u.a. die Zahl der Kammern und Trockenstationen, zusätzliche Destillationskammern oder die Art der Teilezuführung (manuell oder automatisch). Mehrkammeranlagen können mit ein und demselben oder auch mit verschiedenen Lösemitteln betrieben werden. Verbreitete Kombinationen sind in der Elektronik z.B. A-III-Vorreinigung und Isopropanol-Nachspülung.

1.1.1 Kühlung und Absaugung der Lösemittel

Die hohen Emissionen aus Ex-Schutz-Anlagen haben zwei Ursachen. Erstens die hohe Flüchtigkeit der eingesetzten Lösemittel. Zweitens deren hohe Entzündlichkeit. Letztere erfordert eine aus Sicherheitsgründen betriebene aktive technische Absaugung, die zur Emissionsmenge mehr beiträgt als der physikalisch gegebene Dampfdruck.

Aus Tauchbädern und Sattdampfzone gehen Lösemittel in die darüber liegende Luftschicht über. Diese Diffusion nimmt mit steigender Temperatur des Lösemittels wie der Umgebungsluft zu. Sie ist bei Sattdampf größer als bei den Tauchbädern, deren Temperatur unter dem Siedepunkt liegt. Wie bei FCKW-Anlagen werden zur Minderung der Lösemittel-Verluste die Kammerwände im oberen Bereich durch Wasserrohre gekühlt (Wassertemperatur ca. 15 °C)³⁴. Die Kühlung bleibt stets eingeschaltet, auch dann, wenn die befüllte Anlage kalt und nicht in Betrieb ist. Im Vollbetrieb hält sie in der Dampfkammer vor allem den Sattdampf zurück und mindert bei den Wasch- und Spülbecken den Dampfdruck und damit die Emissionen von der Badoberfläche.

Bei FCKW war Kühlung die einzige Rückhaltemaßnahme. Nicht von ihr erfaßte Lösemitteldämpfe bedeuteten zwar finanzielle Verluste, waren aber aufgrund der Unbrennbarkeit kein Sicherheitsrisiko. Anders bei leicht entzündlichen Lösemitteln, die nicht in den Arbeitsraum gelangen dürfen: Außer der Kühlung bleibt auch die Ventilation der Randabsaugung "rund um die Uhr" eingeschaltet. Dadurch wird nicht nur im Vollbetrieb (aufgewärmte Anlage mit Warenbewegung) und der Betriebsbereitschaft (Aufheizzeit bzw. aufgewärmte Anlage ohne Warenbewegung), sondern auch bei Stillstand permanent lösemittelhaltige Luft abgezogen. Die Absaugleistung typischer Anlagen liegt, unabhängig vom Betriebszustand, zwischen 600 und 2000 m³/h. Sie wird bei Installation der Anlage auf einen konstanten Abluftstrom eingestellt.

1.1.2 Füllvolumen, Badoberfläche und Emissionskoeffizienten

Das Füllvolumen von Ex-Schutz-Anlagen reicht von unter 100 l bis zu 6000 l³⁵. Eine Drei-Kammer-Anlage mit einer Grundfläche der Becken von 50 x 50 cm und 40 cm Flüssigkeitstiefe hat ein Füllvolumen von 3 x 100 l zzgl. ca. 20 Prozent für die „Taschen“ der Ultraschallgeneratoren, Heizungsausbuchtungen etc., insgesamt von etwa 360 l.

³⁴ Wasserkühlung wird tiefer kühlenden Kältemitteln vorgezogen, weil eine zu niedrige Temperatur Luftfeuchte ausfrieren läßt und damit Wasser in die Bäder einträgt.

³⁵ Die größte im Rahmen vorliegender Studie erfaßte Anlage besteht aus drei Becken à 2000 l mit Cyclohexan zur Reinigung unzerlegter "Radarnasen" von Militärflugzeugen, die elektronische Bauteile enthalten, die nicht mit Wasser in Berührung kommen dürfen.

Für die Emissionsverhältnisse ist nicht das Volumen, sondern die Badoberfläche der befüllten Kammern entscheidend³⁶. Bei einer Drei-Kammeranlage wie der oben skizzierten liegt die Gesamtoberfläche der Bäder bei 0,75 m², bei Großanlagen bei bis zu 6 m². Der Mittelwert von 117 im Rahmen dieser Studie erfaßten Anlagen beträgt 0,8 m². Im Kontakt mit führenden Herstellern von Ex-Schutz-Anlagen (Befragung Ex-Schutz-Anlagen) wurden spezifische Emissionskoeffizienten in "Kilogramm pro Stunde und Quadratmeter Badoberfläche - kg/m²h" ermittelt, und zwar in Abhängigkeit vom Lösemittel und vom Betriebszustand der Anlage (Tabelle 18). Sie liegen der folgenden Emissionsabschätzung zugrunde. Die Emissionsfaktoren sind empirisch begründete Richtwerte bzw. Anhaltspunkte. Sie gelten nicht im Einzelfall, wo unterschiedliche Badtemperaturen, Teilegeometrien, Duchsatzgeschwindigkeiten usw. mitwirken.

Tab. 18: Mittlere Emissionsfaktoren für exgeschützte Reinigungsanlagen			
Lösungsmittel	Emissionen (kg/m ² h)		
	Stillstand	Betriebsbereitschaft	Vollbetrieb
Cyclohexan/Aceton	0,3	1,2	2,4
Isopropanol (IPA)	0,2	0,8	1,6

Zusammengestellt nach "Befragung Ex-Schutz-Anlagen" und einigen Anwender-Meßberichten.

Am verlässlichsten sind die Daten für den betriebsbereiten Zustand (stand by), weil hier die Warenbewegung nicht stört (vgl. Tab. 18, Spalte Betriebsbereitschaft). Der Emissionsfaktor liegt für die hochflüchtigen Lösemittel Cyclohexan und Aceton bei 1,2, für das etwas weniger leichtflüchtige Isopropanol bei 0,8 kg/m²h. Bei Durchsatz von Reinigungsgut (Vollbetrieb) erhöht sich dieser Wert um den Faktor 1,2 - 2,5 (Gölz 1992), im Mittel auf 1,6 bzw. 2,4 kg/m²h. Hauptursache sind die Verschleppungsverluste durch die Warenbewegung (Überheben von Körben, Gestellen etc.). Bei Anlagenstillstand, wenn die Becken unbeheizt sind, werden die Emissionen auf ca. 25 Prozent der Betriebsbereitschaft geschätzt (Neumann 1998).

1.1.3 Abgaskonzentrationen weit über 75 mg C/m³

Die Emissionsmenge von 1,6 kg Isopropanol pro m² Badoberfläche im Vollbetrieb bedeutet: Eine Anlage mit 1 m² Oberfläche erzeugt bei einer Absaugleistung von 2000 m³ eine Konzentration von 800 mg Lösemittel oder 480 mg C in einem Kubikmeter Abgas. Der von der VOC-RL geforderte Emissionsgrenzwert von 75 mg C/m³ wird in diesem Fall um das Sechsfache überschritten. Bei Cyclohexan beträgt die analoge Abgaskonzentration sogar 1200 mg Lösemittel bzw. 1028 mg C/m³, was eine Überschreitung des Grenzwerts um mehr als das Dreizehnfache bedeutet. Auch Anlagen mit kleinerer Badoberfläche können den Grenzwert nicht einhalten, zumal bei diesen die Absaugleistung geringer ist.

Neben den mit diesen Kennziffern erfaßten Abdampfverlusten von der Badoberfläche der Anlagen ist nach Erfahrung von Anlagenherstellern mit diffusen Emissionen zu rechnen, die im Schnitt etwa 25 Prozent der gefaßten Emissionen betragen (Neumann 1998). (Die diffusen Emissionen enthält Tabelle 18 nicht.). Der Grenzwert der VOC-RL für diffuse Emissionen von 20% wird wohl eingehalten, da er an der jährlichen Einsatzmenge gemessen wird, einer größere Bezugsgröße als die Abgasemissionen.

³⁶ Enthält die Anlage nicht nur Lösemittel mit niedrigem Flammpunkt, sondern z.B. zur Vorreinigung in der ersten Kammer einen A-III-Stoff, muß zwar die Gesamtanlage abgesaugt werden; emissionsrelevant ist aber nur die Oberfläche der Becken mit den leichtflüchtigen Lösemitteln.

Daraus folgt: Explosionsgeschützte Reinigungsanlagen sind generell nicht in der Lage, die Auflagen der VOC-Lösemittelrichtlinie für Abgasemissionen zu erfüllen. Diese gelten, wenn der Lösemittelverbrauch einen bestimmten Schwellenwert überschreitet.

Bleibt die Höhe des jährlichen Lösemittelverbrauchs von Exschutzanlagen zu prüfen. Bei seiner Abschätzung sind außer den Nachfüllungen für den Ausgleich der Abgas- und der diffusen Emissionen noch folgende Mengen zu berücksichtigen:

1. Nachfüllung für zweimonatliche Entleerungen der Destillationskammer.
2. Neubefüllung für zwei Mal jährlich durchgeführte Entsorgung aller Becken
3. Im Falle des Einsatzes in der Optik/Glasreinigung (17 Fälle) werden wegen der hohen Reinheitsanforderungen sämtliche Becken monatlich gewechselt.

1.2 Lösemittelverbrauch in der Regel über dem Schwellenwert

Die folgende Abschätzung bezieht die Emissionsfaktoren von Tabelle 18 auf insgesamt 117 Ex-Schutz-Anlagen zum Reinigen und Trocknen, deren Daten drei Anlagenbauer zur Verfügung stellten. Die Anlagen stehen in 98 Betrieben. Bei den Daten handelt es sich um Anlagenvolumen, Badoberfläche, Anwendung (Feinmechanik/Elektrotechnik, Leiterplatten/Elektronik oder Feinoptik/Glasreinigung), Lösemittel, Anlagenbaujahr.

Die durchschnittliche Badoberfläche der 117 erfaßten Reinigungs- und Trocknungsanlagen beträgt $0,8 \text{ m}^2$. Die Anlagen stammen aus den Jahren 1986 bis 1997 mit eindeutigem Schwerpunkt der Jahrgänge 1991-1993. Die Mehrzahl der Ex-Schutz-Anlagen (63 Stück) steht in Betrieben der Feinmechanik und Elektrotechnik, wo zu je 43% die Lösemittel Cyclohexan und Isopropanol (IPA) zur Metallreinigung eingesetzt werden. An zweiter Stelle folgen Anlagen für die Elektronik (37), davon 23 für die Leiterplattenreinigung. Dafür wird von den hochentzündlichen Lösemitteln ausschließlich IPA eingesetzt, meist im Anschluß an eine Vorreinigung mit einem A-III-Stoff. Auf Optik/Glas entfallen 17 Anlagen, davon 12 auf die Feinoptik, die fast ausschließlich Cyclohexan einsetzt - zur fleckenfreien Trocknung nach wäßriger Vorreinigung.

Die Lösemittelzufuhr wird für alle Anlagen im ein- und zweischichtigen Betrieb ermittelt, da in der Praxis vor allem diese beiden Auslastungen vorkommen, zwischen denen je nach Auftragslage variiert wird.

Eine Schicht bedeutet: An 240 Arbeitstagen des Jahres sind 8 h Vollbetrieb, 2 h Betriebsbereitschaft und 14 h Stillstand. Die 125 Nichtarbeitstage sind je 24 h Stillstand.

Zwei Schichten bedeutet: An 240 Arbeitstagen des Jahres sind 16 h Vollbetrieb, 2 h Betriebsbereitschaft und 6 h Stillstand. Die 125 Nichtarbeitstage sind je 24 h Stillstand.

Mithilfe der Emissionsfaktoren aus Tabelle 18 errechnen sich gefaßte (abgesaugte) Jahresemissionen pro m^2 Badoberfläche

- für Isopropanol (IPA) 4,7 t einschichtig und 7,4 t zweischichtig,
- für Cyclohexan und Aceton 7,1 t einschichtig und 11,1 t zweischichtig.

Weitere Lösemittel, die mit 3% Anteil vorkommen, werden wie IPA behandelt.

Für jede der 117 Ex-Schutz-Anlagen der Auswahl sind sowohl Badoberfläche in m² als auch verwendetes Lösemittel bekannt. Damit lassen sich für jede Anlage die jährlichen Abgasemissionen abschätzen. Sie ergeben in der Summe aller 117 erfaßten Anlagen im einschichtigen Betrieb 550 t, im zweischichtigen Betrieb 858 t. Sie teilen sich in 45% Cyclohexan, 42% Isopropanol und 10% Aceton auf (Rest: sonstige). Ergänzt um diffuse Emissionen und Nachfüllungen für entsorgte Mengen stellt sich der Gesamtverbrauch wie in Tabelle 19 dar. (Altlösemittel werden praktisch nicht extern zum Wiedereinsatz aufgearbeitet, so daß Zufuhr und Verbrauch gleichgroß sind.)

Tab. 19: Gesamtmenge der Emissionen, Entsorgung und Verbrauch bei 117 ex-geschützten Reinigungsanlagen in t/a		
	einschichtig	zweischichtig
• Abgesaugte Emissionen in t	550	858
• Diffuse Emissionen in t	137	214
• Entsorgung (gebr. Bäder + Destillenschlamm)	166	166
Summe bzw. Jahresverbrauch in t	853	1237

Der Gesamtverbrauch aller 117 Anlagen beträgt bei einschichtigem Betrieb 853 t und bei zweischichtigem Betrieb 1237 t. Vgl. Tabelle 19. Das sind im Durchschnitt pro Anlage 7,3 t (einschichtig) bzw. 10,6 t (zweischichtig).

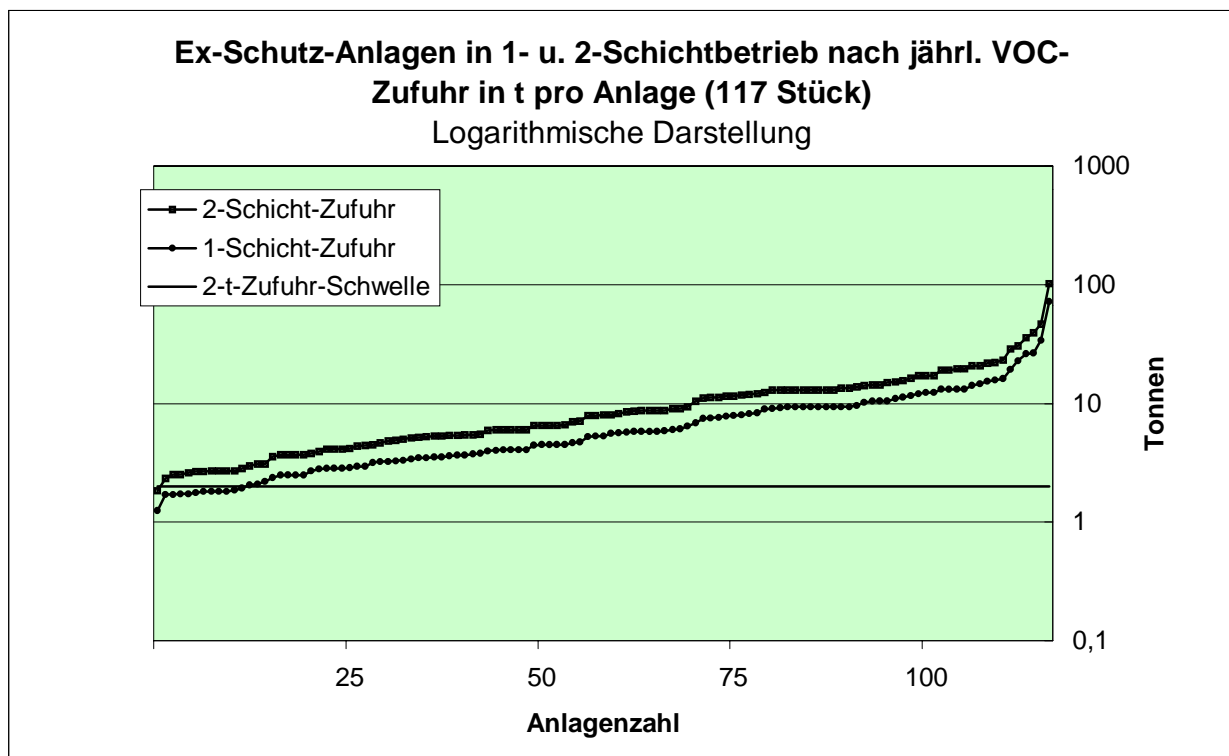


Diagramm 2: Ex-Schutz-Anlagen in 1- u. 2-Schichtbetrieb nach jährlicher VOC-Lösemittelzufuhr (= Verbrauch) in t pro Anlage (117 Stück). Die 117 Anlagen sind von links nach rechts nach ihrer Lösemittelzufuhr eingetragen. Im einschichtigen Betrieb (untere Kurve) liegen 13 Anlagen (ca. 10% der Gesamtzahl) unterhalb des Schwellenwerts von 2 t (gerade Linie). Im Zweischicht-Betrieb (obere Kurve) unterschreitet nur eine (die erste) Anlage die 2-t-Schwelle.

Im Detail zeigt sich, daß von den 117 Anlagen im einschichtigen Betrieb nur 13 Stück weniger als 2 t/a verbrauchen und im zweischichtigen Betrieb sogar nur eine einzige. (vgl. Tabelle 20 und Diagramm 2). Bei den 13 Anlagen mit einem Jahresverbrauch

(einschichtig) unter 2 t handelt es sich um kleinere Anlagen in der Elektronik mit Badoberflächen unter 0,3 m². Die kleinste braucht 1,2 t/a und emittiert 0,8 t/a im Abgas. Elf dieser 13 Anlagen setzen Isopropanol ein, und zwar nur in einem oder zwei Spülbecken, die auf eine Vorreinigung in einem A-III-Bad (Glykolether) folgen. Die drei größten Emittenten setzen über 20 t/a mit der Absaugung frei, eine Großanlage mit 6 m² Badoberfläche sogar über 50 t/a Cyclohexan.

Tab. 20: Exschutz-Anlagen nach jährlicher Lösemittelzufuhr im ein- und zweischichtigen Betrieb (Basis: 117 Anlagen)

Zufuhr in t/a	einschichtig			zweischichtig		
	< 2	2 - 8	> 8	< 2	2 - 8	> 8
Anlagenzahl	13	66	38	1	60	56

Die große Mehrzahl der Anlagen überschreitet somit nicht nur beim Abgas den Grenzwert, sondern auch beim Verbrauch den Schwellenwert der VOC-RL. Vgl. die grafische Darstellung in Diagramm 2.

Diese Aussage ist aufgrund der Repräsentativität der Auswahl der 117 erfaßten Anlagen auf den inländischen Gesamtbestand explosionsgeschützter Reinigungsanlagen zu übertragen. Dieser wird auf ca. 250 Stück in 200 Betrieben geschätzt (Befragung Ex-Schutz-Anlagen). Ihre - hochgerechnete - Gesamtzufuhr beträgt schätzungsweise über 1800 t (einschichtig) bzw. über 2600 t (zweischichtig).

2 Glasreinigung in der Feinoptik

Während die Augenoptik (Brillen), auf die ca. 80% des optischen Glasdurchsatzes entfallen, heute nahezu vollständig wäßrig reinigt (und mit Warmluft trocknet)³⁷, sind in der Feinoptik (Linsen, Prismen usw.) wäßrige und Lösemittel-Reinigung etwa gleich stark vertreten. Die eingesetzten Lösemittel sind meist hochentzündliche Niedrigsieder der VbF-Klassen A-I und B wie Isopropanol (IPA), Ethanol, Aceton, Cyclohexan, Butylacetat. Sofern sie in Anlagen verwendet werden, brauchen diese Explosionsschutz durch Dauerabsaugung. Allerdings ist der Anteil manueller Lösemittel-Reinigung sehr hoch. Dies liegt nur zu geringerem Teil an den Kleinbetrieben, deren Durchsatz für rentablen Anlagenbetrieb zu gering ist. Die Hauptursache sind die zahlreichen wasserunbeständigen Glassorten, die nicht in die Anlagen mit wäßrigen Becken gelangen dürfen. Der hohe Anteil manueller Glasoberflächen-Reinigung mit Lösemittel - vorwiegend Alkohol - ist eine Besonderheit der feinoptischen Branche (Hain 1999).

Die feinoptische Fertigung besteht darin, aus Rohglas (Preßlinge, Blöcke) durch mechanische Bearbeitung wie Schneiden, Schleifen, Polieren sowie durch Beschichten fertige Linsen und Prismen herzustellen, die ihrerseits in Ferngläser, Projektoren, Mikroskope, Glasfasersysteme, Lasergeräte usw. eingebaut werden. Die während der optischen Fertigung auf die Teile aufgetragenen Hilfsstoffe wie Schneidöl, Haftkitt, Schutzlack, Klebstoff, Polierpaste müssen ebenso immer wieder durch Zwischenreinigungen entfernt werden wie der zwangsläufige Glasabrieb (Wieser 1997).

³⁷ Dies gilt auch für empfindliche Produkte wie Röntgenröhren (Hamm 1999).

Die Endreinigung darf keinerlei Flecken hinterlassen, und zwar nicht nur wegen der Transparenz der Gläser. Vielmehr ist Hochreinheit der Oberflächen die Bedingung ihrer erfolgreichen Beschichtung, die meist in Reinräumen und im Hochvakuum erfolgt.

Die Besonderheit der feinoptischen Reinigung wird an dem in Tabelle 21 dargestellten Großbetrieb (700 Beschäftigte) deutlich.

Tab. 21: Manuelle und Anlagen-Reinigung in einem Optik-Großbetrieb nach Einsatz und Emissionen in t/a				
Lösemittel	42 Handbecken 100 Flaschen		4 Mehrkammeranlagen	
	Einsatz	Emission	Einsatz	Emission
Isopropanol	57,1	28,5	9,6	4,8
Cyclohexan			25,3	14,8
NMP			16,6	5,6
Butylacetat	11,1	3,9		
Aceton	3,3	3,3*		
Summe	71,5	35,7	51,5	25,2

* Aceton wird aus ca. 100 Fläschchen am Arbeitsplatz (Montage/Kontrolle) angewandt. In den 123 t Gesamteinsatz sind 14,5 t Eigendestillat (NMP + Butylacetat) enthalten.

Erstens ist der Umfang der betrieblich eingesetzten Lösemittel sehr groß. Es sind 123 t pro Jahr - manuelle und Anlagen-Reinigung zusammengenommen.

Zweitens: Obwohl in dem Betrieb vier exgeschützte Reinigungsanlagen mit einem Jahreseinsatz von zusammen 51,5 t laufen, setzt die manuelle Reinigung mehr Lösemittel ein, nämlich 71,5 t.

Drittens: Die manuell und in Anlagen eingesetzten Lösemittel sind überwiegend leichtentzündliche Niedrigsieder. Von dem 123 t umfassenden Lösemiteileinsatz sind nur die 16,6 t N-Methyl-Pyrrolidon (NMP) Stoffe der VbF-Klasse "A-III".

Viertens: Die Emissionen sind sehr hoch. Sowohl im manuellen als auch im Anlagenbereich beträgt die Emissionsquote ca. 50% der Einsatzmenge.

2.1 Lösemittelzwang durch wasserunbeständige Glassorten

Feinoptische Betriebe verwenden bis zu 200 verschiedene Glassorten, von denen im Durchschnitt nur die Hälfte wasserbeständig ist (Busch 1998). Die andere Hälfte zeigt in Wasser Erscheinungen der "Glaskorrosion" und ist zur Reinigung auf organische Lösemittel angewiesen. Selbst Luftfeuchte ist für viele Gläser schädlich, so daß diese zwischen Endreinigung und Beschichtung in Lösemittel konserviert ("gelagert") werden müssen. Die Beständigkeit oder Unbeständigkeit optischer Gläser gegenüber Wasser entscheidet über den Ablauf des Reinigungsprozesses (Hain 1999).

Typische Optik-Reinigungsanlagen bestehen aus einer Vielzahl kleiner aufeinanderfolgender Becken (übliches Volumen: 50 Liter), von denen einige Lösemittel und andere Wasser enthalten. Die organischen Lösemittel, deren Wirkung durch Erwärmung und Ultraschall unterstützt wird, entfernen die organischen Rückstände auf den Gläsern (Schneid- und Schleiföle, Kitte, Schutzlacke, Fettspuren). Warmes Wasser,

das ebenfalls durch Ultraschall unterstützt wird, reinigt die im Lösemittelbad nicht entfernbaren anorganischen Reste ab, die vor allem aus den Poliermitteln (Ceroxid) stammen. Der letzte Anlagenabschnitt dient der Feinstreinigung und Trocknung der Gläser in wasserfreiem Lösemittel - meist Cyclohexan.

Fünfzehn-Kammeranlage in der Feinoptik														
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	Tr 15
NMP				IPA	H ₂ O				C ₆ H ₁₂ +WA		C ₆ H ₁₂			
70 °C				35°C	40 °C				25 °C		30 °C			

Abb. 12: Fünfzehn-Kammeranlage in der Feinoptik mit kombinierter Reinigung Lösemittel/Wasser und abschließender Lösemittel-Trocknung. Die optischen Gläser durchlaufen im 90-Sekunden-Takt auf Warenträgern von links nach rechts zunächst vier heiße NMP-Bäder zur organischen Vorreinigung. Danach erfolgt die NMP-Abspülung in mäßig warmem Isopropanol (IPA). Die Becken 6 bis 9 enthalten warmes Wasser (H₂O) zur Abreinigung anorganischer Verschmutzung. Die Becken 10 und 11 enthalten Cyclohexan (C₆H₁₂), dem ein wasserabscheidendes Ammoniumsalz (WA) zugegeben ist. Die letzten vier Cyclohexan-Becken dienen der Trocknung der optischen Gläser. Aus dem letzten Becken werden diese langsam aus dem Bad gehoben, wobei sie abdunsten (Ausziehtrocknung). Nicht eingezeichnet sind die integrierte Cyclohexan-Destillation und die Einrichtungen des Ex-Schutzes.

Wasserbeständige Gläser können eine Durchlaufanlage wie die oben (Abb. 12) schematisch abgebildete vollständig passieren, wasserunbeständige dagegen nicht. Der wäßrige Reinigungsabschnitt dient der rückstandsfreien Säuberung von anhaftenden anorganischen Poliermitteln, was mit organischen Lösemitteln - auch mit Ultraschallunterstützung - in der Anlage nicht gelingt.

Die wasserunbeständigen Gläser werden daher nach der organischen Vorreinigung aus der Anlage ausgeschleust oder ihr erst gar nicht zugeführt. Sie gelangen zur manuellen Reinigung. In der Praxis sind dies meist mehrere Arbeitstische mit offenen Alkoholbecken. Der Alkohol (Isopropanol, Ethanol) dient zur Tränkung von Baumwolltüchern, Lappen oder Watte, die über die Oberfläche der einzelnen Linsen oder Prismen geführt werden. Auf diese Weise gelingt die Abreinigung sowohl organischer als auch anorganischer Rückstände. Die gereinigten Gläser werden danach in Alkohol-befüllte Tischbecken gelegt, wo sie bis zur abschließenden Bedampfung "abgelagern".

2.2 Hohe Lösemittelreinheit - häufige Entsorgung

Die hohen Anforderungen an die Oberflächenreinheit sind nur mit Reinigern zu erfüllen, die ihrerseits minimale Schmutzbelastung aufweisen (Vermeidung von Rückverschmutzung). Sowohl die Anlagenbecken als auch die Tischbehältnisse werden daher sehr häufig gewechselt (entleert und neubefüllt), die Tischbecken mehrmals täglich. Trotz hoher laufender Lösemittelverluste aus den offenen Becken durch Verdunstung und Absaugung sowie - bei Handreinigung - Austrag mit getränkten Wischlappen beträgt die Entsorgungsmenge in der Regel noch mehr als die Hälfte der ursprünglichen Einsatzmenge (Busch 1998).

Umgekehrt heißt dies, daß die Emissionen aus der manuellen Reinigung in den Arbeitsraum keineswegs zu vernachlässigen sind. Der Grenzwert der VOC-RL für diffuse Emissionen, nämlich maximal 20% des Einsatzes, wurde in keinem der von uns

näher untersuchten Betriebe, wo leichtflüchtige Lösemittel wie Alkohole, Aceton oder Butylacetat zur manuellen Glasreinigung verwendet wurden, eingehalten.³⁸ Allerdings ist in jedem Arbeitsraum eine allgemeine - nicht gezielte - Raumbel- und -entlüftung in Betrieb, welche die Lösemittelkonzentration in der Raumluft unter den MAK-Wert senkt.

Verworfenes Lösemittel ist wegen des häufigen Wechsels selten mit mehr als 1% Schmutz belastet. Es kann daher für weniger anspruchsvolle Reinigungsaufgaben ohne Destillation erneut benutzt werden. Wo dies im eigenen Betrieb nicht möglich ist, gelangen Alkohole, die in großen Mengen aus Handbecken anfallen, häufig über Entsorger an Formulierer von Frostschutzmitteln oder Scheibenreinigern. Auch als Konservierungsmittel können sie eingesetzt werden.³⁹ Bei der manuellen Applikation von Lösemittelreiniger aus Kleingebinden wie Fläschchen u. dgl., die in größeren Betrieben mitunter (vgl. Aceton-Anwendung in Tabelle 21) und in vielen Kleinbetrieben generell vorkommt, gelangt kein Lösemittel in die Entsorgung, weil es vollständig verdunstet.

Zu den Lösemittelverlusten aus Mehrkammeranlagen ist über das im Abschnitt über Exschutz-Anlagen Gesagte hinaus anzumerken, daß sie nicht nur aus Luftemissionen bestehen. Durch die in der Feinoptik übliche kombinierte Lösemittel-Wasser-Reinigung kann Lösemittel auch ins Wasser gelangen. Denn es findet eine Verschleppung vom letzten Lösemittelbecken ins erste wäßrige Becken durch die mit Gläsern bestückten Wareenträger statt.

Um lösemittelhaltiges Abwasser zu vermeiden, wird oft ein Bad mit Isopropanol dazwischengesetzt, das die Verschleppungen auffängt und einer leichteren Entsorgung zugänglich macht. Die dafür entstehenden IPA-Einträge ins erste Wasserbecken sind wegen der schnellen IPA-Verdunstung während des Überhebens geringer beim schwerflüchtigen NMP. Zudem gilt die Ökotoxizität des im Wasser biologisch leicht abbaubaren IPA als geringer, auch wenn beide Stoffe der selben Wassergefährdungsklasse 1 angehören. In dem in Tabelle 21 zitierten Großbetrieb wird dies so gehandhabt. Von den 5,8 t NMP-Emissionen von drei Anlagen sind 4,8 t abgesaugte und diffuse Luftemissionen. Eine Tonne wird verscheppt: früher ins Abwasser, heute in Alkohol.

2.3 Feinoptischer Lösemittelverbrauch nach Betriebsgrößen

Nach Mitteilung des Verbandes der deutschen feinmechanischen und optischen Industrie (F+O 1999) gibt es in Deutschland etwa 200 Betriebe der Feinoptik einschließlich Lasertechnik, die hochempfindliche Gläser bearbeiten. In der Zahl sind alle Größenklassen - von zwei bis 1000 Beschäftigte - eingeschlossen. Der Jahresbedarf der Branche an organischen Lösemitteln zur Reinigung wird hier auf etwa 2000 t geschätzt,⁴⁰ die sich gemäß Tabelle 22 untergliedern.

³⁸ Die Einhaltung wäre durch einen häufigeren Wechsel des Beckeninhalts möglich, weil damit der Einsatz erhöht würde. Da die Emissionen gleichblieben, gäbe diese Maßnahme aber keinen ökologischen Sinn.

³⁹ Uns wurde ein Fall bekannt, wo ein Feinoptik-Betrieb jährlich 2 t gebrauchten Ethanol an die medizinische Abteilung einer Universität verkauft.

⁴⁰ Der in Tabelle 21 erwähnte Großbetrieb, der 123 t Lösemittel einsetzt, wird vom genannten Verband als sehr bedeutend eingestuft, in dem Sinne, daß auf ihn ca. 5% des feinoptischen Glasdurchsatzes entfallen. Auf 100% hochgerechnet ergeben sich daraus ebenfalls etwa 2000 t Lösemittel.

Tab. 22: Zufuhr von VOC-Lösemitteln zur feinoptischen Reinigung nach Betrieben in t/a (Schätzung)			
VOC-Zufuhr	Zahl der Betriebe	Ø VOC-Zufuhr/Betrieb	VOC-Zufuhr gesamt
> 2 t/a	40	45 t/a	1900 t/a
>1 < 2 t/a	20	1,5 t/a	30 t/a
< 1 t/a	140	0,5 t/a	70 t/a
Summe	200		2000 t/a

Quelle: Eigenschätzung auf Basis von Expertenbefragungen.

Tabelle 22 spiegelt die Dominanz der größeren Betriebe wieder. Etwa 40 Betriebe (20% der Gesamtzahl) kaufen jährlich über 2 t/a VOC-Lösemittel zur Glasreinigung⁴¹. Das sind 95% der gesamten Jahreszufuhr der Feinoptik. Die durchschnittliche Zufuhr- bzw. Verbrauchsmenge eines größeren Betriebs, der über 50 Beschäftigte hat, liegt bei 45 t/a und damit weit über dem 2-t-Schwellenwert der VOC-RL. Die Emissionen - diffuse und gefaßte zusammen - werden auf die Hälfte des Verbrauchs geschätzt.

Die größeren Betriebe sind diejenigen, welche nicht nur manuell reinigen, sondern außerdem auch mit - exgeschützten - Anlagen. Deren Gesamtzahl wird auf etwa 60 Stück geschätzt und ihre mittlere Jahreszufuhr auf 10 t, wovon die Hälfte emittiert.

Die Kleinbetriebe konzentrieren sich auf optische Spezialprodukte, die sie selbst vermarkten oder den Großbetrieben zuliefern. Sie reinigen fast ausschließlich manuell, wenn Lösemittel erforderlich sind. Diese Lösemittel sind in der Regel Ethanol, Isopropanol oder Aceton, manchmal sind es auch Mixturen, deren Rezeptur nur der Anwender kennt, oder in anderen Branchen kaum übliche Mittel wie einfacher Haushaltssessig. Für wäßrige Reinigungen verfügen die größeren unter ihnen mitunter über beheizbare Becken, die mit Ultraschall und Warmlufttrocknung ausgerüstet sind.

2.4 Übergewicht der Großverbraucher auch bei manueller Reinigung

Nach Anlagen-Reinigung und manueller Reinigung untergliedert werden in der gesamten Branche von größeren Betrieben ca. 600 t Lösemittel in exgeschützten Anlagen eingesetzt (vorwiegend Cyclohexan), wovon die Hälfte emittiert.

Zur manuellen Reinigung wird weit mehr eingesetzt, nämlich ca. 1400 t, und zwar vorwiegend Isopropanol, Ethanol und Aceton. Etwa 1300 t entfallen auf die Großverbraucher, die auch die Exschutz-Anlagen betreiben.

Etwa 95% der VOC-Lösemittel werden von 40 Großverbrauchern eingesetzt, bei denen fast die ganze anlagenbezogene Reinigung konzentriert ist und darüber hinaus auch 90% der manuellen Reinigung mit organischen Lösemitteln stattfinden.

⁴¹ In dieser Zahl sind auch einige Betriebe enthalten, die nicht zur Feinoptik im engeren Sinne gehören, aber Glasoberflächen reinigen. Genauer: Sie trocknen Quarzröhren nach wäßriger Reinigung mit IPA. Oder sie reinigen Reflektoren (aus beschichteten Glassubstraten), die im Automobilbau und der Medizintechnik eingesetzt werden.

3 Elektronik

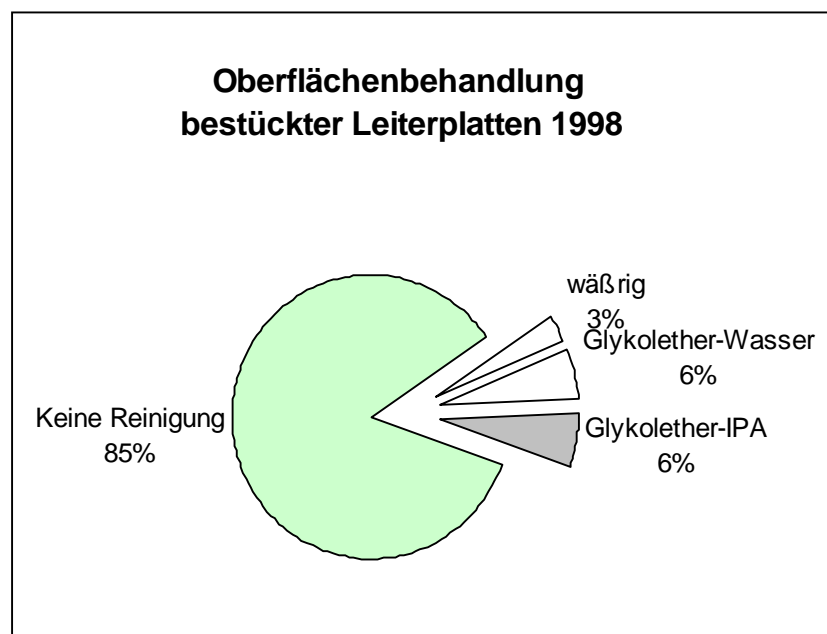
3.1 Bestückte Leiterplatten

Bestückte Leiterplatten wurden früher generell mit Lösemitteln gereinigt, um Flußmittel zu entfernen, die für den Lötprozeß aufgetragen werden. Dies geschah mit dem FCKW-113 und noch häufiger mit einem azeotropen Gemisch aus FCKW-113 und Isopropanol. Der unpolare FCKW löste das unpolare Kolophoniumharz und der polare Alkohol die polaren Säuren. Harze und (oxidationshemmende) organische Säuren sind der Feststoff eines Flußmittels. Dessen Rückstände können die Lötverbindungen der elektronischen Baugruppen schädigen und auf der Leiterplatte Korrosion bewirken.

Haupttrend im Umgang mit Flußmitteln wurde im Zuge des FCKW-Verbots der Reinigungsverzicht. Es zeigte sich: Meistens beeinträchtigen Flußmittelreste die Funktionsfähigkeit elektronischer Baugruppen nicht, wenn neue, feststoffarme bzw. No-Clean-Flußmittel eingesetzt werden (Hanek/Hoackle 1996). Dies betraf sowohl die konventionelle Durchstecktechnik (Wellenlöten der Unterseite der Leiterplatte) als auch die Oberflächenmontage (SMT = Surface Mount Technology). Bei letzterer werden die Bauteile auf der Oberseite der Platine mit einer aufgedruckten (flußmittelhaltigen) Lotpaste befestigt, die dann in Öfen aufgeschmolzen wird.

Heute werden nur noch ca. 15% der bestückten Leiterplatten naß gereinigt, nämlich solche, die besondere Reinheitsanforderungen erfüllen müssen (Hanek 1998). Vgl. Diagramm 3. Gereinigte Leiterplatten finden hauptsächlich im Militär- und Luftfahrtbereich und in der Automobilindustrie Verwendung, kaum in Haus- und Telekommunikationsgeräten oder der Unterhaltungselektronik. Gereinigt wird außerdem vor dem Auftrag von Schutzlack gegen Luftfeuchte (Tropentauglichkeit) sowie bei seltenen Verbindungstechniken wie z.B. dem Bonden mit Golddraht. Grundsätzlich werden auch Hybride gereinigt. Das sind mit Dünnschicht-Halbleitern bestückte Keramik-Plättchen, die kleinere Abmessungen haben als Leiterplatten aus Kunststoff.

Etwa 20 Prozent der heute noch zu reinigenden Leiterplatten (oder 3% der Gesamtmenge) werden wäßrig gereinigt. Etwa 80 Prozent der zu reinigenden Leiterplatten



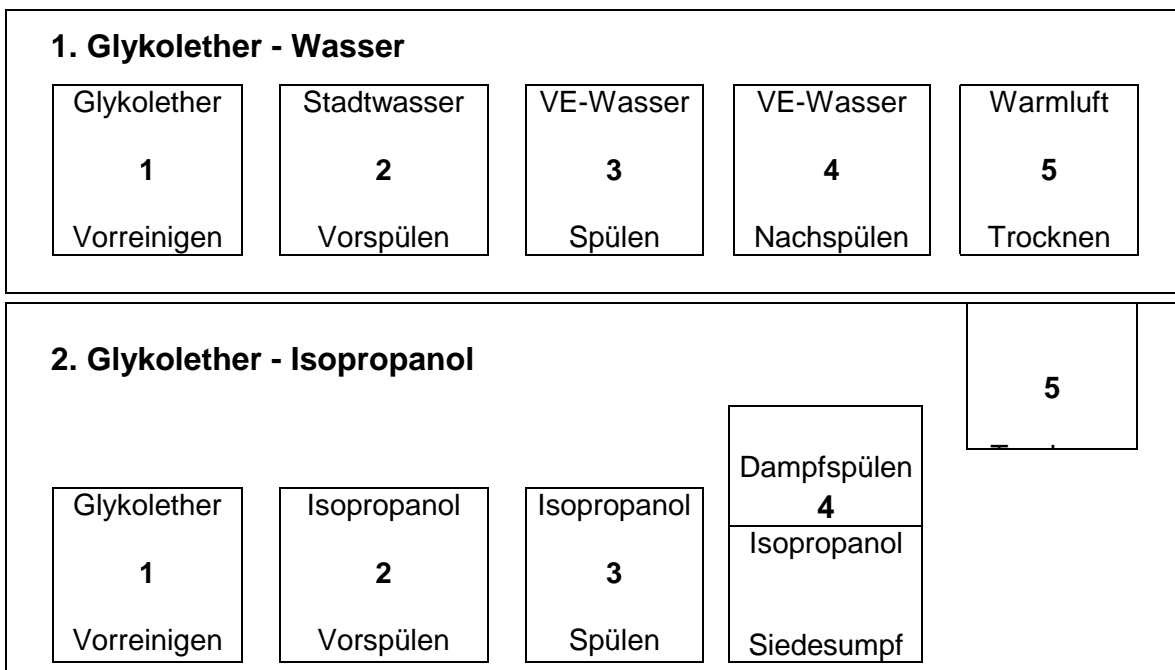
(12% der Gesamtmenge) durchlaufen "halbwäßrige" Verfahren. Bei diesen wird organische Vorreinigung mit Nachreinigung im "wäßrigen" (präziser: polaren) Medium kombiniert, wobei die erste Stufe die unpolaren, die zweite die polaren Verunreinigungen abtragen soll. Die organische Vorreinigung geschieht etwa seit 1994 fast ausschließlich durch Glykolether der VbF-Klasse A-III, welche die Vorreinigung mit Isopropanol weitgehend

Diagramm 3: Anteil der Reinigung am Leiterplattendurchsatz.

verdrängt haben. Die Nachreinigung zum Abspülen der polaren Verunreinigungen erfolgt beim "halbwässrigen" Verfahren nur in 50% der Fälle wirklich durch Wasser, das dafür deionisiert (vollentsalzt) wird. Bei den anderen 50% dient als Spülmittel Isopropanol (vgl Diagramm 3). In diesem Fall wird zwar der Aufwand der Wasserentsalzung gespart; dafür muß die Reinigungsanlage exgeschützt sein.

Der Aufbau lösemittelhaltiger Reinigungsanlagen, d.h. ihre Beckenfolge, wird in nachfolgender Abbildung 13 skizziert. Lösemittel-Anlagen mit Glykolether im ersten Becken brauchen keinen Exschutz, wenn das A-III-Lösemittel auf nicht mehr als 40 °C erwärmt wird und danach mit Wasser gespült wird. Bei Anlagen mit Isopropanolspülung ist Exschutz zwingend: wegen der leichten Entzündlichkeit des kalten Lösemittels, aber auch, weil der Alkohol im letzten (vierten) Becken ständig destilliert wird.

Abb. 13: Typische Badfolgen halbwässriger Reinigung in der Elektronik



Nach Schätzung von Branchenexperten (Wachs 1999) sind es in Deutschland etwa 100 von insgesamt 800 Betrieben mit Leiterplattenbestückung, die Flußmittel abreinigen. Zwanzig Betriebe reinigen rein wässrig, vierzig mit Glykolether-Wasser und vierzig mit Glykolether-Isopropanol. Die Zahl der Exschutzanlagen zur Leiterplattenreinigung wird auf 60 Stück geschätzt, da größere Anwenderbetriebe mehr als eine Anlage einsetzen.

3.2 Sonstige Elektronikprodukte

Außer bestückten Leiterplatten gibt es eine Vielzahl anderer elektronischer Teile, die zwecks hoher Oberflächenreinheit auf milde organische Lösemittel, insbesondere Isopropanol, angewiesen sind. Die Zahl der reinen Isopropanol-Anlagen (mit Exschutz) wird auf 30 geschätzt (Zufuhr: 300 t/a). Das Reinigungsgut reicht von Widerständen, Transistoren, optoelektronischen Bauteilen, Halbleitern, Speichermodulen, Tonköpfen bis zu fertigen Baugruppen, die zu Wartungszwecken unzerlegt in Lösemittel getaucht werden. Außerdem braucht die Halbleiterindustrie zum Entlacken rd. 70 t NMP (statt Methylenchlorid), die sie nach 10 t/a Emissionsverlust zum Wiedereinsatz regenerieren läßt. Daher kommt es durch NMP kaum zu Überschreitungen des 2-t-Schwellenwertes.

3.3 Zufuhr, Emissionen, Entsorgung bei der Produktreinigung

Um Zufuhr und Emissionen organischer Lösemittel zur Produktreinigung abzuschätzen, werden die Richtwerte für mittelgroße Anlagen lt. Tabelle 23 verwendet.

Tab. 23: Richtwerte für Zufuhr, Emissionen und Entsorgung organischer Lösemittel in der anlagenbezogenen Elektronik-Reinigung			
	Einsatz/Anlage	Luftemiss./Anlage	Entsorgung
NMP allein	2,0 t	0,3 t	1,7 t*
GE/NMP - Wasser	0,7 t	0,35 t	0,35
GE/NMP - IPA	6,5 t	5,5 t	1,0 t
IPA allein	10,0 t	8,5 t	1,5 t

* Die entsorgte Menge NMP wird zum Wiedereinsatz regeneriert.

GE = Glykolether.

Der Isopropanol-Einsatz ist am größten, wenn er als einziges Lösemittel (wie bei sonstigen Elektronikprodukten) eingesetzt wird (10 t/a). Aber auch bei der in der Leiterplattenreinigung gängigen IPA-Spülung nach Glykolether-Reinigung beträgt der Einsatz im Durchschnitt 6,5 t/a, der Verbrauch weit mehr als der Schwellenwert der VOC-RL. Der IPA-Verbrauch dient vor allem dem Ausgleich der abgesaugten Abgase.

Der niedrige Verbrauch von Glykolether (hier abgekürzt: GE) resultiert nicht nur daraus, daß seine Befüllung meist auf das erste Becken begrenzt ist, sondern auch aus seiner Schwerflüchtigkeit, die wenig Emissionsausgleich erfordert. Der mittlere Verbrauch pro Anlage liegt bei 700 kg/a. In Anlagen mit der Badfolge Glykolether-IPA wird der Schwellenwert der VOC-RL nicht wegen des GE, sondern wegen des IPA überschritten. Der Handhabungsvorteil dieser Badfolge ist die relativ einfache Entsorgung durch Sonderverbrennung aller verworfenen Bäder. Destillative Aufarbeitung der Glykolether-Becken, die 5 bis 10% eingetragene Flußmittel aufnehmen, ist nicht üblich.

NMP allein verursacht durch Entlackungsbäder (Entl.) Emissionen von ca. 0,3 t/Anlage. Folgt auf Glykolether oder NMP wäßrige Spülung, sind die Luftemissionen genauso groß. Es gibt allerdings Verschleppungen ins Spülwasser. Im Durchschnitt werden pro Faß mit verschmutztem Glykolether außerdem drei bis vier Fässer mit Spülwasser, das mit 5% Glykolether belastet ist, entsorgt (Andreß 1997; Lorek 1997). Von einer mittleren Anlage der Badfolge Glykolether-Wasser (0,7 t/a Zufuhr) emittieren 350 kg in die Luft und rd. 50 kg in rd. 1000 kg Abwasser. Dieses wird in Sonderkläranlagen biologisch gereinigt. Die verschmutzten Glykolether selber werden an den Lieferanten zurückgegeben und oft destillativ zu Frostschutzmitteln verarbeitet (Hanek 1998).

Die Gesamtmenge organischer Lösemittel zur anlagenbezogenen Reinigung elektronischer Produkte beträgt jährlich 840 t, davon 690 t Isopropanol (Tabelle 24). Die Emissionen der 60 Großverbraucher mit 90 IPA-haltigen Anlagen: 20 t GE/NMP, 565 t IPA. Die kleinen Anwender (C < 2 t/a) verursachen nur 30 t Luftemissionen.

Tab. 24: Gesamteinsatz und Emissionen organischer Lösemittel bei Reinigungsanlagen für elektronische Produkte in t/a							
Badfolge	Anlagen	Einsatz/Anlage		Gesamteinsatz		Ges. Emission	
		GE/NMP	IPA	GE/NMP	IPA	GE/NMP	IPA
NMP allein (Entl)	35	2,0 t	-	70 t	-	10 t	-
GE/NMP-Wasser	60	< 0,7 t	-	40 t	-	20 t	-
GE/NMP-IPA	60	< 0,7 t	6,5	40 t	390 t	20 t	310 t
IPA allein	30		10,0	-	300 t	-	255 t
Summen				150 t	690 t	50 t	565 t

3.4 Hilfsmittel der elektronischen Fertigung: Siebe und Schablonen

Durch den Rückgang der Leiterplattenreinigung treten in der Elektronik Reinigungsprozesse in der Vordergrund, die früher kaum beachtet und eher nebenbei erledigt wurden. Es geht um Hilfsmittel wie Lötrahmen, Druckschablonen und Drucksiebe. Diese müssen regelmäßig auch in denjenigen Betrieben gereinigt werden, die ihre Leiterplatten ungereinigt lassen. Zu reinigen sind folgende Hilfsmittel:

- Lötrahmen, welche die Leiterplatten beim Wellenlöten transportieren, werden beim Auftrag des Flußmittels mitbenetzt, das antrocknet und den Prozeß stört.
- Schablonen aus Edelstahl oder Kunststoff haben geätzte oder gelaserte Öffnungen, durch die hindurch Lotpaste oder Klebstoff auf die Leiterplatten aufgetragen wird. Zu viele Rückstände von Paste oder Kleber verhindern gleichmäßig saubere Druckbilder auf den Leiterplatten.
- Drucksiebe (oft aus Polyestergerewebe) dienen nicht nur dem Auftrag von Beschriftungen, sondern auch zum Aufdruck von Lotpaste auf die Leiterplatte. Durch ange-trocknete Druckfarbe oder Paste werden sie unbrauchbar.

Aufgrund der zunehmenden Miniaturisierung in der Elektronik gewinnt die Sauberkeit der genannten Hilfsmittel an Bedeutung (Lehmair 1997). In den meisten Betrieben werden sie manuell von Fall zu Fall gereinigt. Üblicherweise wird eine verschmutzte Schablone 5 bis dreißig Minuten lang in einer abgedeckelten flachen Wanne mit Isopropanol oder einem Verdünnergemisch eingeweicht. Danach wird sie mit einem Lappen abgewischt und mit Preßluft zwischen den Feinporen trockengeblasen.

Erst bei größerem Reinigungsanfall werden speziellen Maschinen eingesetzt, in welche die Siebe und Schablonen samt ihren Rahmen eingeschoben werden. Die Reinigung



und Spülung erfolgt durch Aufspritzen von kaltem Lösemittel (meist Isopropanol) mithilfe beweglicher Sprüharme. Eine solche Anlage ist nebenstehend abgebildet. (Abb. 14).

Anschließend findet eine automatische Trocknung durch Abblasen statt, wobei die lösemittelhaltige Abluft nicht in den Arbeitsraum gelangt, sondern nach außen abgeführt wird.

Sicherheitszonen außerhalb der Anlage sind Vorschrift, aber in der Praxis selten.

Abb. 14. Waschanlage für eingeschobene Siebe und Schablonen.

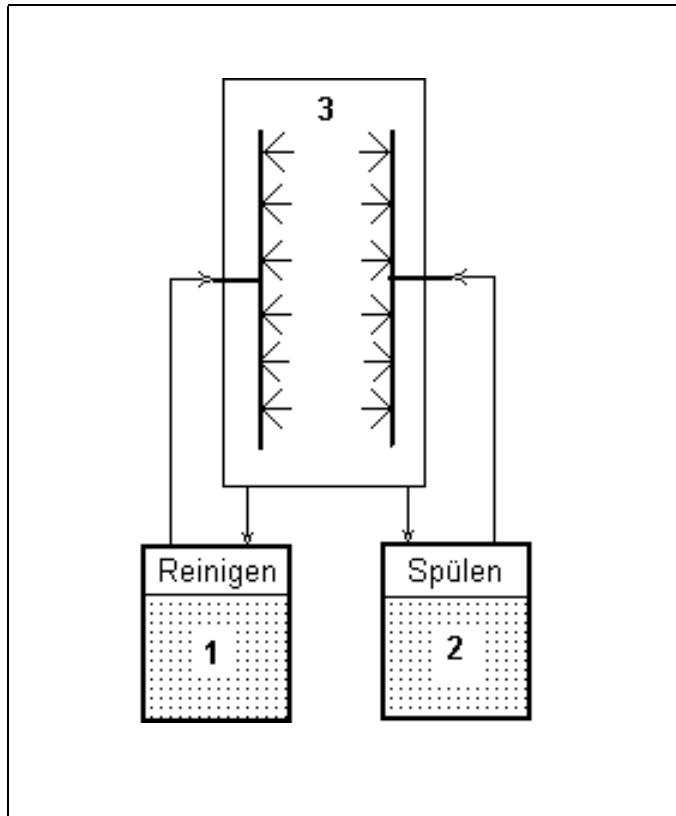


Abb. 15.
Prozeßschema einer gängigen
Sieb- und Schablonen-
Waschanlage (von vorne).

Aus dem Vorratstank (1) wird Lösemittel in die Reinigungskammer (3) gepumpt und 5 Minuten lang mit einem rotierenden Sprüharmsystem auf eingeschobene Schablonen oder Siebe gespritzt.

Nach dem Rücklauf des Reinigers findet der Spülgang aus dem zweiten Tank (2) nach dem gleichen Prozeß statt.

Anschließend wird mit Druckluft getrocknet, die abgesaugt und nach außen geleitet wird.

Die unzulängliche Einhaltung der Sicherheitsauflagen beim Einsatz leicht entzündlicher Lösemittel liegt nicht nur an den Anwendern. Auch Anbieter der Spritzanlagen legen die Exschutz-Auflagen eigenwillig aus. Denn es findet zwar eine Absaugung des explosionsfähigen Luft-Lösemittelgemischs während des Trockenvorgangs statt, die Absaugung unterbleibt aber während der Reinigungs- und Spülphase. Dies spart zwar Lösemittel, ist aber nicht ohne Risiko.

Wäßrige Anlagenreinigung ist bei Schablonen und Sieben noch selten, weil sie lange Zeit als wenig wirksam galt. Bei Löt rahmen dagegen kommt sie öfters vor, weil die Flußmittelrückstände von Kolophoniumharz mit ausreichend hoher Alkalität der wäßrigen Lösung durch Verseifung abwaschbar sind. Außerdem sind die wäßrigen Waschmaschinen für Löt rahmen (Einkammer-Spritzanlagen) nicht sehr teuer.

Die Reinigung der Hilfsmittel findet sowohl manuell als auch in speziellen Anlagen statt. Als organische Reiniger dienen sowohl bei der manuellen als auch der anlagenbezogenen Reinigung Isopropanol, Universalverdünner oder Glykolether.

Zur manuellen Reinigung von wöchentlich ca. 30 Sieben oder Schablonen sind pro Monat 20 bis 30 Liter (jährlich rd. 300 Liter) Lösemittel erforderlich. Die Einsatzmenge steigt oder sinkt kaum, wenn der Durchsatz nicht sehr stark variiert. Üblich ist die monatliche Entsorgung des Behältnisses, das dann noch etwa halbvoll ist. In Kleinbetrieben werden in den Behältern auch Löt rahmen mitgewaschen. Diese kommen in größeren Betrieben entweder in eine eigene - häufig wäßrige - Waschanlage oder in die Leiterplatten-Reinigungsanlage.

Es wird hier angenommen, daß von den 800 Betrieben mit Leiterplattenbestückung 650 ihre Hilfsmittel manuell waschen. Dafür brauchen sie jährlich etwa 200 000 Liter

bzw. (Dichte 0,85) 170 t organische Lösemittel, von denen die Hälfte (85 t) emittiert. Die Anwender verbrauchen durchschnittlich 260 kg/a Lösemittel.

Die übrigen 150 Betriebe reinigen die Hilfsmittel in Siebwaschanlagen (Preis 30 - 40 000 DM). 130 Betriebe haben Lösemittel-, 20 haben wäßrige Anlagen (Krause 1997).

Bei Reinigung in Anlagen finden mehr Waschgänge als bei manueller Reinigung statt - ca. zehn pro Arbeitstag. Pro Waschgang emittieren im Falle von IPA 0,250 Liter, im Falle von Glykolether 0,125 Liter, pro Jahr und Anlage bei IPA 550 Liter, bei Glykolether 275 Liter. Die Vorrattanks mit zusammen 60 Liter Volumen werden monatlich gewechselt und sind bei der Entsorgung noch halbvoll (Körner 1998).

Die Lösemittelzusammensetzung bei der Sieb- und Schablonenreinigung schätzen Experten (Körner 1998) wie folgt ein:

Manuelle Reinigung: 80% IPA - 20% Glykolether.
Maschinelle Reinigung: 40% IPA - 60% Glykolether.

Daraus resultieren die Werte nach Tabelle 25. Die Emissionsrate wird mit 50% der Zufuhr angesetzt - unabhängig vom Lösemittel. Der meist verwendete Glykolether ist kein A-III-, sondern ein "A-II"-Stoff mit einem Flammpunkt bei 41 °C.

	manuelle Reinigung	Siebwaschanlagen
Isopropanol (incl. Verdünner)	135 t	35 t
Glykolether	35 t	55 t
Summe	170 t	90 t

In Siebwaschanlagen werden 90 t Lösemittel eingesetzt, wovon 45 t emittieren.

3.5 Rein manuelle Reinigungen in der elektronischen Fertigung

Neben der Leiterplattenreinigung in Anlagen und der manuellen und Anlagenreinigung von Sieben und Schablonen gibt es in Elektronikbetrieben zahlreiche weitere Reinigungsaufgaben, die für sich genommen nicht umfangreich sind, aber zusammen weitere 100 t Lösemittel erfordern, von denen 60 t emittieren (Zajtschek 1998):

- Bestückte Leiterplatten in Kleinbetrieben oder Kleinserie: Abreinigung von Flußmitteln und anderen Verunreinigungen mit Sprühflaschen oder Aerosolreinigern an Handarbeitsplätzen.
- Kontrolle der Baugruppen vor dem Versand: fallweise Reinigung mit Lappen und Fläschchen.
- Schutzlackierung der Baugruppen: Reinigung von Düsen, Zuleitungen, Klammern mit Verdünner oder Aceton in gedeckelter Wanne mit Lappen und Pinsel.
- Kleinteilige Hilfsmittel wie Dispensernadeln, Rakel usw.: Reinigung in Handbecken.

Diese Aufzählung erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Sie illustriert die Vielfalt manueller Feinreinigungsprozesse in der elektronischen Fertigung.

4 Feinmechanik

Eine klare Definition der Feinmechanik gibt es nicht. Ursprünglich war damit die Uhrenindustrie gemeint, die aber in Deutschland keine große Rolle mehr spielt. Heute ist mit Feinmechanik zum einen die Branche gemeint, die Geräte bzw. Instrumente für Medizin und Labor, Meßtechnik, Optik und Lasertechnik herstellt, die in der Präzision Uhrwerken vergleichbar sind. Zum anderen gehen feinmechanische Komponenten und Bauteile als Zubehör in Produkte anderer Branchen ein, insbesondere in Elektrotechnik und Elektronik, wo sie zu großem Teil auch selbst gefertigt werden. Feinmechanische Teile und Geräte müssen in und nach der Verarbeitung oberflächenrein sein, und daraus ergibt sich die Notwendigkeit milder und fleckenfreier Reinigung und Trocknung.

Wie in der Feinoptik und Elektronik wurde früher auch in der Feinmechanik in breitem Umfang der FCKW-113 eingesetzt und im Zuge seines Verbotes partiell von niedrigsiedenden halogenfreien Lösemitteln abgelöst. Diese waren je fast zur Hälfte Cyclohexan und Isopropanol, deren nichtmanueller Einsatz exgeschützte Anlagen erfordert.

Nach der im Rahmen dieser Studie erfolgten Befragung von Anlagenbauern gibt es in Deutschland in 100 Betrieben mindestens 120 exgeschützte Reinigungsanlagen, die der Feinmechanik und Elektrotechnik zuzuordnen sind (Befragung Exschutz-Anlagen). Im Kernbereich der Feinmechanik liegt der Reinigungsschwerpunkt auf medizinischen Geräten und auf Meßtechnik, in der breiter gefaßten Feinmechanik auf Elektroteilen wie Spulen, Schaltern, Relais sowie auf Geräten wie Vakuumpumpen, Benzinpumpen u. dgl. Hauptsächlich werden Metalle aller Art gereinigt. Die Lösemittel sind zu je 45% Cyclohexan und Isopropanol, gefolgt von Aceton und Spezialbenzin. Die Regel ist: pro Anlage nur ein Lösemittel. Vorreinigung mit Glykolether wie in der Elektronik oder mit NMP wie in der Feinoptik kommt kaum vor. Wäßrige Vorreinigung ist mitunter bei medizinischen Instrumenten anzutreffen, wo Isopropanol nur in den letzten Becken zur fleckenfreien Trocknung eingesetzt wird.

Die Zufuhr in diese 120 Anlagen beträgt rd. 1000 t/a, von denen rd. 800 t emittieren.

Tab. 26: Einsatz organischer Lösemittel in exgeschützte Reinigungsanlagen der Feinmechanik in t/a			
	Anlagen	Zufuhr pro Anlage	Gesamteinsatz
Isopropanol (incl. Benzin)	60	6,7	400
Cyclohexan (incl. Aceton)	60	10,0	600
Gesamt	120		1000

Es bleibt daran zu erinnern, daß es auch in der Feinmechanik, vor allem in der Montage, manuelle Lösemittelreinigung mit Isopropanol, Ethanol, Aceton, Verdünner gibt. Die Mengen sind in den Einzelfällen klein, aber addieren sich zu mindestens 200 t, von denen 150 t emittieren. Stellvertretend für andere seien die Uhrmacher erwähnt. Sie reinigen mechanische Uhrwerke in Kleinanlagen aus drei Behältern je 1 Liter entweder zerlegt oder unzerlegt. Zerlegte Uhrwerke werden nach wäßriger Reinigung mit A-II-Stoff (Wasserverdränger) getrocknet. Unzerlegte werden komplett mit A-II-Lösemittel gereinigt. Der Lösemittelverbrauch für diese Kleinanlagen, die außerdem Sextanten, Kompass, Schmuck u. dgl. reinigen, beträgt über 50 t/a (Jung 1998).

5 Möglichkeiten zur VOC-Emissionsminderung und -Substitution

Über die Hälfte des Lösemittelverbrauchs zur Feinreinigung entfällt auf explosionsgeschützte Anlagen mit emissionsträchtiger Dauerabsaugung. Die große Mehrheit der Reinigungsanlagen überschreitet den 2-t-Schwellenwert der VOC-RL und bei den Emissionen den dann geforderten Abgasgrenzwert von 75 mg C/m^3 . Damit stehen die explosionsgeschützten Anlagen in ihrer bisherigen Ausführung zur Disposition.

Bereits die Ankündigung der VOC-Richtlinie hat zu Absatzeinbrüchen bei diesem Anlagentyp geführt. Es ist daran zu erinnern, daß der Anlagenbestand vorwiegend in der ersten Hälfte der 90er Jahre als Reaktion auf das FCKW-Verbot aufgebaut wurde, als es in der Feinreinigung noch wenig Alternativen gab. Geschlossene vakuumbasierte Anlagen zur Dampfspülung mit halogenfreien A-III-Lösemitteln (Paraffine oder Glykolether) kamen erst später auf den Markt, ebenso optimierte wäßrige und halb wäßrige Verfahren bei Normaldruck. Gemessen an diesen Neuentwicklungen spielen Ex-Schutz-Anlagen für Niedersieder - mit Ausnahme der Feinoptik - bei Neuananschaffungen heute praktisch keine Rolle mehr. Es ist damit zu rechnen, daß die Übergangszeit genutzt wird, den Anlagenpark auf emissionsarme Systeme umzurüsten.

5.1 Wäßrige Reiniger und Hochsieder-Lösemittel in der Feinmechanik

In der feinmechanischen Metallreinigung sind wäßrige Reinigungsverfahren eine technisch bewährte Alternative, weil das Reinigungsgut in der Regel wasserunempfindlich und hitzestabil ist und durch Spülung mit vollentsalztem Wasser die geforderte Fleckenfreiheit bei der Trocknung erzielt werden kann. Zugleich können die Vorteile offener Bauweise (hoher Teiledurchsatz) weitergenutzt werden. Dem steht der Aufwand für die Wasseraufbereitung und die Abwasserentsorgung gegenüber. Mit der - im Kapitel 3 dargestellten - Vakuumtechnik arbeitende geschlossene Lösemittelanlagen garantieren ebenfalls hohe Oberflächenreinheit nach Reinigung und Trocknung. Der Nachteil geringerer Durchsatzleistung geschlossener Einkammeranlagen kann logistisch durch die Aufstellung von zwei Anlagen ausgeglichen werden, die zusammen immer noch preiswerter sind als eine Explosionsschutz-Anlage vergleichbarer Leistung (Hösel 1999).

In der Fachliteratur dokumentiert sind zahlreiche Fälle der Präzisionsreinigung in der Feinmechanik ohne A-I- oder B-Medien. Die Alternativen sind entweder wäßrige Medien oder Reinigung mit Lösemitteln mit Flammpunkt über 55°C . Beispiele:

- Wäßrige Feinstreinigung von Komponenten von Röntgenröhren (Oberauer 1997),
- Vakuumunterstützte Dampfentfettung mit A-III-Kohlenwasserstoffen von chirurgischen Bestecken (Digel 1997),
- Vakuumunterstützte Dampfentfettung mit modifizierten Alkoholen (gängiger Ausdruck für bestimmte Glykolether) von Aluminiumkühlern (N.N. 1997).

5.2 Elektronikreinigung wäßrig, halb wäßrig oder in Lösemitteldampf

Für die Reinigung von Leiterplatten und anderer elektronischer Baugruppen gilt grundsätzlich das gleiche wie für die Feinmechanik. Nachdem es kaum mehr reine Isopropanolreinigung gibt, sondern IPA praktisch noch nur Spülmittel nach einer

Vorreinigung mit Glykolether geworden ist, kann die Badfolge Glykolether-Wasser explosionsgeschützte Anlagen weitestgehend überflüssig machen. In den wenigen Fällen der Elektronik, in denen Wasserkontakt vermieden werden muß und weder der hygroskope Alkohol noch der hygroskope Glykolether zum Einsatz kommen dürfen, können Lösungen mit hydrophoben KW (A-III) geprüft werden - wiederum mit Vakuum-basierter Reinigungstechnik.

Dokumentiert sind in der Fachliteratur neben Fällen der Badfolge Glykolether - Wasser bzw. andere organische Lösemittel mit $F_p > 55 \text{ °C}$ vor Wasser vor allem Praxisfälle des Ersatzes von Isopropanol durch vakuumbasierte Reinigung im Dampf von A-III-Lösemitteln. Beispiele:

- Reinigung von Leiterplatten vor Schutzlackierung in einer 5-Kammeranlage mit der Badfolge Glykolether - Wasser (Hanek 1997),
- Reinigung von Dickschichthybriden mit der Badfolge A-III-Lösemittel (Diketon mit $F_p > 55 \text{ °C}$) - Wasser (Lixton 1996),
- Vakuumunterstützte Flußmittelentfernung von SMD-bestückten Leiterplatten im Glykoletherdampf statt IPA-Reinigung in explosionsgeschützter 5-Kammer-Anlage - mit Berechnung der Kostenersparnis (Böhle 1995a),
- Vakuumunterstützte Flußmittelentfernung von Dickschicht-Hybriden im Glykoletherdampf (Böhle 1995b).

Auch bei Siebwaschanlagen kann auf IPA verzichtet werden. Entweder durch Lösemittelanlagen mit Glykolethern oder durch wäßrige Anlagen. Wäßrige Siebwaschanlagen zu vergleichbarem Preis wie Lösemittel-Sprüh-Anlagen sind seit wenigen Jahren auf dem Markt und bereits in nennenswertem Umfang im Einsatz.

- Beispiel: Reinigung von Siebschablonen auf wäßrig-alkalischer Basis (Kolb 1997).

Ob der Einsatz von unbrennbaren Hydrofluorethern (HFE), die den FCKW-Eigenschaften am nächsten kommen, in der Elektronik notwendig ist, wird hier als Fragestellung offengelassen. Zwar befassen sich namhafte Anlagenanbieter mit diesen Stoffen (Elma, Branson, Multimatic). Aber: Die HFE (vgl. WaRi 1999) haben den ökologischen Nachteil eines beachtlichen Treibhauspotentials (GWP: 500). Ihre extrem hohe Flüchtigkeit macht hohen technischen Aufwand nötig, um in offen betriebenen Anlagen eine Emissionsrückhaltung (ev. durch extreme Tiefkühlung) zu erreichen, die den Lösemittelgrenzwerten der VOC-Richtlinie genügt.

5.3 Feinoptik: Klärungsbedarf bei Minderungsmaßnahmen

Die Branche, für die eine substantielle VOC-Emissionssenkung sowohl in der manuellen als auch der anlagenbezogenen Reinigung eine wirkliche Herausforderung darstellt, ist die Feinoptik. Sie scheint auf milde, leichtflüchtige organische Lösemittel angewiesen zu sein und damit im Anlagenbetrieb auf emissionsverstärkenden Explosionsschutz. Die Abhängigkeit wird mit dem Material erklärt, nämlich der Fülle von wasserunbeständigen Glassorten. Betroffen sind etwa 40 Betriebe, deren rd. 60 Anlagen den von der VOC-RL geforderten Abgasgrenzwert überschreiten und mit ihrer umfangreichen manuellen Reinigung auch den Grenzwert der VOC-RL für diffuse Emissionen nur selten einhalten.

Die von Anlagenbauern diskutierten Möglichkeiten zur Einhaltung des Abgasgrenzwerts von 75 mg C/m^3 sind u.a.:

- Kältefallen durch extreme Tiefkühlung gegen diffuse und Abgasemissionen.
- Katalytische Nachverbrennung mit externer Brennstoffzufuhr in den Abgasstrom.
- Nichtkatalytische Nachverbrennung mit externer Brennstoffzufuhr in das Abgas.
- Aktivkohlefilter in exgeschützter Ausführung, um Doppelanlagen zu ermöglichen.

Keine der benannten Maßnahmen ist bisher in der Optikbranche installiert. Erfahrungen liegen nicht vor. Ihre Kosten liegen an der oberen Zumutbarkeitsgrenze: Sie werden in der Anschaffung auf mindestens die Hälfte des Preises einer ganzen Reinigungsanlage beziffert (KLN 1999). Sie sind außerdem zweitens nicht umweltfreundlich, da sie sehr energieaufwendig sind bzw. fossile Ressourcen (Aktivkohle) verbrauchen.

Um die hohen diffusen Emissionen aus manuell-offener Anwendung einzuschränken, ist die bisherige Arbeitsweise mit betriebsoffenen Behältern zu überprüfen.

Auf Vorschläge von Anwenderseite, wie die künftigen Emissionsgrenzwerte einzuhalten sind, sind die Verfasser vorliegender Studie im Rahmen ihrer Recherchen bei optischen Betrieben nicht gestoßen. Der Prozeß scheint noch nicht in Gang gekommen zu sein.

Gleichwohl ist der betriebliche Sachverstand und Einfallsreichtum der beste Garant, auf neue Anforderungen mit praktikablen und wirksamen Lösungen zu reagieren.

6 Emissionssenkung nach VOC-RL und nach Stand der Technik

In der Präzisionsreinigung zeigt die 1 : 1-Umsetzung der VOC-RL beachtliche Wirkung. Die VOC-Gesamtemissionen in Höhe von 2755 t sind durch strikte Einhaltung ihrer Emissionsgrenzwerte bei Betrieben über dem 2-t-Schwellenwert um 1915 t (70%) zu kürzen. Die starke Wirksamkeit der VOC-RL zeigt sich u.a. daran, daß das darüber hinaus bestehende Minderungspotential aufgrund genereller Einführung des Standes der Technik lediglich 100 t/a beträgt. Siehe dazu Tabelle 27.

6.1 Emissionssenkung durch Einhaltung der VOC-RL: 1915 t/a

Die Bedingungen für Emissionssenkungen um 1915 t durch die VOC-RL sind folgende.

1. In der Feinmechanik stellen die 100 Anwender von 120 Exschutzanlagen (vgl. Tabelle 26) durchweg auf Lösemittel mit Flammpunkt $> 55 \text{ °C}$ um: je zur Hälfte auf offene "halbwäßrige" Verfahren bzw. auf Anwendung reiner Lösemittel in geschlossenen Anlagen mit Vakuumunterstützung. Pro Betrieb emittieren im Durchschnitt nicht mehr 8 t/a (im Abgas und diffus), sondern nur noch etwa 0,5 t (diffus). Die verbleibenden 50 t VOC-Emissionen bedeuten eine Senkung um 750 t.
2. In der Produktreinigung der Elektronik werden bei 60 Großanwendern die 60 Anlagen mit Badfolge Glykolether - IPA und die 30 reinen IPA-Anlagen ersetzt (vgl. Tabelle 24). Wieder wird unterstellt, daß dies je zur Hälfte durch halbwäßrige Systeme bzw.

geschlossene A-III-Anlagen mit Dampfzone geschieht. Damit entfallen 565 t/a IPA-Emissionen. Dafür entstehen ca. 30 t/a neue VOC-Emissionen. Senkung: 535 t/a.

3. Durch Hilfsmittelreinigung der Elektronik allein wird der 2-t-Schwellenwert in kaum einem Betrieb überschritten, der nicht bereits für seine Produktreinigung (Leiterplatten) Lösemittel einsetzt. Deren Zahl beläuft sich auf 80. So viele Betriebe sind durch die VOC-RL gehalten, auch ihre Hilfsmittelreinigung (Siebe und Schablonen) emissionsärmer zu gestalten. Hier wird angenommen, daß diese Betriebe nicht manuell, sondern in Lösemittel-Siebwaschanlagen reinigen. Die Emissionen daraus betragen 50% von 55 t Lösemittelleinsatz: ca. 27 t. Gezwungen, die Emissionen auf 20% zu reduzieren, ist eine Senkung um über 15 t VOC-Emissionen erforderlich.

4. In der Feinoptik werden bei Anlagen die Emissionsgrenzwerte eingehalten: maximale Abgaskonzentration von 75 mgC/m^3 sowie außerdem 20% diffuse Emissionen auf die Einsatzmenge. Statt 5 t/a VOC pro Anlage emittieren dann nur noch ca. 1,3 t/a: 0,3 t/a im Abgas und 1 t/a diffus. Das sind pro Anlage rd. 75% VOC-Emissionen weniger. Aus allen 60 Anlagen emittieren statt 300 t/a nur 75 t/a bzw. 225 t/a weniger.

5. In der Feinoptik besteht das größte Minderungspotential bei den diffusen Emissionen aus der manuellen Reinigung. Wenn es gelingt, die Emissionsrate auf 1300 t Einsatzmenge von 50% auf 20% zu reduzieren, emittieren statt 650 t/a nur noch 260 t/a. Das ist eine Senkung um 390 t/a.

Tab. 27: Emissionssenkung durch 1 : 1 Umsetzung der VOC-RL sowie zusätzlich durch Maßnahmen nach Stand der Technik (Feinreinigung)	
Ausgangsemissionen: 8600 t	
Emissionssenkung durch 1 : 1-Umsetzung der VOC-RL (nur Anwender > 2 t/a)	1915
Feinmechanik: Umstellung auf A-III-Lösemittel	750 t
Elektronik: Produktreinigung mit A-III-Lösemitteln	535 t
Elektronik: Emissionsrate Siebreinigung von 50% auf 20%	15 t
Optik: Anlagen Abgas-/diffuse Emissionen auf Grenzwert	225 t
Optik: Manuelle Emissionen von 50% auf 20%	390 t
Zusätzliche Emissionssenkung durch Maßnahmen nach Stand der Technik (unabhängig von der VOC-RL)	100 t
Feinmechanik: 50% Ersatz durch wäßrige Reinigung	25 t
Elektronik: Mehr wäßrige Siebwaschanlagen	75 t
Feinoptik: keine zusätzlichen Maßnahmen	0 t
Emissionssenkung durch alle Maßnahmen zusammen	2015 t

6.2 Zusätzliche Emissionssenkung durch Stand der Technik: 100 t/a

Zusätzliche Emissionsminderungen durch weitergehende Maßnahmen nach dem Stand der Technik ergeben sich durch breiteren Einsatz wäßriger Reinigung. Allerdings ist das Minderungspotential auf 100 t begrenzt.

1. In der Feinmechanik sind die durch die VOC-RL auf 50 t/a reduzierten Emissionen um die Hälfte zu senken, wenn in der Hälfte der Fälle der Ersatz der Exschutzanlagen nicht durch KW-Anlagen, sondern durch wäßrige Anlagen erfolgt. Wirkung: 25 t/a.

2. Während bei der Produktreinigung in der Elektronik rein wäßrige Systeme nur in wenigen Fällen halbwäßrige oder KW-Systeme ersetzen können, sind die KW-Siebwaschanlagen fast sämtlich durch wäßrige substituierbar. Damit kommt es zu 45 t/a weniger Lösemittlemissionen aus Siebwaschanlagen (vgl. auch Tabelle 25). Darüber hinaus ist auch ein Teil der manuellen Lösemittelreinigung von Sieben und Schablonen auf (wäßrige) Anlagen übertragbar, wodurch mindestens weitere 30 t/a VOC-Emissionen entfallen.

3. In der Feinoptik besteht bei der Anlagen- und manuellen Reinigung kein absehbarer zusätzlicher Spielraum für Emissionssenkungen gegenüber der VOC-RL.

Nachweise zu Kapitel 5

- Andreß, Jörg (Honeywell Regelsysteme GmbH) Maintal, Fachgespräch 3.12.1997;
Befragung Exschutz-Anlagen = Direkte Befragung der führenden Hersteller
explosionsgeschützter Reinigungsanlagen in Deutschland
Branson Ultraschall, Dietzenbach (Christine Böhle) 2.2.1998; Elma - Hans
Schmidbauer GmbH & Co KG, Singen (Christoph Jung) 10.9.1998; KLN
Ultraschall GmbH, Fürth/Odenwald (Horst Neumann) 17.3.1998; Naicotec,
Merenberg (Achim Hain) 16.9.1999;
- Böhle, Christine: Flußmittel entfernen: neue Wege. Teilereinigung in der Dampfzone, in:
Metalloberfläche 4/1995a;
- Böhle, Christine: Feinstreinigung in der Elektronikfertigung. Reinigung mit AIII-Medien in
der Dampfzone - ein Praxisbeispiel, in: Metalloberfläche 11/1995b;
- Busch, Jochen (M. Hensoldt & Söhne AG) Wetzlar, Fachgespräch 3.4.1998;
- Digel, Hartmut: Churgisch clean. Reinigen von Bestecken in der Medizintechnik, in: mo
51 (1997) 9, 630-631;
- F+O (Verband der deutschen feinmechanischen und optischen Industrie e.V.) Köln,
pers. Mitt. 23.9.1999;
- Gölz, Helmut: Leichtflüchtige brennbare Lösemittel. Einsatz und Anlagentechnik, in:
JOT 2/1992;
- Hain, Achim (Naicotec GmbH) Merenberg, Fachgespräch 16.9.1999;
- Hamm (Siemens AG Medizinische Technik) Rudolstadt, pers. Mitt. 28.9.1999;
- Hanek, Martin (Dr.O.K.Wack Chemie GmbH), Ingolstadt, pers. Mitt. 27.10.1998;
- Hanek, Martin: Schlüsselfertiger Reinigungsprozeß für Ericsson, in: productronic 11/97,
80-84;
- Hoeckle, Ralph/Hanek, Martin (Dr.O.K.Wack GmbH): Reinigen: Oberflächenqualität
ohne Kompromisse. Trends in der Elektronik rund ums Reinigen, in: SMT 2/96,
27-30;
- Hösel, Peter (Emo Oberflächentechnik) Bretten, pers. Mitt. 1.9.1999;
- Jung, Christoph (Elma - Hans Schmidbauer GmbH & Co KG) Singen, Fachgespräch
10.9.1998;
- KLN 1998: KLN, Ultraschall-Reinigen und Trocknen in ex-geschützten Anlagen,
Handbuch o.J. (1998);
- KLN Ultraschall GmbH, Heppenheim, pers. Mitt. (Rolf Schmidt) 16.6.1999;
- Kolb GmbH: Reinigungssystem für Siebschablonen ohne Lösungsmittel, in: SMT
Ausgabe 3/97, 10-11;
- Körner, Ralf (Systronic - Systemlösungen für Elektronikproduktion GmbH) Flein,
Fachgespräch 16.9.1998;
- Krause, Detlev (Kolb Fertigungstechnik GmbH) Willich, pers. Mitt. 5.12.1997;
- Lehmair, Erich, Neue Wege in der Schablonen- und Siebreinigung, in; productronic
9/97, 14-16;
- Lixton Spezialreiniger: Reinigung von Leiterplatten und Flachbaugruppen, in: SMT
Ausgabe 8/98, 22-23;
- Lorek, Michael (VDO Luftfahrtgerätewerk GmbH) Frankfurt am Main, Fachgespräch
11.12.1997;
- N.N.: Hochwirksam reinigen unter Vakuum, in: JOT 1997/11, 46-49;
- Neumann, Horst (KLN Ultraschall GmbH) Fürth/Odenwald, Fachgespräch 17.3.1998;
- Oberauer, Tobias: Feinstreinigung von Röntgenröhren, in: JOT 1997/11, 50-51;

108 *Feinreinigung*

Wachs, Ullrich (Redaktion SMT - Surface Mount Technology) Ingelheim, pers. Mitt.
23.9.1999;

WaRi (Dr.O.K.Wack Chemie): Ist Reinigen in der Elektronikfertigung heute noch ein
Thema, in: PLUS- Produktion von Leiterplatten und Systemen 5/99, 713-720;

Wieser, Siegfried (Leica Mikroskopie und Systeme GmbH) Wetzlar, Fachgespräch
28.10.1997

Zaijtschek, Reiner (Mannesmann VDO AG) Karben, Fachgespräch 19.1.1998

ZH1/10: Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften, Regeln für die
Vermeidung der Gefahren durch explosionsfähige Atmosphäre mit
Beispielsammlung - Explosionsschutz-Regeln - (EX-RL), ZH1/10, Juni 1998, Köln
1998;

6. Kapitel

Entlackung

Zusammenfassung

Wo Aluminium oder verzinkte Oberflächen nach Fehlbeschichtung zu entlacken sind, werden organische Entlackungsmittel eingesetzt. Ihre Wirkungsweise besteht im Anquellen des Lackbindemittels. Die Fähigkeit organischer Lösemittel wie N-Methyl-Pyrrolidon und verschiedener Glykolether zum Anquellen des Lacks wird auch bei wäßrig-alkalischen Entlackungsmitteln für Stahl genutzt, die ansonsten aus Kali- oder Natronlauge bestehen.

Anwendung	Einsatz in t/a	Luftemission in t/a	Regenerat t/a	Entsorg.* in t/a
Entlackung	2500	370	1130	1000
Organische Entlackung	2000	300	1100	600
Wäßr.-alkalische Entlackung	500	70	30	400

* Beseitigung durch biologischen Abbau in der Kläranlage.

Die Zahl der selbstentlackenden Betriebe, die organische Lösemittel einsetzen, beträgt etwa hundert Großverbraucher und hundert Kleinbetriebe, die nur ab und zu entlacken.

Von der jährlichen Frischwarezufuhr entfallen weit über 95% auf die hundert Großverbraucher, die durchweg mehr als 5 t/a Lösemittel verbrauchen, mithin den Schwellenwert der VOC-RL weit überschreiten. Die meisten dieser Betriebe entlacken sowohl organisch als auch wäßrig-alkalisch.

Hohe Siedebereiche der organischen Entlackungsmittel und ihr Einsatz in geschlossenen Tauchbecken begrenzen Luftemissionen auf die Lösemittelverdunstung während des Überhebens des Entlackungsguts vom Bad ins wäßrige Spülbecken.

Im Durchschnitt betragen die dabei entstehenden diffusen Luftemissionen ca. 15% der frisch eingesetzten Lösemittel. Auf die 2500 t organische Lösemittel bezogen, belaufen sich diese jährlichen VOC-Emissionen aus der Entlackung auf 370 t.

Aus den Bädern gelangen über das Abspülwasser über 700 t organische Lösemittel in die betriebliche Abwasserbehandlung, die sie weitgehend passieren, um erst in der (betrieblichen oder kommunalen) Kläranlage abgebaut zu werden. Nachfolgend werden diese Emissionen nicht als diffuse Emissionen gezählt, obwohl dies eine mögliche Interpretation ("Verluste in Wasser" bzw. "Output 2") wäre. Sie gelten nach Meinung der Verfasser als Entsorgung, da sie infolge biologischen Abbaus nicht als VOC in die Atmosphäre gelangen.

Die VOC-RL erfaßt durch ihre Schwellenwerte zwar fast alle Emissionsquellen, fordert aber durch ihre Emissionsgrenzwerte (20% des Einsatzes) für sich genommen keine Emissionsminderung, da die Grenzwerte generell unterboten werden.

Unabhängig von der VOC-RL ist eine Emissionsreduzierung um ca. 20% oder 70 t kurzfristig realisierbar und ökonomisch zumutbar.

1 Die Entlackungsverfahren

Im Lackierbetrieb müssen die mitlackierten Hilfsmittel wie Lackiergehänge oder Gitterroste regelmäßig entlackt werden, damit sie funktionsfähig bleiben. Darüberhinaus fallen zur Entlackung immer wieder fehlbeschichtete Produktionsteile an. Bis Mitte der 80er Jahre dominierte die chemische Kaltentlackung mit Methylenchlorid. Mit diesem Universalmittel konnten praktisch alle Beschichtungen von sämtlichen Werkstoffen (einschließlich Holz) entfernt werden. Die Entsorgung war für die Umwelt, aber nicht für die Anwender problematisch, weil das eingesetzte Entlackungsmittel praktisch vollständig verdunstete. Der CKW-Ausstieg beförderte nicht nur thermische und mechanische Entlackungsverfahren, sondern führte auch innerhalb der chemischen Entlackung zu einer Differenzierung der Entlackungschemikalien.

Die Verfahren zur Entlackung gliedern sich in drei Hauptklassen (Müller 1996, 81 ff.):

- Thermische Entlackung. Der Lack wird bei Temperaturen $> 400\text{ °C}$ in einer Kammer oder im Wirbelbett verschwelt. Die Schwelgase werden danach verbrannt. Zu entsorgen bleibt Lackasche. Dieses Verfahren ist schnell wirksam und vom Mengendurchsatz her heute führend, insbesondere bei Stahlteilen (Antony 1999).
- Mechanische Entlackung: Der Lack wird durch den Aufprall körniger Strahlmittel oder eines Hochdruckwasserstrahls abgetragen. Zu entsorgen sind im ersten Fall Staub aus Lack und Strahlmittel und im zweiten Fall ein Gemisch aus Wasser und ausgehärtetem Lack. Hauptverwendung: Grobe Wareträger wie Gitterroste.
- Chemische Entlackung: In erwärmten wässrigen Lösungen oder organischen Lösemitteln wird die Lackschicht angequollen und aufgelöst. Aufwendig ist die Entsorgung, da außer verunreinigtem Entlackungsmittel auch Lackschlamm anfällt.

2 Chemische Entlackung

In der chemischen Entlackung kommen im wesentlichen Entlackungsmittel aus drei Produktgruppen zum Einsatz (Werner 1997, 366; Eisenmann 1990).

1. Wässrig-alkalische Entlackungsmittel. Rein anorganisch sind im Grunde nur Ablaugungsmittel für Möbel (10%-ige NaOH-Lösung). Stahl-Entlackungsmittel bestehen zu ca. 75% aus 10%-iger Kali- oder Natronlauge. Ihre restlichen 25% sind organische Quellmittel (VOC), welche die Laugen befähigen, in den Lackfilm einzudringen und ihn zu zersetzen. Diese Entlackungsmittel sind mit Eisenwerkstoffen, Kupfer, Magnesium, Messing verträglich und entfernen die meisten Naßlacke sowie Pulverlacke auf Basis von Polyester, PUR und Mischpulver (Antony 1992).

2. Saure Entlackungsmittel. Bei Epoxy-Lack haben alkalisch-wässrige Mittel ihre Grenzen. An ihrer Stelle wird - in geschlossenen Anlagen bei Lohnentlackern - wasserfreie (96%-ige) Schwefelsäure eingesetzt, die den Lack auflöst.

3. Organische Entlackungsmittel. Sie sind für Aluminiumteile und verzinkte Oberflächen bestimmt, die keine wässrige Alkalität vertragen⁴². Wirkungsweise: Durch Anquellen und Anlösen der Lackschicht ermöglichen sie dem in ihnen enthaltenen freien Alkali (meist

⁴² Thermische und mechanische Entlackung kommen für diese Metalle ebensowenig in Frage.

2-4% Kaliumhydroxid), das Bindemittel zu zersetzen (Verseifung). Organische Entlackungsmittel entfernen überwiegend Pulverlack auf Polyesterbasis. Das ist die gängige Beschichtung auf dekorativen Aluminiumoberflächen.

Generell gilt für die Entlackung von Lackiervorrichtungen und Fehlchargen: Sie findet entweder im Hause statt oder bei einem Dienstleister (Lohnentlackner). Der apparative und personelle Aufwand für Betrieb und Entsorgung einer Entlackungsanlage ist groß und lohnt sich nur bei hoher Auslastung. Das ist der Hauptgrund, weshalb trotz des Transportaufwands für die Entlackung außer Haus die große Mehrzahl der Lackierbetriebe den Lohnentlackern den Vorzug gibt (Schlaich 1998).

Im speziellen Fall der organischen Entlackung, um die es in diesem Kapitel primär geht, gilt gleichfalls der generelle Trend: Es wird regelmäßig nur dort selbstentlackt, wo eine betriebliche Abwasserbehandlung vorhanden und die Auslastung der Anlagen finanziell vertretbar ist. Das heißt nicht, daß dies nur bei den ca. 20 Lohnentlackern der Fall ist. Aber: Außer diesen entlacken regelmäßig nur solche Betriebe organisch, die einen großen Lackierdurchsatz von Aluminiumteilen haben. Das sind etwa 40 spezialisierte Aluminiumbeschichter (Lohnlackierer) und etwa 40 Großbetriebe mit Schwerpunkt Auto- und Autozulieferindustrie (Befragung Entlackungsmittel). Darüber hinaus gibt es ca. 100 Betriebe, die mit kleinen Verbrauchsmengen ab und zu organisch entlacken⁴³.

Weiterhin ist anzumerken, daß überall dort, wo fehlackierte Aluminium- oder verzinkte Teile mit organischen Entlackungsmitteln behandelt werden, außerdem auch die im Normalbetrieb mitlackierten Gestelle und Haken regelmäßig entschichtet werden müssen. Andernfalls verlieren sie ihre für die Pulverbeschichtung notwendige elektrische Leitfähigkeit. Da die Lackiervorrichtungen aus Stahl gefertigt sind, sind sie nicht auf organische Entlackungsmittel angewiesen, sondern können thermisch oder wäßrig-alkalisch entlackt werden. Die Hauptanwender wäßrig-alkalischer Entlackungsmittel, die nur etwa ein Drittel der organischen Entlackungsmittel kosten, sind Lohnentlackner, gefolgt von den Aluminiumbeschichtern. Entlackungsgut sind nur selten Produktionsteile, sondern fast ausschließlich Lackiervorrichtungen (Haken u. dgl.).

3 Organische Entlackung: Entlackungsmittel, Anlagen, Prozeß

Die wäßrig-alkalische Entlackung ist für die VOC-Problematik von weitaus geringerer Bedeutung als die organische Entlackung, da ihre Standardformulierungen nur zu 25% aus organischen Lösemitteln (meist Glykolethern) bestehen. Die Hauptaufmerksamkeit des vorliegenden Kapitels gilt der organischen Entlackung. Dieser Begriff ist wegen des 2-4%-igen Zusatzes von Anorganik zwar nicht ganz korrekt. "Aluminiumentlackung" wäre treffender. Diese Unschärfe muß im Auge behalten werden, wenn nachfolgend der Einfachheit halber von "organischen Entlackungsmitteln" gesprochen wird.

⁴³ Einen Gegentrend im Bereich der Leichtmetallentlackung zur dezentralen "Entlackung im eigenen Haus" sieht Schlaich (1998). Sein Unternehmen bietet Lieferung und Entsorgung organischer Entlackungschemikalien zusammen mit "flexibler Anlagentechnik" an. Dabei handelt es sich um Einkammer-Spritzautomaten (von 47 000 DM aufwärts) für den Chargenbetrieb "speziell für fehlbeschichtete Produktionsteile und dünn beschichtete Lackierhilfsmittel, die möglichst nach jedem Umlauf entlackt werden müssen" (ESC 1998). Aussagen zur quantitativen Bedeutung dieser dezentralen Kleinteileentlackung sind widersprüchlich. Nach unserer Schätzung sind maximal 40 t oder 2% des jährlichen Gesamtverbrauchs organischer Entlackungsmittel betroffen, sofern die behauptete Zahl "bereits 100 selbstentlackende Betriebe" mit jährlich jeweils 0,4 t Chemikalienzufuhr zutrifft.

3.1 Standardrezepturen organischer Entlackungsmittel

Chemisch bestehen halogenfreie organische Entlackungsmittel überwiegend (zu fast 90%) aus N-Methyl-Pyrrolidon und (höhersiedenden) Glykolethern. Deren Aufgabe ist es, die Lackschicht anzuquellen. Ein Zusatz von 2 bis 4% wasserfreiem Kaliumhydroxid sorgt für die Alkalität, die zur Zersetzung des angequollenen Lacks durch Verseifung führt. (Aus KOH und Lackbindemittel bildet sich eine organische Kaliumverbindung.) Um das KOH in die wasserfreien Lösemittel einzubringen, wird Glykol als Lösevermittler benutzt. Tabelle 28 gibt eine typische Rezeptur wieder.

Substanz	Gewichtsprozent	Siedepunkt
N-Methyl-Pyrrolidon (NMP)	30%	204,3 °C
Ethylidiglykol (EDG)	47%	201,9 °C
Methylidiglykol (MDG)	10%	193,8 °C
Monoethylenglykol (MEG)	10%	197,6 °C
Kaliumhydroxid (KOH)	3%	-

Quelle: Befragung Entlackungsmittel.

Bei der Formulierung organischer Entlackungsmittel sollen die Siedepunkte und Dampfdrücke der Komponenten möglichst nahe beieinander liegen, damit sich ihre Zusammensetzung im Bad (durch ungleichmäßige Verdunstung) bzw. bei der destillativen Aufarbeitung möglichst wenig verschiebt. Bei dem in Tabelle 27 dargestellten Mittel beträgt die Spanne der Siedepunkte ca. 10 °C: Sie reicht von 193,8 °C (Methylidiglykol) bis 204,3 °C (N-Methyl-Pyrrolidon). Die Flammpunkte der hier verwendeten Glykolether und des NMP liegen bei 91 bzw. 93 °C. (Da diese Lösemittel beliebig mit Wasser mischbar sind, unterliegen sie nicht der VfF.)

Der hohe Siedebereich der organischen Entlackungsmittel um ca. 200 °C ist gewählt, um die Verdunstung aus dem Bad, das in der Regel bis 50 oder 60 °C erwärmt ist, einzuschränken. Die Badoberfläche wird außerdem häufig mit einer Weißölschicht bedeckt. Das sind hochreine Isoparaffine, die dem Entlackungsmittel im Umfang von ca. 10% zugegeben werden und im Bad aufgrund ihrer niedrigeren Dichte aufschwimmen. Diese Schicht soll erstens Emissionen nach außen behindern und zweitens Luftfeuchtigkeit vom Bad fernhalten. NMP und Glykolether ziehen Wasser an. Gegenüber Wasser bzw. wässrig-alkalischer Lösung ist Aluminium aber nicht beständig genug⁴⁴.

3.2 Typische Entlackungsanlagen

Aufgrund der langen Eintauchzeit von mehreren Stunden findet die organische Entlackung nicht in Durchlaufanlagen statt, die in Lackierstraßen integriert sind. Anlagen zur organischen Entlackung sind nur selten von speziellen Anlagenbauern hergestellt, welche die Lackieranlage errichten. Vielmehr handelt es sich um ebenerdig stehende oder in den Boden eingelassene großvolumige Tauchbecken einfacher Bauart, die abgedeckelt werden können (s. Abb. 16). Mengenmäßig wichtigstes Entlackungsgut sind Aluminiumprofile für Fenster und Türen, die vom Aluminiumpreßwerk auf 6 Meter Länge genormt sind. Darum sind die typischen Abmessungen der Tauchbehälter 7 Meter Länge, 2 Meter Tiefe und etwa 0,60 Meter

⁴⁴ Die Erwärmung des Entlackungsbades dient u.a. der Vermeidung unerwünschter Wasseraufnahme.

Breite. Das ergibt ein Volumen von über 8 Kubikmetern. Die Badbeheizung findet indirekt über Wärmetauscherplatten oder Heizschlangen mittels Heißwasser statt. Der Beckenboden läuft meist gegen die Mitte hin trichterförmig nach unten, damit der sedimentierte Lackschlamm abgezogen kann.

3.3 Der Grundprozeß der betrieblichen Entlackung

Beschickung und Entladung des Entlackungsbeckens erfolgen mittels Kran, der die fehllackierten Profile in einem Stahlkorb oder dgl. ins Bad senkt (s. Abb. 16). Bei geschlossenem Deckel bleiben die Fehlchargen zwischen 3 und 24 Stunden eingetaucht. In dieser Zeit finden kaum VOC-Emissionen statt. Am Ende der Entlackung werden die Teile herausgehoben und abtropfen lassen. In diesen wenigen Minuten kommen Luftemissionen vor, und zwar (diffuse) Abdunstungen von den nassen und zugleich warmen Teilen. Nach dem Abtropfen wird der beladene Korb in ein Spülbecken gesenkt, wo noch anhaftendes Entlackungsmittel und Lackreste mit Wasser abgespritzt werden. Das Spülwasser wird vor Einleitung in die Kanalisation in der Abwasseranlage von Feststoffen befreit (Kammerfilterpresse) und neutralisiert, Abdecköl wird vorher mit einem Ölabscheider entfernt. Entlackungsmittel im Spülwasser wird in der biologischen Stufe der eigenen oder kommunalen Kläranlage abgebaut. Die Komponenten sind schwach wassergefährdend (WGK 1), verursachen allerdings hohe CSB-Werte. Eine Abwasserbehandlungsanlage ist bei Lohnbeschichtern, Lohnentlackern und Großbetrieben der Auto- und Autozulieferindustrie, vorhanden.

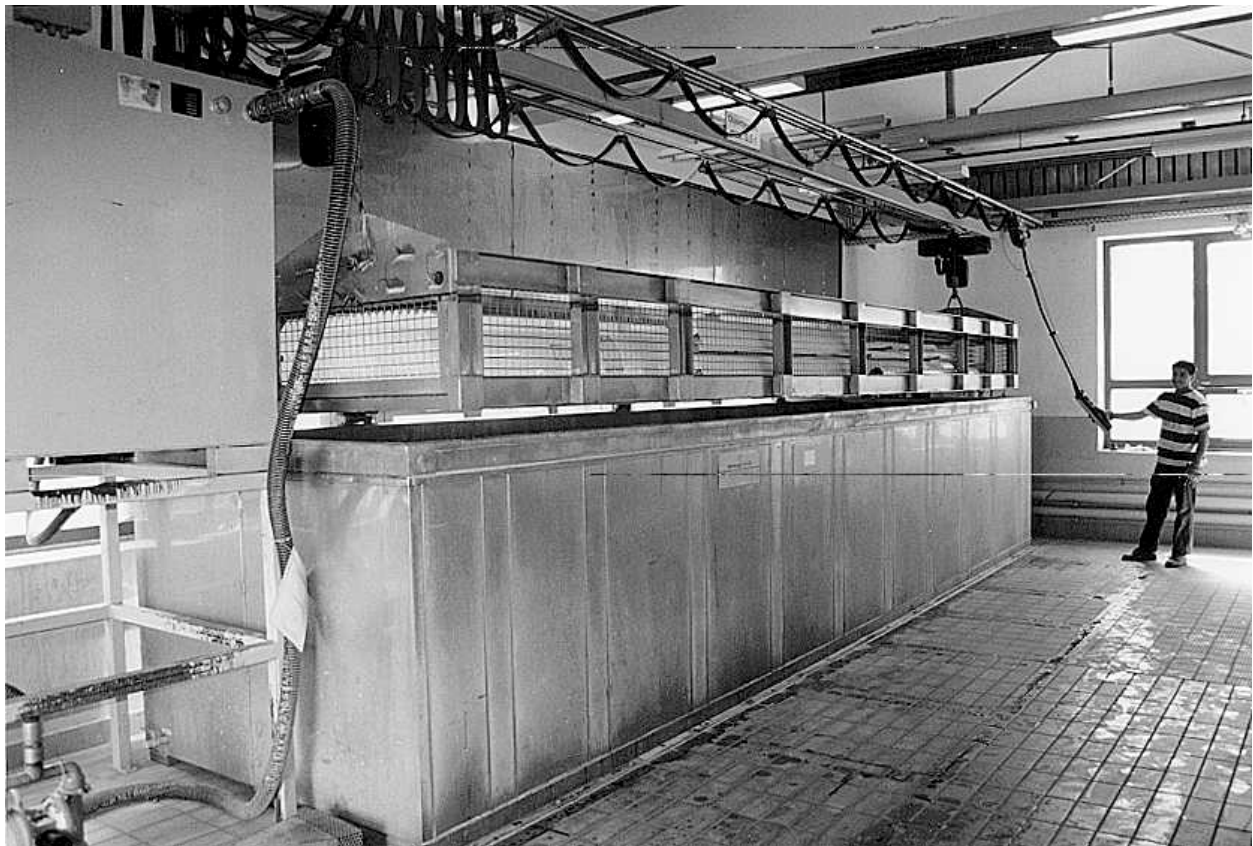


Abb. 16: Moderne Entlackungsanlage für Aluminiumteile (Baujahr 1997). In das Becken aus Edelstahl wird der Korb mit dem Entlackungsgut pneumatisch eingetaucht. Während der Entlackung wird der Deckel geschlossen. Links im Bild die Filtereinheit für den Lackschlamm (Teilansicht). Foto aus JOT 1997/10.

Der größte Arbeitsaufwand bei der organischen Entlackung ist durch den Lackschlamm bedingt. Üblich ist eine regelmäßige Badpflege zur Standzeitverlängerung in der Weise, daß das Entlackungsmittel - meist am Wochenende - entschlamm wird. Der ca. 30 cm hohe Bodenschlamm wird abgesaugt, um vom Entlackungsmittellieferanten extern aufgearbeitet zu werden. Stand der Technik, wenn auch bestenfalls in der Hälfte der Anwendungsfälle Realität, ist die betriebliche Eindickung des Schlammes, der noch einen Lösemittelgehalt von mindestens 75% hat, durch Filterung. Das Filtrat wird ins Bad zurückgeleitet und stellt somit intern rückgewonnenes Entlackungsmittel dar, das den Bedarf an Frischware entsprechend reduziert.

Eingedickter Lackschlamm (Lösemittelanteil etwa 60%) oder betrieblich nur zwischengelagerter "Dünnschlamm" werden vom Händler abgeholt und destillativ aufgearbeitet. Dabei bleibt praktisch nur Feststoff (Lackpulver) als Sonderabfall übrig. Das Destillat wird zur Formulierung frischer Entlackungsmittel genutzt. Vom Anwender gesehen ist dies eine externe Entlackungsmittel-Rückgewinnung. Die Frischware, die aus Schlammdestillat und neuen Rohstoffen besteht, dient zum Ausgleich der betrieblichen Entlackungsmittelverluste durch Luftverdunstung, Spülwasserverschleppung und die Schlammabgabe an den Händler.

4 Der inländische Kreislauf der organischen Entlackungsmittel

In keinem anderen Bereich der Oberflächenreinigung gibt es ein so gut ausgebautes Bring- und Holsystem für die Lösemittel wie bei den organischen Entlackungsmitteln. Der Begriff "Kreislauf" ist durchaus gerechtfertigt: Die Händler beliefern nicht nur regelmäßig die Anwenderbetriebe mit Frischware zum Nachfüllen, sondern holen auch den Lackschlamm ab. Diesen destillieren sie aus, um Rohstoffe für neue Entlackungsmittel zu gewinnen. (Die Händler sind zugleich Formulierer.) Destillation lohnt sich, weil die Preise die in der Lösemittelbranche für Rückgewinnung als kritisch geltende Untergrenze von 3 DM/kg übersteigen.⁴⁵

Die jährliche Einkaufsmenge organischer Entlackungsmittel für selbstentlackende Aluminiumbeschichter beträgt zwischen 10 und 30 Tonnen. Lohnentlacker kaufen bis zu 80 und mehr Tonnen (Saul 1998). Der gesamte inländische Handelsabsatz wird auf 2000 t/a geschätzt, die sich im wesentlichen auf etwa 100 Betriebe verteilen. (Befragung Entlackungsmittel).

Von dieser Frischware, die die Händler aus Lackschlammdestillat und zugekauften Rohstoffen formulieren, gehen bei den Anwendern im Durchschnitt 45% oder 900 t/a durch Verdunstung (300 t/a) und Verschleppung (600 t/a) verloren. Der in einem Jahr rückgenommene Lackschlamm - Dünnschlamm und eingedickter Schlamm zusammen - enthält außer Feststoffen noch 1100 t Lösemittel. Diese gewinnt der Handel durch destillative Aufarbeitung zurück, und ergänzt sie mit 900 t zugekauften Rohstoffen zu wiederum 2000 t frischen Entlackungsmitteln.

Die Abbildung 17 veranschaulicht diesen Kreislauf zwischen Händlern und Anwendern in seinen wichtigsten Stationen und mengenmäßigen Bestandteilen. Dabei wird die Ausgangsmenge von 2000 t/a der Einfachheit halber mit "100 Einheiten" gleichgesetzt.

⁴⁵ Der hohe Anteil von Regeneraten im Werkstatt- und Dienstleistungsbereich (s. Kap. 1) gründet ebenfalls darin, daß die Lieferanten die abgeholte Altware als Rohstoffquelle nutzen.

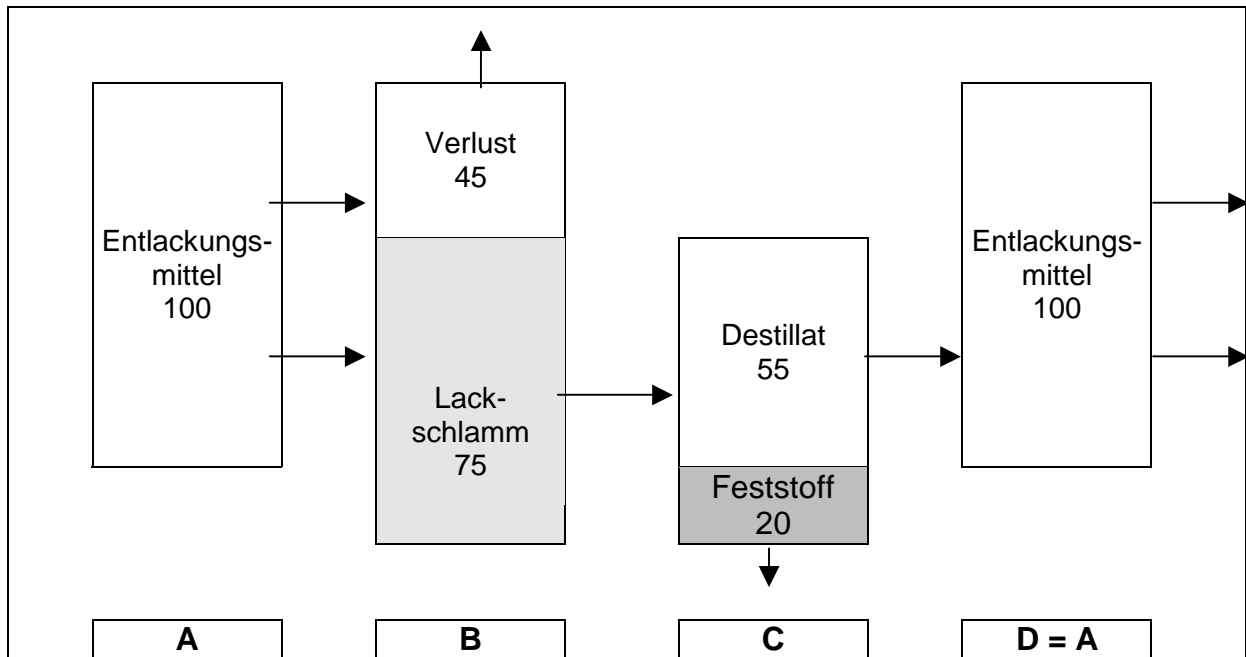


Abb. 17: Inländischer organischer Entlackungsmittelkreislauf zwischen Handel und Anwendern.

Erläuterung zu Abb. 17:

- A: Der Handel liefert den Anwendern 100 Einheiten (2000 t) Entlackungsmittel.
 B: Bei den Anwendern entstehen erstens 45 Einheiten Verlust (Verdunstung und Verschleppung) und zweitens 75 Einheiten Lackschlamm (Dünnschlamm und eingedickter Schlamm zusammengefaßt). Dieser besteht aus 55 Einheiten Entlackungsmittel und 20 Einheiten Lackpulver (Feststoff).
 C: Der Handel destilliert aus dem Lackschlamm 55 Einheiten Entlackungsmittel (Destillat) und entsorgt 20 Einheiten Destillationsrückstand (Lack-Feststoff).
 D: Der Handel ergänzt die rückgewonnenen 55 Einheiten Destillat mit 45 Einheiten Rohstoffen zu erneut 100 Einheiten frischen Entlackungsmitteln.

5 Lösemittelbilanz nach VOC-RL bei Stand der Technik-Anwendern

Die spezifische Sicht des Anwenders auf den Kreislauf der Entlackungsmittel bringt neue Aspekte zur Geltung.

Erstens sind bei ihm die Verluste in Luftemissionen und Spülwasserverschleppung zu unterscheiden.

Zweitens kommt bei einem Anwender, der die Schlammbehandlung nach dem Stand der Technik durchführt, eine innerbetriebliche Rückgewinnung von Entlackungsmittel zur Wiederverwendung vor, weil das Filtrat in das Entlackungsbecken zurückfließt. Diese interne Lösemittelrückgewinnung senkt den effektiven Lösemittelverbrauch zugekaufter Frischware, ohne die zur Entlackung im Laufe eines Jahres eingesetzte Lösemittelmenge zu reduzieren. Die veränderte Zusammensetzung des Lösemiteleinsatzes gegenüber reiner Frischwarezufuhr ist wiederum bei der Bestimmung der betriebliche Emissionsrate zu beachten, die neben dem Lösemittelverbrauch die wichtigste Kennziffer der Lösemittelbilanz nach VOC-Richtlinie ist.

In Abb. 18 werden die für die Lösemittelbilanz wichtigsten Einsätze (Inputs = I) und Austräge (Outputs = O) bei Anwendern auf Stand der Technik grafisch dargestellt.

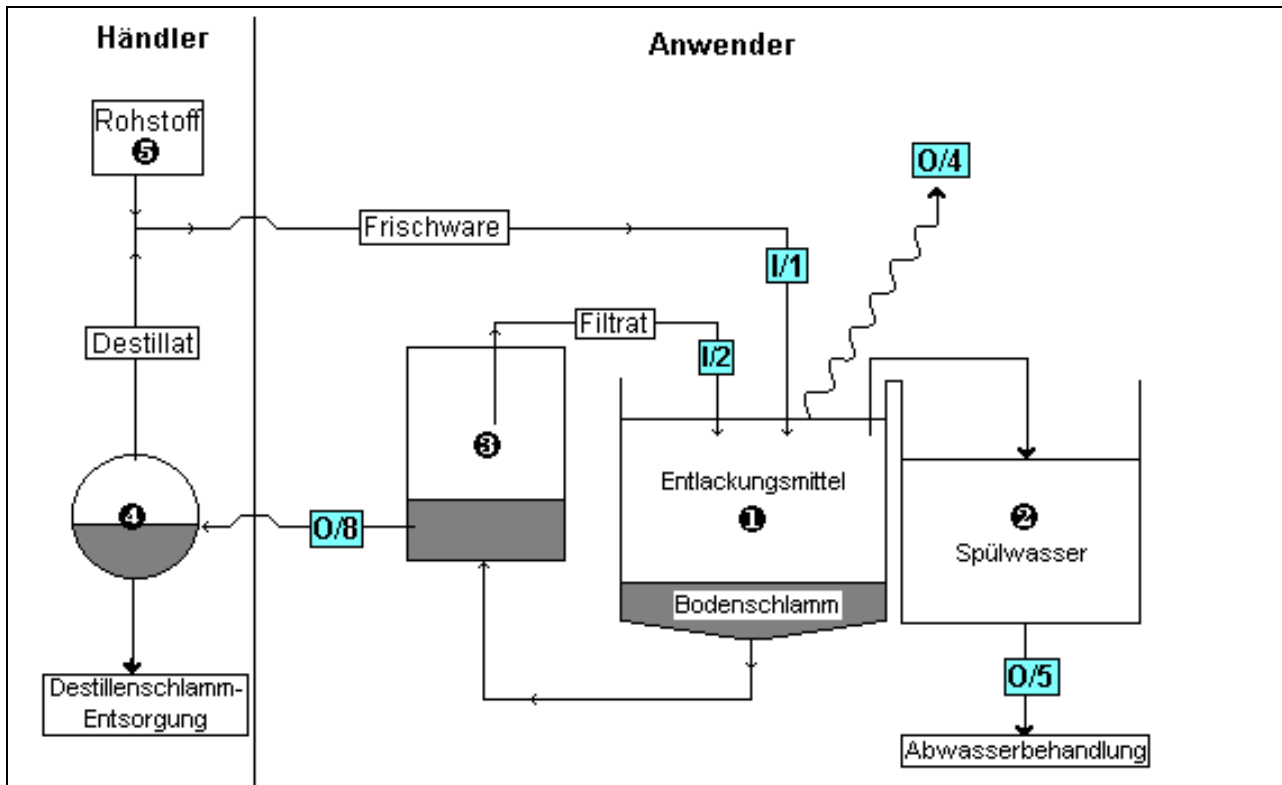


Abb. 18: Einsätze (I) und Austräge (O) in Kategorien der Lösemittelbilanz nach VOC-RL bei organischer Entlackung. Links: Prozesse beim Händler, rechts: Vorgänge beim Anwender.

5.1 Die Lösemittelausträge O/4, O/5 und O/8

Luftemissionen (O/4) entstehen beim Herausheben des Entlackungsguts aus dem Becken (1). Je wärmer die Teile sind, je länger sie über dem Bad zum Abtropfen verweilen und je mehr Entlackungszyklen gefahren werden, umso mehr Lösemittel dunsten von den Teilen ab. Ins Spülbecken (2) schleppen die Teile Organik ein, die in die betriebliche Abwasserbehandlung (O/5) gelangt und in der Kläranlage abgebaut wird. Der dritte Austrag von Lösemitteln erfolgt mit dem Lackschlamm - im Falle des Standes der Technik allerdings nicht mit dem unbehandelten Bodenschlamm, sondern mit dem in der betrieblichen Filtrierung (3) bereits eingedickten Bodenschlamm. Dieser Output verläßt den Betrieb zur externen Regeneration und ist nach VOC-RL als O/8 ("zur Wiederverwendung zurückgewonnen") zu kennzeichnen.

Die doppelte, nämlich interne und externe Schlammbehandlung ist eine Besonderheit der Entlackung nach Stand der Technik. Sie bedeutet auch eine doppelte Lösemittelrückgewinnung: internes Filtrat (I/2) und externes Destillat (Teil von I/1).

5.2 Lösemittel-Einsätze I/2 und I/1

Dem Bodenschlamm aus Becken 1 (Lackanteil ca. 20%) wird in der Filtrationseinheit (3) das Lösemittel zur Hälfte ausgetrieben. (Dies kann mittels Druckluft geschehen.) Sauberes Filtrat läuft als intern rückgewonnenes Entlackungsmittel (I/2) ins Entlackungsbad (1) zurück. Die Entsorgung des auf 40% Lackanteil aufkonzentrierten

Filterrückstands (O/8) und die Rückgewinnung der darin noch enthaltenen Entlackungsmittel führt der Händler durch⁴⁶. Er trennt destillativ (4) die Lösemittel vom Feststoff, den er - mit minimalem Lösemittelrest - als Sonderabfall entsorgt. Das Destillat mischt er mit Rohstoffen (aus 5) zu neuer Frischware. Diese wird in der Lösemittelbilanz als I/1 kategorisiert und dient dem Anwender als Ersatz für alle drei Austräge O/4, O/5 und O/8.

5.3 Die Kennziffern Verbrauch und diffuse Emissionen

Für die Lösemittelbilanz sind bei der organischen Entlackung zwei Kennziffern wichtig. Erstens der Lösemittelverbrauch, der darüber entscheidet, ob der Betrieb den Schwellenwert der VOC-RL überschreitet. Wenn ja, muß er zweitens die Rate der diffusen Emissionen bestimmen.

1. Schwellenwert: Die Formel für den Verbrauch lautet: $C = I/1 - O/8$. In Worten: Lösemittelleinsatz Frischware (Rohstoff plus Destillat) minus zur externen Destillation im eingedickten Lackschlamm abgegebene Lösemittel.

2. Diffuse Emissionen: Die Formel für die Emissionsrate lautet: $O/4 : (I/1 + I/2)$. In Worten: Luftemissionen dividiert durch den gesamten Lösemittelleinsatz aus Frischware und internem Filtrat. (Sofern kein Filtrat rückgewonnen wird, verkürzt sich die Formel auf: $O/4 : I/1$ bzw. Luftemissionen in Bezug auf Frischware.)

6 Relevanz der VOC-Richtlinie für organische Entlacker

6.1 Problematische Zuordnung der Entlackung zur Oberflächenreinigung

Es macht nach Meinung der Autoren dieser Studie durchaus Sinn, die Entlackung nicht der Tätigkeit "sonstige Oberflächenreinigung" gemäß Anhang I und Anhang III A der VOC-RL zuzuordnen. Entlackung steht in einem so engen technischen Zusammenhang mit der Lackierung, daß sie besser zur Tätigkeit "Beschichten von sonstigen Metall- und Kunststoffoberflächen" (Tätigkeit Nr. 8) paßt. Dies erscheint auch dann plausibel, wenn, wie bei der organischen Entlackung überwiegend der Fall, die Lackierung eine Pulverbeschichtung ist, die ohne organische Lösemittel vorgenommen wird.

Die veränderte Zuordnung hat aber den umweltpolitischen Nachteil, daß der Schwellenwert, von dem ab die Emissionsregulierung einsetzt, bei der "sonstigen Beschichtung" erst bei 5 t/a liegt. Dies wäre zwar ohne nennenswerte Auswirkungen auf die Anzahl der betroffenen Betriebe, die ohnehin fast alle einen Mindestverbrauch von 5 t/a aufweisen. Allerdings entfielen ein Anreiz, den betrieblichen Verbrauch zu senken. Ein noch ernsthafterer Nachteil der Zuordnung zur "sonstigen Beschichtung" liegt in dem für diesen Bereich vorgeschlagenen höheren Grenzwert für diffuse Emissionen. Er läge dann erst bei 25% statt bei 20%.

⁴⁶ Die Werte für die Lack- bzw. Lösemittelanteile in den Schlämmen bestätigt Antony 1998.

6.2 Generelle Schwellenwertüberschreitung

Welche Zuordnung die organische Entlackung auch letztlich erfährt: Den Schwellenwert überschreiten im Grunde alle 100 Anwenderbetriebe, die jährlich zusammen 2000 t frische organische Entlackungsmittel beziehen, wovon sie ca. 900 t "verbrauchen".

Nach Abb. 17 werden durchschnittlich 55% der Frischware (I/1) extern zum Wiedereinsatz rückgewonnen. Bei einer mittleren Einkaufsmenge pro Betrieb von 20 t/a liegt der Verbrauch gemäß VOC-RL somit bei 45% oder 9 t/a. Das ist weit über dem für die Oberflächenreinigung vorgeschlagenen Schwellenwert von 2 t/a, aber auch deutlich über den 5 t/a in der sonstigen Beschichtung. Nur Betriebe mit Frischwareinsatz unter 12 t/a könnten den Schwellenwert der sonstigen Beschichtung unterschreiten, keiner aber den der Oberflächenreinigung. Die Rede ist hier nur von Betrieben, die regelmäßig Großteile aus Aluminium oder verzinktem Material entlacken.

Ob ein Betrieb Dünnschlamm oder bereits eingedickten Lackschlamm zur Rückgewinnung zwecks Wiederverwendung abgibt, ist für die Verbrauchsbestimmung ohne Belang. Die Eindickung hat zwar Auswirkungen auf den Frischwarekauf. (Dieser sinkt durch den Einsatz von internem Schlammfiltrat.) Ein solcher Anwender kauft ca. 40% weniger Frischware als vorher ein (Antony 1999), er gibt aber im gleichen Umfang weniger Lösemittel mit dem Schlamm an den Händler zurück. Sein effektiver Verbrauch für das Nachfüllen bleibt konstant, da seine Lösemittelverluste (O/4, O/5) gleichbleiben.

6.3 Mittlere einzelbetriebliche Emissionsrate von 14%

Bei organischen Entlackungsanlagen entstehen - abgesehen von der bei Deckelöffnung einsetzenden Randabsaugung - keine gefaßten Abgase, sondern nur diffuse Emissionen. Wie bereits erwähnt, kommt es zu ungekapselten Verdunstungsemissionen in die Luft hauptsächlich beim Herausheben der erwärmten Teile aus dem Entlackungsbad, bevor die Teile mit Wasser abgespült werden.

Den Gesamtverlust, der am Ende des Entlackungsvorgangs durch den Überhebevorgang entsteht, kennen Anwender und Händler aufgrund der Nachfüllmengen in der Regel gut. Er wird übereinstimmend mit 40% der zugekauften Frischware (I/1) angegeben, wenn keine interne Schlammeindickung stattfindet. Wo dies der Fall ist, wird ein absolut gleichbleibender Gesamtverlust auf weniger Frischware (I/1) bezogen, so daß die Rate der Emission rechnerisch ansteigt. Sie beträgt daher im Durchschnitt aller Anwendungen mehr als 40%, mithin ca. 45%.

Die Aufteilung des Überhebeverlustes in Luftemissionen (O/4) und Verschleppungen in Spülwasser (O/5) ist dagegen weniger bekannt. Die befragten Experten (Befragung Entlackungsmittel; Saul 1998) sind sich jedoch darin einig, daß - trotz aller durch Temperatur und Abtropfdauer der Teile bedingten Schwankungen - der größere Lösemittelverlust durch das Nachspülen zustandekommt. Exakte Messungen liegen zwar nicht vor. Dennoch erscheint die Faustformel "ein Drittel in die Luft, zwei Drittel ins Spülwasser" als tragfähig, zumindest für Becken mit bei Betrieb geschlossenem Deckel.

Wo zu 100% Frischware eingesetzt wird, werden die ca. 14% Luftemissionen nur auf sie bezogen: 14 Teile O/4 zu 100 Teilen I/1. Rate der diffusen Emissionen folglich 14%.

Wo 60% Frischware und 40% internes Filtrat eingesetzt werden, betrüge die Emissionsrate 23%, wenn nur die Frischware berücksichtigt würde. Um die interne Rückgewinnung nicht zu benachteiligen, ist einzelbetrieblich die Luftemission auf die Summe aus Frischware und Filtrat zu beziehen: 14 Teile O/4 zur Summe aus 60 Teilen I/1 und 40 Teilen I/2. Einzelbetriebliche Emissionsrate (diffus) folglich ebenfalls 14%.

Fazit: Im allgemeinen überschreiten organische Entlackungsanlagen zwar den Schwellenwert der VOC-RL, nicht aber den dort vorgeschlagenen Emissionsgrenzwert.

7 Das Potential zur Emissionsminderung

Zwar erzwingt die VOC-RL keine Emissionsminderung bei der organischen Entlackung. Es sind jedoch ohne unzumutbaren Aufwand Emissionen im Umfang von 50 t/a zu vermeiden. Das ist von insgesamt 300 t Luftemissionen (15% bezogen nur auf Frischware), die jährlich durch organische Entlackung entstehen, ein Sechstel.

7.1 20 t Emissionen aus offener Betriebsweise überflüssig

Bisher wurden nur Entlackungsanlagen betrachtet, die während des Entlackungsvorgangs abgedeckt sind. Es gibt jedoch auch Altanlagen, bei denen dies konstruktiv zur Zeit nicht möglich ist. Siehe folgenden Kasten:

Deckel nicht verschließbar

In einem süddeutschen Aluminiumveredelungsbetrieb findet die Entlackung in einem bodenversenkten Becken statt, dem ersten in einer Reihe gleichartig gebauter Galvanisierbecken. Die mit Aluminiumfehlchargen beladenen Gestelle hängen an einem Stahlbalken, der wiederum am fahrbaren Deckenkran befestigt ist. Die eingetauchten Gestelle werden vom Hebebalken nicht abgenommen, so daß der Deckel des Beckens mechanisch nicht geschlossen werden kann. Die Entlackung dauert täglich drei Stunden, die Badtemperatur beträgt 60 °C. Trotz der abdeckenden Weißölschicht auf der Badoberfläche gelangen Lösemitteldämpfe aus dem Bad, die in der Summe vom Anlagenbetreiber auf etwa die Hälfte der Luftemissionen geschätzt werden, die beim Herausheben der Gestelle entstehen.

Nach Expertenschätzung (Befragung Entlackungsmittel) sind zur Zeit etwa 20% der Entlackungsbecken während der Entlackung nicht verschließbar. Die dadurch bedingten Luftemissionen werden auf knapp ein Drittel derjenigen Luftemissionen geschätzt, die beim Ausfahren des Teilekorbs entstehen.

Betroffen sind rund 400 t Entlackungsmiteinsatz, bei denen die Rate der diffusen Emissionen nicht nur 14% beträgt, sondern 4 bis 5% mehr, etwa 18-19%. Damit bleiben die Emissionen zwar immer noch unter dem Grenzwert von 20%.

Durch keineswegs aufwendige technische Maßnahmen wäre allerdings die Vermeidung der Zusatzemissionen möglich, die pro Jahr etwa 20 t Lösemittel betragen.

7.2 30 t Emissionen durch separate Haken-Entlackung vermeidbar

Wie im zweiten Abschnitt dieses Kapitels bemerkt, muß dort, wo Aluminium beschichtet wird, auch regelmäßig der eingebrannte Lack von den Stahlgehängen und Stahlhaken entfernt werden. In knapp der Hälfte der Fälle geschieht dies thermisch in Schmelöfen, in etwa ebenso vielen Fällen mit wäßrig-alkalischen Entlackungsmitteln in einem zweiten Entlackungsbecken. In etwa 20% der Fälle wird jedoch auf das zweite Entlackungsbecken oder einen Entlackungssofen verzichtet, und die Lackiervorrichtungen werden im selben organischen Entlackungsbad entlackt.

Der Lackschlammeintrag durch Lackierhilfsmittel ist in der Regel höher, und ihre Entlackung dauert länger als die der Produktionsteile, weil nicht nur Fehlchargen, sondern sämtliche Haken entlackt werden müssen, und weil diese nach mehreren Lackierprozessen eine viel dickere Lackschicht als die pulverbeschichteten Aluminiumteile aufweisen. Die Belastung des organischen Entlackungsbades mit Lackschlamm ist folglich mehr als doppelt so hoch wie bei ausschließlicher Nutzung für Aluminium-Ausschuß (Blädel 1998). Auch die Luftemissionen sind entsprechend höher, da die entlackten nassen Lackiervorrichtungen mindestens genauso oft und mit der gleichen Verdunstungsoberfläche aus dem Bad gehoben werden wie die Teile.

Ohne diese Doppelbelastung von 20% der Entlackungsbäder wäre bei ihnen eine doppelt so lange Standzeit möglich, mithin eine Halbierung der jährlichen Einsatzmengen von Frischware. Statt 400 t organischer Entlackungsmittel müßten nur 200 t/a zugeführt werden. Auf 200 t Entlackungsmittel könnte verzichtet werden. Damit würden Luftemissionen im Umfang von knapp 30 t/a wegfallen, wenn eine 14%-ige Emissionsrate auf die Einsatzmenge unterstellt wird.

Werden die Lackiervorrichtungen nicht im organischen Bad entlackt, sondern getrennt in einem wäßrig-alkalischen Bad, ist zu beachten, daß diese Entlackungsmittel zu 25% aus organischen Lösemitteln bestehen, die das gleiche Emissionsverhalten wie organische Entlackungsmittel aufweisen. Den 30 t vermiedener VOC-Emissionen stünden dann 7-8 t neuer VOC-Emissionen gegenüber. Werden die Haken nicht mehr chemisch, sondern in einem Entlackungssofen entschichtet, entstehen keine neuen VOC-Emissionen. Aus diesem Grund wäre die thermische Lösung vorzuziehen, deren ökologische Nachteile jedoch in zusätzlichem Energieverbrauch besteht, sofern die entstehende Abwärme nicht genutzt wird.

8 Zur wäßrig-alkalischen Entlackung

Wie eingangs des Kapitels bemerkt, bestehen wäßrig-alkalische Entlackungsmittel zu 25% aus organischen Lösemitteln wie Ethylendiglykol usw., die als Quellmittel gegenüber der Lackschicht wirken. In der auf jährlich ca. 2000 t geschätzten gesamten Absatzmenge sind somit rd. 500 t organische Lösemittel enthalten. Entlackt werden Teile aus Stahl, und zwar kaum Produktionsteile, sondern vorwiegend Lackierhilfsmittel.

Die Anwender sind zu über zwei Drittel identisch mit denen, die auch chemisch-organisch entlacken. In erster Linie sind es Lohnentlacker, denen Lackierbetriebe ihre Haken und sonstigen Hilfsmittel übergeben, da sie keine eigene Entlackungsanlage betreiben. Es folgen Aluminiumbeschichter und andere, die selbst organisch entlacken.

Der Grund für diese Überschneidung ist, daß organische Entlacker bereits über die Infrastruktur der Schlamm- und Spülwasserentsorgung verfügen, die auch für die wäßrig-alkalische Entlackung erforderlich ist: Es müssen lediglich ein zusätzlicher Tauchbehälter und ein Schlammmentsorgungstank aufgestellt werden. Andersherum: Wer die Infrastruktur nicht hat, schafft sie sich selten nur dafür an, seine Lackiervorrichtungen im Hause entschichten zu können.

Aus diesem Grund erhöht sich die Anzahl der Betriebe, die organische Lösemittel zur Entlackung einsetzen, durch die Berücksichtigung wäßrig-alkalischer Entlackungsmittel kaum. Vielmehr muß bei den meisten Betrieben, die organisch entlacken, die jährliche Verbrauchsmenge organischer Lösemittel im Durchschnitt um 25% höher angesetzt werden. Da diese Betriebe den Schwellenwert der VOC-RL ohnehin überschreiten, verändert sich dadurch nicht viel.

Der Preis der wäßrig-alkalischen Entlackungsmittel ist gering. Darum ist externe Wiederaufarbeitung des Lackschlammes eher die Ausnahme als die Regel. Auch interne Schlammeindickung mit Filtratrückgewinnung wird kaum praktiziert. Schlamm wird weitgehend als "Dünnschlamm" entsorgt. Bezugsgröße für die Anwender-Emissionen ist darum die bezogene Frischware. Die Emissionen (40% der Frischware) selber entstehen beim Überheben aus dem Entlackungs- ins Spülbecken und gehen zu einem Drittel in die Luft und zu zwei Dritteln ins Spülwasser. Bei einer Emissionsrate von 14% auf die im wäßrig-alkalischen Entlackungsmittel enthaltenen organischen Lösemittel im Umfang von 500 t ist jährlich mit 70 t diffuser Lösemittlemissionen zu rechnen.

VOC-Emissionen aus wäßrig-alkalischer Entlackung können durch thermische Entlackung vermieden werden. Experten schätzen das bestehende Substitutionspotential allerdings auf nicht mehr als 20% (Antony 1999). Hauptgrund: Die Behandlungstemperatur von 400-500 °C bei der thermischen Entlackung bewirkt, daß Stahlteile weichgeglüht werden. Das Verfahren ist darum für Gehänge mit Federstahlhaken, die im Bereich der Teile unter 1 kg Gewicht üblich sind, und für maßhaltige Bauteile nicht geeignet. Sofern die für thermische Entlackung geeigneten Lackierhilfsmittel aus Stahl nicht mehr chemisch behandelt würden, entstünden 14 t VOC-Emissionen (20% von 70 t) nicht mehr.

Das Substitutionspotential ist durch verfahrenstechnische Substitution sicherlich mittelfristig auf 20 t auszuweiten. So gibt es Betriebe, die den auf den Gestellen anhaftenden Pulverlack noch vor dem Einbrennen entfernen, so daß nur noch selten entlackt werden muß. Die Beseitigung des Pulvers auf der Strecke zwischen Pulverauftrag und Ofen wird entweder durch kombiniertes Abblasen/Absaugen sowie Abbürsten erzielt (vgl. Pestel 1998). Oder es findet ein "Hakenwechsel" statt: Nach dem Pulverauftrag werden die gepulverten Bauteile von ihren Haken, an denen sie während der Beschichtung hingen, mithilfe eines Roboters auf saubere Haken umgesetzt, die ausschließlich durch den Ofen fahren (Petrik 1999). In beiden Fällen wird das Pulver wiedereingesetzt. Entlackungsvorgänge und Lackschlämme werden erheblich reduziert. Verfahrenstechnisch besteht die Kunst darin, Pulver von den beschichteten Haken nicht auf die beschichteten Werkstücke gelangen zu lassen.

Nachweise zu Kapitel 6

- Antony, Wolf (Wilfred Antony GmbH, Tamm), pers. Mitt. 12.11.1999;
- Antony, Wolf: Aus einem Guß: Chemische Entlackung und Entsorgung, in: Entlacken '92, JOT-Fachtagung über die industrielle Entlackung, am 22. und 23. Juni 1992 in München;
- Antony, Wolf: Neuentwicklungen und Optimierungen bei der chemischen Entlackung, in JOT 1998/4, 66-68;
- Befragung Entlackungsmittel = persönliche Gespräche mit den führenden Herstellern von Entlackungsmitteln:
Wilfred Antony GmbH (Wolf Antony), Tamm 16.9.1998; Foster Chemicals GmbH (Gadi Cegla), Jüchen 23.10.1998; Chemische Werke Kluthe GmbH (Jökel), Heidelberg 30.9.1998; Turco-Chemie GmbH (Uwe Puttfarcken), Hamburg 23.4.1998;
- Blädel, Walter (MOWA Metallveredelung GmbH) Allersberg, pers. Mitt. 29.9.1998;
- Eisenmann Maschinenbau KG: Entlackung im Lackierbetrieb, Broschüre VT 29, Böblingen 1990;
- ESC GmbH: Entlacken im eigenen Haus, Informationsblatt zur Hannover Messe 1998;
- Müller, Klaus-Peter: Lehrbuch Oberflächentechnik, Braunschweig/Wiesbaden 1996;
- Pestel, Manfred: Weg mit dem Pulver von den Gehängen, in: JOT 1998/5, 50-51;
- Petrik (Donnelly Hohe GmbH, Collenberg), pers. Mitt. 23.11.1999;
- Saul, Hans-Walter (ekka Entlackung, Iserlohn), Schreiben vom 17.9.1998. Die Äußerung ist keine Aussage über den eigenen Betrieb, sondern über die ganze Branche der Lohnentlacker.
- Schlaich, Bernd (ESC GmbH, Geislingen), pers. Mitt. 22.4.1998;
- Werner, Thomas: Flexible chemische Entlackung, in: mo 51 (1997) 5, 366-369;

Tabellen

Tab. I:	Oberflächenreinigung mit halogenfreien organischen Lösemitteln nach Teilbereichen in Deutschland 1998. Zufuhr, Luftemissionen und Entsorgung	V
Tab. II:	Oberflächenreinigung nach Sektoren: VOC-Emissionssenkungen durch Umsetzung der VOC-RL und nach Stand der Technik in t/a	VIII
Tab. 1:	KW-Reinigerabsatz und Kundenstruktur im Dienstleistungsbereich einer Großstadt (250 bis 300 Tsd. Einwohner) 1997	4
Tab. 2:	Die 48 750 Kfz-Betriebe nach Größenklassen in Deutschland 1997	10
Tab. 3:	Zahl der im Inland 1997 neuverkauften Pkw nach Fahrzeugmarken in Bezug auf Konservierungsmittel und Entkonservierung in Tsd. Stück. Schätzung	16
Tab. 4:	Manuelle KW-Reinigung in Industrie-Werkstätten. Typische betriebliche Fälle nach Branche, Reinigungsgut und -einrichtung sowie Zufuhr von A-III-Reiniger	34
Tab. 5:	Manuelle KW-Reinigung industrieller Produktionsmittel vor Ort. Typische betriebliche Fälle nach Branche, Reinigungsgut und -einrichtung sowie Reinigerzufuhr	36
Tab. 6:	Manuelle KW-Reinigung industrieller Produkte. Typische betriebliche Fälle nach Branche, Reinigungsgut und -einrichtung sowie Reinigerzufuhr	39
Tab. 7:	KW-Anlagen-Reinigung industrieller Produkte. Typische betriebliche Fälle nach Branche, Reinigungsgut und -einrichtung sowie Reinigerzufuhr	43
Tab. 8:	KW-Emissionen bei ausgewählten Anlagen mit Umlufttrocknung	45
Tab. 9:	Zahl der Kunden von KW-Reinigern unter und über 2 t/a Zufuhr 1997 Werte von sechs ausgewählten Lösemittel-Handelsniederlassungen	50
Tab. 10:	Inländische KW-Reiniger-Anwender unter und über 2 t Zufuhr 1997 Hochrechnung auf Basis der Daten von sechs Lösemittelhändlern	51
Tab. 11:	Emissionssenkung durch 1 : 1-Umsetzung der VOC-RL und zusätzlich durch Maßnahmen nach Stand der Technik bei Verbrauchern < 2 t/a	54
Tab. 12:	Spezialreiniger-Anwendungen. Typische betriebliche Fälle nach Branche, Reinigungsgut und -einrichtung sowie Zufuhr und Art von Reiniger	64
Tab. 13:	Chemische Zusammensetzung der Spezialreiniger aus den zehn in Tabelle 12 präsentierten Industriebetrieben	65
Tab. 14:	Einsatzgebiete des industriellen Tampondrucks (Auswahl)	67
Tab. 15:	Vorher-Nachher-Vergleich sächlicher Betriebskosten von Lösemittel- und wäßriger Reinigung bei einem Dichtstoffhersteller	74
Tab. 16:	Vorher-Nachher-Vergleich von Mengen und Betriebskosten bei der Reinigung von Tampon-Druckwerkzeugen	76
Tab. 17:	Emissionssenkung durch 1 : 1-Umsetzung der VOC-RL sowie zusätzlich durch Maßnahmen nach Stand der Technik	80
Tab. 18:	Mittlere Emissionsfaktoren für exgeschützte Reinigungsanlagen	87
Tab. 19:	Gesamtmenge der Emissionen, Entsorgung und Zufuhr bei 117 ex-geschützten Reinigungsanlagen in t/a	89
Tab. 20:	Exschutz-Anlagen nach jährlicher Lösemittelzufuhr im ein- und zweischichtigen Betrieb (Basis: 117 Anlagen)	90
Tab. 21:	Manuelle und Anlagen-Reinigung in einem Optik-Großbetrieb nach Zufuhr und Emissionen in t/a	91
Tab. 22:	Zufuhr von VOC-Lösemitteln zur feinoptischen Reinigung nach Betrieben in t/a (Schätzung)	94
Tab. 23:	Richtwerte für Zufuhr, Emissionen und Entsorgung organischer Lösemittel in der anlagenbezogenen Elektronik-Reinigung	97
Tab. 24:	Gesamteinsatz und Emissionen organischer Lösemittel bei Reinigungsanlagen für elektronische Produkte in t/a	97

Tab. 25:	Jährliche Lösemittelzufuhr zur Sieb- und Schablonenreinigung im Hand- und Anlagenbetrieb	100
Tab. 26:	Einsatz organischer Lösemittel in exgeschützten Reinigungsanlagen der Feinmechanik in t/a	101
Tab. 27:	Emissionssenkung durch 1 : 1-Umsetzung der VOC-RL sowie zusätzlich durch Maßnahmen nach Stand der Technik (Feinreinigung)	105
Tab. 28:	Rezeptur eines typischen organischen Entlackungsmittels	112

Abbildungen, Diagramme, Grafik

Abbildungen

Abb. 1:	Teile-Reinigungsgerät im nichtindustriellen Servicebereich	2
Abb. 2:	Fließbild des A-III-KW-Teile-Reinigers im Servicebereich	7
Abb. 3:	KW-Substitution durch wäßrige Reinigungsautomaten: Hier autop Jet-Cleaner 82 t und 122 t	9
Abb. 4:	KW-Ersatz durch wäßrige Bremsen-Reinigung: Schickert Heißwäscher 500 PW	11
Abb. 5:	Vereinfachtes Schema einer Entwachsungsanlage	18
Abb. 6:	Prozeßschema bei manueller Kfz-Entwachsung	20
Abb. 7:	Vereinfachtes Schema einer seit Mitte der 90er Jahre marktüblichen geschlossenen Reinigungsanlage mit Dampffentfettung und Trocknung im Vakuum	47
Abb. 8:	Wäßrige Spritzanlagen statt KW-Reinigungstische für die Industriewerkstätten (hier: Metalas MC 100; MC 75).	55
Abb. 9:	Fließbild des A-I-Reinigergemischs im Kleb- und Dichtstoffwerk	66
Abb. 10:	Kesselreinigungsanlage mit Behälter für die Innenbürste.	73
Abb. 11:	Ex-geschützte Drei-Kammer-Reinigungsanlage	85
Abb. 12:	Fünfzehn-Kammeranlage in der Feinoptik mit kombinierter Reinigung Lösemittel/Wasser und abschließender Lösemittel-Trocknung	92
Abb. 13:	Typische Badfolgen halbwäßriger Reinigung in der Elektronik	96
Abb. 14:	Waschanlage für eingeschobene Siebe und Schablonen	98
Abb. 15:	Prozeßschema einer gängigen Sieb- und Schablonen-Wasch- anlage (von vorne).	99
Abb. 16:	Moderne Entlackungsanlage für Aluminiumteile (Baujahr 1997)	113
Abb. 17:	Inländischer organischer Entlackungsmittelkreislauf zwischen Handel und Anwendern	115
Abb. 18:	Einsätze (I) und Austräge (O) in Kategorien der Lösemittelbilanz nach VOC-RL bei organischer Entlackung	116

Diagramme

Diagramm 1:	Absatz von A-II- und A-III-Reinigern in kg je Kunde bei 6 ausgewählten Händlerniederlassungen 1997 (ohne Verkauf an Wiederverkäufer).	50
Diagramm 2:	Ex-Schutz-Anlagen in 1- u. 2-Schichtbetrieb nach jährlicher VOC-Zufuhr (= Verbrauch) in t pro Anlage (117 Stück).	89
Diagramm 3:	Anteil der Reinigung am Leiterplattendurchsatz.	95

Grafik

Grafik 1:	CKW-Ersatz bei fünf ausgewählten Metall-Großbetrieben bis 1990/91 bzw. 1997/98 durch wäßrige und KW-Reiniger.	32
-----------	--	----