

# **NMVOC-Emissionen aus der Lösemittelanwendung**

**und**

## **Möglichkeiten zu ihrer Minderung**

von der Fakultät Maschinenbau der Universität Stuttgart zur Erlangung der Würde eines  
Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.) genehmigte Abhandlung

vorgelegt von

Jochen Theloke

geboren in Duisburg

Hauptberichter: Prof. Dr.-Ing. R. Friedrich

Mitberichter: Prof. Dr. rer. nat. F. Zabel

Tag der Einreichung: 18.10.04

Tag der mündlichen Prüfung: 16.02.05

Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung, Stuttgart

Prof. Dr.-Ing. A. Voß

Abteilung Technikfolgenabschätzung und Umwelt (TFU)

Prof. Dr.-Ing. Friedrich

**2005**



## Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER) der Universität Stuttgart. Teile dieser Arbeit wurden vom Umweltbundesamt sowie dem Baden-Württemberg-Programm Lebensgrundlage Umwelt und ihre Sicherung (BWPLUS) unterstützt.

Mein Dank gilt Herrn Prof. Dr.-Ing. Rainer Friedrich für die konstruktive Unterstützung des wissenschaftlichen Konzeptes und die Übernahme des Hauptberichtes. Herrn Prof. Dr. rer. nat. Friedhelm Zabel danke ich für die Übernahme des Koreferats.

Folgende Kollegen und Projektpartner haben besonders zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen. Am IER, Herr Dr.-Ing. Andreas Obermeier, Herr Dipl.-Ing. Frank Eisele und Herr Dr.-Ing. Burkhard Wickert sowie vom Institut für Ökologie und Politik GmbH (Ökopol) Frau Dr. rer. nat. Anne Ipsen, Herr Dipl.-Ing. Dirk Jepsen, Frau Dipl.-Biolog. Antonia Reihlen, Herrn Dipl.-Ing. Christian Tebert und Frau Dipl.-Ing. Stéphanie Zangl, und vom Fraunhofer Institut für Produktionstechnik und Automatisierung Herr Dipl.-Ing. Dieter Ondratschek.

Herrn Dr. sc. agr. Jörg Haigis möchte ich ganz besonders für die technische Unterstützung bei dieser Arbeit danken. Herrn Dr.-Ing. Stefan Reis gilt mein besonderer Dank für die kritische Begleitung und Unterstützung dieser Arbeit. Frau Dr. rer. nat. Pauline Midgley möchte ich für die kritische Überarbeitung des englischen Abstracts danken.

Weiterhin gilt mein Dank für den wertvollen wissenschaftlichen Austausch und die kollegiale Atmosphäre den Kollegen Herrn Dr. rer. pol. Norbert Azuma-Dicke, Herrn Dr.-Ing. Till M. Bachmann, Herrn Dr.-Ing. Peter Bickel, Frau Dipl.-Ing. Petra Blank, Herrn Dr.-Ing. Markus Blesl, Herrn Dr. rer. nat. Wolfgang Bott, Herrn Dr.-Ing. Sebastian Briem, Herrn Dr.-Ing. Bert Droste-Franke, Herrn Dipl.-Forstw. Bernhard Frey, Frau Dipl.-Ing. Tanja Fried, Frau Birgit Haßmann, Herrn Dr.-Ing. Kai Hufendiek, Herrn Dr. rer. nat. Stefan Jagiella, Frau Sylvia Kratsch, Frau Dipl.- Geoök. Ulrike Kummer, Herrn Dr.-Ing. Bernd Leven, Herrn Dipl.-Geogr. Daniel Nicklaß, Herrn Dipl.-Math. Steffen Nitter, Herrn Dr.-Ing. Thomas Pregar, Herrn Dr.-Ing. Kai Sander, Herrn Ralph Schelle, Herrn Dipl.-Ing. Stefan Schmid, Frau Dipl.-Ing. Yvonne Scholz, Herrn Dipl.-Phys. Alfred Trukenmüller und Frau Dipl.-Ing. Anna Vabitsch.

Meiner Lebensgefährtin Christiane Hoffmann danke für die Unterstützung und das sehr kritische Korrekturlesen dieser Arbeit, meinem Sohn Julian Frederik für die freudigen Abwechslungen während dieser Arbeit, meiner Mutter Lieselotte Theloke für die finanzielle Unterstützung meines Chemie-Studium sowie der emotionalen Anteilnahme an dieser Arbeit und meinem Vater Klaus-Jürgen Theloke für die Vermittlung des Interesses an technischen und naturwissenschaftlichen Fragestellungen.

Heidelberg, im Juni 2005

Jochen Theloke

Meiner Großmutter gewidmet

## Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung.....	VIII
Abstract .....	X
1 Einleitung und Problemstellung .....	1
2 Bisher vorliegende Arbeiten zur Berechnung von Lösemittlemissionen.....	3
3 Grundlagen.....	7
3.1 Definitionen und Systemgrenzen .....	7
3.1.1 Definitionen .....	7
3.1.2 Systemgrenzen .....	8
3.2 Wirkungen von NMVOC .....	9
3.2.1 Troposphärische Ozonbildung durch NMVOC-Emissionen.....	9
3.2.2 Aerosolbildungspotenzial flüchtiger organischer Verbindungen .....	14
3.2.3 Andere Wirkungen.....	14
4 Produktbezogener Ansatz zur Berechnung der Emissionen .....	15
4.1 Ermittlung und Charakterisierung von Quellgruppen .....	16
4.2 Berechnung der Inlandsverbräuche .....	16
4.3 Ermittlung der Lösemittelgehalte .....	18
4.4 Ermittlung der Emissionsfaktoren.....	19
4.5 Berechnung der Emissionen .....	19
5 Ergebnisse der Emissionsberechnungen .....	20
5.1 Anwendung von Anstrichmitteln .....	20
5.1.1 Anwendung von Farben und Lacken .....	20
5.1.2 Anwendung von Holzschutzmitteln.....	30
5.1.3 Anwendung von Baustoffadditiven („Concrete additives“) .....	32
5.1.4 Anwendung von Unterbodenschutzbeschichtungen .....	35
5.1.5 Bewachung von Kraftfahrzeugen.....	37
5.1.6 Imprägnierung von Glas- und Mineralwolle .....	38
5.2 Druckanwendungen.....	39
5.3 Anwendung von Klebstoffen und Haftmaterialien .....	47
5.4 Oberflächenreinigungsprozesse .....	53
5.4.1 Ermittlung und Allokation der Inlandsverbrauchsmengen von nichtchlorierten Oberflächenreinigungsmitteln .....	53
5.4.2 Ermittlung und Allokation der Inlandsverbrauchsmengen von Chlorkohlenwasserstoffen.....	54
5.4.3 Industrielle Metallentfettung.....	58
5.4.4 Nichtindustrielle Dienstleistung .....	62
5.4.5 Feinreinigung .....	64
5.4.6 Organische Spezialreinigung .....	66
5.4.7 Entwachsen von Fahrzeugen .....	68
5.4.8 Entfernung von Farben und Lacken.....	70
5.5 Kunststoff- und Gummiverarbeitung .....	71
5.5.1 Polyesterverarbeitung .....	71
5.5.2 Polyvinylchloridverarbeitung .....	72

5.5.3 Polyurethanverarbeitung .....	73
5.5.4 Polystyrolschäumung .....	74
5.5.5 Gummiverarbeitung .....	75
5.6 Häusliche Anwendung von lösemittelhaltigen Produkten .....	76
5.7 Anwendung von Frostschutz- und Enteisungsmitteln .....	83
5.7.1 Anwendung von Kfz-Frostschutzmitteln .....	84
5.7.2 Anwendung von Enteisungsmitteln .....	84
5.8 Herstellung von lösemittelhaltigen Produkten .....	86
5.8.1 Herstellung von pharmazeutischen Produkten .....	86
5.8.2 Herstellung von Farben und Lacken .....	87
5.8.3 Herstellung von Holzschutzmitteln .....	89
5.8.4 Herstellung von Baustoffadditiven .....	89
5.8.5 Herstellung von Druckfarben, Künstlerfarben, Tinten und Tuschen .....	90
5.8.6 Herstellung von Klebstoffen und Klebebändern .....	92
5.8.7 Herstellung von sonstigen lösemittelhaltigen Produkten .....	94
5.9 Sonstige Anwendung von lösemittelhaltigen Produkten .....	97
5.9.1 Chemische Reinigung .....	97
5.9.2 Extraktion von Ölen und Fetten .....	98
5.9.3 Herstellung von Filmen und Photographien .....	100
5.9.4 Herstellung von Magnetbändern .....	101
5.9.5 Verwendung von Pflanzenschutzmitteln .....	102
5.9.6 Hochschulen .....	104
5.9.7 Wissenschaftliche Einrichtungen .....	104
5.10 Zusammenfassende Betrachtung aller Quellgruppen .....	105
6 Unsicherheiten und Fehlerbetrachtung .....	111
6.1 Grundlagen .....	111
6.2 Qualitative Methoden zur Fehlerabschätzung .....	111
6.3 Quantitative Ansätze zur Ermittlung der Unsicherheiten .....	113
6.4 Durchführung einer qualitativen Unsicherheitenanalyse für die berechneten Lösemittlemissionen .....	115
6.4.1 Qualitative Bewertung der Unsicherheiten der Quellgruppe „Anwendung von Anstrichmitteln“ .....	115
6.4.2 Qualitative Bewertung der Unsicherheiten der Quellgruppe „Oberflächenreinigungsprozesse“ .....	117
6.4.3 Qualitative Bewertung der Unsicherheiten für alle anderen Emittentenbereiche .....	119
6.5 Verifikationsmethoden .....	121
6.5.1 Plausibilitätsprüfungen .....	121
6.5.2 Evaluierungsexperimente .....	123
6.6 Unsicherheiten bei der stofflichen Auflösung von Lösemittlemissionen .....	124
7 Referenzszenario für 2010 .....	125
7.1 Projektion von Emissionen für zukünftige Jahre .....	125
7.1.1 Erstellung des Szenarios „konstante Emissionsfaktoren“ für 2010 (KE2010) .....	125
7.1.2 Erstellung des Referenzszenarios für 2010 (REF2010) .....	125
7.2 Exemplarische Berechnung des Referenzszenarios für Druckanwendungen .....	126
7.2.1 Szenario „konstante Emissionsfaktoren“ für 2010 .....	126
7.2.2 Emissionsminderungspotenziale durch die Umsetzung der 31. BImSchV .....	127
7.3 Exemplarische Berechnung des Referenzszenarios für Klebstoffanwendungen .....	129

---

7.3.1 Szenario „konstante Emissionsfaktoren“ für 2010 .....	129
7.3.2 Minderungspotenziale durch die Umsetzung der 31. BImSchV .....	130
7.4 Exemplarische Berechnung des Referenzszenarios für industrielle Metallentfettung .....	131
7.5 Minderungspotenziale durch die Umsetzung der ChemVOC-FarbV .....	133
7.5.1 Auswirkungen der ChemVOC-FarbV auf das Maler- und Lackiererhandwerk.....	135
7.5.2 Implementierung der ChemVOC-FarbV .....	138
7.6 Zusammenfassung des Referenzszenarios für 2010.....	144
8 Identifizierung und Bewertung von Minderungspotenzialen.....	146
8.1 Methode zur Identifizierung von Minderungspotenzialen .....	146
8.2 Bewertung der identifizierten Minderungspotenziale .....	147
8.3 Minderungspotenziale .....	148
8.3.1 Anwendung von Farben und Lacken .....	148
8.3.2 Anwendung von Holzschutzmitteln.....	150
8.3.3 Druckanwendungen .....	151
8.3.4 Anwendung von Klebstoffen und Haftmaterialien .....	159
8.3.5 Oberflächenreinigungsprozesse .....	162
8.3.6 Herstellung von lösemittelhaltigen Produkten.....	165
8.3.7 Anwendung von Treibgasen für Aerosolsprays.....	166
8.4 Zusammenfassung der identifizierten und quantifizierten Minderungspotenziale .....	173
8.5 Ableitung von Implementierungsmaßnahmen .....	174
9 Zusammenfassung.....	177
Anhang .....	181
Literatur.....	188

## Kurzfassung

NMVOC (Non-Methane Volatile Organic Compounds) sind eine Stoffgruppe mit vielfältigen Wirkungen. Vor allem tragen NMVOC gemeinsam mit  $\text{NO}_x$  zur Bildung erhöhter bodennaher Ozonkonzentrationen im Sommer bei. In der "National Emission Ceiling Directive" (NEC) wird für Deutschland für 2010 ein maximaler Emissionswert von 995 kt NMVOC aus allen anthropogenen Quellgruppen festgelegt, der voraussichtlich überschritten werden wird. Um eine zusätzliche Minderung der anthropogenen NMVOC-Emissionen in Deutschland zu erreichen, müssen vor allem im Bereich der Lösemittelanwendung weitere Maßnahmen eingeleitet werden. Dazu müssen die Quellen der NMVOC bekannt sein. Es ist also notwendig, sektoral hoch aufgelöste Daten über die Einsatzmenge von NMVOC bei der Verwendung organischer Lösemittel und die daraus resultierenden Emissionen zu berechnen.

Ziel dieser Arbeit ist die Identifizierung und Quantifizierung von Minderungspotenzialen, die über bisherige Maßnahmen zur Minderung hinausgehen, um den NEC-Zielwert 2010 für Deutschland einhalten zu können. Dazu wird zunächst eine Methode zur Berechnung von sektoral und stofflich hoch aufgelösten Lösemittlemissionen für ein konkretes Bezugsjahr entwickelt und angewendet. Dabei werden auch die Unsicherheiten analysiert, mit denen die Eingangsdaten und damit auch die Ergebnisse behaftet sind. Anschließend wird ein Referenzszenario für 2010 entwickelt, um unter Berücksichtigung der Aktivitätsentwicklung sowie von bestehenden gesetzlichen Maßnahmen den Umfang notwendiger zusätzlicher Reduktionen zu quantifizieren. Darauf aufbauend werden zusätzliche Minderungspotenziale identifiziert, quantifiziert und bewertet. Es werden auch Möglichkeiten zur Implementierung der identifizierten Maßnahmen betrachtet.

Ein Ergebnis der Arbeit ist, dass im Jahr 2000 in Deutschland etwa 724 kt Lösemittel emittiert wurden. Dies entspricht ungefähr 55% der gesamten in Deutschland emittierten anthropogenen NMVOC-Emissionen. Ungefähr die Hälfte der Lösemittlemissionen entstammte der Anwendung von Anstrichmitteln, 15% der häuslichen Verwendung lösemittelhaltiger Produkte. Etwa 14% wurden bei Druckanwendungen emittiert. Durch Oberflächenreinigungsprozesse wurden etwa 5% der Emissionen verursacht. Der Rest verteilte sich auf viele verschiedene Sektoren. Die Anwendung von Treibgassprays hatte einen Anteil von etwa 10% (74 kt) an den Lösemittlemissionen in Deutschland. Die Gesamtjahresemissionen sind mit einer qualitativ abgeschätzten mittleren Unsicherheit von etwa  $\pm 30\%$  bis  $\pm 50\%$  behaftet.

Die Lösemittlemissionen setzten sich zu 31% aus Alkoholen, 22% Alkanen und Cycloalkanen, 15% Aromaten, 11% Estern, 6% Glykolderivaten sowie 5% Ketonen, 4% Terpenen, jeweils zu 2% aus Ethern und Halogenkohlenwasserstoffen und geringen Mengen organischen Säuren, Aldehyden, Aminen und Amiden zusammen. Insgesamt 2% der Emissionen konnten stofflich nicht zugeordnet werden.

Durch die nationale Implementierung der EU-VOC-Direktive, der anlagenbezogenen 31. Bundesimmissionsschutzverordnung (31. BImSchV) sowie der nationalen Implementierung der DECOPAINT-Direktive, der produktbezogenen „Chemikalienrechtlichen Verordnung zur Begrenzung der Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen (VOC) durch Beschränkung des Inverkehrbringens lösemittelhaltiger Farben und Lacke“ (ChemVOC-FarbV) ist bis 2010 mit einer Minderung der Lösemittlemissionen um etwa 8,3% gegenüber 2000 zu rechnen. Dass die Minderungswirkung durch die Umsetzung der beiden Verordnungen relativ gering ausfällt, liegt daran, dass die 31. BImSchV nur die Anwendung von Lösemitteln in Anlagen er-

fasst, die einen bestimmten Schwellenwert bezüglich des Jahresverbrauchs an Lösemitteln überschreiten, sowie an der erwarteten Entwicklung der Aktivitäten bis 2010. Die Implementierung der ChemVOC-FarbV hat einen geringeren Minderungseffekt, als von der EU-Kommission erwartet, da in Deutschland schon seit Anfang der 90er Jahre fast ausschließlich Dispersionsfarben als Wandfarben eingesetzt werden. Insgesamt wurden zusätzliche Minderungspotenziale von etwa 96 kt identifiziert. Bei vollständiger Implementierung dieser zusätzlichen Maßnahmen könnte der NEC-Zielwert erreicht werden. Hierbei muß der Erlass neuer Verordnungen begleitet werden durch die gezielte Information der lösemittelverwendenden Akteure über Möglichkeiten zur Minderung von Lösemittlemissionen und Maßnahmen zu deren Umsetzung, da sich nur so die wesentlichen Minderungspotenziale in vollem Umfang erschließen lassen.

## Abstract

Non-Methane Volatile Organic Compounds (NMVOC) are a group of substances that can cause various negative effects on the environment and human health. NMVOC contribute together with NO<sub>x</sub> primarily to the formation of high ambient ozone concentrations during summer time. The EC „National Emission Ceilings Directive" (NEC) sets a maximum emission value of 995 kt NMVOC for Germany for the year 2010 for all anthropogenic source groups. Based on the results of this work, it is to be expected that this target value will be exceeded. To achieve a further reduction of anthropogenic NMVOC emissions in Germany, additional measures must be implemented in the source group of solvent use. For this, the sources of NMVOC have to be identified. Thus, it is necessary to calculate reliable data for the input amount of NMVOC for solvent use and the resulting emissions from their use in Germany in a high sectoral resolution.

The aim of this work is to identify and quantify abatement potentials in addition to existing measures in order to be able to achieve compliance with the NEC emission ceiling value for 2010 in Germany. To achieve this aim, first, a method is developed and applied to generate emission data in high sectoral and substance resolution, conducting calculations for a specific reference year in Germany. The uncertainties of the input data and of the results are evaluated as well. Then a reference scenario for 2010 is developed, taking into account the expected development of activities as well as existing legislative measures. This scenario serves as the reference to quantify the amount of further reductions needed. This leads to the identification, quantification and assessment of additional abatement potentials. Furthermore the possibilities for the implementation of the abatement measures are investigated.

These calculations reveal that about 724 kt NMVOC were emitted in the year 2000 in Germany from solvent use. This represents about 55% of total anthropogenic NMVOC emissions in Germany. Approximately half of those originated from the use of organic solvents in paints, concrete additives and wood preservatives and 15% came from domestic solvent use. About 14% originated from printing applications and about 5% of solvent emissions were due to surface cleaning processes. The rest of the emissions came from a variety of other processes. Furthermore the use of aerosol sprays had a share of about 10% (74kt) of the emissions from solvent use in Germany. A qualitative assessment of the uncertainties for total annual emissions yielded approximately  $\pm 30\%$  to  $\pm 50\%$ .

NMVOC emissions from solvent use in 2000 in Germany consisted of alcohols (31%), alkanes and cycloalkanes (22%), aromatics (15%), esters (11%), glycol derivatives (6%) as well as ketones (5%), terpenes (4%), ethers and halogenated hydrocarbons (2% each) and low amounts of organic acids, aldehydes, amines and amides. Approximately 2% of the emissions could not be assigned to a substance class.

A reduction of about 8.3% of the emissions from solvent use compared to 2000 is expected through the national implementation of the EU-VOC Directive by the 31. Bundesimmissionsschutzverordnung (31. BImSchV) and the national implementation of the EU-DECOPAINT Directive by the „Chemikalienrechtliche Verordnung zur Begrenzung der Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen (VOC) durch Beschränkung des Inverkehrbringens lösemittelhaltiger Farben und Lacke“ (ChemVOC-FarbV). The reduction effect from the 31. BImSchV is relatively small due to the fact that this regulation only applies to the solvent use in plants with an annual solvent use above specified threshold values. Smaller

plants not exceeding these threshold values and solvent use outside of plants are not included in the regulation. The implementation of the ChemVOCFarbV has a smaller reduction effect than expected by the EU Commission due to the fact that in Germany almost exclusively dispersion paints are used for wall painting since the beginning of the 1990s. Altogether, an additional reduction potential of 96 kt was identified. With a complete implementation of additional measures, the NEC target could be achieved but, in order to reach the emission ceiling for NMVOC, considerable efforts are still necessary.

Enhanced regulations have to be combined with specific information for the solvent users about the possibilities for the reduction of emissions from solvent use and measures for their implementation in order to be able to achieve the full reduction potential.



## 1 Einleitung und Problemstellung

NMVOC (Non-Methane Volatile Organic Compounds = Flüchtige organische Verbindungen außer Methan) stellen eine Stoffgruppe mit vielfältigen Wirkungen dar. Emissionen von NMVOC tragen zu einer Reihe von bestehenden Luftreinhalteproblemen entscheidend bei. NMVOC sind zusammen mit  $\text{NO}_x$  ( $\text{NO}_x$ :  $\text{NO}$  und  $\text{NO}_2$ ) für die Bildung erhöhter bodennaher Ozonkonzentrationen im Sommer verantwortlich und teilweise am Abbau stratosphärischen Ozons sowie an der Verstärkung des Treibhauseffektes beteiligt. Einzelne Komponenten besitzen darüber hinaus kanzerogene (z. B. Benzol), teratogene oder mutagene Eigenschaften.

Zur Begrenzung der Emissionen von NMVOC wurden in den letzten Jahren sowohl auf nationaler als auch auf europäischer Ebene eine Reihe von Verordnungen beschlossen, z. B. zur Begrenzung der Emissionen von Fahrzeugen [EUROIII-IV, 1998] und von anlagenbezogenen Lösemittlemissionen [VOC-Richtlinie, 1999], [31. BImSchV, 2001]. Der in der „National Emissions Ceiling Directive“ (NEC) [NEC-Direktive, 2001] für Deutschland für das Jahr 2010 festgelegte maximale Emissionswert von 995 kt NMVOC aus allen anthropogenen Quellgruppen wird voraussichtlich dennoch überschritten [NEC-Bericht, 2003]. Um eine zusätzliche Minderung der anthropogenen NMVOC-Emissionen in Deutschland zu erreichen, müssen vor allem im Bereich der Lösemittelanwendung weitere Maßnahmen eingeleitet werden. Dazu müssen die Quellen der NMVOC bekannt sein. Es ist also notwendig, sektoral hoch aufgelöste Daten über die Einsatzmenge von NMVOC bei der Verwendung organischer Lösemittel und die daraus resultierenden Emissionen zu berechnen.

Ziel dieser Arbeit ist die Identifizierung und Quantifizierung von Minderungspotenzialen, die über bisherige Maßnahmen zur Minderung hinausgehen, um den NEC-Zielwert 2010 für Deutschland einhalten zu können. Dazu wird zunächst eine Methode zur Berechnung von sektoral und stofflich hoch aufgelösten Lösemittlemissionen für ein konkretes Bezugsjahr entwickelt und angewendet. Dabei werden auch die Unsicherheiten analysiert, mit denen die Eingangsdaten und damit auch die Ergebnisse behaftet sind. Anschließend wird ein Referenzszenario für 2010 entwickelt, um unter Berücksichtigung der Aktivitätsentwicklung sowie von bestehenden gesetzlichen Maßnahmen den Umfang notwendiger zusätzlicher Reduktionen zu quantifizieren. Darauf aufbauend werden zusätzliche Minderungspotenziale identifiziert, quantifiziert und bewertet. Es werden auch Möglichkeiten zur Implementierung der identifizierten Maßnahmen betrachtet.

### Aufbau der Arbeit

In Kapitel 2 werden bisherige Methoden zur Berechnung von Lösemittlemissionen und deren Ergebnisse dargestellt. Anschließend werden in Kapitel 3 grundlegende Definitionen und verschiedene Wirkungen von NMVOC erläutert. Hier werden auch die Systemgrenzen der Arbeit festgelegt sowie notwendige Definitionen, z. B. für flüchtige organische Verbindungen, angegeben. In Kapitel 4 wird die in dieser Arbeit verwendete Methode zur Berechnung der Emissionen ausführlich beschrieben. Aufbauend darauf werden in Kapitel 5 die NMVOC-Emissionen aus der Lösemittelanwendung sektoral und stofflich hoch aufgelöst berechnet. Die Unsicherheiten der berechneten Emissionen werden in Kapitel 6 betrachtet. Nachdem in Kapitel 7 ein Referenzszenario für 2010 für Deutschland unter Berücksichtigung der Entwicklung der lösemittelrelevanten Aktivitäten und der Implementierung von gesetzlichen Maßnahmen bis 2010 berechnet wird, wird in Kapitel 8 ein Minderungsszenario erstellt. Dabei werden über gesetzli-

che Maßnahmen hinausgehende Minderungspotenziale identifiziert, quantifiziert und bewertet. Im abschließenden Kapitel 9 werden die Ergebnisse dieser Arbeit zusammenfassend dargestellt.

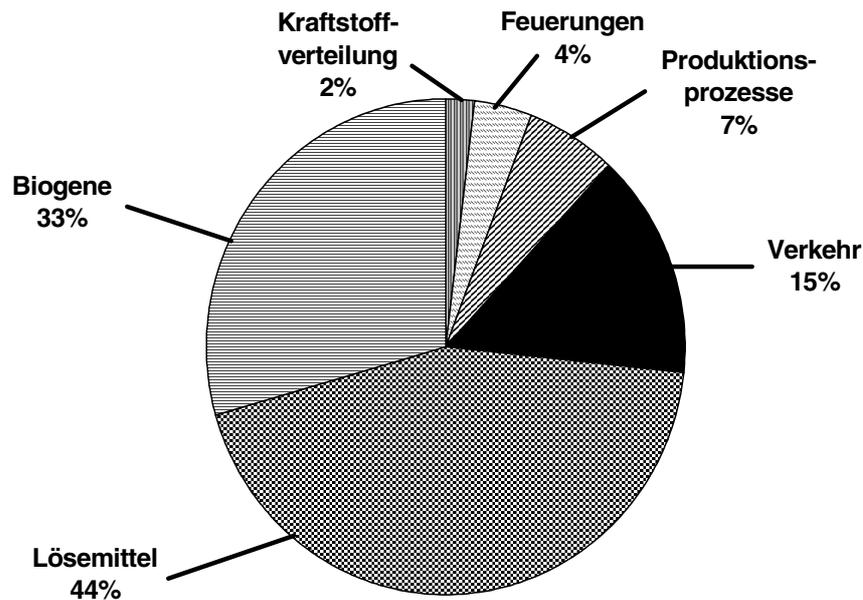
## 2 Bisher vorliegende Arbeiten zur Berechnung von Lösemittlemissionen

Ein Überblick über die gesamten NMVOC-Emissionen einschließlich der Lösemittlemissionen wird jährlich vom Umweltbundesamt angefertigt. Die Berechnungen des Umweltbundesamtes basieren auf der Fortschreibung der Ergebnisse einer Studie von Bräutigam und Kruse [Bräutigam et al., 1992]. Hier wurden die Emissionen mit Hilfe eines lösemittelbezogenen Ansatzes abgeschätzt. Die Autoren haben die branchen- und produktbezogenen Lösemittleinsätze auf der Grundlage von Verkaufsmengen unterschiedlicher Lösemittel abgeschätzt, die sie bei Lösemittelherstellern für das Bezugsjahr 1986 abfragten. Dies umfasste auch Informationen der Hersteller darüber, welche Lösemittelmengen in welchen Anwendungsbereichen verbraucht wurden. Mit Hilfe ergänzender Informationen über Einsatztechniken der Lösemittel, produkt- und anwendungsbezogene Lösemittelgehalte, Abluftreinigungstechniken und anderen Informationen wurden die Lösemittlemissionen für die einzelnen Quellgruppen der Lösemittelanwendung, soweit möglich, aufgelöst nach Einzelstoffen oder Stoffklassen, abgeschätzt. Die Studie bezog sich nur auf die alten Bundesländer und im Bezugsjahr 1986 war die 4. BImSchV [4. BImSchV, 1999] noch nicht umgesetzt. Das Umweltbundesamt hat diese Effekte bei seinen Berechnungen durch grobe Abschätzungen berücksichtigt. Diese Daten sind mit sehr grossen Unsicherheiten behaftet.

Die vom Umweltbundesamt für alle Quellgruppen abgeschätzten Emissionsmengen wurden auf dieser Grundlage zuletzt im nationalen Bericht über Nationale Emissionshöchstgrenzen, dem sogenannten NEC-Bericht [NEC-Bericht, 2003], für das Bezugsjahr 2000 veröffentlicht. Danach wurden 2000 in Deutschland etwa 1.605 kt der NMVOC-Emissionen anthropogen verursacht. Auf Grundlage von [Steinbrecher, 2000] kann abgeschätzt werden, dass etwa 667 kt der NMVOC Emissionen 2000 biogen verursacht wurden. Damit wurden 2000 ungefähr zwei Drittel der NMVOC-Emissionen in Deutschland anthropogen verursacht [NEC-Bericht, 2003]. Die anthropogenen Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen sind zu einem erheblichen Teil, das heißt zu über 60%, auf die Anwendung von Lösemitteln und lösemittelhaltigen Produkten zurückzuführen.

Wie Bild 2-2 zeigt, hat die relative Bedeutung der NMVOC-Emissionen aus der Lösemittelanwendung in den letzten Jahren im Vergleich zum Autoverkehr, dem anderen Hauptverursacher von NMVOC-Emissionen, zugenommen und betrug nach Abschätzungen des Umweltbundesamtes 2000 [NEC-Bericht, 2003] etwa zwei Drittel der gesamten anthropogenen NMVOC-Emissionen in Deutschland.

In Zukunft wird der Anteil der Emissionen aus Lösemittelanwendungen an den gesamten anthropogen bedingten NMVOC-Emissionen noch zunehmen, da durch die Implementierung der auf europäischer Ebene verschärften Emissionsgrenzwerte EURO3 und EURO4 [EUROIII-IV, 1998] mit weiteren deutlichen Emissionsminderungen im Straßenverkehr zu rechnen ist. Daher gewinnt die Berechnung von Lösemittlemissionen in hoher sektoraler Auflösung im Hinblick auf die Identifizierung weiterer Minderungspotenziale zunehmend an Bedeutung. Die Vielfalt der Verwendungszwecke und der Arten lösemittelhaltiger Produkte gestalten eine solche Berechnung schwierig.



**Bild 2-1:** NMVOC-Emissionen 2000 in Deutschland (insgesamt etwa 2.272 kt) [NEC-Bericht, 2003], [Steinbrecher, 2000]

Für Baden-Württemberg wurden die Lösemittlemissionen für ausgewählte Quellgruppen von [Obermeier, 1995] für das Bezugsjahr 1990 abgeschätzt. Von [Obermeier, 1995] wurden zunächst die produktbezogenen bundesweiten Inlandsverbräuche aus der Produktions- und Außenhandelsstatistik ermittelt.

Mit Hilfe ergänzender Informationen wurden dann Lösemittelgehalte, Anwendungstechniken und Abluftreinigungsmaßnahmen ermittelt und so die Emissionen abgeschätzt. Anhand bestimmter Indikatoren wie z. B. Beschäftigtenanzahl, Einwohnerzahl, Anzahl der Kraftfahrzeuge usw. konnten dann aus den bundesweiten Lösemittlemissionen die Emissionen für Baden-Württemberg anteilig ermittelt werden.

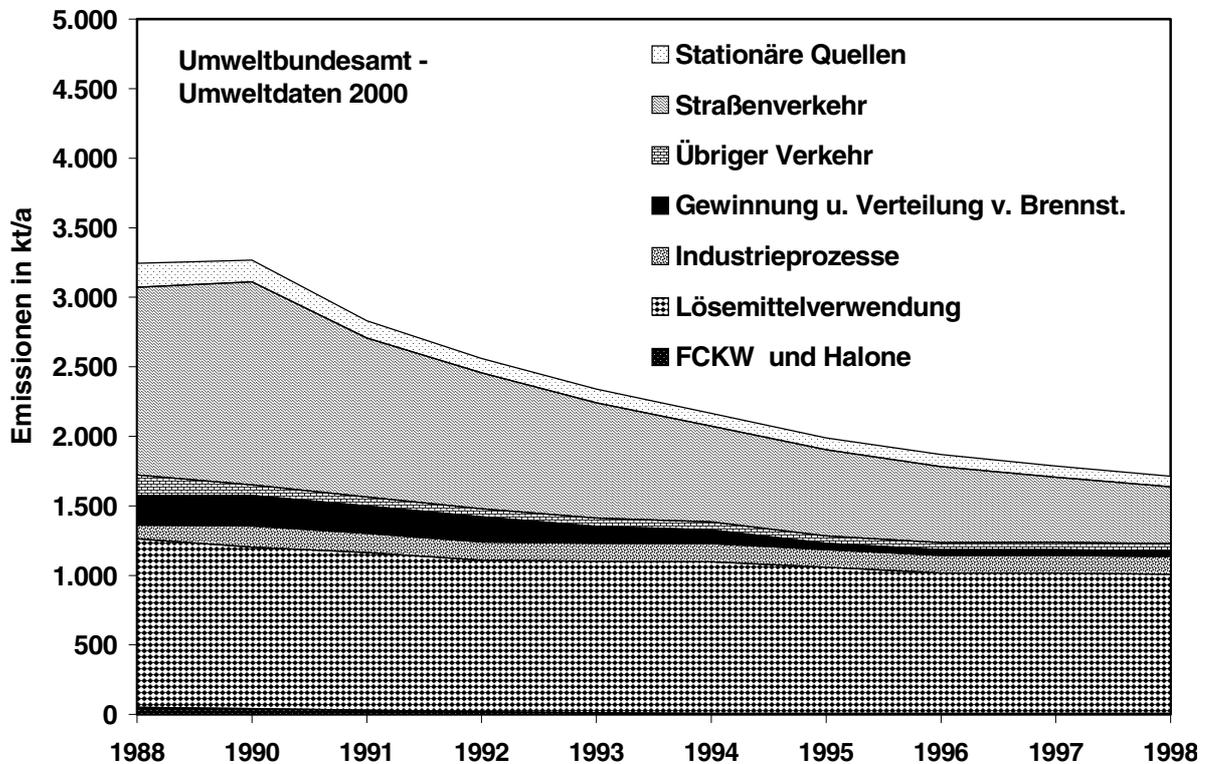
Für Österreich wurden die Lösemittlemissionen für das Bezugsjahr 1990 mit Hilfe eines lösemittelbezogenen Ansatzes von [Malle, 1993], [Vitovec et al., 1998] berechnet. Auch für das Bezugsjahr 2000 wurden die Lösemittlemissionen für Österreich von [Windsperger et al., 2002a], [Windsperger et al., 2002b] und [Windsperger et al., 2003] sowohl mit Hilfe eines Bottom-up Ansatzes als auch mit Hilfe eines lösemittelbezogenen Top-Down Ansatzes ermittelt. Dabei wurden unterschiedliche Ergebnisse erhalten, die durch entsprechende Bilanzkorrekturen in Übereinstimmung gebracht wurden. Für die Schweiz wurden die Lösemittlemissionen für die Bezugsjahre 1990, 1998 und 2001 mit Hilfe eines Bottom-up-Ansatzes von [BUWAL, 1995] und [BUWAL, 2003] berechnet. In dem EMEP<sup>1</sup>/CORINAIR<sup>2</sup> Atmospheric Emission Inventory Guidebook [McInnes, 1999] ist für alle Quellgruppen eine standardisierte Methode zur Berechnung der Emissionen beschrieben.

Für die Berechnung der Lösemittlemissionen ist die beschriebene Methode jedoch unvollständig in Bezug auf die erfassten Quellen und völlig inkonsistent in der Methodenwahl. Haupt-

<sup>1</sup> EMEP: Co-operative Programme for Monitoring and Evaluation of the Long-Range Transport Transmission of Air Pollutants in Europe

<sup>2</sup> CORINAIR: The Atmospheric Emission Inventory for Europe

sächlich wird ein lösemittelbezogener Top-Down-Ansatz verwendet, teilweise jedoch auch ein Bottom-up-Ansatz. Es handelt sich in [McInnes, 1999] eher um eine Faktensammlung für ausgewählte Quellgruppen als um die vollständige Beschreibung einer Methode.



**Bild 2-2:** NMVOC-Emissionen von 1988-1998 in Deutschland aufgeteilt nach Quellgruppen [UBA, 2000]

In weiteren Untersuchungen [LBA, 1993] (Baden-Württemberg), [Motz et al., 1998], [AVISO, 2001] (Nordrhein-Westfalen), [Nacken et al., 1999] (Leipzig, Dresden, Chemnitz), [Jepsen et al., 2003] (Berlin) wurden für unterschiedliche Bezugsjahre und verschiedene Bezugsbiere mittels Bottom-up-Berechnungen Emissionen für ausgewählte Quellgruppen (Industrie, Gewerbe, Haushalte usw.) der Lösemittelanwendung ermittelt.

Auf der Grundlage kleinräumiger Untersuchungsgebiete werden alle zwei Jahre für Baden-Württemberg von der UMEG<sup>3</sup> die Emissionen aus der Lösemittelanwendung berechnet [Umeg, 2000], [Umeg, 2003]. Dabei werden Emissionen aus der Lösemittelanwendung in Industrie und Gewerbe sowie sonstigen nicht gefassten Quellen erfasst. Die betrachteten Quellgruppen sind teilweise Produktionsprozessen zuzuordnen und damit nicht der Quellgruppe Lösemittelanwendung. Die Enteisung, das heißt, die Flugzeugenteisung, die Betriebsflächenenteisung auf Flughäfen, die sonstige Enteisung sowie die Verwendung von Frostschutzmitteln in Scheibenwaschanlagen, wird den Emissionen aus dem Verkehr zugeordnet.

Die Berechnung der Lösemittelanwendung und emissionsmengen basiert in den verschiedenen Arbeiten auf verschiedenen methodischen Ansätzen und unterscheidet sich in den erfassten Quellgruppen, der stofflichen Auflösung, dem Bezugsgebiet und dem Referenzjahr.

<sup>3</sup> UMEG: Zentrum für Umweltmessungen, Umwelterhebungen und Gerätesicherheit Baden-Württemberg, Anstalt des öffentlichen Rechts, Karlsruhe

Der von [Malle, 1993] und [Bräutigam et al., 1992] verwendete Berechnungsansatz basiert auf Daten, die nicht öffentlich zugänglich sind, insbesondere auf Informationen der Lösemittelindustrie über im Inland produzierte und verbrauchte Lösemittelmengen. Diese Informationen sind nur mit erheblichen Schwierigkeiten zu erhalten, da die Lösemittelhersteller sehr restriktiv mit solchen Daten umgehen, die für andere Marktteilnehmer von erheblichem wettbewerblichem Interesse sind. Daher wurden in diesen Arbeiten viele Abschätzungen verwendet, die zwar durch entsprechende Expertenbefragungen plausibilisiert wurden, jedoch weitgehend nicht dokumentiert wurden und somit auch nicht überprüfbar und nachvollziehbar sind. Von [Obermeier, 1995] wurden Lösemittlemissionen auf Grundlage eines produktbezogenen Ansatzes mit Hilfe öffentlich zugänglicher Daten berechnet, jedoch nur für ausgewählte Quellgruppen. Viele der erwähnten Arbeiten beziehen sich auf relativ weit zurückreichende Bezugsjahre und wurden seitdem in vielen Fällen einfach fortgeschrieben. Die Berechnungen sind sowohl bezüglich der Eingangsdaten, der vorgenommenen Annahmen, der sektoralen Auflösung, der eingesetzten Anwendungstechniken und der erhaltenen Ergebnisse als veraltet zu betrachten. Zusammenfassend kann konstatiert werden, dass die bisherigen Arbeiten zur Berechnung von Lösemittlemissionen vor allem folgende Defizite aufweisen:

- unvollständige Erfassung der relevanten Quellgruppen,
- ungenügende sektorale Auflösung, insbesondere im Hinblick auf die Entwicklung von Minderungsstrategien,
- ungenügende stoffliche Auflösung,
- bei den lösemittelbezogenen Ansätzen ([Malle, 1993] und [Bräutigam et al., 1992]) wurden die Eingangsdaten weitgehend ungenügend dokumentiert,
- bei [Bräutigam et al., 1992] wurde keine Fehlerbetrachtung durchgeführt. Auch in anderen Arbeiten wurden Unsicherheiten nur teilweise betrachtet,
- die Eingangsdaten, Annahmen und Berechnungsergebnisse sind meist veraltet.

Ausgehend von neuen Erkenntnissen über Quellgruppen und Emissionsfaktoren sowie aufgrund der deutschen Wiedervereinigung und der daraus resultierenden Erweiterung des Untersuchungsgebietes ist es notwendig, eine in weiten Bereichen neue Methode zur Berechnung der Lösemittlemissionen zu entwickeln. Es ist ein Ziel dieser Arbeit, die identifizierten Defizite durch Verwendung einer weitgehend neuen Methode und die Verwendung aktueller Daten zu verkleinern.

Für die Identifizierung effizienter Minderungsstrategien ist der Einsatz von Chemie-Transport-Modellen (CTM) notwendig. Diese CTM's benötigen für das Chemiemodul neben sektoral, räumlich und zeitlich hoch aufgelösten Emissionsdaten auch stofflich hoch aufgelöste Daten (NMVOC-Split). Daher werden die in dieser Arbeit berechneten Lösemittlemissionen soweit wie möglich stofflich aufgelöst.

Es ist darüber hinaus insbesondere für die Entwicklung von effizienten Minderungsstrategien wichtig, Informationen über die Genauigkeit der berechneten Emissionsdaten zu erhalten. Daher werden die Unsicherheiten der berechneten Emissionen mit Hilfe eines qualitativen Ansatzes abgeschätzt.

## 3 Grundlagen

### 3.1 Definitionen und Systemgrenzen

#### 3.1.1 Definitionen

Lösemittel werden in dieser Arbeit entsprechend der Richtlinie 1999/13/EG des Rates der Europäischen Union vom 11. März 1999 über die Begrenzung von Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen, die bei bestimmten Tätigkeiten und in bestimmten Anlagen bei der Verwendung organischer Lösungsmittel entstehen [VOC-Richtlinie, 1999], sowie der 31. BImSchV [31. BImSchV, 2001] wie folgt definiert:

**Organisches Lösemittel** ist eine flüchtige organische Verbindung, die, ohne sich chemisch zu verändern, alleine oder in Kombination mit anderen Stoffen Rohstoffe, Produkte oder Abfallstoffe auflöst oder als Reinigungsmittel zur Auflösung von Verschmutzungen, als Lösungsmittel, als Dispersionsmittel oder als Mittel zur Einstellung der Viskosität oder der Oberflächenspannung oder als Weichmacher oder Konservierungsmittel verwendet wird.

Im Sinne der Richtlinie 1999/13/EG [VOC-Richtlinie, 1999] und der 31. BImSchV [31. BImSchV, 2001] sind flüchtige organische Verbindungen wie folgt definiert:

**Flüchtige organische Verbindungen** sind alle organischen Verbindungen, die bei 293,15 K einen Dampfdruck von mindestens 0,01 kPa oder unter den entsprechenden Gebrauchsbedingungen eine entsprechende Flüchtigkeit haben.

Neben dieser Definition für flüchtige organische Verbindungen werden in anderen Studien und gesetzlichen Regelungen bzw. EU-Richtlinien davon abweichende Definitionen verwendet. Teilweise, z. B. im UNECE „Protocol to the 1979 Convention on Long-Range Transboundary Air pollution to abate acidification, eutrophication and ground level Ozone“ von 1999 [Gothenburg, 1999] und in der NEC-Direktive (NEC=National Emission Ceilings bzw. Nationale Emissionshöchstgrenzen) [NEC-Direktive, 2001], sind diese Definitionen wirkungsbezogen, das heißt bezogen auf den einzelsubstanzspezifischen Beitrag zur troposphärischen Ozonbildung.

In Tabelle 3.1 sind die in anderen Arbeiten, internationalen Regelwerken bzw. Vereinbarungen und gesetzlichen Regelungen zu Grunde gelegten Definitionen für flüchtige organische Verbindungen (NMVOC) aufgelistet. Meist orientieren sich die verschiedenen Industrieverbände, nationalen und internationalen politischen Institutionen sowie Forschungseinrichtungen bei der Definition von NMVOC an der Anwendbarkeit bei der Umsetzung von EU-Richtlinien oder nationalen Gesetzen bzw. dem entsprechenden Umweltziel. Für das Umweltziel der Reduktion der stationären troposphärischen Ozonkonzentrationen ist die wirkungsbezogene Definition der UNECE [Gothenburg, 1999] und der NEC-Direktive [NEC-Direktive, 2001] sinnvoll. Diese Definition ist jedoch weder für die von der 31. BImSchV [31. BImSchV, 2001] erfassten Anlagenbetreiber noch von dem von der DECOPAINT-Richtlinie [DECOPAINT, 2004] betroffenen Maler- und Lackiererhandwerk anwendbar. Hier kann meist nicht beurteilt werden, ob die deklarierten und verwendeten organischen Einsatzstoffe durch Reaktion mit Stickstoffoxiden in Gegenwart von Sonnenlicht photochemische Oxidantien erzeugen können. Die Anwendbarkeit von Regeln setzt jedoch die Überprüfbarkeit in der Praxis voraus. Daher ergibt sich aus der

Vielzahl dieser unterschiedlichen Definitionen eine Unschärfe bei der Quantifizierung der NMVOC-Emissionen aus der Lösemittelanwendung. In dieser Arbeit wird weitgehend die Dampfdruckbezogene Definition der 31. BImSchV [31. BImSchV, 2001] verwendet. Teilweise wird jedoch auch die im Gothenburg-Protokoll und der NEC-Direktive verwendete wirkungsbezogene Definition berücksichtigt.

**Tabelle 3.1:** Unterschiedliche Definitionen des Begriffs NMVOC

Definition für flüchtige organische Verbindung (NMVOC)	Informationsquelle
Siedepunkt (1013 hPa): 25°C bis 300°C	[Bräutigam et al., 1992]
Siedepunkt (1013 hPa): 250°C	Lackindustrie (1998) [VCI, 1997]
Siedepunkt (1013 hPa): 200°C	Klebstoffindustrie (1998) [VCI, 1997]
Dampfdruck (293,13 K): 0,1 hPa oder eine unter den jeweiligen Verwendungsbedingungen entsprechende Flüchtigkeit	EU-VOC-Richtlinie [VOC-Richtlinie, 1999], 31. BImSchV [31. BImSchV, 2001]
Dampfdruck (293,13 K): 1,3 hPa	Obermeier/Berner (1995/1996), Dissertationen von [Berner, 1996] und [Obermeier, 1995]
Jede organische Verbindung, die sich aus menschlicher Tätigkeit ergibt, mit Ausnahme von Methan, die durch Reaktion mit Stickstoffoxiden in Gegenwart von Sonnenlicht photochemische Oxidantien erzeugen kann.	UNECE, VOC-Protokoll [Gothenburg, 1999], NEC-Richtlinie [NEC-Direktive, 2001]
Eine organische Verbindung mit einem Siedepunkt von kleiner oder gleich 250°C bei einem Standarddruck von 101,3 kPa	DECOPAINT-Richtlinie [DECOPAINT, 2004]

Im Wesentlichen sind diese unterschiedlichen Definitionen von NMVOC bei der Betrachtung von Glykolen und deren Derivaten, das heißt den entsprechenden Ethern und Estern, von Relevanz. Diese Verbindungen werden hauptsächlich bei der Anwendung von wässrigen Farb- und Lacksystemen und wässrigen Klebstoffsystemen als Lösemittel eingesetzt und haben teilweise einen kleineren Dampfdruck als 10 Pa bei 293,15 K. Bei den betrachteten Anwendungen haben diese Verbindungen ausschließlich Lösemittelfunktion. Das heißt, sie werden in Farb- und Lacksystemen z. B. dazu verwendet das entsprechende Bindemittelsystem in Lösung zu bringen und nach Auftrag des Lackes auf ein Substrat in die Atmosphäre zu entweichen. Dort trägt diese Verbindungsklasse dann zur Bildung photochemischer Oxidantien bei. Daher wird diese Stoffklasse vollständig in dieser Arbeit mit berücksichtigt. Andererseits müssen im Bogenoffsetdruck als Reinigungsmittel verwendete Pflanzenölester mit einem vernachlässigbar kleinen Dampfdruck nicht verdampfen, um ihrer Funktion als Lösemittel gerecht zu werden. Daher werden in dieser Arbeit keine Emissionen dieser Stoffklasse angenommen. Die beschriebenen Unschärfen bei der Definition von NMVOC werden bei Berechnung der Emissionen in dieser Arbeit soweit wie möglich berücksichtigt.

### 3.1.2 Systemgrenzen

Hinsichtlich der gehandhabten bzw. emittierten Stoffe werden nicht nur Lösemittel im eigentlichen Sinne erfasst, sondern auch flüchtige organische Treib-, Extraktionsmittel sowie Weichmacher (Phthalate). Bezüglich der Emissionsquellen wird die Herstellung lösemittelhaltiger Erzeugnisse sowie die Anwendung von Lösemitteln und lösemittelhaltigen Erzeugnissen untersucht.

Es ist allerdings zu beachten, dass einige Produkte, insbesondere solche, die eine definierte chemische Verbindung darstellen, sowohl als Lösemittel als auch als chemische Reaktionskomp-

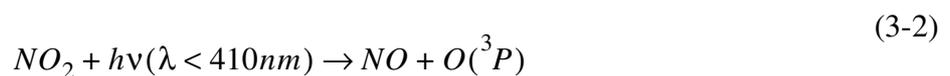
onente eingesetzt werden, z. B. Toluol als Lösemittel in Lacken, Druckfarben und Klebstoffen und als Reaktionskomponente bei der Herstellung von Toluoldiisocyanat (TDI) oder Methylethylketon (Butanon) als Lösemittel in Druckfarben und als Ausgangsmaterial bei der Synthese von Methylethylketonperoxid. Produkte, die als chemische Reaktionskomponente eingesetzt werden, fallen nicht unter die Lösemitteldefinition. Die Herstellung von Lösemitteln wird nicht betrachtet. Die hierbei verursachten Emissionen sind im Vergleich zur Weiterverarbeitung (z. B. Verwendung bei der Herstellung lösemittelhaltiger Lacke, Druckfarben usw.) und insbesondere im Vergleich zur Anwendung von lösemittelhaltigen Produkten vernachlässigbar. Folgende emissionsrelevante Anwendungsbereiche von Lösemitteln bzw. lösemittelhaltigen Produkten werden in dieser Arbeit als übergeordnete Quellgruppen voneinander unterschieden:

- Anwendung von Anstrichmitteln,
- Drucktätigkeiten,
- Anwendung von Klebstoffen,
- Oberflächenreinigungsprozesse,
- Kunststoff- und Gummiverarbeitung,
- Herstellung von lösemittelhaltigen Produkten,
- Häusliche Verwendung von lösemittelhaltigen Produkten,
- Verwendung von Frostschutz- und Enteisungsmitteln,
- sonstige Anwendung von lösemittelhaltigen Produkten.

## 3.2 Wirkungen von NMVOC

### 3.2.1 Troposphärische Ozonbildung durch NMVOC-Emissionen

Flüchtige organische Verbindungen tragen in Gegenwart von Stickoxiden und intensiver Sonneneinstrahlung zur troposphärischen Ozonbildung bei. Diese stofflich sehr heterogene Substanzklasse, die sich chemisch in viele Stoffklassen unterteilen lässt, wirkt durch Abbaureaktionen auf das in den Gleichungen (3-1) bis (3-3) dargestellte photostationäre Gleichgewicht der Ozonbildung ein:



Die Reaktionsgleichungen (3-1) bis (3-3) ergeben summiert Null, da sich in der Summe die Edukte und Produkte jeweils aufheben. Daher wird diese Kombination von Reaktionen als photostationäres Gleichgewicht bezeichnet. Aus den Gleichungen (3-1) bis (3-3) lässt sich (3-4)

herleiten.  $k_{NO+O_3}$  ist dabei die Geschwindigkeitskonstante der Gleichung (3-3), das heißt, der Oxidationsreaktion von NO mit  $O_3$  zu  $NO_2$  und  $k_{hv(NO_2)}$  die Photolysekonstante aus Gleichung (3-2).

$$\frac{[NO_2]}{[NO]} = \frac{k_{NO+O_3}}{k_{hv(NO_2)}} [O_3] \quad (3-4)$$

Das Verhältnis von  $NO_2$  zu NO und damit auch die stationäre Ozonkonzentration kann durch andere atmosphärische Spezies erheblich beeinflusst werden. Hierbei spielen Peroxyradikale eine zentrale Rolle infolge der Reaktion:



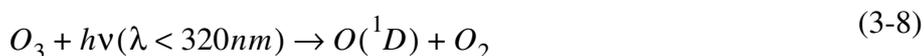
Diese Peroxyradikale entstehen z. B. beim troposphärischen Abbau von Kohlenwasserstoffen. Zunächst wird mittels OH-Radikalen ein H abstrahiert:



Das dabei entstehende Alkylradikal rekombiniert dann mit molekularem Sauerstoff und es entsteht ein Alkylperoxyradikal. Die Fähigkeit der Atmosphäre, flüchtige organische Verbindungen abzubauen und dabei letztlich zu mineralisieren, hängt vor allem von der Konzentration der OH-Radikale ab. Diese variiert mit Ort und Tageszeit. Als global gemittelter Wert für die OH-Konzentration wurden  $8 \cdot 10^5$  Molekül $\cdot$ cm $^{-3}$  bestimmt [Crutzen et al., 1992], [Prinn et al., 1992].



Die Hauptquelle der OH-Radikale ist die Reaktionsfolge:



Darüber hinaus gibt es noch weitere Möglichkeiten zum atmosphärischen Abbau von NMVOC. Die wesentlichen atmosphärischen Abbaupfade für NMVOC neben dem Abbau durch OH-Radikale sind:

- **Reaktion mit NO<sub>3</sub>-Radikalen**

Nachts übernehmen die NO<sub>3</sub>- Radikale die Rolle der OH-Radikale, da die Konzentration der OH-Radikale aufgrund fehlenden Lichtes nachts erheblich abnimmt. Die NO<sub>3</sub>-Radikale entstehen durch Oxidation von NO<sub>2</sub> durch Ozon.

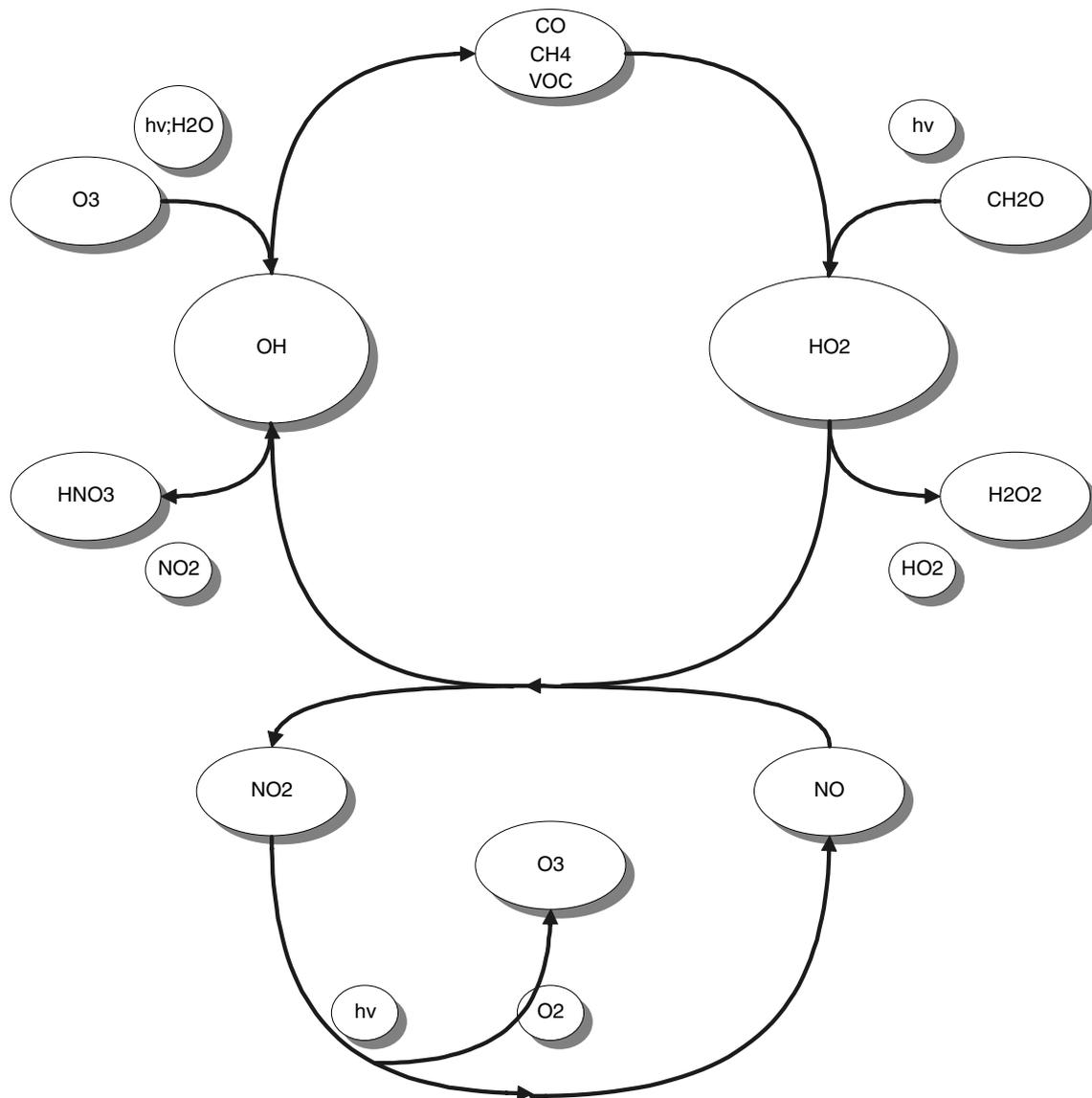
- **Ozonolyse**

Die Ozonolyse ist der wichtigste Abbaumechanismus für Alkene, Alkine und Diene.

- **Photolyse**

Die photolytische Spaltung spielt vor allem bei Carbonylverbindungen (Aldehyde, Ketone, Carbonsäuren) eine erhebliche Rolle.

Bild 3-1 verdeutlicht die in der Troposphäre stattfindenden Oxidationsprozesse. Um den Beitrag der verschiedenen flüchtigen organischen Verbindungen zur troposphärischen Ozonbildung abzuschätzen, gibt es verschiedene Konzepte. Ein gängiges Konzept ist die Bewertung dieser Eigenschaft durch den sogenannten POCP-Wert (POCP: Photochemical Ozone Creation Potential) [Derwent et al., 1996], [Derwent et al., 1998]. Diese Kenngröße beschreibt den Beitrag einer flüchtigen organischen Verbindung zur Ozonbildung im Verhältnis zum Beitrag von Ethen. Das POCP einzelner NMVOC's wird durch Modellrechnungen oder experimentell bestimmt. Dabei wird die Ozonkonzentration vor und nach Zugabe einer zusätzlichen Menge eines spezifischen NMVOC in Gegenwart einer definierten Menge Ethen bestimmt. Das POCP-Konzept bietet die Möglichkeit, bei der Umsetzung gesetzlicher Maßnahmen zur Emissionsminderung eine stoffliche Differenzierung vorzunehmen. In manchen Regionen der USA (z. B. in Kalifornien) führt dies dazu, dass z. B. Aceton und Ethan von der NMVOC-Definition ausgenommen sind und bei der Betrachtung von Lösemittlemissionen keine Rolle spielen.



**Bild 3-1:** Typische troposphärische Oxidationsprozesse, die zur Ozonbildung beitragen [Ehhalt, 1994], [Theloke, 1997]

(3-10)

$$POCP_i = \frac{\frac{[\text{Durch VOC } i \text{ produzierte Menge Ozon }]}{[\text{zeitlich integrierte Emissionsmenge des VOC } i]}}{\frac{[\text{Durch Ethen produzierte Menge Ozon }]}{[\text{zeitlich integrierte Emissionsmenge Ethen}]}} \times 100$$

In Tabelle 3.1 sind POCP-Werte ausgewählter NMVOC aufgelistet [Derwent et al., 1998].

**Tabelle 3.2:** POCP-Werte ausgewählter NMVOC geordnet nach absteigendem POCP-Werten [Derwent et al., 1998]

Stoff	POCP	Stoff	POCP
1,3,5-Trimethylbenzol	138,1	1,3-Butadien	85,1
1,2,4-Trimethylbenzol	127,8	2-Methyl-2-Buten	84,2
1,2,3-Trimethylbenzol	126,7	2-Methyl-1-Buten	77,1
cis-2-Buten	114,6	3-Methyl-1-Buten	67,1
trans-2-Buten	113,2	Toluol	63,7
Propen	112,3	Methylpropen	62,7
cis-2-Penten	112,1	n-Butanol	61,2
trans-2-Penten	111,7	n-Propanol	54,3
m-Xylol	110,8	2,3-Dimethylbutan	54,1
Isopren	109,2	n-Heptan	49,4
1-Buten	107,9	n-Oktan	45,3
trans-2-Hexen	107,3	n-Nonan	41,4
cis-2-Hexen	106,9	2-Methylhexan	41,1
o-Xylol	105,3	n-Dekan	38,4
p-Xylol	101,0	3-Methylhexan	36,4
Ethen	100,0	Trichlorethylen	32,9
1-Penten	97,7	Essigsäureethylester	21,3
1-Hexen	87,4	Isopropanol	14,0
1,3-Butadien	85,1	Ethan	12,3
2-Methyl-2-Buten	84,2	Aceton	9,4
1-Hexen	87,4	Perchlorethylen	2,9

Eine andere Möglichkeit, den Einfluss einer flüchtigen organischen Verbindung auf die Ozonkonzentration abzuschätzen, ist die Berechnung ihrer atmosphärischen Lebensdauer in Bezug auf ihre Reaktion mit OH-Radikalen. Damit können Unterscheidungen vorgenommen werden zwischen NMVOC, die lokal, regional, überregional oder global zur Ozonbildung beitragen. Je kleiner die Reaktionsgeschwindigkeitskonstante der betrachteten Substanz bezüglich ihrer Reaktion mit OH-Radikalen ist, desto größer ist die Lebensdauer dieser Substanz und um so weiter wird sich diese Spezies von ihrem Emissionsort entfernen, bevor sie atmosphärisch abgebaut wird. Für Alkane kann die Reaktionsgeschwindigkeitskonstante bezüglich OH mit Hilfe der Atkinson'schen Inkrementmethode [Finlayson-Pitts, 1999] leicht abgeschätzt werden. Die Reaktionsgeschwindigkeitskonstante des betrachteten Alkans ist dabei jeweils von der Zahl der primär, sekundär und tertiär gebundenen H-Atome abhängig. Die jeweiligen Werte gelten nur näherungsweise als Indikator für die atmosphärenchemische Wirkung der einzelnen Substanzen. Insbesondere Betreiber atmosphärischer Modelle weisen darauf hin, dass die Ozonbildung von den aktuellen Konzentrationen verschiedenster Einzelstoffe abhängt, und daher nur mit Hilfe von Chemie-Mechanismen richtig abgebildet werden kann.

### 3.2.2 Aerosolbildungspotenzial flüchtiger organischer Verbindungen

Aerosole werden entweder direkt in die Atmosphäre emittiert oder bilden sich aus gasförmigen Stoffen in der Atmosphäre. Diese sogenannten sekundären Aerosole werden unterschieden in anorganische und organische Sekundäraerosole. Organische Sekundäraerosole werden durch Oxidationsprozesse von leicht flüchtigen organischen Verbindungen in der Atmosphäre gebildet. Leichtflüchtige und meist unpolare organische Verbindungen werden dabei zu schwerflüchtigen organischen Verbindungen mit mehreren funktionellen Gruppen, die aus ursprünglich unpolaren Verbindungen polare Verbindungen werden lassen und so leichter mit in der Atmosphäre schon vorhandenen Aerosolen (Wassertröpfchen, Feinstaub usw.) in Wechselwirkung treten können [Dusek, 2000].

### 3.2.3 Andere Wirkungen

Einzelne NMVOC haben kanzerogene, mutagene und teratogene Wirkungen auf den Menschen sowie toxische Wirkungen auf Fauna und Flora. Manche NMVOC, z. B. teilhalogenierte FCKW-Ersatzstoffe, tragen zum Treibhauseffekt bei. In [Wickert et al., 2000] sind ausgewählte gesundheitsschädliche Wirkungen typischer Lösemittel aufgeführt. Danach wirkt z. B. n-Hexan neurotoxisch, da es im Körper zu 2,5-Hexandion metabolisiert wird. Diketone sind für neurotoxische Wirkungen bekannt. Benzol wirkt krebserregend. Und das häufig in wasserbasierten Lacksystemen eingesetzte Ethylenglykol steht aufgrund von Erkenntnissen aus Tierversuchen im Verdacht fruchtschädigend zu wirken. Darüber hinaus besitzen auch die in Abschnitt 3.2.2 beschriebenen Aerosole gesundheitsschädigende Wirkungen [Wickert et al., 2000].

## 4 Produktbezogener Ansatz zur Berechnung der Emissionen

Um Emissionen aus Lösemittelanwendungen zu berechnen, gibt es verschiedene Möglichkeiten. Zunächst muss in Bottom-up- und Top-Down-Ansätze unterschieden werden.

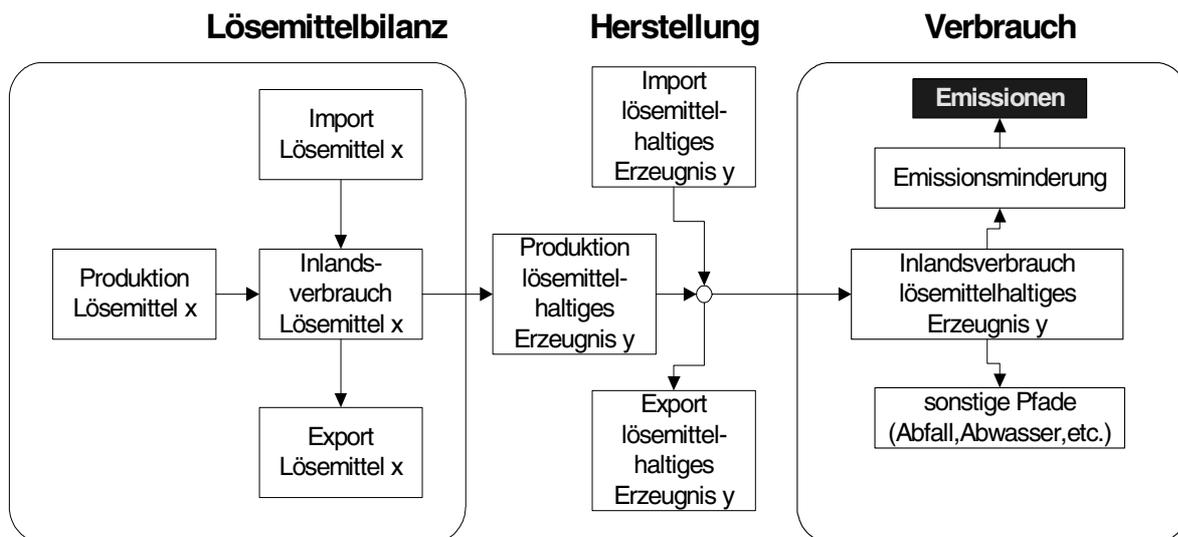
Bei Bottom-up-Ansätzen werden auf Grundlage von Messungen oder detaillierten Befragungen in kleinräumigen Untersuchungsgebieten Lösemittelleinsätze, Lösemittelgehalte, Emissionsfaktoren und andere notwendige Daten erhoben. Daraus ergeben sich spezifische Einsatz- und Emissionsfaktoren. Diese Daten werden mit Hilfe verschiedener quellgruppenspezifischer Indikatoren, wie z. B. Beschäftigtenzahl, Bevölkerungszahl, Anzahl der zugelassenen Kraftfahrzeuge usw. auf größere Bezugsgebiete hochgerechnet.

Bei sogenannten Top-Down-Ansätzen wird unterschieden in lösemittel- und produktbezogene Ansätze. Der lösemittelbezogene Ansatz, der z. B. von [Bräutigam et al., 1992] verwendet wurde, verwendet Daten von Lösemittelherstellern über Lösemittelinlandsverbräuche, um den Verbrauch verschiedener Lösemittel im Inland direkt (das heißt, ohne den Umweg über den Verbrauch lösemittelhaltiger Produkte) abzuschätzen. Der Verbrauch der Lösemittel im Inland ist dabei der Saldo aus Produktion, Im- und Export. Für den lösemittelbezogenen Ansatz bieten allgemein zugängliche Statistiken nur eine begrenzte Grundlage, so dass die Umsetzbarkeit dieser Methode wesentlich von der Beschaffung ergänzender Informationen bei den Lösemittelherstellern (z. B. European Solvent Industry Group-ESIG) abhängt. Die Basis dieses Ansatzes bilden Eingangsdaten, die nur sehr schwer verfügbar und in der Praxis kaum dokumentierbar sind, da sie von den Lösemittelherstellern sehr restriktiv gehandhabt werden. Die Ergebnisse für ein konkretes Bezugsjahr sind nicht ohne erheblichen Aufwand für zukünftige Bezugsjahre fortschreibbar.

Im Rahmen dieser Arbeit wird eine neue produktbezogene Methode zur Berechnung der NMVOC-Emissionen aus Lösemittelanwendungen für ein konkretes Bezugsjahr in Deutschland entwickelt. Die sektorale und stoffliche Auflösung ist gegenüber früheren Berechnungsansätzen erheblich verbessert.

Die besondere Innovation der entwickelten Methode ist, dass die Berechnung der Emissionen weitgehend mit Hilfe öffentlich zugänglicher Eingangsdaten durchgeführt werden kann. Dadurch reduziert sich der Fortschreibungsaufwand erheblich und die Berechnungsergebnisse sind mit wesentlich geringeren Unsicherheiten behaftet als bei Verwendung früherer Berechnungsansätze.

Bei diesem Ansatz wird der Inlandsverbrauch an lösemittelhaltigen Produkten mit Hilfe von Produktions- und Außenhandelsstatistik ermittelt. Anhand von Informationen über Lösemittelgehalte der Produkte und branchen- bzw -anwendungsbezogenen Emissionsfaktoren kann so die anwendungsspezifische Emissionsmenge der entsprechenden Quellgruppe ermittelt werden. Diese zusätzlichen Informationen werden zum größten Teil „Bottom-up“-Studien entnommen.



**Bild 4-1:** Methodik der Ermittlung von Emissionen aus der Lösemittelanwendung

In Bild 4-1 ist die in dieser Arbeit gewählte produktbezogene Methode zur Ermittlung der Lösemittlemissionen einschließlich der Plausibilitätsprüfung durch einen lösemittelbezogenen Ansatz grafisch dargestellt. Die hier nur grob skizzierte Vorgehensweise zur Erstellung einer bundesweiten Lösemittelanwendungs- und Emissionsdatenbasis erfordert die Durchführung umfangreicher Erhebungen und Datenanalysen. Im Folgenden wird der in dieser Arbeit verwendete produktbezogene Ansatz genauer beschrieben.

#### 4.1 Ermittlung und Charakterisierung von Quellgruppen

Um die Emissionen aus der Anwendung von Lösemitteln zu ermitteln, ist es zunächst notwendig, möglichst vollständig alle Quellgruppen zu erfassen und klar voneinander abzugrenzen. So soll zum einen sichergestellt werden, dass alle Emissionen aus der Lösemittelanwendung erfasst werden und zum anderen Doppelzählungen weitgehend vermieden werden. Mit der Ermittlung und eindeutigen Abgrenzung der Quellgruppen ist eine möglichst detaillierte Charakterisierung der Quellgruppen verbunden. Die Ermittlung des auf einzelne Anwendungsgebiete bezogenen Einsatzes an lösemittelhaltigen Produkten erfolgt auf der Basis von Informationen unterschiedlicher Fachverbände aus Industrie und Gewerbe (z. B. Verband der Lackindustrie, Industrieverband Klebstoffe, Verband der Chemischen Industrie, Bundesverband Druck, Gesamtverband Dämmstoffindustrie usw.) sowie sonstiger Informationsquellen (z. B. [Öko, 1999], [Jepsen et al., 2004], Fachliteratur, Persönliche Mitteilungen von Fachleuten usw.).

#### 4.2 Berechnung der Inlandsverbräuche

Um die Inlandsverbrauchsmenge lösemittelhaltiger Produkte zu ermitteln, werden zunächst die Meldenummern des systematischen Güterverzeichnis der Produktionsstatistik und die dazugehörigen Meldenummern der Außenhandelsstatistik bestimmt, die dem jeweiligen Anwendungsbereich zugeordnet werden können. Mit Hilfe des systematischen Verzeichnisses für Produktionsstatistiken (GP95) [StaBuA, 1995] ist eine Zuordnung der Meldenummern der Produk-

tionsstatistik zu den Meldenummern der Außenhandelsstatistik möglich. Diese Zuordnung ist seit der Umstellung der Systematik der Produktionsstatistik im Jahr 1995 auf eine europäische Systematik eindeutig. Dabei ist jedoch zu beachten, dass meist mehrere Meldenummern der Produktionsstatistik mehreren Meldenummern der Außenhandelsstatistik zugeordnet sind. Zur Ermittlung des Inlandsverbrauches einer Produktgruppe wird die im Inland produzierte Menge anhand der Produktionsstatistik ermittelt, der Import der zugeordneten Produktgruppe addiert und der Export subtrahiert.

$$V = P + I - E \quad (4-1)$$

V = Inlandsverbrauch in t

P = Produktionsmenge in t

I = Importmenge in t

E = Exportmenge in t

Häufig sind mehreren Produktgruppen der Produktionsstatistik mehrere Produktgruppen der Außenhandelsstatistik zugeordnet, doch nicht jede in diese Zuordnung integrierte Produktgruppe der Produktionsstatistik ist quellgruppen- bzw. emissionsrelevant. In diesen häufig auftretenden Fällen werden jeweils die Produktions-, Import- und Exportmengen aller betrachteten Produktgruppen addiert. Anschließend werden dann Gesamtproduktionsmenge und Gesamtimportmenge addiert und die Gesamtexportmenge subtrahiert. Dies ergibt einen Gesamtinlandsverbrauch aller betrachteten Produktgruppen der Produktionsstatistik, unabhängig davon, ob diese für die Lösemittelanwendung relevant sind. Dieser Gesamtinlandsverbrauch wird dann ins Verhältnis zu der Gesamtinlandsproduktionsmenge gesetzt. Die Multiplikation aller betrachteten Einzelproduktgruppen mit diesem Gesamtinlandsverbrauchsverhältnis ergibt nun für jede Einzelproduktgruppe den ihr zuzuordnenden Inlandsverbrauch. In Tabelle 4.1 wird die beschriebene Methode zur Ermittlung des Inlandsverbrauches anhand eines Beispiels illustriert.

In die folgenden Berechnungsschritte zur Ermittlung der Lösemittlemissionen gehen nur die in Tabelle 4.1 mit D1, D2 und D4 bezeichneten Inlandsverbräuche ein. D3 ist für die folgenden Berechnungsschritte nicht relevant, da in dieser Produktgruppen keine Lösemittel enthalten sind. Wo eine Berechnung des Inlandsverbrauches nicht möglich ist, vor allem aufgrund von Geheimhaltungsfällen in der Produktionsstatistik, werden andere Hilfsgrößen ermittelt. Zum Beispiel sind in der Produktionsstatistik keine aussagekräftigen Daten über Produktionsmengen von pharmazeutischen Produkten zu finden.

**Tabelle 4.1:** Illustration der Ermittlung des Inlandsverbrauches auf Grundlage der unterschiedlichen Systematiken der Produktions- und Außenhandelsstatistik

Meldenummer der Produktionsstatistik	Lösemittelrelevant	Produktionsmenge [t]	Meldenummern der Außenhandelsstatistik	Importmenge [t]	Exportmenge [t]	Inlandsverbrauchsverhältnis [%]	Inlandsverbrauch [t]
123	+	A1	223	B1	C1	$E1 = E$	$D1 = A1 * E1$
124	+	A2	224	B2	C2	$E2 = E$	$D2 = A2 * E2$
125	-	A3	225	B3	C3		
126	+	A4	226	B4	C4	$E4 = E$	$D4 = A4 * E4$
Summe		$A = A1+A2+A3+A4$		$B = B1+B2+B3+B4$	$C = C1+C2+C3+C4$	$E = D / A$	$D \text{ (ges.)} = A + B - C$
Summe (lösemittelrelevant)		$AL = A1 + A2 + A4$		$BL = B1 + B2 + B4$	$CL=C1+C2+C4$	$EL = E$	$DL = D1+D2+D4$

Der Bundesverband der pharmazeutischen Industrie (BPI) veröffentlicht jedoch jährlich Umsatz- und Produktionsmengen von pharmazeutischen Produkten in Geldwerten. Darüber hinaus gibt es Abschätzungen des BPI über spezifische Lösemittelleinsätze bzw. Lösemittellemissionsmengen pro Umsatz bzw. Produktionsmenge in Tonnen pro Mio. € Umsatz- bzw. Produktionswert pharmazeutischer Produkte. Wenn nun nach der Produktionsmenge bzw. dem Inlandsverbrauch an pharmazeutischen Produkten gefragt ist, so wird der geldwertspezifische Einsatz bzw. Emissionsfaktor in Beziehung zu den Umsatz- bzw. Produktionswerten gesetzt. Diese Größe ist sicherlich mit Unsicherheiten behaftet, jedoch kommt man so zu einer ungefähren Kenntnis über die im Inland bei der Produktion bzw. dem Verbrauch pharmazeutischer Produkte eingesetzten Lösemittelmengen und den resultierenden Emissionen.

### 4.3 Ermittlung der Lösemittelgehalte

Die Ermittlung der Lösemittelgehalte erfolgt aufgrund von Expertenbefragungen, Literaturrecherche und eigenen Abschätzungen. Experten sind hierbei Einzelpersonen und Fachverbände (z. B. Verband der Lackindustrie, Verband der Klebstoffindustrie, Verband deutscher Ölmühlen usw.).

Dabei werden branchenbezogene Lösemittelleinsätze unter Berücksichtigung von Informationen über branchen- und anwendungsabhängige Unterschiede bezüglich Lösemittelgehalt und Lösemittelzusammensetzung in den jeweiligen Produktarten ermittelt.

#### 4.4 Ermittlung der Emissionsfaktoren

Da es sich beim überwiegenden Teil der Quellgruppen in der Lösemittelverwendung um sogenannte Flächenquellen handelt, können Emissionsfaktoren weitgehend nicht gemessen, sondern nur abgeschätzt werden. Dies geschieht meist durch Expertenbefragungen und Literaturrecherchen sowie eigene Abschätzungen. Wie bei der Ermittlung der Lösemittelgehalte werden hier auch Verbände befragt. Bei der Abschätzung der Emissionsfaktoren werden alle relevanten Stoffstrompfade berücksichtigt (z. B. Abwasser, Abfall, externe Aufbereitung, Abluftreinigungsmaßnahmen).

#### 4.5 Berechnung der Emissionen

Die Berechnung der Lösemittlemissionen erfolgt durch Verknüpfung von Inlandsverbrauch, Lösemittelgehalten sowie Emissionsfaktoren entsprechend Gleichung (4-2):

$$E = I * L * F \quad (4-2)$$

E: Emissionen aus der Produktgruppe in t

I: Inlandsverbrauch der betrachteten Produktgruppe in t

L: Lösemittelgehalt der betrachteten Produktgruppe in %

F: Emissionsfaktor der betrachteten Produktgruppe in %

## 5 Ergebnisse der Emissionsberechnungen

In diesem Kapitel werden zunächst die betrachteten Quellgruppen charakterisiert. Anschließend wird der Inlandsverbrauch an Produkten der jeweiligen Quellgruppe für das Bezugsjahr 2000 mit Hilfe der in Kapitel 4 beschriebenen Methode ermittelt. Auf Grundlage der ermittelten Produktinlandsverbräuche werden dann die Lösemittelgehalte der eingesetzten Produkte abgeschätzt. So wird der Lösemittelverbrauch der betrachteten Quellgruppe für das Bezugsjahr 2000 bestimmt. Daran anschließend werden die Lösemittelverbräuche mit den entsprechenden Emissionsfaktoren verknüpft, die daraus resultierenden Emissionen berechnet und für jede Quellgruppe zusammengefasst dargestellt. Hierbei ist eine möglichst hohe stoffliche Auflösung der ermittelten Emissionen vorgesehen.

### 5.1 Anwendung von Anstrichmitteln

In dieser Quellgruppe werden folgende Anwendungs- / Tätigkeitsbereiche als emissionsrelevant betrachtet:

- Anwendung von Farben und Lacken
- Anwendung von Holzschutzmitteln
- Anwendung von Unterbodenschutz und Konservierung von Pkw
- Anwendung von Baustoffadditiven („Concrete additives“)
- Imprägnierung von Glas- und Mineralwolle

#### 5.1.1 Anwendung von Farben und Lacken

##### Charakterisierung und Abgrenzung der Quellgruppe

Diese Quellgruppe umfasst den Einsatz von Beschichtungsstoffen im industriellen Bereich, im verarbeitenden Gewerbe, innerhalb und außerhalb von Anlagen, im Baugewerbe sowie im Handwerk und im Do-it-Yourself (DIY)-Bereich. Sie umfasst den Einsatz von Anstrichmitteln, Einstellverdünnungen und sonstigen Verdünnungen im direkten Zusammenhang mit allen möglichen Arten von Beschichtungsvorgängen. Nicht mit einbezogen sind die Einsatzmengen und Emissionen, die im Zusammenhang mit der Reinigung oder Entfettung von Oberflächen entstehen [VDL, 1999]. Die bei diesen Anwendungen eingesetzten Mittel und deren Emissionen werden in Kapitel 5.4 (Oberflächenreinigungsprozesse) berücksichtigt. Dagegen werden die zur Geräte- und Anlagenreinigung eingesetzten Lösemittel als „sonstige Verdüner“ berücksichtigt. In der Automobilindustrie sind z. B. häufige Farbwechsel bei der Automobilherstellung üblich. Nach einem grünen Auto werden nacheinander zwei blaue Autos, dann fünf rote und wieder ein grünes usw. lackiert. Bei jedem Farbwechsel müssen die Lackiergeräte mit relativ hohem Lösemittelaufwand so gereinigt werden, dass sich keine Farbmischeffekte ergeben, da die Zeit bis zur Lackierung des nächsten Fahrzeugs knapp bemessen ist. Es ist anzunehmen, dass die zur Reinigung eingesetzten Lösemittel in einer Art Lösemittelkreislauf mehrfach verwendet werden. Jedoch wird bei der in dieser Arbeit verwendeten Berechnungsmethode nur die eingesetzte Frischware berücksichtigt. Es wird angenommen, dass diese Frischware als Ersatz der durch Verdampfung oder Entsorgung entstehenden Verluste eingesetzt wird. Sowohl der Einsatz in Anlagen als auch außerhalb von Anlagen wird betrachtet. In Bild 5-1 ist die An-

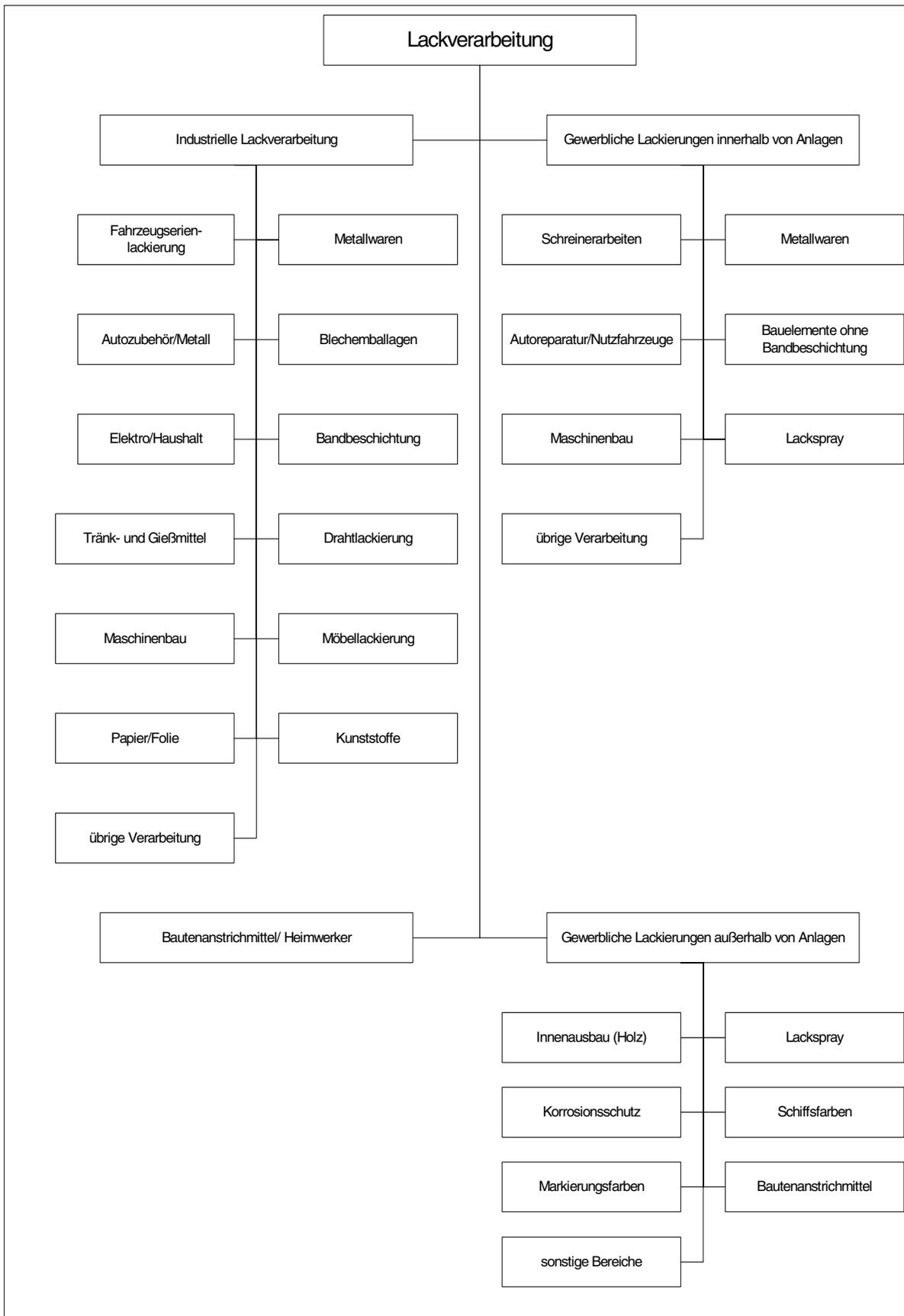
wendung von Farben und Lacken nach Anwendungsbereichen disaggregiert dargestellt. Es werden nur die Beschichtungsstoffe berücksichtigt, die im Jahresbericht des Verbandes der Lackindustrie für 2002 [VDL, 2002] angegeben werden. Das bedeutet, dass Spachtelmassen nicht berücksichtigt werden, da sie im Zusammenhang mit der Emission von Lösemitteln als nicht relevant zu betrachten sind.

### **Lösemittelverbrauchsmengen und Emissionen im Jahr 2000**

Grundlegende Daten über den anwendungsbezogenen Einsatz an Anstrichmitteln und Verdünnungen und die Emissionen an organischen Lösemitteln werden auf Grundlage der Produktions- und Außenhandelsstatistik zur Ermittlung des Verbrauchs der einzelnen Anstrichmittel sowie auf der Grundlage von Expertenbefragungen zur Ermittlung der anwendungsspezifischen Lösemittelgehalte und Emissionsfaktoren erhalten. Zunächst werden die Inlandsverbräuche an Anstrichmitteln und Verdünnungen des Jahres 2000 auf Grundlage der Produktions- und Außenhandelsstatistik [StaBuA, 2000a], [StaBuA, 2000b] ermittelt. In Tabelle 5.1 sind die mit Hilfe der in Abschnitt 4.1.2 beschriebenen Methode auf Grundlage der Produktions- und Außenhandelsstatistik berechneten Inlandsverbräuche an Farben, Lacken und Verdünnungen dargestellt. Entsprechend Tabelle 5.1 wurden 2000 in Deutschland:

- 413.686 t lösemittelhaltige Anstrichmittel,
- 1.198.674 t wässrige Anstrichmittel und
- 59.422 t Pulverlacksysteme

verbraucht. Darüber hinaus wurden 169.906 t Verdüner verbraucht. Davon waren 41.331 t Verdüner bzw. Lösemittel auf Grundlage eines Butylacetatgehaltes von mehr als 50%. Es wird angenommen, dass diese fast ausschließlich als sogenannte Einstellverdünner verwendet wurden. Einstellverdünner werden verwendet, um die vom Lackhersteller gelieferten Lacksysteme bei der Anwendung in einen gebrauchsfertigen Zustand zu bringen. 128.575 t sind der Kategorie „andere organische Lösemittel“ zugordnet. Im Jahresbericht des VDL [VDL, 2002] wird diese Kategorie als „Verdünnungen auf Basis anderer organischer Lösemittel“ bezeichnet. Im Folgenden werden diese Lösemittel als „sonstige Verdüner“ betrachtet, die im wesentlichen zur Geräte- und Anlagenreinigung verwendet werden. Ein Teil der Lösemittel dieser Kategorie der Produktionsstatistik fließt jedoch in Druckenwendungen und als Verdüner sowie in Primern und Untergrundvorbehandlungsmitteln in die Klebstoffanwendung. Es wurden etwa 43.950 t sonstige Verdünnungen als Hilfsmittel in Druckenwendungen verwendet und weitere 1.090 t im Zusammenhang mit Klebstoffanwendungen. Das bedeutet, dass etwa 83.535 t sonstige Verdüner bei der Anwendung von Farben und Lacken eingesetzt wurden.

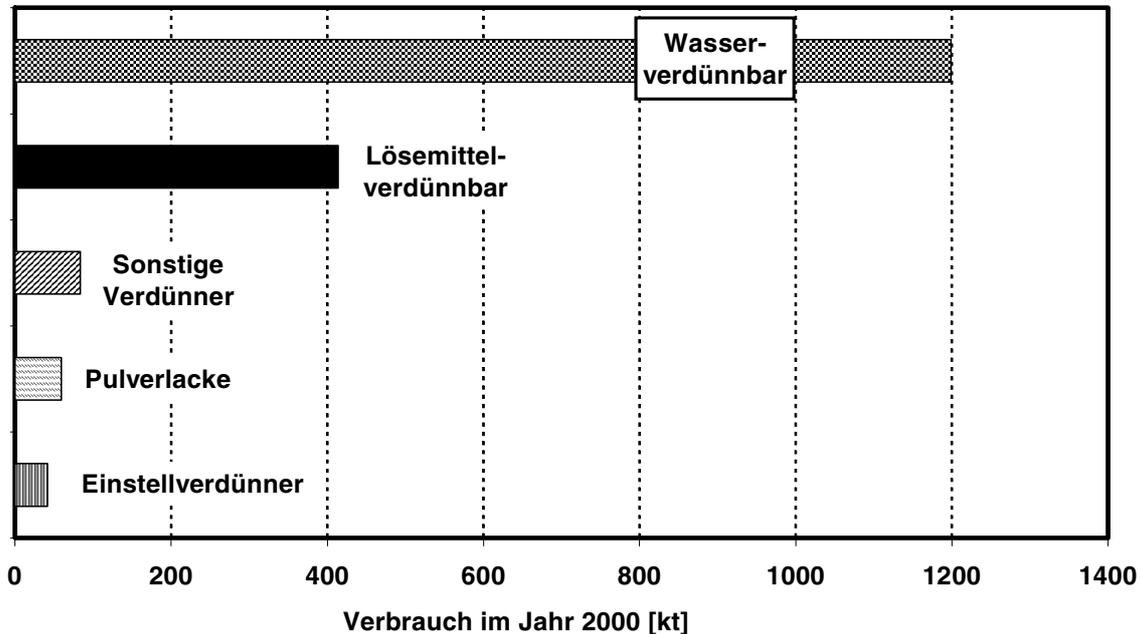


**Bild 5-1:** Differenzierung der Anwendung von Farben und Lacken [VCI, 1997]

**Tabelle 5.1:** Inlandsverbrauch der verschiedenen Farben, Anstrichmittel und Verdünner in Deutschland 2000

Produktbezeichnung der Farben, Anstrichmittel und Verdünner entsprechend GP95	Inlandsverbrauch 2000 [t]	
	Anstrichfarben für den Innenanstrich	wässrig
Anstrichfarben für den Außenanstrich	wässrig	142.469
andere Anstrichfarben (z. B. Grundierungen)	wässrig	78.131
Lacke, Dispersionsfarben	wässrig	41.133
Anstrichfarben auf Grundlage von Alkydharzen, Leimanstrich- und Wasserfarben	wässrig	16.791
ETL- und andere Wasserlacke	wässrig	43.244
Silikatanstrichfarben	wässrig	30.303
Anstrichfarben auf der Grundlage von Phenol, Harnstoff- oder Melaminharzen	wässrig	556
Anstrichfarben und Lacke auf der Grundlage von and. synthetischen Polymeren	wässrig	77.325
Anstrichfarben auf der Grundlage von and. chem. mod. natürlichen Polymeren	wässrig	12.170
Anstrichfarb. und -lacke auf Basis von Polyester (o. Alkydharz) nichtwäss. gelöst	lösemittelhaltig	18.815
Anstrichfarben auf der Grundlage von Acrylpolymeren	lösemittelhaltig	45.992
Polystyrol- und Polyvinyllacke	lösemittelhaltig	30.449
High Solids (max. 30% organische Lösemittel)	lösemittelhaltig	24.019
Alkydharze, lufttrocknend	lösemittelhaltig	77.440
Alkydharze, wärmetrocknend	lösemittelhaltig	23.276
Phenol-, Harnstoff-, und Melaminharzlacke	lösemittelhaltig	4.123
Epoxidharzlacke	lösemittelhaltig	36.163
Polyurethanharzlacke	lösemittelhaltig	51.700
Celluloselacke	lösemittelhaltig	22.308
sonstige Lacke auf Basis natürlicher Polymere	lösemittelhaltig	37.884
Pulverlacke	Pulver	59.422
Bitumen- und teerhaltige Lacke	lösemittelhaltig	34.672
Anstrichfarben und Lacke auf der Grundlage v. Schellack o. a. natürl. Bindemitteln	lösemittelhaltig	6.844
Lack und andere Spachtel	wässrig	145.917
Kunstharzgebundene Putze	wässrig	99.001
Silikatgebundene Putze für Fassaden, Innenwände und Decken	wässrig	15.783
Lösemittel auf der Grundlage von Butylacetat $\geq$ 50%	Verdünner	41.331
andere organische Lösemittel	Verdünner	128.575
Summe wässrige Anstrichmittel		1.198.674
Summe lösemittelhaltige Anstrichmittel		413.686
Summe Pulverlackssysteme		59.422
Summe Verdünner		169.906
Gesamtsumme		1.841.688

In Bild 5-2 sind die Inlandsverbräuche in Deutschland für das Jahr 2000 der einzelnen Lacksorten grafisch dargestellt. Es wurden etwa 1,8 Mio. t Lacke, Farben und Verdünner verbraucht. Etwa zwei Drittel davon waren wasserverdünnbare Farb- und Lacksysteme.



**Bild 5-2:** Inlandsverbrauch der verschiedenen Farb- und Lacksysteme sowie von Einstell- und sonstigen Verdünnern 2000 in Deutschland

Im nächsten Schritt wird die Allokation der Einsatzmengen der verschiedenen Farb- und Lacksysteme auf die einzelnen Anwendungsbereiche vorgenommen. Auf Grundlage von Informationen des VDL für das Bezugsjahr 2001 [VDL, 2003] sowie eigenen Abschätzungen werden den einzelnen Anwendungsbereichen die 2000 eingesetzten Mengen der spezifischen Kategorien der Produktionsstatistik für Farb- und Lacksysteme zugeordnet. Weiterhin werden im Folgenden auf Grundlage von Informationen des VDL [VDL, 2003] anwendungsspezifische Lösemittelgehalte sowie entsprechende Emissionsfaktoren abgeschätzt. Die Lösemittelgehalte wurden auf Grundlage von Befragungen bei Lackherstellern von Experten der Lackindustrie abgeschätzt. Bei der Abschätzung der Emissionsfaktoren werden folgende Annahmen getroffen:

- Offenen Anwendungen, das heißt, Anwendungen außerhalb von Anlagen, wird ein Emissionsfaktor von 95% zugeordnet, bezogen auf die insgesamt eingesetzte anwendungsspezifische Lösemittelmenge. Dabei wird davon ausgegangen, dass ein kleiner Teil der eingesetzten Lösemittel in Lackresten, Lackierereiabfällen und Destillationsrückständen zurückbleibt.
- Die gleichen Annahmen werden für die handwerkliche Verarbeitung lösemittelhaltiger Produkte getroffen. Auch für das Schreiner- und Innenausbaugeerbe, die Autoreparaturlackierung und die Herstellung von Nutzfahrzeugen und sonstigen Fahrzeugen wird ein Emissionsfaktor von 95% angenommen.

- In der Automobilserienlackierung werden die Emissionsfaktoren je nach Lackierungsschritt (Grundierung, Füller, Deck- bzw. Klarlackauftrag) unterschiedlich abgeschätzt. Große Teile der Emissionen werden hier erfasst und mittels sekundärer Abluftreinigungsmaßnahmen vernichtet. Teilweise erfolgt ein Transfer in Abfall und Abwasser. Die in Tabelle 5.2 angenommenen Emissionsfaktoren basieren auf einer Gewichtung der Emissionsmengen aus Wasserlacksystemen sowie lösemittelhaltigen Systemen.
- Für die anderen anlagenbezogenen eher industriellen Anwendungsbereiche werden Emissionsfaktoren angenommen, die jeweils den Anteil genehmigungsbedürftiger Anlagen an dem spezifischen Anwendungsbereich berücksichtigen.
- Für die Drahtlackierung und die Bandbeschichtung (Coil Coating) wird jeweils ein Emissionsfaktor von 5% angenommen, da bei diesen Anwendungen die Lacksysteme zum einen nicht versprüht werden, zum anderen die eingesetzten Beschichtungsanlagen fast vollständig gekapselt sind. Diese Anwendungsbedingungen gelten auch für die Papier- und Folienbeschichtung. Aufgrund einer anderen Betriebsgrößenstruktur mit teilweise auch eher kleineren Betrieben wird hier jedoch ein Emissionsfaktor von 20% angenommen. In kleineren Betrieben werden meist nicht alle Abluftströme erfasst.
- Bei der Tränk- und Gießharzverarbeitung wird berücksichtigt, dass die eingesetzten Reaktivverdünner - meist handelt es sich um Styrol - teilweise polymerisieren.

Tabelle 5.2 zeigt, dass 2000 von ungefähr 366 kt bei der Anwendung von Farben und Lacken eingesetzten Lösemitteln etwa 78% (285 kt) emittiert wurden. Die stärkste Quellgruppe ist das Maler- und Lackiererhandwerk. Wenn noch die DIY-Anwendungen, der Korrosionsschutz, die Anwendung von Markierungsfarben sowie die Anwendung von Farben und Lacken in „sonstigen Bereichen“ mitberücksichtigt werden, verursacht das Maler- und Lackierergewerbe etwa 37% der Emissionen aus der Anwendung von Farben und Lacken. Weitere stärkere Quellgruppen sind der Möbelbau, der Holzinnenausbau, das Schreinerhandwerk, die Autoreparaturlackierung, der Maschinenbau und die „übrige Verarbeitung“. Zusammen mit den dem Maler- und Lackierergewerbe zugeordneten Anwendungen verursachten diese Quellgruppen 2000 etwa 80% der Lösemittlemissionen aus der Anwendung von Farben und Lacken in Deutschland.

Die einzelnen Sektoren sind in Bild 5-3 nach abnehmender Quellstärke dargestellt. Etwa 42% (121 kt) der Emissionen entstammten offenen Anwendungen und 58% (164 kt) der Emissionen waren 2000 in Deutschland anlagenbezogenen Anwendungen zuzuordnen.

**Tabelle 5.2:** Einsatzmengen und Emissionen aus der Anwendung von Farben und Lacken

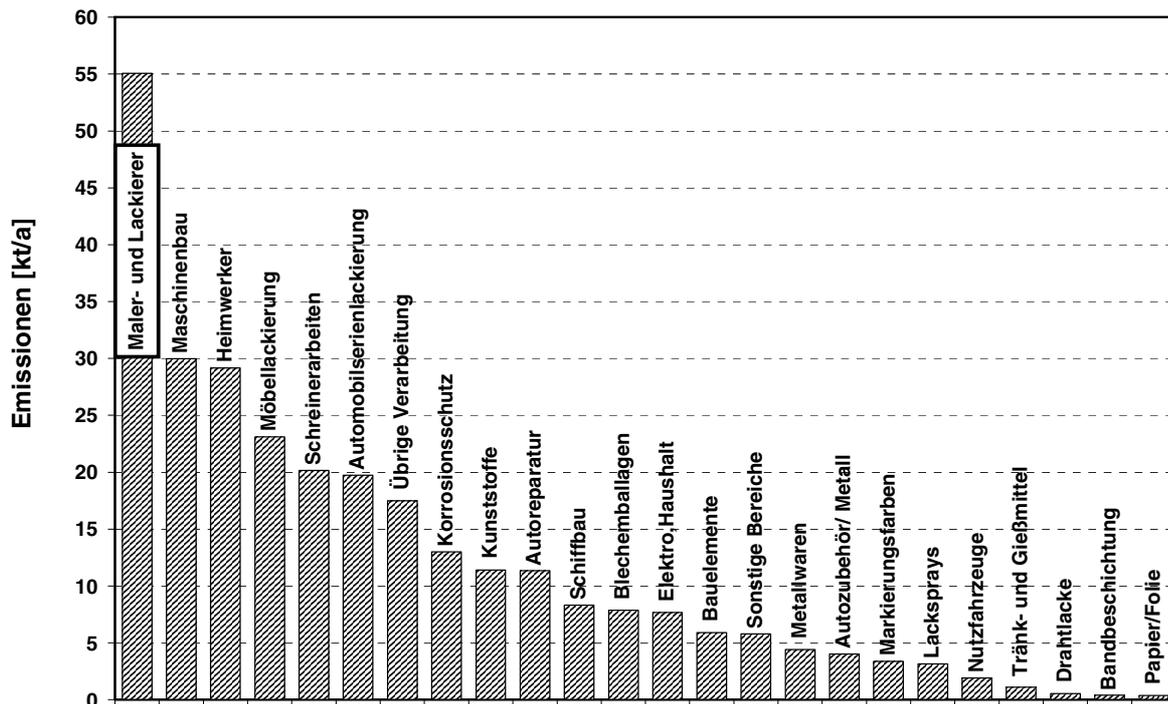
Anwendung	Lacke auf Basis Lösemittel			Lacke auf Basis Wasser		Pulverlacke	Sonstige Verdünnner	Summe Lösemittel	Emissionsanteil	Lösemittelemissionen
	Verbrauch	Anteil Lösemittel	Einstellverdünnung	Verbrauch	Lösemittelanteil	Verbrauch	Verbrauch	Verbrauch		
	[t]	[%]	[t]	[t]	[%]	[t]	[t]	[t]		
Autoherstellung - Grundierung				26.423	5	0	0	1 321	10	132
Autoherstellung - Füller	11.466	40	375	5.605	8	0	578	5.988	52	3.114
Autoherstellung - Decklacke/Klarlacke	26.209	50	4.631	14.412	12	921	7.123	26.588	62	16.485
Autoreparaturlackierung	14.202	55	1.788	594	10	0	2.292	11.951	95	11.353
Herstellung - Nutzfahrzeuge und sonstige Fahrzeuge	3.873	50	215	2.971	10	0	275	2.724	70	1.907
Dispersionsfarben - Innen (Prof.)	1.231	15	138	248.197	1	0	265	3.070	95	2.916
Fassadenfarben auf Silikatbasis (Prof.)	1.846	20	206	158.269	3	0	397	5.720	95	5.434
Kunstharzgebundene Silikatputze(Prof.)	0	0	0	84.643	1	0	0	846	95	804
Bautenlacke/Lasuren (Prof.)	43.687	50	4.888	11.139	7	0	9.396	36.907	95	35.062
Grundierungen und Überzüge (Prof.)	1.231	50	138	122.287	7	0	265	9.579	95	9.100
Sonstige Bautenanstrichmittel (Prof.)	1.231	30	138	21.074	5	0	265	1.826	95	1.735
Dispersionsfarben - Innen (DIY)	684	15	75	247.654	1	0	193	2.847	95	2.705
Fassadenfarben auf Silikatbasis (DIY)	1.026	20	113	29.207	3	0	289	1.483	95	1.409
Kunstharzgebundene Silikatputze (DIY)	0	0	0	14.358	1	0	0	144	95	136
Bautenlacke/Lasuren (DIY)	24.288	50	2.666	13.924	7	0	6.834	22.619	95	21.488
Grundierungen und Überzüge (DIY)	684	50	75	29.587	7	0	193	2.681	95	2.547
Sonstige Bautenanstrichmittel (DIY)	684	30	75	9.372	5	0	193	942	95	895

**Tabelle 5.2:** Einsatzmengen und Emissionen aus der Anwendung von Farben und Lacken (Forts.)

Anwendung	Lacke auf Basis Lösemittel			Lacke auf Basis Wasser		Pulverlacke	Sonstige Verdüner	Summe Lösemittel	Emissionsanteil	Lösemittelemissionen
	Verbrauch	Anteil Lösemittel	Einstellverdünnung	Verbrauch	Lösemittelanteil					
	[t]	[%]	[t]	[t]	[%]					
Bandbeschichtung (Coil Coating)	15.345	40	1.001	0	0	205	642	7.781	5	389
Schiffsbau	11.763	60	1.001	928	5	0	642	8.747	95	8.310
Möbel	35.533	60	1.314	8.604	6	0	2.527	25.677	90	23.109
Holzinnenausbau	15.793	65	1.126	1.912	6	0	2.166	13.672	95	12.989
Schreinerarbeiten	8.883	65	563	1.912	6	0	1.083	7.535	95	7.158
Elektro, Haushalt	17.179	45	1.835	21.575	5	10.332	4.675	15.319	50	7.660
Maschinenbau	31.495	60	3.671	19.614	7	5.740	9.351	33.292	90	29.963
Autozubehör/Metall	5.726	55	367	11.768	11	5.740	935	5.746	70	4.022
Metallwaren	4.772	50	918	5.884	11	17.219	2.338	6.289	70	4.402
Blechballagen	19.088	45	1.835	31.382	2	0	4.675	15.727	50	7.864
Drahtlacke	7.063	60	1.835	0	0	0	4.675	10.748	5	537
Tränke- und Gießmittel	8.971	25	0	0	0	0	0	2.243	50	1.121
Bauelemente ohne Bandbeschichtung	13.362	45	1.835	5.884	10	14.923	4.675	13.111	45	5.900
Kunststoffe	13.362	55	1.835	3.923	10	0	4.675	14.251	80	11.401
Papier/Folie	1.909	55	0	15.691	5	0	0	1.835	20	367
Übrige industrielle Verarbeitung <sup>a</sup>	9.544	55	3.671	23.537	5	2.296	9.351	19.448	90	17.503
Lackspray	3.685	90	0	0	0	0	0	3.317	95	3.151
Markierungsfarben	8.510	35	300	1.057	2	0	257	3.557	95	3.379
Sonstige Bereiche <sup>b</sup>	13.617	30	1.201	2.115	5	2.046	1.027	6.419	90	5.777
Korrosionsschutz	35.744	30	1.502	3.172	5	0	1.283	13.667	95	12.983
<b>Summe</b>	<b>413.686</b>		<b>41.331</b>	<b>1.198.674</b>		<b>59.422</b>	<b>83.535</b>	<b>365.615</b>	<b>285.207</b>	

a. Diese Quellgruppe umfasst die Verarbeitung von Farben und Lacken bei der Lackierung von Schildern, Fahrrädern, Motorrädern und Containern in Anlagen.

b. Diese Bereiche umfassen z. B. die Lackierung im Brand- und Gewässerschutz außerhalb von Anlagen.



**Bild 5-3:** Disaggregation der Lösemittlemissionen aus der Anwendung von Farben und Lacken nach Anwendungsbereichen in Deutschland 2000

### Stoffliche Zusammensetzung der Emissionen

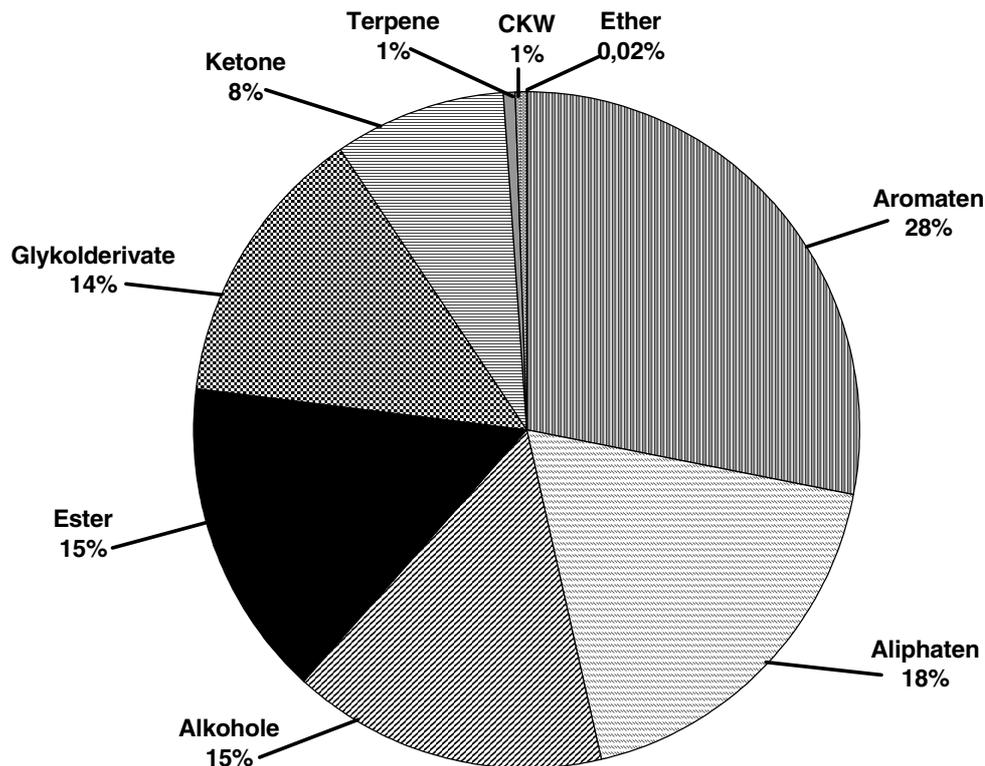
Die Zusammensetzung der Lösemittelverbräuche und Emissionen aus der Anwendung von Anstrichmitteln und Verdünnungen wurde in Anlehnung an die Untersuchung von Bräutigam und Kruse [Bräutigam et al., 1992] ermittelt.

Für das Jahr 2000 ergibt sich die in Tabelle 5.3 und Bild 5-4 dargestellte Stoffzusammensetzung. Bei Test- und Spezialbenzinen handelt es um spezielle Siedefraktionen aus der Raffinerie. Sie sind durch ihren Siedebereich und durch ihren Aromatengehalt in den DIN-Normen DIN 51 631 [DIN 51 631] und DIN 51 632 [DIN 51 632] charakterisiert.

In dieser Arbeit wird eine einzelstoffliche Zusammensetzung für die Test- und Spezialbenzine angenommen, die auf einer Forschungsarbeit von [Rudd et al., 1998] basiert. Daraus ergibt sich insgesamt ein Aromatenanteil von etwa 28% an den Emissionen aus der Anwendung von Farben und Lacken. Bei den Kategorien „Solvent Naphta schwer“ und „Solvent Naphta leicht“ handelt es sich um aromatenhaltige Kohlenwasserstoffgemische. Diese Annahmen sind in Bild 5-4 eingegangen, in der die Disaggregation der Farb- und Lackemissionen nach chemischen Stoffklassen gezeigt wird. Bild 5-4 ist auch zu entnehmen, dass über die Hälfte der Lösemittlemissionen aus Farben und Lacken sauerstoffhaltigen Verbindungen, das heißt Alkoholen, Estern, Ketonen, Glykolderivaten und Ethern, zuzuordnen sind.

**Tabelle 5.3:** Stoffliche Zusammensetzung der Verbrauchs- und Emissionsmengen von Lösemitteln bei der Anwendung von Farben und Lacken 2000 auf Grundlage von [Bräutigam et al., 1992] und eigenen Berechnungen

Lösemittel		Verbrauch 2000 in [t]	Emissionen 2000 in [t]
Kohlenwasserstoffe	Spezialbenzin	6.837	4.943
	Testbenzin	70.794	65.209
	Toluol	6.402	4.628
	Xylol	37.945	28.404
	Solvent Naphta (leicht)	31.295	24.654
	Solvent Naphta (schwer)	5.832	4.343
	Terpene	2.072	1.963
CKW	Methylenchlorid (DCM)	14	10
	Trichlorethen	693	501
	Tetrachlorethen	1.386	1.002
Alkohole	Methanol	2.426	1.754
	Ethanol	1.040	752
	i-Propanol	10.395	7.515
	n-Propanol	138	100
	Butanol (i,n)	45.115	32.617
	Hexanole	69	50
	Pentanole	208	150
	Cyclohexanol	69	50
	Benzylalkohol	831	601
Ketone	Aceton	12.474	9.018
	Methylethylketon	7.970	5.762
	Methylisobutylketon	3.119	2.255
	Cyclohexanon	1.982	1.644
	Isophoron	3.050	2.205
Hydroxyketone	Diacetonalkohol	2.910	2.104
Ester	Methylacetat	3.881	2.806
	Ethylacetat	16.632	12.025
	Propylacetat	762	551
	i-Butylacetat	6.237	4.509
	n-Butylacetat	32.294	23.348
Glykolether und Glykoletheracetate	Ethylenglykolderivate	26.335	19.039
	Propylenglykolderivate	15.246	11.023
	Propylenglykol	2.826	2.677
	2,2,4-Trimethyl-1,3-Pentandiolmonoisobutyrat	6.400	6.082
	Ethylenglykolmonophenylether	189	182
Ether	Tetrahydrofuran	69	51
	Summe	365.623	285.207



**Bild 5-4:** Zusammensetzung der in der Quellgruppe Anwendung von Farben und Lacken emittierten Lösemittel auf Grundlage von [Bräutigam et al., 1992] und eigenen Berechnungen

### 5.1.2 Anwendung von Holzschutzmitteln

#### Charakterisierung und Abgrenzung der Quellgruppe

Diese Quellgruppe berücksichtigt alle Prozesse und Anwendungen, bei denen Holzschutzmittel eingesetzt werden und das Holz dadurch imprägniert wird. Aufgabe von Holzschutzmitteln ist es, der Zerstörung von Holz bzw. Holzwerkstoffen entgegenzuwirken. Es soll ein Schutz vor Schädlingen aller Art erreicht werden (z. B. Käfer, Würmer, Pilze). Holzschutzmittel werden in folgende Gruppen eingeteilt [Leiß, 1992]:

#### Lösemittelhaltige Holzschutzmittel

Lösemittelhaltige Holzschutzmittel enthalten hauptsächlich mittelsiedende, aliphatische und aromatische Kohlenwasserstofflösemittel. Das für lösemittelhaltige Holzschutzmittel typische Lösemittel ist ein aromatenhaltiges Testbenzin mit einem Siedebereich von 180°C bis 210°C. In industriellen Anwendungen werden schneller trocknende, aromatenhaltige Testbenzine mit einem Siedereich von 145°C bis 200°C verwendet. Darüber hinaus werden auch entaromatisierte Testbenzine mit einem Siedebereich von 175°C bis 210°C verwendet. Als Hilfslöser werden Glykole, Glykolderivate und Phthalate verwendet. Der Lösemittelanteil beträgt ungefähr 80% bis 95%.

### Wässrige Holzschutzmittel

Wässrige Holzschutzmittel werden hauptsächlich bei feuchtem Holz appliziert. Die Wirkstoffe sind in Wasser gelöst.

### Teeröle bzw. Holzkreosote

Teeröle enthalten im Wesentlichen aromatische Kohlenwasserstoffe, Phenole und Kresole, sowie heteroaromatische Systeme. Diese Stoffkombination wirkt biozid. Teeröle werden hauptsächlich eingesetzt, um Fäulnis vorzubeugen. In industriellen Anwendungen werden vor allem dickflüssige Teeröle verwendet, während im DIY-Bereich vorwiegend dünnflüssige Teeröle verwendet werden. Diese dünnflüssigen Präparationen werden auch Carbolineum genannt. Seit 1991 gilt in Deutschland ein Verkaufsverbot für Teeröle. Danach ist die Abgabe von teerölhaltigen Holzschutzmitteln und mit diesen Erzeugnissen behandelten Holzprodukten an den privaten Endverbraucher grundsätzlich verboten. Ende 1994 wurde mit der EU-Richtlinie 94/60/EG [EU, 1994] auch auf europäischer Ebene ein Verbot des Inverkehrbringens von Teerölen, in der Richtlinie als Kreosote bezeichnet, erlassen.

### Holzterpentinöle

Holzschutzmittel, in denen Terpentinöle als Lösemittel verwendet werden.

Es werden im Wesentlichen folgende Verfahren zum Aufbringen der Holzschutzmittel appliziert [Leiß, 1992]:

### Streichen und Spritzen bzw. Sprühen

Streichen und Spritzen sind die einfachsten Verfahren zum Aufbringen von Holzschutzmitteln. Sie werden im Wesentlichen im handwerklichen und DIY-Bereich verwendet. Meistens sind bei der Anwendung dieses Verfahrens zwei Arbeitsgänge erforderlich, um die erforderlichen Einbringmengen zu erreichen und auftretende Unregelmäßigkeiten auszugleichen. Die erreichbaren Einbringmengen und Eindringtiefen sind gering. Ein großer Teil des Holzschutzmittels liegt an der Oberfläche vor. Bei diesem Verfahren sind hohe Verluste des Holzschutzmittels durch Overspray und Abtropfen unvermeidlich. Je nach Konstruktion und Dimension der zu behandelnden Hölzer können die Verluste beim Streichen 10% bis 20% betragen und beim Spritzen 20% bis 50%. Nur beim Sprühtunnelverfahren sind die Verluste erheblich geringer, da das zu behandelnde Holz in einer handwerklich einsetzbaren stationären Spritz- bzw. Sprühanlage mit Schutzmittel-Auffangwanne und regelbarem Vorschub durch einen Sprühkranz läuft.

### Tauchen

Hier schwimmt das Holz im bzw. auf dem Schutzmittel. Durch die Anwendung des Tauchverfahrens können mehrere Arbeitsgänge eingespart werden.

### Trogtränkung

Bei der Trogtränkung werden die Hölzer in offenen Trögen längere Zeit untergetaucht und am Aufschwimmen gehindert. In Deutschland wurden 1992 in den alten Bundesländern ungefähr 2.500 bis 3.000 Trogtränkanlagen zur Imprägnierung von Bauholz betrieben [Leiß, 1992].

### Kesseldrucktränkung

Bei der Kesseldrucktränkung handelt es sich um großtechnische Verfahren, bei denen das Holz in verschließbaren druckdichten Kesseln unter Über- oder Unterdruck mit Holzschutzmitteln getränkt wird. Es werden fast ausschließlich lösemittelfreie Salze eingesetzt.

## Lösemittelverbrauchsmengen und Emissionen im Jahr 2000

Der Inlandsverbrauch an Holzschutzmitteln wird auf Grundlage der Produktions- und Außenhandelsstatistik [StaBuA, 2000a], [StaBuA, 2000b] berechnet. Die Berechnung des Inlandsverbrauchs an Holzschutzmitteln wird entsprechend Tabelle 5.4 durchgeführt.

**Tabelle 5.4:** Ermittlung der Lösemittellemissionen aus Holzschutzmitteln in Deutschland 2000 [StaBuA, 2000a], [StaBuA, 2000b]

	Inlandsverbrauch [t]	Lösemittelgehalt [%]	Emissionsfaktor [%]	Emission [t]
Holzterpentinöle	41.960	75	95	29.897
Bautenschutzmittel bzw. Holzschutzmittel <sup>1</sup>	3.922	75	95	2.794
<b>Summe</b>	45.882			32.691

1) Da Holzschutzmittel weder in der Produktions- noch in der Außenhandelsstatistik explizit ausgewiesen sind, wird angenommen, dass sie einen Anteil von etwa 10% am Inlandsverbrauch der Kategorie der Produktionsstatistik (entsprechend GP95-Systematik) „Flammschutz-, Wasserschutzmittel und ähnliche Zubereitungen für den Schutz von Bauwerken“ haben. Diese Annahme basiert auf der Kenntnis der Inlandsverbrauchsmengen an Holzschutzmitteln, die für das Bezugsjahr 1994 auf Grundlage der früheren Systematik der Produktionsstatistik (GP89), in der Holzschutzmittel explizit ausgewiesen waren, berechnet wurden [Theloke et al., 2000] und [Graßmann, 1997].

Nach Tabelle 5.4 wurden 41.960 t Holzterpentinöle und 3.922 t Holzschutzmittel in Deutschland verwendet. Es wird den Holzschutzmitteln auf Grundlage von Informationen des VDL und des Hauptverbandes der Deutschen Holz und Kunststoffe verarbeitenden Industrie und verwandter Zweige-HDH e.V [Baums et al., 1999] ein Lösemittelgehalt von etwa 75% zugeordnet. Etwa 10% der in Deutschland eingesetzten Bautenschutzmittel werden als Holzschutzmittel eingesetzt. Diese Annahme ist in Tabelle 5.4 eingegangen. Die restlichen 90% werden in der Quellgruppe „Anwendung von Baustoffadditiven“ verwendet. Unter Annahme eines Emissionsfaktors von 95%, da weitestgehend offene Anwendungen angenommen werden, wurden 2000 in Deutschland 32.691 t Lösemittel bei der Verwendung von Holzschutzmitteln emittiert.

### Stoffliche Zusammensetzung der Emissionen

Holzschutzmittel enthalten weitgehend Testbenzine, während Holzterpentinöle im Wesentlichen Gemische von Terpenen enthalten. Die Emissionen aus der Anwendung von Holzschutzmitteln setzten sich 2000 in Deutschland zu etwa 2.794 t (8,5%) aus Testbenzinen und zu etwa 29.897 t (91,5%) aus Terpenen zusammen.

#### 5.1.3 Anwendung von Baustoffadditiven („Concrete additives“)

##### Charakterisierung und Abgrenzung der Quellgruppe

Bei Baustoffadditiven handelt es sich um Flammschutz-, Wasserschutzmittel und ähnliche Zubereitungen für den Bautenschutz. Darüber hinaus werden Betonzusatzmittel, Betontrennmittel, Entschäumer, Wasserrückhaltmittel sowie Epoxidharze und -dispersionen, bitumenhaltige

Anstrichmittel, Spachtel- und Vergussmassen auf Bitumen- und Kunststoffbasis sowie Fugendichtungsmassen auf Kunststoffbasis dieser Quellgruppe zugeordnet. Im Folgenden werden die emissionsrelevanten Agenzien [Betonzusatz, 1999], [Mörtel, 1998], [Betontrenn, 1996] kurz beschrieben:

#### Hilfsstoffe und Additive in Betonverflüssigern und Fließmittel

In dieser Gruppe werden die Konservierungsmittel als emissionsrelevant betrachtet, die Formaldehyd, Formaldehyd abspaltende phenolische Verbindungen und Isothiazolinon-Zubereitungen beinhalten. Konservierungsmittel werden als temporärer Schutz beigemischt. Hauptsächlich werden Formaldehyd abspaltende Verbindungen verwendet.

#### Betonzusatzmittel

- Epoxidharze und Epoxidharzdispersionen

ECC-Mörtel (Epoxi-Cement-Concrete) werden meist mit 3% bis 5% Epoxidharzen und 3% bis 5% aliphatischen Aminen bezogen auf die Menge Endprodukt formuliert. Bei ECC-Mörteln bildet Epoxidharz zusammen mit Zement das Bindemittel. Die Modifizierung mit Epoxidharz verbessert die Beständigkeit gegen verschiedene äußere Einflüsse, denen Beton ausgesetzt ist. Bei Epoxidharzdispersionen werden die Epoxidharze unter Zuhilfenahme von Tensiden und Alkoholen in Wasser dispergiert. In Fachkreisen werden Epoxidharze und -dispersionen aufgrund ihrer relativ großen Zugabemenge als "Betonzusatzstoffe" bezeichnet statt "Betonzusatzmittel" [Schröter, 1999].

- Entschäumer

Hier sind die eingesetzten Mineralöle und Tributylphosphate emissionsrelevant. Entschäumer wirken schaumzerstörend, regulieren den Luftporengehalt und beeinflussen den Verlauf von Beschichtungen. Die Tributylphosphate sind deshalb emissionsrelevant, weil sie bei der Verwendung zu Phosphorsäure und n-Butanol hydrolysieren [Mörtel, 1998].

#### Hydrophobierungsmittel

Nach Angaben der Deutschen Bauchemie e.V. [Schröter, 1999] sind die als Zusatzmittel eingesetzten hydrophobierenden Dichtungsmittel lösemittelfrei. Davon zu unterscheiden sind Imprägniermittel, die nachträglich auf den Beton aufgebracht werden. Diese enthalten in der Regel Lösemittel. Pflanzliche und tierische Fette und Öle sind hier bedingt als NMVOC-emissionsrelevant zu betrachten, da es sich um hochsiedende flüchtige organische Verbindungen handelt. Die langkettigen Fettsäuren Öl- und Stearinsäure werden nur selten als freie Säuren sondern meist als Salze verwendet. Als Lösemittel werden aromatenhaltige Testbenzine, aromatenfreie Kohlenwasserstoffe, synthetische Isoparaffine sowie Alkohole (Ethanol und Isopropanol) verwendet. Hydrophobierungsmittel verhindern, dass mineralische Mörtelsysteme durch Schlagregen oder aufsteigende Feuchtigkeit durchnässt werden. Nach [Reul, 1991] wird ein mittlerer NMVOC-Anteil von 0,133% für Betonzusatzmittel angenommen.

#### Betontrennmittel (Entschalungsmittel)

Basisrohstoffe für Betontrennmittel sind naphthenische bzw. paraffinische Mineralöle. Es werden aromatenhaltige Öle und aromatenfreie Weißöle eingesetzt. An natürlichen Stoffen werden Rapsöle, Sonnenblumenöle oder Kokosöle bzw. deren Ester (meist Methylester) verwendet. Daneben werden Lösemittel eingesetzt, hier vor allem aliphatische Kohlenwasserstoffe. Der Aromatengehalt der eingesetzten Testbenzine kann bis zu 25Vol% betragen. Zunehmend wer-

den weitgehend entaromatisierte Testbenzine verwendet. Darüber hinaus werden mit einem geschätzten Anteil von ungefähr 10% wässrige Betontrennmittel verwendet. Es wird angenommen, dass die lösemittelhaltigen Betontrennmittel zu etwa 80% bis 90% in die Atmosphäre entweichen [Schröter, 1999]. Betontrennmittel werden auch als Entschalungsmittel bezeichnet.

#### Bitumenhaltige Anstrichmittel

Bitumenhaltige Anstrichmittel [Stoye, 1993] bestehen im Allgemeinen aus hochsiedenden Ölen, in denen Asphaltteilchen dispers gelöst sind. Daneben enthalten sie verschiedene Benzinfractionen und aromatische Kohlenwasserstoffe (Siedebereich 130°C bis 200°C). Der NMVOC-Gehalt wird mit 50% angenommen. Aufgrund ihrer Resistenz gegenüber Säuren, Laugen, salzhaltigen Lösungen und Wasser werden bitumenhaltige Anstrichmittel vor allem im Bautenschutz zur Bauwerksabdichtung verwendet. Nach Angaben der Deutschen Bauchemie e.V. [Schröter, 1999] beträgt im Bereich der Bauwerksabdichtung, der auch Abdichtungsarbeiten mit lösemittelhaltigen Spritzbitumina umfasst, der Anteil lösemittelfreier Bitumenemulsionen etwa 75%.

#### Spachtel und Vergussmassen auf Bitumenbasis

Produkte dieser Gruppe enthalten etwa 20% Lösemittel, die zu 95% emittiert werden.

#### Spachtel und Vergussmassen sowie Fugendichtungsmassen auf Kunststoffbasis

Dichtungsmassen auf Kunststoffbasis werden meist vor der Anwendung aus zwei Komponenten gemischt und härten anschließend aus. Es werden sehr unterschiedliche Rezepturen verwendet. Die Lösemittelgehalte betragen bis zu 25%.

Nach Informationen zweier Produzenten [Eisele, 1998a] werden hauptsächlich folgende Dichtungsmassen verwendet:

- Silikondichtmassen, die nahezu lösemittelfrei sind [Schröter, 1999],
- Dichtungsmassen auf Butylbasis, die etwa 20% bis 25% Lösemittel enthalten,
- Dichtungsmassen auf Acrylatbasis mit etwa 10% bis 25% Lösemittelgehalt,
- Kunstharzkitte, deren Komponenten in Styrol gelöst eingesetzt werden, hierbei ist Styrol zum Teil auch Reaktionsverdünner,
- andere Kunstharzkitte mit einem Lösemittelanteil von ungefähr 5% bis 10%.

Nach Einschätzung der Hersteller [Eisele, 1998b] werden zu etwa 25% lösemittelhaltige Dichtungsmassen verwendet. Im Mittel wird ein Lösemittelgehalt von ungefähr 10% abgeschätzt. Somit wird bezogen auf die insgesamt verwendeten Dichtungsmassen ein Lösemittelanteil von ungefähr 2,5% angenommen. Nach Angaben der deutschen Bauchemie sind 90% aller Dichtungsmassen auf Acrylatbasis lösemittelfrei [Schröter, 1999].

### **Lösemittelverbrauchsmengen und Emissionen im Jahr 2000**

Die Inlandsverbrauchsmengen an lösemittelhaltigen "Concrete Additives" werden anhand der Produktions- und Außenhandelsstatistik [StaBuA, 2000a], [StaBuA, 2000b] ermittelt. Die resultierenden Inlandsverbräuche sind Tabelle 5.5 zu entnehmen.

**Tabelle 5.5:** Inlandsverbräuche, Lösemittelgehalte, Emissionsfaktoren und Emissionen an lösemittelhaltigen Baustoffadditiven [StaBuA, 2000a], [StaBuA, 2000b]

"Concrete Additives"	Inlands- verbrauch [t]	Lösemittel- gehalt [%]	Emissions- faktor [%]	Emission [t]
Betonzusatzmittel	234.973	<b>0,133</b>	<b>95</b>	297
Betontrennmittel <sup>1</sup>	30.231	<b>85,0</b>	<b>95</b>	24.412
Bitumenhaltige Anstrichmittel <sup>2</sup>	144.746	<b>12,5</b>	<b>95</b>	17.189
Spachtel- und Vergussmassen auf Bitumen- und Kunststoffbasis sowie Fugendichtungs- massen auf Kunststoffbasis	24.791	<b>6,0</b>	<b>95</b>	1.413
Bautenschutzmittel <sup>3</sup>	35.221	<b>5,0</b>	<b>95</b>	1.677
<b>Summen</b>	470.040			44.987

- 1) Da die Außenhandelsstatistik keine Angaben über Betontrennmittel enthält, wird hier eine Menge von etwa 10% als Importüberschuss auf die im Inland produzierte Menge aufgeschlagen.
- 2) Da die Produktions- und Außenhandelsstatistik neben den bitumenhaltigen Anstrichmitteln auch noch viele andere bitumenhaltige Erzeugnisse unter derselben Meldenummer erfasst, wird hier angenommen, dass die bitumenhaltigen Anstrichstoffe einen Anteil von etwa 1% sowohl am Außenhandel als auch an der erfassten Produktionsmenge haben.
- 3) Es wird angenommen, dass etwa 10% der in Deutschland eingesetzten Bautenschutzmittel als Holzschutzmittel eingesetzt werden. Die restlichen 90% werden in der Quellgruppe „Anwendung von Baustoffadditiven“ verwendet.

Die Inlandsverbrauchsmenge an lösemittelhaltigen Baustoffadditiven betrug 2000 nach Tabelle 5.5 in Deutschland etwa 470.040 t. Dazu müssen noch die direkt von der Mineralölindustrie gelieferten Mengen Betontrennmittel (Entschalungsmittel) gerechnet werden, die nicht quantifizierbar sind. Die mittleren Lösemittelgehalte der einzelnen Produktgruppen ergeben sich aus der vorgenommenen Charakterisierung der Quellgruppe. Es wird aufgrund der meist offenen Anwendung der „Concrete Additives“ ein Emissionsfaktor von 95% angenommen. Daraus ergeben sich Emissionen in Höhe von 44.987 t aus der Anwendung von „Concrete Additives“ in Deutschland im Bezugsjahr 2000.

### Stoffliche Zusammensetzung der Emissionen

Emissionen aus der Verwendung von Baustoffadditiven setzen sich zu etwa 80% aus meist höhersiedenden aromatenhaltigen Kohlenwasserstoffgemischen zusammen. Etwa 20% der Emissionen sind nicht weiter stofflich auflösbar. Diese Abschätzung ist mit erheblichen Unsicherheiten behaftet.

#### 5.1.4 Anwendung von Unterbodenschutzbeschichtungen

##### Charakterisierung und Abgrenzung der Quellgruppe

Bei der Automobilserienlackierung und Nutzfahrzeugglackierung wird meist nach der dem Korrosionsschutz dienenden Kataphoretischen Tauchlackierung (KTL) eine Nahtabdichtung vorgenommen und ein Unterbodenschutz aufgebracht. Die Abdichtung der Fugen und Falze erfolgt teils händisch, teils automatisch mit Hilfe von Robotern unter Einsatz von verschiedenen PVC-

Substraten. Der Unterbodenschutz basiert auf PVC-Plastisolen oder Polyurethanen und wird automatisch im Airlessverfahren appliziert. Darüber hinaus wird teilweise noch mit einem scharf begrenzten Airless-Spritzstrahl ein zusätzlicher Steinschlagschutz auf besonders gefährdete Bereiche aufgebracht [Peters et al., 2002]. Außerdem wird in dieser Quellgruppe auch die Applikation von Unterbodenbeschichtungen in der Autoreparaturlackierung betrachtet. Nach [LBA, 1993] erfolgt die Hohlraumversiegelung von Kraftfahrzeugen weitgehend ohne Freisetzung von Lösemitteln und bleibt bei der Berechnung von Lösemittlemissionen unberücksichtigt.

### **Lösemittelverbrauchsmengen und Emissionen im Jahr 2000**

Weder die Produktions- noch die Außenhandelsstatistik bieten eine Basis zur Abschätzung des Inlandsverbrauchs an Unterbodenschutz. Unterbodenschutz wird sowohl im Automobilbau als auch im Kfz-Reparaturgewerbe verwendet. In [Peters et al., 2002] wird ein Einsatz an Unterbodenschutz von 6 kg bis 12 kg pro produzierter Neukarosse angenommen. Es werden keine Einsatzmengen für Nutzfahrzeuge angegeben. Daher wird auch für Nutzfahrzeuge die Einsatzmenge für Pkw-Neukarossen angenommen, obwohl es sich vermutlich um eine Unterschätzung handelt, da die zu schützende Fläche pro Karosse wahrscheinlich größer ist. Nach Angaben des europäischen Verbandes der Automobilhersteller (Association des Constructeurs Européens d'Automobiles - European Automobile Manufacturers Association, ACEA) wurden 2000 [ACEA, 2003] in Deutschland insgesamt 5.526.615 Neufahrzeuge (Pkw, Busse, Lkw und leichte Nutzfahrzeuge) produziert. Unter Berücksichtigung einer mittleren Einsatzmenge von 9 kg Unterbodenschutz pro produzierter Neukarosse wurden in Deutschland 2000 etwa 49.740 t Unterbodenschutzbeschichtung eingesetzt. Es wird auf Grundlage von [Peters et al., 2002] ein mittlerer Lösemittelgehalt von 5% angenommen. Dabei wird berücksichtigt, dass hauptsächlich Unterbodenschutzbeschichtungen mit einem Lösemittelgehalt von bis zu 5% eingesetzt werden, aber auch mengenmäßig weniger Beschichtungsmittel für den Schwellen- und Steinschlagschutz, die erheblich höhere Lösemittelgehalte (25% bis 45%) aufweisen, eingesetzt werden. Damit wurden 2000 in Deutschland etwa 2.487 t Lösemittel in Unterbodenschutzbeschichtungen eingesetzt. Auf Grundlage von Tabelle 5.2 wird ein mittlerer Emissionsfaktor von 59% angenommen. Dies ist der durchschnittliche Emissionsfaktor für die Anwendung von Farben und Lacken bei der Automobilherstellung unter Berücksichtigung aller Lackierprozesse. Daraus ergeben sich für die Anwendung von Unterbodenschutzbeschichtungen in der Automobilserienfertigung und Nutzfahrzeugherstellung für das Bezugsjahr 2000 in Deutschland Lösemittlemissionen von etwa 1.467 t.

Nach Angaben von [Motz et al., 1998] wurden 1996 etwa 2.040 t Lösemittel beim Einsatz von Unterbodenschutzbeschichtungen in der Autoreparaturlackierung verwendet. Auf das Bezugsjahr 2000 auf Grundlage der Anzahl in Deutschland zugelassener Kraftfahrzeuge (1996: 48.341.724 [Verkehr, 1996]; 2000: 51.364.673 [Verkehr, 2000]) hochgerechnet, ergibt sich ein Lösemittelsatz von 2.168 t. Unter Berücksichtigung eines Emissionsfaktors von 95%, der Tabelle 5.2 für die Quellgruppe „Autoreparaturlackierung“ zu entnehmen ist, wurden bei der Autoreparaturlackierung 2000 in Deutschland etwa 2.059 t emittiert. Insgesamt wurden 2000 in Deutschland beim Einsatz von Unterbodenschutzbeschichtungen somit etwa 4.655 t Lösemittel eingesetzt und etwa 3.526 t emittiert.

## **Stoffliche Zusammensetzung der Emissionen**

In Unterbodenschutzbeschichtungsmitteln werden meist aromatenarme Testbenzine und Hochsieder als Lösemittel eingesetzt [Bräutigam et al., 1992].

### **5.1.5 Bewachung von Kraftfahrzeugen**

#### **Charakterisierung und Abgrenzung der Quellgruppe**

Die Bewachung der produzierten Kraftfahrzeuge wird mit Hilfe von wasserbasierten Wachsen durchgeführt. In wenigen älteren Produktionsstätten werden noch lösemittelhaltige Systeme mit bis zu 70% Lösemittelgehalt eingesetzt. In zunehmendem Maße wird auf Transportkonservierung ganz verzichtet und es werden Folien zum Transportschutz verwendet [Peters et al., 2002].

#### **Lösemittelverbrauchsmengen und Emissionen im Jahr 2000**

In [Bräutigam et al., 1992] wird für das Bezugsjahr 1986 ein Einsatz von Lösemitteln bei der Bewachung bzw. Transportkonservierung von Fahrzeugen von 4.310 t angegeben. Entsprechend [Obermeier, 1995], [Bräutigam et al., 1992] und [Peters et al., 2002] ist davon auszugehen, dass heute weitgehend wasserbasierte Wachssysteme mit einem geringen Lösemittelgehalt von höchstens 5% oder Folien als Transportkonservierung verwendet werden. Vereinzelt werden noch lösemittelbasierte Systeme verwendet mit einem Lösemittelgehalt von bis zu 70%. Nach [Peters et al., 2002] werden bei der Transportkonservierung von Neufahrzeugen etwa 6 g/m<sup>2</sup> Wachsbeschichtung benötigt. Weiterhin wird eine mittlere Fahrzeugoberfläche von etwa 80 m<sup>2</sup> pro produziertem Pkw-Neufahrzeug angenommen [Peters et al., 2002]. Für leichte Nutzfahrzeuge, Lkw und Busse wird eine grössere Oberfläche angenommen. Da jedoch auf der einen Seite zunehmend Transportfolien verwendet werden und auf der anderen Seite in wenigen alten Anlagen noch lösemittelbasierte Wachssysteme verwendet werden, wird im folgenden eine mittlere Oberfläche von 80 m<sup>2</sup> pro neu produzierter Fahrzeugeinheit für alle Fahrzeugklassen angenommen. Es wird außerdem angenommen, dass nur die Außenflächen bewachst werden und damit im Mittel nur etwa 40 m<sup>2</sup> Oberfläche je Fahrzeug konserviert werden. Nach [ACEA, 2003] wurden in Deutschland insgesamt 5.526.615 Neufahrzeuge (Pkw, Busse, Lkw und leichte Nutzfahrzeuge) produziert. Daraus ergibt sich eine zu konservierende Oberfläche von etwa 221 Mio. m<sup>2</sup> und eine verwendete Wachsmenge von etwa 1.326 t. Wenn ein mittlerer Lösemittelgehalt von etwa 5% angenommen wird und ein mittlerer Emissionsfaktor von 59%, der aus Tabelle 5.2 für die Lackierprozesse in der Automobilherstellung hergeleitet wird, so wurden 2000 in Deutschland bei der Transportkonservierung von Neufahrzeugen etwa 66 t Lösemittel eingesetzt und etwa 39 t emittiert.

## **Stoffliche Zusammensetzung der Emissionen**

In lösemittelhaltigen Bewachungsmitteln werden meist aromatenarme Testbenzine und Hochsieder als Lösemittel eingesetzt [Bräutigam et al., 1992].

### 5.1.6 Imprägnierung von Glas- und Mineralwolle

#### Charakterisierung und Abgrenzung der Quellgruppe

Glas- und Mineralwolle werden in ähnlichen Produktionsverfahren hergestellt und imprägniert. Aus der Rohstoffschmelze werden durch Ziehen, Schleudern oder Blasen Fasern mit einem Durchmesser von 0,1-20 µm gewonnen. Diese werden auf einem Transportband gesammelt und mit Hilfe von Bindemitteln zu Bahnen, Platten oder Filzen weiterverarbeitet. Der Bindemittelanteil beträgt je nach notwendiger mechanischer Festigkeit drei bis zehn Prozent. Bei den Bindemitteln handelt es sich um Kunstharze, meist Phenolformaldehyd-Harze, die im Heißluftstrom aushärten und zu der typischen Gelbfärbung der Glaswolle führen. Anlagen zur Behandlung von Mineralwolle sind größtenteils genehmigungsbedürftig [4. BImSchV, 1999].

#### Lösemittelverbrauchsmengen und Emissionen im Jahr 2000

Zunächst wird die Produktionsmenge an Mineralwolldämmstoffen und technischen Isolierungen in Deutschland für das Bezugsjahr 2000 ermittelt. Nach der Baumarktstatistik des Gesamtverbandes Dämmstoffindustrie wurden 2000 in Deutschland etwa 19.980.000 m<sup>3</sup> Mineraldämmstoffe [GDI, 2001] abgesetzt. Hier sind nur Absatzmengen und keine Produktionsmengen angegeben, und technische Isolierungen wurden nicht berücksichtigt. Diese haben einen Anteil von etwa 10% an der Gesamtverbrauchsmenge an Mineralwolle in Deutschland. Mit Mineralwolle ist sowohl Stein- als auch Glaswolle gemeint. Nach [Elkan, 1997] wurden 1996 etwa 670.000 t Mineralwolle hergestellt und 18.980.000 m<sup>3</sup> abgesetzt. Bezüglich der angegebenen Mengen ist zu beachten, dass nicht alle Produzenten dem Fachverband der Mineralfaserindustrie (FMI) angehören, der diese Daten generiert. Außerdem sind in dieser Menge auch Produktionsmengen von im Ausland ansässigen Tochterunternehmen enthalten. Allerdings ist nach [Elkan, 1997] die im Ausland produzierte Menge sehr klein. Auf Grundlage des Bezugsjahres 1996 lässt sich abschätzen, dass 1000 m<sup>3</sup> abgesetzter Mineralwolle eine Produktionsmenge von etwa 35,3 t Mineralwolle entspricht. Damit wurden unter Berücksichtigung der Mineralwolldämmstoffe und der technischen Isolierungen im Bezugsjahr 2000 in Deutschland etwa 783.667 t Mineralwolle produziert. Nach Informationen des Bundesamtes für Umwelt, Wald und Landschaft der Schweiz (BUWAL) werden etwa 1,5 kg NMVOC pro Tonne produzierter Mineral- und Glaswolle emittiert [BUWAL, 2003], [Wyss, 1997]. Der Emissionsfaktor ist mit großen Unsicherheiten behaftet, da er nur auf einer Quelle basiert, die sich nur auf eine Produktionsstätte in der Schweiz bezieht. Damit wurden 2000 in Deutschland bei der Herstellung von Glas- und Mineralwolldämmstoffen sowie technischen Isolierungen aus Mineralwolle etwa 1.176 t NMVOC emittiert.

#### Stoffliche Zusammensetzung der Emissionen

Die stoffliche Zusammensetzung der Emissionen ist nicht genau definierbar, da die Imprägnierung von Glas- und Mineralwolle weitgehend in genehmigungsbedürftigen Anlagen stattfindet. Diese Anlagen sind meist mit Abluftreinigungsanlagen ausgestattet, sodass es sich bei den emittierten NMVOC um unvollständige Verbrennungsprodukte der Einsatzstoffe handelt. Es werden - wie oben schon erwähnt - zur Imprägnierung Kunstharze meist Phenolformaldehydharze eingesetzt.

## 5.2 Druckenwendungen

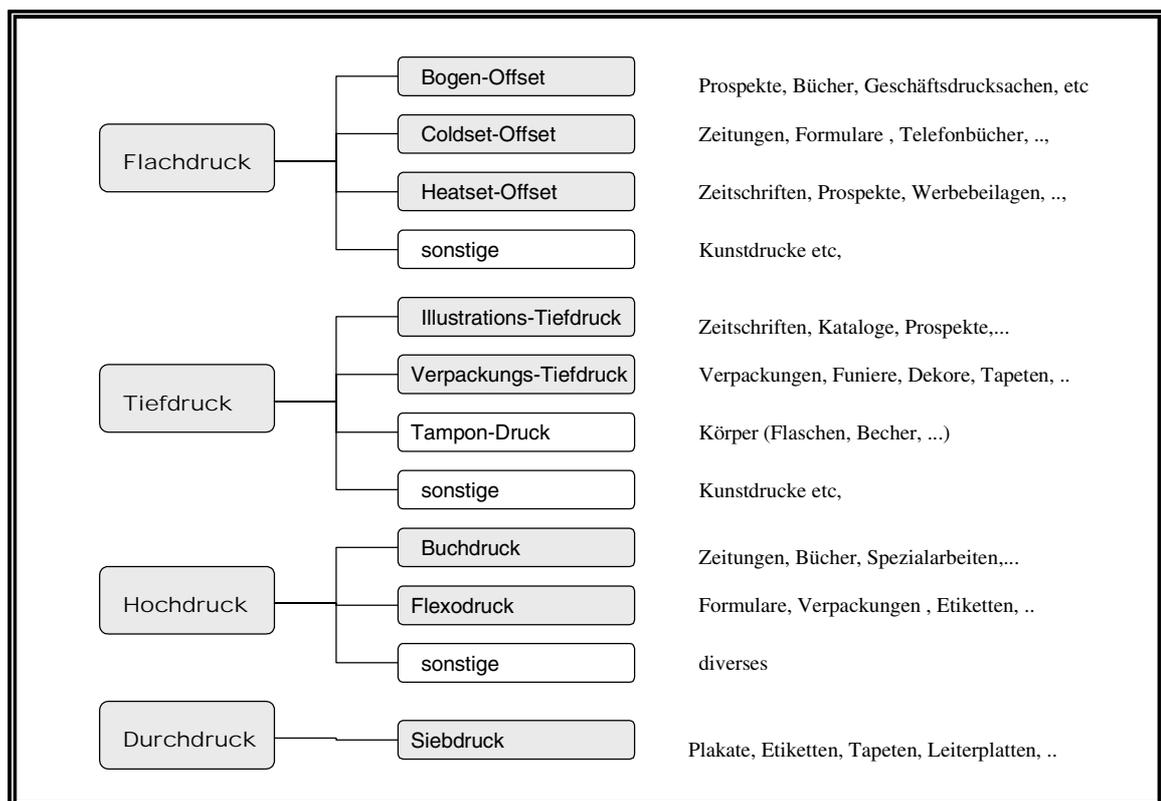
### Charakterisierung und Abgrenzung der Quellgruppe

In dieser Quellgruppe werden alle von Druckenwendungen verursachten Lösemittlemissionen berücksichtigt sowie die Emissionen aus der Anwendung von Künstlerfarben, Tinten und Tuschen.

Bei Druckenwendungen werden im Wesentlichen vier Druckverfahren verwendet:

- Flachdruck
- Tiefdruck
- Hochdruck
- Durchdruck

In Bild 5-5 sind die vier genannten Hauptdruckverfahren disaggregiert nach Untervarianten dieser Verfahren und den dazu gehörigen Anwendungsbereichen dargestellt. Die Abbildung ist [Tebert et.al., 2003] entnommen.



**Bild 5-5:** Hauptdruckverfahren mit den entsprechenden Druckverfahrensvarianten [Tebert et.al., 2003]

Im Folgenden werden die vier Hauptverfahren insbesondere bezüglich ihrer Relevanz im Hinblick auf Lösemittlemissionen beschrieben.

- **Flachdruck**

Flachdruckverfahren sind unter der Bezeichnung Offsetverfahren bekannter. Der Flachdruck ist das am meisten angewandte Druckverfahren der deutschen Druckindustrie. Bei diesem Verfahren liegen die druckenden und nichtdruckenden Stellen fast in einer Ebene. Die druckenden und nichtdruckenden Flächen der Druckplatte unterscheiden sich durch ihr Benetzungsverhalten. Dadurch haftet die ölige Farbe nur an den druckenden Stellen. Im Folgenden werden die in Bild 5-5 dargestellten Untervarianten des Offsetdrucks detaillierter beschrieben.

- **Bogen-Offsetdruck**

Beim Bogen-Offsetdruck wird die Druckplatte mit einem Isopropanol/Wasser-Gemisch befeuchtet und anschließend mit Druckfarbe beschichtet. Die Farbe wird mit Hilfe eines Gummizylinders auf das zu bedruckende Objekt übertragen. Die Trocknung erfolgt durch eine sogenannte "chemische Trocknung", bei der die Pflanzenöle und Bindemittel unter Mitwirkung von Sauerstoff vernetzen. Eine weitere Untervariante des Bogen-Offsets ist der Endlos-Offsetdruck.

- **Heatset-Offsetdruck**

Der Heatset-Offsetdruck unterscheidet sich vom Bogen-Offsetdruck durch die Trocknungsmethode. Hier wird mit Heißluft getrocknet. Dabei verdampfen neben dem Befeuchtungsmittel auch die in der Druckfarbe enthaltenen Mineralöle (Lösemittelanteil etwa 30% bis 35%). Dies ist bei der Abschätzung der Lösemittellemissionen zu berücksichtigen.

- **Coldset-Offsetdruck**

Bei diesem Verfahren wird die Druckfarbe durch Aufsaugen der Bindemittel und Mineralöle in das bedruckte Objekt getrocknet. Als Feuchtmittel werden hier statt Isopropanol organische Säuren und Tenside verwendet. Dieses Druckverfahren wird meist zum Zeitungsdruck verwendet.

- **Wasserloser Offsetdruck**

Diese Variante verwendet statt einer Befeuchtung mit Isopropanol eine Silikonschicht, die die nichtdruckenden Flächen lipophob macht und damit von Druckfarbe freihält. Die Druckfarben trocknen oxidativ.

- **Tiefdruck**

Beim Tiefdruckverfahren werden die tiefliegenden Bildelemente mit dünnflüssiger Farbe kontinuierlich geflutet. Die druckenden Elemente liegen vertieft in der Druckform des Druckformzylinders. Während des Druckvorgangs wird die Farbe dann aus diesen tiefliegenden Flächen an das Druckobjekt abgegeben. Durch Verdunsten des Lösemittels (Toluol) trocknet die Farbe.

- **Hochdruck**

Den Hochdruck nennt man auch **Buchdruck**. Bei diesem Verfahren liegen die druckenden Flächen höher als die nichtdruckenden. Nachdem die Druckplatte mit Farbe eingewalzt wurde, wird sie auf das Druckobjekt übertragen. Die Trocknung erfolgt entweder oxidativ oder durch Aufsaugen (Wegschlagen).

- **Durchdruck**

Dieses Druckverfahren wird meist **Siebdruck** genannt. Hier wird die Druckfarbe an den zu bedruckenden Stellen durch das "offene" Sieb gedrückt. Durch Verdunsten des Lösemittels wird die Farbe getrocknet.

- **Verpackungsdruck**

Darüber hinaus muss bei der Ermittlung der Lösemittellemissionen noch der Verpackungsdruck betrachtet werden. Im Verpackungsdruck werden verschiedene Verfahren eingesetzt:

- Lösemittelbasierter Verpackungsflexodruck
- Wasserbasierter Verpackungsflexodruck
- Lösemittelbasierter Verpackungstiefdruck
- Wasserbasierter Verpackungstiefdruck

#### • Sonstige Druckverfahren

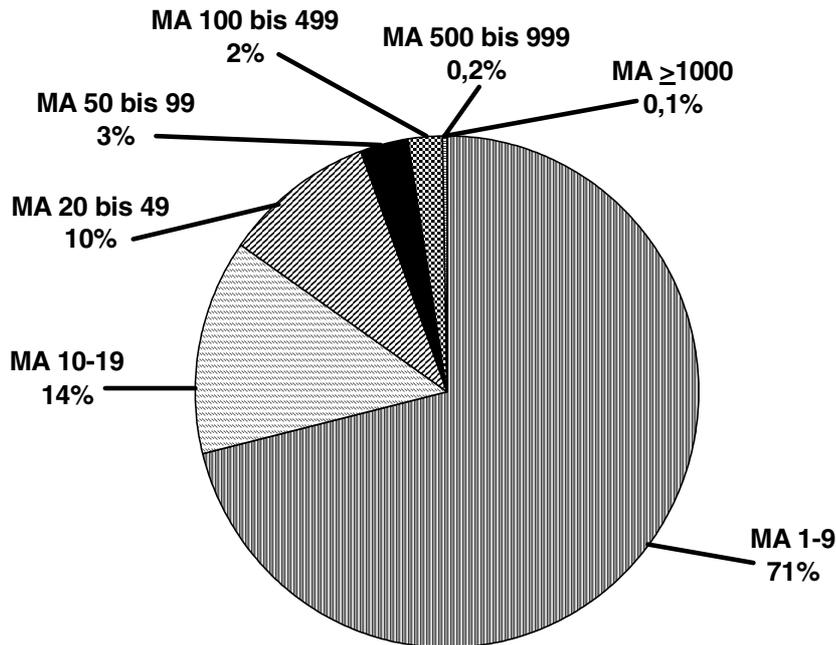
Bei der Betrachtung der Lösemittlemissionen ist es wichtig zu wissen, dass Lösemittel aus Druckanwendungen nicht nur aus druckindustriellen Anwendungen emittiert werden, sondern auch aus einer Vielzahl anderer der Druckindustrie nicht zuzuordnenden Druckanwendungen. Häufig gibt es z. B. in kunststoffverarbeitenden Betrieben Druckanwendungen, um die Produkte mit entsprechenden Motiven zu bedrucken oder zu kennzeichnen. Ein gutes Beispiel hierfür ist der industrielle Tampondruck. Hierbei handelt es sich um ein indirektes Tiefdruckverfahren [Öko, 1999]. Dabei wird ein Druckklischee aus Stahl, auf dessen Oberfläche sich das fotochemisch eingätzte Druckbild befindet, mit Hilfe eines „Rakelmessers“ mit Druckfarbe überstrichen. Anschließend fährt ein Drucktampon über das Druckklischee, nimmt die Farbe auf und überträgt das Druckbild auf das zu bedruckende Objekt. Der Drucktampon besteht meist aus flexiblem Silikonkautschukmaterial, kann sich so der Form des Druckobjektes anpassen und lässt die Farbe und damit das Druckbild vollständig auf dem Druckobjekt zurück. Beim Tampondruck müssen die Druckwerkzeuge bei jedem Druckobjektwechsel gereinigt werden [Öko, 1999]. Es werden im Tampondruck Siebdruckfarben eingesetzt [Öko, 1999]. Es gibt 100.000 bis 150.000 Tampondruckanwender in Deutschland [Öko, 1999]. Die meisten Anwender haben ein oder zwei Tampondruckmaschinen. In Tabelle 5.6 sind typische Anwendungen des Tampondrucks aufgeführt [Öko, 1999].

Daneben werden in dieser Quellgruppe auch die Emissionen aus der Anwendung von Künstlerfarben, Tinten und Tuschen betrachtet.

Die Druckindustrie ist von kleineren Betrieben geprägt. Die Abgrenzung ist relativ schwierig. In Deutschland gibt es je nach Abgrenzung 13.000 bis 15.000 Druckbetriebe [Jepsen et al., 1999]. Bild 5-6 zeigt die Betriebsgrößenstruktur der deutschen Druckindustrie 2003 ohne Berücksichtigung des Verpackungsdrucks [BVDM, 2003]. Danach dominieren Betriebe mit bis zu 20 Mitarbeitern die Druckbranche. Bei einer zusätzlichen Berücksichtigung des Verpackungsdrucks verschiebt sich der Schwerpunkt etwas zugunsten der Betriebsgröße 10 bis 19 Mitarbeiter. Die Dominanz der Kleinbetriebe bleibt jedoch erhalten [Jepsen et al., 1999].

**Tabelle 5.6:** Anwendungsbeispiele für den Tampondruck [Öko, 1999]

Güterproduktionsbereich	Anwendungsbeispiele
Spielwaren	Spielzeug-Eisenbahnen, Spielwürfel, Bälle
Autozubehör	Schalter, Elektrikteile, Herstellerkennung
Unterhaltungselektronik	Gehäuse, Tastaturen, Skalen
Elektro- bzw. Elektronikbauteile	Relais, Widerstände, Transistoren
Fotoindustrie	Gehäuse, Vorsatzlinsen, Objektivringe
Hausgeräte	Tassen, Bürsten, Schalter, Bedienknöpfe
Verpackungen	Schraubverschlüsse, Verschlusskappen, Schachteln
Werbeartikel	Kugelschreiber, Buttons, Brieftaschen
Schuhe und Textilien	Skischuhe, Schmuckknöpfe, Broschen



**Bild 5-6:** Betriebsgrößenverteilung nach beschäftigten Mitarbeitern (MA) in der deutschen Druckindustrie 2002 ohne Verpackungsdruckbetriebe und andere Druckanwendungen [BVDM, 2003]

### Lösemittelverbrauchsmengen und Emissionen im Jahr 2000

Zur Ermittlung der Lösemittlemissionen aus Druckanwendungen sowie der Anwendung von Künstlerfarben, Tinten und Tuschen ist es zunächst notwendig, den Druckfarbenverbrauch 2000 in Deutschland zu ermitteln. Dies ist zum einen auf Grundlage der Produktions- und Außenhandelsstatistik möglich und zum anderen auf Grundlage von Abschätzungen über die den spezifischen Druckverfahren zugeordneten Inlandsverbräuche an Druckfarben auf Grundlage eigener Abschätzungen. In Tabelle 5.7 wird der Inlandsverbrauch an Druckfarben für das Jahr 2000 in Deutschland auf Grundlage der Produktions- und Außenhandelsstatistik ermittelt.

Aus Tabelle 5.7 geht hervor, dass 2000 in Deutschland etwa 301.550 t Druckfarben verbraucht wurden. Darüber hinaus wurden noch etwa 2.276 t Künstlerfarben sowie etwa 4.663 t Tinten und Tuschen verbraucht. In Tabelle 5.8 sind der Druckfarbenverbrauch, der spezifische Lösemittelseinsatz, die entsprechenden Emissionsfaktoren sowie die daraus resultierenden Emissionsmengen disaggregiert nach verschiedenen in der Druckindustrie angewendeten Drucktechniken auf Grundlage eigener Abschätzungen und Abschätzungen von [Jepsen et al., 1999] dargestellt.

**Tabelle 5.7:** Inlandsverbrauch an Druck- und Künstlerfarben sowie Tinten und Tuschen 2000 in Deutschland nach [StaBuA, 2000a] und [StaBuA, 2000b]

Produktkategorie	Inlandsverbrauch [t]
<b>Schwarze Druckfarben</b>	
für Lithographie	105.860
für Flexographie	1.351
für andere Verwendung	16.333
<b>andere Druckfarben</b>	
für Lithographie	53.240
für Flexographie	26.517
für andere Verwendung	98.249
<b>Künstlerfarben, Tinten und Tuschen</b>	
Farben für Kunstmaler, in Zusammenstellungen	30
Farben für Kunstmaler, nicht in Zusammenstellungen	2.246
Tinten und Tuschen	4.663

Tabelle 5.8 zeigt, dass 2000 in Deutschland in den druckindustriellen Anwendungen etwa 250.000 t Druckfarben verbraucht wurden, 293.160 t Lösemittel eingesetzt wurden und davon etwa 23,8%, das heißt ungefähr 67.796 t, emittiert wurden. In Tabelle 5.8 werden zur Ermittlung der Lösemittelleinsatzmengen keine Lösemittelgehalte der eingesetzten Druckfarben angenommen, wie dies in dieser Arbeit in vielen anderen Quellgruppen angenommen wird. Stattdessen werden auf Grundlage von [Jepsen et al., 1999] anwendungsspezifische, auf den Druckfarbeneinsatz bezogene Lösemittelleinsatzmengen zur Ermittlung des Lösemittelleinsatzes abgeschätzt. Dies ist eine sinnvolle Methode, da die eingesetzte Lösemittelmenge bei Druckprozessen direkt vom Druckprozess und der dabei eingesetzten Druckfarbenmenge abhängig ist. Die Abschätzungen basieren weitgehend auf einer Branchendatenbank von [Jepsen et al., 1999] mit einer großen Zahl spezifischer Kennwerte für verschiedene Druckverfahren. Lösemittel werden im Tiefdruck z. B. weitgehend als Verdünner (Toluol) und nur zu einem geringen Teil als Reinigungsmittel eingesetzt. Dabei ist es üblich, der angelieferten Druckfarbe, die schon eine bestimmte Menge an Toluol enthält, bei der Einstellung des verarbeitungsfertigen Zustandes nochmal die gleiche Menge Toluol hinzuzufügen [VCI, 1997]. In Offsetdruckverfahren werden Lösemittel hauptsächlich als Reinigungsmittel eingesetzt sowie Alkohole (Ethanol, Isopropanol) als Beimengung zum Wischwasser zur Verbesserung des Benetzungsverhaltens [Jepsen et al., 1999].

Es ergibt sich eine Diskrepanz bezüglich des Druckfarbenverbrauchs zwischen Tabelle 5.7 und Tabelle 5.8. Auf Grundlage der Produktions- und Außenhandelsstatistik wurden etwa 301.550 t Druckfarben verbraucht [StaBuA, 2000a], [StaBuA, 2000b]. Es wurden jedoch in druckindustriellen Anwendungen schätzungsweise nur etwa 250.000 t Druckfarben verbraucht. Die Differenz von 51.550 t wird den oben erwähnten anderen Druckanwendungen zugeordnet, wie z. B. dem Tampondruck. Dieser Druckfarbenmenge, die in den anderen Druckanwendungen eingesetzt wird, wird nach [Jepsen et al., 2004] und auf Grundlage eigener Abschätzungen ein spezifischer Lösemittelleinsatz von etwa 80% bezogen auf die verbrauchte Druckfarbenmenge zugeordnet. Unter Berücksichtigung eines angenommenen Emissionsfak-

tors von etwa 70% wurden 2000 in Deutschland aus dieser Quellgruppe etwa 28.868 t Lösemittel emittiert. Insgesamt wurden somit 2000 in Deutschland etwa 98.664 t Lösemittel aus Druckanwendungen emittiert.

**Tabelle 5.8:** Druckfarbenverbrauch, spezifischer Lösemittelseinsatz, Emissionsfaktoren und daraus resultierende Emissionsmengen disaggregiert nach verschiedenen in der Druckindustrie angewendeten Drucktechniken auf Grundlage eigener Abschätzungen und [Jepsen et al., 1999]

Anwendungsbereich	Farbverbrauch	Spezifischer Lösemittelseinsatz	Lösemittelverbrauch	Emissionsfaktor	Emissionen
	[t]	[%]	[t]	[%]	[t]
TIEFDRUCK					
Illustrationsdruck	92.500	186,5	172.513	4,7	8.108
OFFSET-DRUCK					
Coldsetoffset	33.000	12,1	3.993	59,6	2.380
Bogenoffset	14.600	152,9	22.323	81,8	18.261
UV-Bogenoffset	200	93,3	187	67,4	126
Heatsetoffset	49.900	54,7	27.295	40,3	11.000
Endlosoffset	1000	139,9	1.399	85,1	1.191
BUCHDRUCK					
Buchdruck	600	48,4	290	70,0	203
VERPACKUNGSTIEFDRUCK					
- lösemittelbasiert	21.000	161,5	33.915	25,6	8.682
- wasserbasiert	14.600	20,2	2.949	95,0	2.802
VERPACKUNGSFLEXODRUCK					
- lösemittelbasiert	9.800	143,2	14.034	24,9	3.494
- wasserbasiert	10.700	22,3	2.386	95,0	2.267
SIEBDRUCK					
Siebdruck	2.100	565,5	11.876	95,0	11.282
Gesamt	250.000		293.160		69.796

Zuletzt werden in Tabelle 5.9 noch die Emissionen aus der Anwendung von Künstlerfarben, Tinten und Tuschen berechnet. Dazu werden zunächst die Verbrauchsmengen der Künstlerfarben, Tinten und Tuschen aus Tabelle 5.7 übernommen. Die Lösemittelgehalte werden auf Grundlage von [Theloke et al., 2000] und [Jepsen et al., 2004] abgeschätzt. Danach wird für Künstlerfarben ein Lösemittelgehalt von etwa 15% angenommen und für Tinten und Tuschen ein Lösemittelanteil von etwa 10%. Es wird weiter angenommen, dass Künstlerfarben, Tinten und Tuschen weitgehend offen verwendet werden. Daher wird ein Emissionsfaktor von etwa 95% abgeschätzt. Somit ergibt sich aus Tabelle 5.9, dass in Deutschland 2000 bei der Verwendung von Künstlerfarben, Tinten und Tuschen etwa 808 t Lösemittel verbraucht und etwa 767 t Lösemittel emittiert wurden.

**Tabelle 5.9:** Verbrauchsmengen, entsprechende Lösemittelgehalte, Emissionsfaktoren und Emissionen aus Künstlerfarben, Tinten und Tuschen in Deutschland 2000

Produktkategorie	Verbrauch	Lösemittelgehalte	Emissionsfaktor	Emissionen
	[t]	[%]	[%]	[t]
Farben für Kunstmaler, in Zusammenstellungen	30	15	95	4
Farben für Kunstmaler, nicht in Zusammenstellungen	2.246	15	95	320
Tinten und Tuschen	4.663	10	95	443
<b>Summe</b>	6.939			767

**Stoffliche Zusammensetzung der Emissionen**

In Tabelle 5.10 ist die stoffliche Zusammensetzung der eingesetzten Lösemittel disaggregiert nach Lösemitteln auf Grundlage von [Jepsen et al., 1999] dargestellt. Das im Illustrationstiefdruck eingesetzte Toluol hat einen Anteil von etwa 51% an den bei Druckenwendungen eingesetzten Lösemitteln. Etwa 25% der eingesetzten Lösemittel sind Kohlenwasserstoffe, Acetate und Ketone, die hauptsächlich bei Reinigungsanwendungen eingesetzt werden, jedoch auch als Verdüner, und hier nicht weiter stofflich aufgelöst werden. Alkohole, die im Offsetdruck dem Wischwasser zugesetzt werden und bei anderen Druckenwendungen hauptsächlich als Verdüner und Befeuchtungsmittel eingesetzt werden, haben einen Anteil von etwa 24% an den insgesamt bei Druckenwendungen eingesetzten Lösemitteln.

**Tabelle 5.10:** Stoffliche Zusammensetzung der eingesetzten Lösemittel disaggregiert nach Anwendungsbereichen entsprechend [Jepsen et al., 1999]

Anwendungsbereich	Toluol		Alkohole		Kohlenwasserstoffe, Acetate und Ketone	
	[t]	[%]	[t]	[%]	[t]	[%]
<b>TIEFDRUCK</b>						
Illustrationsdruck	172.513	100,0				
<b>OFFSETDRUCK</b>						
Coldsetoffset			319	9,0	3.634	91,0
Bogenoffset			9.822	44,0	12.501	56,0
UV-Bogenoffset			2	1,1	186	98,9
Heatsetoffset			9.860	36,1	17.435	63,9
Endlosoffset			630	45,0	769	55,0
<b>BUCHDRUCK</b>						
Buchdruck					290	100,0
<b>VERPACKUNGSTIEFDRUCK</b>						
- lösemittelbasiert			20.982	61,9	12.933	38,1
- wasserbasiert			2.700	91,6	249	8,4
<b>VERPACKUNGSFLEXODRUCK</b>						
- lösemittelbasiert			8.229	58,6	5.805	41,4
- wasserbasiert			2.205	92,4	181	7,6
<b>SIEBDRUCK</b>						
Siebdruck			4.867	41,0	7.009	59,0
<b>ANDERE DRUCKANWENDUNGEN</b>						
andere Druckanwendungen			20.373	49,4	20.867	50,6
<b>ANWENDUNG VON KÜNSTLERFARBEN</b>						
Künstlerfarben					341	100,0
<b>ANWENDUNG VON TINTEN UND TUSCHEN</b>						
Tinten und Tuschen			233	50,0	233	50,0
Gesamt	172.513	51,5	80.222	23,9	82.433	24,6

Tabelle 5.10 zeigt die stoffliche Zusammensetzung der emittierten Lösemittel disaggregiert nach den unterschiedlichen Druckanwendungen. Bei den Emissionsmengen liegen die Verhältnisse im Vergleich zu den Lösemittelleinsatzmengen gänzlich anders. Dies ist auf sehr unterschiedliche Abluftreinigungsgrade der verschiedenen Drucktechniken zurückzuführen. Das Toluol aus dem Illustrationstiefdruck hat an den Emissionen einen Anteil von lediglich 7,8%, während der Anteil an Alkoholen bzw. Kohlenwasserstoffen, Acetaten und Ketonen an den Emissionen entsprechend auf etwa 44,4% bzw. 47,8% ansteigt.

**Tabelle 5.11:** Stoffliche Zusammensetzung der emittierten Lösemittel disaggregiert nach Anwendungsbereichen entsprechend [Jeppen et al., 1999]

Anwendungsbereich	Toluol		Alkohole		Kohlenwasserstoffe, Acetate und Ketone	
	[t]	[%]	[t]	[%]	[t]	[%]
<b>TIEFDRUCK</b>						
Illustrationsdruck	8.108	100,0				
<b>OFFSETDRUCK</b>						
Coldsetoffset			214	9,0	2.166	91,0
Bogenoffset			8.035	44,0	10.226	56,0
UV-Bogenoffset			1	1,1	125	98,9
Heatsetoffset			3.971	36,1	7.029	63,9
Endlosoffset			536	45,0	655	55,0
<b>BUCHDRUCK</b>						
Buchdruck					203	100,0
<b>VERPACKUNGSTIEFDRUCK</b>						
- lösemittelbasiert			5.374	61,9	3.308	38,1
- wasserbasiert			2.567	91,6	235	8,4
<b>VERPACKUNGSFLEXODRUCK</b>						
- lösemittelbasiert			2.047	58,6	1.447	41,4
- wasserbasiert			2.095	92,4	172	7,6
<b>SIEBDRUCK</b>						
Siebdruck			4.626	41,0	6.656	59,0
<b>ANDERE DRUCKANWENDUNGEN</b>						
andere Druckanwendungen			14.261	49,4	14.607	50,6
<b>ANWENDUNG VON KÜNSTLERFARBEN</b>						
Künstlerfarben					324	100,0
<b>ANWENDUNG VON TINTEN UND TUSCHEN</b>						
Tinten und Tuschen			221,5	50,0	221,5	50,0
Gesamt	8.108	7,8	43.948,5	44,4	47.374,5	47,8

### 5.3 Anwendung von Klebstoffen und Haftmaterialien

#### Charakterisierung und Abgrenzung der Quellgruppe

Diese Quellgruppe berücksichtigt alle Prozesse und Anwendungen, bei denen Klebstoffe, einschließlich Kautschukklebstoffen und Gummilösungen, und Klebebänder eingesetzt werden. Aufgrund der hohen Variabilität der Materialien und der hohen Anforderungen an die Qualität der Klebeverbindungen gibt es ungefähr 250.000 verschiedene Klebstoffsysteme auf dem Weltmarkt. Klebstoffe werden von der FEICA (FEICA = Fédération Européenne des Industries

de Colles et Adhésifs) [FEICA, 2000] in ihrer Produktionsstatistik in folgende Produktgruppen unterteilt:

- Natürliche Polymere,
- Polymerdispersionen und -emulsionen (Dispersionsklebstoffe),
- Schmelzklebstoffe inklusive feucht aushärtenden ("moisture-cure" types) Klebstoffen,
- Lösemittelbasierte Klebstoffsysteme,
- Reaktionsklebstoffe,
- Klebstoffe auf wasserlöslichen Polymeren basierend,
- andere Klebstoffe,
- Klebebänder.

NMVOC-Emissionen werden im Wesentlichen bei der Anwendung von lösemittelhaltigen Klebstoffen und Dispersionsklebstoffen verursacht. Bei der Anwendung von Klebebändern entstehen keine Emissionen. Hier werden relevante Lösemittelmengen lediglich bei der Klebebandherstellung eingesetzt. Die eingesetzten Lösemittel dienen jedoch nur dem Klebstoffauftrag, entweichen schon am Herstellungsort und werden vor Ort zurückgewonnen bzw. der Abluftreinigung zugeführt [Heßland, 2004]. Klebstoffe werden in vielen Anwendungsbranchen verwendet. Da die Anforderungen an die Klebstoffe von Branche zu Branche und damit auch die Zusammensetzung unterschiedlich ist, ist es sinnvoll, den Einsatz lösemittelhaltiger Klebstoffe unterschiedlichen Marktsegmenten zuzuordnen. Die Klassifikation erfolgt entsprechend dem europäischen Standard "The FEICA Classification Manual" [FEICA, 1996]. Die klassifizierten Marktsegmente werden entsprechend [VCI, 1997] im Folgenden beschrieben.

### **Papier & Verpackung**

Mehr als ein Drittel des Gesamtklebstoffverbrauchs entfallen auf diesen Anwendungsbereich. Diesem Bereich werden die Anwendungen Verpackung, Veredlung, Buchbinderei, Graphisches Gewerbe, Bedrucken von Einmal-Artikeln (Non-Woven-Anwendung) sowie Haftklebstoffe zugeordnet. Hier werden Dispersionsklebstoffe, Heißschmelzklebstoffe, Klebstoffe auf Basis natürlicher Polymere sowie lösemittelhaltige Klebstoffe eingesetzt. Lösemittelhaltige Klebstoffe werden in erster Linie bei Verbundfolien eingesetzt. Die Betriebe im Papier- und Verpackungsdruck sind meist genehmigungsbedürftig (Anhang 4. BImSchV Ziffer 5.1b bzw. 5.1c) [4. BImSchV, 1999].

### **Bau**

Dieser Anwendungsbereich hat einen Anteil am Gesamtklebstoffverbrauch von mehr als 25%. Hierunter fallen die Anwendungsbereiche Vor-Ort-Einsatz bei Neubauten, Reparatur und Instandhaltung (Renovierung), Fertighäuser, Isolier-Sandwich-Elemente sowie Hoch- und Tiefbau (Brücken). Es werden zu 90% lösemittelfreie bzw. lösemittelarme Dispersionsklebstoffe verwendet. Zu ungefähr 7% werden lösemittelhaltige Klebstoffe verwendet.

## **Holz & Kunststoff**

Dieses Segment berücksichtigt den industriellen und handwerklichen Holz- und Möbelbau sowie Anwendungen bei den Zulieferern für diesen Bereich. Es hat nach den Bereichen „Papier&Verpackung“ und „Bau“ den drittgrößten Anteil am Gesamtklebstoffverbrauch. Hier werden zu 4% lösemittelhaltige Klebstoffe verwendet. In erster Linie kommen Dispersionsklebstoffe, Heißschmelzklebstoffe und reaktive Systeme zum Einsatz. Insbesondere wird hier auch die Fertigung von Polstermöbeln sowie die Profilmantelung von Holz- und Kunststofffenstern betrachtet. Lösemittelhaltige Klebstoffsysteme werden hauptsächlich bei der Weichschaumverarbeitung bzw. der Profilmantelung von Kunststofffenstern verwendet. Bei der Matratzenverklebung werden CKW-haltige Klebstoffe eingesetzt.

## **Transport**

Etwa ein Sechstel des Gesamtklebstoffverbrauchs ist diesem Anwendungsbereich zuzuordnen. Diesem Bereich ist die Verwendung von Klebstoffen bei der Produktion, Instandhaltung sowie Reparatur von Transportfahrzeugen zu Lande, zu Wasser und in der Luft aller Art zugeordnet. Hier werden lösemittelhaltige Systeme, reaktive Systeme, Heißschmelzstoffe, sowie Dispersions-schmelzstoffe verwendet.

## **Schuh**

Hier wird die Verwendung von Klebstoffen bei der Herstellung und Reparatur von Schuh- und Lederwaren betrachtet. Dabei werden hauptsächlich lösemittelhaltige Klebstoffe verwendet. Dieser Anwendungsbereich hat zwar den kleinsten Anteil am Gesamtklebstoffverbrauch, jedoch bezüglich der Emissionsmenge den größten Anteil an den Emissionen aus Klebstoffanwendungen, da zu etwa 80% lösemittelhaltige Klebstoffsysteme mit einem sehr hohen Lösemittelanteil eingesetzt werden.

## **Heimwerkerbereich**

Dieser Bereich umfasst die Verwendung von Klebstoffen im Haushalt, bei Do-it-yourself (DIY)-Tätigkeiten, sowie in Schule und Büro. Hier werden hauptsächlich Dispersionsklebstoffe eingesetzt. Der Anteil dieses Anwendungsbereiches am Gesamtklebstoffverbrauch ist relativ gering. Jedoch ist der Einsatz lösemittelhaltiger Klebstoffsysteme im DIY-Bereich im Vergleich zu anderen Anwendungsbereichen relativ hoch.

## **Montage**

Dieses Marktsegment umfasst die industrielle Verwendung in den Branchen Haushaltsgeräte, Elektrik, Elektronik, Stoffe (Textilien), medizinische Anwendungen, Sportausrüstungen, Spielzeuge, Schleifmittel und Filter sowie anderen kleineren Branchen. Bei der industriellen Produktion werden Reaktivklebstoffe, Schmelzklebstoffe, lösemittelhaltige Klebstoffe sowie Dispersionsklebstoffe eingesetzt. Der Anteil der in diesem Anwendungsbereich eingesetzten Klebstoffe am Gesamtklebstoffverbrauch beträgt ungefähr ein Sechstel.

## Lösemittelverbrauchsmengen und Emissionen im Jahr 2000

Zur Ermittlung der Lösemittellemissionen aus Klebstoffanwendungen ist es zunächst notwendig, den Klebstoffverbrauch 2000 in Deutschland zu ermitteln. Dies wird auf Grundlage der Produktions- und Außenhandelsstatistik durchgeführt [StaBuA, 2000a], [StaBuA, 2000b]. In Tabelle 5.12 wird der Inlandsverbrauch an Klebstoffen für das Jahr 2000 in Deutschland auf Grundlage der Produktions- und Außenhandelsstatistik ermittelt.

**Tabelle 5.12:** Inlandsverbrauch an Klebstoffen 2000 in Deutschland nach [StaBuA, 2000a] und [StaBuA, 2000b]

Produktkategorie	Inlandsverbrauch [t]
Caseinleime in allen Verpackungsgrößen	5.589
Andere Leime tierischen Ursprungs in allen Verpackungsgrößen (z. B. Knochenleim)	17.101
Leime auf der Grundlage von Stärken, Dextrinen, oder anderen modifizierten Stärken	83.347
Pflanzliche Klebstoffe	2.600
Synthetische Klebstoffe, wasserlöslich in wässriger Emulsion oder Dispersion	79.433
Synthetische Klebstoffe in organischen Lösemitteln	13.055
Andere synthetische Klebstoffe	4.102
Schmelzklebstoffe	1.864
Andere Klebstoffe	7.072
Schmelzklebstoffe auf der Grundlage von Kautschuk, Kunststoffen oder Kunstharzen	65.749
Kautschukleime	3.170
Synthetische Klebstoffe auf der Grundlage von Kautschuk, Kunststoffen oder Kunstharzen, wasserlöslich in wässriger Emulsion oder Dispersion	145.765
Synthetische Klebstoffe auf der Grundlage von Kautschuk, Kunststoffen oder Kunstharzen in organischen Lösemitteln	29.644
Andere synthetische Klebstoffe auf der Grundlage von Kautschuk, Kunststoffen oder Kunstharzen	28.583
Andere zubereitete Leime und Klebstoffe	94.064
Kautschuklösungen, Dispersionen ohne Zusatz von Ruß oder Siliciumdioxid	9.431
Summe	590.569

Tabelle 5.12 ist zu entnehmen, dass 2000 in Deutschland etwa 590.569 t Klebstoffe verbraucht wurden. Auf Grundlage von Tabelle 5.12 ist es nicht möglich, den Anteil lösemittelhaltiger Klebstoffsysteme zu ermitteln. Hierfür sind zusätzliche Informationen notwendig. Dazu wird auf Basis einer verbandsinternen einzelbetrieblichen Umfrage des Industrieverbandes Klebstoffe e.V. (IVK) die Menge an lösemittelhaltigen Klebstoffsystemen für das Bezugsjahr 2001 abgeschätzt und ins Verhältnis zum Gesamtverbrauch an Klebstoffsystemen in Deutschland 2001 gesetzt. Danach handelte es sich 2001 bei etwa 8,62% der im Inland verbrauchten Klebstoffe um lösemittelhaltige Klebstoffsysteme [Van Halteren, 2003]. Wenn ein solcher Anteil

lösemittelhaltiger Klebstoffsysteme auch für das Bezugsjahr 2000 angenommen wird, so wurden 2000 in Deutschland etwa 50.907 t lösemittelhaltige Klebstoffe eingesetzt. Im nächsten Schritt wird die Allokation der Einsatzmengen der lösemittelhaltigen Klebstoffe auf die einzelnen Segmente entsprechend der FEICA-Klassifikation vorgenommen. Weiterhin werden im Folgenden auf Grundlage von Informationen des Industrieverbandes Klebstoffe e.V. (IVK) [Van Halteren, 2003] segmentspezifische Lösemittelgehalte sowie entsprechende Emissionsfaktoren abgeschätzt.

Ausserdem ist Tabelle 5.12 zu entnehmen, dass 2000 in Deutschland etwa 234.633 t Dispersionsklebstoffe eingesetzt wurden. Den jeweiligen Anwendungsbereichen wird in Tabelle 5.13 die Gesamtmenge der eingesetzten lösemittelhaltigen Klebstoffe und Dispersionsklebstoffe zugeordnet. Dispersionsklebstoffen wird unabhängig von der Anwendung ein Lösemittelanteil von etwa 2% zugeordnet [Van Halteren, 2003].

In Tabelle 5.13 wird der resultierende Lösemittelverbrauch für die einzelnen Anwendungsbereiche auf Grundlage von [Van Halteren, 2003] angegeben. Die in Tabelle 5.13 angenommenen Emissionsfaktoren basieren auf [VCI, 1997], [Theloke et al., 2000] und [Jepsen et al., 2004]. Dabei werden folgende Annahmen getroffen:

- In den Anwendungsbereichen Bau, Holz&Möbel, Schuhe und Heimwerker wird von einer offenen Anwendung von lösemittelhaltigen Klebstoffen ausgegangen und damit ein Emissionsfaktor von 95% angenommen.
- In den Anwendungsbereichen Montage und Transport wird davon ausgegangen, dass ein Teil der bei der Anwendung lösemittelhaltiger Klebstoffsysteme entweichenden Lösemittel gefasst werden und mittels Abluftreinigung zerstört werden. Daher wird für diesen Bereich ein Emissionsfaktor von 80% abgeschätzt.
- Für den Anwendungsbereich Papier und Verpackung wird bezüglich des Emissionsfaktors vom Vorschlag des IVK [VCI, 1997] (10%) abgewichen und ein Emissionsfaktor von 20% angenommen, da nach Einschätzung von [Jepsen, 2002] viele Klebstoffanwendungen in diesem Bereich außerhalb von Anlagen stattfinden. Und damit ist nicht davon auszugehen, dass die Emissionen weitgehend durch sekundäre Abluftreinigungsmaßnahmen erfasst werden, wie vom IVK angenommen wird.

In Tabelle 5.13 werden die Emissionen aus der Anwendung von lösemittelhaltigen Klebstoffen und Dispersionsklebstoffen berechnet. Es wurden danach bei der Anwendung von Klebstoffen im Bezugsjahr 2000 etwa 22.516 t Lösemittel emittiert. Fast die Hälfte der Emissionen, das heißt etwa 48%, entstammen der Schuhproduktion und dem Heimwerkerbereich.

Auf Grundlage von [Van Halteren, 2003] wird weiterhin ein Lösemittelanteil von etwa 2% in Dispersionsklebstoffen angenommen. Die Emissionsfaktoren für die einzelnen Anwendungsbereiche sind Tabelle 5.13 auf Grundlage von [VCI, 1997], [Theloke et al., 2000] und [Jepsen et al., 2004] zu entnehmen. Die Einsatzmenge an Untergrundvorbehandlern, Verdünnern und Primern wird anhand des Verhältnisses des Verbrauchs lösemittelhaltiger Klebstoffe 2000 zum Verbrauch lösemittelhaltiger Klebstoffe 1995 [VCI, 1997] unter Berücksichtigung des Einsatzes an Untergrundvorbehandlern, Verdünnern und Primern 1995 berechnet. Im Jahr 1995 wurden nach Angaben von [VCI, 1997] etwa 46.700 t lösemittelhaltige Klebstoffsysteme sowie etwa 1000 t Untergrundvorbehandler, Primer und Verdüner eingesetzt. Auf Grundlage eines Inlandseinsatzes lösemittelhaltiger Klebstoffsysteme von 50.906 t entsprechend Tabelle 5.13 wurden 2000 in Deutschland etwa 1.090 t Untergrundvorbehandler, Verdüner und Primer bei

der Anwendung lösemittelhaltiger Klebstoffsysteme eingesetzt. Es wird für den Einsatz von Untergrundvorbehandlern, Verdünnern und Primern ein Emissionsfaktor von 80% abgeschätzt. Daraus ergibt sich eine Emissionsmenge von etwa 872 t. Insgesamt wurden 2000 in Deutschland bei der Anwendung von Klebstoffen etwa 31.957 t Lösemittel eingesetzt und ungefähr 23.388 t emittiert, etwa 73%.

**Tabelle 5.13:** Anwendungsspezifische Einsatzmengen lösemittelhaltiger Klebstoffe und Dispersionsklebstoffe, die segmentspezifischen Lösemittelanteile sowie die daraus resultierenden Lösemittelverbräuche für die einzelnen Anwendungsbereiche auf Grundlage von [Van Halteren, 2003] sowie auf Basis von [VCI, 1997], [Theloke et al., 2000] und [Jepsen, 2002] abgeschätzte Emissionsfaktoren

Marktsegment	Einsatzmenge an lösemittelhaltigen Klebstoffen und Dispersionsklebstoffen	Lösemittelanteil-Lösemittelhaltige Klebstoffe	Lösemittelanteil-Dispersionsklebstoffe	Lösemittelverbrauch	Emissionsfaktor	Emissionsmenge
	[t]	[%]	[%]			
Papier & Verpackung	97.224	50	2	8.067	20	1.614
Bau	99.909	15	2	3.395	95	3.226
Holz & Möbel	42.266	50	2	3.113	95	2.957
Transport	12.000	60	2	3.118	80	2.494
Schuh	10.501	80	2	7.120	95	6.763
Do-It-Yourself	12.354	75	2	4.127	95	3.921
Montage	11.286	50	2	1.927	80	1.541
<b>Summe</b>	50.907			26.174		22.516

### Stoffliche Zusammensetzung der Emissionen

Das Ergebnis einer stofflichen Disaggregation, die auf Angaben des IVK [Van Halteren, 2003] beruht, ist in Tabelle 5.14 dargestellt. Bei fast der Hälfte der Emissionen aus der Anwendung lösemittelhaltiger Klebstoffsysteme handelt es sich um Ester und Ketone.

**Tabelle 5.14:** Disaggregation der bei der Klebstoffanwendung eingesetzten Lösemittel nach Stoffklassen [Van Halteren, 2003]

Stoffklasse	Prozentualer Anteil [%]	Einsatzmenge [t]	Emissionsmenge [t]
Aromaten	9	2.356	1.743
Aliphaten	20	5.235	3.874
Ester, Ketone	59	15.442	11.428
Alkohole	8	2.094	1.549
Chlorkohlenwasserstoffe	4	1.047	775
Zwischensumme	100	26.174	19.369
Weichmacher und Filmbildungsmittel in Dispersionsklebstoffen		4.693	3.147
Untergrundvorbehandler, Primer und Verdüner (Testbenzine und Hochsieder)		1.090	872
Gesamtsumme		31.957	23.388

#### 5.4 Oberflächenreinigungsprozesse

In dieser Quellgruppe werden folgende emissionsrelevante Anwendungs- bzw. Tätigkeitsbereiche betrachtet, die auf Grundlage von [Öko, 1999] entsprechend gegeneinander abgegrenzt wurden:

- Industrielle Metallentfettung
- Nichtindustrielle Dienstleistung
- Organische Spezialreinigung
- Feinreinigung
- Entwachsen von Fahrzeugen
- Entfernung von Farben und Lacken

Zur Oberflächenreinigung werden zum einen nichtchlorierte organische Verbindungen und zum anderen Chlorkohlenwasserstoffe eingesetzt. In den beiden folgenden Abschnitten wird zunächst der Inlandsverbrauch von nichtchlorierten organischen Verbindungen und der Frischwarenverbrauch der Chlorkohlenwasserstoffe in Deutschland 2000 ermittelt und jeweils auf die entsprechenden Einsatzbereiche allokiert.

##### 5.4.1 Ermittlung und Allokation der Inlandsverbrauchsmengen von nichtchlorierten Oberflächenreinigungsmitteln

Bevor die einzelnen Anwendungs- bzw. Tätigkeitsbereiche der Oberflächenreinigung näher betrachtet werden, wird zunächst der Inlandsverbrauch an lösemittelhaltigen Reinigungsmitteln ermittelt und auf die einzelnen Bereiche verteilt. Tabelle 5.15 ist zu entnehmen, dass 2000 in Deutschland etwa 65.360 t Reinigungsmittel verbraucht wurden. Die den einzelnen Produktkategorien zugeordneten Lösemittelanteile basieren auf Abschätzungen von [Jepsen et al., 2004] und [Öko, 1999] und sind mit erheblichen Unsicherheiten behaftet. Es wurde berücksich-

tigt, dass die identifizierten Produktkategorien der Produktionsstatistik auch lösemittelfreie Produkte enthalten.

**Tabelle 5.15:** Inlandsverbrauch technischer Reinigungsmittel und flüssiger Industriereiniger in Deutschland 2000 auf Grundlage der Produktions- und Außenhandelsstatistik [StaBuA, 2000a], [StaBuA, 2000b]

Produktkategorie	Inlandsverbrauch [t]	Lösemittelgehalt [%]	Lösemittelverbrauch [t]
Reinigungs- und Entfettungsmittel für technische Zwecke	48.756	75	36.567
Andere Industriereiniger, flüssig	16.604	85	14.113
<b>Summe</b>	65.360		50.680

Insgesamt wurden 2000 etwa 50.680 t Reinigungsmittel bei Oberflächenreinigungsprozessen verwendet. Der Inlandsverbrauch an Oberflächenreinigungsmitteln kann anhand von [Öko, 1999] auf die einzelnen Anwendungsbereiche allokiert werden. Die in Tabelle 5.16 angegebenen Lösemittelleinsatzmengen basieren auf einer Bottom-up-Studie von [Öko, 1999]. Insofern gibt es in der verwendeten Studie keine Kopplung zur Produktions- und Außenhandelsstatistik. Die Verwendung der Ergebnisse dieses Forschungsberichtes stellt jedoch eine erhebliche Verbesserung gegenüber früheren Annahmen von [Obermeier, 1995] und [Berner et al., 1996] dar, insbesondere was die Zuordnung der verwendeten Lösemittelmengen zu einzelnen Anwendungsbereichen betrifft und wird daher im Folgenden verwendet.

**Tabelle 5.16:** Allokation der bei Oberflächenreinigungsprozessen verwendeten Lösemittelmengen und deren Anteil an der Gesamtmenge nach [Öko, 1999]

Anwendungsbereich	Lösemittelleinsatzmenge [t/a]	Anteil [%]
Dienstleistung außerhalb der Industrie	11.000	19,2
Pkw-Entkonservierung	6.600	11,5
Allgemeine industrielle Metallentfettung	27.200	47,6
Industrielle Spezialanwendungen	8.000	14,0
Feinreinigung	4.400	7,7
<b>Summe</b>	57.200	100

Die in Tabelle 5.16 angegebenen Einsatzmengen beziehen sich auf das Jahr 1997. Die in [Öko, 1999] angegebenen Lösemittelleinsatzmengen für Entlackungsprozesse werden nicht verwendet, da sie erheblich von den Angaben der Produktions- und Außenhandelsstatistik abweichen. Tabelle 5.15 und Tabelle 5.16 bilden in den folgenden Abschnitten die Grundlage für die Berechnung der Lösemittelleinsatzmengen und Emissionsberechnungen.

#### 5.4.2 Ermittlung und Allokation der Inlandsverbrauchsmengen von Chlorkohlenwasserstoffen

Seit 1994 dürfen aufgrund der 2. BImSchV [2. BImSchV, 2001] in Deutschland nur noch die Chlorkohlenwasserstoffe (CKW) Dichlormethan (DCM), Perchlorethylen (PER) und Trichlorethylen (TRI) verwendet werden. Die Inlandsverbrauchsmengen dieser Stoffe sind aus den An-

gaben des Statistischen Bundesamtes nur für Dichlormethan zu ermitteln. Die Angaben bezüglich TRI und PER werden in der Statistik nicht ausgewiesen, da diese Stoffe nur von wenigen Unternehmen produziert werden und es sich damit um statistische Geheimhaltungsfälle handelt. Daher wird in dieser Arbeit die jährlich vom Verband der Chemischen Industrie e.V. (VCI) ermittelte und veröffentlichte Statistik über den Frischwareneinsatz an CKW [Nader, 2001] zur Berechnung der CKW-Inlandsverbrauchsmengen genutzt. Dabei ist zu berücksichtigen, dass der Einsatz von CKW strengen Auflagen insbesondere im Hinblick auf ihre Freisetzung in die Umwelt unterliegt. Dies führt zum einen dazu, dass CKW heutzutage in weitgehend geschlossenen Anlagen eingesetzt werden und zum anderen mehrfach innerhalb nahezu geschlossener Recyclingkreisläufe verwendet werden. Auf Grundlage dieser Annahmen wird in dieser Arbeit deshalb davon ausgegangen, dass der vom VCI erfasste Frischwareneinsatz den Ersatzbedarf für die innerhalb der Recyclingkreisläufe verloren gegangenen Mengen darstellt. Ausserdem wird im Folgenden angenommen, dass die wesentlichen Verluste beim Einsatz der CKW stattfinden, z. B. in der chemischen Reinigung durch Austrag über die gereinigte Ware, und ein geringer Teil beim Recyclingprozess, z. B. in Destillationsschlämmen, verloren geht. Daher wird in den entsprechenden Quellgruppen ein Emissionsfaktor von 95% für die jeweilige Frischwareneinsatzmenge angenommen. Es wurden entsprechend der CKW-Frischwareneinsatzstatistik des VCI [Nader, 2001] 2000 in Deutschland insgesamt 24,02 kt CKW-Frischware eingesetzt. Diese teilen sich entsprechend Tabelle 5.17 auf [Nader, 2001].

**Tabelle 5.17:** CKW-Lösemittelmarkt (Frischware) in Deutschland 2000 [Nader, 2001]

Chlorkohlenwasserstoff	Eingesetzte Frischware [kt]
Perchlorethylen (Per)	5,32
Trichlorethylen (TRI)	5,00
Dichlormethan (DCM)	13,70

Die eingesetzten CKW-Mengen können aufgrund der Angaben des VCI weiter nach dem Verkauf über den Handel, sowie den Direktverkauf disaggregiert werden [Nader, 2001]. Der Direktverkauf wird durch den VCI nach Anwendungsgebieten disaggregiert. Dieser Überblick des VCI ist in Tabelle 5.18 dargestellt.

Der Verkauf der Mitgliedsfirmen über den Handel sowie die Importe werden für TRI und PER auf Grundlage von [DECHEMA, 1997] nach Anwendungsbereichen disaggregiert. Das Ergebnis ist in Tabelle 5.19 dargestellt.

**Tabelle 5.18:** CKW-Lösemittelmarkt (Frischware) in Deutschland 2000 und Disaggregation des Direktverkaufs nach Einsatzbereichen [Nader, 2001]

	DCM	TRI	PER
	[t]	[t]	[t]
Gesamtverkauf der VCI-Mitgliedsfirmen	13.300	4.500	3.720
Importe	400	500	1.600
Gesamtverkauf in Deutschland	13.700	5.000	5.320
<b>Verkauf über den Handel</b>	6.500	3.400	5.300
<b>Direktverkauf an die Anwender</b>	7.200	1.600	20
Davon Direktverkauf in geschlossene genehmigungsbedürftige Anlagen	5.710	50	20
Davon in:			
Metallentfettung	80		
Klebstoff-Kunststoff-Verarbeitung	990		
Extraktion	3.590		
Lösemittel für chem. Prozesse	1.050		10
Sonstige		50	10
Davon Direktverkauf in offene Anwendungen	1.490	1.550	
Davon in:			
Klebstoffe		1.550	
Lacke	50		
Abbeizer, Entlackungsmittel	1.280		
Reinigungsmittel bei der Polyesterverarbeitung	160		

**Tabelle 5.19:** Prozentuale Aufteilung der über den Handel verkauften und importierten Frischware von Perchloroethylen und Trichloroethylen in Deutschland nach Einsatzgebieten [DECHEMA, 1997]

Einsatzbereich	Anteil des Einsatzbereiches an der Gesamteinsatzmenge von TRI und PER	Anteil PER	Anteil TRI
	[%]	[%]	[%]
Metallreinigung	58	61,6	38,4
Textilreinigung (Chemische Reinigung)	13	100	0
Kleber/Beschichtung	12	0	100
Sonstiges	10	100	0
Industrielle Prozesse (geschlossen)	7	73,7	26,3
Summe	100		

Die Aufteilung der Menge an Dichlormethan auf die spezifischen Einsatzbereiche erfolgt auf Grundlage von [Enquete, 1994]. Aus Tabelle 5.18 ergeben sich die Frischwareneinsatzmengen, die über den Handel verkauft wurden bzw. importiert wurden. In Tabelle 5.20 werden die über

den Handel verkauften CKW-Frischwarenmengen einschließlich der importierten Mengen disaggregiert in TRI, PER und DCM auf Grundlage von Tabelle 5.19 auf die verschiedenen Einsatzbereiche allokiert.

**Tabelle 5.20:** Aufteilung der in Deutschland über den Handel verkauften und importierten CKW-Frischwarenmengen nach Einsatzbereichen

Einsatzbereich	DCM	PER	TRI
	[t]	[t]	[t]
Metallreinigung	1.205	3.859	2.405
Textilreinigung (Chemische Reinigung)		1.404	
Kleber / Beschichtung	1.808		1.296
Industrielle Spezialanwendungen	1.205	1.080	
Industrielle Prozesse (geschlossen)	1.627	557	199
Technische Aerosole	253		
Entparaffinierung	422		
Abbeizer	380		
Summe	6.900	6.900	3.900

In Tabelle 5.21 werden die Ergebnisse der Allokation der CKW-Frischwarenmengen zusammengefasst. Dabei werden nur die Einsatzbereiche berücksichtigt, bei denen im Zusammenhang mit deren spezifischer Emissionsberechnung auch CKW-Einsatzmengen berücksichtigt werden. Bei der Emissionsberechnung für die anderen Einsatzbereiche werden die CKW-Einsatzmengen aus methodischen Gründen nicht benötigt.

**Tabelle 5.21:** CKW-Einsatzmengen in den für die Emissionsberechnung relevanten Einsatzbereichen

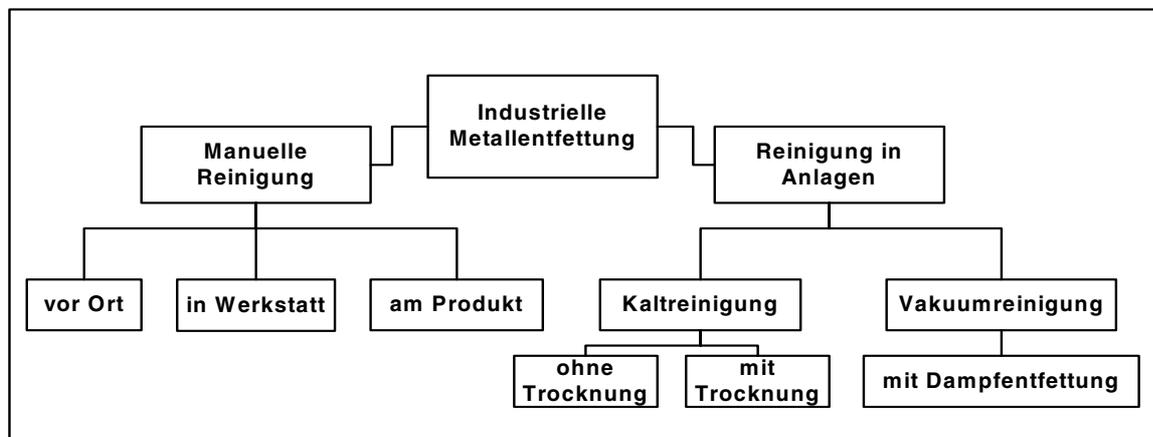
Einsatzbereich	Einsatzmenge
	[t]
Metallentfettung	7.549
Textilreinigung (Chemische Reinigung)	1.404
Industrielle Spezialanwendungen	2.285
Abbeizer, Entlackungsmittel	1.660
Reinigungsmittel bei der Polyesterverarbeitung	160

Hier sind die Einsatzmengen lediglich im Zusammenhang mit der Ermittlung der stofflichen Zusammensetzung der Emissionen von Interesse. In den folgenden Abschnitten werden die CKW-Frischwareneinsatzmengen aus Tabelle 5.21 bei der Berechnung der Lösemittlemissionen der spezifischen Quellgruppe entsprechend verwendet.

### 5.4.3 Industrielle Metallentfettung

#### Charakterisierung und Abgrenzung der Quellgruppe

Die industrielle Metallentfettung umfasst alle Prozesse, bei denen Verschmutzungen von Metalloberflächen entfernt werden. Es handelt sich hierbei um Fette, Schmierfette, Öle, Wachse, Kohlenstoffrückstände, Flussmittel und Teerrückstände. Bei der Ermittlung der Emissionen dieser Quellgruppe werden Lösemittelanwendungen bei der Teilereinigung von Werkstücken vor der Weiterverarbeitung bzw. Fertigstellung betrachtet. Die Anforderungen an die zu reinigende Oberfläche werden durch die auf die Reinigung nachfolgenden Schritte bestimmt. Wie in Bild 5-7 gezeigt, wird in manuelle und maschinelle Reinigungsverfahren unterschieden. Die manuelle Reinigung wird meist in einfachen Gefäßen oder Waschständen bei Raumtemperatur durchgeführt. Bei der maschinellen automatisierten Reinigung werden offene, halboffene sowie geschlossene Anlagen verwendet. Dabei werden vor allem heiße oder siedende Lösemittel durch Tauchen, Fluten oder Spritzen eingesetzt. Der hauptsächlich emissionsrelevante Arbeitsschritt ist die im Anschluss an die Reinigung erfolgende Trocknung. Die Reinigung mit Hilfe wässriger Systeme hat in den letzten Jahren erheblich an Bedeutung gewonnen. In der Kaltreinigung werden vor allem Entfettungsmittel der Gefahrenklasse A II mit einem Flammpunkt über 21°C verwendet. Dies ist im Hinblick auf kurze Trocknungszeiten sehr vorteilhaft. Dagegen werden in der sogenannten Heißreinigung aus Sicherheitsgründen nur hochsiedende Stoffe der Klasse A III mit Flammpunkten über 55°C eingesetzt. Hauptsächlich werden aromatenarme Test- und Spezialbenzine zur Reinigung eingesetzt [Biesterfeld, 1996].



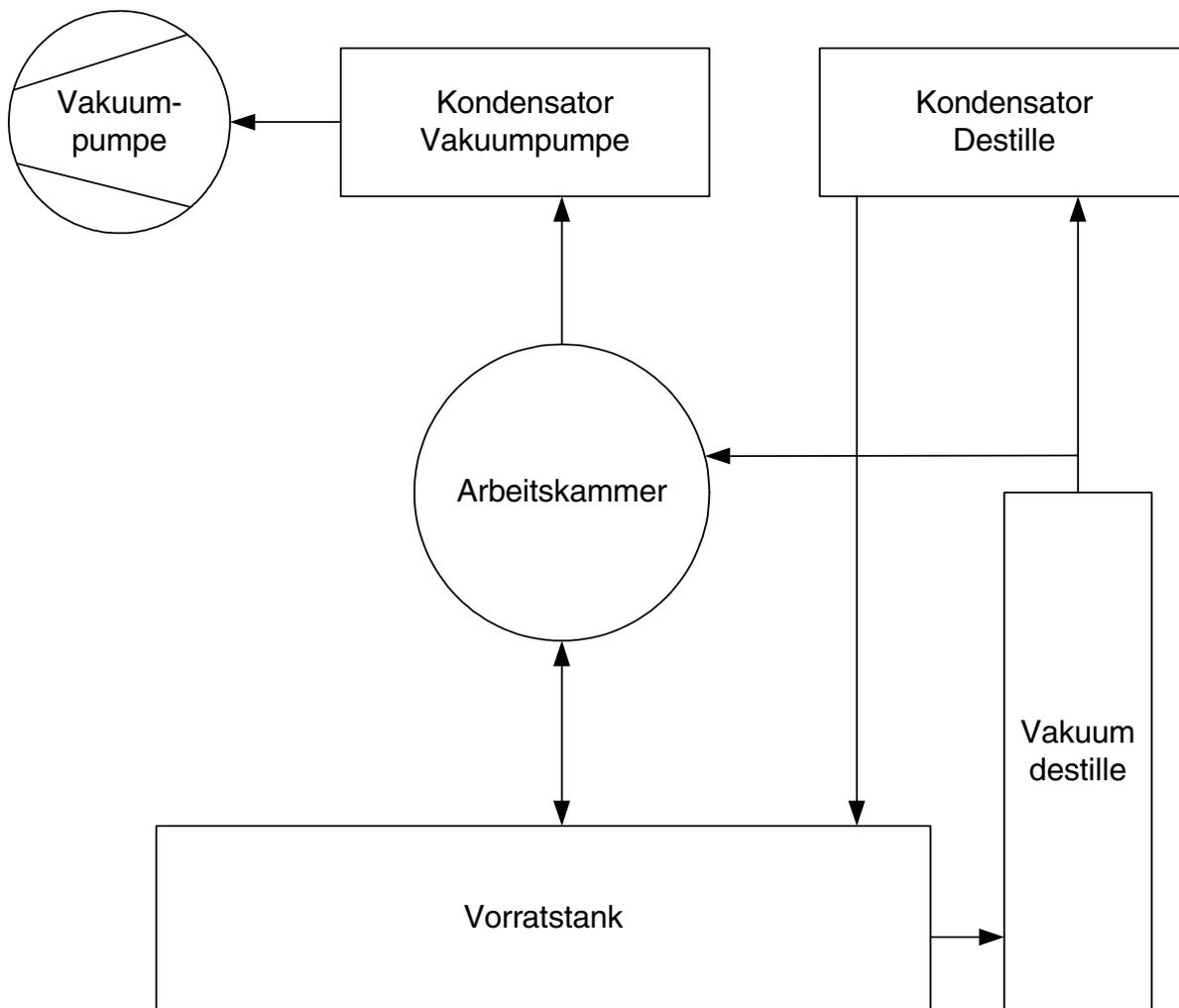
**Bild 5-7:** Unterteilung der verschiedenen Anwendungsbereiche der allgemeinen industriellen Metallentfettung

Der Anteil der Emissionen an der Einsatzmenge hängt stark von den verwendeten Lösemitteln sowie der Art der Reinigungsanlage ab. Die dabei eingesetzten Anlagenarten zur Metallreinigung mit Hilfe von Kohlenwasserstoffen sind in Tabelle 5.22 aufgeführt. In der allgemeinen industriellen Metallentfettung werden aufgrund verschiedener Reinigungsaufgaben sehr unterschiedliche Anlagen verwendet. [Öko, 1999] schätzt, dass in Deutschland ungefähr 27.000 Betriebe industrielle Metallentfettung durchführen. Dabei ist die Zahl der Reinigungsanlagen wesentlich höher als die Zahl der Betriebe. Viele Betriebe haben mehrere Reinigungseinrichtungen und meist werden Produkte und Werkzeuge in verschiedenen Anlagen gereinigt.

**Tabelle 5.22:** Verschiedene Anlagentypen und Beispiele zur KWL-Metallreinigung [Berner et al., 1996]

Anlagentyp und Beispiele	Trocknungs- temperatur [°C]	Gefahrenklasse des Reinigungsmittels nach der Gefahr- stoffverordnung (GefStoffV)
<b>Offene Kaltreinigung</b>		
Diskontinuierliche, offene Kaltreinigung	20	A II
Diskontinuierliche, offene Kaltreinigung mit NMP	20	A III
<b>Geschlossene Kaltreinigung</b>		
Diskontinuierliche, geschlossene Kaltreinigung	20	A III
Diskontinuierliche geschlossene Kaltreinigung mit nachgeschalteter Plasmabehandlung	20	A II
<b>Offene Warmlufttrocknung</b>		
Serielle Tauchreinigung mit Warmlufttrocknung	50	A III
Serielle Tauchreinigung mit Warmlufttrocknung	85	A III
Serielle Tauchreinigung mit Warmlufttrocknung	120	A III
Serielle Spritzreinigung mit Warmlufttrocknung	120	A III
<b>Moderne geschlossene Anlagen</b>		
Diskontinuierliche Reinigung mit Tiefkühlkondensation und Vakuumtrocknung	20	A III
Serielle Reinigung mit Tiefkühlkondensation	48	A III

Bild 5-8 zeigt das vereinfachte Schema einer seit Mitte der neunziger Jahre marktüblichen geschlossenen Reinigungsanlage mit Dampffentfettung und Trocknung im Vakuum [Öko, 1999]. Bei der Metallentfettung werden zwei Gruppen von Lösemitteln eingesetzt, zum einen chlorierte Lösemittel (CKW), zum anderen Kohlenwasserstofflösemittel (KWL). CKW zur Metallreinigung werden durch Einführung der 2. BImSchV 1990 [2. BImSchV, 2001] im Vergleich zu früheren Jahren erheblich weniger eingesetzt. Nach Ablauf der Übergangsfrist (bis 31.1.1994) wurde durch die 2. BImSchV der ausschließliche Einsatz geschlossener Anlagen gefordert. Seitdem wurden CKW-Reinigungssysteme im Wesentlichen durch KWL-Systeme (KWL= Kohlenwasserstofflösemittel) bzw. wässrige Reinigungssysteme ersetzt. Die KWL können sowohl in der Heißreinigung als auch in der Kaltreinigung eingesetzt werden.



**Bild 5-8:** Vereinfachtes Schema einer seit Mitte der 90er Jahre marktüblichen geschlossenen Reinigungsanlage mit Dampfentfettung und -trocknung im Vakuum [Öko, 1999]

### Lösemittelverbrauchsmengen und Emissionen im Jahr 2000

In der industriellen Metallentfettung wurden 2000 in Deutschland nach Angaben von [Nader, 2001] und [DECHEMA, 1997] und auf Grundlage von Tabelle 5.21 auf Seite 57 insgesamt 7.549 t Frischware an Chlorkohlenwasserstoffen eingesetzt. Es wird angenommen, dass diese Menge dem Verlust an CKW entspricht, der während der Reinigungsprozesse und in diversen Recyclingkreisläufen verloren geht. Daher kann analog zu offenen Anwendungen ein Emissionsfaktor von 95% abgeschätzt werden, da wahrscheinlich nicht alle CKW über den Luftpfad emittiert werden. Es ist davon auszugehen, dass ein kleiner Teil auch über den Abwasserpfad und den Recyclingpfad die industriellen Metallentfettungsanlagen verlässt. Ein geringer Teil der CKW wird durch Abluftreinigungsanlagen zerstört. Somit wurden etwa 7.172 t Chlorkohlenwasserstoffe bei der industriellen Metallentfettung emittiert.

Die Ermittlung des Inlandsverbrauches an nichtchlorierten Lösemitteln, das heißt Kohlenwasserstofflösemitteln (KWL) erfolgt auf Grundlage von Tabelle 5.15 und Tabelle 5.16. Demnach wurden 2000 in Deutschland etwa 24.100 t nichtchlorierte Lösemittel in der industriellen Metallentfettung eingesetzt. In Tabelle 5.23 wird die eingesetzte Lösemittelmenge auf die ver-

schiedenen Techniken der industriellen Metallentfettung aufgeteilt [Öko, 1999]. In Tabelle 5.23 sind neben den jeweiligen Lösemiteleinsetzungsmengen auch die auf [Öko, 1999] basierenden Emissionsfaktoren der einzelnen Anwendungsbereiche angegeben, sowie die daraus resultierenden Emissionen. Damit wurden 2000 in Deutschland etwa 10.632 t nichtchlorierte und 7.172 t chlorierte Lösemittel in der industriellen Metallentfettung emittiert.

**Tabelle 5.23:** Einsatzmengen und Emissionen verschiedener Tätigkeiten der industriellen Metallentfettung [Öko, 1999]

Anwendung	Einsatz [t/a]	Emissionsfaktor [%]	Emissionen [t/a]
<b>Manuelle Reinigung</b>			
Manuelle Werkstattreinigung	3.544	25	886
Manuelle Vor-Ort-Reinigung	5.316	33	1.772
Manuelle Produktreinigung	13.290	54	7.176
<b>Anlagenreinigung</b>			
Kaltreinigung mit Trocknung	266	33	89
Kaltreinigung mit Umlufttrocknung	1.507	41	620
Vakuumreinigung mit Dampfentfettung	177	50	89
<b>Gesamt</b>	<b>24.100</b>	<b>44</b>	<b>10.632</b>

### Stoffliche Zusammensetzung der Emissionen

Zum einen werden in der industriellen Metallentfettung chlorierte Lösemittel eingesetzt, die klar stofflich abgegrenzt sind auf Grundlage von [Nader, 2001] und [DECHEMA, 1997]. Darüber hinaus werden in der industriellen Metallentfettung Kohlenwasserstoffgemische (Testbenzine, Spezialbenzine, Paraffingemische usw.) der Gefahrenklasse A II und A III, das heißt höhersiedende Stoffe mit Flammpunkten über 21°C bzw. 55°C, eingesetzt. Außerdem werden Alkohole, Ketone und Glykolderivate sowie N-Methyl-Pyrrolidon (NMP) verwendet. Die Kohlenwasserstoffe, hier vor allem Test- und Spezialbenzine, haben einen Anteil von etwa 50% an den nichtchlorierten Lösemitteln [Berner et al., 1996]. Das Ergebnis der stofflichen Auflösung von Einsatz- und Emissionsmengen der in der industriellen Metallentfettung eingesetzten Mittel ist in Tabelle 5.24 zusammengefasst gezeigt.

**Tabelle 5.24:** Stoffliche Auflösung der in der industriellen Metallentfettung eingesetzten chlorierten und nichtchlorierten Kohlenwasserstoffe [Berner et al., 1996], [Nader, 2001], [DECHEMA, 1997]

Stoff bzw. Stoffgruppe	Anteil [%]	Verbrauchsmenge [t/a]	Emissionsmenge [t/a]
<b>Chlorierte Lösemittel</b>			
Dichlormethan		1.285	1.221
Perchlorethylen		3.859	3.666
Trichlorethylen		2.405	2.285
<b>Gesamt</b>		<b>7.549</b>	<b>7.172</b>
<b>nichtchlorierte Lösemittel</b>			
Testbenzine	<b>16,7</b>	4.025	1.775
Spezialbenzine	<b>16,7</b>	4.025	1.775
sonstige Kohlenwasserstoffe	<b>16,7</b>	4.025	1.775
Alkohole	<b>33,3</b>	8.025	3.541
Ketone	<b>3,3</b>	795	351
Ester	<b>3,3</b>	795	351
Glykolderivate	<b>5,0</b>	1.205	532
N-Methyl-Pyrrolidon	<b>5,0</b>	1.205	532
<b>Gesamt</b>	<b>100</b>	<b>24.100</b>	<b>10.632</b>

#### 5.4.4 Nichtindustrielle Dienstleistung

##### Charakterisierung und Abgrenzung der Quellgruppe

Diese Quellgruppe setzt sich aus verschiedenen Aktivitäten zusammen. Hauptsächlich werden hier die Reinigungs- und Entfettungstätigkeiten im Kfz-Handwerk betrachtet. Insbesondere sind hier die Teile- und Bremsenreinigung zu benennen. Die Teilereinigung findet weitgehend manuell an einfachen Waschtischen statt. Es gibt in Deutschland etwa 50.000 Kfz- und sonstige Werkstätten mit den entsprechenden Waschtischeinrichtungen. Etwa 35.000 dieser Einrichtungen wurden in Kfz-Werkstätten und 15.000 in sonstigen Service-Werkstätten verwendet. Die Teilereinigung wird heute weitgehend mit A III-Reinigern durchgeführt. Die A III-Reiniger werden auf Waschtischen mit Auffangbehältern verwendet, sodass etwa 46% der eingesetzten Lösemittel wiederverwendet werden [Öko, 1999]. Die Bremsenreinigung findet mittels Verdunstungsreinigung mit A I-Reinigern statt. Die zur Verdunstungsreinigung eingesetzten Sprays verdampfen vollständig. Darüber hinaus werden in dieser Quellgruppe auch andere Dienstleistungen betrachtet:

- Die Reinigung von Teilen in sogenannten Eigenwerkstätten von Bau-, Transport- und Verkehrsbetrieben. Kleinteile aus Baumaschinen, Lkws, Anhängern, Schienenfahrzeugen und Flugzeugen werden bei Wartungs- und Reparaturarbeiten gereinigt.
- Die Reinigung von Kleinteilen bei der handwerklichen Gerätwartung und -reparatur in kleinen Service-Unternehmen für Anwender ohne Eigenwerkstätten. Hier werden z. B. Elektromotoren, Agrargeräte, Kettensägen, Bohrmaschinen, Telekommunikationsgeräte, Bootsmotoren und andere Gerätschaften repariert, gereinigt und gewartet.
- Die Reinigung bei der Wartung von Spezialfahrzeugen des öffentlichen Personen-Nahverkehrs, der kommunalen Energieversorgung, der Müllabfuhr, der Straßenreinigung, in Kläranlagen, der Feuerwehr, die meist selbst gewartet werden. Die Polizei sowie die Bau-,

Garten-, und Friedhofsämter verfügen ebenfalls über wartungs- und reinigungsbedürftige Fahrzeuge und Geräte.

- Wartungsarbeiten in militärischen Einrichtungen. Bei der Bundeswehr werden die Waffensysteme und der Fahrzeugbestand in eigenen Werkstätten gewartet, repariert und gereinigt.

Die spezifischen Anteile dieser „sonstigen“ Dienstleistungsbereiche sind schwer zu quantifizieren. Den überwiegenden Anteil an den Einsatz- und Emissionsmengen dieser Anwendungsbereiche haben jedoch wahrscheinlich Tiefbau-, Transport- und Verkehrsunternehmen sowie kommunale Einrichtungen. Die Bundeswehr und die handwerkliche Gerätewartung spielen eher eine untergeordnete Rolle.

### Lösemittelverbrauchsmengen und Emissionen im Jahr 2000

Die Ermittlung des Inlandsverbrauches an Lösemitteln für Oberflächenreinigungsprozesse in der nichtindustriellen Dienstleistung erfolgt auf Grundlage von Tabelle 5.15 und Tabelle 5.16. Demnach wurden 2000 in Deutschland etwa 9.746 t Lösemittel bei nichtindustriellen Dienstleistungen eingesetzt. In Tabelle 5.25 werden die Lösemittelsatzmengen auf die verschiedenen Bereiche aufgeteilt [Öko, 1999]. Darüber hinaus werden in Tabelle 5.25 den Einsatzmengen anwendungsspezifische Emissionsfaktoren zugeordnet, die auf [Öko, 1999] basieren, und die resultierenden Emissionen berechnet.

**Tabelle 5.25:** Einsatz- und Emissionsmengen bei der Oberflächenreinigung im nichtindustriellen Dienstleistungsbereich in Deutschland 2000 (eigene Berechnungen basierend auf [Öko, 1999])

Anwendung	Einsatzmenge [t/a]	Emissionsanteil [%]	Emissionsmenge [t/a]
<b>Teilereinigung am Waschtisch</b>			
Kfz-Handwerk	3.544	20	709
Sonstige Dienstleistungen	1.772	20	354
<b>Verdunstungsreinigung (Sprays)</b>			
Kfz-Handwerk (Bremsenreiniger)	3.544	95	3.367
Sonstige Dienstleistungen	886	95	842
<b>Summe</b>	9.746		5.272

Es wurden bei nichtindustriellen Dienstleistungen in Deutschland im Jahr 2000 etwa 5.272 t Lösemittel emittiert. Etwa 80% der Emissionen wurden durch Sprayanwendungen verursacht, das heißt bei der Verdunstungsreinigung.

### Stoffliche Zusammensetzung der Emissionen

Bei der Teilereinigung am Waschtisch werden ausschließlich A III-Reiniger eingesetzt, bei denen es sich meist um aromatenarme Kohlenwasserstoffgemische handelt. Die in der Verdunstungsreinigung eingesetzten Reiniger enthalten zu etwa 60% Spezialbenzine (A I-Reiniger), ungefähr 30% Isopropanol und etwa 10% Aceton.

### 5.4.5 Feinreinigung

#### Charakterisierung und Abgrenzung der Quellgruppe

Unter die Feinreinigung fallen die folgenden Anwendungsbereiche, in denen Oberflächenreinigungsprozesse durchgeführt werden:

- Herstellung von Elektronikkomponenten
- Feinoptik
- Feinmechanik

Die Herstellung von Elektronikkomponenten umfasst alle industriellen und nichtindustriellen, maschinellen und manuellen Vorgänge, bei denen elektronische Bauteile mit Hilfe von Lösemitteln gereinigt werden. Die Reinigung mit Lösemitteln wird hauptsächlich bei der Herstellung von Leiterplatten, Hybriden, Sieben und Lötrahmen sowie der manuellen Nachbearbeitung für das Militär, die Luftfahrt und die Autoindustrie angewendet. Durch den Einsatz feststoffarmer Flussmittel kann heutzutage in vielen Bereichen auf eine Reinigung der verlöteten Leiterplatten verzichtet werden. Das Waschverfahren besteht aus einem Vorwaschen mit Cyclohexan oder Glykolethern. Die eigentliche Reinigung findet dann mit Isopropanol oder Wasser statt. Die Hilfsmittel (Schablonen, Siebe) werden hauptsächlich noch manuell gereinigt [Öko, 1999]. In vielen Bereichen ist die Reinigung aufgrund feststoffarmer Flussmittel gar nicht mehr nötig. Bei den Anwendungen, wo eine Reinigung nach wie vor nötig ist, wird in explosionsgeschützten Anlagen mit Dauerabsaugung, Mehrkammeranlagen sowie manuellen Tauchbehältern gereinigt. Es wurde 1997 in Deutschland in etwa 100 explosionsgeschützten Anlagen, 50 Mehrkammeranlagen, 200 Spritzanlagen, einer unbekanntenen Anzahl an manuellen Tauchbehältern sowie mit Hilfe von Flaschen und Sprays gereinigt [Öko, 1999].

Neben der Herstellung von Elektronikkomponenten sind der Feinreinigung auch Reinigungsvorgänge in der Feinoptik und der Optoelektronik zugeordnet. Optische Materialien werden im Allgemeinen beschichtet, so dass die Reinheit der Oberfläche sehr wichtig ist. Optische Gläser für Brillen werden heutzutage im Wesentlichen wässrig gereinigt. Dagegen sind Gläser, die für präzisionsoptische Anwendungen (Kameralinsen, Mikroskope, Ferngläser usw.) verwendet werden, häufig wasserunbeständig, so dass zur Reinigung dieser Gläser die Verwendung von Lösemitteln notwendig ist. Die Anwendung der Lösemittel findet im Wesentlichen offen und manuell statt. Dies ist sowohl auf die kleinbetriebliche Struktur der Branche zurückzuführen als auch auf die verschiedenen zu bearbeitenden Glasarten.

Bei Oberflächenreinigungsprozessen in der Feinmechanik werden im Wesentlichen medizinische Geräte bzw. Instrumente, Laborgeräte, messtechnische Instrumente und Geräte für die Lasertechnik gereinigt. Feinmechanische Geräte müssen während und nach der Verarbeitung oberflächenrein sein. Nach Abschätzung von [Öko, 1999] gab es 1997 in Deutschland ungefähr 100 feinmechanische Betriebe mit etwa 120 explosionsgeschützten Reinigungsanlagen.

#### Lösemittelverbrauchsmengen und Emissionen im Jahr 2000

Die Ermittlung des Inlandsverbrauches an Lösemitteln für Oberflächenreinigungsprozesse in der Feinreinigung erfolgt auf Grundlage von Tabelle 5.15 und Tabelle 5.16. Demnach wurden 2000 in Deutschland etwa 3.898 t Lösemittel in der Feinreinigung eingesetzt. In Tabelle 5.26 werden die Lösemittelleinsatzmengen auf die verschiedenen Anwendungsbereiche Fertigung elektronischer Komponenten, Feinoptik und Feinmechanik aufgeteilt [Öko, 1999]. Es wird je-

weils zwischen der Anwendung von Reinigungsmitteln in Anlagen und der manuellen Anwendung von Reinigungsmitteln differenziert. Darüber hinaus werden in Tabelle 5.26 den Einsatzmengen anwendungsspezifische Emissionsfaktoren zugeordnet, die auf [Öko, 1999] basieren, und die resultierenden Emissionen berechnet.

**Tabelle 5.26:** Einsatz- und Emissionsmengen in der Feinreinigung in Deutschland 2000 (eigene Berechnungen basierend auf [Öko, 1999])

Anwendung	Einsatzmenge [t/a]	Emissionsanteil [%]	Emissionsmenge [t/a]
<b>Elektronische Fertigung</b>			
Reinigung in Anlagen	824	71	585
Manuelle Reinigung	239	54	128
<b>Feinoptik</b>			
Reinigung in Anlagen	532	50	266
Manuelle Reinigung	1.240	50	620
<b>Feinmechanik</b>			
Reinigung in Anlagen	886	80	709
Manuelle Reinigung	177	75	133
Summe	3.898		2.441

In der Feinoptik und Feinmechanik sind die Emissionsfaktoren bei der Reinigung in Anlagen höher als bei der manuellen Reinigung, da aufgrund der Anforderungen an die Oberflächenreinheit schnell verdampfende Lösemittel mit relativ niedrigem Siedepunkt eingesetzt werden müssen. Aus Gründen des Explosionsschutzes ist bei der Verwendung solcher leicht verdampfender Lösemittel mit niedrigem Siedepunkt und damit einhergehend niedrigem Flammpunkt eine Dauerabsaugung notwendig. Dies führt zu einer stärkeren Verdampfung und somit zu einem höheren Emissionsfaktor als bei der manuellen Reinigung.

Insgesamt wurden 2000 in Deutschland 3.898 t Lösemittel in der Feinreinigung eingesetzt. Davon wurden etwa 63% (2.441 t) emittiert. Etwa 45% (1.772 t) der eingesetzten Lösemittel wurden in der Feinoptik eingesetzt. Davon wurden etwa 50% (886 t) emittiert. Etwa 27% (1.063 t) wurden in der Fertigung elektronischer Bauteile eingesetzt und davon wurden etwa zwei Drittel (713 t) emittiert. In der Feinmechanik wurden etwa 842 t Lösemittel emittiert und 1.063 t eingesetzt.

### Stoffliche Zusammensetzung der Emissionen

Die stoffliche Zusammensetzung der eingesetzten Lösemittel ist in der Feinreinigung für die betrachteten drei Anwendungsbereiche sehr unterschiedlich. Bei der Herstellung von Elektronikkomponenten werden als Lösemittel Cyclohexan/Isopropanol-Gemische zur Vorreinigung, Glykolether/Isopropanol- bzw. Glykolether/Wasser-Gemische zur Spülung sowie Isopropanol, Aceton und Verdüner zur manuellen Reinigung in Tauchbehältern eingesetzt.

Bei der Oberflächenreinigung in der Feinoptik werden Ethanol, Isopropanol, Aceton, Cyclohexan und Butylacetat als Lösemittel eingesetzt, die bei der Reinigung in Anlagen aufgrund des notwendigen Explosionsschutzes eine Dauerabsaugung notwendig machen. Außerdem wird N-Methyl-Pyrrolidon (NMP) häufig zum Entkitten verwendet.

In der Feinmechanik werden zu etwa 90% Isopropanol und Cyclohexan eingesetzt sowie Aceton und Spezialbenzine.

**Tabelle 5.27:** Stofflich aufgelöste Einsatz- und Emissionsmengen der in der Feinreinigung in Deutschland 2000 verwendeten Lösemittel eigene Berechnungen basierend auf [Öko, 1999])

Lösemittel	Elektronische Fertigung		Feinoptik		Feinmechanik	
	Einsatzmenge [t]	Emissionsmenge [t]	Einsatzmenge [t]	Emissionsmenge [t]	Einsatzmenge [t]	Emissionsmenge [t]
Ethanol			296	151	80	59
Isopropanol	744	565	793	399	476	378
Cyclohexan			261	159	399	319
N-Methyl-Pyrrolidon	96	27	171	58		
Butylacetat			193	66		
Aceton	89	54	58	53	54	43
Glykolether	116	59				
Spezialbenzine	18	8			54	43
Gesamt	1.063	713	1.772	886	1.063	842

Tabelle 5.27 zeigt, dass in der Feinreinigung im Jahr 2000 etwa 2.013 t Isopropanol, 660 t Cyclohexan, 376 t Ethanol, 267 t N-Methyl-Pyrrolidon, 201 t Aceton, 193 t Butylacetat, 116 t Glykolether und 72 t Spezialbenzine eingesetzt wurden. Die entsprechenden Emissionsmengen der einzelnen Stoffe sind Tabelle 5.27 ebenfalls zu entnehmen.

#### 5.4.6 Organische Spezialreinigung

##### Charakterisierung und Abgrenzung der Quellgruppe

Diese Quellgruppe umfasst die Anwendungsbereiche, die nicht unter die anderen Bereiche der Oberflächenreinigung fallen. Es handelt sich hier meist um die Reinigung der Produktionsmittel bei der Herstellung von 2-Komponenten-Kunststoffen (Polyurethane, Epoxide und Silikone) in stationären Gießanlagen, 1-Komponenten-Dichtstoffen (Polyurethane, Silikone, modifizierte Silane und Polysulfide) in Mischern und Rührwerken sowie sonstigen Anwendungen einschließlich des Produktfinishing. Im Wesentlichen werden mittels organischer Reiniger die Produktionsanlagen gereinigt. Beim Produktfinishing werden die Produkte gereinigt. Hierbei handelt es sich z. B. um das Entfernen „angebackener“ Dichtungen von Altaggregate und die Endreinigung versand- und verpackungsfertiger Produkte (Automobile, Büromöbel usw.).

##### Lösemittelverbrauchsmengen und Emissionen im Jahr 2000

Die Ermittlung des Inlandsverbrauches an Lösemitteln für die organische Spezialreinigung erfolgt auf Grundlage von Tabelle 5.15 auf Seite 54 und Tabelle 5.16 auf Seite 54. Demnach wurden 2000 in Deutschland etwa 7.088 t nichtchlorierte Lösemittel in der organischen Spezialreinigung eingesetzt. In Tabelle 5.28 werden die Lösemittelleinsatzmengen auf die verschiedenen

Anwendungsbereiche stationäre Gießanlagen für 2-Komponenten-Kunststoffe, Mischer bzw. Rührwerke für 1-Komponenten-Dichtstoffe sowie Produktreinigung bzw. -finishing aufgeteilt [Öko, 1999]. Darüber hinaus werden in Tabelle 5.28 den Einsatzmengen anwendungsspezifische Emissionsfaktoren zugeordnet, die auf [Öko, 1999] basieren, und die resultierenden Emissionen berechnet.

**Tabelle 5.28:** Einsatz- und Emissionsmengen in der organischen Spezialreinigung in Deutschland 2000 (eigene Berechnungen basierend auf [Öko, 1999])

Anwendungsbereich	Lösemittel-einsatz [t]	Emissionsanteil [%]	Emissionen [t]
Stationäre Gießanlagen für 2-Komponenten-Kunststoffe	1.861	67	1.240
Mischer bzw. Rührwerke für 1-Komponenten Dichtstoffe	1.240	14	177
Produktreinigung und -finishing	3.987	78	3.101
Summe	7.088		4.518

Entsprechend Tabelle 5.28 wurden 2000 in Deutschland 3.987 t Lösemittel bei der Produktreinigung bzw. dem Produktfinishing eingesetzt. Davon wurden etwa 78% (3.101 t) emittiert. Es wurden etwa 1.861 t Lösemittel bei Reinigungsprozessen in stationären Gießanlagen für 2-Komponenten-Kunststoffe eingesetzt und etwa zwei Drittel davon emittiert. Das heißt, etwa 1.240 t Lösemittel wurden emittiert. Darüber hinaus wurden etwa 1.240 t Lösemittel bei Reinigungsprozessen in Mixern und Rührwerken für 1-Komponenten-Dichtstoffe eingesetzt und davon etwa 14% (177 t) emittiert. Der relativ niedrige Emissionsfaktor bei Reinigungsprozessen von Misch- und Rührwerken für 1-Komponenten-Dichtstoffe ist auf einen erheblichen Einsatz von Regeneraten zurückzuführen [Öko, 1999]. Außerdem müssen noch die Emissionen aus dem Einsatz von chlorierten Kohlenwasserstoffen für industrielle Spezialanwendungen berücksichtigt werden. Auf Grundlage von Tabelle 5.21 auf Seite 57 wurden 2000 in Deutschland etwa 2.285 t CKW-Frischware für diese Anwendungen eingesetzt. Da angenommen wird, dass es sich bei der eingesetzten Frischware um Ersatz für die entstandenen Verluste handelt, wird ein Emissionsfaktor von etwa 95% abgeschätzt. Damit wurden 2000 in Deutschland beim CKW-Frischwareneinsatz in industriellen Spezialanwendungen etwa 2.171 t Lösemittel emittiert. Insgesamt wurden 2000 in Deutschland aus industriellen Spezialanwendungen etwa 6.692 t Lösemittel emittiert.

### Stoffliche Zusammensetzung der Emissionen

Die stoffliche Zusammensetzung der eingesetzten Lösemittel ist in der organischen Spezialreinigung für die betrachteten drei Anwendungsbereiche sehr unterschiedlich. In stationären Gießanlagen für 2-Komponenten-Kunststoffe werden hauptsächlich Ethylacetat (70%) und Aceton (30%) eingesetzt [Öko, 1999]. Bei der Reinigung von Misch- bzw. Rührwerken für 1-Komponenten-Dichtstoffe werden eine Vielzahl von Spezialreinigern eingesetzt, die sehr unterschiedliche Zusammensetzungen haben. Die stoffliche Zusammensetzung der Lösemittel entspricht der Zusammensetzung der Klebstofflösemittel. Dies ist darauf zurückzuführen, dass 1-Komponenten-Dichtstoffe meist bei Klebstoffherstellern produziert werden und zur Reinigung der Misch- und Rührwerke die gleichen Lösemittelgemische verwendet werden, die bei der Klebstoffherstellung eingesetzt werden [Öko, 1999] (siehe "Herstellung von Klebstoffen

und Klebebändern” auf Seite 92). Allerdings werden bei der Reinigung keine Chlorkohlenwasserstoffe verwendet. Im Produktfinishing werden viele verschiedene Reinigungsmittel verwendet. Aus [Öko, 1999] lässt sich die in Tabelle 5.29 angegebene stoffliche Zusammensetzung der eingesetzten Reinigungsmittel herleiten.

Darüber hinaus wurden nach Tabelle 5.21 auf Seite 57 noch etwa 1.205 t Dichlormethan und etwa 1.080 t Perchlorethylen in industriellen Spezialanwendungen eingesetzt. Dabei wurden etwa 1.145 t Dichlormethan und etwa 1.026 t Perchlorethylen emittiert.

**Tabelle 5.29:** Stofflich aufgelöste Lösemittelaus- und -emissionsmengen in der organischen Spezialreinigung in Deutschland 2000 eigene Berechnungen basierend auf [Öko, 1999])

Lösemittel	2-Komponenten-Kunststoff-Herstellung		Mischer und Rührwerke für 1-Komponenten-Dichtstoffe		Produktfinishing	
	Einsatzmenge [t]	Emissionsmenge [t]	Einsatzmenge [t]	Emissionsmenge [t]	Einsatzmenge [t]	Emissionsmenge [t]
Ethanol					598	465
Ethylacetat	1.303	868			797	620
Methylacetat					498	388
Aceton	558	372			300	232
N-Methyl-Pyrrolidon					100	78
Xylole					797	620
Methoxypropanol					100	78
Spezialbenzine					797	620
Aromaten			117	17		
Aliphaten			258	37		
Ester			381	54		
Ketone			381	54		
Alkohole			103	15		
Gesamt	1.861	1.240	1.240	177	3.987	3.101

#### 5.4.7 Entwachsen von Fahrzeugen

##### Charakterisierung und Abgrenzung der Quellgruppe

Diese Quellgruppe betrachtet die Entkonservierung von Fahrzeugen. In den bundesweit 29 Großlagern der Autospediteure werden etwa 70% der Neuwagen entwachst [Öko, 1999]. Vor der Übergabe an die Autohändler werden die Fahrzeuge mit Hilfe von heißem lösemittelhaltigem Wasser entwachst. Die restlichen Neuwagen (etwa 30%) werden direkt bei den Autohändlern entwachst. Hier findet die Entwachsung mit Hilfe von Hochdrucksprühgeräten manuell statt [Öko, 1999]. Die Paraffinwaxe werden mittels einer wässrigen Emulsion mit Lösemitteln auf Basis aliphatischer Kohlenwasserstoffe, hohem Druck, das heißt, im Handbetrieb bei 70 bis 80bar und im automatischen Betrieb bei 25 bar sowie hoher Temperatur, das heißt ungefähr 90°C, von der Fahrzeugoberfläche entfernt.

## Lösemittelverbrauchsmengen und Emissionen im Jahr 2000

Nach Angaben von [Öko, 1999] verlassen bei der Entwachsung in Großlagern der Spediteure etwa 90% der eingesetzten hochsiedenden A III-Reiniger die Anlagen über den Abfallpfad bzw. werden zur Energiegewinnung in der Entwachsungsanlage eingesetzt. Ungefähr 10% verlassen die Anlagen über den Emissionspfad in die Luft. Bei der Entwachsung in Autohäusern werden zu dem mittels Hochdrucksprühgerät bei der Entwachsung aufgebrauchten heißem Wasser Lösemittel hinzugefügt. Ein nicht bekannter Anteil wird abgeschieden. Bei manchen Autohändlern wird das Lösemittel im Kreislauf gefahren und wiederverwendet. Etwa 50% der bei der manuellen Entwachsung eingesetzten Lösemittel werden emittiert [Öko, 1999].

Die Ermittlung des Inlandsverbrauches an Lösemitteln für die Entwachsung von Neufahrzeugen in Großlagern bei Spediteuren und manuell bei Autohändlern erfolgt auf Grundlage von Tabelle 5.15 und Tabelle 5.16. Demnach wurden 2000 in Deutschland etwa 5.848 t nichtchlorierte Lösemittel bei der Entwachsung von Neufahrzeugen eingesetzt. Zusätzlich wurden noch 29 t Dichlormethan als Frischware zur Entparaffinierung verwendet [Nader, 2001]. Da es sich hierbei um Frischware handelt und damit davon ausgegangen wird, dass dies die auf Grund von Verlusten in geschlossenen Anlagen zu ersetzende Menge ist, wird ein Emissionsfaktor von 95% angenommen. In Tabelle 5.30 werden die Lösemitteleinsatzmengen für die manuelle Entwachsung in Autohäusern und die automatische Entwachsung in Großanlagen entsprechend [Öko, 1999] aufgeteilt. Darüber hinaus werden in Tabelle 5.30 den Einsatzmengen anwendungsspezifische Emissionsfaktoren zugeordnet, die auf [Öko, 1999] basieren, und die resultierenden Emissionen berechnet.

**Tabelle 5.30:** Einsatz- und Emissionsmengen bei der Entwachsung von Neufahrzeugen in Deutschland 2000 (eigene Berechnungen basierend auf [Öko, 1999])

Anwendungsbereich	Lösemittel-einsatz [t/a]	Emissionsanteil [%]	Emissionen [t/a]
Entwachsung in Großlagern bei Spediteuren	4.076	12	492
Manuelle Entwachsung in Autohäusern	1.772	34	594
Entparaffinierung mit Dichlormethan	29	95	28
Summe	5.877		1.114

Entsprechend Tabelle 5.30 wurden 2000 in Deutschland etwa 5.877 t Lösemittel bei der Entwachsung von Neufahrzeugen eingesetzt. Davon wurden etwa 19% (1.114 t) emittiert [Öko, 1999].

### Stoffliche Zusammensetzung der Emissionen

Bei der Entwachsung von Fahrzeugen werden im Wesentlichen AIII-Reiniger eingesetzt. Dabei handelt es sich um hochsiedende aromatenarme Kohlenwasserstoffgemische, das heißt, entweder höhersiedende Testbenzine oder Isoparaffin-Gemische.

### 5.4.8 Entfernung von Farben und Lacken

#### Charakterisierung und Abgrenzung der Quellgruppe

Entlackt wird vor allem in offenen Anwendungen. Im Do-It-Yourself-Bereich wird häufig entlackt. Darüber hinaus werden Abbeizmittel von spezialisierten Aluminiumbeschichtern verwendet. Sie entlacken pulverbeschichtete Aluminiumprofile für den Fenster-, Türen- und Fassadenbau. Diese werden zusammen mit den jeweils zugehörigen Stahlgehängen in großen Tauchbecken bei 50°C bis 60°C von Lack befreit. Daneben werden Abbeizmittel auch von Lohnentlackern eingesetzt. Auch metallverarbeitende Autozulieferer setzen Entlackungsagencien ein. Darüber hinaus werden Abbeizmittel bei diversen Anwendungen eingesetzt.

#### Lösemittelverbrauchsmengen und Emissionen im Jahr 2000

Nach Tabelle 5.21 auf Seite 57 wurden in Deutschland 2000 als Abbeizer 1.280 t Dichlormethan als Frischware durch Direktverkauf, die in offenen Anwendungen eingesetzt wurden, sowie 904 t über den Handel verkauft [Nader, 2001]. Es wird davon ausgegangen, dass dieser Teil an Entlackungsmitteln zu 95% emittiert wird, da es sich bei den verkauften Mengen um Frischware handelt, die vermutlich den bei geschlossenen Anwendungen notwendigen Ersatzbedarf darstellen. Gerade im DIY-Bereich wird Dichlormethan offen als Abbeizer eingesetzt. Darüber hinaus wurden auch nichtchlorierte organische Entlackungsmittel verwendet. Die Hauptanwender dieser nichtchlorierten Entlackungsmittel sind Aluminiumbeschichter. Auf Grundlage der Produktions- und Außenhandelsstatistik [StaBuA, 2000a], [StaBuA, 2000b] wurden 2000 etwa 11.922 t Abbeizmittel in Deutschland verbraucht. Davon wurden etwa 80%, das heißt etwa 9.338 t, zur organischen Entlackung fehlbeschichteter Aluminiumteile eingesetzt.

Nach [Öko, 1999] haben organische Entlackungsmittel im Mittel einen Lösemittelgehalt von etwa 97%. Der Emissionsfaktor wird nach [Schwarz, 2000] mit etwa 15% angenommen. Er ist insbesondere auf Grund eines hohen Rückgewinnungsanteils relativ niedrig. Zur Entlackung von Stahlteilen und Stahlgehängen und anderen Anwendungen, das heißt bei der wässrig-alkalischen Entlackung, wurden 2.584 t Abbeizmittel verwendet. Der Lösemittelgehalt dieser Mittel wird mit etwa 25% angenommen [Öko, 1999]. Der Emissionsfaktor wird hier nach [Schwarz, 2000] mit etwa 14% angenommen. Damit ergeben sich die in Tabelle 5.31 zusammengefassten Einsatz- und Emissionsmengen. Insgesamt wurden 2000 bei der Entfernung von Farben und Lacken 3.546 t organische chlorierte und nichtchlorierte organische Verbindungen emittiert.

#### Stoffliche Zusammensetzung der Emissionen

Als Abbeizmittel werden Dichlormethan, nichtchlorierte Entlackungsmittel (Standardrezeptur: 30% N-Methyl-Pyrrolidon, 47% Ethyldiglykol, 10% Methylglykol, 10% Glykol, 3% KOH) sowie anorganische, wässrig-alkalische Entlackungsmittel, denen Glykolether zugemischt sind, verwendet [Öko, 1999].

**Tabelle 5.31:** Einsatz- und Emissionsmengen bei der Anwendung von Abbeiz- und Entlackungsmitteln in Deutschland 2000 (eigene Berechnungen basierend auf [Öko, 1999])

Anwendungsbereich	Lösemittel-einsatz [t]	Lösemittel-anteil [%]	Emissions-anteil [%]	Emissionen [t]
Abbeizen mit Dichlormethan in offenen Anwendungen	2.184	100	95	2.075
Organische Entlackung fehlbeschichteter Aluminiumteile	9.338	97	15	1.388
Wässrig-alkalische Entlackung von Stahlteilen und Stahlgehängen	2.584	25	14	83
Summe	14.106			3.546

## 5.5 Kunststoff- und Gummiverarbeitung

In dieser Quellgruppe werden folgende Anwendungs- bzw. Tätigkeitsbereiche als emissionsrelevant betrachtet:

- Polyesterverarbeitung
- Polyvinylchloridverarbeitung
- Polyurethanverarbeitung
- Polystyrolschäumung
- Gummiverarbeitung

### 5.5.1 Polyesterverarbeitung

#### Charakterisierung und Abgrenzung der Quellgruppe

Polyester sind Duroplaste, die durch Veresterung von Diolen (z. B. Diethylenglykol) mit Dicarbonsäuren (z. B. Terephthalsäure) entstehen. Häufig werden nicht vollständig polymerisierte sogenannte Polyesterharze vertrieben, die erst bei der Verarbeitung unter Wärmezufuhr vollständig vernetzt (polymerisiert) werden. Diese Verarbeitung findet teilweise in geschlossenen Anlagen und teilweise offen statt. Bei der Vernetzung können flüchtige organische Verbindungen emittiert werden [Schilling, 1999]. Die wesentliche Rolle spielt in Bezug auf die Emissionsmenge bei der Polyesterverarbeitung die Verarbeitung von ungesättigten Polyesterharzen (UP). Sie werden als Gel-Coat-Material (Oberflächenfeinschicht) für GFK-Formteile (GFK: glasfaserverstärkte Kunststoffe) verwendet. UP-Harze werden als 60-75%ige Lösung geliefert. Lösemittel ist meist Styrol. Darüber hinaus wird in dieser Quellgruppe auch der Einsatz von Dichlormethan für Reinigungsvorgänge bei der Verarbeitung von gesättigten Polyestern betrachtet. Der Einsatz von nichtchlorierten Lösemitteln für Reinigungsvorgänge bei der Polyesterverarbeitung wurde bereits in Kapitel 5.4.6 "Organische Spezialreinigung" auf Seite 66 berücksichtigt und wird hier nicht weiter betrachtet.

## **Lösemittelverbrauchsmengen und Emissionen im Jahr 2000**

Der Inlandsverbrauch an ungesättigten Polyesterharzen wird auf Grundlage der Produktions- und Außenhandelsstatistik [StaBuA, 2000a], [StaBuA, 2000b] berechnet. Danach wurden 2000 in Deutschland etwa 125.882 t ungesättigte Polyesterharze verbraucht. Dazu kommen noch etwa 23.000 t ungesättigte Polyester, die in die Klebstoffherstellung fließen und hier unberücksichtigt bleiben. Das hauptsächlich eingesetzte Lösemittel Styrol nimmt auch als Reaktivverdüner an der Härtingsreaktion teil. Daher wird bei Styrolgehalten von 65% bis 70% ein Lösemittelanteil von 30% angenommen. Von dieser Styrol-Menge werden nach [Bültjer, 2002] etwa 0,5% emittiert. Damit wurden 2000 in Deutschland etwa 189 t bei der Verarbeitung ungesättigter Polyesterharze emittiert. Der Emissionsfaktor gilt spezifisch für Deutschland, da die Verarbeitung ungesättigter Polyesterharze inzwischen im Wesentlichen in geschlossenen Anlagen stattfindet, abgesehen von wenigen Ausnahmen (z. B. Schiffsbau) [Bültjer, 2002]. In anderen europäischen Ländern müssen andere Emissionsfaktoren angenommen werden.

Wie Tabelle 5.21 auf Seite 57 zeigt, wurden 2000 in Deutschland etwa 160 t Dichlormethan Frischware als Reinigungsmittel bei der Polyesterverarbeitung eingesetzt. Da es sich hierbei um Frischware handelt, von der angenommen wird, dass diese Menge dem jährlichen Verlust entspricht, wird ein Emissionsfaktor von etwa 95% angenommen. Damit emittierten 2000 beim Einsatz von Dichlormethan für Reinigungsvorgänge bei der Polyesterverarbeitung in Deutschland etwa 152 t Lösemittel. Insgesamt wurden in Deutschland im Bezugsjahr 2000 somit etwa 341 t Lösemittel bei der Polyesterverarbeitung emittiert.

### **Stoffliche Zusammensetzung der Emissionen**

Die Emissionen aus der Verarbeitung ungesättigter Polyesterharze bestehen aus Styrol (189 t) und Dichlormethan (152 t).

## **5.5.2 Polyvinylchloridverarbeitung**

### **Charakterisierung und Abgrenzung der Quellgruppe**

Bei der Verarbeitung von Polyvinylchlorid (PVC) werden als flüchtige organische Verbindungen hauptsächlich Weichmacher emittiert. 60% des PVC werden bei der Herstellung von Fensterprofilen, Dachbahnen, Bodenbelägen, Kabeln und Rohren verarbeitet, 16% zur Herstellung von Verpackungen und der Rest wird in der Automobil-, Möbel- und Elektroindustrie und sonstigen Bereichen verarbeitet [Jopp, 1996]. 1994 wurden 67% der hergestellten PVC-Menge in Westeuropa als Hart-PVC und 33% als Weich-PVC verarbeitet [Wrede, 1995]. [AGPU, 2002] weist darauf hin, dass die NMVOC-Definition von 10Pa bei 20°C für Weichmacher weitgehend nicht gilt, da diese bei 20°C einen niedrigeren Dampfdruck haben. Es sei dennoch sinnvoll, Weichmacher in diesem Kataster mit zu berücksichtigen, da die üblichen Verarbeitungstemperaturen oberhalb von 150°C liegen.

## **Lösemittelverbrauchsmengen und Emissionen im Jahr 2000**

Der Inlandsverbrauch an Weichmachern wird auf Grundlage der Produktions- und Außenhandelsstatistik [StaBuA, 2000a], [StaBuA, 2000b] berechnet. Danach wurden 2000 in Deutsch-

land etwa 250.000 t Weichmacher verbraucht. Nach [AGPU, 2002] werden etwa 85% der Weichmacher zur Herstellung von Weich-PVC verwendet. Unter Berücksichtigung eines Emissionsfaktors von 0,1% [AGPU, 2002] wurden 2000 in Deutschland bei der Herstellung von Weich-PVC etwa 213 t emittiert.

### **Stoffliche Zusammensetzung der Emissionen**

Bei den verwendeten und emittierten Weichmachern handelt es sich um verschiedene Isomere von Dialkylorthophthalaten (Dibutylorthophthalat, Dioctylorthophthalate, Diisooctylorthophthalate, Diisononylorthophthalate, Diisodecylorthophthalate usw.).

### **5.5.3 Polyurethanverarbeitung**

#### **Charakterisierung und Abgrenzung der Quellgruppe**

In dieser Quellgruppe werden Prozesse berücksichtigt, bei denen Polyurethane (PUR) verarbeitet werden. Allerdings ist darauf hinzuweisen, dass die Verarbeitung von Polyurethan fast immer auch mit seiner Herstellung verbunden ist. Polyurethane werden durch Polyaddition aus Diisocyanaten und zweiwertigen Alkoholen hergestellt. Polyurethane lassen sich durch Zusatz von drei- und mehrwertigen Alkoholen (Glycerin, Trimethylolpropan) vernetzen und durch Zusatz geringer Mengen an Wasser, unter Verseifung der Isocyanat-Gruppe zur Aminogruppe und Kohlendioxid verschäumen. Polyurethane werden hauptsächlich zu Weich-, Hart-, Form-, Montage-, Integral- und Ortsschäumen verarbeitet. Daneben werden Polyurethane als Lackrohstoffe, Elastomere, Thermoplaste und in Schuhsohlensystemen eingesetzt. Das Aufschäummittel wird in heißem Verarbeitungszustand des Kunststoffes zugegeben. Das Polymer bekommt so spezifische Eigenschaften wie z. B. eine geringere Dichte, ein größeres Leerraumvolumen, eine geringere Wärmeleitfähigkeit. So bietet sich der variable Einsatz als Wärme- und Schalldämmstoff, als Verpackungstoff sowie in Formmassen wie z. B. Sesselschalen usw. an.

#### **Lösemittelverbrauchsmengen und Emissionen im Jahr 2000**

Der Inlandsverbrauch an Polyurethan wird auf Grundlage der Produktions- und Außenhandelsstatistik [StaBuA, 2000a], [StaBuA, 2000b] berechnet. Danach wurde 2000 in Deutschland etwa 529.825 t Polyurethan verbraucht. Nach [Raßhofer, 1994] werden etwa 8% des verarbeiteten Polyurethans überhaupt nicht geschäumt. Das heißt, es wurden 2000 in Deutschland etwa 487.439 t Polyurethan zu Schäumen verarbeitet. Nach [Hirsch, 1998] werden PUR-Weichschäume nur mit CO<sub>2</sub> aufgeschäumt. In anderen europäischen Ländern wird neben CO<sub>2</sub> auch Methylenchlorid eingesetzt. Nur die Herstellung bzw. Verarbeitung von PUR-Hartschäumen ist damit für die Ermittlung der Emissionen von Interesse. Daher ist es zunächst wichtig, deren Anteil an der Gesamtmenge zu bestimmen. Die Aufteilung in die unterschiedlichen Schaumarten wird in [Raßhofer, 1994] vorgenommen und ist in Tabelle 5.32 dargestellt.

Tabelle 5.32 zeigt, dass 2000 in Deutschland etwa 182.790 t Hartschäume verbraucht wurden, wenn angenommen wird, dass die sonstigen Schäume zur Hälfte als Weich- und zur anderen Hälfte als Hartschäume verwendet wurden.

**Tabelle 5.32:** Aufteilung der PUR-Verbrauchsmenge in die verschiedenen Schaumarten [Raßhofer, 1994]

Schaumart	Anteil [%]	Menge [t]
Weichschaum (Block/Form)	45	219.347
Hartschaum (Bau)	16	77.990
Hartschaum (Haushaltsgeräte)	4	19.498
Sonstige	35	170.604

Nach [Mann et al., 1992] werden zwischen 30 kg/t<sub>PUR</sub> und 50 kg/t<sub>PUR</sub> an Treibgasen zur Aufschäumung von PUR-Hartschäumen verwendet. Wenn von einem mittleren Treibgaseinsatz von 40 kg/t<sub>PUR</sub> ausgegangen wird, so wurden 2000 bei der Verwendung von PUR-Hartschäumen etwa 7.312 t Treibgase eingesetzt. Da zum Teil in geschlossenen Anlagen und zum Teil (z. B. bei der Verwendung von Ortsschäumen) offen geschäumt wird, wird ein Emissionsfaktor von 50% angenommen. Dieser Emissionsfaktor erscheint auch unter Berücksichtigung der Tatsache sinnvoll, dass die eingesetzten Treibgase noch über einen größeren Zeitraum langsam außerhalb der geschlossenen Anlage in die Umwelt entweichen. Damit wurden 2000 in Deutschland etwa 3.656 t NMVOC beim Aufschäumen von PUR-Hartschäumen emittiert.

### Stoffliche Zusammensetzung der Emissionen

Zum Aufschäumen werden neben Wasser noch andere, gasförmige Aufschäummittel hinzugegeben. Hierbei handelt es sich um Kohlendioxid, Propan, Butan, n-Pentan, Cyclopentan sowie teilhalogenierte Fluorkohlenwasserstoffe (R134a, R152a, R22, R141b). Das am meisten eingesetzte Aufschäummittel ist Cyclopentan.

#### 5.5.4 Polystyrolschäumung

##### Charakterisierung und Abgrenzung der Quellgruppe

Diese Quellgruppe beinhaltet alle Prozesse, bei denen Polystyrol mit Hilfe von Treibgasen aufgeschäumt wird. Sie betrifft expandierten Polystyrol-Hartschaum (EPS), der als Kunststoffdämmung und Verpackungsmaterial verwendet wird, sowie Polystyrol-Extruderschaumstoffe. EPS wird durch Erhitzen von treibmittelhaltigem Polystyrolgranulat mit Hilfe von Wasserdampf hergestellt. Durch Verdampfen des Treibmittels wird das Granulat zu geschlossenzelligen Partikeln aufgeschäumt.

##### Lösemittelverbrauchsmengen und Emissionen im Jahr 2000

Der Inlandsverbrauch an expandierbarem Polystyrol wird auf Grundlage der Produktions- und Außenhandelstatistik [StaBuA, 2000a], [StaBuA, 2000b] berechnet. Danach wurden 2000 in Deutschland etwa 294.213 t expandierbares Polystyrol aufgeschäumt. Es werden nach Angaben von [Emminger, 2002] etwa 40 kg/t<sub>Polystyrol</sub> Treibmittel eingesetzt. Dabei ist das werkstoffliche Recycling nicht mit berücksichtigt. Eine Berücksichtigung würde den Einsatzfaktor nur geringfügig senken. Da zum Teil in geschlossenen Anlagen und zum Teil offen geschäumt wird, wird ein Emissionsfaktor von 50% angenommen. Dieser Emissionsfaktor erscheint auch

unter Berücksichtigung der Tatsache sinnvoll, dass das Treibmittel noch über einen größeren Zeitraum langsam außerhalb der geschlossenen Anlage in die Umwelt entweicht. Damit wurden 2000 in Deutschland etwa 5.884 t NMVOC bei Polystyrol-Schäumprozessen emittiert.

### **Stoffliche Zusammensetzung der Emissionen**

Als Treibmittel wird ein Gemisch von Isopentan und n-Pentan eingesetzt [Marti, 1999]. Es wird ein Verhältnis von n-Pentan zu Isopentan von etwa drei zu eins angenommen.

#### **5.5.5 Gummiverarbeitung**

Diese Quellgruppe umfasst die folgenden Prozesse der Gummiverarbeitung:

- Reifenherstellung
- Gewebebeschichtung (Förderbänder, insbesondere breite)
- Verarbeitung bei der Herstellung (technischer) Formteile
- Kautschukverarbeitung

Bei der Herstellung von Fahrzeugreifen wird auch die Runderneuerung mitberücksichtigt. Daneben wird hier auch das Auftragen von Gummilösungen und Lösemitteln auf Halbfertigprodukte mitbetrachtet. Die meisten Anlagen zur Herstellung von Fahrzeugreifen sind genehmigungsbedürftig [4. BImSchV, 1999]. Relevante Lösemittlemissionen treten während der Produktion von Fahrzeugreifen hauptsächlich in den Produktionsstufen Halbfertigprodukte, Karkasse und Rohling auf [LBA, 1993]. Hierbei handelt es sich im Regelfall um getrennte Anlagen. Die Emissionen werden bei der Anwendung von lösemittelhaltigen Gummilösungen zum Verkleben einzelner Gummischichten verursacht. Die in den Produktionsabschnitten „Halbfertigprodukte“ bzw. „Vulkanisation“ entstehenden Emissionen können vernachlässigt werden.

In der Kautschukverarbeitung finden sich die folgenden emissionsrelevanten Teilprozesse:

- Das Reaktivieren einer (gealterten) Kautschukoberfläche nach dem Trocknen, um durch die entsprechende "Klebrigkeit" einen Formschluss vor und während des Vulkanisierens zu gewährleisten. Diese (Re-)Aktivierung wird meist durch händisches Einreiben und/oder Aufsprühen von Testbenzinen erreicht.
- Das (Gewebe-)Streichen, um sicherzustellen, dass die Gewebefasern möglichst vollständig von Kautschuk umschlossen sind. Hierfür ist eine Viskositätseinstellung der Kautschukmasse notwendig, die durch Zugabe entsprechender Verdünnermengen (meist Toluol) erreicht wird.
- Reinigen von Formen: Insbesondere bei der Herstellung kleinerer Formteile mit komplizierter Geometrie und bei Chargenbetrieb ist der Einsatz leicht siedender Reiniger vielfach unverzichtbar. Bei größeren Formen, z. B. bei den Reifenherstellern, sind mittlerweile Verfahrensalternativen verfügbar.

Die Prozesse der Gummiverarbeitung erfolgen in Anlagen unterschiedlicher Größenordnung. Es handelt sich teilweise um offene und teilweise um geschlossene Anwendungen.

## Lösemittelverbrauchsmengen und Emissionen im Jahr 2000

Zur Ermittlung der Aktivität wird zum einen die Reifenproduktionsmenge inklusive runderneuerter Bereifungen in Geldwert ausgedrückt herangezogen, da die Angaben in der Produktions- und Außenhandelsstatistik nicht in Gewichtseinheiten, sondern Geldwerten oder Stückzahlen zur Verfügung stehen. Außerdem wird die Menge an Gummirohren und -schläuchen sowie Förderbändern auf Grundlage von Gummi in Geldwert herangezogen. Die Berechnung der Aktivität erfolgt somit auf Grundlage des Geldwertes von Gummiwaren 2000 in Deutschland. Es wurden entsprechend [Jahrbuch, 2002] Gummiwaren im Wert von etwa 7,232 Mrd € produziert. Auf Grundlage von [Jepsen et al., 2004] wird ein Emissionsfaktor von 0,32 g/€ Produktionswert Gummiwaren angenommen. Damit wurden 2000 in Deutschland etwa 2.314 t Lösemittel emittiert.

## Stoffliche Zusammensetzung der Emissionen

Bei der Reifenherstellung werden hauptsächlich aromatenarme Spezialbenzine mit Siedepunkten von 80°C bis 160°C verwendet. Darüber hinaus wird beim Gewebestreichen zur Viskositätseinstellung der Kautschukmasse Toluol als Verdünner eingesetzt. Insgesamt kann davon ausgegangen werden, dass etwa 95% der bei der Gummiverarbeitung emittierten Lösemittel-mengen Spezialbenzine sind und etwa 5% Toluol.

## 5.6 Häusliche Anwendung von lösemittelhaltigen Produkten

### Charakterisierung und Abgrenzung der Quellgruppe

Diese Quellgruppe umfasst alle lösemittelhaltigen Produktgruppen, die im häuslichen Bereich verwendet werden, außer der Anwendung von Farben und Lacken. Es wird die Verwendung folgender lösemittelhaltiger Produkte betrachtet:

- Seifen,
- Wasch-, Spül- und Reinigungsmittel,
- Alkoholische Duft- und Hygienewässer,
- Parfüms,
- Haut- und Haarpflegemittel,
- Schönheitspflegemittel,
- Badezusatzmittel,
- andere Körperpflegemittel,
- Putz- und Pflegemittel,
- Häusliche Verwendung von pharmazeutischen Produkten.

## Lösemittelverbrauchsmengen und Emissionen im Jahr 2000

Der Inlandsverbrauch der oben angeführten lösemittelhaltigen Konsumgüter wird auf Grundlage der Produktions- und Außenhandelsstatistik [StaBuA, 2000a], [StaBuA, 2000b] ermittelt. Da in der Produktionsstatistik insbesondere bei den Körperpflegeprodukten häufig nur Geld-

werte angegeben sind und keine Produktionsmengen, ist es teilweise notwendig, aus der Außenhandelsstatistik ein Verhältnis von Geldwert zu im- bzw. exportierter Gütermenge zu generieren und dieses mit dem Produktionswert zu verknüpfen. Diese Methode ist sicherlich mit Unsicherheiten behaftet, jedoch am besten geeignet, den Inlandsverbrauch lösemittelhaltiger Konsumgüter abzuschätzen.

Die Lösemittelgehalte der entsprechenden Produktgruppen wurden [Berner et al., 1996], [Obermeier, 1995], [Vollmer, 1991a], [Vollmer, 1991b] und [Vollmer, 1994] entnommen sowie von [Graßmann, 1997] und [Rettinger, 2003] anhand von verbandsinternen Erhebungen des Industrieverbandes Körperpflege und Waschmittel e.V. (IKW) evaluiert und entsprechend konsolidiert. Die Berechnungsmethode von Produktionsmengen für Güterklassen, bei denen in der Produktionsstatistik monetäre Werte angegeben sind, wurde vom IKW als akzeptabel betrachtet ([Glassl, 2003] und [Rettinger, 2003]). Anhand der angenommenen Lösemittelgehalte können die entsprechenden Lösemittelverbräuche berechnet werden. Für alle alkoholhaltigen Spülmittel wird ein Emissionsfaktor von 3% auf Grundlage von [CH2M Hill, 1991] und [Woolley et al., 1990] angenommen. In diesen Literaturquellen wird nachgewiesen, dass die Emissionen von Ethanol und Isopropanol aus Handgeschirrspülmitteln unter üblichen Anwendungsbedingungen etwa 3% betragen. Der Rest verlässt das System über den Abwasserpfad. Dort wird von einem fast vollständigen biologischen Abbau (>99%) ausgegangen. In Tabelle 5.33 werden die Inlandsverbräuche der einzelnen Produktgruppen, die entsprechenden Lösemittelgehalte und Lösemittelverbräuche und die zugeordneten Emissionsfaktoren angegeben sowie die daraus resultierenden Emissionsmengen berechnet.

Entsprechend Tabelle 5.33 wurden 2000 in Deutschland bei der Verwendung von Konsumgütern etwa 122.721 t Lösemittel eingesetzt und davon etwa 86%, das heißt 106.014 t emittiert. Bild 5-9 ist zu entnehmen, dass etwa 26% der Lösemittlemissionen aus der häuslichen Verwendung lösemittelhaltiger Konsumgüter der Anwendung von Haarsprays entstammen. Etwa 44% der Emissionen wird durch die Verwendung von Duftwässern sowie der Anwendung von Pflege- und Schönheitsmitteln verursacht. Die Verwendung von Wasch-, Putz- und Spülmitteln hat einen Anteil an den Emissionen dieser Quellgruppe von etwa 16%. Eine weitere relevante Quellgruppe stellt noch die Verwendung von Polier-, Scheuer-, und Pflegemitteln dar, die etwa 11% der Emissionen verursacht. Lediglich 3% der Emissionen werden durch die Verwendung von desodorierenden Zubereitungen sowie Haarpflege- und -waschmitteln und Seifen verursacht.

**Tabelle 5.33:** Inlandsverbrauch lösemittelhaltiger Konsumgüter, zugeordnete Lösemittelgehalte und Lösemittelverbräuche sowie Emissionsfaktoren und daraus berechnete Emissionen

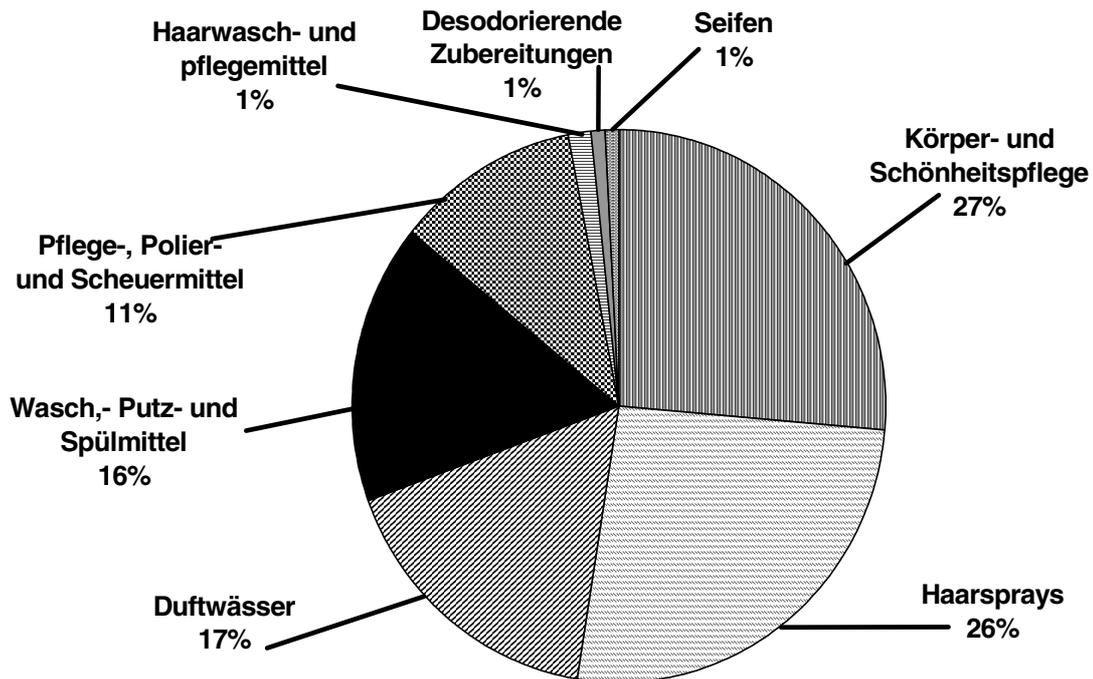
Produktgruppe	Inlandsverbrauch	Lösemittelgehalt	Lösemittelverbrauch	Emissionsfaktor	Emissionen
	[t]	[%]	[t]	[%]	[t]
<b>Seifen</b>					
Rasierseifen	12	5,0	0,6	95,0	0,5
Seifen, flüssig und pastenförmig	17.727	5,0	886	95,0	842
<b>Wasch-, Putz- und Spülmittel</b>					
Wäscheweichspüler	110.782	3,5	3.877	3,0	116
Grenzflächenaktive Zubereitungen (ohne Seifen)	35.675	3,0	1.070	3,0	32
Universalwaschmittel, flüssig	82.316	2,7	2.223	3,0	67
Spezialwaschmittel, flüssig	33.624	1,8	605	3,0	18
Geschirrspülmittel, Klarspüler	5.847	0,3	18	3,0	0,5
Geschirrspülmittel, Handgeschirrspülmittel	131.204	1,5	1.968	3,0	59
Geschirrspülmittel, Maschinengeschirrspülmittel	196.782	0,1	197	3,0	6
Andere Geschirrspülmittel	13.086	3,0	393	3,0	12
Stärken, Seifen und andere Waschlösungsmittel	69.740	1,3	907	95,0	862
Wasch- und Reinigungsmittel für Teppiche	18.141	3,0	544	95,0	517
Wasch- und Reinigungsmittel für andere Fußbodenbeläge	91.303	2,9	2.648	95,0	2.516
Autowaschmittel	54.468	19,0	10.349	95,0	9.832
Fensterputzmittel	26.541	2,80	743	95,0	706
WC-Reinigungsmittel	102.615	0,60	616	95,0	585
Andere Reinigungsmittel, flüssig	127.720	1,70	2.171	95,0	2.062
<b>Desodorierende Zubereitungen</b>					
Zubereitungen zum Parfümieren oder Desodorieren von Räumen sowie duftenden Zubereitungen für religiöse Zeremonien	20.175	5,0	1.009	95,0	959
<b>Schuh- und Lederpflegemittel</b>					
Schuhcreme und ähnliche Schuhpflegemittel	2.541	45,0	1.143	95,0	1.086
Lederpflegemittel	1.543	45,0	694	95,0	659
<b>Möbel- und Bodenpflegemittel</b>					
Bohnerwachs für Böden	7.761	80,0	6.209	95,0	5.899
Möbelwachs für Möbel	1.338	30,0	401	95,0	381

**Tabelle 5.33:** Inlandsverbrauch lösemittelhaltiger Konsumgüter, zugeordnete Lösemittelgehalte und Lösemittelverbräuche sowie Emissionsfaktoren und daraus berechnete Emissionen (Forts.)

Produktgruppe	Inlandsverbrauch	Lösemittelgehalt	Lösemittelverbrauch	Emissionsfaktor	Emissionen
	[t]	[%]	[t]	[%]	[t]
<b>Autopflegemittel</b>					
Lackpflegemittel für Autos	7.815	35,0	2.735	95,0	2.598
Poliermittel für Autos	338	5,0	17	95,0	16
Andere Autopflegemittel	1.643	20,0	329	95,0	313
<b>Polier- und Scheuermittel</b>					
Zubereitungen zum Polieren von Metall	15.218	4,0	609	95,0	579
Andere Polier- und Pflegemittel u.ä. Zubereitungen	2.964	10,0	296	95,0	281
<b>Duftwässer</b>					
Parfüms	5.024	80,0	4.019	95,0	3.818
Toilettenwässer	12.162	80,0	9.730	95,0	9.244
Rasierwässer	17.546	30,0	5.264	95,0	5.001
<b>Schminkmittel</b>					
Schminkmittel für die Lippen	5.318	5,0	266	95,0	253
Schminkmittel für die Augen	3.065	5,0	153	95,0	145
Schminkmittel für das Gesicht	6.311	1,0	63	95,0	60
<b>Zubereitungen zur Hand- und Fußpflege</b>					
Zubereitungen zur Hand- und Nagelpflege	7.953	5,0	398	95,0	378
Zubereitungen zur Fußpflege	3.562	5,0	178	95,0	169
<b>Andere Zubereitungen zur Schönheitspflege</b>					
Gesichtreinigungsmittel und Make-up-Entferner	6.810	5,0	341	95,0	324
Wässer, Cremes und Spezialbehandlungsmittel zur Gesichtspflege	64.973	10,0	6.497	95,0	6.172
Wässer und Cremes zur Körperpflege	54.407	10,0	5.441	95,0	5.169
Sonnenschutzmittel	9.193	2,0	184	95,0	175
Andere Zubereitungen zur Schönheitspflege	6.597	5,0	330	95,0	314

**Tabelle 5.33:** Inlandsverbrauch lösemittelhaltiger Konsumgüter, zugeordnete Lösemittelgehalte und Lösemittelverbräuche sowie Emissionsfaktoren und daraus berechnete Emissionen (Forts.)

Produktgruppe	Inlandsverbrauch	Lösemittelgehalt	Lösemittelverbrauch	Emissionsfaktor	Emissionen
	[t]	[%]	[t]	[%]	[t]
<b>Haarwasch- und -pflegemittel</b>					
Flüssige Haarwaschmittel	134.000	0,5	670	3,0	20
Andere Haarwaschmittel	2.602	0,5	13	3,0	0,4
Dauerwell- und Entkrausungsmittel	2.954	1,0	30	95,0	29
Haarsprays	32.248	90,0	29.023	95,0	27.572
Haarkonditionierungsmittel	5.514	5,0	276	3,0	8
Haarfestiger, flüssig und als Schaum	10.035	12,0	1.204	95,0	1.144
Haarcremes	952	2,00	19	95,0	18
Tönungsshampoo, Haarfärbemittel und Haarbleichmittel	36.651	0,50	183	3,0	5
Andere zubereitete Haarbehandlungsmittel	9.909	1,00	99	95,0	94
<b>Zubereitete Rasier-, Riech-, Körperpflege- und Schönheitsmittel</b>					
Rasiercremes	7.307	5,00	365	95,0	347
Körperdesodorierungs- und Antitranspirationsmittel	23.506	50,0	11.753	95,0	11.165
Badezusatzmittel	207.667	1,0	2.077	95,0	1.973
Zubereitungen zur Körperintimpflege	2.138	10,0	214	95,0	203
Haarentfernungsmittel	247	20,0	49	95,0	47
Zubereitungen für Kleinkinder	1.035	1,0	10	95,0	10
Andere zubereitete Riech-, Körperpflege- oder Schönheitsmittel	24.280	5,0	1.214	95,0	1.153
Summe			122 721		106.015



**Bild 5-9:** Emissionen aus der häuslichen Anwendung lösemittelhaltiger Konsumgüter disaggregiert nach Anwendungssektoren

### Häusliche Verwendung von pharmazeutischen Produkten

Darüber hinaus wird in dieser Quellgruppe auch die häusliche Verwendung von pharmazeutischen Produkten betrachtet, die die Verwendung dieser Produkte in Krankenhäusern und medizinischen Praxen mit berücksichtigt. Zur Ermittlung des Inlandsverbrauchs an pharmazeutischen Produkten wird zunächst der Umsatz an Arzneimitteln zu Herstellerabgabepreisen auf Basis der Statistik des Bundesverbandes der Pharmazeutischen Industrie benötigt [BPI, 2001]. Dieser beträgt für das Bezugsjahr 2000 in Deutschland 18,15 Mrd €. Diese Umsatzmenge wird auf Basis von [Theloke et al., 2000] und [Jepsen et al., 2004] mit einem Wert pro Tonne Arzneimittelumsatz verknüpft. Dieser wird für das Bezugsjahr 2000 mit etwa 55.094 € pro Tonne unter Berücksichtigung einer Preissteigerung von 1996 bis 2000 von ungefähr 1,7% [BPI, 2001] angenommen. Daraus ergibt sich ein Arzneimittelverbrauch für 2000 in Deutschland von etwa 329.437 t. Nach [UBA, 1996] beträgt der Anteil lösemittelhaltiger Arzneimittel an der Gesamtarzneimittelmenge etwa 13%. Dies entspricht einer Menge von etwa 42.827 t lösemittelhaltiger Arzneimittel. Weiterhin wird ein mittlerer Lösemittelanteil von 20% [Eisele, 1998b] angenommen. Da ein Teil dieser Lösemittel vom Konsumenten absorbiert wird, wird von einem Emissionsanteil von etwa 50% ausgegangen. Damit wurden 2000 in Deutschland etwa 4.283 t Lösemittel bei der häuslichen Verwendung pharmazeutischer Erzeugnisse emittiert.

### **Stoffliche Zusammensetzung der Emissionen**

Die stoffliche Disaggregation der Emissionen aus der Anwendung lösemittelhaltiger Konsumgüter ist in Tabelle 5.34 auf Grundlage von [Obermeier, 1995], [Bräutigam et al., 1992] und [Greiner, 1999] dargestellt. Bei der stofflichen Auflösung wird in Wasch-, Reinigungs-, Putz-, Polier- und Pflegemittel auf der einen Seite sowie Körperpflegemittel andererseits unterschieden. Bei über 80% der Emissionen aus der Verwendung von Wasch-, Reinigungs-, Putz-, Polier- und Pflegemitteln handelt es sich um Alkohole, hier insbesondere Isopropanol. Etwa 10% sind Kohlenwasserstoffe. Etwa 4% sind Glykolderivate. Die restlichen eingesetzten Stoffe sind Carbonsäuren, Amine, Amide, Halogenkohlenwasserstoffe, Ester, Ketone, Aldehyde und Ether. Etwa 0,13% der Emissionen aus Wasch-, Reinigungs-, Putz-, Polier- und Pflegemitteln können stofflich nicht zugeordnet werden. Etwa die Hälfte der Emissionen aus der Verwendung von Körperpflegeprodukten sind Alkohole, hier insbesondere Ethanol. Bei ungefähr einem Viertel der Emissionen handelt es sich um niedermolekulare Kohlenwasserstoffe, die im Wesentlichen als Treibgase in Aerosoldosen eingesetzt werden. Ether haben einen Anteil von etwa 18% und werden ebenfalls im Wesentlichen in Aerosoldosen eingesetzt. Die restlichen Emissionen aus der Verwendung von Körperpflegeprodukten setzen sich aus Aceton und Glykolderivaten zusammen. Nach [Schaber, 1999] setzten sich die Emissionen aus der Verwendung lösemittelhaltiger pharmazeutischer Erzeugnisse zu jeweils etwa 40% aus Ethanol und Isopropanol zusammen. Bei den restlichen 20% handelt es sich um eine Vielzahl von flüchtigen organischen Verbindungen, die im Rahmen dieser Arbeit nicht weiter aufgelöst werden konnten.

**Tabelle 5.34:** Zusammensetzung der NMVOC-Emissionen aus der Verwendung von lösemittelhaltigen Körperpflegemitteln und Wasch-, Reinigungs-, Putz-, Polier- und Pflegemitteln für das Bezugsjahr 2000 in Deutschland nach [Bräutigam et al., 1992], [Obermeier, 1995] und [Greiner, 1999]

Lösemittelkomponenten	Wasch-, Reinigungs-, Putz-, Polier- und Pflegemittel		Körperpflegemittel	
	[%]	[t]	[%]	[t]
Propan			2,40	1.830
Butan			20,00	15.248
Pentan			2,00	1.524
Test- und Spezialbenzine	8,73	2.600		
Terpenkohlenwasserstoffe	0,41	122		
Sonstige Kohlenwasserstoffe	0,50	149		
Toluol	0,03	9		
Xylol	0,03	9		
sonstige Aromaten	0,02	6		
Ethanol	5,42	1.614	44,40	33.846
Isopropanol	77,53	23.090	4,90	3.735
sonstige Alkohole	0,47	140		
Glykolderivate	4,10	1.221	5,90	4.498
Aldehyde	0,29	86		
Aceton	0,13	39	2,20	1.677
sonstige Ketone	0,04	12		
Ester	0,40	119		
Ether	0,01	3	18,20	13.874
Organische Säuren	0,94	280		
Halogenkohlenwasserstoffe	0,43	128		
Amine und Amide	0,39	116		
sonstige Lösemittel	0,13	39		
Summe	100,00	29.782	100,00	76.232

## 5.7 Anwendung von Frostschutz- und Enteisungsmitteln

In dieser Quellgruppe werden folgende Anwendungsbereiche von Frostschutz und Enteisungsmitteln betrachtet:

- Kfz-Frostschutz
- Flugzeug- und sonstige Enteisung

### **5.7.1 Anwendung von Kfz-Frostschutzmitteln**

#### **Charakterisierung und Abgrenzung der Quellgruppe**

In dieser Quellgruppe wird der Einsatz von Frostschutzmitteln in Scheibenwaschanlagen von Kraftfahrzeugen und Nutzfahrzeugen betrachtet. Nicht betrachtet wird der Einsatz von Frostschutzmitteln in Motorkühlern, da diese nicht emissionsrelevant sind.

#### **Lösemittelverbrauchsmengen und Emissionen im Jahr 2000**

Auf Grundlage der Produktions- und Außenhandelsstatistik [StaBuA, 2000a], [StaBuA, 2000b] wird ein Inlandsverbrauch an Gefrierschutzmitteln für das Bezugsjahr 2000 in Deutschland von etwa 147.015 t berechnet. Auf Grundlage von [ADAC, 1997], [Theloke et al., 2000] und [Jepsen et al., 2004] wird geschätzt, dass der Anteil der in Scheibenwaschanlagen verwendeten Frostschutzmittel einen Anteil am Inlandsverbrauch der Gefrierschutzmittel von etwa 60% hat. Die restlichen 40% werden in nicht emissionsrelevanten Anwendungsbereichen (z. B. Kfz-Kühlerfrostschutz) verwendet. Das bedeutet für das Bezugsjahr 2000 in Deutschland einen Inlandseinsatz an Frostschutzmitteln in Scheibenwaschanlagen von etwa 88.209 t. Nach Angaben von [Glassl, 2003] haben die eingesetzten Frostschutzmittel in Scheibenwaschanlagen einen Lösemittelanteil von etwa 30%. Auf Grundlage von [Theloke et al., 2000] und [Jepsen et al., 2004] wird ein Emissionsfaktor von etwa 50% angenommen. Der Rest wird über den Abwasserpfad entsorgt. Damit wurden 2000 in Deutschland bei der Verwendung von Kfz-Frostschutzmitteln etwa 13.231 t NMVOC emittiert.

#### **Stoffliche Zusammensetzung der Emissionen**

Nach Angaben von [Theloke et al., 2000] und [Glassl, 2003] handelt es sich bei den in Kfz-Frostschutzmitteln eingesetzten Stoffen hauptsächlich um Alkohole (Ethanol, Isopropanol usw.). Zu einem geringen Anteil werden nach [Obermeier, 1995] Glykolderivate eingesetzt.

### **5.7.2 Anwendung von Enteisungsmitteln**

#### **Charakterisierung und Abgrenzung der Quellgruppe**

Diese Quellgruppe umfasst sowohl die Enteisung von Flugzeugen als auch die Enteisung der Betriebsflächen auf Flughäfen. Darüber hinaus werden hier Enteisungsmittel betrachtet, die der Enteisung von Schiffen, Stromsträngen, Bahnsteigen, Brücken, Übergängen, Druckluftanlagen und großen Flächen dienen [Kilfrost, 2000]. Enteisungen werden im Allgemeinen ab einer Außentemperatur von weniger als 5°C durchgeführt. Die typische Enteisungssaison ist von Oktober bis März. Die Flugzeugenteisung findet sowohl in stationären als auch in mobilen Enteisungsanlagen statt. Gelegentlich kann auch in den Sommermonaten eine Enteisung nötig sein. Dies ist dann der Fall, wenn ein Flugzeug mit einer hohen Sinkgeschwindigkeit gelandet ist, dabei stark abgekühlt ist und nach kurzer Zeit wieder starten will.

## Lösemittelverbrauchsmengen und Emissionen im Jahr 2000

Auf Grundlage der Produktions- und Außenhandelsstatistik ergibt sich für das Bezugsjahr 2000 in Deutschland ein Inlandsverbrauch an „Flüssigkeiten zum Enteisen“ von etwa 36.880 t. Nach Abschätzung von [Theloke et al., 2000] und [Jepsen et al., 2004] auf Grundlage einer Bottom-up-Erhebung bei deutschen Flughafenbetreibern sowie sonstigen Verbrauchern von Enteisungsmitteln werden etwa 17% der Enteisungsmittel für die Betriebsflächenenteisung auf Flughäfen, etwa 22% für die Flugzeugenteisung sowie etwa 61% zur sonstigen Enteisung verwendet. Dabei wurden alle deutschen Großflughäfen sowie die für die Enteisung zuständigen Unternehmen über den Verbrauch an Enteisungsmitteln für die Enteisung von Flugzeugen befragt. Darüberhinaus wurden Informationen der Arbeitsgemeinschaft deutscher Verkehrsflughäfen (ADV) über die Enteisung der Betriebsflächen an Flughäfen verwendet [Theloke et al., 2000]. Auf Grundlage dieser Erhebungen werden auch unterschiedliche Lösemittelgehalte für die einzelnen Anwendungsbereiche angenommen [Theloke et al., 2000]. Für alle Anwendungsbereiche wird auf Basis von [Theloke et al., 2000] und [Jepsen et al., 2004] ein Emissionsfaktor von etwa 40% angenommen. Dieser Emissionsfaktor wird etwas niedriger angenommen als bei der Verwendung von Kfz-Frostschutzmitteln (EF = 50%), da die eingesetzten Mittel zum Teil einen geringeren Dampfdruck haben und zum anderen teilweise insbesondere in stationären Enteisungsanlagen zurückgewonnen werden. Auf Großflughäfen in Deutschland wird der Einsatz von Enteisungsmitteln z. B. eher als Abwasserproblem denn als Luftreinhalteproblem wahrgenommen [Anspach, 1995]. In Tabelle 5.35 werden die Einsatzmengen an Enteisungsmitteln auf die verschiedenen Verwendungsbereiche allokiert sowie die entsprechenden Emissionen für das Bezugsjahr 2000 in Deutschland berechnet. Entsprechend Tabelle 5.35 wurden 2000 in Deutschland beim Einsatz von Enteisungsmitteln etwa 9.610 t NMVOC emittiert. Der größte Anteil wurde dabei bei der sonstigen Enteisung emittiert, gefolgt von der Flugzeugenteisung und der Betriebsflächenenteisung auf Flughäfen.

**Tabelle 5.35:** Allokation der in Deutschland 2000 verbrauchten Enteisungsmittel auf die einzelnen Anwendungsbereiche sowie Zuordnung anwendungsspezifischer Lösemittelgehalte, Emissionsfaktoren und -mengen

Verwendungsbereich	Einsatzmenge	Lösemittelgehalt	Emissionsfaktor	Emissionsmenge
	[t]	[%]	[%]	[t]
Flugzeugenteisung	8.120	58	40	1.884
Betriebsflächenenteisung	6.224	75	40	1.867
Sonstige Enteisung	22.536	65	40	5.859
Summe	36.880			9.610

### Stoffliche Zusammensetzung der Emissionen

In Enteisungsmitteln werden jeweils zur Hälfte Alkohole und Glykolderivate eingesetzt [Theloke et al., 2000]

## **5.8 Herstellung von lösemittelhaltigen Produkten**

In dieser Quellgruppe werden folgende Anwendungs- bzw. Tätigkeitsbereiche als emissionsrelevant betrachtet:

- Herstellung von pharmazeutischen Produkten
- Herstellung von Farben und Lacken
- Herstellung von Holzschutzmitteln
- Herstellung von Baustoffadditiven
- Herstellung von Druckfarben und Tinten
- Herstellung von Klebstoffen und Klebebändern
- Herstellung von lösemittelhaltigen Konsumgütern
- Herstellung von Oberflächenreinigungsmitteln
- Herstellung von Frostschutz- und Enteisungsmitteln
- Herstellung von Be- und Entwachsmitteln
- Herstellung von Abbeizmitteln

### **5.8.1 Herstellung von pharmazeutischen Produkten**

#### **Charakterisierung und Abgrenzung der Quellgruppe**

NMVOC-Emissionen entstehen in diesem Bereich hauptsächlich bei der Synthese der Wirkstoffe in Batch-Reaktoren und deren Aufarbeitung (Umfüllen, Mischen) sowie bei der Fermentation und Extraktion von Arzneimitteln. Die Reinigung der Batch-Reaktoren findet vorwiegend mit Hilfe wässriger Systeme statt und stellt somit keine relevante Emissionsquelle dar. Charakteristisches Merkmal der pharmazeutischen Industrie ist eine vielfältige Produktpalette, die komplexe Synthesewege und aufwändige Reinigungs- und Aufarbeitungsschritte erfordert. Die betrachteten flüchtigen organischen Stoffe werden nicht nur als Lösemittel verwendet, sondern sind auch Reaktionskomponenten oder finden als Katalysatoren Verwendung. Allerdings können NMVOC auch während der Synthese als Nebenprodukte entstehen, die dann ebenfalls emittiert werden können. Die Prozessbedingungen sind sehr unterschiedlich, von offenen Prozessen (z. B. Misch- und Umfüllvorgänge) bis zu geschlossenen Anwendungen in gekapselten Anlagen.

#### **Lösemittelverbrauchsmengen und Emissionen im Jahr 2000**

Die Ermittlung der Inlandsproduktion pharmazeutischer Produkte ist auf Grundlage der Produktionsstatistik nicht möglich, da die betreffenden Produktionsmengen fast alle Geheimhaltungsfälle der Produktionsstatistik sind. Meist sind nur Geldwerte und keine Produktionsmengen angegeben. Zur Berechnung der Lösemittellemissionen wird daher der Produktionswert der in Deutschland produzierten Arzneimittel herangezogen. Nach statistischen Angaben des Bundesverbandes der Pharmazeutischen Industrie [BPI, 2001] auf Grundlage von Daten des Statistischen Bundesamtes wurden 2000 in Deutschland Arzneimittel im Wert von 18,56 Mrd. € produziert. Es wird ein spezifischer NMVOC-Emissionsfaktor basierend auf [Jepsen et al., 2004]

aus betrieblichen Angaben pharmazeutischer Produktionsbetriebe von 0,733 t pro 1 Mio. € Produktionswert angenommen. In diesem spezifischen Emissionsfaktor ist der Einsatz von Chlorkohlenwasserstoffen, die aus der CKW-Frischwarenstatistik diesem Bereich zuzuordnen sind (Extraktionsprozesse), bereits enthalten. Damit wurden 2000 in Deutschland bei der Herstellung von pharmazeutischen Produkten etwa 13.605 t Lösemittel emittiert. Für die betrachtete Quellgruppe „Herstellung pharmazeutischer Erzeugnisse“ ist die Datengrundlage mit großen Unsicherheiten behaftet. Eine Verbesserungsmöglichkeit wäre es, wenn die Produktionsstatistik in Zukunft mehr Daten bezüglich der hergestellten Masse an pharmazeutischen Erzeugnissen enthält. Die verwendete indirekte Ermittlung der produzierten Menge ist mit hohen Unsicherheiten behaftet. Ebenfalls mit hohen Unsicherheiten ist die Abschätzung der eingesetzten Lösemittelmenge behaftet, sowie der abgeschätzte Emissionsfaktor. Eine besondere Schwierigkeit in diesem Bereich ist die Vielzahl der verschiedenen Synthesen und Aufarbeitungsschritte, bei denen Emissionen auftreten können. So ist damit zu rechnen, dass es auch in Zukunft schwierig sein wird, über grobe Abschätzungen hinaus zu genaueren Emissionsdaten zu gelangen.

### **Stoffliche Zusammensetzung der Emissionen**

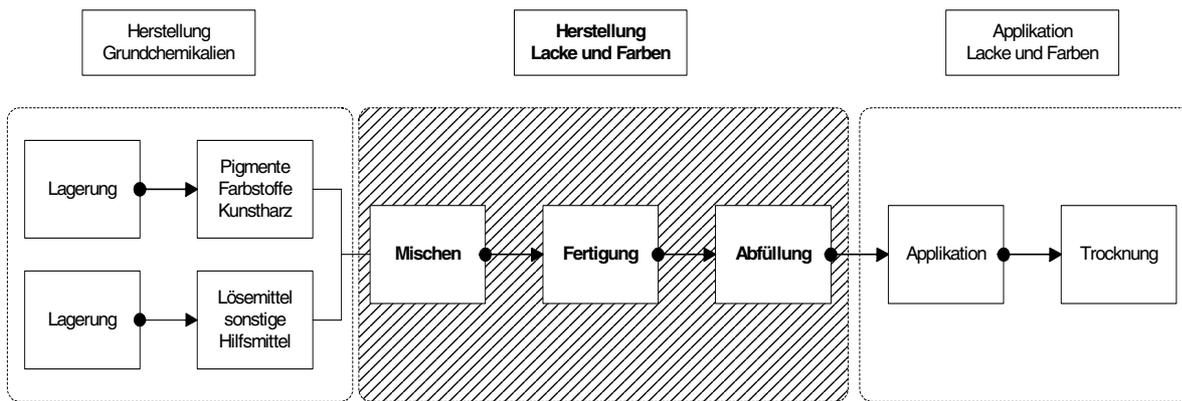
Bei etwa 80% der emittierten Lösemittel handelt es sich um Isopropanol und Ethanol. Eine Aussage über die stoffliche Zusammensetzung der restlichen emittierten Lösemittel kann nicht getroffen werden. Es handelt sich um ein breites Spektrum eingesetzter organischer Lösemittel, die je nach Reaktionsart und hergestelltem Produkt sehr unterschiedlich sind.

## **5.8.2 Herstellung von Farben und Lacken**

### **Charakterisierung und Abgrenzung der Quellgruppe**

In dieser Quellgruppe treten Lösemittlemissionen vor allem beim Erstellen der Rezeptur sowie beim Abfüllen der Gebinde auf. Es werden alle Schritte betrachtet, die bei der Herstellung von Farben und Lacken aus den Rohstoffen bis zur Befüllung der Gebinde auftreten.

Diese Schritte sind in Bild 5-10 dargestellt. Lacke und Farben werden in Deutschland hauptsächlich in mittelständisch strukturierten Betrieben hergestellt. Die durchschnittliche Standortgröße hat ein Produktionsvolumen von 5.000 bis 6.000 t sowie 50 bis 100 Mitarbeiter. Die Produktion und Abfüllung findet größtenteils in geschlossenen Anlagen statt [VCI, 1997].



**Bild 5-10:** Schematische Darstellung der Herstellung von Farben und Lacken von der Herstellung bis zur Applikation

### Lösemittelverbrauchsmengen und Emissionen im Jahr 2000

Auf Grundlage von Tabelle 5.2 auf Seite 26 lässt sich berechnen, dass 2000 ohne die Berücksichtigung von Einstellverdünnern und sonstigen Verdünnern 240.749 t Lösemittel bei der Anwendung von Farben und Lacken verbraucht wurden. Die entscheidende Größe zur Ermittlung der Emissionsmenge ist jedoch die Einsatzmenge an Lösemitteln für die Inlandsproduktion von Farben und Lacken. Diese berechnet sich aus dem Verhältnis von Produktion zu Inlandsverbrauch an Farben und Lacken. Dieses Verhältnis betrug 2000 in Deutschland etwa 125,3 [StaBuA, 2000a], [StaBuA, 2000b]. Zu dieser Einsatzmenge müssen nach [Jepsen et al., 2004] noch etwa 5% für die innerbetriebliche Handhabung von Lösemitteln addiert werden. Damit wurden 2000 in Deutschland etwa 316.741 t Lösemittel bei der Produktion von Farben und Lacken verbraucht. Entsprechend [Jepsen et al., 2004] auf Basis von betrieblichen Lösemittelbilanzen wird ein Emissionsfaktor von 3% angenommen. Dabei wird angenommen, dass 75% der Lösemittelmenge in Anlagen verbraucht wird, die bereits heute weitgehend die Anforderungen der 31. BImSchV [31. BImSchV, 2001] erfüllen, und 25% der Lösemittelmenge in Anlagen verbraucht wird, in denen die Anforderungen der 31. BImSchV [31. BImSchV, 2001] noch nicht erfüllt sind. Unter Berücksichtigung der beschriebenen Annahmen wurden 2000 in Deutschland bei der Produktion von Farben und Lacken etwa 9.502 t Lösemittel emittiert.

### Stoffliche Zusammensetzung der Emissionen

Die stoffliche Zusammensetzung der Emissionen aus der Herstellung von Farben und Lacken ist in etwa die gleiche wie die für die Applikation von Farben und Lacken angenommene (siehe Tabelle 5.3 auf Seite 29).

### **5.8.3 Herstellung von Holzschutzmitteln**

#### **Charakterisierung und Abgrenzung der Quellgruppe**

In dieser Quellgruppe wird die Herstellung von Holzschutzmitteln betrachtet. Aufgabe von Holzschutzmitteln ist es, der Zerstörung von Holz bzw. Holzwerkstoffen entgegenzuwirken. Es soll ein Schutz vor Schädlingen aller Art erreicht werden (z. B. Käfer, Würmer, Pilze).

#### **Lösemittelverbrauchsmengen und Emissionen im Jahr 2000**

Auf Grundlage von Tabelle 5.4 auf Seite 32 lässt sich berechnen, dass 2000 in Deutschland etwa 34.412 t Lösemittel bei der Anwendung von Holzschutzmitteln verbraucht wurden. Die entscheidende Größe zur Ermittlung der Emissionsmenge ist jedoch die Einsatzmenge an Lösemitteln für die Inlandsproduktion von Holzschutzmitteln. Diese berechnet sich aus dem Verhältnis von Produktion zu Inlandsverbrauch an Holzschutzmitteln. Dieses Verhältnis betrug 2000 in Deutschland etwa 101,4% [StaBuA, 2000a], [StaBuA, 2000b]. Zu dieser Einsatzmenge werden noch etwa 5% für die innerbetriebliche Handhabung von Lösemitteln addiert. Damit wurden 2000 in Deutschland etwa 36.638 t Lösemittel bei der Produktion von Holzschutzmitteln verbraucht. Ähnlich wie bei der Produktion von Farben und Lacken wird ein Emissionsfaktor von 3% angenommen. Somit wurden 2000 in Deutschland bei der Produktion von Holzschutzmitteln etwa 1.099 t Lösemittel emittiert.

#### **Stoffliche Zusammensetzung der Emissionen**

Holzschutzmittel enthalten weitgehend Testbenzine, während Holzterpentinöle im wesentlichen Gemische von Terpenen enthalten. Die Emissionen aus der Produktion von Holzschutzmitteln setzten sich 2000 in Deutschland zu etwa 93 t (8,5%) aus Testbenzinen und zu etwa 1.006 t (91,5%) aus Terpenen zusammen.

### **5.8.4 Herstellung von Baustoffadditiven**

#### **Charakterisierung und Abgrenzung der Quellgruppe**

In dieser Quellgruppe wird die Herstellung von Baustoffadditiven („Concrete additives“) betrachtet. Bei Baustoffadditiven handelt es sich um Flammschutz-, Wasserschutzmittel und ähnliche Zubereitungen für den Bautenschutz. Darüber hinaus werden Betonzusatzmittel, Betontrennmittel, Entschäumer, Wasserrückhaltungsmittel sowie Epoxidharze und -dispersionen, bitumenhaltige Anstrichmittel, Spachtel- und Vergussmassen dieser Quellgruppe zugeordnet.

#### **Lösemittelverbrauchsmengen und Emissionen im Jahr 2000**

Auf Grundlage von Tabelle 5.5 auf Seite 35 lässt sich berechnen, dass 2000 in Deutschland etwa 47.355 t Lösemittel bei der Anwendung von Baustoffadditiven verbraucht wurden. Die entscheidende Größe zur Ermittlung der Emissionsmenge ist jedoch die Einsatzmenge an Lösemitteln für die Inlandsproduktion von Baustoffadditiven. Diese berechnet sich aus dem Verhältnis von Produktion zu Inlandsverbrauch an Baustoffadditiven. Dieses Verhältnis betrug

2000 in Deutschland etwa 122,6% [StaBuA, 2000a], [StaBuA, 2000b]. Zu dieser Einsatzmenge werden noch etwa 5% für die innerbetriebliche Handhabung von Lösemitteln addiert. Damit wurden 2000 in Deutschland etwa 60.960 t Lösemittel bei der Produktion von Baustoffadditiven verbraucht. Ähnlich wie bei der Produktion von Farben und Lacken wird ein Emissionsfaktor von 3% angenommen. Somit wurden 2000 in Deutschland bei der Produktion von Baustoffadditiven etwa 1.829 t Lösemittel emittiert.

### **Stoffliche Zusammensetzung der Emissionen**

Bezüglich der stofflichen Zusammensetzung der Emissionen aus der Herstellung von Baustoffadditiven wird angenommen, dass sie der stofflichen Zusammensetzung entspricht, die für die Anwendung von Baustoffadditiven angenommen wird. Das heißt, bei etwa 80% der Emissionen handelt es sich um meist höhersiedende aliphatische Kohlenwasserstoffgemische und etwa 20% der Emissionen sind nicht weiter stofflich auflösbar. Diese Abschätzung ist mit erheblichen Unsicherheiten behaftet.

### **5.8.5 Herstellung von Druckfarben, Künstlerfarben, Tinten und Tuschen**

#### **Charakterisierung und Abgrenzung der Quellgruppe**

In dieser Quellgruppe wird die Herstellung von Druckfarben, Künstlerfarben, Unterrichtsfarben und Tinten betrachtet. Bei Unterrichtsfarben handelt es sich in erster Linie um sogenannte "Wasserfarben", die somit bei der Ermittlung von Lösemittlemissionen keine Rolle spielen. Künstlerfarben sind meist Ölfarben und Pasten.

#### **Lösemittelverbrauchsmengen und Emissionen im Jahr 2000**

Zur Ermittlung der Lösemittlemissionen aus der Herstellung von Druckfarben, Tinten und Künstlerfarben werden zunächst die Produktionsmengen der einzelnen Produktkategorien auf Grundlage von [StaBuA, 2000a] ermittelt. Tabelle 5.36 zeigt die Produktionsmengen der einzelnen Produktkategorien der Produktionsstatistik sowie die entsprechend [Jepsen et al., 1999], [Theloke et al., 2003] und [Jepsen et al., 2004] zugeordneten Lösemittelgehalte und daraus resultierende Lösemittelverbräuche. Farben für die Lithographie werden im Wesentlichen bei Offsetdruckverfahren eingesetzt. Diese Druckfarben werden als lösemittelfrei betrachtet, da sie Mineral- und Pflanzenöle mit sehr kleinem Dampfdruck enthalten.

Nach Tabelle 5.36 wurden 2000 in Deutschland etwa 475.531 t Druck- und Künstlerfarben sowie Tinten und Tuschen produziert, die etwa 118.293 t Lösemittel enthielten. Zur Emissionsberechnung werden noch 5% Lösemittelsatz für die innerbetriebliche Handhabung zu der eingesetzten Lösemittelmenge aufgeschlagen. Auf der Grundlage von einzelbetrieblichen Lösemittelbilanzen [Jepsen et al., 2004] und unter Berücksichtigung der Annahme, dass die Druckfarbenhersteller weitgehend vollständig von der 31. BImSchV [31. BImSchV, 2001] erfasst werden, wird ein Emissionsfaktor von 2% angenommen. Damit wurden 2000 in Deutschland bei der Herstellung von Druck- und Künstlerfarben sowie der Produktion von Tinten und Tuschen etwa 2.484 t Lösemittel emittiert.

**Tabelle 5.36:** Produktionsmengen an Druckfarben 2000 in Deutschland auf Grundlage von [StaBuA, 2000a] sowie die nach [Jepsen et al., 1999], [Theloke et al., 2003] und [Jepsen et al., 2004] zugeordneten Lösemittelgehalte

Produktkategorie	Produktion [t]	Lösemittelgehalt [%]	Lösemittelverbrauch [t]
<b>Schwarze Druckfarben</b>			
- für Lithographie	119.886	0,0	0
- für Flexographie	1.530	34,4	526
- für andere Verwendung	18.494	49,7	9.192
<b>andere Druckfarben</b>			
- für Lithographie	95.574	0,0	0
- für Flexographie	47.602	34,4	16.375
- für andere Verwendung	176.373	49,7	87.657
<b>Künstlerfarben, Tinten und Tuschen</b>			
Farben für Kunstmaler, in Zusammenstellungen	4.059	15,0	609
Farben für Kunstmaler, nicht in Zusammenstellungen	5.952	15,0	893
Tinten und Tuschen	6.081	50,0	3.041
<b>Summe</b>	475.531		118.293

### Stoffliche Zusammensetzung der Emissionen

In Tabelle 5.8.6 ist die stoffliche Zusammensetzung der Einsatzmengen und Emissionen angegeben. Sie wurde auf Grundlage von [Jepsen et al., 1999], [Jepsen et al., 2004], [VCI, 1997] sowie [Baumann, 1999] ermittelt. Toluol hat einen Anteil von mehr als zwei Dritteln an den Emissionen aus der Druckfarbenherstellung. Über 20 % der Emissionen sind Alkohole. Der Rest besteht aus entaromatisierten Kohlenwasserstoffgemischen, Ketonen, Estern und Glykolderivaten.

**Tabelle 5.37:** Stoffliche Zusammensetzung der in der Druckfarbenherstellung eingesetzten und emittierten Lösemittel auf Basis von [Jepsen et al., 1999], [Jepsen et al., 2004], [VCI, 1997] sowie [Baumann, 1999]

Lösemittel	Druckfarben		Künstlerfarben		Tinten	
	Einsatz	Emissionen	Einsatz	Emissionen	Einsatz	Emissionen
	[t]	[t]	[t]	[t]	[t]	[t]
Toluol	84.423	1.688				
Alkohole	27.002	540			1.596,5	32
Ester	5.541	111				
entaromatisierte Kohlenwasserstoffgemische	382	8	1.577	31		
Glykolderivate	1.708	34				
Ketone	382	8			1.596,5	32
<b>Summe</b>	119.438	2.389	1.577	31	3.193	64

### 5.8.6 Herstellung von Klebstoffen und Klebebändern

#### Charakterisierung und Abgrenzung der Quellgruppe

In dieser Quellgruppe wird die Produktion von Klebstoffen betrachtet, einschließlich der Kautschukklebstoffe, Gummilösungen und Klebebänder. Nach [VCI, 1997] wurden 1995 in 65% der Betriebe zur Herstellung von Klebebändern Lösemittel verwendet. In 15% der Betriebe wurden Dispersionen verwendet und in 20% der Betriebe wurden die Klebebänder mit Schmelzklebstoffen beschichtet.

#### Lösemittelverbrauchsmengen und Emissionen im Jahr 2000

Die in Deutschland 2000 produzierte Klebstoffmenge wird auf Grundlage der Produktionsstatistik [StaBuA, 2000a] in Tabelle 5.38 ermittelt. Nach Tabelle 5.38 wurden 2000 in Deutschland etwa 566.399 t Klebstoffe hergestellt. Auf Grundlage von Tabelle 5.13 auf Seite 52 wurden 2000 in Deutschland bei der Verwendung von 590.569 t Klebstoffen etwa 26.174 t Lösemittel eingesetzt. Indem das Verhältnis von Inlandsverbrauch zu Lösemittelleinsatz auf die Inlandsproduktionsmenge angewendet wird, ergibt sich für die Klebstoffproduktion ein Lösemittelleinsatz von etwa 25.103 t. Darauf werden etwa 5% Lösemittelleinsatz für innerbetriebliche Anwendungen aufgeschlagen. Damit wurden 2000 in Deutschland etwa 26.358 t Lösemittel in der Klebstoffproduktion eingesetzt. Da praktisch alle Klebstoffe produzierenden Betriebe von der 31. BImSchV [31. BImSchV, 2001] erfasst werden und die Vorgaben der 31. BImSchV [31. BImSchV, 2001] weitgehend schon erfüllen, wird entsprechend dieser Vorgaben ein Emissionsfaktor von etwa 2% angenommen. Somit wurden 2000 in Deutschland bei der Klebstoffproduktion etwa 527 t Lösemittel emittiert.

Tabelle 5.38 ist außerdem eine Produktionsmenge im Bezugsjahr 2000 von etwa 260.875 t Dispersionsklebstoffen zu entnehmen. Bei einem angenommenen Lösemittelgehalt von etwa 2% wurden etwa 5.218 t Lösemittel eingesetzt. Auf diese Einsatzmenge werden noch 5% für die innerbetriebliche Handhabung aufgeschlagen. Wenn ein Emissionsfaktor von etwa 2% angenommen wird, wurden 2000 bei der Herstellung von Dispersionsklebstoffen etwa 110 t Lösemittel emittiert.

Darüber hinaus werden in dieser Quellgruppe noch der Lösemittelleinsatz und die entsprechenden Lösemittellemissionen aus der Produktion von Klebebändern berechnet. Nach [VCI, 1997] wurden 1995 in 65% der Betriebe zur Herstellung von Klebebändern lösemittelbasierte Klebstoffsysteme verwendet. In 15% der Betriebe wurden Klebstoffdispersionen verwendet und in 20% der Betriebe wurden die Bänder mit Schmelzklebstoffen beschichtet. 1995 wurden in Deutschland nach Angaben des Industrieverbandes Klebstoffe e.V. (IVK) auf Basis verbandsinterner Erhebungen [VCI, 1997] etwa 15.560 t Lösemittel bei der Herstellung von Klebebändern eingesetzt. Für 2007 prognostiziert der IVK eine Lösemittelleinsatzmenge für die Klebebandproduktion von etwa 13.000 t. Mit Hilfe linearer Regression lässt sich daraus eine Lösemittelleinsatzmenge in der Klebebandproduktion in Deutschland für das Bezugsjahr 2000 von etwa 14.067 t ableiten. Da alle Anlagen zur Herstellung von Klebebändern von der 31. BImSchV [31. BImSchV, 2001] erfasst werden und die Vorgaben der 31. BImSchV [31. BImSchV, 2001] weitgehend schon erfüllen, wird ein Emissionsfaktor von etwa 2% angenommen. Damit wurden 2000 in Deutschland bei der Produktion von Klebebändern etwa 281 t Lösemittel emittiert. Insgesamt wurden 2000 in Deutschland bei der Herstellung von Klebstoffen und Klebebändern etwa 918 t emittiert.

**Tabelle 5.38:** Produktionsmengen an Klebstoffen in Deutschland 2000 auf Grundlage von [StaBuA, 2000a]

Produktkategorie	Produktionsmenge 2000 [t]
Caseinleime in allen Verpackungsgrößen	10.000 <sup>1</sup>
Andere Leime tierischen Ursprungs in allen Verpackungsgrößen (z. B. Knochenleim, Hausenblase)	8.000 <sup>1</sup>
Leime auf der Grundlage von Stärken, Dextrinen oder anderen modifizierten Stärken	19.080
Pflanzliche Klebstoffe	2.800 <sup>1</sup>
Synthetische Klebstoffe, wasserlöslich in wässriger Emulsion oder Dispersion	85.246
Synthetische Klebstoffe in organischen Lösemitteln	14.010
Andere synthetische Klebstoffe	4.400 <sup>1</sup>
Schmelzklebstoffe	2.000 <sup>1</sup>
Andere Klebstoffe	7.590
Schmelzklebstoffe auf der Grundlage von Kautschuk, Kunststoffen oder Kunstharzen	78.951
Kautschukleime	3.807
Synthetische Klebstoffe auf der Grundlage von Kautschuk, Kunststoffen oder Kunstharzen, wasserlöslich in wässriger Emulsion oder Dispersion	175.034
Synthetische Klebstoffe auf der Grundlage von Kautschuk, Kunststoffen oder Kunstharzen in organischen Lösemitteln	35.596
Andere synthetische Klebstoffe auf der Grundlage von Kautschuk, Kunststoffen oder Kunstharzen	34.322
Andere zubereitete Leime und Klebstoffe	84.968
Kautschuklösungen, Dispersionen ohne Zusatz von Ruß oder Siliciumdioxid	595
Summe	566.399

<sup>1</sup> Auf Grundlage von [Van Halteren, 2003] abgeschätzte Produktionsmengen, da es sich um statistische Geheimhaltungsfälle handelt.

### Stoffliche Zusammensetzung der Emissionen

Die stoffliche Disaggregation der Emissionen aus der Klebstoff- und Klebebandherstellung wird auf Grundlage von Tabelle 5.14 auf Seite 53 vorgenommen. Das Ergebnis ist in Tabelle 5.39 dargestellt. Es wird für die Klebstoffproduktion und die Klebebandherstellung jeweils die gleiche stoffliche Auflösung angenommen.

Nach Tabelle 5.39 werden bei der Klebstoff- und Klebebandherstellung zu etwa zwei Dritteln sauerstoffhaltige Lösemittel, das heißt, Alkohole, Ketone und Ester eingesetzt und emittiert. Bei etwa 20% der Einsatz- bzw. Emissionsmengen handelt es sich um aliphatische Kohlenwasserstoffgemische. Ungefähr 9% der Einsatz- und Emissionsmengen sind Toluole und Xylole. Bei den restlichen 4% handelt es sich um Chlorkohlenwasserstoffe.

**Tabelle 5.39:** Disaggregation der bei der Herstellung von Klebstoffen und Klebebändern eingesetzten und emittierten Lösemittel nach Stoffklassen [Van Halteren, 2003]

Stoffklasse	Prozentualer Anteil [%]	Einsatzmenge [t]	Emissionsmenge [t]
Aromaten	9	4.131	83
Aliphaten	20	9.181	184
Ester, Ketone	59	27.083	541
Alkohole	8	3.672	73
Chlorkohlenwasserstoffe	4	1.836	37
Summe	100	45.903	918

### 5.8.7 Herstellung von sonstigen lösemittelhaltigen Produkten

#### Charakterisierung und Abgrenzung der Quellgruppe

In dieser Quellgruppe wird zusammengefasst die Herstellung von weiteren lösemittelhaltigen Produktgruppen betrachtet, deren Anwendung bereits in dieser Arbeit berücksichtigt wurde. Dabei handelt es um folgende Herstellungsprozesse:

- Herstellung von lösemittelhaltigen Konsumgütern,
- Herstellung von Oberflächenreinigungsmitteln,
- Herstellung von Frostschutz- und Enteisungsmitteln,
- Herstellung von Be- und Entwachungsmitteln,
- Herstellung von Abbeizmitteln.

#### Lösemittelverbrauchsmengen und Emissionen im Jahr 2000

Bei der Berechnung der Lösemittlemissionen aus den oben genannten Herstellungsprozessen wird mangels weitergehender Informationen von ähnlichen Annahmen wie bei den bisher betrachteten Herstellungsprozessen lösemittelhaltiger Produkte ausgegangen. Es wird jeweils der Inlandsverbrauch an Lösemitteln bei der Anwendung dieser Produkte mit dem aus Produktions- und Außenhandelsstatistik [StaBuA, 2000a], [StaBuA, 2000b] berechenbaren Verhältnis der Inlandproduktionsmenge zum Inlandsverbrauch der betreffenden lösemittelhaltigen Produkte multipliziert. Auf die sich aus dieser Berechnung ergebende Lösemittelsatzmenge werden 5% für innerbetriebliche Handhabungsprozesse aufgeschlagen. Es wird ein Emissionsfaktor von 3% angenommen und somit ergeben sich die bei den jeweiligen Herstellungsprozessen verursachten Lösemittlemissionen. Das Ergebnis der Berechnungen für die betrachteten Herstellungsprozesse lösemittelhaltiger Produkte ist in Tabelle 5.40 zusammengefasst dargestellt. Tabelle 5.40 ist zu entnehmen, dass 2000 in Deutschland etwa 299.951 t Lösemittel bei Herstellung der betrachteten lösemittelhaltigen Produkte eingesetzt wurden und etwa 8.998 t emittiert wurden.

**Tabelle 5.40:** Berechnung der Lösemittleinsatz- und emissionsmengen bei der Herstellung sonstiger lösemittelhaltiger Produkte

Produktgruppe	Lösemittel- inlandseinsatz	Verhältnis von Produktion zu Inlandsverbrauch	Lösemittleinsatz bei der Produktion	Aufschlag für innerbetriebliche Handhabung	Lösemittleinsatz (Summe)	Emissionsfaktor	Emissionsmenge
	[t]	[%]	[t]	[%]	[t]	[%]	[t]
Lösemittelhaltige Konsumgüter	122.721	<b>107,50</b>	131.967	<b>5</b>	138.562	<b>3</b>	4.157
Oberflächenreinigungsmittel	50.680	<b>101,36</b>	51.370	<b>5</b>	53.938	<b>3</b>	1.618
Frostschutz- und Enteisungsmittel	68.131	<b>121,91</b>	83.058	<b>5</b>	87.211	<b>3</b>	2.616
Be- und Entwachungsmittel			5.914	<b>5</b>	6.210	<b>3</b>	186
Abbeizmittel	11.922	<b>111,53</b>	13.297	<b>5</b>	13.961	<b>3</b>	419
Summe	253.454		285.672		299.951		8.996

### Stoffliche Zusammensetzung der Emissionen

Die stoffliche Disaggregation der Emissionen aus den betrachteten Herstellungsprozessen wird auf Grundlage der beim Einsatz der jeweiligen lösemittelhaltigen Produktgruppen verwendeten Lösemittel vorgenommen. Das Ergebnis ist in Tabelle 5.41 dargestellt.

Über die Hälfte der bei der Herstellung der betrachteten Produktgruppen emittierten Lösemittel sind Alkohole, hauptsächlich Ethanol und Isopropanol. Bei den restlichen Emissionen handelt es sich stofflich betrachtet um Kohlenwasserstoffe, Glykolderivate, halogenierte Kohlenwasserstoffe, Ether, Ester, Aldehyde, Ketone, Carbonsäuren, Amine und Amide. Weniger als 0,02% der Emissionen können in dieser Quellgruppe nicht stofflich zugeordnet werden.

**Tabelle 5.41:** Stoffliche Auflösung der Lösemittlemissionen aus der Herstellung lösemittelhaltiger Produkte

	Lösemittelhaltige Konsumgüter	Oberflächen- reinigungsmittel	Frostschutz- und Enteisungsmittel	Be- und Ent- wachsungsmittel	Abbeizmittel	Summe
	[t]	[t]	[t]	[t]	[t]	[t]
Aliphaten	6	128		174		308
Aromaten		1				1
Spezialbenzin	51	351				402
Testbenzin	51	201		12		264
Propan	72					72
n-Butan	598					598
n-Pentan	60					60
Cyclohexan		34				34
Terpene	5					5
Xylole		44				44
Alkohole	5	252	2 066		43	2.366
Ethanol	1.391	48				1.439
Isopropanol	1.052	184				1 236
Ethylenglykol					203	203
Propylenglykol					43	43
Glykolmonomethylether		6				6
Ethylenglykolderivate	224	42	550			816
Ether	544					544
Aldehyde	3					3
Aceton	67	87				154
Ketone		25				25
Ester	5	166				171
CKW	5					5
Carbonsäuren	11					11
Amine und Amide	5	49			130	184
unspezifizierte NMVOC	2					2
Summe	4.157	1.618	2.616	186	419	8.996

## 5.9 Sonstige Anwendung von lösemittelhaltigen Produkten

Hier werden die Einsatz- und Emissionsmengen aus den Folgenden bisher noch nicht erfassten Anwendungsbereichen von Lösemitteln und lösemittelhaltigen Produkten betrachtet:

- Chemische Reinigung
- Extraktion von Ölen und Fetten
- Herstellung von Filmen und Photographien
- Herstellung von Magnetbändern
- Verwendung von Pflanzenschutzmitteln
- Hochschulen
- Wissenschaftliche Einrichtungen

### 5.9.1 Chemische Reinigung

#### Charakterisierung und Abgrenzung der Quellgruppe

In dieser Quellgruppe wird der Einsatz von Lösemitteln in der Textilreinigung, die auch „Chemische Reinigung“ genannt wird, betrachtet. Sie umfasst alle industriellen und gewerblichen Tätigkeiten, bei denen flüchtige organische Verbindungen in Anlagen zur Reinigung von Kleidung, Heimtextilien und ähnlichen Verbrauchsgütern verwendet werden, mit Ausnahme der manuellen Entfernung von Flecken in der Textil- und Bekleidungsindustrie. Es werden alle Reinigungsvorgänge erfasst, bei denen nichtwässrige Lösemittel eingesetzt werden. Die chemische Reinigung ist zu unterscheiden von der Wäscherei, in der mit wässrigen Systemen in Waschstraßen gereinigt wird. Es gibt in der Branche mehr Betriebsstätten als Maschinen, da in der Branche zwischen "heißen", "lauwarmen" und "kalten" Betrieben unterschieden wird [DTV, 1998]. Diese sind folgendermaßen definiert:

- Kalter Betrieb: Es wird nur Ware angenommen.
- Lauwarmer Betrieb: Es wird nur gebügelt.
- Heißer Betrieb: Es wird in diesem Betrieb gereinigt und gebügelt.

#### Lösemittelverbrauchsmengen und Emissionen im Jahr 2000

Zur Textilreinigung mit nichtwässrigen Systemen werden zum einen Perchlorethylen und zum anderen Kohlenwasserstofflösemittel (KWL) eingesetzt. Perchlorethylen ist aufgrund der Umsetzung der 2. BImSchV [2. BImSchV, 2001] der einzige Chlorkohlenwasserstoff, der in der Textilreinigung noch eingesetzt werden darf. Wie aus Tabelle 5.21 auf Seite 57 hervorgeht, wurden 2000 in Deutschland in der Textilreinigung 1.404 t Perchlorethylen als Frischware eingesetzt. Unter Annahme eines Emissionsfaktors von 95% in Bezug auf den Frischwareneinsatz ergibt sich eine Emissionsmenge in Deutschland 2000 von etwa 1.334 t. Der Emissionsfaktor basiert auf der Annahme, dass die Frischwareneinsatzmenge nahezu dem Verlust an Perchlorethylen entspricht. Diese Annahme kann durch den Umstand eingeschränkt sein, dass Recyclingware exportiert wird und nicht wieder in den nationalen Perchlorethylenkreislauf eingespeist wird. Dabei ist davon auszugehen, dass dieser Export ins europäische Ausland stattfindet.

det. Aufgrund fehlender gesetzlicher Vorgaben findet die Anwendung dort häufig noch in offenen oder halboffenen Anwendungen statt, ohne interne Redestillation, so dass die exportierte Recyclingware dort vollständig emittiert wird.

Nach Angaben von [DTV, 2002] wurden 2000 etwa 195.320 t Textilien gereinigt. Etwa 24,2% dieser Menge wurden mittels KWL-Maschinen gereinigt [Knofe, 2002]. Bezüglich des Einsatzes an Kohlenwasserstofflösemitteln (KWL) gibt [Knofe, 2002] für 2000 einen Lösemittelninsatz von 101 g pro kg gereinigte Ware an. Daraus ergibt sich für 2000 eine Einsatzmenge von etwa 3.571 t KWL-Lösemitteln. Es wird auf Basis von [Knofe, 2002] ein spezifischer Emissionsfaktor von etwa 2 kg Lösemittel je Tonne gereinigter und getrockneter Ware angenommen. Damit wurden 2000 in Deutschland aus der KWL-Reinigung etwa 95 t Lösemittel und insgesamt bei der Chemischen Reinigung etwa 1.429 t Lösemittel emittiert. Es ist bemerkenswert, dass der von [Knofe, 2002] angegebene Emissionsfaktor im Bezugsjahr 2000 schon um den Faktor 10 unter den Vorgaben der 31. BImSchV [31. BImSchV, 2001] gelegen hat.

### **Stoffliche Zusammensetzung der Emissionen**

Die Emissionen aus der Chemischen Reinigung setzen sich für das Bezugsjahr 2000 aus etwa 1.334 t Perchlorethylen und etwa 945 t Kohlenwasserstofflösemitteln zusammen. Bei den KWL-Lösemitteln handelt es sich in erster Linie um C10-C12-Isoparaffine sowie Naphthenische Kohlenwasserstoffe [Hohenstein, 1996].

## **5.9.2 Extraktion von Ölen und Fetten**

### **Charakterisierung und Abgrenzung der Quellgruppe**

In dieser Quellgruppe werden alle Aktivitäten betrachtet, bei denen genießbare Öle und Fette mittels Lösemittlextraktion aus Ölsaamen gewonnen werden. Darüber hinaus wird auch die Trocknung von übriggebliebenen Samen vor ihrer Verwendung als Tierfutter berücksichtigt. Die Extraktion von Ölen aus Samen wird entweder mechanisch oder mittels Lösemittlextraktion durchgeführt. Die verwendeten Lösemittel werden im Allgemeinen zurückgewonnen und für die Wiederverwendung gereinigt. Nachdem die Extraktion abgeschlossen ist, wird der Rückstand getrocknet und als Tierfutter verwendet. Wenn der Ölgehalt der Samen hoch ist (z. B. Olivensamen), so wird das Öl meist mechanisch herausgepresst. Die Methode der Lösemittlextraktion wird zum einen für Samen mit geringeren Ölgehalten und zum anderen zum Extrahieren des Restölgehaltes aus bereits mechanisch gepressten Samen verwendet. Anlagen zum Extrahieren pflanzlicher Fette und Öle, die mindestens 1 t/a Extraktionsmittel einsetzen, sind entsprechend des Anhangs der 4. BImSchV (Ziffer 7.23) [4. BImSchV, 1999] genehmigungsbedürftig.

### **Lösemittelverbrauchsmengen und Emissionen im Jahr 2000**

Grundlage der Ermittlung der zur Extraktion eingesetzten und emittierten Menge Lösemittel sind die verarbeiteten Mengen an Ölsaaten, Ölsorten sowie Ölschroten und -kuchen. Auf Grundlage der Produktionsstatistik sowie verbandsinterner Erhebungen des Verbandes deutscher Ölmühlen e.V [Ölmühlen, 2004] betrug die verarbeitete Menge an Ölsaaten 8.759 kt, die produzierte Ölmenge etwa 2.828 kt und die anfallende Menge Extraktionsschrote und -kuchen etwa 5.839 kt. In Tabelle 5.42 werden diese Mengen auf die einzelnen Ölsaatenarten verteilt.

**Tabelle 5.42:** Anteil der einzelnen Ölsaatsorten an der 2000 insgesamt in Deutschland verarbeiteten Menge [Ölmühlen, 2004]

Ölsaatsorte	Verarbeitete Menge Ölsaat	Ölsorte	Produzierte Menge Öl	Ölschrotsorte bzw. Ökuchensorte	Produzierte Menge Ölschrot bzw. -kuchen
	[t]		[t]		[t]
Sojabohnen	4.214.000	<b>Sojaöl</b>	698.000	<b>Sojaschrot</b>	2.964.000
Raps	3.854.000	<b>Rapsöl</b>	1.832.000	<b>Rapsschrot</b>	2.496.000
Sonnenblumenkerne	342.000	<b>Sonnenblumenöl</b>	151.000	<b>Sonnenblumen-schrot</b>	186.000
Andere (Kopra, Leinsamen, Rizinusbohnen)	349.000	<b>Andere (Kokos-, Lein- und Rizinusöl)</b>	147.000	<b>Andere</b>	193.000
<b>Summe</b>	8.759.000		2.828.000		5.839.000

Die bei der Ölextraktion verursachten Lösemittlemissionen wurden in der Vergangenheit auf Grundlage verschiedener Literaturangaben ermittelt [Theloke et al., 2000]. Die Berechnungsmethode beruhte auf den Angaben aus [BUWAL, 1995]. In [BUWAL, 1995] wird aus drei unterschiedlichen Literaturquellen ein gemittelter Emissionsfaktor angegeben. Danach ist in [Passant, 1993] ein Emissionsfaktor von 0,85 kg/t Öl für die Extraktion von Öl und von 1,31 kg/t Schrot für die Extraktion von Extraktionsschrot zu finden. In [Passant, 1993] wird zusätzlich angenommen, dass das Ölsaatgut einen mittleren Ölanteil von etwa 30% und einen Schrotanteil von etwa 70% hat. Daraus lässt sich bezogen auf das Ölsaatgut, ein gemittelter Emissionsfaktor von etwa 1,17 kg/t Ölsaat und bezogen auf das extrahierte Öl, einschließlich der Emission aufgrund der Extraktion des Schrotes, ein mittlerer Emissionsfaktor von etwa 3,9 kg/t Öl berechnen. Nach [VDI 2592] beträgt der Emissionsfaktor 1,5 kg/t Ölsaat bezogen auf die Menge extrahierten Ölsaatgutes und 5 kg/t Öl bezogen auf das gewonnene Öl. Die Literaturquelle [VOC, 1990] gibt einen Emissionsfaktor von 2,8 kg/t Öl an. Wenn die Emissionsfaktoren der zitierten Literaturquellen gemittelt werden, ergeben sich folgende Emissionsfaktoren:

- 2,88 kg/t Öl,
- 1,34 kg/t Ölsaat,
- 1,31 kg/t Extraktionsschrot.

Die durch Anwendung dieser Emissionsfaktoren ermittelten Emissionen sind in Tabelle 5.43 dargestellt.

**Tabelle 5.43:** Ermittlung der Emissionen aus der Extraktion von Pflanzenölen

Bezugsgröße	Produktionsmenge [t]	Emissionsfaktor [kg/t]	Emissionsmenge [t]
Ölmenge	2.828.000	2,88	8.145
Ölsaatenmenge	8.759.000	1,34	11.737
Extraktionsschrotmenge	5.839.000	1,31	7.649

Der Mittelwert der in Tabelle 5.43 mit Hilfe unterschiedlicher Bezugsgrößen berechneten Emissionen beträgt etwa 9.177 t. Nach Angaben von [Groß, 2003] wurden 2000 etwa 0,72 kg Lösemittel pro Tonne verarbeitete Saatmenge emittiert. Dieser aktuelle Emissionsfaktor ist um etwa 46% niedriger als der in Tabelle 5.43 auf Grundlage von [BUWAL, 1995] angenommene Emissionsfaktor. Unter Berücksichtigung dieses aktuelleren Emissionsfaktors wurden 2000 in Deutschland etwa 6.306 t Lösemittel bei der Extraktion von Ölen und Fetten emittiert. Bezüglich der Menge der für die Extraktion eingesetzten Lösemittel liegen keine Informationen vor.

### Stoffliche Zusammensetzung der Emissionen

Als Lösemittel wird fast ausschließlich n-Hexan verwendet. Bei der Fabrikation tierischer Fette und Öle werden keine Lösemittel verwendet [BUWAL, 1995]. In geringen Mengen werden auch noch Aldehyde und Fettsäuren emittiert, die bei der Behandlung mit n-Hexan-Dampf entstehen [EEA, 1996].

### 5.9.3 Herstellung von Filmen und Photographien

#### Charakterisierung und Abgrenzung der Quellgruppe

In dieser Quellgruppe wird die Herstellung von Fotomaterialien und Filmen sowie die Produktion und Verwendung von Fotochemikalien für die fotografische Filmentwicklung betrachtet. Die Herstellung von Fotomaterialien und Filmen findet in Deutschland nur bei einem großen Hersteller statt. Die Herstellung der handelsüblichen Verarbeitungskonzentrate erfolgt durch Lösen dieser Konzentrate in Wasser unter gleichzeitiger Zugabe anderer anorganischer Chemikalien. Dabei entstehen praktisch kaum Lösemittlemissionen. Bei der Entwicklung fotografischer Materialien entstehen ebenfalls nur geringfügige Emissionen, da mit stark verdünnten Lösungen gearbeitet wird. Dies ergaben Messungen, die die Einhaltung des MAK-Wertes (MAK = Maximale Arbeitsplatzkonzentration) überprüften [Theloke et al., 2000].

#### Lösemittelverbrauchsmengen und Emissionen im Jahr 2000

Auf Grundlage von Informationen des einzigen Herstellers über die Menge 1994 verwendeter Lösemittel und das Emissionsverhalten wurden die Emissionen für das Bezugsjahr 1994 abgeschätzt. Mit Hilfe des Produktionsindex für „sonstige chemische Erzeugnisse“, der „Chemiewirtschaft in Zahlen“ zu entnehmen ist, und nach Angaben des Verbandes der Chemischen Industrie e.V. [VCI, 2003] von 1994 bis 2000 um etwa 131,58% anstieg, kann die Einsatz- und Emissionsmenge für 2000 in Deutschland abgeschätzt werden.

Nach Angaben des Produzenten [Kosfeld, 1998] wurden 1994 etwa 455 t NMVOC eingesetzt. Die für die Entwicklung fotografischer Materialien aus den käuflich erhältlichen Produkten

durch Verdünnen mit Wasser hergestellten gebrauchsfertigen Lösungen enthalten in der Regel noch etwa:

- 1% Benzylalkohol,
- 2% Essigsäure,
- 2% Ethylenglykol,
- 0,1% Formaldehyd.

Nach Angaben des Produzenten sind Lösemittlemissionen aus diesen stark verdünnten wässrigen Lösungen vernachlässigbar. Dies wurde durch Messungen überprüft, die die Einhaltung des MAK-Wertes zum Ziel hatten. Wenn nach diesen Angaben ein Emissionsfaktor von etwa 3% angenommen wird, bezogen auf die Lösemittleinsatzmenge, so wurden 1994 bei der Herstellung von Fotochemikalien und der Entwicklung von Filmen und Photographien etwa 455 t NMVOC eingesetzt und etwa 14 t davon emittiert. Also wurden 2000 in Deutschland bei der Herstellung von Fotomaterialien und Filmen sowie der Produktion und Verwendung von Fotochemikalien für die fotografische Filmentwicklung etwa 599 t eingesetzt und 18 t Lösemittel emittiert.

### **Stoffliche Zusammensetzung der Emissionen**

Nach Angaben des Produzenten [Kosfeld, 1998] setzen sich die bei der Herstellung von Fotomaterialien und Filmen sowie der Produktion und Verwendung von Fotochemikalien für die fotografische Filmentwicklung eingesetzten NMVOC wie folgt zusammen:

- Benzylalkohol: 13,2% (79 t)
- Essigsäure: 54,9% (329 t)
- Ethylenglykol: 30,8% (184 t)
- Formaldehyd: 1,1% (7 t)

Es wird angenommen, dass die Zusammensetzung der eingesetzten NMVOC der stofflichen Auflösung der Emissionen entspricht.

## **5.9.4 Herstellung von Magnetbändern**

### **Charakterisierung und Abgrenzung der Quellgruppe**

In dieser Quellgruppe wird die Herstellung von Magnetbändern betrachtet. Magnetbänder werden in Deutschland nur von einem großen Hersteller in zwei Produktionsbetrieben hergestellt.

### **Lösemittelverbrauchsmengen und Emissionen im Jahr 2000**

Nach Angaben des Herstellers [Huber, 1998] wurden 1994 zur Herstellung von Magnetbändern in zwei Produktionsbetrieben etwa 20.172 t Lösemittel eingesetzt. Aufgrund der Lösemittelbilanz des Produzenten wurden hiervon etwa 179 t diffus während des Produktionsprozesses emittiert. Hierzu muss noch der in den Produkten enthaltene Restlösemittelgehalt, der über län-

gere Zeiträume außerhalb des Werkes emittiert wird, gerechnet werden. Dieser betrug 1994 etwa 20 t. Im- bzw. Exportmengen sind hierbei vernachlässigbar [Huber, 1998]. Die eingesetzten Lösemittel werden mittels Adsorberanlagen zurückgewonnen, destillativ aufgearbeitet und wieder dem Produktionskreislauf zugeführt.

Um die Lösemittelsatz- und Emissionsmenge aus der Herstellung von Magnetbändern in Deutschland für das Bezugsjahr 2000 zu ermitteln, werden die Einsatz- und Emissionsmengen mittels des Produktionsindex für „sonstige chemische Erzeugnisse“ von 1994 auf 2000 hochgerechnet, der nach Angaben des Verbandes der Chemischen Industrie e.V. [VCI, 2003] von 1994 bis 2000 um etwa 131,58% anstieg. Damit wurden 2000 in Deutschland bei der Herstellung von Magnetbändern etwa 26.542 t Lösemittel eingesetzt und etwa 262 t emittiert.

### **Stoffliche Zusammensetzung der Emissionen**

Zur Aufbringung des Pigmentgemisches wird ein Gemisch von Dioxan, Tetrahydrofuran und Cyclohexanon verwendet. Es wurden 2000 in Deutschland bei der Herstellung von Magnetbändern etwa 4.069 t Dioxan, 19.215 t Tetrahydrofuran und 3.258 t Cyclohexanon eingesetzt. Dementsprechend wurden 2000 etwa 40 t Dioxan, 190 t Tetrahydrofuran und 32 t Cyclohexanon bei der Herstellung von Magnetbändern emittiert.

### **5.9.5 Verwendung von Pflanzenschutzmitteln**

#### **Charakterisierung und Abgrenzung der Quellgruppe**

Diese Quellgruppe betrachtet die Verwendung von Lösemitteln bei der Anwendung von Pflanzenschutzmitteln. Unter Pflanzenschutzmitteln wird ein vielfältiges Wirkstoffgemisch verstanden, welches zum Teil in organischen Lösemitteln gelöst ist. Die Emission flüchtiger organischer Verbindungen aufgrund des Verdampfens der eingesetzten Wirkstoffe wird in dieser Quellgruppe nicht betrachtet.

#### **Lösemittelverbrauchsmengen und Emissionen im Jahr 2000**

Die Lösemittelverbrauchsmengen und damit auch die entsprechenden Emissionsmengen sind auf Grundlage der Produktions- und Außenhandelsstatistik nicht bestimmbar, da die Produktionsstatistik aufgrund einer sehr begrenzten Anzahl an Produzenten eine Vielzahl von Geheimhaltungsfällen enthält. Daher wird die Wirkstoffmenge an organischen Pflanzenschutzmitteln der Wirkstoffstatistik der Biologischen Bundesanstalt (BBA) entnommen. Die BBA erhebt die in Deutschland jährlich eingesetzten Wirkstoffmengen auf Grundlage der Meldungen für Pflanzenschutzmittel und Wirkstoffe nach § 19 des Pflanzenschutzgesetzes [Pflanzenschutz, 1998]. Danach wurden im Bezugsjahr 2000 in Deutschland etwa 35.595 t Wirkstoffe eingesetzt [Schmidt, 2003]. Nach Angaben von [Nolting, 1997] und [BBA, 1997] wurden im Bezugsjahr 1993 zum Ausbringen von 28.930 t Pflanzenschutzmittelwirkstoffen etwa 3.030 t Lösemittel verwendet. Dieses Verhältnis auf das Bezugsjahr 2000 übertragen ergibt eine Lösemittelsatzmenge von etwa 3.728 t. Es wird ein weitgehend offener Einsatz der Pflanzenschutzmittel angenommen und damit ein Emissionsfaktor von etwa 95%. Damit wurden 2000 in Deutschland beim Einsatz von Lösemitteln zum Ausbringen von Pflanzenschutzmitteln etwa 3.542 t Lösemittel emittiert.

### Stoffliche Zusammensetzung der Emissionen

Nach Angaben von [BBA, 1997] teilen sich diese Lösemittel wie in Tabelle 5.44 gezeigt auf. Die Daten sind einer einmaligen Erhebung für das Bezugsjahr 1993 entnommen [BBA, 1997].

**Tabelle 5.44:** Stoffliche Disaggregation der beim Einsatz von Pflanzenschutzmitteln verwendeten Lösemittel im Bezugsjahr 2000 auf Grundlage einer Erhebung für das Bezugsjahr 1993 [BBA, 1997]

Stoffbezeichnung	Substanzmenge [t]	Anteil [%]
Paraffinische Kohlenwasserstoffe	2,3	0,065
Naphthenische Kohlenwasserstoffe	2,3	0,065
Aromatische Kohlenwasserstoffe	17,5	0,494
Xylole	175,4	4,952
Alkylbenzole	1.859,4	52,495
Naphthalin	31,6	0,892
Inden	24,5	0,692
Chlorbenzol	37,4	1,055
Chlorhexanon	23,4	0,661
Isobutanol	30,4	0,858
Ethylenglykol	79,6	2,247
n-Butanol	38,6	1,090
Methanol	0,1	0,003
1,2-Propylenglykol	314,6	8,882
1-Tridecanol	1,8	0,051
N-(n-Oktyl)-2-Pyrrolidon	70,1	1,979
N-Methyl-2-Pyrrolidon	186,0	5,251
Dibutyladipat	11,7	0,331
Glycerin	115,7	3,267
N,N-Dimethyloctansäureamid	98,2	2,772
N,N-Dimethyldecansäureamid	122,8	3,467
Diacetonalkohol (4-Hydroxy-4-methyl-2-Pentanon)	4,2	0,119
Dimethylamin	5,5	0,155
Acetophenon	214,0	6,042
Diethylenglykol	50,3	1,421
N,N-Dimethylhexansäureamid	12,3	0,347
N,N-Dimethyldodecansäureamid	12,3	0,347
Summe	3.542	100,000

### **5.9.6 Hochschulen**

#### **Charakterisierung und Abgrenzung der Quellgruppe**

In dieser Quellgruppe werden die Lösemittleinsatzmengen und die entsprechenden Emissionen in Hochschuleinrichtungen betrachtet.

#### **Lösemittelverbrauchsmengen und Emissionen im Jahr 2000**

Es wurden 1988 in Hochschuleinrichtungen auf Grundlage einer Erhebung an den Baden-Württembergischen Universitäten und Fachhochschulen in diesem Bundesland etwa 31 t Lösemittel emittiert [LBA, 1993]. Dies entspricht einer Menge von 0,21 kg / eingeschriebener Student. Die Streuung der Ergebnisse der Erhebung betrug 0,08 bis 0,4 kg / Student. Die größten Verbraucher und Emittenten sind die Universitäten. Häufig werden organische Lösemittel von jedem Institut gesondert gekauft. Dadurch ist eine detaillierte Ermittlung von Verbrauch und Emission mit sehr hohen Unsicherheiten behaftet. Die Universitäten und Fachhochschulen veranschlagten die Emissionsmenge mit 10% bezogen auf die Einsatzmenge Lösemittel. Das heißt, es wurden 1988 an Baden-Württembergischen Universitäten und Fachhochschulen etwa 310 t Lösemittel eingesetzt. Im Wintersemester 1999/2000 waren etwa 1.141.681 Studenten [Jahrbuch, 2002] an bundesdeutschen Universitäten eingeschrieben, im Wintersemester 2000/2001 waren 1.154.054 Studenten eingeschrieben [Jahrbuch, 2002]. Der Mittelwert und damit die angenommene Studentenzahl für 2000 beträgt etwa 1.147.868 Studenten. Damit ergeben sich Lösemittelmmissionen von etwa 241 t für das Bezugsjahr 2000 aus Hochschuleinrichtungen in Deutschland.

#### **Stoffliche Zusammensetzung der Emissionen**

Aceton und Alkohole bilden zusammen den weitaus größten Teil der emittierten Stoffe. Der Anteil an Aromaten bzw. chlorierten Kohlenwasserstoffen beträgt weniger als 10% der emittierten Lösemittelmenge.

### **5.9.7 Wissenschaftliche Einrichtungen**

#### **Charakterisierung und Abgrenzung der Quellgruppe**

In dieser Quellgruppe werden alle wissenschaftlichen Laboratorien mitberücksichtigt, die der Forschung und Entwicklung sowie der Prüfung dienen, jedoch keine Laboratorien, die sich in Hochschuleinrichtungen befinden.

#### **Lösemittelverbrauchsmengen und Emissionen im Jahr 2000**

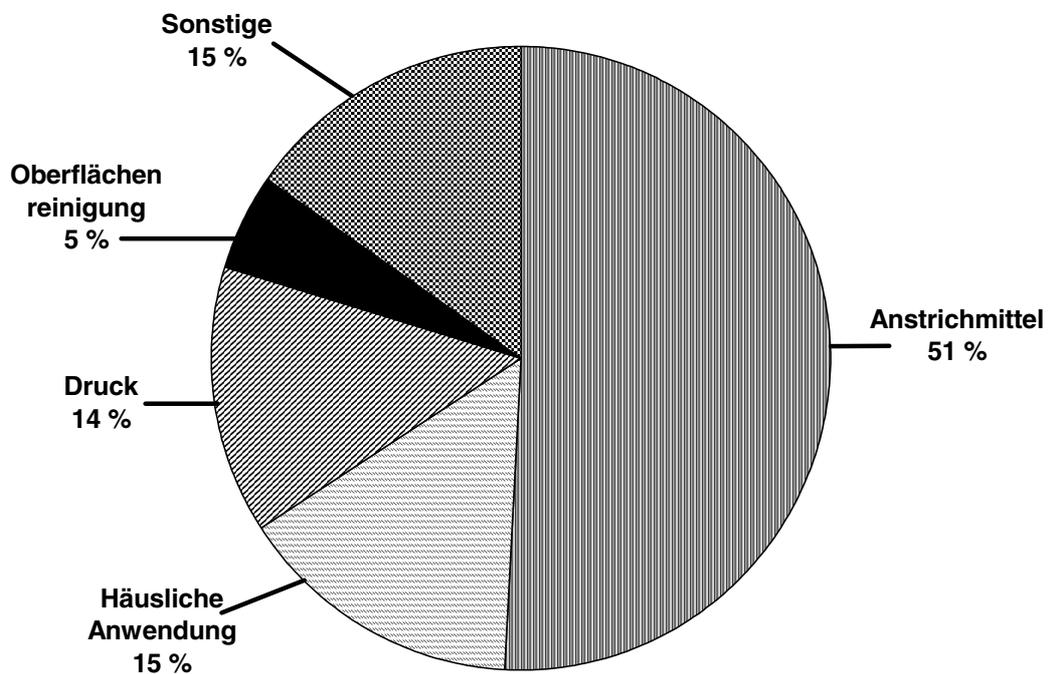
Nach [BUWAL, 1995] werden pro Beschäftigtem 5 kg Lösemittel emittiert. Im Bezugsjahr 2000 waren in Deutschland in Unternehmen und Instituten für Gemeinschaftsforschung und experimentelle Entwicklung 312.940 Personen als Forschungspersonal beschäftigt [Jahrbuch, 2002]. Damit wurden in wissenschaftlichen Einrichtungen 2000 in Deutschland etwa 1.565 t Lösemittel emittiert.

## Stoffliche Zusammensetzung der Emissionen

Es wird die gleiche stoffliche Auflösung der Emissionen angenommen, wie sie für Universitäten und Fachhochschulen ermittelt wurde. Das heißt, Aceton und Alkohole bilden zusammen den weitaus größten Teil der emittierten Stoffe. Der Anteil an Aromaten bzw. chlorierten Kohlenwasserstoffen beträgt weniger als 10% der emittierten Lösemittelmenge.

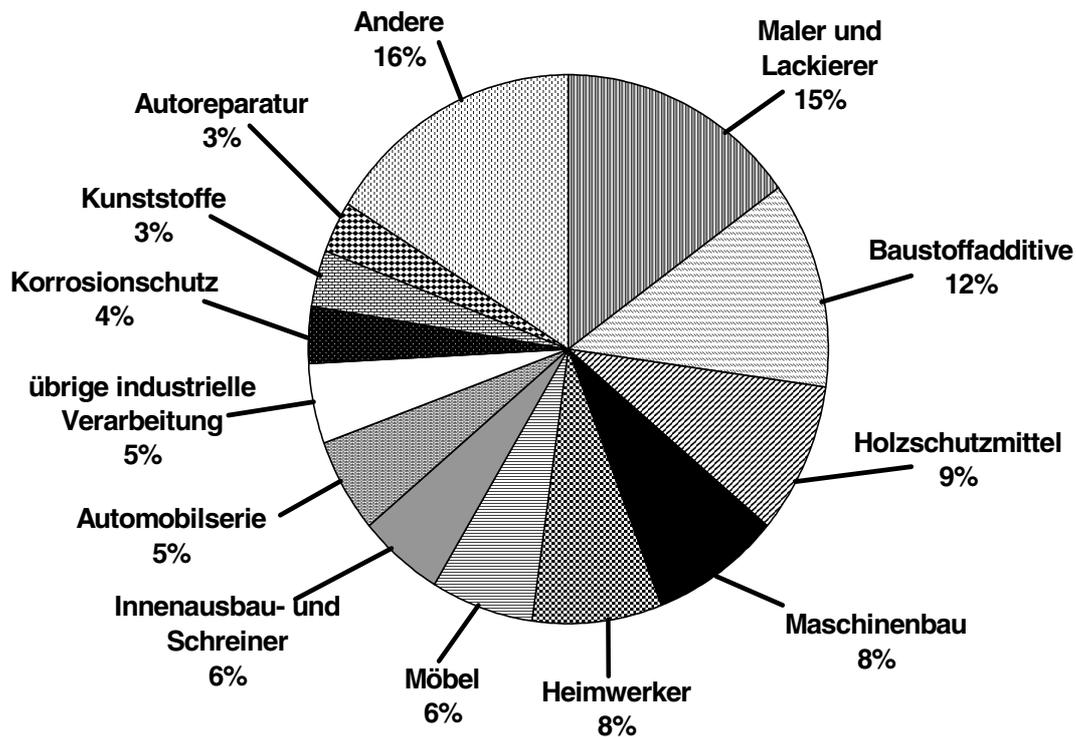
### 5.10 Zusammenfassende Betrachtung aller Quellgruppen

Die Ergebnisse der Emissionsberechnungen sind im Detail Tabelle A.1 auf Seite 181 des Anhangs zu entnehmen. Es wurden im Bezugsjahr 2000 in Deutschland etwa 725 kt NMVOC bei der Anwendung von Lösemitteln und lösemittelhaltigen Erzeugnissen emittiert. Im Folgenden werden zusammenfassend die einzelnen Quellgruppen näher betrachtet und jeweils in möglichst hoher sektoraler Auflösung grafisch dargestellt. Bild 5-11 zeigt die Verteilung der gesamten in dieser Arbeit ermittelten Lösemittlemissionen auf die verschiedenen Quellgruppen. Es ist Bild 5-11 zu entnehmen, dass ungefähr zwei Drittel, das heißt etwa 478 kt der Lösemittlemissionen den Quellgruppen "Anwendung von Anstrichmitteln" sowie "Häusliche Verwendung von Lösemitteln" entstammen. Die restlichen Lösemittlemissionen werden durch Druckanwendungen, Oberflächenreinigungsprozesse sowie eine Vielzahl verschiedener kleinerer Quellgruppen verursacht.



**Bild 5-11:** NMVOC-Emissionen aus allen Lösemittelanwendungen in Deutschland im Jahr 2000 (insgesamt 725 kt)

Ungefähr 50% der Lösemittlemissionen, das heißt etwa 368 kt, wurden 2000 in Deutschland durch die Anwendung von Anstrichmitteln verursacht. In Bild 5-12 werden die Emissionen aus der Anwendung von Anstrichmitteln disaggregiert nach Anwendungsbereichen dargestellt.

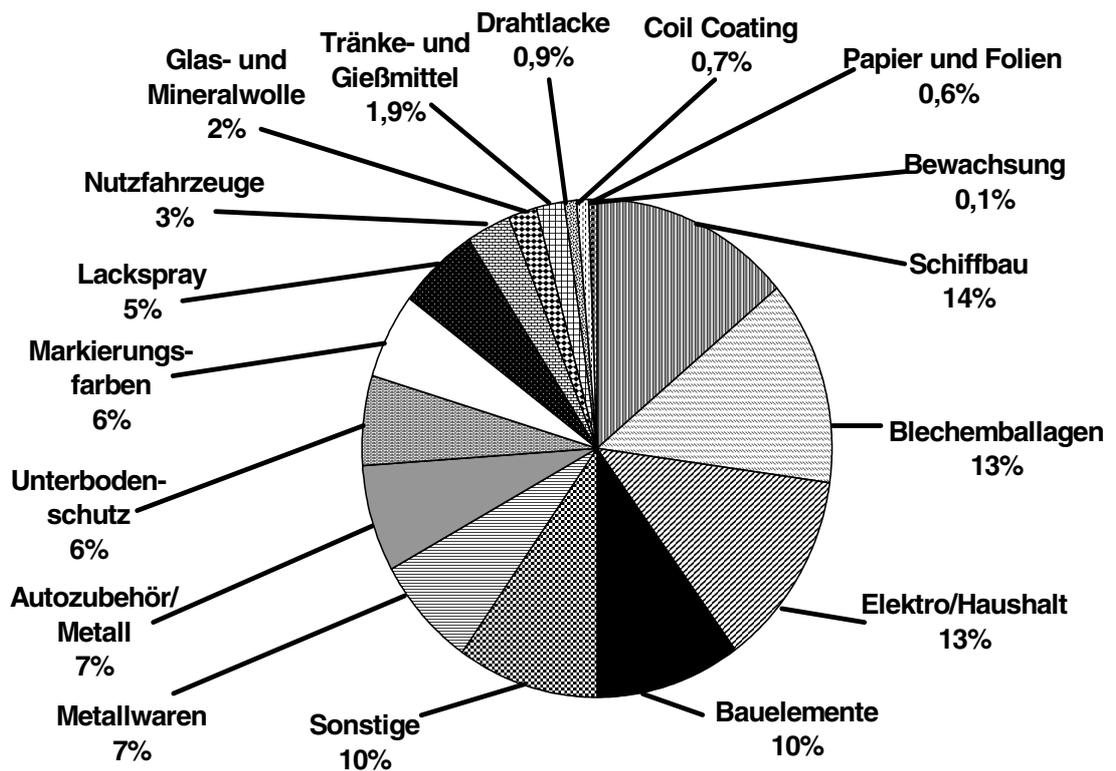


**Bild 5-12:** Lösemittlemissionen aus der Anwendung von Anstrichmitteln (Summe: 368 kt)

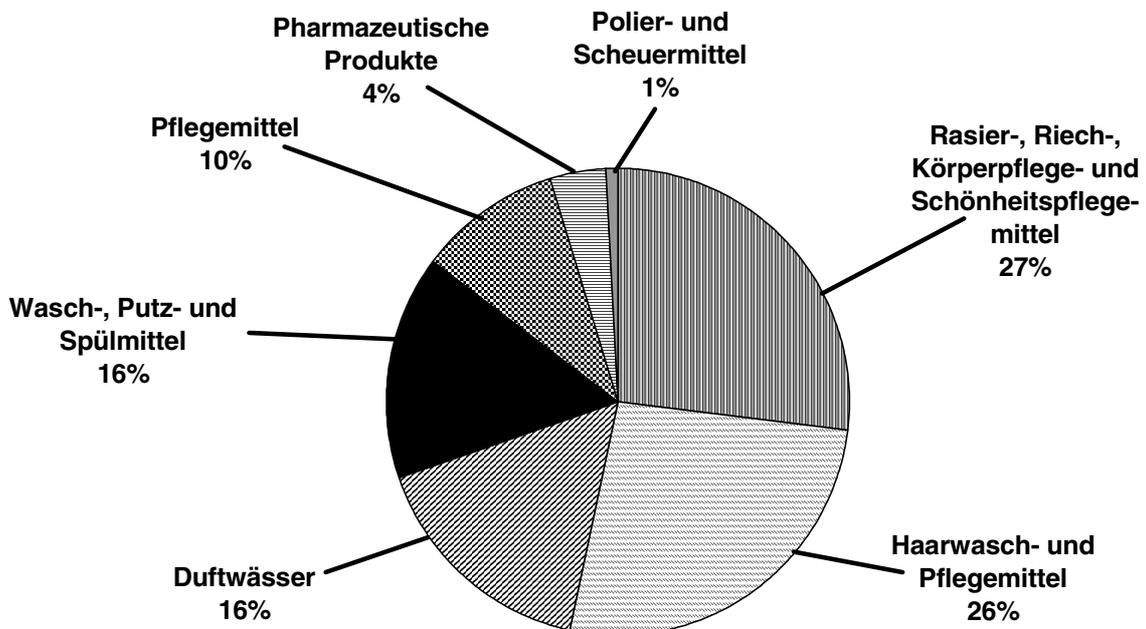
Etwa 37% der Emissionen aus der Anwendung von Anstrichmitteln entstammten 2000 in Deutschland dem Maler- und Lackiergewerbe, DIY-Anwendungen, dem Korrosionsschutz, der Anwendung von Markierungsfarben, der Anwendung von Farben und Lacken im Maschinenbau sowie der Lackierung im Brand- und Gewässerschutz außerhalb von Anlagen. Etwa 12% der Emissionen aus der Anwendung von Anstrichmitteln entstammten der Anwendung im Innenausbau- und Schreinergewerbe sowie der Möbelherstellung. Etwa 21% wurden durch die Anwendung von Holzschutzmitteln und Baustoffadditiven verursacht. Ungefähr 50% der Emissionen aus der Anwendung von Anstrichmitteln entstammten Anwendungen außerhalb von Anlagen.

In Bild 5-13 werden die in Bild 5-12 unter „andere Anwendungen“ subsummierten Quellen von Lösemittlemissionen aus der Anwendung von Anstrichmitteln weiter aufgelöst dargestellt. Bild 5-13 ist zu entnehmen, dass über 50% der Quellgruppe „andere Anwendungen“ dem Schiffbau, der Lackierung von Blechemballagen, der Herstellung von Elektro- und Haushaltsgeräten sowie der Lackierung von Bauelementen zuzuordnen sind. Die andere Hälfte entstammt einer Vielzahl weiterer Quellgruppen, wie Bild 5-13 zu entnehmen ist. Über 90% der Lösemittlemissionen der Quellgruppe „Anwendung von Anstrichmitteln“ entstammten kleineren und mittleren Industrie- und Handwerksunternehmen sowie dem Do-It-Yourself-Bereich. Nur etwa 10% der Emissionen aus dieser Quellgruppe entstammten aus Anlagen, die gemäß den Bestimmungen der 4. BImSchV [4. BImSchV, 1999] genehmigungsbedürftig waren und über eine entsprechende Abluftreinigung verfügen.

Die Auflösung der Emissionen aus der Verwendung von lösemittelhaltigen Konsumgütern ist Bild 5-14 zu entnehmen. Insgesamt wurden 2000 in Deutschland durch die Verwendung von lösemittelhaltigen Konsumgütern etwa 110 kt emittiert.



**Bild 5-13:** Auflösung der in Bild 5-12 unter „anderen Anwendungen“ subsummierten Quellgruppen (Summe: 60 kt)

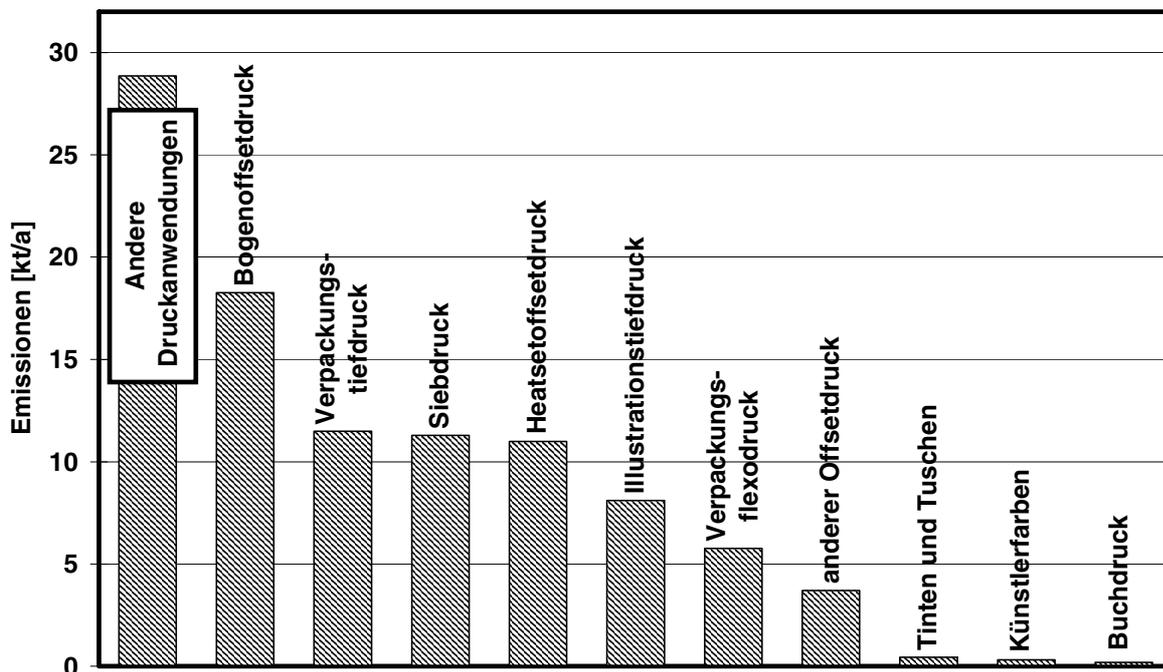


**Bild 5-14:** Emissionen aus der Anwendung von lösemittelhaltigen Haushalts- und Konsumgüterprodukten (Summe: 110 kt)

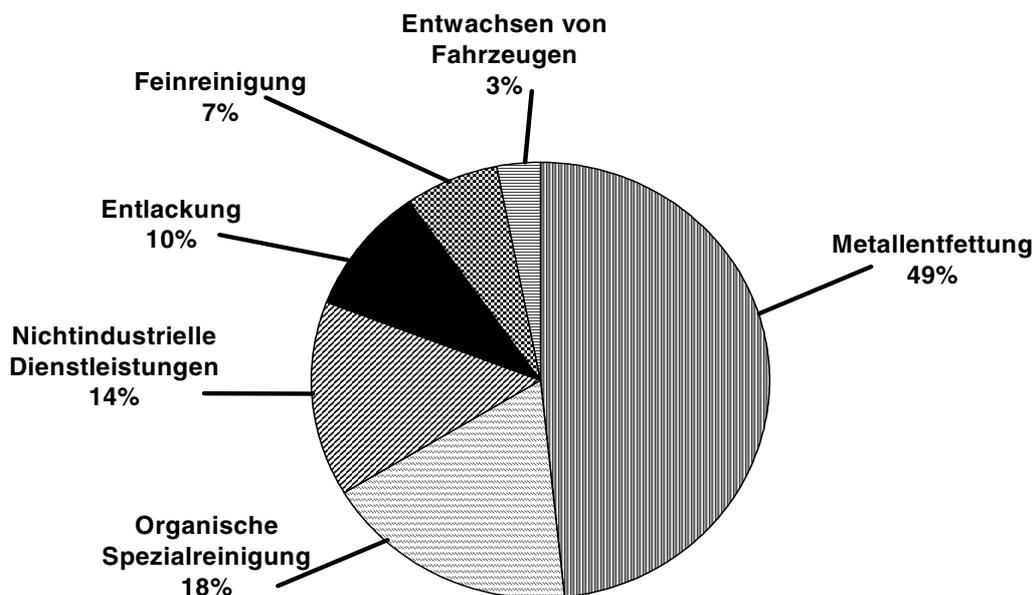
Ungefähr 70% der Emissionen aus der Anwendung lösemittelhaltiger Konsumgüter entstammten der Verwendung von Haarwasch- und Pflegemitteln, zubereiteten Rasier-, Riech-, Körperpflege- und Schönheitspflegemitteln sowie Duftwässern. Die restlichen Emissionen wurden durch die Verwendung von Wasch-, Putz- und Pflegemitteln, Polier- und Scheuermitteln sowie die Verwendung von lösemittelhaltigen pharmazeutischen Produkten verursacht.

Etwa 99 kt Lösemittlemissionen wurden 2000 durch Druckanwendungen verursacht. Es ist Bild 5-15 zu entnehmen, dass ungefähr 30% der Emissionen aus dieser Quellgruppe durch andere Druckanwendungen verursacht werden, die nicht druckindustriellen Anwendungen zuzuordnen sind, sowie durch die Anwendungen von Künstlerfarben, Tinten und Tuschen. Etwa ein Drittel der Emissionen aus Druckanwendungen entstammten Offsetdruckanwendungen, ungefähr 17% Verpackungsdruckereien. Die restlichen Emissionen waren zu etwa 11% Siebdruckanwendungen und Illustrationstiefdruckereien zuzuordnen.

Durch Oberflächenreinigungsprozesse wurden 2000 etwa 37 kt emittiert. Die Disaggregation nach verschiedenen Anwendungsbereichen ist Bild 5-16 zu entnehmen. Etwa die Hälfte entstammte der industriellen Metallentfettung. Fast 18% der Emissionen wurden durch Anwendungen in der organischen Spezialreinigung verursacht. Ungefähr ein Viertel der Emissionen sind der nichtindustriellen Dienstleistung sowie der Entfernung von Farben und Lacken zuzuordnen. Eine untergeordnete Rolle spielten das Entwachsen von Fahrzeugen sowie Feinreinigungsprozesse.



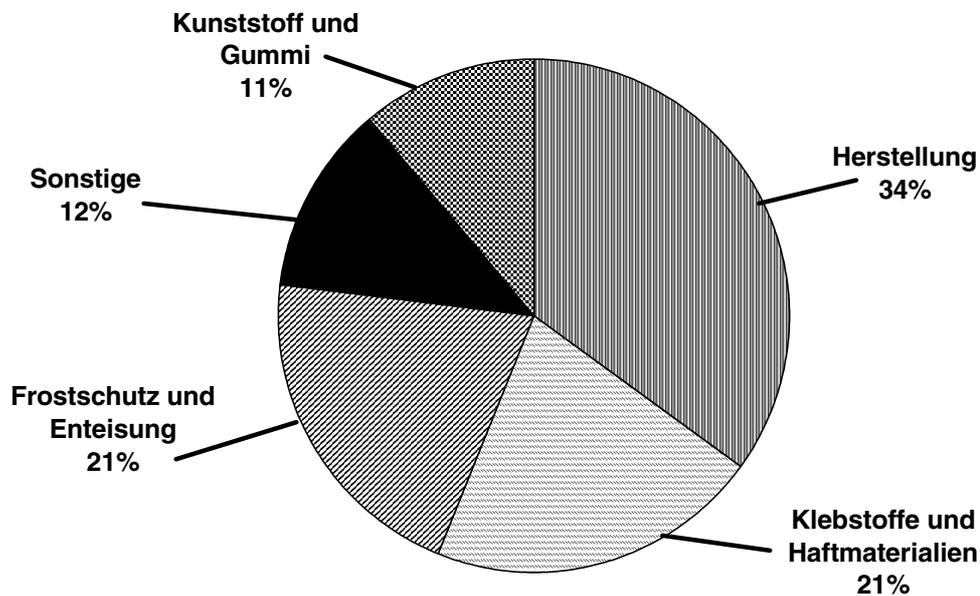
**Bild 5-15:** Emissionen aus Druckanwendungen (Summe: 99 kt)



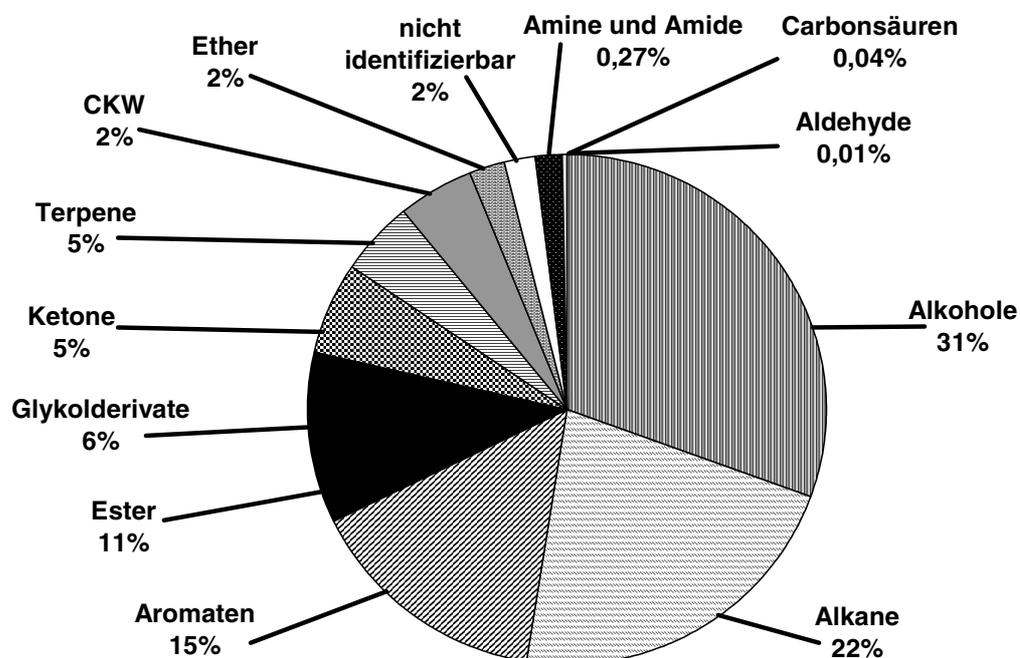
**Bild 5-16:** Emissionen aus Oberflächenreinigungsprozessen (Summe: 37 kt)

In Bild 5-17 ist die Zusammensetzung der in Bild 5-11 mit „sonstige Lösemittelanwendungen“ bezeichneten Anwendungsbereiche dargestellt. Aus den betrachteten sonstigen Lösemittelanwendungen entstammten etwa 15% der Gesamtemissionen. Etwa 34% der Emissionen wurden durch die Herstellung lösemittelhaltiger Produkte verursacht. Jeweils etwa 21% entstammten der Anwendung von Klebstoffen und Haftmaterialien sowie der Anwendung von Frostschutz- und Enteisungsmitteln. Ungefähr 11% wurden durch Kunststoff- und Gummiverarbeitungsprozesse verursacht. Der Rest entstammte der Chemischen Reinigung, der Extraktion von Pflanzenölen, Hochschulen, wissenschaftlichen Einrichtungen und der Verwendung von lösemittelhaltigen Pflanzenschutzmitteln.

Die NMVOC-Emissionen aus der Anwendung von Lösemitteln setzten sich zu 31% aus Alkoholen und zu 22% aus Alkanen und Cycloalkanen zusammen. Etwa 15% der Emissionen waren Aromaten. Daneben wurden noch Carbonsäureester (11%), Glykolderivate (6%) und Ketone (5%), Terpene (5%), Halogenkohlenwasserstoffe (2%), Ether (2%) sowie geringe Mengen organische Säuren, Aldehyde, Amine und Amide emittiert. Insgesamt 2% der NMVOC-Emissionen aus Lösemittelanwendungen konnten keiner Stoffklasse zugeordnet werden. Bei über der Hälfte der Emissionen aus der Lösemittelanwendung handelt es sich um sauerstoffhaltige Verbindungen. Die Rest sind Kohlenwasserstoffverbindungen.



**Bild 5-17:** Emissionen aus sonstigen Lösemittelanwendungen (Summe: 110 kt)



**Bild 5-18:** Disaggregation der NMVOC-Emissionen aus Lösemittelanwendungen nach Stoffklassen

## 6 Unsicherheiten und Fehlerbetrachtung

### 6.1 Grundlagen

Bei der Betrachtung von Unsicherheiten berechneter Emissionen sind Methoden zur Unsicherheitenanalyse und zur Verifikation zu unterscheiden. Zur Unsicherheitenanalyse stehen qualitative und quantitative Analysemethoden zur Verfügung. Quantitative Ansätze sind beispielsweise die Fehlerfortpflanzung und die Monte-Carlo-Simulation. Zur Verifikation sind Plausibilitätsprüfungen und Evaluierungsexperimente geeignet. Im Folgenden werden die unterschiedlichen Ansätze kurz beschrieben und in Bezug auf ihre Eignung zur Ermittlung der Unsicherheiten der in dieser Arbeit berechneten Lösemittlemissionen soweit möglich bewertet. Abschließend wird eine qualitative Bewertung der Unsicherheiten der berechneten Emissionen vorgenommen.

### 6.2 Qualitative Methoden zur Fehlerabschätzung

Einfache Ansätze zur Bewertung der Unsicherheiten berechneter Emissionen basieren auf einer qualitativen bzw. vergleichenden Bewertung. So wird in [EEA, 1996] eine 5-stufige Bewertungsskala von Emissionsfaktoren mit folgenden Merkmalen ausgewiesen:

- **Stufe A:** Wert basiert auf einer großen Zahl an Messungen an zahlreichen Anlagen, welche die Quellgruppe voll repräsentieren.
- **Stufe B:** Wert basiert auf einer großen Zahl an Messungen an zahlreichen Anlagen, welche einen großen Teil der Quellgruppe repräsentieren.
- **Stufe C:** Wert basiert auf einer Anzahl an Messungen an wenigen repräsentativen Anlagen oder auf einer Experteneinschätzung auf der Grundlage verschiedener relevanter Fakten.
- **Stufe D:** Wert basiert auf einer einzelnen Messung oder auf einer Experteneinschätzung auf der Grundlage verschiedener relevanter Fakten und einiger Annahmen.
- **Stufe E:** Wert basiert auf einer Experteneinschätzung auf der Grundlage von Annahmen.

Diese Bewertungsstufen werden in [EEA, 1996] auch den Daten zur Beschreibung emissionsrelevanter Aktivitäten (z. B. Produktionsdaten) zugeordnet. Die "mittlere Qualitätsstufe C" wird dabei vergeben, wenn es sich z. B. um offizielle Statistiken handelt. Andere Bewertungen werden dann relativ zu "Stufe C" vorgenommen, wobei präziser ermittelte Aktivitätsdaten entsprechend mit "Stufe A" oder "Stufe B" bewertet werden, während Aktivitätsdaten, die aus anderen Werten, sogenannten Ersatzindikatoren abgeleitet werden, „Stufe D" oder "Stufe E" zugeordnet werden. Die Gesamtbewertung der aus Emissionsfaktoren und Aktivitätsdaten berechneten Emissionen erfolgt dann nach dem in Tabelle 6.1 dargestellten Schema. Es dient in [EEA, 1996] der Bewertung berechneter Jahresgesamtemissionen für eine Quellgruppe bzw. einen emissionsrelevanten Prozess.

Es kann mit dieser Methode zusätzlich auch die Qualität der Angaben über die Lösemittelgehalte beurteilt werden und sie lässt sich auch auf die stoffliche Auflösung von Emissionen übertragen. Dadurch ergeben sich mehr und höherdimensionale Kombinationen.

**Tabelle 6.1:** Gesamtbewertung berechneter Emissionen aus Kombinationen der Bewertungen von Emissionsfaktoren und Aktivitätsdaten nach [EEA, 1996]

Kombination	Endfaktor	Kombination	Endfaktor	Kombination	Endfaktor
A-A	A	D-A	C	E-B	D
B-A	A	C-C	C	D-D	D
B-B	B	D-B	C	E-C	D
C-A	B	D-C	C	E-D	D
C-B	B	E-A	C	E-E	E

Den qualitativ abgeschätzten Abstufungen der Unsicherheiten von Aktivitätsdaten, Lösemittelgehalten, Emissionsfaktoren sowie von berechneten Emissionen wird in [RIVM, 1997] eine grobe quantitative Skalierung zugeordnet:

- geringe Unsicherheiten ( $\pm 10\%$ ),
- mittlere Unsicherheiten ( $\pm 50\%$ ),
- hohe Unsicherheiten ( $\pm 100\%$ ),
- sehr hohe Unsicherheiten ( $> 100\%$ ).

Hierbei wird den Aktivitätsdaten, Lösemittelgehalten, Emissionsfaktoren und den berechneten Lösemittlemissionen eine mittlere Unsicherheit zugeordnet. Im Vergleich dazu wird z. B. für die Verbrennung fossiler Energieträger den Aktivitätszahlen eine "geringe" Unsicherheit zugewiesen, den Emissionsfaktoren und damit auch den berechneten Emissionen jedoch ebenfalls eine "mittlere" Unsicherheit. Ergänzend wird in [RIVM, 1997] darauf hingewiesen, dass die Ergebnisse der Schätzungen von Unsicherheiten berechneter Emissionsdaten maßgeblich davon abhängen, welche Systemgrenzen definiert wurden. Insbesondere ist hier die möglichst genaue Abgrenzung der einzelnen Quellgruppen von erheblicher Bedeutung. Im Folgenden wird versucht, die Bewertung der Unsicherheiten transparent, nachvollziehbar und - über die verschiedenen Quellgruppen hinweg - vergleichbar zu machen. Dazu wird ein Bewertungsschema mit definierten Kriterien aufgebaut. Anhand von folgenden Kriterien lassen sich Charakteristika der betrachteten Quellgruppen sowie die jeweiligen Eingangsdaten und deren methodische Verknüpfungen vergleichend bewerten:

- sektorale bzw. stoffliche Abgrenzbarkeit der betrachteten Quellgruppe
- Homogenität der betrachteten Quellgruppe
- Charakterisierung der Datengrundlage zur Emissionsberechnung
- Verfügbarkeit von Detailuntersuchungen
- Eignung und Unschärfen von Eingangsdaten
- Umfang und Eignung einzubeziehender Ersatzindikatoren
- Umfang und Plausibilität notwendiger Annahmen zur Vervollständigung der Datenbasis
- Anteil immissionsschutzrechtlich genehmigungsbedürftiger Anlagen

Angelehnt an Vorschläge der U.S. Environmental Protection Agency [EPA, 1999] wird zur qualitativen Bewertung eine 5-stufige Skala definiert, die ähnlich auch von der Europäischen

Umweltagentur verwendet wird [EEA, 1999]. Exemplarische Beschreibungen der einzelnen Stufen sind in Tabelle 6.2 wiedergegeben.

**Tabelle 6.2:** Bewertungsskala und exemplarische Beschreibungen der Kriterien zur Einordnung der Unsicherheiten sektoral hoch aufgelöster Emissionsberechnungen

Stufe	exemplarische Beschreibungen
1	keine Einschränkungen hinsichtlich sektoraler und stofflicher Abgrenzung Quellgruppe sehr homogen strukturiert keine Einschränkungen hinsichtlich Umfang, Qualität und Repräsentativität der Eingangsdaten, ggf. liegen umfangreiche Detailuntersuchungen vor ggf. sind Emissionen weitestgehend aus anlagen-/betriebsbezogenen Daten ermittelbar
2	keine wesentlichen Einschränkungen hinsichtlich sektoraler und/oder stofflicher Abgrenzung Quellgruppe im Wesentlichen homogen strukturiert kaum Einschränkungen hinsichtlich Umfang, Qualität und Repräsentativität der Eingangsdaten, ggf. liegen Detailuntersuchungen vor ggf. sind Emissionen zumindest in signifikantem Umfang aus anlagen-/betriebsbezogenen Daten ermittelbar
3	Einschränkungen hinsichtlich sektoraler und/oder stofflicher Abgrenzung Quellgruppe näherungsweise als homogen strukturiert anzusehen Umfang, Qualität und Repräsentativität der Eingangsdaten sind eingeschränkt, Detailuntersuchungen nicht verfügbar, Ersatzindikatoren sind einzubeziehen ggf. sind Emissionen nur in geringerem Umfang aus anlagen-/betriebsbezogenen Daten ermittelbar
4	sektorale und/oder stoffliche Abgrenzung nur näherungsweise möglich Quellgruppe insgesamt sehr inhomogen strukturiert Datengrundlage weist signifikante Unzulänglichkeiten auf, die durch Ersatzindikatoren bzw. Annahmen nur bedingt zu beheben sind ggf. sind Emissionen kaum aus anlagen-/betriebsbezogenen Daten ermittelbar
5	sektorale und/oder stoffliche Abgrenzung stützt sich auf grobe Annahmen Quellgruppe äußerst inhomogen strukturiert Datengrundlage weist gravierende Lücken und Unschärfen auf bzw. basiert weitestgehend auf Annahmen Emissionen nicht aus anlagen-/betriebsbezogenen Daten ermittelbar

Die Reihenfolge der in Tabelle 6.2 genannten Kriterien ist hier nicht als Rangordnung der Bedeutung zu verstehen. Für die Gesamteinschätzung der Unsicherheiten eines Rechenschrittes für eine bestimmte Quellgruppe ist nicht nur von Bedeutung, ob die Mehrzahl o.g. Kriterien eher im positiven Sinne (geringe Unsicherheiten) oder negativen Sinne (hohe Unsicherheiten) zu bewerten ist. Entscheidend für die Einstufung ist, ob bestimmte Kriterien in besonders ausgeprägtem Maße positiv bzw. negativ zu bewerten sind.

### 6.3 Quantitative Ansätze zur Ermittlung der Unsicherheiten

Die Berechnung der Emissionen von Luftschadstoffen erfolgt üblicherweise durch eine einfache Multiplikation eines Emissionsfaktors mit einer statistischen Bezugszahl (Aktivität). Auch komplexere Modelle lassen sich meist auf dieses einfache Grundschema zurückführen. Soll nun die Unsicherheit der berechneten Emissionen festgestellt werden, kann diese nach Ermittlung des Fehlers der Eingangsgrößen mit Hilfe des Fehlerfortpflanzungsgesetzes quantifiziert werden. Streng gilt für die Durchführung der Fehlerfortpflanzung, dass die Eingangsgrößen folgende Voraussetzungen erfüllen müssen [GPGAUM, 2000]:

- die Fehlerabschätzungen der Eingangsgrößen sind plausibel,
- die Eingangsgrößen müssen Gauß-Verteilungen unterliegen,
- die Eingangsgrößen sind statistisch voneinander unabhängig und ihre Fehler können sich

gegenseitig kompensieren, das heißt, sie müssen auf unterschiedlichen Annahmen beruhen, aus unterschiedlichen Meßserien stammen, die unterschiedliche Methodiken verwendeten usw., und

- die Fehler der Eingangsgrößen  $\Delta x_i$  sind klein gegenüber  $x_i$ , das heißt,  $\Delta x_i$  sollte nicht größer als 30% in Bezug auf  $x_i$  sein.

Bei der Anwendung der Fehlerfortpflanzung zur Quantifizierung der Unsicherheiten von berechneten Lösemittlemissionen ergeben sich somit folgende Nachteile:

1. Die Eingangsgrößen unterliegen häufig anderen Verteilungen als Gauß-Verteilungen.
2. Die Fehler der Eingangsgrößen sind häufig größer als 30%.
3. Die Eingangsgrößen sind häufig nicht voneinander unabhängig.

Daraus kann geschlossen werden, dass die Fehlerfortpflanzung keine geeignete Methode zur Quantifizierung der Unsicherheiten von Lösemittlemissionsberechnungen ist.

Statt dessen ist es aber möglich, den Eingangsdaten zunächst Verteilungsfunktionen (Normalverteilungen, Lognormalverteilungen, Triangularverteilungen oder Uniformverteilungen) zuzuordnen. Durch zufällige Variation der durch entsprechende Verteilungsfunktionen definierten Eingangsdaten erhält man bei einer Vielzahl von derartigen Rechenläufen eine Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion des Ergebnisses in Abhängigkeit der Verteilung der Eingangsdaten. Diese „Monte-Carlo-Verfahren“ genannte Methode kann jede beliebige Verteilung berücksichtigen und ist auch in der Lage, Korrelationen zu berücksichtigen, benötigt aber einen größeren Rechenaufwand als z. B. die Fehlerfortpflanzung. Da die in der Praxis verwendeten Verteilungen insofern ähnlich einer Gauß-Verteilung sind, als die Wahrscheinlichkeit des Auftretens eines Wertes in der Nähe des modalen Wertes als größer angesehen wird als im Bereich der Maxima und Minima, ist die Auswirkung auf das Ergebnis (Verringerung des relativen Fehlers bei Addition vieler Einzelparameter) auch ähnlich. Insbesondere Fehler, die über 30% hinausgehen, und korrelierende Eingangsgrößen können wesentlich besser behandelt werden [Winiwarter et al., 2000].

Zur quantitativen Ermittlung der Unsicherheiten von Lösemittlemissionen mit Hilfe des Monte-Carlo-Verfahrens kann kommerziell erhältliche Software, z. B. @RISK von PALISADE Co., ein Add-on zu MS-Excel, verwendet werden [Winiwarter et al., 2000]. Wie bereits erwähnt, beruht das Monte-Carlo-Verfahren auf der zufälligen und unabhängigen Variation aller Eingangsparameter in jenem Bereich und mit jener Gewichtung, die mit der jeweiligen Verteilung vorgegeben sind. Zur Ermittlung der erforderlichen Anzahl an Iterationen muss ein Konvergenzkriterium zu Hilfe genommen werden, dass bei 10.000 erreicht sein sollte [Winiwarter et al., 2000]. Als Ergebnis der Monte-Carlo-Simulation werden in jedem der 10.000 Einzelläufe für jede Ergebnisgröße Einzelergebnisse berechnet. Daraus werden Verteilungen der Berechnungsergebnisse sowie die zugeordneten statistischen Parameter (Mittelwert, Standardabweichung, Konfidenzintervall) ermittelt. Das Ergebnis dieser Methode ist stark von der Qualität der Input-Verteilungen abhängig, die mit Hilfe plausibler Abschätzungen ermittelt werden müssen und umfangreiche Expertenbefragungen notwendig machen, um eine genügend gute Qualität der Verteilungsfunktionen zu gewährleisten. Dazu ist ein erheblicher Kapazitäts- und Zeitaufwand notwendig, der den Umfang dieser Arbeit sprengen würde. Es besteht bei der Quantifizierung der Unsicherheiten von Lösemittlemissionen noch erheblicher Forschungsbedarf.

## 6.4 Durchführung einer qualitativen Unsicherheitenanalyse für die berechneten Lösemittelemissionen

Konkrete Bewertungen auf Grundlage des Schemas aus Tabelle 6.2 für die einzelnen betrachteten Quellgruppen werden im Folgenden für die Quellgruppen „Anwendung von Anstrichmitteln“ sowie „Oberflächenreinigungsprozesse“ vorgenommen. Daran anschließend wird eine qualitative Abschätzung für alle anderen in dieser Arbeit betrachteten Quellgruppen mit Hilfe des in Tabelle 6.2 definierten Bewertungsschemas vorgenommen.

### 6.4.1 Qualitative Bewertung der Unsicherheiten der Quellgruppe „Anwendung von Anstrichmitteln“

Die Anwendung von Anstrichmitteln verursacht etwa die Hälfte der Lösemittelemissionen. Innerhalb dieser Quellgruppe muss unterschieden werden in die Anwendung von Farben und Lacken einerseits und andererseits die Anwendung von Holzschutzmitteln, Baustoffadditiven, Bewachungsmitteln, Unterbodenschutzbeschichtungen sowie Imprägniermitteln für Glas- und Mineralwolle. Die Quellgruppe „Anwendung von Farben und Lacken“ ist relativ gut untersucht, das heißt über die Produktions- und Außenhandelsstatistik hinaus kann auf Ergebnisse von Expertenbefragungen des Verbandes der Lackindustrie zurückgegriffen werden. Die Allokation der verschiedenen Lackarten auf die unterschiedlichen Anwendungsbereiche basiert auf Bottom-up-Erhebungen des Verbandes der Lackindustrie und gewährleistet daher eine gute Qualität der Einsatzdaten der verschiedenen Lackarten (Lösemittelhaltige Lacke, Wasserlacke, Pulverlacke). Die für die Emissionsberechnung verwendeten Lösemittelgehalte der Anstrichmittel sind mit etwas höheren Unsicherheiten behaftet. Differenziert man z. B. bei den lösemittelhaltigen Lacken nur zwischen

- Low-Solid-Lacken,
- Medium-Solid-Lacken,
- High-Solid-Lacken,
- Wasserlacken.

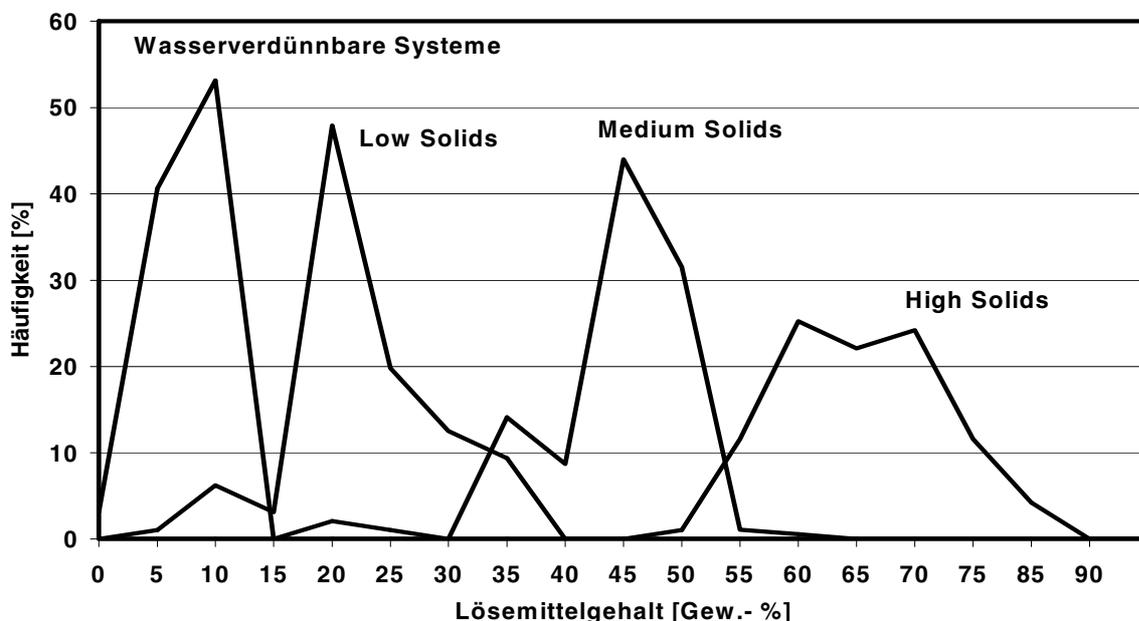
so führt dies zu entsprechend größeren Unsicherheiten bezüglich des Gehaltes an organischen Lösemitteln innerhalb dieser Gruppen.

Bild 6-1 zeigt z. B. Ergebnisse einer vom Statistischen Landesamt Baden-Württemberg durchgeführten Befragung von Lackanwendern [StaLa, 1998]. Dargestellt ist hier die Bandbreite der Lösemittelgehalte für Wasserlacke sowie für High-, Medium- und Low-Solids, wobei die jeweilige Häufigkeit der entsprechenden Nennungen von Lackanwendern über dem in 5%-Stufen angegebenen Lösemittelgehalt aufgetragen ist. Die Standardabweichungen (95% Konfidenzintervall) bewegen sich zwischen  $\pm 7,5\%$  für wasserverdünnbare Farb- und Lacksysteme und  $\pm 20\%$  für low-solid-Lacksysteme, d.h. hoch lösemittelhaltige Systeme.

Die Quellgruppen „Anwendung von Holzschutzmitteln und Baustoffadditiven“ sowie die „Bewachung von Kraftfahrzeugen“, die „Anwendung von Unterbodenschutzbeschichtungen“ und die „Imprägnierung von Glas- und Mineralwolle“ sind mit erheblich größeren Unsicherheiten behaftet als die Emissionen aus der Anwendung von Farben und Lacken. Für den Inlandsverbrauch von Holzschutzmitteln und Baustoffadditiven stehen nur teilweise Daten aus der Produktions- und Außenhandelsstatistik zur Verfügung. Da die entsprechenden Produkte jedoch

zusammen mit anderen nicht lösemittelrelevanten Produkten sowohl in der Produktions- als auch in der Außenhandelsstatistik subsumiert werden, müssen die Inlandsverbräuche grob abgeschätzt werden. Hier ist sowohl die Produktions- als auch die Außenhandelsstatistik ungenügend disaggregiert. Diese erheblichen Unsicherheiten sind auch darauf zurückzuführen, dass Holzschutz- und Bautenschutzmittel in der Produktionsstatistik zu einer Produktkategorie aggregiert sind. Auch erhobene Daten der Fachverbände helfen hier nur teilweise weiter, da diese keine Informationen über die in Bau-, Hobby- und Heimwerkmärkten abgesetzten Mengen besitzen. Erschwerend zeigt sich der Umstand, dass die eben erwähnten Märkte meist europaweit organisierte Handelsketten sind und so erhebliche Informationsdefizite über die in Deutschland abgesetzten Mengen bestehen.

Auch die Lösemittelgehalte für Baustoffadditive sind mit erheblichen Unsicherheiten behaftet, da nur wenige Informationsquellen zur Verfügung stehen bzw. die Lösemittelgehalte auf Einzelbefragungen basieren. Die Lösemittelgehalte für Holzschutzmittel basieren auf Angaben des Hauptverbandes der Deutschen Holz und Kunststoffe verarbeitenden Industrie und verwandter Zweige-HDH e.V. [Baums et al., 1999] und sind so mit weniger Unsicherheiten behaftet. Die Emissionsfaktoren für diese beiden Quellgruppen sind mit erheblichen Unsicherheiten behaftet, da wenig Informationen über die konkreten Anwendungsbedingungen und die Struktur der Anlagen vorliegen. Für die Bewachung von Neufahrzeugen, die Anwendung von Unterbodenschutzbeschichtungen sowie die Imprägnierung von Glas- und Mineralwolle stehen keine Daten aus der Produktions- und Außenhandelsstatistik zur Berechnung des Inlandsverbrauchs zur Verfügung. Daher wurde bei der Abschätzung der Lösemittelleinsätze auf Literaturquellen und Angaben von Fachverbänden zurückgegriffen. Ebenso wurde für diese drei Quellgruppen bei der Abschätzung der Lösemittelgehalte bzw. der Emissionsfaktoren verfahren.



**Bild 6-1:** Bandbreite der Lösemittelgehalte verschiedener Lackarten [StaLa, 1998]

Somit sind die Emissionen aus diesen Anwendungen mit relativ großen Unsicherheiten behaftet. Auf der Grundlage dieser Informationen erfolgt nun eine Einordnung der Unsicherheiten von Berechnungen der Lösemittellemissionen aus dem Einsatz von Anstrichmitteln in Deutsch-

land. Tabelle 6.3 fasst die Bewertungen entsprechend zusammen. Hinsichtlich der Disaggregation der Emissionen nach einzelnen Anwendungsbereichen ist festzustellen, dass die Automobilserienlackierung, die Bandbeschichtung (Coil Coating) sowie die Drahtlackierung quasi ausschließlich in immissionsschutzrechtlich genehmigungsbedürftigen Lackieranlagen stattfindet, für die anlagenbezogene Emissionsdaten aus Emissionserklärungen zur Verfügung stehen. Belastbares Zahlenmaterial steht auch für den seit Jahren sehr umfangreich untersuchten und recht homogen strukturierten Bereich der Autoreparaturlackierung zur Verfügung. Wie aus Tabelle 6.3 hervorgeht, sind auch die Unsicherheiten jährlicher Emissionswerte für die Holzverarbeitung und den Maschinenbau als vergleichsweise gering einzustufen.

Die Gesamtbewertung der Quellgruppe „Anwendung von Anstrichmitteln“ ergibt insgesamt eine mittlere Unsicherheit, die durch die Unsicherheitsstufe 3 ausgedrückt wird.

#### **6.4.2 Qualitative Bewertung der Unsicherheiten der Quellgruppe „Oberflächenreinigungsprozesse“**

Die Ermittlung der Emissionen aus Oberflächenreinigungsprozessen ist insofern ein Problem, als sich der Inlandseinsatz der konkreten Anwendungen (industrielle Metallentfettung, nichtindustrielle Dienstleistungen, Feinreinigung, organische Spezialreinigung) nur indirekt aus statistischen Daten ableiten lässt. Die Berechnung des Inlandsverbrauchs an nichtchlorierten Oberflächenreinigungsmitteln basiert auf zwei Produktkategorien, die bezüglich ihrer konkreten Abgrenzungen erhebliche Unsicherheiten in die Berechnung einfließen lassen.

Erschwerend kommt hinzu, dass die Produkte teilweise auf ihren Wegen zum Anwender nicht von der Produktionsstatistik erfasst werden. Die Einsätze an lösemittelhaltigen Produkten für die Entwachsung von Fahrzeugen sind gar nicht auf Grundlage der Produktions- und Außenhandelsstatistik ermittelbar. Das heißt, weder in der Produktions- noch in der Außenhandelsstatistik sind die in dieser Quellgruppe eingesetzten lösemittelhaltigen Produkte explizit ausgewiesen. Somit können Abschätzungen des Stoffeinsatzes und der Emissionen nur über die Auswertung vorhandener Literaturangaben bzw. anderweitig durchgeführter Detailuntersuchungen vorgenommen werden, wobei zwischen Chlorkohlenwasserstoffen und anderen NMVOC unterschieden wird (siehe z. B. [Nader, 2001], [Enquete, 1994]). Der Bereich Chlorkohlenwasserstoffe kann im Hinblick auf die 2. BImSchV [2. BImSchV, 2001] als vergleichsweise detailliert untersucht angesehen werden, während Abschätzungen des - gesetzlich nicht direkt geregelten - Einsatzes und der Emission von Kohlenwasserstoffen und oxidierten Kohlenwasserstoffen mit deutlich größeren Unsicherheiten behaftet sind. Nach erfolgter Umsetzung der 2. BImSchV [2. BImSchV, 2001] spielen dabei diese Stoffe bei der Metallentfettung eine mengenmäßig größere Rolle als die Chlorkohlenwasserstoffe, so dass die Unsicherheiten hier eher als überdurchschnittlich einzuordnen sind. Der Einsatz von lösemittelhaltigen Produkten zum Entfernen von Farben und Lacken basiert auf relativ sicheren Informationen aus der Produktions- und Außenhandelsstatistik. Hier gibt es auch gute Informationen zu Lösemittelgehalten und Emissionsfaktoren basierend auf [Öko, 1999]. In Tabelle 6.4 ist die qualitative Bewertung der Unsicherheiten der für Oberflächenreinigungsprozesse berechneten Emissionsmengen dargestellt. Bei den mengenmäßig bedeutsamsten Emissionen aus Entfettungs- und Reinigungsmitteln treten insgesamt die höchsten Unsicherheiten auf, wodurch auch das Gesamtergebnis der Quellgruppe „Oberflächenreinigungsprozesse“ geprägt wird. Damit ergeben sich für die Quellgruppe „Oberflächenreinigungsprozesse“ eher größere Unsicherheiten von im Mittel etwa 4 der in Tabelle 6.2 definierten Bewertungsskala.

**Tabelle 6.3:** Bewertung berechneter Lösemittlemissionen aus dem Einsatz von Anstrichmitteln disaggregiert nach Anwendungsbereichen

Anwendungsbereich	Bewertungsstufe	Anteil an Gesamtemissionen
Automobilserienfertigung	1	2,7%
Autoreparaturlackierung	1	1,6%
Nutzfahrzeugherstellung	2	0,3%
Maler- und Lackiergewerbe	3	7,5%
DIY-Bereich	3	4,0%
Bandbeschichtung (Coil Coating)	1	0,1%
Schiffbau	3	1,2%
Möbelherstellung	2	3,2%
Holzinnenausbau	3	1,8%
Schreinerarbeiten	3	1,0%
Elektro, Haushalt	2	1,1%
Maschinenbau	2	4,0%
Autozubehör/Metall	2	0,6%
Metallwaren	2	0,6%
Blechemballagen	2	1,1%
Drahtlacke	1	0,1%
Tränke- und Gießmittel	3	0,2%
Bauelemente	3	0,8%
Kunststoffe	3	1,6%
Papier- und Folienbeschichtung	3	0,1%
übrige industrielle Verarbeitung	3	2,4%
Lackspray	3	0,4%
Markierungsfarben	3	0,5%
sonstige Bereiche	3	0,8%
Korrosionsschutz	3	1,8%
Anwendung von Holzschutzmitteln	4	4,5%
Anwendung von Baustoffadditiven	5	6,1%
Anwendung von Unterbodenschutzbeschichtungen	4	0,5%
Bewachung von Kraftfahrzeugen	4	0,01%
Imprägnierung von Glas- und Mineralwolle	5	0,2%
Gesamtbewertung	3	50,8%

**Tabelle 6.4:** Einordnung der Unsicherheiten berechneter NMVOC-Emissionen aus Oberflächenreinigungsprozessen

Anwendungsbereich	Bewertungsstufe	Anteil an den Gesamtemissionen
Oberflächenreinigungsmittel	4	4,4%
Abbeizmittel	3	0,5%
Entwachsen von Fahrzeugen	4	0,2%
Oberflächenbehandlung (Gesamtbewertung)	4	5,1%

### 6.4.3 Qualitative Bewertung der Unsicherheiten für alle anderen Emittentenbereiche

Mit den bislang diskutierten Emittentenbereichen der Anstrichmittel und der Oberflächenbehandlung sind rund 55% der Lösemittlemissionen abgedeckt. Die restlichen Emissionen verteilen sich auf eine große Anzahl weiterer Quellgruppen. Zur besseren Vergleichbarkeit der Unsicherheitsbewertungen werden die einzelnen Rechenschritte sowie die jeweilige Eingangsdatenbasis zur Ermittlung der Jahresemissionen für die restlichen Quellgruppen in Tabelle 6.5 zusammenfassend bewertet.

Die Ermittlung der jährlichen Lösemittlemissionen aus der Anwendung von Druckfarben und Druckhilfsmitteln, Klebstoffen sowie bei der Fett- bzw. Ölextraktion kann sich jeweils auf eine Datengrundlage überdurchschnittlicher Qualität stützen. Für die beiden erstgenannten Bereiche stehen Ergebnisse umfangreicher Detailuntersuchungen zur Verfügung [VCI, 1997]. Hingegen ist im Fall der Extraktion von Fetten und Ölen davon auszugehen, dass die auftretenden Emissionen zum weitaus überwiegenden Teil genehmigungsbedürftigen Anlagen entstammen.

Für die den Konsumgütern zugeordneten Erzeugnisarten stehen qualitativ gute Daten zum jeweiligen mittleren Lösemittelgehalt zur Verfügung. Die Genauigkeit der Emissionsabschätzungen wird jedoch dadurch reglementiert, dass der Warenaußenhandel von Erzeugnisarten mit zum Teil sehr unterschiedlichem Lösemittelgehalt nur in aggregierter Form berücksichtigt werden kann.

Signifikante Datenlücken bzw. erhöhte Unsicherheiten von Emissionsabschätzungen treten zumindest in Teilbereichen der Kunststoffverarbeitung auf. Größere Anlagen zur Beschichtung von Materialien mit Kunststofflösungen sowie zur Kunststoffverarbeitung (z. B. Polyesterharze, Epoxidharze, Kunststoff/Weichmacher-Gemische, Polyurethan-Verschäumung) sind zwar gemäß dem Anhang zur 4. BImSchV [4. BImSchV, 1999] immissionsschutzrechtlich genehmigungsbedürftig, so dass ein Teil der Emissionen durch Auswertung von Daten aus Emissionserklärungen erfasst werden kann. Allerdings gestaltet sich der notwendige Abgleich dieser betriebs- bzw. anlagenbezogenen Daten mit den ergänzenden flächenhaften Berechnungen auf statistischer Datenbasis schwierig, da Art und Umfang der in der Verarbeitung gehandhabten Stoffe häufig nur unspezifisch und offensichtlich unvollständig wiedergegeben sind. Zudem berücksichtigen die vorliegenden Emissionsfaktoren die zum Teil beträchtlichen Unterschiede im Emissionsverhalten verschiedener Prozesse nicht oder nur in sehr aggregierter Form.

Letztlich basieren die Emissionsdaten für wissenschaftliche Laboratorien allein auf Angaben bzw. Emissionsfaktoren in [INFRAS, 1994], wobei es sich hier jeweils um grobe Abschätzungen der jährlichen Emissionen je Arbeitsplatz handelt, basierend auf stichprobenhaften Umfragen in verschiedenen Schweizer Kantonen sowie Auswertungen von Literaturdaten.

Führt man die Einzelbewertungen anhand einer mengenmäßigen Gewichtung zusammen, so ergeben sich als rechnerischer Mittelwert Unsicherheiten, die als durchschnittlich einzuordnen sind. In Tabelle 6.6 sind die mit Hilfe des in dieser Arbeit angewendeten qualitativen Ansatzes bewerteten Unsicherheiten für die entsprechend aggregierten Hauptquellgruppen in zusam-

menfassender Form dargestellt sowie der Anteil der jeweiligen Quellgruppe an den Gesamtemissionen.

**Tabelle 6.5:** Bewertung berechneter Lösemittlemissionen aus den noch nicht betrachteten Quellgruppen disaggregiert nach Anwendungsbereichen

Quellsektoren	Bewertungsstufe	Emissionsanteil
Druckanwendungen - industriell	2	9,6%
andere Druckanwendungen	5	4,1%
Anwendung von Klebstoffen und Haftmaterialien	2	3,1%
Anwendung von Klebstoffen - Verdünnereinsatz	4	0,1%
Herstellung von lösemittelhaltigen Produkten	3	5,3%
Kunststoffverarbeitung	4	1,4%
Gummiverarbeitung	5	0,3%
Häusliche Anwendung von lösemittelhaltigen Produkten	3	15,2%
Anwendung von Frostschutz- und Enteisungsmitteln	4	3,2%
Chemische Reinigung	5	0,2%
Extraktion von Ölen und Fetten	1	0,9%
Lösemittelverwendung in Pflanzenschutzmitteln	4	0,5%
Hochschulen und wissenschaftliche Einrichtungen	5	0,2%
Gesamtbewertung	3	44,1%

**Tabelle 6.6:** Einordnung der Unsicherheiten der berechneten Emissionen aus allen Quellgruppen

Quellsektor	Bewertungsstufe	Anteil an den Gesamtemissionen
Anwendung von Anstrichmitteln	3	51%
Häusliche Anwendung von lösemittelhaltigen Produkten	3	15%
Druckanwendungen	3	14%
Oberflächenreinigungsprozesse	4	5%
Sonstige Quellgruppen	3	15%
Lösemittelanwendung (Gesamtbewertung)	3	100%

Fasst man alle unter dem Begriff „Anwendung von Lösemitteln und lösemittelhaltigen Erzeugnissen“ subsumierten Emittentenbereiche zusammen, und zwar gewichtet nach ihren jeweiligen Emissionsanteilen, so ergeben sich insgesamt Unsicherheiten, die als durchschnittlich einzuordnen sind.

Eine Überführung der im Lösemittelsektor vorgenommenen qualitativen Bewertungen der Unsicherheiten von Emissionsberechnungen in quantitative Bewertungen, wie dies z. B. in [RIVM, 1997] vorgenommen wurde, kann lediglich einen orientierenden Charakter haben. Jedoch kann zumindest ein Eindruck über die Größenordnung der zu erwartenden Unsicherheiten gewonnen werden.

Angelehnt an die in [RIVM, 1997] vorgeschlagene Skalierung sowie unter Abwägung der in

Expertengesprächen zusammengetragenen groben Einschätzungen der Unsicherheiten verschiedener Eingangsdaten, wurden in [Kühlwein et al., 1999] der in Tabelle 6.2 definierten 5-stufigen qualitativen Bewertungsskala näherungsweise die in Tabelle 6.7 angegebenen Unsicherheitsbandbreiten zugeordnet. Diese Unsicherheitsbandbreiten sind hier als Standardabweichungen zu interpretieren, die mit einem Konfidenzintervall von 95% behaftet sind.

**Tabelle 6.7:** Zuordnung geschätzter Unsicherheitsbandbreiten zu den im Lösemittelsektor verwendeten qualitativen Bewertungsstufen nach [Kühlwein et al., 1999]

Bewertungsstufe	Standardabweichungen (95% Konfidenzintervall)
1	bis 15%
2	± 15% bis 30%
3	± 30% bis 50%
4	± 50% bis 100%
5	über 100%

Diese Zuordnung zeigt eine nichtlineare Abstufung der Bewertungsskala. In der zusammenfassenden Bewertung des gesamten Lösemittelsektors ist eine solche Nicht-Linearität, das heißt eine überproportionale Zunahme des Fehlers in Richtung des unteren Endes der Bewertungsskala, nicht berücksichtigt. Dies erscheint auch gerechtfertigt, da z. B. die Unsicherheiten der Gesamtemissionen aus der Anwendung von Farben und Lacken tendenziell niedriger liegen als die Unsicherheiten der nach einzelnen Anwendungsbereichen disaggregierten Emissionen. Da die Emission nicht kleiner Null werden kann, kann auch die untere Grenze des Fehlers einen relativen Wert von -100% nicht unterschreiten. Das bedeutet, in Bewertungsstufe 5 liegt in jedem Fall eine linkssteile Verteilung vor. Dabei kann es sich z. B. um eine lognormal-Verteilung handeln. Gemäß Tabelle 6.7 ergibt sich damit für die Unsicherheit der berechneten NMVOC-Jahresemission aus der Anwendung von Lösemitteln und lösemittelhaltigen Erzeugnissen eine Standardabweichung (95%-Konfidenzintervall) von ±30% bis ±50%. Beim gegenwärtigen Kenntnisstand erscheint diese Unsicherheit realistisch, zudem deckt sie sich mit der Einschätzung in [RIVM, 1997].

## 6.5 Verifikationsmethoden

### 6.5.1 Plausibilitätsprüfungen

Als Plausibilitätsprüfung ist insbesondere der Abgleich der über den produktbezogenen Ansatz ermittelten, nach Stoffklassen disaggregierten Lösemittelverbrauchsmengen mit den über einen sogenannten lösemittelbezogenen Ansatz erhaltenen Lösemittelverbrauchsmengen geeignet. Hierzu müssen die sektoral ermittelten Lösemittelverbräuche soweit wie möglich stofflich aufgelöst werden, zu Stoffklassen aggregiert werden und über alle Sektoren addiert werden. Um die abgeschätzten Emissionsmengen auf Plausibilität zu prüfen, kann zusätzlich ein lösemittelbezogener Ansatz zur Abschätzung der Lösemittelinlandsverbrauchsmengen durchgeführt werden, wie er schematisch in Bild 4-1 auf Seite 16 skizziert ist. Dazu werden Daten von Lösemittelherstellern über Lösemittelinlandsverbräuche verwendet, um den Verbrauch verschiedener Lösemittel im Inland direkt abzuschätzen, das heißt, ohne den Umweg über den Inlandsverbrauch lösemittelhaltiger Produkte. Der Inlandsverbrauch der Lösemittel ist der Saldo aus Produktion, Im- und Export. Für diesen lösemittelbezogenen Ansatz bieten allgemein zu-

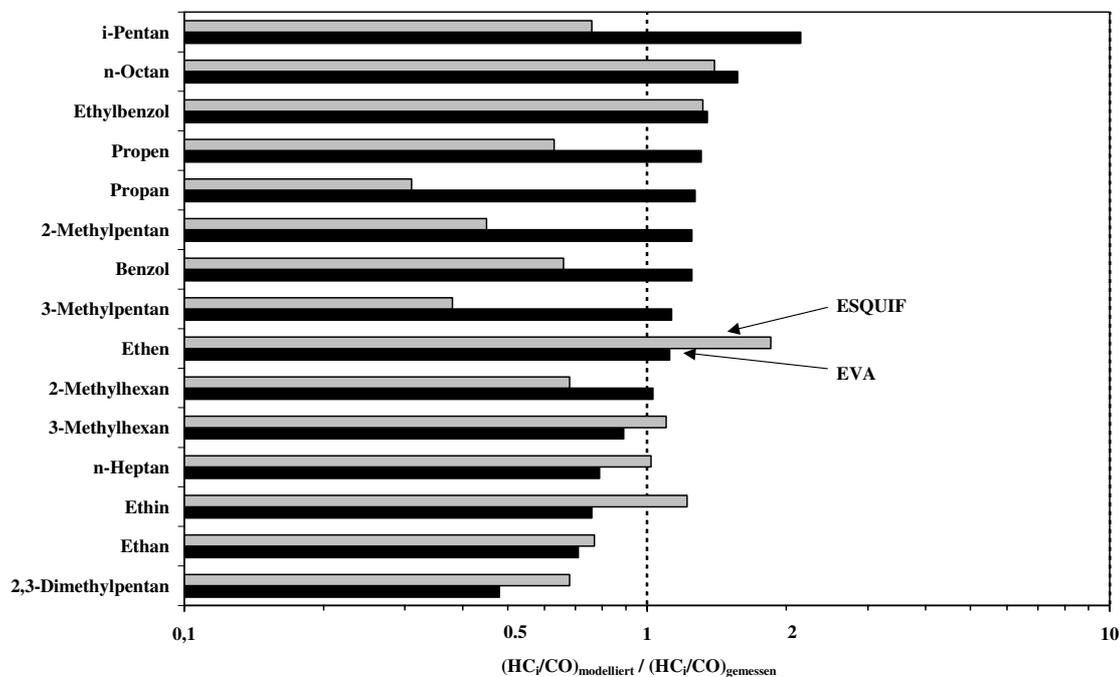
gängliche Statistiken nur eine begrenzte Grundlage, sodass er wesentlich von der Beschaffung ergänzender Informationen bei Lösemittelherstellern abhängt. Für 1994 wurde dieser Abgleich auf Grundlage von Daten der ESIG (European Solvent Industry Group) durchgeführt, die von einem großen Lösemittelhersteller für dieses Bezugsjahr zur Verfügung gestellt wurden [Theloke et al., 2000]. Leider konnte dieser Abgleich für das in dieser Arbeit gewählte Bezugsjahr 2000 auf Grund fehlender aktueller Daten der ESIG nicht durchgeführt werden. Die nach Stoffklassen und teilweise auch nach Einzelstoffen disaggregierten Lösemittelverbrauchsmengen für 1994 wurden mit dem Lösemittelverbrauch verglichen, der sich aus den Produktionsstatistiken der Lösemittelindustrie (abzüglich Export, zuzüglich Import) ergibt. Das Ergebnis ist in Tabelle 6.8 dargestellt. Tabelle 6.8 zeigt, dass die abgeschätzten Lösemittelverbrauchsmengen in der Summe und auch in ihrer Disaggregation nach Stoffklassen plausibel sind. Tabelle 6.8 zeigt aber auch, am Beispiel der Alkohole, dass eine weitere Disaggregation nach Einzelstoffen teilweise mit erheblichen Unsicherheiten verbunden ist. In der Reihe "Gesamt" in Tabelle 6.8 sind nur die Mengen der Stoffklassen summiert worden, die abgeglichen werden konnten. Diese Mengen sind in Tabelle 6.8 fettgedruckt dargestellt.

**Tabelle 6.8:** Vergleich der stofflichen Disaggregation der für das Bezugsjahr 1994 in Deutschland abgeschätzten Lösemittelverbrauchsmengen auf Grundlage von Informationen der Lösemittelindustrie (nur die fettgedruckten Mengen können verglichen werden) [Theloke et al., 2000]

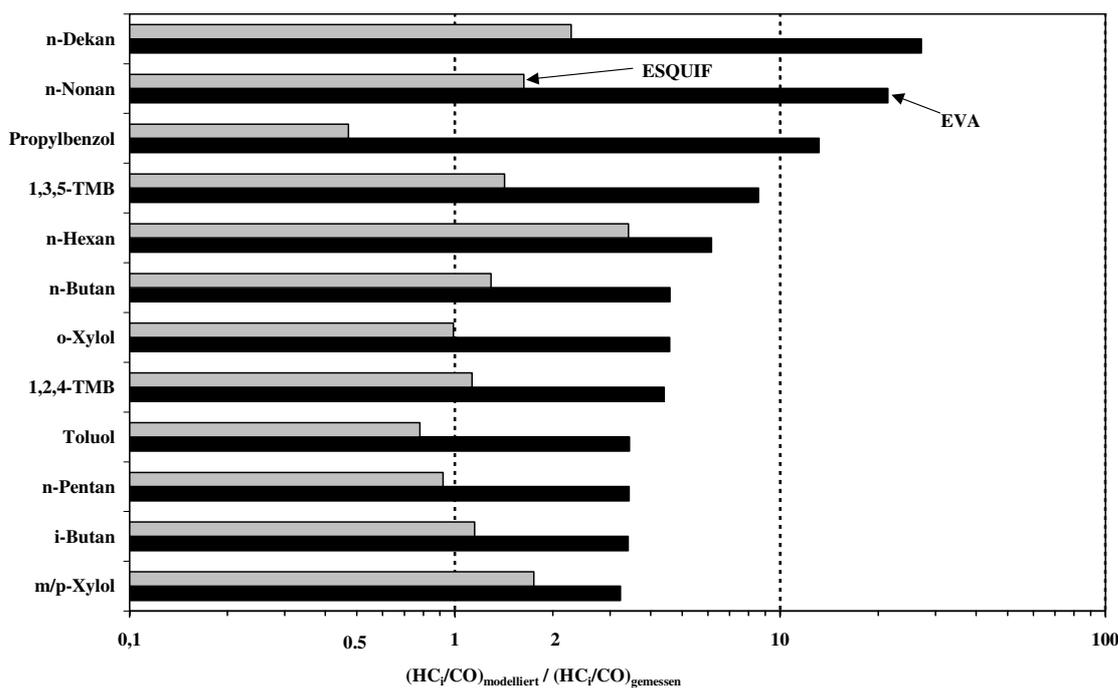
Stoffklasse	Inlandsverbrauchsmengen		Abweichung	
	[t]			[%]
	Lösemittelindustrie	eigene Abschätzung		
Aliphaten	<b>300.000</b>	<b>279.794</b>	<b>-6,7</b>	
Aromaten	<b>250.000</b>	<b>286.452</b>	<b>+14,6</b>	
Terpene		<b>10.304</b>		
Halogenkohlenwasserstoffe	<b>35.000</b>	<b>34.730</b>	<b>-0,8</b>	
Alkohole	<b>360.000</b>	<b>315.649</b>	<b>-12,3</b>	
- Ethanol	50.000	84.808		
- Isopropanol	250.000	143.727		
- n-Propanol	40.000	191		
- n-/i-Butanol	10.000	56.138		
Glykolderivate	<b>75.000</b>	<b>78.160</b>	<b>+4,2</b>	
Ester	<b>75.000</b>	<b>76.047</b>	<b>+1,4</b>	
Ketone	<b>60.000</b>	<b>61.074</b>	<b>+1,8</b>	
Ether	<b>30.000</b>	<b>29.309</b>	<b>-2,3</b>	
Aldehyde		172		
Organische Säuren		816		
Weichmacher		225.224		
Sonstige NMVOC		64.988		
Gesamt (Summe der fettgedruckten Stoffklassen)	<b>1.185.000</b>	<b>1.161.215</b>	<b>-2,0</b>	

### 6.5.2 Evaluierungsexperimente

Bei Evaluierungsexperimenten werden berechnete Immissionen von Einzelstoffen mit gemessenen Immissionen verglichen. Sie dienen dazu, zu überprüfen, wie stark das jeweilige Emissionsmodell von der Realität abweicht. Bild 6-2 und Bild 6-3 zeigen die Resultate von zwei sogenannten Stadtexperimenten in Paris, Frankreich (ESQUIF: Etude et Simulation de la QUALité de l'air en Ile de France ) [Vautard et al., 2003], und Augsburg, Deutschland (EVA: EValuierungsexperiment Augsburg) [Kühlwein et al., 2002], [Manschreck, 2000]. In Augsburg (EVA) wurde das Experiment im März und Oktober 1998 durchgeführt, in Paris (ESQUIF) im Sommer 1999. Auf der Abszisse ist in beiden Abbildungen das Verhältnis der modellierten zu den gemessenen Konzentrationen, jeweils im Verhältnis zu den modellierten bzw. gemessenen CO-Konzentrationen aufgetragen. Bild 6-2 zeigt eine relativ gute Übereinstimmung der gemessenen zu den modellierten Konzentrationen in beiden Experimenten. Die Diskrepanz von gemessenen zu modellierten Werten beträgt maximal Faktor 2. Lediglich bei Propan ist im ESQUIF-Experiment die Abweichung größer (Faktor 3). Ein Grund dafür könnte die Unterschätzung der Emissionen aus Flüssiggasheizungen sein. Bild 6-3 zeigt, dass sich die Abweichungen im ESQUIF-Experiment auch für die hier betrachteten Stoffe in derselben Größenordnung wie in Bild 6-2 bewegen. Im EVA-Experiment wurden jedoch teilweise erheblich größere Abweichungen (bis zu Faktor 27) zwischen modellierten und gemessenen Konzentrationen festgestellt. Insbesondere die Komponenten n-Dekan und n-Nonan entstammen hauptsächlich der Verwendung von Testbenzinen als Lösemittel. Die Komponenten Propylbenzol und 1,3,5-Tri-methylbenzol entstammten zum Teil Testbenzinen, jedoch zum Teil auch der Quellgruppe Verkehr. Die Gründe für diese erheblichen Abweichungen konnten bisher nicht erklärt werden. Hier besteht in Zukunft noch erheblicher Forschungsbedarf.



**Bild 6-2:** Ergebnisse der Stadtexperimente in Augsburg, Deutschland (EVA) [Kühlwein et al., 2002] und Paris, Frankreich (ESQUIF) [Vautard et al., 2003]



**Bild 6-3:** Ergebnisse der Stadtexperimente in Augsburg, Deutschland (EVA) [Kühlwein et al., 2002] und Paris, Frankreich (ESQUIF) [Vautard et al., 2003]

Insbesondere sollten bei zukünftigen Experimenten auch sauerstoffhaltige organische Verbindungen gemessen werden und Vorexperimente zum Verdampfungs- und Depositionsverhalten von höhermolekularen Kohlenwasserstoffen (z. B. n-Dekan) oder höhersiedenden Kohlenwasserstoffgemischen durchgeführt werden.

## 6.6 Unsicherheiten bei der stofflichen Auflösung von Lösemittlemissionen

Eine sehr breite Streuung weisen die Unsicherheiten der stofflichen Disaggregation von Lösemittlemissionen für die verschiedenen Emittentenbereiche bzw. Anwendungsbereiche von Lösemitteln auf. Die Zusammensetzung der NMVOC-Emissionen für die mengenmäßig bedeutendsten Anwendungsbereiche von Lösemitteln ist dabei detaillierter bekannt, als dies für eine Reihe kleinerer Anwendungsbereiche der Fall ist. Die Auflösung der Lösemittlemissionen nach Einzelsubstanzen bzw. Stoffklassen, z. B. entsprechend der chemischen Struktur der Verbindungen in Alkane, Aromaten, Alkohole usw. erfolgt anhand von Angaben über die Zusammensetzung der Lösemittel bzw. die flüchtigen Inhaltsstoffe lösemittelhaltiger Erzeugnisse. Die Bewertung der Unsicherheiten der stofflichen Disaggregation von Lösemittlemissionen sollte weniger auf die Ermittlung von Einzelkomponenten abzielen, sondern mehr auf die Ausweisung von Stoffklassen, wie sie als Input für gängige Chemiemodule in Chemie-Transport-Modellen benötigt werden. Als Beispiel sei hier die Einteilung in insgesamt 32 Stoffklassen gemäß [Middleton, 1990] herangezogen. Eine gewichtete Zusammenführung der Einzelbewertungen führt im Falle der stofflichen Disaggregation zu Unsicherheiten, die als durchschnittlich zu bewerten sind. Als Bewertungsmaßstab wird hier die auf den Einsatz von Chemie-Transport-Modellen orientierte Bildung bestimmter Speziesklassen herangezogen. Die Unsicherheiten in der Ausweisung von Einzelstoffen sind als wesentlich größer zu beurteilen.

## 7 Referenzszenario für 2010

### 7.1 Projektion von Emissionen für zukünftige Jahre

Da Minderungsstrategien nicht sofort ihre Wirkung entfalten, sondern erst in der Zukunft, da gewisse Zeiträume zur Implementierung der entsprechenden Minderungsmaßnahmen benötigt werden, ist es sinnvoll, Minderungspotenziale für ein zukünftiges Referenzjahr zu berechnen. Dazu wird in diesem Kapitel ein Referenzszenario entwickelt, in dem die Entwicklung der Aktivitäten anhand von Indizes über Wirtschaftsentwicklung, Bevölkerungsentwicklung, Bautätigkeit usw. projiziert wird. Die in Kapitel 5 bei der Berechnung der Emissionen für das Bezugsjahr 2000 ermittelte Emittentenstruktur der zu untersuchenden Quellgruppen bildet die Basis für die Entwicklung des Referenzszenarios der NMVOC-Emissionen für 2010. Zur Ermittlung der Indikatoren wird der PROGNOS Deutschland Report [PROGNOS, 2002] herangezogen. Bei der Abschätzung der Auswirkungen von schon existierenden gesetzlichen Maßnahmen, die bis 2010 umgesetzt sein werden, werden die nationale Umsetzung der 31. BImSchV [31. BImSchV, 2001] sowie die am 30. April 2004 im Amtsblatt der Europäischen Union veröffentlichte DECOPAINT-Richtlinie [DECOPAINT, 2004] berücksichtigt. Diese Richtlinie wurde am 23.12.2004 als Chemikalienrechtliche Verordnung [ChemVOCFarbV, 2004] in deutsches Recht umgesetzt.

#### 7.1.1 Erstellung des Szenarios „konstante Emissionsfaktoren“ für 2010 (KE2010)

Zunächst wird ein Szenario unter Annahme konstanter Emissionsfaktoren erstellt. Grundlage dieses Szenarios ist die Entwicklung der Aktivitätsindizes  $A_i$  der einzelnen Quellgruppen. Die Aktivitätsindizes werden dem Deutschland Report der PROGNOS AG [PROGNOS, 2002] entnommen. In diesem Szenario werden noch keine Minderungsmaßnahmen betrachtet. Es wird angenommen, dass die Lösemittelgehalte und Emissionsfaktoren bis 2010 konstant bleiben.

#### 7.1.2 Erstellung des Referenzszenarios für 2010 (REF2010)

Im Folgenden werden die voraussichtlichen Auswirkungen abgeschätzt, die durch die Implementierung der 31. BImSchV [31. BImSchV, 2001] und der ChemVOCFarbV [ChemVOCFarbV, 2004] zu erwarten sind.

Dazu wird zunächst geprüft, welche Anwendungsbereiche betroffen sein werden. Die 31. BImSchV [31. BImSchV, 2001] hat ausschließlich Auswirkungen auf anlagenbezogene Anwendungsbereiche. Die betroffenen Anlagen und anlagenbezogenen Tätigkeiten sind in Anhang I der 31. BImSchV [31. BImSchV, 2001] festgelegt, mitsamt der entsprechenden Schwellenwerte bezüglich des jährlichen Lösemittelverbrauchs, ab dem sie erfasst werden. In Anhang II der 31. BImSchV [31. BImSchV, 2001] werden die Tätigkeiten genau definiert. Anhand dieser Angaben kann unter Berücksichtigung der festgelegten Schwellenwerte der Erfassungsgrad EG abgeschätzt werden. Auf Grundlage der speziellen Anforderungen an die erfassten Anlagen bzw. Tätigkeiten, die Anhang III der 31. BImSchV [31. BImSchV, 2001] zu entnehmen sind, ist es möglich, einen voraussichtlichen Minderungsgrad MG abzuschätzen, um den sich die spezifischen Emissionen der erfassten Anlagen bzw. anlagenbezogenen Tätigkeiten bis 2010 mindern werden. Dabei wird davon ausgegangen, dass die Umsetzung der 31. BImSchV [31. BImSchV, 2001] bis 2007 weitgehend abgeschlossen sein wird und im Jahr 2010 der durch sie zu erreichende maximale Minderungsgrad MG in jedem Fall erreicht sein wird.

Die sektoral hochaufgelösten Emissionen  $E_{2010, \text{Referenzszenario}}$  des Referenzszenarios werden mit Hilfe von Gleichung (7-1) berechnet.

(7-1)

$$E_{2010, \text{Referenzszenario}} = E_{2000} \times A_i \times (1 - EG \times MG)$$

$E_{2000}$ : Emissionen für das Bezugsjahr 2000  
 $A_i$ : Aktivitätsindex 2010/2010  
 EG: Erfassungsgrad durch die 31. BImSchV [31. BImSchV, 2001]  
 MG: voraussichtlicher Minderungsgrad durch die 31. BImSchV [31. BImSchV, 2001]

(7-2)

$$MG = \frac{EF_{2010}}{EF_{2000}}$$

$EF_{2000}$ : für das Bezugsjahr 2000 angenommener Emissionsfaktor  
 $EF_{2010}$ : Maximaler Grenzwert für diffuse Emissionen auf Grundlage der 31. BImSchV

Der Minderungsgrad wird auf Grundlage der in der 31. BImSchV [31. BImSchV, 2001] festgelegten Grenzwerte für diffuse Emissionen entsprechend (7-2) berechnet. Damit ergeben sich die Emissionen des Referenzszenarios 2010 für die einzelnen von der 31. BImSchV erfassten Anwendungsbereiche. Die sektoral hoch aufgelösten Ergebnisse sind Tabelle A1 auf Seite 187 des Anhangs zu entnehmen. In den folgenden Abschnitten wird die Berechnung des Referenzszenarios an exemplarischen Beispielen, das heißt den Druckanwendungen, Klebstoffanwendungen sowie der Metallentfettung gezeigt. Die mindernde Wirkung der Implementierung der „Chemikalienrechtliche Verordnung zur Begrenzung der Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen (VOC) durch Beschränkung des Inverkehrbringens lösemittelhaltiger Farben und Lacke“ (ChemVOCFarbV) [ChemVOCFarbV, 2004] wird in Abschnitt 7.5 betrachtet.

## 7.2 Exemplarische Berechnung des Referenzszenarios für Druckanwendungen

### 7.2.1 Szenario „konstante Emissionsfaktoren“ für 2010

Zur Erstellung des Referenzszenarios 2010 für die Quellgruppe Druckanwendungen wird zunächst ein Szenario berechnet, in dem nur die sektorspezifische Entwicklung auf Grundlage sozioökonomisch abgeleiteter Aktivitätsindizes berücksichtigt wird. Die Entwicklung der Aktivitätsindizes wird auf Grundlage des Deutschland-Reports 2002 der PROGNOSE AG [PROGNOS, 2002] berechnet. In Tabelle 7.1 werden den verschiedenen Druckanwendungen zunächst entsprechende Aktivitätsindizes zugeordnet sowie die daraus resultierenden Emissionen berechnet. Tabelle 7.1 lässt ohne weitere Minderungsmaßnahmen aufgrund der erwarteten prosperierenden Entwicklung des Druckgewerbes und des verarbeitenden Gewerbes einen Anstieg der Lösemittelmmissionen aus Druckanwendungen in Deutschland um etwa 21% bis 2010 erwarten.

**Tabelle 7.1:** Szenario für 2010 unter Berücksichtigung der Entwicklung sektorspezifischer sozioökonomischer Aktivitätsindizes für die Quellgruppe „Anwendung von Druckfarben, Künstlerfarben, Tinten und Tuschen“

Anwendung/Sektor	Aktivitätsindex	Index 2010/2000 [%]	Emissionen 2010 [t]
Illustrationstiefdruck	Branchenumsatz Papier-, Verlags-, und Druckgewerbe	119,18	9 663
Coldsetoffsetdruck			2.836
Bogenoffsetdruck			21.763
UV-Bogenoffsetdruck			150
Heatsetoffsetdruck			13.110
Endlosoffsetdruck			1.419
Buchdruck			242
Verpackungstiefdruck			13.687
Verpackungsflexodruck			6 866
Siebdruck			13.446
andere Druckanwendungen			Branchenumsatz Verarbeitendes Gewerbe
Anwendung von Künstlerfarben	Bevölkerung	100,16	325
Anwendung von Tinten und Tuschen	Bevölkerung	100,16	444
<b>Summe</b>			<b>119.897</b>

### 7.2.2 Emissionsminderungspotenziale durch die Umsetzung der 31. BImSchV

Tabelle 7.2 zeigt, welche Drucktechniken bzw. Drucktätigkeiten in Deutschland von der 31. BImSchV [31. BImSchV, 2001] erfasst sind und welche nicht. Die Emissionsmengen beziehen sich auf das Jahr 2000 in Deutschland, wie sie in Tabelle A.5.8 auf Seite 44 berechnet wurden.

Die Angaben über die Anzahl der Betriebe im Bezugsjahr 1999 ist [Jepsen et al., 1999] entnommen. Es handelt sich dabei um grobe Schätzungen, insbesondere bei der Aufteilung der Verpackungsdruckbetriebe in von der 31. BImSchV [31. BImSchV, 2001] erfasste und nicht erfasste Betriebe. Folgende Druckanwendungen sind von der 31. BImSchV [31. BImSchV, 2001] erfasst:

- Illustrationstiefdruck (Schwellenwert Lösemittelverbrauch: 25 t/a),
- Heatsetoffsetdruck (Schwellenwert Lösemittelverbrauch: 15 t/a),
- Verpackungstiefdruck (Schwellenwert Lösemittelverbrauch: 15 t/a),
- Verpackungsflexodruck (Schwellenwert Lösemittelverbrauch: 15 t/a),
- Siebdruck (Schwellenwert Lösemittelverbrauch: 15 t/a).

Alle Offsetdruckverfahren, außer dem Heatsetoffsetdruck, werden nicht von der 31. BImSchV [31. BImSchV, 2001] erfasst. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Druckfarben lösemittelfrei sind und Lösemittel lediglich im Verlauf des Druckprozesses im Wischwasser bzw. bei

Reinigungsvorgängen eingesetzt werden. Nur der Heatsetoffsetdruck wird erfasst, da hier die Trocknungstemperaturen so hoch sind, dass die in der Druckfarbe enthaltenen Mineralöle einen größeren Dampfdruck als 10 Pa haben und somit unter die VOC-Definition fallen. Tabelle 7.2 zeigt, dass im Illustrationstiefdruck, Heatsetoffsetdruck und Verpackungstiefdruck alle Anlagen die Schwellenwerte überschreiten und damit vollständig von der 31. BImSchV [31. BImSchV, 2001] erfasst werden. Es ist weiterhin zu sehen, dass weniger als 10% Verpackungsflexodruckanlagen von der 31. BImSchV [31. BImSchV, 2001] erfasst werden, da die meisten Anlagen den Schwellenwert für den Lösemittelverbrauch von 15 t/a nicht erreichen. Tabelle 7.2 macht deutlich, dass nur etwa 3% der druckindustriellen Anlagen von der 31. BImSchV [31. BImSchV, 2001] erfasst werden. Diese Anlagen verursachen jedoch etwa die Hälfte der Emissionen aus druckindustriellen Anwendungen. Es wird außerdem angenommen, dass etwa die Hälfte der Emissionen aus „anderen Druckanwendungen“ von der 31. BImSchV [31. BImSchV, 2001] erfasst werden. Der Einsatz von Künstlerfarben, Tinten und Tuschen ist von der 31. BImSchV [31. BImSchV, 2001] nicht erfasst. Damit ergibt sich das in Tabelle 7.3 dargestellte Referenzszenario für die Lösemittelmmissionen aus Druckanwendungen im Bezugsjahr 2010 in Deutschland unter Berücksichtigung der Implementierung der 31. BImSchV [31. BImSchV, 2001]. Tabelle 7.3 zeigt, dass durch die Implementierung der 31. BImSchV [31. BImSchV, 2001] die Lösemittelmmissionen bis 2010 nur geringfügig gemindert werden. Es wird durch die Implementierung der 31. BImSchV [31. BImSchV, 2001] lediglich ein erheblicher Anstieg der Emissionen vermieden. 2000 wurden etwa 99.431 t Lösemittel aus Druckanwendungen emittiert..

**Tabelle 7.2:** Erfassung der druckindustriellen Anwendungen durch die Implementierung der 31. BImSchV [31. BImSchV, 2001] (Berechnungen auf Grundlage von [Jepsen et al., 1999])

Druckindustrielle Anwendung	von der 31. BImSchV erfasst		von der 31. BImSchV nicht erfasst	
	Emissionen 2000 [t]	Anzahl Betriebe	Emissionen 2000 [t]	Anzahl Betriebe
Illustrationstiefdruck	8.108	16		
Coldsetoffsetdruck			2.380	200
Bogenoffsetdruck			18.387	11.000
Heatsetoffsetdruck	11.000	160		
Endloffsetdruck			1.191	250
Buchdruck			203	2
Verpackungstiefdruck	11.484	100		
Verpackungsflexodruck	4.941	150	820	1.500
Siebdruck			11.282	550
Summe	35.533	426	34.263	13.502
Anteil	51%	3,1%	49%	96,9%

**Tabelle 7.3:** Referenzszenario 2010 unter Berücksichtigung der Implementierung der 31. BImSchV bis 2010 [31. BImSchV, 2001]

Anwendung/Sektor	Erfassungsgrad durch 31. BImSchV [%]	Minderungsgrad durch 31. BImSchV [%]	Referenzszenario 2010 [t]
Illustrationstiefdruck	100 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	9.663
Coldsetoffsetdruck	0	0	2.836
Bogenoffsetdruck	0	0	21.763
UV-Bogenoffsetdruck	0	0	150
Heatsetoffsetdruck	100	25	9.832
Endlosoffsetdruck	0	0	1.419
Buchdruck	0	0	242
Verpackungstiefdruck	100	30	9.581
Verpackungsflexodruck	86	40	4.504
Siebdruck	0	0	13.446
andere Druckanwendungen	50	70	23.365
Anwendung von Künstlerfarben	0	0	325
Anwendung von Tinten und Tuschen	0	0	444
<b>Summe</b>			<b>97.570</b>

- a. Illustrationstiefdruckanlagen sind schon seit vielen Jahren genehmigungsbedürftig entsprechend der 4. BImSchV [4. BImSchV, 1999] und werden vollständig von der 31. BImSchV [31. BImSchV, 2001] erfasst. Daher ist kein weiteres Minderungspotenzial durch die Implementierung der 31. BImSchV zu erwarten und es ergibt sich bei 100%igem Erfassungsgrad der Illustrationstiefdruckanlagen ein voraussichtlicher Minderungsgrad von 0%.

### 7.3 Exemplarische Berechnung des Referenzszenarios für Klebstoffanwendungen

#### 7.3.1 Szenario „konstante Emissionsfaktoren“ für 2010

Zur Erstellung des Referenzszenarios 2010 für die Quellgruppe Anwendung von Klebstoffen und Haftmaterialien wird zunächst ein Szenario berechnet, in dem nur die sektorspezifische Entwicklung auf Grundlage sozioökonomisch abgeleiteter Aktivitätsindizes berücksichtigt wird. Die Entwicklung der Aktivitätsindizes wird auf Grundlage des Deutschland-Reports 2002 der PROGNOSE AG [PROGNOS, 2002] berechnet.

**Tabelle 7.4:** Szenario für 2010 unter Berücksichtigung der Entwicklung sektorspezifischer sozioökonomischer Aktivitätsindizes für die Quellgruppe Anwendung von Klebstoffen inklusive Dispersionsklebstoffen

FEICA-Sektor	Aktivitätsindex	Aktivitätsindex 2010/2000 [%]	Emissionen 2010 [t]
Papier & Verpackung	Branchenumsatz Papier-, Verlags- und Druckgewerbe	119,18	1.924
Bau	Marktvolumen Baugewerbe	104,76	3.379
Holz & Möbel	Branchenumsatz Holzgewerbe	94,12	2.784
Transport	Branchenumsatz Fahrzeugbau	141,63	3.534
Schuh	Branchenumsatz Textil- und Bekleidungsgewerbe	96,15	6.503
Do-It-Yourself	Bevölkerung	100,16	3.927
Montage	Branchenumsatz Verarbeitendes Gewerbe	124,52	1.920
Primer, Verdünner und Untergrundvorbehandler	Mittlerer Aktivitätsindex über alle FEICA-Sektoren	106,45	928
<b>Summe</b>			<b>24.899</b>

Tabelle 7.4 lässt ohne weitere Minderungsmaßnahmen aufgrund der projizierten Entwicklung der Aktivitäten einen Anstieg der Lösemittlemissionen aus der Anwendung von Klebstoffen in Deutschland um etwa 6,5% bis 2010 erwarten.

### 7.3.2 Minderungspotenziale durch die Umsetzung der 31. BImSchV

Auf Grundlage von Gleichung (7-2) ergeben sich die Emissionen des Referenzszenarios 2010 für die einzelnen Anwendungsbereiche der Quellgruppe „Anwendung von Klebstoffen und Haftmaterialien“. Das Ergebnis ist Tabelle 7.5 zu entnehmen. Es zeigt sich, dass bei vollständiger Implementierung der 31. BImSchV [31. BImSchV, 2001] mit einer Minderung der Lösemittlemissionen aus der Anwendung von Klebstoffen bis 2010 um etwa 27% gegenüber den Emissionsmengen 2000 zu rechnen ist. Die Minderung ist insbesondere abhängig vom Erfassungsgrad des jeweiligen FEICA-Sektors.

**Tabelle 7.5:** Referenzszenario 2010 unter Berücksichtigung der Implementierung der 31. BImSchV bis 2010 [31. BImSchV, 2001]

FEICA-Sektor	Erfassungsgrad durch 31. BImSchV [%]	Voraussichtlicher Minderungsgrad durch 31. BImSchV [%]	Emissionen Referenzszenario 2010 [t]
Papier & Verpackung	75	10	1.780
Bau	0	0	3.379
Holz & Möbel	50	80	1.670
Transport	50	75	2.209
Schuh	85	85	1.805
Do-It-Yourself	0	0	3.927
Montage	25	75	1.560
Primer, Verdünner und Untergrundvorbehandler	25	75	754
<b>Summe</b>			<b>17.084</b>

#### 7.4 Exemplarische Berechnung des Referenzszenarios für industrielle Metallentfettung

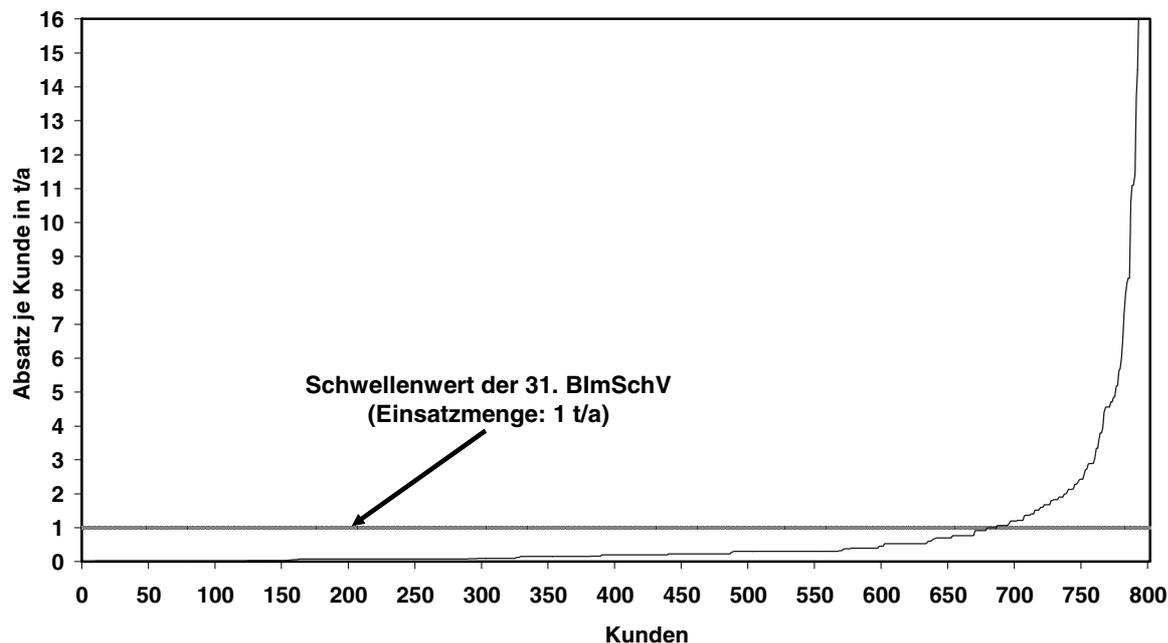
Für die industrielle Metallentfettung werden die prognostizierten Entwicklungen der Aktivitätsindizes für die Industriebranchen Metallerzeugung und -erzeugnisse sowie den Maschinenbau gemittelt. Daraus ergibt sich eine Erhöhung der Aktivitäten der industriellen Metallentfettung um 125,2% bis 2010 gegenüber 2000 [PROGNOS, 2002]. Dieser Faktor wird bei der Ermittlung des Szenarios, welches nur die Aktivitätsentwicklung berücksichtigt, ausschließlich für die Prognose der Emissionen der nichtchlorierten Lösemittel angewendet. Bezüglich der Entwicklung der Emissionen der chlorierten Lösemittel wird angenommen, dass sie insbesondere aufgrund von Substitutionsprozessen konstant bleiben werden. Damit würden 2010 ohne die Berücksichtigung der Implementierung der 31. BImSchV [31. BImSchV, 2001] etwa 7.172 t chlorierte Lösemittel emittiert werden und 13.311 t nichtchlorierte Lösemittel.

Um die Minderungspotenziale abzuschätzen, die durch die Implementierung der 31. BImSchV [31. BImSchV, 2001] voraussichtlich erreicht werden, ist es zunächst wichtig, die Anwenderstruktur zu betrachten, um zu sehen, wieviele Betriebe mit welchem Anteil am Gesamteinsatz an Reinigungsmitteln von der 31. BImSchV [31. BImSchV, 2001] betroffen sein werden.

#### Die Anwenderstruktur im Hinblick auf die 31. BImSchV

Im Rahmen eines Forschungsprojektes von [Öko, 1999] im Auftrag des Umweltbundesamtes wurden sechs Lösemittelhändler unterschiedlicher Größe in regionalen bzw. überregionalen Absatzgebieten befragt, die teils nur Handel mit Lösemitteln betrieben und teils selber formulierten. Die befragten Lösemittelhändler verkauften 1997 ungefähr 800 t KW-Reiniger an 802 Abnehmer. Die Absatzmenge pro Kunde betrug im Mittel 1 t.

Wie Bild 7-1 zeigt, lagen etwa 86% der Kunden unterhalb der Einsatzschwelle von 1 t. Der größte Kunde setzte 100 t/a Kohlenwasserstofflösemittel (KWL) ein.



**Bild 7-1:** Absatz von AII-AIII-KW-Reinigern in t je Kunde bei 6 Händler-Niederlassungen 1997 (802 Kunden; Absatz: 799 t) [Schwarz, 2000], [Öko, 1999]

**Tabelle 7.6:** Zahl der Verbraucher mit einer Einsatzmenge von weniger bzw. mehr als 1 t/a Kohlenwasserstofflösemitteln

Zahl der Kunden mit einer Einsatzmenge an KW-Reinigern von weniger bzw. mehr als 1 Tonne pro Jahr				
	Anzahl Kunden		KW-Reiniger-Einsatz	
	Menge	%	[t]	%
Einsatzmenge $\leq 1$ t/a	687	86	145	18
Einsatzmenge $> 1$ t/a	115	14	654	82
Summe	802	100	799	100

Tabelle 7.6 zeigt, dass 14% der KW-Verbraucher in der allgemeinen Metallentfettung bei dieser Stichprobe 82% der KW-Reiniger einsetzen. Es wird davon ausgegangen, dass die Erhebung repräsentativ für den deutschen Kohlenwasserstoff-Reinigermarkt ist. Der Anteil der befragten Händler am deutschen Kohlenwasserstoffmarkt betrug etwa 3%. In Deutschland werden damit nur etwa 14% der Betriebe, die industrielle Metallentfettung betreiben, von der 31. BImSchV [31. BImSchV, 2001] erfasst, aber etwa 82% der eingesetzten Kohlenwasserstoffreinigungsmittel.

### Minderungspotenziale durch die Umsetzung der 31. BImSchV

Im Folgenden werden die voraussichtlichen Auswirkungen abgeschätzt, die durch die Implementierung der 31. BImSchV [31. BImSchV, 2001] zu erwarten sind. Es wurde bisher ein Er-

fassungsgrad der in der industriellen Metallentfettung eingesetzten Lösemittel von etwa 82% hergeleitet. Die 31. BImSchV [31. BImSchV, 2001] schreibt einen Grenzwert für diffuse Emissionen von 20% für Anlagen vor, die mehr als eine Tonne und weniger als zehn Tonnen Lösemittel im Jahr verbrauchen. Diese Randbedingung gilt für die meisten erfassten Anlagen. Für diese Anlagen ist bis 2010 bei vollständiger Implementierung der 31. BImSchV [31. BImSchV, 2001] mit einer Minderung der Emissionen um etwa 55% zu rechnen. Bei der Abschätzung des Referenzszenarios wird diese Minderung nur auf die nichtchlorierten Lösemittel bezogen. Damit werden 2010 etwa 7.172 t chlorierte Kohlenwasserstoffe emittiert und 7.308 t nichtchlorierte Lösemittel.

### 7.5 Minderungspotenziale durch die Umsetzung der ChemVOC-FarbV

Bei der Umsetzung der ChemVOC-FarbV [ChemVOCFarbV, 2004] werden maximal zulässige Lösemittelgehalte für den gebrauchsfertigen Anstrichstoff für unterschiedliche Produktkategorien vorgeschrieben, wie in Tabelle 7.7 dargestellt. Es ist eine Umsetzung in zwei Phasen vorgesehen. Die Umsetzung der ersten Phase erfolgt ab 2007 und die der zweiten Phase ab 2010.

Die Implementierung der vorgegebenen Lösemittelgehalte für 2010 in das in dieser Arbeit entwickelte Emissionsmodell für die Anwendung von Farben und Lacken ergibt eine Minderung im Maler- und Lackiererhandwerk und bei Do-It-Yourself-Anwendungen von etwa 30% (etwa 26 kt/a) bis 2010 gegenüber dem Szenario „Konstante Emissionsfaktoren“ (KE2010) durch die Umsetzung der ChemVOC-FarbV [ChemVOCFarbV, 2004]. Die wesentlichen Minderungseffekte werden durch die Begrenzung der Lösemittelgehalte in Bautenlacken („trim paints“) und Lasuren sowie Grundierungen und Überzügen erreicht. Minderungseffekte durch die Implementierung der ChemVOC-FarbV [ChemVOCFarbV, 2004] in anderen Bereichen der Farb- und Lackanwendung können in Deutschland als vernachlässigbar betrachtet werden. Insbesondere ist davon auszugehen, dass die von der EU-Kommission erwarteten Minderungseffekte bei Innen- und Aussenwandanstrichen in Deutschland vernachlässigbar sind [DECOPAINT, 2002]. Sie machen den Hauptanteil, ungefähr 70%, der erwarteten Minderung für die EU 15 aus [DECOPAINT, 2002].

Daher erklärt sich im Wesentlichen auch die Diskrepanz zwischen der in dieser Arbeit und der in [EU, 2002] vorgenommenen Abschätzung der Minderungswirkung der ChemVOC-FarbV [ChemVOCFarbV, 2004]. In [EU, 2002] wird für Deutschland eine Minderungswirkung der DECOPAINT-Richtlinie [DECOPAINT, 2004] von etwa 62 kt bis 2010 gegenüber 2000 abgeschätzt. Weiterhin wird angenommen, dass auch bei der Verwendung von Korrosionsschutzanstrichen und Markierungsfarben die erwarteten Minderungen angesichts der auf dem Markt befindlichen Farb- und Lacksysteme als vernachlässigbar zu betrachten sind.

Die EU-Kommission schätzt die Kosten dieser Reduktion auf 387 € bis 563 € pro Tonne vermiedene Emissionsmenge [EU, 2002]. Bei der Berechnung der Kosten werden im Wesentlichen Mehrkosten der Rohstoffe zur Herstellung von Wasserlacken, für Forschungs- und Entwicklungsaufwand, sowie zusätzliche Investitions- und Fortbildungskosten in den Maler- und Lackiererbetrieben berücksichtigt. Die Minderungskosten sind je nach betrachteter Produktkategorie unterschiedlich. Für Deutschland ergeben sich durch die Umsetzung dieser Richtlinie damit Kosten zwischen 10,0 Mio. € und 14,6 Mio. € pro Jahr. Diesen Mehrkosten stehen positive Effekte, insbesondere bezüglich der menschlichen Gesundheit und nicht zuletzt für die Gesundheit der Maler und Lackierer gegenüber, z. B. weniger Fälle von OPS (Organisches Psycho-Syndrom) bei Malern und Lackierern [LIV, 2002].

**Tabelle 7.7:** Vorgaben der ChemVOC-FarbV [ChemVOCFarbV, 2004]

Farb- und Lackkategorie	Typ	Aktueller NMVOC- Gehalt	NMVOC- Gehalt Phase I	NMVOC- Gehalt Phase II
		g/l		
			ab 01.01.2007	ab 01.01.2010
Matte Beschichtungsstoffe (Glanzmaßzahl von $\leq 25$ Einheiten im 60° Mess- winkel) für Innenwände und -decken	wasserverdünnbar	125	75	30
	lösemittelverdünntbar	312	400	30
Glänzende Beschichtungsstoffe (Glanzmaßzahl von $> 25$ Einheiten im 60° Mess- winkel) für Innenwände und -decken	wasserverdünnbar	145	150	100
	lösemittelverdünntbar	312	400	100
Beschichtungsstoffe für Außenwände aus minerali- schen Baustoffen	wasserverdünnbar	110	75	40
	lösemittelverdünntbar	480	450	430
Beschichtungsstoffe für Holz-, Metall-, oder Kunst- stoffe für Bauwerke, ihre Bauteile und dekorativen Baulemente (innen und außen)	wasserverdünnbar	180	150	130
	lösemittelverdünntbar	400	400	300
Klarlacke und Lasuren für Bauwerke, ihre Bauteile und dekorativen Baulemente (innen und außen) einschließlich sogenannter deckender Lasuren	wasserverdünnbar	155	150	100
	lösemittelverdünntbar	600	500	400
Minimal filmbildende Lasuren	wasserverdünnbar	155	150	130
	lösemittelverdünntbar	750	700	700
Absperrende Grundbeschichtungsstoffe	wasserverdünnbar	165	50	30
	lösemittelverdünntbar	350	450	350
Verfestigende Grundbeschichtungsstoffe	wasserverdünnbar	125	50	30
	lösemittelverdünntbar	750	750	750
Einkomponenten-Speziallacke	wasserverdünnbar	160	140	140
	lösemittelverdünntbar	600	600	500
Zweikomponenten-Speziallacke	wasserverdünnbar	265	140	140
	lösemittelverdünntbar	500	550	500
Multicolorbeschichtungsstoffe	wasserverdünnbar	150	150	100
	lösemittelverdünntbar	400	400	100
Beschichtungsstoffe für Dekorationseffekte	wasserverdünnbar	300	300	200
	lösemittelverdünntbar	500	500	200

### 7.5.1 Auswirkungen der ChemVOC-FarbV auf das Maler- und Lackiererhandwerk

Keine der von der ChemVOC-FarbV [ChemVOCFarbV, 2004] Anwendungen wurde bisher im Hinblick auf die Verminderung von Lösemittlemissionen von gesetzlichen Regelungen erfasst. Daher werden im Folgenden die voraussichtlichen Auswirkungen näher betrachtet.

#### Strukturierung des Maler- und Lackiererhandwerks

Es gibt in Deutschland etwa 40.000 bis 50.000 Maler- und Lackierbetriebe [VCI, 1997]. Die durchschnittliche Betriebsgröße liegt bei ungefähr sechs Mitarbeitern pro Betrieb. Tabelle 7.8 zeigt am Beispiel Baden-Württembergs eine für ganz Deutschland typische Betriebsgrößenstruktur des Maler- und Lackiererhandwerks [LIV, 2002]. Tabelle 7.8 zeigt, dass etwa 80% der Maler- und Lackierbetriebe weniger als zehn Mitarbeiter beschäftigen. Es ist bei der Implementierung von Minderungsmaßnahmen wesentlich, dieses Branchenmerkmal zu berücksichtigen, da gerade kleine Betriebe einem erheblichen Kosten- und Arbeitsdruck ausgesetzt sind. Es ist sehr schwierig, für diese Betriebsgrößen personelle Kapazitäten für die notwendigen Umstellungen der Arbeitsabläufe bei der Implementierung lösemittelmindernder Maßnahmen zu schaffen. Hier sind die Lackproduzenten direkt gefordert, den Malerbetrieben entsprechende Hilfestellungen und Informationen zur Verfügung zu stellen. Dies ist insbesondere vor dem Hintergrund der Kostenstruktur eines Malerbetriebes wichtig. Etwa 57% der anfallenden Kosten sind Personalkosten, 26% andere Kosten und nur 17% Werkstoffkosten [LIV, 2002]. Dies zeigt, dass durch den Einsatz lösemittelärmerer Farb- und Lacksysteme aufgrund potenziell entstehender zusätzlicher Materialkosten keine wesentlichen negativen ökonomischen Konsequenzen für die betroffenen Maler- und Lackierbetriebe zu erwarten sind.

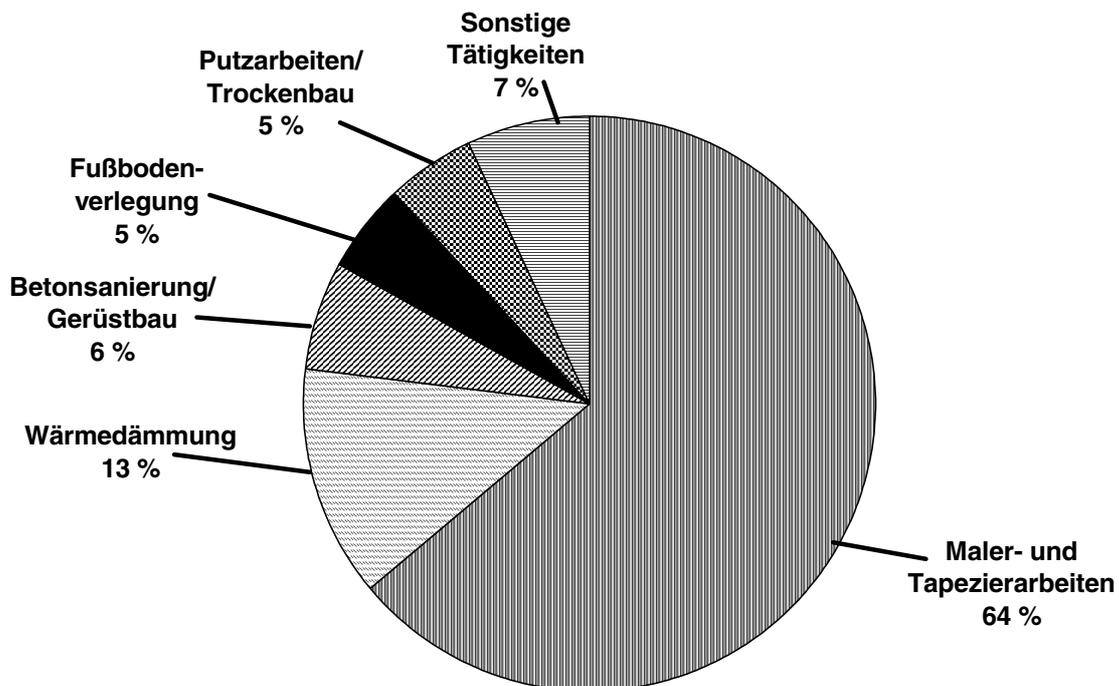
**Tabelle 7.8:** Betriebsgrößenstruktur des Maler- und Lackiererhandwerks in Baden-Württemberg [LIV, 2002]

Betriebsgrößenklasse	Beschäftigtenanteil [%]
Mitarbeiterzahl: 1-4	49
Mitarbeiterzahl: 5-9	30
Mitarbeiterzahl: 10-19	15
Mitarbeiterzahl: 20-49	5
Mitarbeiterzahl: >50	1

Häufig sind lösemittelärmere Systeme ergiebiger aufgrund ihres höheren Festkörpergehaltes. Dies kann sogar Kosten sparen. Das gilt vor allem für den Einsatz von wässrigen Systemen, da hier keine Verdüner mehr zur Reinigung der Arbeitsgeräte notwendig sind und damit Kosten für Beschaffung und Beseitigung oder Wiederaufbereitung des Verdüners entfallen. Die kritische Größe bei der Umsetzung von Minderungsmaßnahmen sind die Personalkosten. Hier können durch die notwendige Umstellung der Arbeitsweise erhebliche Zusatzkosten für die Betriebe entstehen, wenn sie keine Unterstützung von außen erfahren. Zusätzlich zur Verwendung lösemittelärmerer Lacksysteme ist es auch möglich, emissionsmindernde Maßnahmen mit Hilfe innovativer Applikationstechniken zu implementieren. Dadurch können zum Teil erhebliche Arbeitszeitmengen und damit Personalkosten eingespart werden (z. B. [NESPRI, 2003]). Doch bei der Implementierung und Markteinführung solcher Systeme müssen zunächst alte Gewohnheiten durchbrochen werden.

## Typisierung der unterschiedlichen Prozesse bei der Anwendung von Farben und Lacken im Maler- und Lackiererhandwerk

Bild 7-2 zeigt am Beispiel Baden-Württembergs, dass etwa zwei Drittel des Umsatzes im Maler- und Lackiererhandwerk bei Maler- und Tapezierarbeiten generiert werden. 82% des Umsatzes werden bei Renovierungen erzielt, 18% bei Neubauarbeiten [LIV, 2002].



**Bild 7-2:** Strukturierung des Maler- und Lackiererhandwerks in Tätigkeitsbereiche nach Umsatzanteil [LIV, 2002]

Sehr wichtig für die Identifizierung, Quantifizierung und Bewertung von Minderungspotenzialen im Maler- und Lackiererhandwerk ist die Typisierung der verschiedenen Untergründe und der zu ihrer Beschichtung verwendeten Farb- und Lacksysteme [Stuttgart, 2001]. Dabei ist festzuhalten, dass Bautenlacke und Bautenfarben zum Schutz und für die farbige Gestaltung von neuen und schon beschichteten bzw. alten Bauteilen (Instandsetzung) verwendet werden. Ungefähr 70% bis 80% der verwendeten Beschichtungssysteme wird bei Instandsetzungsarbeiten verbraucht [TIF, 2000]. Im Folgenden wird eine Typisierung der in der Praxis auftretenden Untergründe vorgenommen [Bartholemy, 2001]:

- **Mineralische Untergründe (Putz, Beton, Mauerwerk usw.)**

Für die Beschichtungen werden überwiegend Kunststoffdispersionsfarben und -putze mit sehr geringen Lösemittelgehalten (< 5%, bei Innenfarben kleiner 0,1% bis 2%) eingesetzt. Diese Beschichtungen erfordern bei kreichenden bzw. saugfähigen Untergründen oftmals penetrierende Polymerisatharzgrundierungen in Lösung mit hohem Lösemittelgehalt (80% bis 90% Lösemittelanteil). Bei geeignetem Untergrund und geeigneten klimatischen Bedingungen werden auch Anstriche und dünnlagige Putze auf der Basis von Kombinationen aus Wasserglas (Kaliumsilikat) und Kunststoffdispersionen eingesetzt. Bei geringen Verarbeitungstemperaturen, das heißt unter 5°C, müssen Beschichtungsstoffe auf Basis lösemittelhaltiger Polymerisatharze mit

hohem Lösemittelanteil eingesetzt werden, die auch als Isolierfarben eingesetzt werden. Für Fußbodenbeschichtungen oder hoch beanspruchte Beschichtungen in Behältern, für Abdichtungen u. ä. müssen je nach Anforderung zum Teil lösemittelhaltige Reaktionsharzbeschichtungsstoffe auf Basis von Epoxidharzen oder Polyurethanen eingesetzt werden. Diese sind nur zum Teil durch wasserverdünnbare Reaktionsharzsysteme substituierbar.

- **Metalle (Stahl, Eisen, Aluminium, Zink, Kupfer usw.)**

Für den Korrosionsschutz von Eisenmetallen im Außenbereich sind für die Grundbeschichtung aufgrund der Haftfestigkeit und der klimatischen Bedingungen fast nur lösemittelhaltige Beschichtungsstoffe geeignet. Bei günstigem Klima und normalen Anforderungen werden für Zwischen- und Schlussbeschichtungen auch wasserverdünnbare Dispersions- bzw. Emulsionsbeschichtungsstoffe verwendet. Gewöhnliche Korrosionsschutzbeschichtungen bestehen aus lösemittelbasierten Alkydharzlacken bzw. -grundierungen mit einem Lösemittelanteil von 30% bis 40%. Bei hohen Beanspruchungen, sogenanntem schwerem Korrosionsschutz, werden die Beschichtungen in der Regel mit lösemittelhaltigen Reaktionsharzbeschichtungsstoffen auf Basis von Epoxid- oder Polyurethanharzen ausgeführt. Nichteisenmetalle werden nur bei dekorativen Anforderungen mit wässrigen Dispersionsfarben bzw. Dispersionslackfarben beschichtet. Bei funktionellen Anforderungen oder bestimmten Nichteisenmetallen wie z. B. Kupfer oder anodisiertem Aluminium, müssen spezielle lösemittelbasierte Haftgrundierungen eingesetzt werden. Verzinkte Stahlbauteile im Außenbereich werden zum Teil mit Beschichtungen aus lösemittelhaltigen Mischpolymerisatharzfarben mit bis zu 60% Lösemittelanteil geschützt. In trockenen Innenräumen wird der Korrosionsschutz bzw. die farbige Gestaltung von Metallbauteilen durch wasserverdünnbare Dispersionslackfarben durchgeführt. Dies gilt nicht für Metallflächen, die durch Weichmacher aus Dichtungen oder Fett und Schweiß (Türen, Handläufe usw.) belastet werden. Solche Bauteile werden mit Alkydharz- bzw. Reaktionsharzbeschichtungsstoffen, z. B. Polyurethanharzen beschichtet.

- **Holz und Holzwerkstoffe**

Nicht maßhaltige Bauteile im Außenbereich werden überwiegend mit Dispersionslacken beschichtet, die einen Lösemittelanteil von bis zu 10% haben. Bei Bauteilen, die stark der Witterung ausgesetzt sind, wird eine imprägnierende, lösemittelbasierende Grundierung mit einem Lösemittelanteil von 80% bis 85% auf den unbeschichteten Weichhölzern und saugfähigen Holzwerkstoffen verwendet. Lasuren werden sowohl als wasserfreie Produkte auf Basis von Alkydharzen als auch als Dispersionslasuren auf der Basis von Acrylaten verwendet. Teilweise werden auch Acrylat-/Alkydharz-Mischsysteme als Bindemittel eingesetzt. Aufgrund von Beanspruchungen mechanischer und chemischer Art sowie der Anforderungen an die gute Dekontaminierbarkeit müssen die Beschichtungen in Innenräumen überwiegend mit lösemittelbasierenden Lacksystemen ausgeführt werden. Parkettversiegelungen, Holztreppebeschichtungen u. ä. Anwendungsfälle werden nur bei üblichen Belastungen, das heißt geringer Frequentierung und wenn es sich nicht um Tanzflächen handelt, mit wasserbasierenden Dispersionslacken mit einem Lösemittelanteil von bis zu 10% versiegelt. Auf mechanisch hoch beanspruchten Flächen werden lösemittelbasierende Reaktionsharzlacke auf Basis von Polyurethanen eingesetzt.

- **Kunststoffe und Altlackierungen**

Diese Oberflächen sind häufig problematisch, sodass meist nur mit lösemittelbasierenden Polymerisatharz- bzw. Reaktionsharzlacksystemen hinreichende Haftfestigkeit, Elastizität und Weichmacherbeständigkeit erreicht wird. Bei nur geringer Beanspruchung und entsprechender Untergrundvorbehandlung sowie Verträglichkeit können Kunststoffoberflächen und Altlackierungen auch mit wasserhaltigen Dispersionslacksystemen lackiert werden.

- **Tapeten, Papier, Karton u. ä.**

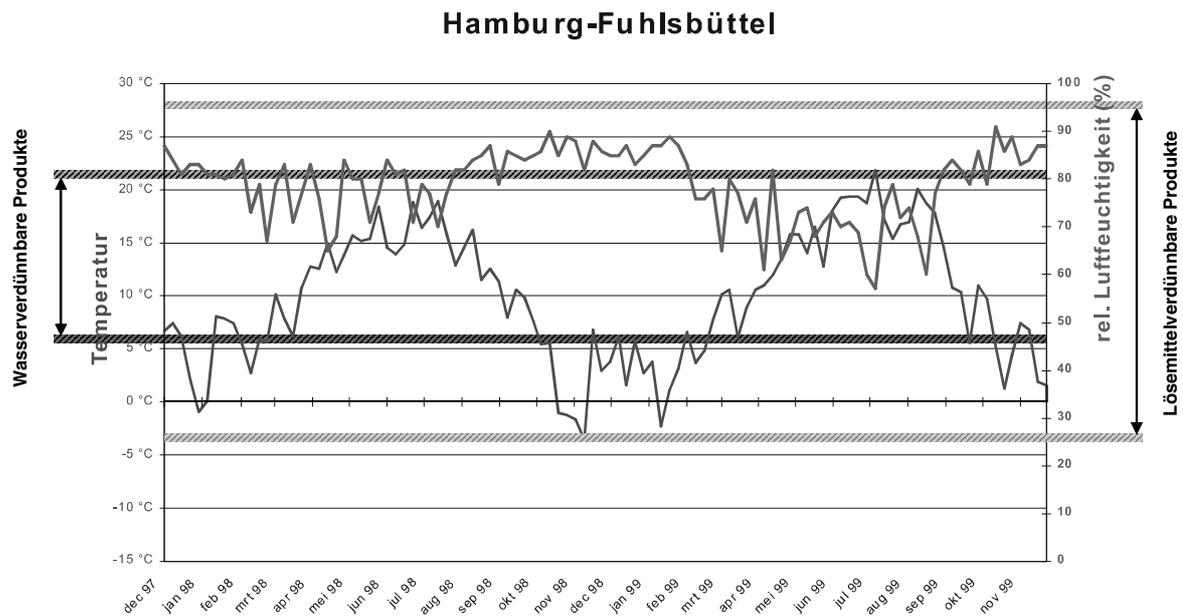
Ein erheblicher Anteil der Bautenfarben und ein geringerer Anteil der Bautenlacke wird in Innenräumen für die Beschichtung von Tapeten, vor allem Rauhfaseruntergründen und Gipskarton eingesetzt. Es handelt sich hierbei überwiegend um lösemittelarme Dispersionsfarben mit einem Lösemittelanteil von 0,1% bis 2% oder Kombinationen aus Wasserglas und Kunststoffdispersion, den sogenannten Dispersionsilikatfarben.

Über die ChemVOC-FarbV [ChemVOCFarbV, 2004] hinaus gibt es noch weitere Minderungspotenziale bei der Reinigung von Applikationsgeräten [Ondratschek, 1999] sowie bei der Verbesserung des Auftragwirkungsgrades [NESPRI, 2003]. Für die manuellen und automatisierten Reinigungsarbeiten mit Lösemitteln an den Lackapplikationsgeräten und -anlagen verbessert sich das Angebot an Handhabungshilfen und technischen Einrichtungen. Durch dichte Auffangvorrichtungen und geschlossene Reinigungsgeräte mit effektiver Reinigungswirkung kann das unkontrollierte Abdunsten der Lösemittel bzw. der Lösemittelleinsatz selbst deutlich reduziert werden [Ondratschek, 1999]. In einem anderen Forschungsprojekt wurden Maßnahmen zur oversprayarmen Airless-Spritzlackierung von Fassaden erarbeitet, die damit auch einen reduzierten Lack- und Lösemittelleinsatz ermöglichen. Unter Mitwirkung von Malerbetrieben, Spritzgeräte- und Lackherstellern sowie den Universitäten Kaiserslautern und Stuttgart wurden gute Ansätze zur Realisierung extrem hoher Auftragswirkungsgrade erarbeitet [NESPRI, 2003]. In diesem Vorhaben wurden zwar Systeme mit einem extrem niedrigen Lösemittelgehalt verwendet, prinzipiell lässt sich diese technische Innovation jedoch nach Angaben der an dem Projekt beteiligten Experten auch auf lösemittelreichere Systeme übertragen. Im Rahmen eines weiteren Forschungsvorhabens wurden bedarfsgerechte und kostengünstige Konzepte zur Luftreinhaltung für handwerkliche Lackierbetriebe mit Hilfe der Strömungssimulation entwickelt. Dies erfolgte in Kooperation mit Handwerksverbänden sowie Herstellern und Anwendern von Lüftungstechnischen Anlagen. Die erzielten Ergebnisse machten deutlich, dass die Umweltbelastungen durch Lösemittellemissionen und Lackoverspray mit angepassten, funktions-sicheren Einrichtungen deutlich reduziert werden können [Domnick et al., 2003].

Nach Angaben von [Ondratschek, 2004] lassen sich durch Overspray verursachte Lösemittellemissionen durch Minimierung des Spritzabstands beim Druckluftspritzen innerhalb eines Toleranzbereichs von 15 cm bis 25 cm, aufgrund der Abnahme von Materialverlusten, um 1% bis 2% je cm Spritzabstandsverringern. Die über die Umsetzung der ChemVOC-FarbV [ChemVOCFarbV, 2004] hinaus gehenden Minderungspotenziale sind schwierig zu quantifizieren und wurden im Rahmen dieser Arbeit nicht weiter betrachtet.

### **7.5.2 Implementierung der ChemVOC-FarbV**

Eine zentrale Frage ist die Implementierung der ChemVOC-FarbV [ChemVOCFarbV, 2004] im Anwenderbereich. Insbesondere wichtig ist dabei, mit welchen Problemen gerade unter dem Aspekt der sich aus den Gewährleistungsansprüchen im Sinne der Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen (VOB) [VOB, 2002] ergebenden Haftungsfragen das Maler- und Lackiererhandwerk bei der Implementierung konfrontiert sein wird und welche Ansätze zur Lösung dieser Probleme in Frage kommen könnten. Eine weitere Frage ist, ob etwaige Einschränkungen aufgrund der klimatischen Randbedingungen bei der Anwendung insbesondere von wässrigen Lacksystemen zu erwarten sind. Dazu werden am Beispiel von Hamburg-Fuhlsbüttel in Bild 7-3 zunächst die vorherrschenden klimatischen Bedingungen anhand der Jahresgänge der Temperatur und der relativen Luftfeuchtigkeit betrachtet [Bartholemy, 2003].



**Bild 7-3:** Notwendige klimatische Bedingungen zur Verarbeitung verschiedener Lacksysteme in Abhängigkeit von den realen klimatischen Verhältnissen [Bartholemy, 2003]

Bild 7-3 zeigt, dass sich lösemittelverdünnbare Systeme praktisch unabhängig von der Jahreszeit verarbeiten lassen, gegebenenfalls auch bei Minustemperaturen. Dies ist bei wasserverdünnbaren Lacken nicht gegeben. Sie lassen sich unterhalb von 5°C nicht mehr verarbeiten und oberhalb einer relativen Luftfeuchte von 80% auch nicht. Das heißt faktisch, dass die Außenanwendung bzw. die Anwendung in unbeheizten Innenräumen ungefähr von Oktober bis März nicht möglich ist. In der Praxis sind für die Anwendung wasserverdünnbarer Lacksysteme sogar eher Außentemperaturen oberhalb von 15°C zu empfehlen [Theloke et al., 2003]. Dies ist ein erhebliches Problem, das die Anwender durch die Umsetzung der ChemVOC-FarbV [ChemVOCFarbV, 2004] erwartet. Im Folgenden werden die Auswirkungen der ChemVOC-FarbV [ChemVOCFarbV, 2004] auf die Lackproduzenten betrachtet, insbesondere unter dem Aspekt, welche Strategien die Lackproduzenten im Hinblick auf die Implementierung verfolgen. Im Fokus der Überlegungen steht dabei der zu erwartende maximale NMVOC-Gehalt von 400 g/l ab 2007 bzw. 300 g/l ab 2010 für die Kategorie „Lackfarben für innen und außen auf Metall, z. B. Fenster, Türen und Wandverkleidungen („trim paints“)" [ChemVOCFarbV, 2004]. Dazu werden in Tabelle 7.9 zunächst die NMVOC-Gehalte der zur Zeit erhältlichen Lackprodukte für diese Kategorie betrachtet [Gartz, 2003].

**Tabelle 7.9:** Typische NMVOC-Gehalte von Lackprodukten der Kategorie "Holz- und Metallfarben für Gebäudedekorationen und Verkleidungen (innen und außen)" [Gartz, 2003]

Kategorie	Typische NMVOC-Gehalte [g/l]
Weisslacke (Hochglänzend)	360
Weisslacke (Semigloss)	380
Grundierungen	400
Vorlacke	440
Heizkörperlacke	470

In diesem Zusammenhang ist auch die Problematik der Definition des NMVOC-Gehaltes in Masse NMVOC pro Lackvolumen zu erörtern. Diese Definition hat zur Folge, dass Produkte mit einer höheren Dichte im Vergleich zu Produkten mit einer niedrigeren Dichte bei einem gleichen prozentualen Anteil NMVOC einen höheren NMVOC-Gehalt haben. Dies ist in Tabelle 7.10 illustriert.

**Tabelle 7.10:** Beispiel zur Darstellung des Unterschiedes zwischen dem NMVOC-Anteil in % und dem NMVOC-Gehalt in g/l

	System I	System II
Dichte [g/cm <sup>3</sup> ]	1,5	1,0
NMVOC-Anteil [%]	30	30
NMVOC-Gehalt [g/l]	450	300

Die Lackindustrie hat zwei potenzielle Optionen, um lösemittelarme Systeme auf den Markt zu bringen, die den Vorgaben der Richtlinie entsprechen. Jede dieser Optionen ist stark abhängig von der Entwicklung entsprechender Bindemittelsysteme [Gartz, 2003].

- **Dispersionslacke**

Dispersionslacke enthalten 40% bis 50% Wasser und bis zu 10% Lösemittel. Ihr mittlerer Festkörperanteil liegt bei etwa 50%. Bei den Bindemittelsystemen für Dispersionslacke handelt es sich um feinteilige Acrylharze, Polyurethane, Acryl-Polyurethan-Copolymerisate oder Alkydharzemulsionen. Gute Systeme gibt es schon heute neben den sogenannten Dispersionsfarben z. B. für seidenglänzende Lacke, Grundierungen und die Lackierung von Heizkörpern.

- **High-Solid-Systeme**

Lösemittelverdünnbare High-Solid Lacke enthalten bis zu 20% organische Lösemittel. Bindemittel für diese Systeme müssen, bei gleicher Viskosität, einen deutlich höheren Festkörperanteil haben und eine erheblich höhere Reaktivität, als die bisher auf dem Markt erhältlichen Systeme aufweisen [Gartz, 2003]. Hierfür werden Alkydharze kleiner Molekülgröße und hoher Reaktivität benötigt. Die Bindemittelpreise werden bei diesen Anforderungen um 60% bis 80% steigen. Daher werden auch die Lackpreise steigen, zum einen aufgrund der gestiegenen Rohstoffpreise, aber auch durch die wesentlich höhere Dichte der Lacksysteme. Darüber hinaus ist zu erwarten, dass die Lacke eine deutlich höhere Filmstärke aufweisen werden.

Es sind folgende Probleme für den Verarbeiter zu erwarten:

- Es ist mit einer zäheren Verarbeitung zu rechnen, da das Lösemittel als "Schmiermittel" fehlt. Dadurch wird der Handwerker bzw. Verarbeiter einer höheren ergonomischen Belastung ausgesetzt sein.
- Die Durch- und Staubtrocknung verzögert sich in erheblichem Maße. Dadurch ist die sogenannte Läuferneigung ausgeprägter, das Ablaufverhalten stärker und die Gefahr von Runzelbildung größer.
- Durch Mikrorunzelung können die Glanzeigenschaften erheblich beeinträchtigt werden.
- Die Vergilbung ist bei High Solid Systemen stärker ausgeprägt.
- Die Lagerstabilität des offenen Gebindes wird gesenkt.

Darüber hinaus kann die Entwicklung von High Solid Systemen möglicherweise zu einer Abkehr von Isoparaffinen und damit zu einer Renaissance von aromatenhaltigen Testbenzinsystemen führen. Diese besitzen ein höheres Lösevermögen und erzielen somit bei gleicher Zugabemenge niedrigere Lackviskositäten. Jedoch haben High-Solid-Systeme neben der Einhaltung der von der ChemVOC-FarbV [ChemVOCFarbV, 2004] vorgegebenen Lösemittelgehalte weitere Vorteile:

- Die sehr guten Eigenschaften der bisher weitverbreiteten Alkydharzsysteme können weiterhin genutzt werden in Bezug auf Benetzung, Penetration, Haftung und Beständigkeit gegenüber Haushaltschemikalien.
- Auch unter ungünstigen klimatischen Verhältnissen ist eine Verarbeitung nach wie vor möglich.
- Alkydharzsysteme haben eine sehr gutes Deckvermögen und eine gute Fülle.
- Sie sind in Bezug auf den Arbeitsschutz unbedenklicher als Polyurethan- oder Epoxi-Systeme.
- Sie ermöglichen relativ lange Lagerzeiten des verschlossenen Gebindes und benötigen keine Biozide um den mikrobiologischen Befall zu verhindern.
- Durch die hohe mechanische Widerstandsfähigkeit sind lange Renovierintervalle gewährleistet.
- Sie zeichnen sich durch genügend lange Offenzeiten aus. Somit ist ein ansatzfreies Arbeiten gewährleistet.
- Alkydharzsysteme haben sehr gute Verlaufs- sowie gute Glanzeigenschaften.

Partielle Qualitätsverluste sind jedoch nicht auszuschließen. Vor dem Hintergrund der Implementierung der ChemVOC-FarbV [ChemVOCFarbV, 2004] mit dem Ziel der Verwendung lösemittelarmer Lackprodukte für die Kategorie "Holz- und Metallfarben für Gebäudedekorationen und -verkleidungen innen und aussen" werden die Lackproduzenten zukünftig zwischen einer "Profi-Produktlinie" für den professionellen Maler und Lackierer und einer "Standard-Produkt-Reihe" für den Heimwerker differenzieren. Die Produktlinie für professionelle Anwender sollte folgende Eigenschaften haben:

- Es werden hochwertige Anstrichergebnisse gewährleistet.
- Die Lacksysteme werden einer relativ aufwändigen Applikation bedürfen. Es wird sich weitgehend um lösemittelhaltige High-Solid-2-Komponenten-Materialien handeln. Gegebenenfalls sollen auch wasserverdünnbare 2-Komponenten-Systeme angeboten werden.

Für die Heimwerker wird eine Produktlinie angeboten, die bei einfacher Applikation ein breites Produktspektrum gewährleistet. Die Produkte werden besonders umweltfreundlich und wasserverdünnbar sein. Die Anstrichergebnisse werden dem Stand der Technik entsprechen. Die Anforderungen der ChemVOC-FarbV [ChemVOCFarbV, 2004] für Wandfarben werden in Deutschland als unproblematisch bezüglich ihrer Umsetzung eingeschätzt, da fast lösemittelfreie Dispersionsfarben Stand der Technik sind [Gartz, 2003]. In anderen Ländern in Europa, z. B. Frankreich, werden die von der DECOPAINT-Richtlinie [DECOPAINT, 2004] vorgegebenen NMVOC-Gehalte für lösemittelhaltige Systeme zu Problemen führen, da hier noch hochglänzende lösemittelverdünnbare Wandfarben weit verbreitet sind. Die in der Richtlinie vorgegebenen Werte für lösemittelverdünnbare Systeme bedeuten faktisch ein Verbot lösemittelverdünnter Farbsysteme, da sie technisch nicht erreichbar sind. Die Innenanstriche für Wände und Decken sind in Deutschland üblicherweise matt. Da die Bindemittelhersteller neue Dispersionsmaterialien entwickelt haben, konnte seit Beginn der 90er Jahre der Lösemittelgehalt in diesen Systemen drastisch gesenkt werden. Durch mehrphasigen Aufbau der Polymerpartikel wurde es möglich, den mittleren Festkörperanteil des Polymers bei gleichbleibender Härte zu senken. Dadurch wird auch weniger bis gar kein Lösemittel mehr benötigt [Gartz, 2003]. Aufgrund der ChemVOC-FarbV [ChemVOCFarbV, 2004] werden lösemittelhaltige Innenanstriche verschwinden. Dies ist auch unter Aspekten des Arbeitsschutzes eine sinnvolle Entwicklung.

Eine zweite Strategie, neben der Entwicklung von High-Solid-Systemen und Very-High-Solid-Systemen, ist die Entwicklung wasserverdünnbarer Beschichtungsstoffe für Holz- und Metalloberflächen. Ziel dabei ist die Entwicklung von Systemen, die die gleiche Belastbarkeit und Oberflächenqualität erreichen wie die lösemittelverdünnter Systeme. Deshalb müssen aus heutiger Sicht noch folgende Eigenschaften bei den wasserverdünnbaren Systemen verbessert werden [Gartz, 2003]:

- Verarbeitbarkeit und Offenzeit,
- Trockenverhalten bei hohen und niedrigen Temperaturen,
- Thermoplastizität,
- Glanz,
- Schleifbarkeit,
- Geringe Schichtdicke und Fülle,
- Korrosionsschutz.

Wasserverdünnbare Lacksysteme erreichen höchstens den Semigloss-Bereich. Hochglänzende Systeme sind technisch nur schwer realisierbar. Alkydharz-Emulsionslacke vergilben schneller als lösemittelverdünnter Systeme. Die Glanzhaltung wasserverdünnbarer Systeme ist meist schlecht. Auf rauen Untergründen ist aufgrund geringerer Feststoffanteile mit mangelnder Fülle und Glanzproblemen zu rechnen. Bei gutem Glanz ist mit schlechter Blockfestigkeit zu rechnen. Auch Hybrid-Systeme (Alkydharz-/Acrylatsysteme) können diese Probleme nicht voll-

ständig beseitigen. Daher wird die Entwicklung neuer Bindemittelsysteme erforderlich sein, um auch glänzende Oberflächen mit wasserverdünnbaren Lacksystemen zu erreichen. Eine Zwischenlösung wird sicherlich die Verwendung von Klarlacken als Decklacke darstellen. Dieses Konzept wird seit vielen Jahre in der Automobilserienproduktion angewendet. Die Vorteile wasserverdünnbarer Lacksysteme sind:

- geringe Vergilbung,
- gute Wasserdampfdurchlässigkeit,
- rasche Trocknung bei Normklima,
- geringe Versprödung bei Alterung,
- Geruchsarmut.

Es sollten die Vorteile wasserverdünnbarer Lacksysteme genutzt werden, wo dies möglich ist. Die Verwendung wasserverdünnbarer Lacksysteme wird heute schon bei Heizkörperlacken, Lasuren, Parkettlacken und Zinkbeschichtungen empfohlen. Es gibt auch die Möglichkeit, Kombinationen anzuwenden, das heißt z. B. einen wasserverdünnbaren Haftprimer in Kombination mit einer lösemittelhaltigen Deckbeschichtung anzuwenden. Hierbei könnten auch neue Techniken benutzt werden, z. B. die Überarbeitung mit wasserverdünnbarem Klarlack oder 2-Komponenten-Materialien im lösemittelverdünnbaren Bereich als High-Solids [Gartz, 2003]. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass sich die Maler und Lackierer in Zukunft beim Einsatz NMVOC-armer Produkte noch intensiver mit der Qualität des Untergrundes, den Verarbeitungsbedingungen sowie der zu erwartenden ergonomischen Belastung auseinandersetzen müssen. Die Lacksysteme werden in Zukunft teurer sein, da qualitativ höherwertige Werkstoffe verwendet werden.

In Tabelle 7.11 wird anhand eines Benotungssystems von 1 bis 6 eine qualitative Bewertung unterschiedlicher lösemittelverdünnter und wasserverdünnbarer Lacksysteme in Bezug auf verschiedene Eigenschaften vorgenommen [Gartz, 2003].

Tabelle 7.11 zeigt, dass die Verwendung lösemittelärmerer Systeme nicht nur Nachteile mit sich bringt und diese Systeme außer geringeren Lösemittlemissionen auch noch weitere Vorteile, wie z. B. teilweise bessere Deckkraft oder Wetterbeständigkeit, gegenüber herkömmlichen hoch lösemittelhaltigen Lacksystemen besitzen.

**Tabelle 7.11:** Qualitative Bewertung verschiedener lösemittelverdünnter und wasser-  
verdünnter Lacksysteme in Bezug auf verschiedene Eigenschaften [Gartz, 2003]

	Alkydharzlacke, aromatenhaltig	Alkydharzlacke, aromatenfrei	Acrylat/ Polyurethan- Lacksysteme	Hybridsysteme
Verarbeitung	1	1	4	2
Trocknung	1	2	4	4
Glanz	1	1	4	4
Verlauf	1	1	4	3
Deckkraft	2	2	3	3
Oberflächenhärte	2	2	4	3
Wetter- beständigkeit	3	3	2	2
Tönbarkeit	2	3	2	2
Lösemittel- emissionen	6	6	1	1
Preis	1	2	3	2

## 7.6 Zusammenfassung des Referenzszenarios für 2010

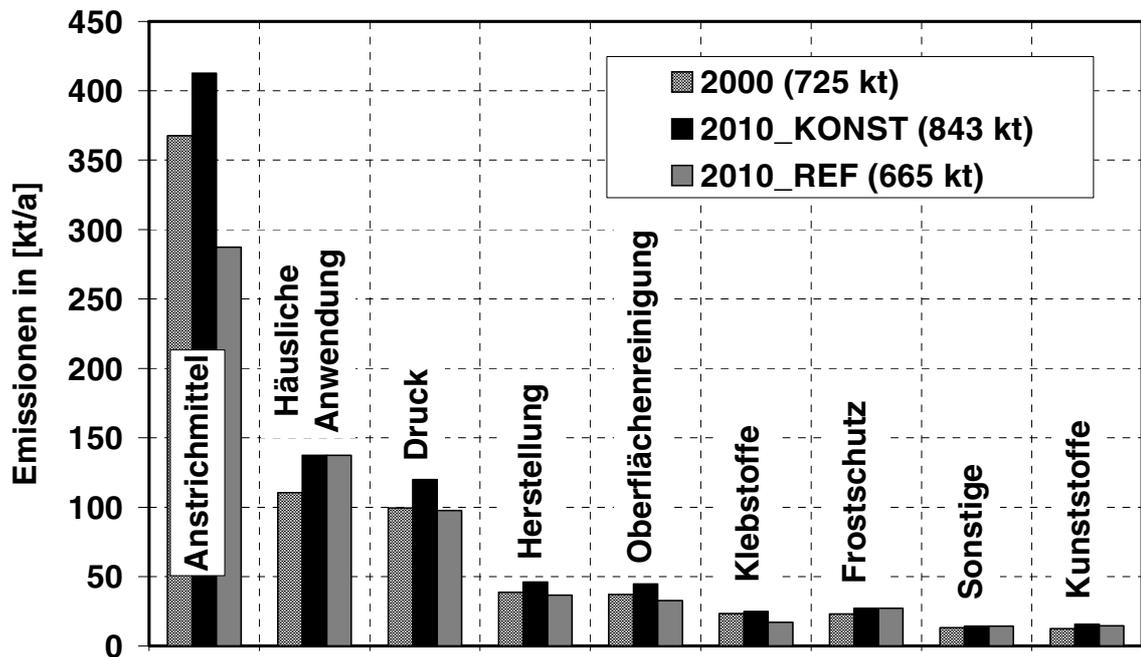
Tabelle A.1 auf Seite 181 ist zu entnehmen, dass unter Berücksichtigung der sektoral hoch aufgelösten Aktivitätsentwicklungen auf Grundlage von [PROGNOS, 2002] und der Implementierung der 31. BImSchV [31. BImSchV, 2001] die Emissionen aus der Lösemittelanwendung bis 2010 in Deutschland um etwa 18%, das heißt etwa um 152 kt, gegenüber dem Szenario „Konstante Emissionsfaktoren“ vermindert werden.

Durch die Umsetzung der ChemVOC-FarbV [ChemVOCFarbV, 2004] ist mit einer weiteren Minderung um etwa 26 kt zu rechnen, das heißt etwa 3%, gegenüber dem Szenario „Konstante Emissionsfaktoren“. Insgesamt ist im Referenzszenario durch die Umsetzung von 31. BImSchV und ChemVOC-FarbV mit einer Minderung der Emissionen bis 2010 um etwa 60 kt gegenüber der Emissionsmenge 2000 zu rechnen. Dies entspricht insgesamt einer Minderungswirkung um etwa 8%.

Diese relativ geringe Abnahme erklärt sich vor allem durch die prognostizierte Entwicklung der Aktivitäten. Zum Beispiel wird ohne die Implementierung der 31. BImSchV [31. BImSchV, 2001] sowie der ChemVOC-FarbV [ChemVOCFarbV, 2004] aufgrund der prosperierenden Entwicklung der Aktivitäten ein Anstieg der Lösemittlemissionen aus der Anwendung von Farben und Lacken in Deutschland um etwa 15% bis 2010 erwartet.

Aufgrund der vollständigen Implementierung der 31. BImSchV und der ChemVOC-FarbV ist jedoch mit einer Minderung der Lösemittlemissionen aus der Anwendung von Farben und Lacken um etwa 25% gegenüber den Emissionen 2000 zu rechnen. Die Minderung ist insbesondere abhängig vom Erfassungsgrad durch die 31. BImSchV der jeweiligen Quellgruppe.

Im Jahr 2010 wird das Maler- und Lackierergewerbe inklusive der DIY-Anwendungen, dem Korrosionsschutz, der Anwendung von Markierungsfarben und der „sonstigen Bereiche“ etwa 40% der Emissionen aus der Anwendung von Farben und Lacken verursachen. Etwa 52% (111 kt) der Emissionen werden 2010 offenen Anwendungen entstammen und 48% (104 kt) werden anlagenbezogenen Anwendungen zuzuordnen sein.



**Bild 7-4:** Vergleich der nach Hauptquellgruppen disaggregierten Emissionen für 2000, im Szenario „Konstante Emissionsfaktoren“ und im Referenzszenario für 2010

Bild 7-4 zeigt, dass die Implementierung von 31. BImSchV und ChemVOC-FarbV insbesondere auf die Quellgruppen „Anwendung von Anstrichmitteln“, die Anwendung von Klebstoffen und Haftmaterialien“ sowie „Oberflächenreinigungsprozesse“ voraussichtlich mindernd wirken wird. Geringfügig mindernde Wirkungen werden noch für die Quellgruppen „Druckanwendungen“ und die „Herstellung lösemittelhaltiger Erzeugnisse“ erwartet.

## 8 Identifizierung und Bewertung von Minderungspotenzialen

### 8.1 Methode zur Identifizierung von Minderungspotenzialen

Neben der Entwicklung einer Methode zur Berechnung der Lösemittlemissionen in Deutschland für ein aktuelles Bezugsjahr ist ein wesentliches Ziel der Arbeit die Identifizierung von Minderungspotenzialen, die über bestehende gesetzliche Minderungsmaßnahmen, also über die Emissionsminderungen im Referenzszenario, hinausgehen. Die Identifizierung zusätzlicher Minderungspotenziale ist insbesondere im Hinblick auf die Einhaltung der in der NEC-Direktive [NEC-Direktive, 2001] festgelegten Emissionshöchstgrenzen von 995 kt NMVOC aus allen Quellgruppen für Deutschland für 2010 von Bedeutung. In dem nationalen Bericht des Umweltbundesamtes zur NEC-Richtlinie [NEC-Bericht, 2003] sind die in Tabelle 8.1 angegebenen NMVOC-Emissionen für 2000 und 2010 differenziert nach Quellgruppen angegeben. Die Emissionen aus der Lösemittelanwendung basieren auf Abschätzungen des Umweltbundesamtes, die anhand der in Kapitel 2 beschriebenen Methodik abgeschätzt wurden.

**Tabelle 8.1:** Anthropogene NMVOC-Emissionen in Deutschland 2000 und 2010 nach [NEC-Bericht, 2003]

Quellgruppe	NMVOC-Emissionen 2000 Deutschland [t]	NMVOC-Emissionen 2010 Deutschland [t]
Industrielle Prozesse	139.491	135.291
Kraftstoffverteilung	41.140	20.700
Feuerung	90.401	79.125
Verkehr	334.000	157.000
Lösemittelanwendungen	1.000.000 / 724.654 (diese Arbeit)	800.000 / 664.608 (diese Arbeit)
Gesamt	1.605.000 / 1.329.686 (diese Arbeit)	1.192.000 / 1.056.724 (diese Arbeit)

Tabelle 8.1 zeigt, dass trotz erheblicher Minderungsanstrengungen insbesondere in anderen Quellgruppen, z. B. für industrielle Prozesse die Umsetzung der 4. BImSchV [4. BImSchV, 1999] bzw. die Konkretisierung der Emissionsanforderungen nach der Technischen Anleitung zur Reinhaltung der Luft - TA Luft [TA Luft, 2002] - entsprechend der Entwicklung des Standes der Technik sowie die Umsetzung von EURO III und EURO IV [EUROIII-IV, 1998] im Straßenverkehr, die bis 2010 umgesetzt sein werden, der NEC-Zielwert voraussichtlich nicht erreicht wird. Im NEC-Bericht [NEC-Bericht, 2003] werden noch geringfügige Minderungen bis 2010 in Höhe von ungefähr 18 kt gegenüber dem in Tabelle 8.1 dargestellten Referenzszenario für 2010 abgeschätzt, insbesondere durch die Einführung von Abgasgrenzwerten und entsprechenden Abgasuntersuchungen für Motorräder (Minderungspotenzial bis 2010: 2,5 kt) sowie die Emissionsminderung bei Verbrennungsmotoren von mobilen Geräten und Maschinen (z. B. Rasenmäher) (Minderungspotenzial bis 2010: 15 kt). Damit Deutschland den NEC-Zielwert erreicht, ist es insbesondere im Bereich der Lösemittelanwendung notwendig, die Emissionen gegenüber dem Referenzszenario noch erheblich zu mindern. Wie schon festgestellt wurde, ist die Lösemittelanwendung in Deutschland auf der einen Seite von anlagenbezogenen gesetzlichen Maßnahmen betroffen, deren Implementierung bei der Berechnung des Referenzszenarios in Kapitel 7 berücksichtigt wurden. Diese basieren alle auf Verordnungen des Bundesimmissionsschutzgesetzes.

Es handelt sich dabei insbesondere um die

- 2. Bundesimmissionsschutzverordnung [2. BImSchV, 2001],
- 4. Bundesimmissionsschutzverordnung [4. BImSchV, 1999],
- 31. Bundesimmissionsschutzverordnung [31. BImSchV, 2001].

Zum anderen wird bis 2010 die produktbezogene „Chemikalienrechtliche Verordnung zur Begrenzung der Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen (VOC) durch Beschränkung des Inverkehrbringens lösemittelhaltiger Farben und Lacke“ [ChemVOCFarbV, 2004] umgesetzt sein. Hierbei handelt es sich um die nationale Implementierung der DECOPAINT-Richtlinie [DECOPAINT, 2004]. In Zukunft wird auch die IPPC-Direktive [IPPC, 1996] der EU für „Oberflächenbehandlungen unter Verwendung von Lösemitteln“ umgesetzt werden, die in Deutschland unter dem Begriff IVU-Richtlinie bekannt ist. Dies wird jedoch nur Anlagen mit Verbrauchskapazitäten von mehr als 150 kg pro Stunde oder 200 t Lösemittel pro Jahr betreffen. Potenzielle Minderungsmöglichkeiten werden in diesem Kapitel in die folgenden beiden Kategorien eingeteilt:

- produktbezogene Maßnahmen,
- anlagenbezogene Maßnahmen.

Bei produktbezogenen Maßnahmen, sogenannten Primärmaßnahmen, werden lösemittelärmere Produkte eingesetzt und damit Emissionen vermieden. Beispiele für produktbezogene Maßnahmen sind der Einsatz von Pulverlacken, Wasserlacken, High-Solids oder höhersiedenden Reinigungsmitteln sowie der Einsatz von wässrigen Reinigungssystemen. Für anlagenbezogene Anwendungen besteht bereits eine Anzahl von gesetzlichen Regelungen. Diese sind meist an Tätigkeitsdefinitionen und Schwellenwerte gebunden, bei deren Überschreitung die entsprechenden Anlagen bestimmte Grenzwerte einhalten müssen. Anlagenbezogene Maßnahmen, die über die bisherigen gesetzlichen Maßnahmen hinausgehen, betreffen daher Anlagen und Tätigkeiten, die von den bisherigen Tätigkeitsdefinitionen noch nicht betroffen sind (z. B. der Bogenoffsetdruck) oder Anlagen, die unterhalb entsprechender Schwellenwerte liegen (z. B. Oberflächenreinigungsanlagen mit einem Jahresverbrauchs von weniger als 1 t Lösemittel). Schwellenwerte sind entweder über den Verbrauch von Lösemitteln oder lösemittelhaltigen Produkten in einem definierten Zeitraum (pro Stunde, Tag oder Jahr) oder über die Anlagenkapazitäten definiert. Durch die ChemVOC-FarbV [ChemVOCFarbV, 2004] werden erstmals, auf der Grundlage produktbezogener Regelungen, gesetzlich maximale Lösemittelgehalte für verschiedene, insbesondere im Maler- und Lackiererhandwerk sowie im DIY-Bereich eingesetzte, Farb- und Lacksysteme vorgeschrieben.

## 8.2 Bewertung der identifizierten Minderungspotenziale

Zur Bewertung der identifizierten Minderungspotenziale wird zunächst das Potenzial in Bezug auf das Referenzszenario quantifiziert. Anschließend werden potenzielle andere Umweltauswirkungen betrachtet, wie z. B. der vermehrte CO<sub>2</sub>-Ausstoß einer nicht autotherm betriebenen thermischen Nachverbrennung. Darüber hinaus werden soweit möglich die zu erwartenden Minderungskosten in Euro pro vermiedene Tonne NMVOC quantifiziert, um kosteneffiziente Minderungspotenziale identifizieren zu können.

### 8.3 Minderungspotenziale

In diesem Abschnitt werden die im Rahmen dieser Arbeit identifizierten Minderungspotenziale quantifiziert und bewertet. Es wurden in den folgenden Anwendungsbereichen über das Referenzszenario hinausgehende Minderungspotenziale identifiziert und analysiert:

- Anwendung von Farben und Lacken im Innenausbau und Schreinerhandwerk,
- Anwendung von Farben und Lacken im Maschinenbau,
- Anwendung von Holzschutzmitteln,
- Bogenoffsetdruck,
- Siebdruck,
- Klebstoffanwendung,
- Oberflächenreinigungsprozesse,
- Herstellung von pharmazeutischen Produkten,
- Herstellung von Farben und Lacken,
- Herstellung von sonstigen lösemittelhaltigen Produkten,
- Anwendung von Treibgasen für Aerosolsprays.

#### 8.3.1 Anwendung von Farben und Lacken

##### Minderungspotenziale im Schreinerhandwerk

Bei der Identifizierung von Minderungspotenzialen im Schreinerhandwerk werden die Emissionen aus dem Schreinerhandwerk und dem Innenausbau betrachtet. In Deutschland wurden 2000 aus Schreinerhandwerk und Innenausbau etwa 20 kt Lösemittel emittiert. In 75% der holzverarbeitenden Betriebe sind weniger als 100 Mitarbeiter beschäftigt. Es gibt in Deutschland etwa 45.000 Schreinerbetriebe, die im Mittel 4,5 Mitarbeiter beschäftigen. Darüber hinaus gibt es noch ungefähr 1.500 Holz- und Möbellackierbetriebe mit durchschnittlich 75 Mitarbeitern pro Betrieb und acht sehr große Unternehmen mit mehr als 1.000 Mitarbeitern [Peters et al., 2002]. Nur etwa 8% [Schreiner, 2000a] der Betriebe werden von der 31. BImSchV [31. BImSchV, 2001] erfasst, da der Schwellenwert für Beschichtung von Holz- und Holzwerkstoffen mit 15 t Lösemittelverbrauch relativ hoch ist. Schreinerbetriebe mit einem Jahresverbrauch an Lösemitteln von mehr als 5 t, aber weniger als 15 t, werden frühestens 2013 von der 31. BImSchV [31. BImSchV, 2001] erfasst.

Eine erhebliche Emissionsminderung kann durch folgende Maßnahmen erreicht werden, bei denen es sich ausnahmslos um Primärmaßnahmen handelt [VCI, 1997], [Schreiner, 1999], [Schreiner, 2000a], [Schreiner, 2000b], [Schreiner, 2000c]:

- Umstellung auf Wasserlacke,
- Einsatz von Ölen und Wachsen,
- Einsatz von UV-Lacken,
- Einsatz von Pulverlacken.

Durch die Implementierung dieser Maßnahmen können bis zu 30% der Emissionen aus diesem Anwendungsbereich vermieden werden [VCI, 1997]. Dies entspricht einer Minderung um etwa 5.689 t/a bis 2010 gegenüber dem Referenzszenario.

Die Pulverlackierung ist zur Zeit noch im Stadium der Erforschung. Erfolgreich eingesetzt wird sie schon bei der industriellen Serienlackierung von MDF-Platten (MDF: Medium Density Fiberboard). Bei der Pulverlackierung sind zum einen hohe Temperaturen notwendig und zum anderen ist eine elektrostatische Sprühbeschichtung von Holzmaterialien nur begrenzt möglich. Bei der Verwendung von Wasserlacken auf Weichhölzern stellen sich die Holzfasern so stark auf, dass ein Zwischenschliff notwendig wird. Dieses Problem besteht jedoch nur für die Grundierung, das heißt, für die erste Lackschicht in direktem Kontakt zum Substrat. Die technischen Möglichkeiten zur Implementierung der oben aufgeführten Primärmaßnahmen sind in den letzten Jahren soweit entwickelt worden, dass ihr Einsatz mit Ausnahme der Pulverbeschichtung grundsätzlich kein Problem ist. Die Möglichkeiten zur Minderung werden allerdings von kleineren und mittleren Betreibern bisher kaum genutzt. Dies zeigt, dass Empfehlungen zum Einsatz lösemittelärmerer Systeme nicht ausreichen. Vielmehr ist eine Vor-Ort-Beratung des individuellen Betriebs notwendig, um festzustellen, ob die Minderungstechniken überhaupt einsetzbar sind. Und wenn ja, ob sie zusätzlich eingesetzt werden oder ob die Schreinerei ganz auf lösemittelarme Systeme umstellt. Insbesondere soziologische, psychologische Aspekte sowie die individuelle Persönlichkeitsstruktur des einzelnen Schreiners sind die entscheidenden Faktoren bei der Implementierung der technisch vorhandenen Möglichkeiten. Aus dieser Erkenntnis wurde im Auftrag des Umwelt- und Verkehrsministeriums Baden-Württemberg (UVM) ein Projekt zur "Minderung der Emission an leichtflüchtigen Kohlenwasserstoffen (NMVOC) in Schreinereien" durchgeführt. Dabei wurde im Rahmen von vier Teilprojekten in Zusammenarbeit mit dem Umweltzentrum für Handwerk und Mittelstand e.V., Freiburg (UIZ), untersucht, wie sich die NMVOC-Emissionen aus Schreinereien reduzieren lassen [Schreiner, 1999], [Schreiner, 2000a], [Schreiner, 2000b], [Schreiner, 2000c]. Seit dem Abschluss der Projekte werden vom Landesverband Schreinerhandwerk e.V., Baden-Württemberg, regelmäßig Seminare angeboten, bei denen in Praxis-Workshops von Schreibern anderen interessierten und damit auch motivierten Schreibern die Techniken zur Verarbeitung lösemittelarmer Systeme vorgestellt werden [Hägele, 2002]. Dabei werden auch die Vor- und Nachteile sowie die Verarbeitungsbedingungen der lösemittelarmen Systeme vorgestellt. Diese von einem Fachverband angebotenen Seminare, die in regelmäßigen zeitlichen Abständen an verschiedenen Orten in Baden-Württemberg veranstaltet werden, stoßen bei den Schreibern auf reges Interesse. Im Folgenden werden die derzeit zur Verfügung stehenden wasserverdünnbaren Systeme im Vergleich zu lösemittelhaltigen Lacken erläutert und ihre Vor- und Nachteile aufgezeigt [Fauser, 2003]. Wasserverdünnbare Holzlacksysteme haben gegenüber lösemittelverdünnbaren Holzlacksystemen folgende Vorteile:

- kaum Lösemittlemissionen,
- Rückgewinnung möglich, zumindest bei 1-komponentigen Systemen,
- gutes Weißbruchverhalten, das heißt, sehr gute Haftung,
- höherer Festkörper als bei Polyurethan-Lacken, dadurch geringerer Verbrauch,
- Geräte- und Anlagenreinigung mit Wasser möglich.

Wasserverdünnbare Holzlacksysteme haben gegenüber lösemittelverdünnbaren Holzlacksystemen folgende Nachteile:

- Es ist ein feinerer Holzschliff notwendig.
- Transport und Lagerung dürfen nicht unterhalb 5°C durchgeführt werden.
- Es sollte eine Verarbeitungstemperatur von 20°C bis 25°C auch für die zu lackierenden Teile eingehalten werden.
- Schlechtere Holzanfeuerung vor allem bei dunkleren Hölzern.
- Korrosionsfreie Lackiergeräte sind notwendig. Alle materialführenden Teile müssen aus Edelstahl sein. Es dürfen keine Buntmetalle oder Aluminium verwendet werden.

Zweikomponentige Wasserlacke haben die höchste Beständigkeit, aber eine relativ lange Trockenzeit. Die Trockenzeit ist unter realen Arbeitsbedingungen das wichtigste Kriterium bei der Entscheidung für oder gegen die Verwendung eines speziellen Lacksystems. Wasserlacke sind teurer als herkömmliche lösemittelverdünnbare Lacksysteme. Der Einsatz von Wasserlacken sollte immer von einem Beratungsgespräch mit dem Kunden vor Ort begleitet sein [Fauser, 2003].

### **Minderungspotenziale bei der Anwendung von Farben und Lacken im Maschinenbau**

Bei der Anwendung von Farben und Lacken im Maschinenbau wurden 2000 in Deutschland etwa 29,9 kt emittiert. Im Jahr 2010 werden es unter Berücksichtigung der Implementierung der 31. BImSchV [31. BImSchV, 2001] etwa 19,6 kt sein. Etwa 75% der Maschinenbaubetriebe sind von der 31. BImSchV [31. BImSchV, 2001] erfasst, das heißt es werden in diesen Betrieben mehr als 5 t Lösemittel pro Jahr verbraucht. Folgende Maßnahmen können zur weiteren Minderung beitragen [VCI, 1997]:

- Einsatz lösemittelarmer Lacke,
- Umstellung auf Wasserlacke,
- Verstärkter Einsatz von Pulverlacken.

Durch diese Maßnahmen ist bis 2010 ein Minderungspotenzial von etwa 50% gegenüber dem Referenzszenario realisierbar [VCI, 1997]. Dies würde eine Verminderung der Emissionen aus der Anwendung von Farben und Lacken im Maschinenbau um etwa 9,8 kt pro Jahr gegenüber dem Referenzszenario bedeuten.

### **8.3.2 Anwendung von Holzschutzmitteln**

#### **Emissionsminderungspotenziale**

Falls die Maßnahmen, die die von der 31. BImSchV [31. BImSchV, 2001] erfassten Anlagen ergreifen müssen, um insbesondere die dort festgelegten Grenzwerte für die diffusen Emissionen einzuhalten, auch von den nicht von der 31. BImSchV [31. BImSchV, 2001] erfassten Anlagen umgesetzt würden, könnten die Emissionen aus der Anwendung von Holzschutzmitteln bis 2010 um weitere 20% gegenüber dem Referenzszenario gemindert werden.

### 8.3.3 Druckanwendungen

#### Emissionsminderungspotenziale

Es werden nur Minderungspotenziale betrachtet, die über bisherige gesetzliche Maßnahmen hinausgehen. Dabei werden insbesondere Minderungspotenziale für die Anwendungsbereiche bzw. Tätigkeiten betrachtet, die nicht durch die Umsetzung der 31. BImSchV [31. BImSchV, 2001] erfasst sind. Es werden Minderungspotenziale in den folgenden Druckanwendungen betrachtet:

- Bogenoffsetdruck,
- Verpackungsflexodruck,
- Siebdruck.

Mit der Betrachtung dieser Anwendungsbereiche werden nach Tabelle 7.3 auf Seite 129 etwa 40% der Emissionen des Referenzszenarios für 2010 erfasst.

#### Minderungspotenziale im Bogenoffsetdruck

Es gibt in Deutschland etwa 11.000 Bogenoffsetbetriebe, die im Referenzszenario etwa 35% der von der 31. BImSchV [31. BImSchV, 2001] nicht erfassten Emissionen verursachen. Der Offsetdruck fällt nicht unter die 31. BImSchV [31. BImSchV, 2001], da bei der Konzeption der 31. BImSchV [31. BImSchV, 2001] und der entsprechenden EU-Direktive [VOC-Richtlinie, 1999] berücksichtigt wurde, dass die eingesetzten Druckfarben im Offsetdruck lösemittelfrei sind. Dies gilt zwar für alle Offsetverfahren außer dem Heatset-Offsetdruck, aber auf der anderen Seite ist der Offsetdruck die größte Emissionsquelle der druckindustriellen Anwendungen. Dies ist darauf zurückzuführen, dass dem Feuchtmittel zum einen erhebliche Mengen an Isopropanol zugeführt werden und zum anderen erhebliche Emissionen bei der Verwendung von Reinigungsmitteln zur Maschinenreinigung entstehen. In Deutschland stellte sich 2000 die Situation im Offsetdruck folgendermaßen dar.

**Tabelle 8.2:** Farbeinsatz und Lösemiteleinsatz im Offsetdruck in Deutschland 2000 (eigene Berechnungen auf Grundlage von [Jepsen et al., 2004])

	Farbverbrauch [t]	Lösemiteleinsatz [t]	Reinigungsmittel- einsatz [t]	Isopropanoleinsatz [t]
Coldsetoffsetdruck	33.000	3.993	3.671	322
Bogenoffsetdruck	14.600	22.323	12.503	9.820
UV-Bogenoffsetdruck	200	187	185	2
Heatsetoffsetdruck	49.900	27.295	2.465	9.860
Endlosoffsetdruck	1.000	1.399	769	630
Summe	98.700	55.197	19.593	20.634

Tabelle 8.2 ist zu entnehmen, dass über 80% der von Offsetdruckanwendungen (Heatsetoffsetanwendungen ausgenommen) verursachten Emissionen den Bogenoffsetanwendungen ent-

stammen. Im Bogenoffsetdruck werden etwa 74% des Reinigungsmiteleinsatzes und über 90% des Isopropanoleinsatzes im Offsetdruck (Heatsetoffsetanwendungen ausgenommen) verbraucht. Es gibt im Bogenoffsetdruck zwei emissionsrelevante Prozesse [Jepsen et al., 2003]:

- Maschinenreinigung,
- Isopropanol-Feuchtung des Wischwassers.

Es lassen sich insbesondere Emissionsminderungen durch folgende Maßnahmen erreichen [Jepsen et al., 2003]:

- Umstellung auf höhersiedende Reinigungsmittel,
- Reduzierung des Isopropanolanteils im Wischwasser,
- sorgfältigere Handhabung.

Durch die Kombination dieser Maßnahmen lassen sich etwa 70% der Emissionen aus dem Bogenoffsetdruck vermeiden [Jepsen et al., 2003]. Das würde die Emissionen aus dem Bogenoffsetdruck um 15.234 t gegenüber dem Referenzszenario mindern. Die Realisierung dieser Potenziale ist zum Teil mit Kosteneinsparungen verbunden, da zum einen weniger Isopropanol eingesetzt wird und zum anderen weniger Reinigungsmittel. Zur Zeit gibt es aufgrund von Materialunverträglichkeiten in einigen Altanlagen und durch die teilweise mangelnde Schulung von Mitarbeitern noch Umsetzungshemmnisse [Jepsen et al., 1999]. Es ist in Zukunft jedoch begünstigt durch entsprechende Investitionszyklen sowie das Engagement der Branchenverbände, Teilen der Zulieferindustrie sowie insbesondere der Berufsgenossenschaft Druck - mit einer zunehmenden Implementierung der identifizierten Potenziale zu rechnen [Theloke et al., 2003]. Im Folgenden werden die Maßnahmen zur Umsetzung der identifizierten Minderungspotenziale näher betrachtet und bewertet.

### Minderung der Emissionen aus der Maschinenreinigung im Bogenoffsetdruck

Es zeigt sich, dass im Hinblick auf die Minderung der Lösemittlemissionen aus der Maschinenreinigung im Offsetdruck durch Umstellung auf höhersiedende Reinigungsmittel in den letzten Jahren eine positive Entwicklung stattgefunden hat (vergleiche Tabelle 8.3.).

**Tabelle 8.3:** Einsatz von Reinigungsmitteln mit unterschiedlicher Verdampfungscharakteristik im Offsetdruck [Jepsen et al., 1999], [Jepsen et al., 2003] und [VCI, 1997]

Reinigungsmittel	Flamm- punkt	Dampf- druck bei 20°C	Emissions- anteil nach 24 h	1995	1997	1999	2001
	[°C]	[hPa]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Pflanzenesteröle	> 150	<0,1	0	2	2	1	1
Hochsieder	> 100	0,02-0,3	0,3	8	8	11	11
A III-Reiniger	56-100	0,1-1,0	13	29	42	54	63
A II-Reiniger	21-55	1,1-18	90	33	35	25	17
A I-Reiniger	< 21	> 18	100	28	13	9	8

Es ist Tabelle 8.3 zu entnehmen, dass der Anteil an Hochsiedern in den letzten Jahren konstant geblieben ist. Lediglich der Anteil an A III-Reinigern hat seit 1999 um 17% zugenommen. Dabei wurden im Wesentlichen A II-Reiniger substituiert. Der Anteil der hoch- und höhersiedenden Reinigungsmittel hat sich von 1995 bis 2001 in etwa verdoppelt. Auf der anderen Seite ist jedoch festzustellen, dass der Anteil der Pflanzenölester entgegen den Erwartungen über die Jahre konstant geblieben ist, obwohl diese Reinigungsmittel den geringsten Dampfdruck haben. Dies liegt vor allem daran, dass die Handhabung dieser praktisch nicht verdampfbaren Reinigungsmittel eine andere Arbeitsweise erfordert. Dazu muss das Personal geschult werden. Dies setzt bei den Mitarbeitern eine entsprechende Akzeptanz und Umstellungsbereitschaft voraus. Die höhersiedenden Reinigungsmittel sind zwar teurer, aber auch ergiebiger. Die höhere Ergiebigkeit ergibt sich aus ihrer größeren Reinigungseffizienz. Es entstehen praktisch keine Verdampfungsverluste, da die höhersiedenden Reinigungsmittel häufig mit Wasser gemischt eingesetzt werden [Jepsen et al., 1999]. Es ist ein etwas höherer Zeitaufwand zur Reinigung nötig, da eine längere Einwirkzeit und ein zusätzliches Nachwaschen mit Wasser notwendig ist. Bei der Handreinigung ist größte Sorgfalt geboten, da in die Maschine gelangende Tropfen zu Korrosionsschäden, Beschädigung der Druckplatten und Störungen des Farb-Wasser-Gleichgewichtes führen können. Bei Tropfverlusten besteht erhöhte Rutschgefahr an der Maschine. Diesem Problem kann durch Sorgfalt begegnet werden. Automatische Anlagen müssen zum Teil aufgrund kleinerer Dosiermengen, anderer Sprühöffnungen und anderer Kunststoff- oder Gummidichtungen an die Hochsieder angepasst werden. Dies ist insbesondere bei der Verwendung von Pflanzenesterölen aufgrund von Materialunverträglichkeiten notwendig [Jepsen et al., 1999].

In Tabelle 8.5 werden die Minderungsmaßnahmen bei der Maschinenreinigung im Bogenoffsetdruck beschrieben und bewertet in Bezug auf ihr Minderungspotenzial, den notwendigen Kostenaufwand, sowie mögliche Umsetzungshemmnisse. Dabei ist zu beachten, dass diese Werte mit erheblichen Unsicherheiten behaftet sind. Sie geben jedoch eine Einschätzung der zu erwartenden Minderung und der daraus resultierenden Größenordnung der Kosten. Es wird im Folgenden zwischen mittel- und großformatigem Bogenoffsetdruck auf der einen und kleinformatigem Bogenoffsetdruck auf der anderen Seite unterschieden, aufgrund sehr unterschiedlicher technischer und organisatorischer Randbedingungen. Tabelle 8.4 definiert die unterschiedlichen Formate im Bogenoffsetdruck. Darüber hinaus werden in Tabelle 8.4 die jeweiligen Emissionen aus dem Reinigereinsatz sowie dem Isopropanoleinsatz in Abhängigkeit von der Bogenformatklasse abgeschätzt.

**Tabelle 8.4:** Druckformate im Bogenoffsetdruck [Jepsen et al., 1999]

Format- klasse	Bogenformat [cmxcm]	Gesamtemissionen [t]		Emissionen aus Reinigereinsatz [t]		Emissionen aus Isopropanoleinsatz [t]	
		2000	2010	2000	2010	2000	2010
Großformat	82 x 112 bis 120 x 162	14.321	17.068	7.006	8.350	7.315	8.718
Mittelformat							
Kleinformat	32 x 43 bis 66 x 50	4.066	4.846	1.989	2.371	2.077	2.475

Nach Schätzung des Bundesverbandes Druck und Medien e.V. (BVDM) [BVDM, 1996] sind in Deutschland in etwa 11.000 Bogen-Offsetbetrieben etwa 25.000 Maschinen mit 37.000 Druckwerken installiert. Ungefähr zwei Drittel der Bogenoffsetmaschinen haben ein Format kleiner 72 x 104 cm.

Die in Tabelle 8.5 identifizierten Maßnahmen sind überwiegend alternativ zu betrachten. Sie lassen sich weitgehend nicht kombiniert einsetzen. Daher ist es auch nicht sinnvoll, die Minderungspotenziale zu addieren.

**Tabelle 8.5:** Minderungspotenziale bei der Maschinenreinigung im Bogenoffsetdruck (eigene Berechnungen auf Grundlage von [Jepsen et al., 1999])

Minderungsmaßnahme	Drucktätigkeit	Minderungspotenzial	Kosten	Hemmnisse
		[vermiedene Lösemittlemissionen pro Jahr gegenüber dem Referenzszenario]	[€/vermiedene Tonne NMVOC-Emissionen]	
Einsatz hochsiedender Reinigungsmittel	Mittel- und großformatiger Bogenoffsetdruck	8.100 t (97%)	345	Qualifizierungsbedarf, teilweise technische Restriktionen
	Kleinformatiger Bogenoffsetdruck	2.110 t (89%)	-288	
Bessere Handhabung der Lösemittel	Mittel- und großformatiger Bogenoffsetdruck	2.505 t (30%)	-1.560	Fehlende Mitarbeiterqualifikation, Qualifizierungsbedarf, Zeitdruck
	Kleinformatiger Bogenoffsetdruck	948 t (40%)	-140	
Reduzierung von Farbwechsell	Mittel- und großformatiger Bogenoffsetdruck	418 t (5%)	Nicht quantifizierbar	Weniger Flexibilität bei der Belegungsplanung, schwer erschließbar
Umstellung auf Digitaldruckverfahren	Kleinformatiger Bogenoffsetdruck	593 t (25%)	164.000	Erschließbarkeit nur im Rahmen von Ersatzinvestitionen und Technologiewandel zu erwarten
Installation automatischer Waschanlagen	Mittel- und großformatiger Bogenoffsetdruck	251 t (3%)	77.100	
	Kleinformatiger Bogenoffsetdruck	95 t (4%)	636.000	

### Minderung der Emissionen aus der Isopropanol-Feuchtung im Bogenoffsetdruck

Bei der Reduzierung des Isopropanols im Wischwasser ist eine elementare Randbedingung, dass der Produktionsprozess nicht gestört wird, da das Druckergebnis sehr empfindlich auf Modifikationen des Farb-/Wasser-Gleichgewichtes reagiert. Im kleinformatigen Bogenoffsetdruck werden zur Zeit schon etwa 50% der Feuchtwerte isopropanolfrei betrieben [Jepsen et al., 1999].

Zur Zeit sind Isopropanolanteile im Wischwasser von 12% bis 13% und mehr üblich. Meist liegt der reale Wert sogar etwas höher, da mittels Spindel gemessene Isopropanolanteile oft 3% bis 5% unterhalb des tatsächlichen Anteils liegen [Jepsen et al., 1999]. In der Erhöhung der Messgenauigkeit des Isopropanolanteils liegt ein zentrales Minderungspotenzial insbesondere im Hinblick auf die notwendige Gewährleistung der Prozesssicherheit. Die Berufsgenossenschaft Druck hat acht Vorschläge [BG, 1997] zur Reduktion von Isopropanol ausgearbeitet:

- genaue Dosierung des Isopropanoleinsatzes mit exakt arbeitenden Dosiergeräten,
- präzises Justieren von Walzenabständen, Sauberkeit, konstante Temperaturführung,

- Einsatz anderer höhersiedender Feuchtwasserzusätze als Ersatz für Isopropanol,
- neu entwickelte Feuchtwalzen mit veränderten Oberflächen, die durch eine gleichmäßige Wasserführung Isopropanol einsparen,
- neue Feuchtwalzen mit "Präzisions-Auftragswalzen", die ohne Isopropanol auskommen,
- Einsatz von Keramikwalzen im Kleinformatigen Bogenoffsetdruck zur starken Reduzierung des Isopropanol-Einsatzes,
- Wasseraufbereitung zur Optimierung der Feuchtmittelzusammensetzung (pH-Wert, Salzgehalt und andere Parameter),
- Wasserloser Offsetdruck mit speziellen Druckplatten.

Es wird angestrebt, dass künftig der Anteil von Isopropanol im Wischwasser höchstens fünf bis sechs Prozent betragen soll [Theloke et al., 2000]. In Tabelle 8.6 werden die Minderungsmaßnahmen beim Isopropanoleinsatz im Bogenoffsetdruck beschrieben und bewertet in Bezug auf ihr Minderungspotenzial, den notwendigen Kostenaufwand, sowie mögliche Umsetzungshemmnisse. Dabei ist zu beachten, dass diese Werte mit erheblichen Unsicherheiten behaftet sind. Sie geben jedoch eine Einschätzung der zu erwartenden Minderung und der daraus resultierenden Größenordnung der Minderungskosten. Es wird im Folgenden zwischen mittel- und großformatigem Bogenoffsetdruck auf der einen Seite und kleinformatigem Bogenoffsetdruck auf der anderen Seite unterschieden, aufgrund sehr unterschiedlicher technischer und organisatorischer Randbedingungen. In Tabelle 8.4 wurden die unterschiedlichen Formate im Bogenoffsetdruck definiert.

Die in Tabelle 8.6 identifizierten und bewerteten Maßnahmen sind überwiegend alternativ zu betrachten. Sie lassen sich weitgehend nicht kombiniert einsetzen. Daher ist es auch nicht sinnvoll, die Minderungspotenziale zu addieren.

**Tabelle 8.6:** Minderungspotenziale beim Isopropanoleinsatz im Bogenoffsetdruck (eigene Berechnungen auf Grundlage von [Jepsen et al., 1999])

Minderungsmaßnahme	Drucktätigkeit	Minderungspotenzial	Kosten	Hemmnisse
		[vermeidene Lösemitteldmissionen pro Jahr gegenüber dem Referenzszenario]	[€/vermeidene Tonne Lösemitteldmissionen]	
Isopropanolreduktion ohne technische Maßnahmen um durchschnittlich vier Prozentpunkte	Mittel- und großformatiger Bogenoffsetdruck	2.354 t (27%)	-785	Steigende Anforderungen an die Sorgfalt der Mitarbeiter
	Kleinformatiger Bogenoffsetdruck	272 t (11%)	-613	
Genaue Isopropanolmessung - diskontinuierlich	Mittel- und großformatiger Bogenoffsetdruck	1.744 t (20%)	-366	Steigende Anforderungen an die Sorgfalt der Mitarbeiter
	Kleinformatiger Bogenoffsetdruck	272 t (11%)	28.632	Relativ großer technischer Aufwand für Kleinbetriebe

**Tabelle 8.6:** Minderungspotenziale beim Isopropanoleinsatz im Bogenoffsetdruck (eigene Berechnungen auf Grundlage von [Jepsen et al., 1999]) (Forts.)

Minderungsmaßnahme	Drucktätigkeit	Minderungspotenzial	Kosten	Hemmnisse
		[vermiedene Lösemittlemissionen pro Jahr gegenüber dem Referenzszenario]	[€/vermiedene Tonne Lösemittlemissionen]	
Genauere Isopropanolmessung - kontinuierlich	Mittel- und großformatiger Bogenoffsetdruck	1.744 t (20%)	352	Steigende Anforderungen an die Sorgfalt der Mitarbeiter, Einzelfallberatung erforderlich
Ersatzstoffeinsatz	Mittel- und großformatiger Bogenoffsetdruck	1.744 t (20%)	370	Hoher einzelfallbezogener technischer Anpassungs- und Beratungsbedarf; Es stehen kaum Systemlösungen zur Verfügung
	Kleinformatiger Bogenoffsetdruck	272 t (11%)	1.687	
Einsatz von hydrophilen Spezialwalzen	Mittel- und großformatiger Bogenoffsetdruck	1.744 t (20%)	770	
	Kleinformatiger Bogenoffsetdruck	272 t (11%)	21.525	
Feuchtmittelkühlung	Mittel- und großformatiger Bogenoffsetdruck	1.744 t (20%)	415	
Kombination von Ersatzstoffen, hydrophilen Spezialwalzen und Feuchtmittelkühlung	Mittel- und großformatiger Bogenoffsetdruck	1.744 t (20%)	1.970	
Kombination von Ersatzstoffen und hydrophilen Spezialwalzen	Kleinformatiger Bogenoffsetdruck	272 t (11%)	23.826	
Prozesswasseraufbereitung in Kombination mit Ersatzstoffen, hydrophilen Spezialwalzen und Feuchtmittelkühlung	Mittel- und großformatiger Bogenoffsetdruck	1.744 t (20%)	970 bis 2.570, abhängig von der Maßnahme, mit der die Wasseraufbereitung kombiniert ist	Hoher einzelfallbezogener technischer Anpassungs- und Beratungsbedarf; Es stehen kaum Systemlösungen zur Verfügung
Umstellung auf wasserlosen Bogenoffsetdruck	Mittel- und großformatiger Bogenoffsetdruck	697 t (8%)	26.720	Monopolartige Anbieterstruktur, mangelnde Markteinführung, reduzierte Produktionsflexibilität
	Kleinformatiger Bogenoffsetdruck	149 t (6%)	4.700	

**Tabelle 8.6:** Minderungspotenziale beim Isopropanoleinsatz im Bogenoffsetdruck (eigene Berechnungen auf Grundlage von [Jepsen et al., 1999]) (Forts.)

Minderungsmaßnahme	Drucktätigkeit	Minderungspotenzial	Kosten	Hemmnisse
		[vermiedene Lösemittlemissionen pro Jahr gegenüber dem Referenzszenario]	[€/vermiedene Tonne Lösemittlemissionen]	
Einsatz isopropanolfreier Feuchtwerke	Mittel- und großformatiger Bogenoffsetdruck	262 t (3%)	Nicht quantifizierbar; Da bisher nur für wenige Formate Druckmaschinen zur Verfügung stehen, sind die Investitionskosten zur Zeit noch relativ hoch	Bisher stehen nur wenig Maschinen für Mittel- und Großbogen zur Verfügung, insbesondere nicht für alle Formatgrößen; Einzelfallberatung notwendig
	Kleinformatiger Bogenoffsetdruck	619 t (25%)	13.600	Sehr gut erschließbar und bei etwa 50% der Maschinen schon umgesetzt. Einzelfallbezogener Beratungsbedarf notwendig; Da geringere Makulaturmengen anfallen, erschließt diese Maßnahme eine Effizienzsteigerung der Druckprozesse
Digitaldruck	Kleinformatiger Bogenoffsetdruck	309 t (12,5%)	164.100	Notwendigkeit einer vollständigen digitalen Vorstufe und eingegrenzter Anwendungsbe- reich; Es ist für die Zukunft anzunehmen, dass aufgrund des technologischen Wandels die Digitaldrucktechnik vermehrt eingesetzt werden wird.

### **Minderungspotenziale im Verpackungsflexodruck**

Im wasserbasierten und lösemittelbasierten Verpackungs-Flexodruck gibt es bei der Maschinenreinigung folgende Möglichkeiten zur Minderung [Jepsen et al., 1999]:

- bessere Handhabung von Maschinenreinigungsmitteln,
- Einsatz NMVOC-armer Reinigungsmittel (kaum relevant, aufgrund systembedingter Erfordernisse),
- Fassung der Emissionen aus Waschplatz- und Teilereinigung mit nachgeschalteter Abluftreinigungsanlage,
- Einsatz optimierter Teilewaschanlagen,
- Einsatz von Laugenteilewaschanlagen,
- Einsatz automatisierter Wascheinrichtungen.

Im wasserbasierten Verpackungsflexodruck gibt es beim Farb- und Lackauftrag nur die Möglichkeit einer sorgfältigeren Handhabung, um Lösemittlemissionen zu vermindern. Dagegen gibt es im lösemittelbasierten Verpackungsflexodruck neben der sorgfältigeren Handhabung der eingesetzten Farben und Lacke weitere Möglichkeiten die Emissionen beim Farb- und Lackauftrag zu vermindern:

- Umstellung auf UV-Farbsysteme,
- Umstellung auf wasserbasierte Farbsysteme,
- verrohrte Lösemittelzufuhr,
- verbesserte Kapselung,
- Optimierung der Abluftreinigung.

Insgesamt lässt sich aus den aufgeführten Maßnahmen ein Minderungspotenzial von etwa 32% ableiten [Jepsen et al., 1999]. Nur etwa 14% der Lösemittlemissionen aus dem Verpackungsflexodruck werden aus Anlagen emittiert werden, die nicht von der 31. BImSchV [31. BImSchV, 2001] erfasst sind. Somit kann ein Minderungspotenzial von etwa 653 t gegenüber dem Referenzszenario quantifiziert werden.

### **Minderungspotenziale im Siebdruck**

Im Siebdruck gibt es im Wesentlichen nur die Möglichkeit einer sorgfältigeren Handhabung der lösemittelhaltigen Einsatzstoffe. Das so erschließbare Minderungspotenzial beträgt bis 2010 etwa 30% gegenüber dem Referenzszenario [Jepsen et al., 1999]. Dies entspricht etwa 4.034 t pro Jahr gegenüber dem Referenzszenario.

### 8.3.4 Anwendung von Klebstoffen und Haftmaterialien

#### Emissionsminderungspotenziale

Im Folgenden werden über die 31. BImSchV [31. BImSchV, 2001] hinausgehende Emissionsminderungspotenziale untersucht. Aufgrund der vielen und sehr unterschiedlichen Anwendungen von Klebstoffsystemen gibt es keine allgemein anwendbare Alternative für lösemittelbasierte Klebstoffsysteme. Hierbei müssen zunächst die sektorspezifischen Grenzen solcher Maßnahmen betrachtet werden. In manchen Fällen können die Eigenschaften des zu klebenden Substrates den Einsatz lösemittelhaltiger Klebstoffe notwendig machen. Dies ist z. B. beim Kleben von Parkett der Fall. Der Einsatz wässriger Systeme kann hier nach Angaben des Industrieverband Klebstoffe e.V. (IVK) [VCI, 1997] zu Reklamationen führen. Für manche Sektoren, z. B. das Kleben von PVC-Druckrohren, gelten gesetzliche Vorschriften, die den Einsatz lösemittelhaltiger Klebstoffe nach Angaben des IVK nötig machen [VCI, 1997]. In [VCI, 1997] führt der IVK weiterhin an, dass wehrtechnische Spezifikationen den Einsatz lösemittelhaltiger Klebstoffe manchmal notwendig machen und weist darauf hin, dass in explosionsgefährdeten Bereichen (z. B. im Bergbau) der Einsatz von Klebstoffen auf der Basis nicht brennbarer Lösemittel notwendig ist. In diesem Bereich wäre der Einsatz wasserbasierender Klebstoffe sicherlich sinnvoll. Vom IVK werden den einzelnen Marktsegmenten zugeordnete Minderungspotenziale angegeben [VCI, 1997]. Eine Zusammenfassung dieser Betrachtungen ist unter Berücksichtigung der Minderungseffekte, die schon aufgrund der 31. BImSchV [31. BImSchV, 2001] implementiert wurden, in Tabelle 8.7 dargestellt. Es würden bis 2010 durch zusätzliche Maßnahmen nach dieser Rechnung etwa 3.227 t Lösemittlemissionen gegenüber dem Referenzszenario vermieden werden.

**Tabelle 8.7:** Minderungspotenziale über die 31. BImSchV [31. BImSchV, 2001] hinaus bei der Verwendung von Klebstoffen, disaggregiert nach FEICA-Sektoren [VCI, 1997] und [Theloke et al., 2003]

FEICA-Sektor	Minderungspotenziale über die 31. BImSchV hinaus	Emissionen 2010 (Referenzszenario)	Emissionen 2010 (zusätzliche Maßnahmen)
	[%]	[t]	[t]
Papier & Verpackung	5	1.780	1.691
Bau	10	3.379	3.041
Holz & Möbel	10	1.670	1.503
Transport	10	2.209	1.988
Schuh	10	1.805	1.625
Do-It-Yourself	50	3.927	1.964
Montage	10	1.560	1.404
Primer, Verdünner und Untergrundvorbehandler	15	754	641
Summe		17.084	13.857

Insbesondere folgende zusätzliche Informationen sind wichtig zum Verständnis von Tabelle 8.7:

- Im Bereich Papier und Verpackung haben lösemittelhaltige Klebstoffe lediglich einen Anteil von 6% an der Klebstoffeinsatzmenge. Nur hier sind Minderungspotenziale zu sehen. Es sind über die durch die 31. BImSchV [31. BImSchV, 2001] bedingten Minderungen noch Minderungspotenziale durch die zunehmende Verwendung von lösemittelfreien Systemen beim Kaschieren zu erwarten.
- Im Baubereich werden lösemittelhaltige Klebstoffe nur noch für Bodenbeläge verwendet. Das Verhältnis Dispersionsklebstoffe zu lösemittelhaltigen Klebstoffen beträgt zur Zeit schon 90:10.
- Lösemittelhaltige Klebstoffe werden in der Holz- und Möbelindustrie in erster Linie bei der Weichschaumverarbeitung und der Profilmantelung von Kunststofffenstern verwendet. Die Substitution von Chlorkohlenwasserstoffen durch Polyurethan-Schmelzklebstoffe im Bereich der Fensterprofilummantelung wird zur Zeit durchgeführt und soll nach Angaben der Klebstoffindustrie in den nächsten Jahren abgeschlossen sein. Bei der Weichschaumverarbeitung erfüllen lösemittelhaltige Klebstoffe nach Angaben des IVK das Anforderungsprofil am besten. Der IVK hebt hier insbesondere die gute Anfangshaftung bei einseitigem Klebstoffeintrag hervor. Minderungspotenziale sind hier in der Substitution von lösemittelhaltigen Klebstoffen durch lösemittelärmere Klebstoffe, sogenannte High-Solid-Klebstoffe, zu sehen. Neuere Entwicklungen ermöglichen Festkörpergehalte von 80%. Bei der Matratzenverklebung sollen die bisher eingesetzten Chlorkohlenwasserstoffe enthaltenden Klebstoffsysteme in Zukunft durch Schmelzklebstoffe ersetzt werden.
- Dem Do-It-Yourself-Bereich, das heißt dem Heimwerkerbereich, werden vom IVK die größten Minderungspotenziale zugeordnet. Nach Angaben des IVK ist eine Lösemittelreduktion auch hier nur noch bedingt möglich, da bereits in großem Umfang eine Substitution von lösemittelhaltigen Klebstoffen durch Dispersionsklebstoffe stattgefunden hat. Zudem erfordert die mangelnde Kenntnis der Anwender lösemittelhaltige "Universalklebstoffe". Durch entsprechende Beratung, Aufklärung und Marktakzeptanz können nach Angaben des IVK in Zukunft ungefähr 50% der Lösemittellemissionen vermieden werden.

Zur Bewertung des Substitutionspotenzials muss die jeweils optimale Minderungsstrategie für jede spezifische Applikation individuell betrachtet werden. Grundsätzlich gibt es folgenden Alternativen [BIPRO, 2002]:

- Schmelzklebstoffe,
- Dispersionsklebstoffe,
- High-Solid-Klebstoffe,
- Reaktionsklebstoffe,
- Drucksensitive Klebstoffe,
- Substitution von Klebstoffen z. B. durch mechanische Befestigung.

Im Folgenden wird die Funktionsweise dieser Klebstoffsysteme kurz beschrieben:

- Schmelzklebstoffe sind Thermoplaste, die bei Erwärmung aushärten. Die notwendigen Temperaturen variieren dabei zwischen 100°C und 250°C. Schmelzklebstoffe sind auf der Basis von Polyester, Polyamiden oder Polyolefinen erhältlich. Sie sind lösemittelfrei.
- Dispersionsklebstoffe basieren auf in wässriger Lösung dispergierten einkomponentigen Polymeren. Der mittlere Lösemittelanteil beträgt 2%.
- High-Solid Klebstoffe haben einen Festkörpergehalt von mehr als 60%, das heißt, sie können einen Lösemittelgehalt von bis zu 40% haben. Dieser Lösemittelgehalt ist kleiner als der mittlere Lösemittelgehalt lösemittelhaltiger Klebstoffsysteme.
- Reaktionsklebstoffe bestehen aus zwei Komponenten, die durch eine chemische Reaktion aushärten. Sie sind lösemittelfrei.
- Drucksensitive Klebstoffe sind die sogenannten Selbstklebestreifen. Sie enthalten meist noch geringe Mengen Lösemittel.

Für manche Anwendungen sind auch doppelseitige Selbstklebestreifen oder mechanische Befestigungen gute Alternativen. Bei vielen Anwendungen können diese Alternativen jedoch schlechtere Bindungseigenschaften zur Folge haben und damit in ihrer Verwendbarkeit eingeschränkt sein. Hinzu kommt, dass die applizierten Klebstoffsysteme kompatibel mit den verwendeten Beschichtungsstoffen und Dichtstoffen sein müssen. In Tabelle 8.8 sind die technischen Randbedingungen aufgezählt, die bei der Verwendung der zur Verfügung stehenden lösemittelarmen Klebstoffsysteme berücksichtigt werden müssen [BIPRO, 2002].

**Tabelle 8.8:** Technische Randbedingungen, die bei der Verwendung lösemittelarmer Klebstoffsysteme zu berücksichtigen sind [BIPRO, 2002]

Klebstoffsystem	Technische Randbedingungen
Schmelzklebstoffe	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Spezialapplikationsgeräte notwendig</li> <li>- Klebstoffsysteme besitzen meist eine geringe Kohäsion</li> <li>- Thermoplastizität (außer bei 2-K-Schmelzklebstoffen)</li> <li>- Die Materialien müssen wärmebeständig sein</li> <li>- Nur für definierte Materialkombinationen verwendbar</li> </ul>
Dispersionsklebstoffe	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Längere Trocknungszeiten</li> <li>- Geringere Beständigkeit gegen Feuchtigkeit und Wärme</li> <li>- Weniger Kohäsion und Adhäsion im Vergleich zu lösemittelhaltigen Klebstoffsystemen</li> <li>- Nur für spezifische Materialkombinationen anwendbar</li> <li>- Mindestens eine zu klebende Oberfläche muss adsorbierende Eigenschaften besitzen</li> <li>- Bei zu niedrigen Temperaturen nicht einsetzbar</li> <li>- Dispersionsklebstoffe können schädliche Substanzen als Konservierungsstoffe (z. B. Formaldehyd) und Weichmacher enthalten</li> <li>- Weniger entzündlich als lösemittelhaltige Klebstoffe</li> </ul>
Reaktionsklebstoffe	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Begrenzte Haltbarkeit</li> <li>- Anspruchsvolle Handhabung</li> <li>- Bei feucht aushärtenden Klebstoffen hängt die Aushärtezeit vom Umgebungsfeuchtegehalt ab</li> <li>- Manche Reaktionsklebstoffe enthalten Weichmacher (Phthalate)</li> </ul>
High-Solid-Klebstoffe	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Weniger Tiefenwirkung bei adsorbierenden Oberflächen</li> <li>- Größere Schichtdicke und damit einhergehend höherer Materialverbrauch</li> <li>- Anspruchsvolle Handhabung</li> </ul>

Die Option der mechanischen Befestigung und der Fixierung mit Selbstklebebändern bedingt eine geringere Bindung der zu klebenden Oberflächen und ist damit nur auf sehr wenige Anwendungen beschränkt.

Die Luftqualität wird durch die Lösemittelreduktion verbessert. Jedoch werden durch die zusätzlich benötigte Wärme bei den Trocknungsprozessen insbesondere der wässrigen Klebstoffsysteme teilweise höhere Treibhausgasemissionen verursacht. Das Gleiche gilt für den Einsatz von Schmelzklebstoffen. Darüber hinaus werden schwerflüchtige Weichmacher und Konservierungsstoffe über einen langen Zeithorizont in geringen Mengen aber kontinuierlich in die Umwelt eingetragen. Durch die eingesetzten Weichmacher, Konservierungsstoffe, Biozide und Flammschutzmittel ergeben sich aus dem Einsatz lösemittelärmerer Systeme teilweise Risiken für die Umwelt und Gesundheit des Menschen [BIPRO, 2002].

Die Kosteneffekte sind aufgrund der Vielzahl von Produkten, Anwendungen und Möglichkeiten zur Lösemittelreduktion schwer abschätzbar. Wahrscheinlich werden leicht erhöhte Kosten zu erwarten sein, insbesondere aufgrund der teilweise notwendigen Umstellungen im Arbeitsablauf und der daraus resultierenden Mitarbeiterschulungen. Teilweise entstehen höhere Prozess- und Investitionskosten, die aber nach Stand des Wissens nicht zu quantifizieren sind.

### **8.3.5 Oberflächenreinigungsprozesse**

#### **Industrielle Metallentfettung**

Bezüglich des Einsatzes an chlorierten Kohlenwasserstoffen sind durch die Umsetzung der 2. BImSchV [2. BImSchV, 2001] keine weiteren Minderungen zu erwarten. Beim Einsatz der nichtchlorierten Lösemittel sind noch Minderungspotenziale über die 31. BImSchV [31. BImSchV, 2001] hinaus zu identifizieren. Das wesentliche Minderungspotenzial entsteht dabei durch den Einsatz der wässrigen Reinigung in Einkammerspritzenanlagen [Öko, 1999]. Geringfügige weitere Minderungspotenziale lassen sich durch den Ersatz von Kohlenwasserstoffanlagen mit Umlufttrocknung, durch wässrige Systeme oder Vakuumanlagen sowie durch sekundärseitige Abluftreinigungsmaßnahmen bei Vakuumanlagen erzielen [Öko, 1999]. Auch die Substitution von A II- durch A III-Reiniger wirkt emissionsmindernd. Außerdem sind noch Potenziale durch den größeren Einsatz von geschlossenen Anlagen zu erkennen. Mit diesen Maßnahmen können etwa 50% der Emissionen an nichtchlorierten Lösemitteln aus der industriellen Metallentfettung, die nicht von der 31. BImSchV [31. BImSchV, 2001] erfasst werden, das heißt, etwa 1.198 t, vermieden werden [Öko, 1999].

#### **Nichtindustrielle Dienstleistung**

Es wurden bei nichtindustriellen Dienstleistungen in Deutschland im Jahr 2000 etwa 5.272 t Lösemittel emittiert. Etwa 80% der Emissionen wurden durch Sprayanwendungen verursacht, das heißt, bei der Verdunstungsreinigung. Bei den sonstigen Dienstleistungen, die bisher aufgrund zu kleiner Jahresverbräuche gar nicht von der 31. BImSchV [31. BImSchV, 2001] erfasst sind, kann ein Minderungspotenzial von etwa 50% durch folgende Maßnahmen identifiziert werden [Öko, 1999]:

- Einsatz von wässrigen Waschautomaten bei der Teilereinigung am Waschtisch,
- Einsatz von wässrigen PKW-Bremsenheißwäschern statt Verdunstungsreinigung.

Das Minderungspotenzial aufgrund dieser Maßnahmen wird mit etwa 3.391 t/a gegenüber dem Referenzszenario quantifiziert.

Zusätzlich können mit Hilfe wässriger Reinigung bei 70°C bis 80°C in Waschautomaten erhebliche Mengen der Lösemittlemissionen aus der Teilereinigung vermieden werden [Öko, 1999]. Obwohl die jährlichen Kosten etwa 50% höher sind als bei der manuellen Reinigung mit Kohlenwasserstoffen, amortisiert sich der Einsatz der Waschautomaten aufgrund eingesparter Personalkosten. Denn es wird davon ausgegangen, dass die bisher mit der manuellen Reinigung Beschäftigten durch Einsatz von Waschautomaten andere Tätigkeiten durchführen können und so Personalkosten eingespart werden [Öko, 1999]. Bei der Verdunstungsreinigung können mit Hilfe von Pkw-Bremsen-Niederdruck-Heißwäschern erhebliche Emissionsmengen vermieden werden. Neben dem emissionsmindernden Effekt hat die wässrige Bremsen-Heißreinigung auch aus Kostengründen erhebliche Vorteile [Öko, 1999].

### **Feinreinigung**

Durch Umstellung auf wässrige Reinigung in Anlagen, die nicht von der 31. BImSchV [31. BImSchV, 2001] erfasst sind, können bei der Fertigung elektronischer Komponenten und der Feinmechanik zusätzlich jeweils etwa 5% der Emissionen reduziert werden [Öko, 1999]. Dies entspricht einem zusätzlichen Minderungspotenzial gegenüber dem Referenzszenario von etwa 44 t/a bis 2010. Dieses Minderungspotenzial kann sowohl durch den vermehrten Einsatz von wässrigen Siebwaschanlagen in der elektronischen Fertigung als auch durch vermehrten Einsatz von wässrigen Reinigungsmitteln in der Feinmechanik ausgeschöpft werden. In der Feinoptik sind keine über die 31. BImSchV [31. BImSchV, 2001] hinausgehenden Minderungsmaßnahmen möglich.

### **Organische Spezialreinigung**

Folgende Maßnahmen können über die 31. BImSchV [31. BImSchV, 2001] hinausgehende Minderungspotenziale in der organischen Spezialreinigung erschließen [Öko, 1999]:

- Maßnahmen, die den Spülaufwand in Gießanlagen für 2-Komponenten-Gießanlagen erheblich verringern (Minderungspotenzial 85%):
  - Verkürzung der Mischungsführenden Strecke (Reduzierung des Spülaufwandes um 80% bis 90%),
  - Einsatz von Einweg-Mischrohren.
- Maßnahmen, die den Spül- und Reinigungsaufwand in Misch- und Rührwerken für 1-Komponenten-Dichtstoffe erheblich verringern (Minderungspotenzial 67%):
  - weniger Farbwechsel bedingen weniger Spülvorgänge,
  - Maschinelle Reinigung des Rührwerks; dadurch werden die bei der manuellen Reinigung auftretenden Verdunstungsemissionen gemindert,
  - Einsatz von A III-Reinigungsmitteln,
  - Substitution von Lösemittelreinigern durch wässrige Reiniger bei erhöhter Temperatur,
  - innerbetriebliche Lösemittelregeneration,

- Maßnahmen, die die Lösemittlemissionen zusätzlich senken (Minderungspotenzial 5%):
  - Optimierung der bestehenden Prozesse und des Reinigereinsatzes,
  - bei der Produktreinigung und im Produktfinishing sind durch bessere Handhabung der Lösemittel und Optimierung der Prozesse sowie die Substitution der Lösemittel durch schwerer verdampfbare Lösemittel (A III-Reiniger) bzw. wässrige Reinigungsmittel geringfügige Minderungspotenziale in Höhe von etwa 5% zu erschließen.

Insgesamt kann durch diese zusätzlichen Maßnahmen ein Minderungspotenzial von etwa 1.472 t/a bis 2010 identifiziert werden, das über das Referenzszenario hinaus in den Anwendungen der organischen Spezialreinigung realisierbar ist.

### **Entwachsen von Fahrzeugen**

Über 90% Prozent der Emissionen aus der Entwachsung von Neufahrzeugen können durch die folgenden Maßnahmen vermieden werden [Öko, 1999]:

- Einführung des Standes der Technik bei allen zentralen Entwachsungsanlagen,
- Verschiebung der manuellen Entwachsung in Autohäusern zur zentralen Entwachsung in Großlagern,
- Verzicht auf Konservierung bei "kurzen Wegen",
- Einsatz von Polyacrylaten, die mit Hilfe eines alkalisch-wässrigen Verfahrens entfernt werden können,
- Konservierung mit Kunststofffolien.

Bis 2010 ergibt sich hieraus ein Minderungspotenzial von etwa 1.425 t/a gegenüber dem Referenzszenario.

Viele neu produzierte Fahrzeuge werden heute nicht mehr konserviert, wenn sie auf „kurzem Weg“ zum Kunden kommen. Vor einiger Zeit wurden in einem Ausschuss des Verbandes der Automobilindustrie Substitutionsmöglichkeiten bei der Fahrzeugkonservierung untersucht. Dabei wurde der Einsatz von Acrylatlacken als Oberflächenschutz untersucht. Die qualitativen Eigenschaften dieses Systems genügten den Ansprüchen der Kunden allerdings nicht. Für den amerikanischen Markt und bei französischen Importfahrzeugen werden sogenannte Acrylattransportkonservierungen eingesetzt, die mit einer wässrig-alkalischen Lösung entfernt werden. Für deutsche Verhältnisse ist allerdings der CSB (Chemischer Sauerstoffbedarf) dieses Verfahrens zu hoch. Nach Angaben von [Öko, 1999] werden von zwei Autoherstellern Klebefolien eingesetzt.

### **Entfernung von Farben und Lacken**

Nach [Öko, 1999] ist davon auszugehen, dass die organische und die wässrig-alkalische Entlackung vollständig von der 31. BImSchV erfasst werden. Allerdings erfüllen die Anlagen fast alle schon jetzt die Anforderungen der 31. BImSchV, sodass sich aus der 31. BImSchV kein Minderungspotenzial für die Entlackung ableiten lässt.

Im Folgenden werden über bisherige gesetzliche Maßnahmen hinausgehende Minderungspotenziale betrachtet. Ein wesentliches Minderungspotenzial ist die Substitution von organischen

Abbeizern durch wässrig-alkalische Abbeizer. Dies ist insbesondere sinnvoll, um den Einsatz von Dichlormethan in offenen Anwendungen mittelfristig auf Null zu reduzieren. Weitere Minderungspotentiale sind in [Öko, 1999] beschrieben:

- sorgfältigere Handhabung der organischen Entlackungsmittel,
- thermische Entlackung,
- Separierung der Entlackung von Aluminiumteilen (organische Entlackung) und Stahlgehäusen (wässrig-alkalische Entlackung),
- mechanisches Entfernen von anhaftendem Pulverlack vor dem Einbrennprozess.

Insgesamt summieren sich die identifizierten Minderungspotenziale auf etwa 20% der Emissionen aus nichtchlorierten Anwendungen. Etwa 96% der Emissionen aus dem Einsatz von Dichlormethan könnten durch den Einsatz von wässrig-alkalischen Abbeizmitteln vermieden werden. Insgesamt ist ein Minderungspotenzial gegenüber dem Referenzszenario von etwa 2.660 t/a identifizierbar.

### **8.3.6 Herstellung von lösemittelhaltigen Produkten**

#### **Herstellung von pharmazeutischen Produkten**

Emissionsminderungen ergeben sich nach [LBA, 1993] häufig bei der Umsetzung von Maßnahmen, die dem Arbeitsschutz dienen. Darüber hinaus sind Minderungspotenziale im Bereich der Aufarbeitung in Zentrifugen und Trockenschränken zu finden. Bis zu 95% der Lösemittel können durch den Einsatz von Umlufttrocknern eingespart werden. Diese Substitution von Frischlufttrocknern hat in den vergangenen Jahren vermutlich größtenteils schon stattgefunden. Weitere Potenziale zur Emissionsminderung können noch durch den Einsatz von Vakuumtrocknern mit Lösemittelrückgewinnung erschlossen werden. Daneben kann die Menge an eingesetzten Lösemitteln vermutlich noch vermindert werden. Die angeführten Minderungspotenziale werden mit etwa 10% gegenüber dem Referenzszenario quantifiziert. Dabei handelt es sich aufgrund der relativ unsicheren Datenlage um eine grobe Schätzung, die mit erheblichen Unsicherheiten behaftet ist.

#### **Herstellung von Farben und Lacken**

Durch bessere Handhabung der Lösemittel sowie konsequente Implementierung des Standes der Technik in Altanlagen ist voraussichtlich ein über das Referenzszenario hinausgehendes Minderungspotenzial von etwa 25% quantifizierbar.

#### **Herstellung von sonstigen lösemittelhaltigen Produkten**

Durch bessere Handhabung der Lösemittel sowie konsequente Implementierung des Standes der Technik in Altanlagen ist voraussichtlich ein über das Referenzszenario hinausgehendes Minderungspotenzial von etwa 25% quantifizierbar.

### 8.3.7 Anwendung von Treibgasen für Aerosolsprays

Treibgase werden in sogenannten Aerosolsprays eingesetzt. In folgenden Bereichen werden Aerosolsprays verwendet [IGA, 2001]:

- Körperpflege,
- Haushalt,
- andere Anwendungsbereiche.

Bei der Berechnung der NMVOC-Emissionen muss berücksichtigt werden, dass die betrachteten Anwendungsbereiche in dieser Arbeit schon vollständig in anderen Quellgruppen erfasst werden. Um jedoch Minderungspotenziale zu quantifizieren, ist es notwendig, die durch Aerosolsprays verursachte Emissionsmenge im Referenzszenario zu bestimmen. Im Folgenden werden daher zunächst die Emissionsmengen 2000 ermittelt und dann mit Hilfe sektorspezifischer sozioökonomischer Aktivitätsindizes der PROGNOSE AG [PROGNOS, 2002] die entsprechenden Emissionen für 2010 berechnet.

#### **Berechnung der Emissionen aus der Anwendung von Aerosolsprays im Jahr 2000**

Die Ermittlung des Inlandsverbrauches von Treibgassprays auf Grundlage der Produktions- und Außenhandelsstatistik ist nicht möglich, da Treibgassprays in verschiedenen Produktgruppen der Produktionsstatistik enthalten sind, die auch andere Produkte enthalten. Daher wird auf verbandsinterne Erhebungen der Industriegemeinschaft Aerosole e. V. (IGA) zurückgegriffen. Es steht hierfür zum einen die Abfüllstatistik der IGA [IGA, 2001] zur Verfügung, die die Menge abgefüllter Treibgasdosen im Jahr 2000 in Deutschland angibt. Diese ist in Tabelle 8.9 aufgeführt [IGA, 2001]. Tabelle 8.9 ist zu entnehmen, dass 2000 in Deutschland etwa 875 Mio. Aerosoldosen abgefüllt wurden. Die in Tabelle 8.9 angegebenen Mengen abgefüllter Aerosoldosen sind alleine jedoch noch nicht ausreichend, um den Inlandseinsatz an Aerosoldosen zu ermitteln, da in dieser Statistik Ein- und Ausfuhr unberücksichtigt bleiben. Daher wird im Folgenden in Tabelle 8.10 die Abfüllstatistik für die EU 15 betrachtet, die [BIPRO, 2002] auf Grundlage von [IGA, 2002] entstammt. Diese Statistik lässt Im- und Export der EU 15 Länder außer Betracht. Jedoch wird im Folgenden angenommen, dass Im- und Exporteffekte für die Abschätzung des Verbrauchs an Aerosoldosen innerhalb der EU 15 vernachlässigbar sind. Damit wird die Abfüllmenge an Aerosoldosen der innerhalb des EU 15-Gebietes verbrauchten Aerosoldosenmenge gleichgesetzt.

Mit den Abfüllmengen aus Tabelle 8.10 lassen sich pro-Kopf-Verbräuche an Aerosoldosen für die EU 15 Bevölkerung ermitteln. Dabei werden regionale bzw. nationale Unterschiede im Verbrauchsverhalten vernachlässigt. Es wird auf Grundlage von [Census, 2003] für die EU 15 eine Einwohnerzahl im Jahr 2000 von 377.353.614 Bewohnern angenommen und für Deutschland 82.187.909 Bewohner. Damit lässt sich die Inlandsverbrauchsmenge an Aerosoldosen im Bezugsjahr 2000 disaggregiert nach Einsatzbereichen für Deutschland in Tabelle 8.11 berechnen.

**Tabelle 8.9:** Abgefüllte Menge an Aerosoldosen in Deutschland 2000 disaggregiert nach Anwendungsbereichen [IGA, 2001]

Anwendungsbereich	Abgefüllte Menge an Aerosoldosen [Mio. Dosen]
<b>Körperpflege</b>	
Deodorantien und Antitranspirantien	205
Haarsprays und Haarlacke	172
Haarschäume	145
Rasierschäume	36
Rasiergels	10
Sonstige Körperpflegeprodukte	18
<b>Haushaltsprodukte</b>	
Insektizide und Pflanzenschutz	5
Teppichschäume	3
Wäschestärke und Bügelhilfe	11
Raumsprays	10
Wachs- und Poliersprays	1
Ofenreiniger	1
Bad- und Küchenreiniger	10
Schuh- und Lederpflegemittel	17
Sonstige Haushaltsprodukte	66
<b>Andere Produkte</b>	
Autopflegemittel	26
Technische Sprays für Industriezwecke	38
Farb- und Lacksprays	40
Pharmazeutische Sprays	48
Veterinärprodukte	1
Sonstige	12
<b>Summe</b>	<b>875</b>

**Tabelle 8.10:** Abfüllstatistik für Aerosoldosen in der EU 15 disaggregiert nach Anwendungsbe-  
reichen von Aeroslsprays [BIPRO, 2002] auf Grundlage von [IGA, 2002]

Land	Körperpflegeprodukte	Haushaltsprodukte	Autopflegemittel	Technische Sprays	Farb- und Lacksprays	Pharmazeutische Sprays und Veterinärprodukte	Sonstige
	[1000 Dosen]						
Belgien/ Luxemburg	103.161	144.364	7.235	28.442	6.256	490	456
Dänemark	300	750	800	3.000	450		
Deutschland	586.000	124.000	26.000	38.000	40.000	49.000	12.000
Finnland	4.717	461	388	5.868	1.743		729
Frankreich	385.000	98.000	17.000	12.000	4.000	43.000	6.000
Griechenland	7.300	8.550	1.000	100	4.000	100	700
Großbritannien	961.400	215.340	25.300	29.800	16.600	102.040	16.400
Irland							
Italien	156.100	165.200	17.300	12.000	19.100	19.350	11.100
Niederlande	12.310	257.614	20.661	25.855	24.295	606	
Österreich	28.800	2.280	1.700		3.500	150	500
Portugal	30.039	4.182		612		25	
Schweden	11.699	2.485	1.631	1.249	1.379	484	131
Spanien	104.778	64.462	5.661	1.487	4.572	6.370	16.844
<b>Summe</b>	2.391.604	1.087.688	124.676	158.413	125.895	221.615	64.860

Aus Tabelle 8.11 geht hervor, dass 2000 in Deutschland 909.263.995 Treibgasdosen eingesetzt wurden. Aus Tabelle 8.12 ergibt sich eine mittlere Einsatzmenge pro Dose der über alle Quellgruppen erfassten Anwendungsbereiche von etwa 85,38 g pro Dose und eine mittlere Emissionsmenge von etwa 81,11 g pro Dose. Insgesamt wurden im Bezugsjahr 2000 in Deutschland bei der Anwendung von Aerosolsprays etwa 73.750 t NMVOC emittiert.

**Tabelle 8.11:** Inlandverbrauchsmenge an Aerosoldosen in Deutschland 2000 disaggregiert nach Anwendungsbereichen

Einsatzbereich	Pro Kopf Verbrauch [EU 15]	Verbrauch 2000 [Deutschland]
	[Dosen pro Einwohner]	[Dosen]
Körperpflegeprodukte	6,34	520.893.201
Haushaltsprodukte	2,88	236.899.287
Autopfleagemittel	0,33	27.154.529
Technische Sprays	0,42	34.502.474
Farb- und Lacksprays	0,33	27.420.028
Pharmazeutische Sprays und Veterinärprodukte	0,59	48.267.918
Sonstige	0,17	14.126.558
Summe	11,06	909.263.995

**Tabelle 8.12:** Einsatz- und Emissionsmengen aus der Anwendung von Aerosolsprays, die schon in anderen Quellgruppen erfasst werden

Anwendungsbereich	Einsatzmenge NMVOC EU 15	Einsatzmenge Dosen EU 15	Einsatzmenge pro Dose EU 15	Einsatzmenge NMVOC Deutschland	Emissionsfaktor	Emissionsmenge Deutschland	Informationsquelle
	[t]	[1000 Dosen]	[g pro Dose]	[t]		[%]	
Körperpflegeprodukte	220.000	2.391.604	91,99	47.916	95	45.520	[BIPRO, 2002]
Haushaltsprodukte	72.000	1.087.688	66,20	15.682	95	14.898	[BIPRO, 2002]
Autopfleagemittel	14.146	124.676	113,46	3.081	95	2.927	Tabelle 5.33 auf Seite 78
Technische Sprays	20.340	158.413	128,40	4.430	95	4.208	Tabelle 5.25 auf Seite 63
Farb- und Lacksprays	15.230	125.895	120,97	3.317	95	3.151	Tabelle 5.2 auf Seite 26
Pharmazeutische Sprays und Veterinärprodukte	9.184	221.615	41,44	2.000	95	1.900	Eigene Abschätzung
Sonstige	5.538	64.860	85,38	1.206	95	1.146	Eigene Abschätzung
Summe	356.438	4.174.751	85,38	77.632	95	73.750	

### Berechnung des Referenzszenarios für die Anwendung von Aerosolsprays

Zur Erstellung des Referenzszenarios 2010 für die Quellgruppe „Anwendung von Aerosolsprays“ wird in Tabelle 8.13 den einzelnen Anwendungsbereichen von Aerosolsprays der entsprechende Aktivitätsindex zugeordnet und dann mit Hilfe des Aktivitätsindexwertes auf Grundlage von [PROGNOS, 2002] die entsprechenden voraussichtlichen Emissionen im Jahr 2010 berechnet.

**Tabelle 8.13:** Szenario für 2010 unter Berücksichtigung der Entwicklung sektorspezifischer sozioökonomischer Aktivitätsindizes für die Quellgruppe „Anwendung von Aerosolsprays“

Anwendungsbereich	Aktivitätsindex	Aktivitätsindex 2010 / 2000	Emissionsmenge 2010
		[%]	[t]
Körperpflegeprodukte	<b>Konsumausgaben der privaten Haushalte für Körperpflege</b>	127,66	58.111
Haushaltsprodukte	<b>Konsumausgaben der privaten Haushalte insgesamt</b>	118,97	17.724
Autopflegemittel	<b>Konsumausgaben der privaten Haushalte für Verkehr</b>	114,01	3.337
Technische Sprays	<b>Marktvolumen Kfz-Handel, Reparatur, Tankstellen</b>	128,65	5.414
Farb- und Lacksprays	<b>Branchenumsatz verarbeitendes Gewerbe</b>	125,52	3.955
Pharmazeutische Sprays und Veterinärprodukte	<b>Konsumausgaben der privaten Haushalte für Gesundheitspflege</b>	131,40	2.497
Sonstige	<b>Konsumausgaben der privaten Haushalte insgesamt</b>	118,97	1.363
Summe			<b>92.401</b>

Da die Anwendung von Aerosolsprays praktisch nicht von der 31. BImSchV sowie von der ChemVOC-FarbV [ChemVOCFarbV, 2004] erfasst wird, ist zu erwarten, dass entsprechend Tabelle 8.13 im Jahr 2010 in Deutschland etwa 92.401 t NMVOC aus dieser Quellgruppe emittiert werden.

### Identifizierung und Bewertung der Minderungspotenziale

Es gibt folgende technische Optionen bzw. Produktalternativen, um Emissionen aus Aerosolsprays zu mindern [BIPRO, 2002]:

- Einsatz von Pumpsprays,
- Einsatz von komprimierten Gasen (Luft, Stickstoff, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O),
- Verwendung alternativer NMVOC-freier oder NMVOC-armer Produkte.

Bei Pumpsprays steht der Inhalt der Dose nicht unter Druck. Das Produkt entweicht der Dose durch Pumpen mittels eines Knopfes. Treibgase werden nicht eingesetzt. Teilweise sind nach wie vor Alkohole als Lösemittel notwendig. Zur Zeit stehen vor allem für Körperpflegeprodukte Pumpsprays auf dem Markt zur Verfügung. Dabei handelt es sich vor allem um Haarsprays, Haarschäume und Deodorants. Darüber hinaus gibt es auch für Raumsprays, Bad- und Küchenreiniger und Enteisungsmittel sowie zu einem kleinen Teil Möbelpflegemittel Pumpspray-Systeme.

Beim Einsatz von komprimierten Gasen in Spraydosen werden keine unter Druck flüssigen Kohlenwasserstoffe als Treibgase verwendet, sondern komprimierte Gase (Kohlendioxid, Lachgas, Stickstoff oder Luft) eingesetzt. Kohlendioxid liegt dabei unter Druck teilweise in flüssiger Form vor. Nach Öffnen des Ventils wird das flüssige Produkt aus der Spraydose getrieben. Da der Druck im Laufe der Zeit abnimmt, bleibt meist ein Rest in der Spraydose zurück. Komprimierte Gase werden entweder in Ein- oder Zweikammersystemen eingesetzt. In Zweikammersystemen enthält die eine Kammer ausschließlich das Produkt und die andere Kammer das komprimierte Gas. Der Vorteil eines Zweikammersystems ist, dass kaum Produktreste in der Spraydose zurückbleiben. Typische Anwendungen für den Einsatz komprimierter Gase in Spraydosen sind Möbelpflegemittel, Lebensmittelprodukte, Insektizide und Rasiergels, sowie zu einem kleinen Teil Haarsprays und Deodorants.

Produktalternativen enthalten häufig noch zu einem kleinen Anteil NMVOC, da meist Lösemittel notwendig sind, um die Wirkstoffe in Lösung zu bringen. Jedoch ist durch die Vermeidung von organischen Treibgasen auch hier ein erhebliches Minderungspotenzial vorhanden. In Tabelle 8.14 sind auf dem Markt erhältliche Produkte für verschiedene Anwendungsbereiche aufgeführt.

Es gibt zwei wesentliche technische Vorteile von Pumpsprays. Zum einen eröffnen sie die Möglichkeit nachfüllbarer Systeme und zum anderen können kleinere Dosen verwendet werden. Beides führt zu weniger Materialverbrauch. Nachteilhaft ist, dass größere Tropfen der Dose entweichen und die Tröpfchenverteilung nicht konstant ist. Ein Nachteil ist auch, dass der verwendete Wirkstoff häufig nur in organischen Lösemitteln löslich ist und dies manchmal einen höheren Lösemittelbedarf nach sich zieht als die "Treibgaslösung". Insgesamt wird jedoch weniger Menge NMVOC pro Menge Wirkstoff verwendet.

Im professionellen Bereich (z. B. Friseurgewerbe) zieht der Einsatz von Pumpsprays eine starke Umstellung der Arbeitsabläufe nach sich. Vom Handling her sind Pumpsprays hier unbequemer. Ein weiteres Problem ist die Korrosionsgefahr der bisher verwendeten Dosenmaterialien aufgrund des wachsenden Wasseranteils in der Dose. Dies kann in Einzelfällen zu der Notwendigkeit führen, ein korrosionsbeständiges Dosenmaterial zu verwenden. Darüber hinaus sind auch produktspezifische Nachteile zu berücksichtigen. Bis jetzt erreichen Pump-Haarsprays nicht die Qualität von Haarsprays auf Treibgasbasis. Der höhere Wassergehalt von Pump-Haarsprays führt dazu, dass die Trockenzeit der Frisur häufig sehr lang ist und dies kann dazu führen, dass die eigentlich zu fixierende Frisur in sich zusammenfällt. Damit ist die Funktion des Haarsprays nicht mehr gegeben. Die Reduktion des NMVOC-Gehaltes bei Pumpspray-Deodorants führt meist zu der Notwendigkeit einer Neuformulierung des Wirkstoffes, da ansonsten Löslichkeitsprobleme auftreten. Zur Zeit werden neue Pumpsysteme entwickelt, die die erwähnten technischen Probleme überwinden sollen.

**Tabelle 8.14:** Beispiele für Produktalternativen von Treibgassprays [BIPRO, 2002]

Anwendungsbereich	Produktalternativen
Haarschäume	Flüssigkeiten, Gels mit weniger NMVOC-Gehalt
Deodorantien, Körperpflegesprays	Roller, Stifte, Puder, Cremes
Antitranspirantien	Roller, Stifte, Puder, Kristalle
Rasierschäume	Seifen, Cremes, Gels mit weniger NMVOC-Gehalt
Insektizide	Cremes, Öle
Teppichschäume	Flüssigkeiten, Puder
Fleckenreiniger	Puder, Pasten, Flüssigkeiten
Raumsprays	Gels, Puder, Kristalle

Nach [BIPRO, 2002] können durch die Einführung von Pumpsprays Minderungskosten von etwa 500 € pro vermiedene Tonne NMVOC grob abgeschätzt werden. Diese Abschätzung ist mit großen Unsicherheiten behaftet, berücksichtigt nur die zusätzlichen Produktionskosten und beinhaltet nicht Kosten für Entwicklung, Marketing, Vertrieb und Investitionen zur Installation neuer Produktionsanlagen.

Aufgrund des abnehmenden Druckes über die Lebenszeit ist der Ausfluss bei Spraydosen mit komprimierten Gasen nicht konstant. Die Spraydosen werden aufgrund dessen auch häufig nicht vollständig entleert. Durch die geringen Wandstärken der Spraydosen ist der maximale eingesetzte Druck häufig limitiert. Da das Treibgas häufig auch Lösemittelfunktion hatte, ist oft eine größere Lösemittelmenge notwendig. Insgesamt ist jedoch eine Verminderung der eingesetzten NMVOC zu erwarten bei einer vollständigen Substitution des Treibgases, da auf jeden Fall nicht so viel mehr Lösemittel eingesetzt werden muss, wie Treibgas vermieden wird. Die Luftqualität wird durch die vollständige Substitution des Treibgaseinsatzes verbessert. Allerdings muss auch das Treibhausgaspotenzial der als Treibgasersatz eingesetzten druckerzeugenden Komponente  $N_2O$  berücksichtigt werden.

Auf der einen Seite kosten die verwendeten Gase ( $N_2$ ,  $CO_2$ ,  $N_2O$ , Luft) weniger als die als Treibgase verwendeten Kohlenwasserstoffe. Andererseits wächst die verwendete Materialmenge an, aufgrund der Notwendigkeit zur Verwendung größerer Dosen, insbesondere bei 2-Kammer-Systemen, und dickerer Wandstärken, aufgrund des höheren Druckes. Dies führt zu einer Erhöhung der Kosten. Nach [BIPRO, 2002] können auch für diese Alternative Minderungskosten von etwa 500 € pro vermiedene Tonne NMVOC grob abgeschätzt werden [BIPRO, 2002]. Diese Abschätzung ist mit großen Unsicherheiten behaftet, berücksichtigt nur die zusätzlichen Produktionskosten und beinhaltet nicht Kosten für Entwicklung, Marketing, Vertrieb und Investitionen zur Installation neuer Produktionsanlagen. Die Bewertung von Produktalternativen ist schwierig, da es sich um völlig andere Produkte handelt, bei denen nicht nur die „Sprayfunktion“ substituiert wurde. Die Option „Produktalternativen“ lässt sich nicht für alle Anwendungsbereiche von Treibgassprays einsetzen (z. B. Haarsprays), teilweise gibt es Qualitätsverluste bei der Verwendung von Schäumen. Auch ist manchmal eine Verminderung der Duftfunktion festzustellen und es gibt mit manchen Produkten hygienische Probleme (z. B. Deo-Roller). Auf jeden Fall führt die Verwendung von Produktalternativen zu einer Verbesserung der Luftqualität aufgrund des völligen Verzichts auf Treibgase und Lösemittel. Eine Abschätzung der Vermeidungskosten ist nicht möglich. Aufgrund von [BIPRO, 2002] wird davon ausgegangen, dass diese Maßnahme kostenneutral ist. Durch die Implementierung der oben beschriebenen Minderungsmaßnahmen lassen sich bis zu 40% der Emissionen aus Aerosolsprays

vermeiden. Dies würde für Deutschland eine Minderung von etwa 36.960 t pro Jahr bis 2010 gegenüber dem Referenzszenario bedeuten. Dabei ist allerdings zu berücksichtigen, dass diese Minderung nur unter großen Anstrengungen zu erreichen ist und teilweise auch eine Verschlechterung der Handhabung und Qualität der Produkte zu erwarten ist.

#### 8.4 Zusammenfassung der identifizierten und quantifizierten Minderungspotenziale

Die in dieser Arbeit identifizierten, analysierten und quantifizierten Minderungspotenziale sind in Tabelle 8.15 dargestellt. Dabei werden nur die Minderungspotenziale berücksichtigt, die sich auf Maßnahmen beziehen, die über die Anforderungen der 31. BImSchV [31. BImSchV, 2001] sowie der ChemVOC-FarbV [ChemVOCFarbV, 2004] hinausgehen. Wie aus Tabelle 8.15 hervorgeht, wurden in dieser Arbeit zusätzliche Minderungspotenziale mit einer Gesamtmenge von etwa 96 kt bis 2010 identifiziert. Dies entspricht etwa 15% der für das Bezugsjahr 2010 in Deutschland im Referenzszenario prognostizierten NMVOC-Emissionen aus Lösemittelanwendungen, das heißt unter Berücksichtigung der Aktivitätsentwicklungen und der vollständigen Implementierung der 31. BImSchV [31. BImSchV, 2001] sowie der ChemVOC-FarbV [ChemVOCFarbV, 2004].

**Tabelle 8.15:** In dieser Arbeit identifizierte und bewertete Minderungspotenziale, die über bisherige gesetzliche Maßnahmen hinausgehen

Quellgruppe	Zusätzliches Minderungspotenzial bis 2010 [t]
Anwendung von Aerosolsprays	36.960
Bogenoffsetdruck	15.234
Oberflächenreinigungsprozesse	9.990
Anwendung von Farben und Lacken im Maschinenbau	9.820
Anwendung von Farben und Lacken im Innenausbau und Schreinerhandwerk	5.689
Siebdruck	4.034
Anwendung von Holzschutzmitteln	3.846
Herstellung von sonstigen lösemittelhaltigen Produkten	3.564
Klebstoffanwendung	3.228
Herstellung von Farben und Lacken	2.386
Herstellung von pharmazeutischen Produkten	969
Verpackungsflexodruck	653
Geamtinderungspotenzial	96.373

Tabelle 8.15 zeigt, dass über die Implementierung der ChemVOC-FarbV [ChemVOCFarbV, 2004] und der 31. BImSchV [31. BImSchV, 2001] hinaus noch weitere Maßnahmen zur Minderung zur Verfügung stehen, um den NEC-Zielwert [NEC-Direktive, 2001] einzuhalten. Insbesondere durch die Umsetzung der im Bogenoffsetdruck, bei Oberflächenreinigungsprozessen sowie der Anwendung von Aerosolsprays identifizierten Minderungspotenziale könnte der NEC-Zielwert gerade erreicht werden. Sicher wird er jedoch nur bei der vollständigen Erschließung der in dieser Arbeit identifizierten Minderungspotenziale zu erreichen sein.

## 8.5 Ableitung von Implementierungsmaßnahmen

In den vorangegangenen Abschnitten wurde eine Vielzahl von Minderungsmaßnahmen identifiziert und quantifiziert, die über die bisher gesetzlich geforderten Maßnahmen hinausgehen. Es stellt sich nun die Frage, mit welchen Mitteln am besten erreicht wird, dass die Maßnahmen auch eingeführt und die damit verbundenen Minderungen realisiert werden. Ein prinzipiell geeignetes Instrument ist zweifellos der Erlass entsprechender Verordnungen, hier bieten sich insbesondere folgende Ansatzpunkte an:

- Produktbezogene Verordnungen, die den maximalen Lösemittelgehalt definierter Produktgruppen festlegen (z. B. die seit kurzem geltende ChemVOC-FarbV [ChemVOCFarbV, 2004]),
- Herabsetzung der Schwellenwerte der 31. BImSchV [31. BImSchV, 2001], die den jährlichen Lösemittelverbrauch festlegen, ab der eine Tätigkeit unter die 31. BImSchV [31. BImSchV, 2001] fällt (z. B. Metallentfettung),
- Integration von bisher nicht erfassten Anwendungen in die Tätigkeitsdefinitionen der 31. BImSchV (z. B. Bogenoffset-Drucktätigkeiten).

Produktbezogene Maßnahmen lassen sich wegen der Möglichkeit des freien Warenverkehrs innerhalb der EU nur im Rahmen der EU-Gesetzgebung umsetzen. Anlagenbezogene Maßnahmen lassen sich dagegen auf nationaler Ebene umsetzen, allerdings ist auch hier aus Wettbewerbsgründen eine Einführung auf EU-Ebene wünschenswert. Unabhängig davon, inwieweit eine europaweite Einführung von entsprechenden Direktiven initiiert werden kann, besteht aber für die Mehrzahl der untersuchten Maßnahmen die Möglichkeit, diese auch auf freiwilliger Basis, etwa durch freiwillige Vereinbarungen, einzuführen, vor allem, weil viele Maßnahmen, vom Aufwand bei der Einführung bzw. Umstellung abgesehen, keine Mehrkosten verursachen, in einigen Fällen wird sogar Geld gespart. Zudem erfolgt in einigen Fällen auch eine Verbesserung der Produkteigenschaften und auf jeden Fall ein Imagegewinn, da man mit der umweltfreundlichen Verarbeitung werben kann. Dass diese Maßnahmen bisher noch nicht eingeführt wurden, muss daran liegen, dass Hemmnisse, die es zu identifizieren und zu beseitigen gilt, die Einführung verhindern. Zur Ermittlung dieser Hemmnisse wurden am Beispiel der Implementierung der ChemVOC-FarbV [ChemVOCFarbV, 2004] mit den verschiedenen Akteuren, also Malern, Lackierern, Schreibern, Druckern, Metallverarbeitern und anderen Lösemittelverarbeitern, Innungs- und Verbandsvertretern, Gespräche geführt. Es ergaben sich im Wesentlichen die im Folgenden beschriebenen Hemmnisse.

Zum einen bestehen große Unsicherheiten, ob bei Einführung der Maßnahmen die gewohnte Qualität gewährleistet ist und die z. B. von der VOB<sup>1</sup> [VOB, 2002] geforderte Gewährleistung eingehalten werden kann. Zudem erfordert die Verarbeitung und Anwendung lösemittelärmerer Produkte eine höhere Qualifikation der Mitarbeiter und den Abschied von alten gewohnten Arbeitsabläufen. Oft erfordert die Anwendung lösemittelärmerer Produkte geänderte Arbeitsabläufe und das Einhalten bestimmter Bedingungen (z. B. hinsichtlich Temperatur und Luftfeuchte). Es ist offensichtlich, dass eine Einführung neuer Verfahren bzw. lösemittelärmerer Produkte nur gelingt, wenn den Anwendern diese Änderungen der Arbeitsabläufe und Randbedingungen auch nahe gebracht werden. Der beste Weg zur Beseitigung dieser Hemmnisse ist

---

<sup>1</sup> VOB: Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen

die gezielte Förderung von Akteur-Workshops, bei denen eine Schulung über den Gebrauch der neuen Produkte und Verfahren erfolgt, und die den Anwendern zudem die Möglichkeit eines Erfahrungsaustausches über die Anwendung von lösemittelmindernden Anwendungsalternativen geben. Am sinnvollsten ist es dabei, wenn im Rahmen solcher Workshops, die auch einen Praxisteil enthalten sollten, Akteure, die schon lösemittelmindernde Maßnahmen anwenden, anderen Akteuren, die diesen eher skeptisch, jedoch interessiert gegenüber stehen, ihre Erfahrungen bei der Implementierung mitteilen und diese anhand von praktischen Beispielen erläutern. Dabei wurden bisher gute Erfahrungen im Rahmen der vom Umwelt- und Verkehrsministerium Baden-Württemberg (UVM) geförderten Projekte "Umweltfreundlich Druck machen" [Ebinger et. al, 2001], das vom Ökoinstitut gemeinsam mit dem Modell Hohenlohe e.V. durchgeführt wurde, sowie dem Projekt "NMVOC-Minderung im Schreinerhandwerk" [Schreiner, 1999], [Schreiner, 2000a], [Schreiner, 2000b], [Schreiner, 2000c] gemacht. Die in diesen Projekten gebildeten Netzwerke sollten in Zukunft im Rahmen von gezielter Förderung ausgebaut und intensiviert sowie auf andere Bereiche wie z. B. das Maler- und Lackiererhandwerk übertragen werden. Es ist wichtig, den betroffenen Akteuren im Rahmen solcher Workshops die häufig vorhandenen wirtschaftlichen Vorteile der emissionsmindernden Maßnahmen zu vermitteln und ihnen damit einen Vorsprung gegenüber eher desinteressierten Konkurrenten zu verschaffen. Teilweise wurde im Rahmen dieser Arbeit festgestellt, dass neben einer Materialersparnis oft auch eine erhebliche Arbeitszeiterparnis in Folge der Umsetzung lösemittelvermindernder Maßnahmen zu erwarten ist. Dies spielt insbesondere in Maler- und Lackierbetrieben eine große Rolle, in denen die Personalkosten einen Anteil von fast 60% an den Betriebskosten haben.

Eine Reihe von Hemmnissen entsteht auf Grund von tatsächlichen Handhabungsnighteilen oder Qualitätsverlusten. Diese Nachteile können durch Weiterentwicklung von Produkten, Technik oder auch durch eine veränderte Arbeitsorganisation verringert werden. Solche Hemmnisse wurden unter anderem am Beispiel der Implementierung der produktbezogenen ChemVOC-FarbV [ChemVOCFarbV, 2004] im Rahmen intensiver Diskussionen mit den betroffenen Akteuren erörtert. Es wurden vor allem folgende technische Probleme bei der Implementierung der ChemVOC-FarbV [ChemVOCFarbV, 2004] identifiziert:

- Um den in der ChemVOC-FarbV [ChemVOCFarbV, 2004] festgelegten Grenzwert (max. NMVOC-Gehalt 2010: 300 g/l) für die Produktkategorie "Lackfarben innen und außen auf Holz und Metall z. B. Fenster, Türen und Wandverkleidungen ("trim paints")", für lösemittelverdünnbare Lacksysteme einhalten zu können, müssen die Lackhersteller bis 2010 neue Bindemittelsysteme entwickeln.
- Lösemittelverdünnbare Systeme lassen sich praktisch unabhängig von der Jahreszeit verarbeiten, gegebenenfalls auch bei Minustemperaturen. Dies ist bei wasserverdünnbaren Lacken nicht gegeben. Sie lassen sich unterhalb von etwa 15°C nur bedingt verarbeiten und oberhalb einer relativen Luftfeuchte von 80% auch nicht. Das heißt, dass die Außenanwendung bzw. die Anwendung in unbeheizten Innenräumen ungefähr von Oktober bis März nicht möglich ist. Dies wäre in diesen Fällen ein erhebliches Handicap bei einer freiwilligen Umsetzung der ChemVOC-FarbV [ChemVOCFarbV, 2004]. Da die DECOPAINT-Richtlinie [DECOPAINT, 2004] als EU-Verordnung in Kraft tritt, trifft dies alle Handwerker gleichermaßen. Es muß also in der ganzen EU eine zeitliche Verlagerung der Arbeiten stattfinden.
- Die Umstellung auf neue lösemittelärmere Lacksysteme erfordert eine bessere Qualifikation der Mitarbeiter.

Zur Überwindung des letztgenannten Punktes können neben der bereits erwähnten Durchführung von Workshops auch die Berufsschulen beitragen, indem sie die Auszubildenden zur Verwendung lösemittelärmerer Systeme qualifizieren. Die in anderen Quellgruppen vorhandenen Hemmnisse und Grenzen, die bei der Implementierung der identifizierten Minderungspotenziale überwunden werden müssen (Prozesssicherheit, Kosten, Materialverträglichkeiten, Umstellung von Arbeitsabläufen, usw.), wurden konkret im Zusammenhang mit der Identifizierung und Bewertung der jeweils quellgruppenspezifischen Minderungspotenziale beschrieben.

## 9 Zusammenfassung

Im Rahmen dieser Arbeit wurde eine neue Methode zur Berechnung der NMVOC-Emissionen aus Lösemittelanwendungen für ein konkretes Bezugsjahr in Deutschland entwickelt. Die sektorale und stoffliche Auflösung der Emissionen wurde gegenüber früheren Berechnungsansätzen erheblich verbessert.

Die besondere Innovation der entwickelten Methode ist, dass die Berechnung der Emissionen weitgehend mit Hilfe öffentlich zugänglicher Eingangsdaten durchgeführt werden kann. Dadurch reduziert sich der Fortschreibungsaufwand erheblich und die Berechnungsergebnisse sind mit wesentlich geringeren Unsicherheiten behaftet als bei der Verwendung früherer Berechnungsansätze. Darüber hinaus wurde bei der Abschätzung des Referenzszenarios der Lösemittlemissionen für ein zukünftiges Bezugsjahr erstmals die voraussichtliche Entwicklung der Aktivitäten vollständig berücksichtigt.

Ein wesentliches Ergebnis dieser Arbeit ist, dass, um den NEC-Zielwert [NEC-Direktive, 2001] im Jahr 2010 zu erreichen, weitere Maßnahmen zur Minderung der NMVOC-Emissionen in Deutschland notwendig sind. Die für den Bereich der Lösemittelanwendung im Rahmen dieser Arbeit identifizierten Maßnahmen haben insgesamt ein Minderungspotenzial von etwa 96 kt über das im Rahmen dieser Arbeit entwickelte Referenzszenario hinaus.

Eine weitere Innovation dieser Arbeit ist die Erarbeitung und Bewertung von Maßnahmen zur Implementierung der identifizierten zusätzlichen Minderungspotenziale.

Die Verbrauchsmengen an Lösemitteln und lösemittelhaltigen Produkten wurden mit Hilfe eines produktbezogenen Ansatzes ermittelt. Dazu wurde zunächst eine Quellgruppensystematik entwickelt. Die Inlandsverbräuche der lösemittelhaltigen Produkte wurden soweit möglich auf Grundlage der Produktions- und Außenhandelsstatistik ermittelt. Unter Verwendung von Expertenbefragungen und Literaturrecherchen wurden die Lösemittelgehalte, Emissionsfaktoren sowie die stoffliche Zusammensetzung der Emissionen ermittelt. Daraus ergaben sich sektoral und stofflich hoch aufgelöste Emissionen für das Bezugsjahr 2000 in Deutschland.

Die Berechnungen ergaben, dass im Jahr 2000 in Deutschland etwa 725 kt NMVOC aus Lösemittelanwendungen emittiert wurden. Ungefähr die Hälfte entstammte der Anwendung von Anstrichmitteln (368 kt), 15% (110 kt) der häuslichen Verwendung von lösemittelhaltigen Produkten ohne die Do-It-Yourself-Verwendung von Farben und Lacken, das heißt z. B. Duftwässern, Haarsprays, Putz- und Pflegemitteln, Waschmitteln, Arzneimitteln usw. Etwa 13% (99 kt) wurden bei Druckanwendungen emittiert. Oberflächenreinigungsprozessen entstammten etwa 5% (37 kt) der Lösemittlemissionen. Der Rest der Emissionen verteilte sich auf viele verschiedene Sektoren, von denen noch die Herstellung lösemittelhaltiger Produkte (39 kt), die Klebstoffverarbeitung (23 kt), die Anwendung von Frostschutz- und Enteisungsmitteln (23 kt) sowie die Extraktion von Ölen und Fetten (6 kt) hervorzuheben sind. Darüber hinaus hatte die Anwendung von Treibgassprays einen Anteil von etwa 10% (74 kt) an den Lösemittlemissionen. Diese Emissionen werden jedoch schon in den oben erwähnten Quellgruppen mitberücksichtigt.

Die berechneten NMVOC-Emissionen aus der Lösemittelanwendung setzten sich 2000 zu 31% aus Alkoholen, 22% Alkanen und Cycloalkanen, 15% Aromaten, 11% Estern, 6% Glykolderivaten sowie 5% Ketonen, 4% Terpenen, jeweils zu 2% aus Ethern und Halogenkohlenwasserstoffen und geringen Mengen organischen Säuren, Aldehyden, Aminen und Amiden zusammen. Insgesamt 2% der Emissionen konnten keiner Stoffklasse zugeordnet werden.

Darüber hinaus wurden im Rahmen dieser Arbeit die Unsicherheiten der berechneten Emissionen qualitativ abgeschätzt, bezüglich der Gesamtmenge und ihrer sektoralen Disaggregation.

Die Gesamtjahremissionen sind mit einer mittleren Unsicherheit, das heißt Standardabweichung (95% Konfidenzintervall) von etwa  $\pm 30\%$  bis  $\pm 50\%$  behaftet. Je nach Quellgruppe konnten auch erheblich kleinere bzw. wesentlich größere Unsicherheiten ermittelt werden.

Die stoffliche Auflösung, wie sie für die Verwendung in Chemie-Transport-Modellen bereitgestellt wird, ist mit vergleichbaren Unsicherheiten behaftet. Dabei ist zu beachten, dass einzelstofflich aufgelöste Emissionsdaten für die Verwendung in Chemie-Transportmodellen entsprechend ihrer jeweiligen Reaktivität zu Stoffklassen aggregiert werden.

Bei der Evaluierung modellierter Emissionen mit Hilfe einzelstofflicher Immissionsmessungen im Rahmen von zwei sogenannten Stadtexperimenten in Paris, Frankreich (ESQUIF: **E**tude et **S**imulation de la **Q**ualité de l'air en Ile de France ) [Vautard et al., 2003], und Augsburg, Deutschland (EVA: **E**valuierungsexperiment Augsburg) [Kühlwein et al., 2002], [Mannschreck, 2000] zeigte sich, dass die einzelstoffliche Auflösung teilweise mit erheblichen Unsicherheiten behaftet ist. Die Übereinstimmung von gemessenen zu modellierten Werten war für manche Einzelstoffe recht gut. Teilweise wurden jedoch erheblich größere Abweichungen zwischen modellierten und gemessenen Konzentrationen festgestellt. Die Gründe für diese erheblichen Abweichungen konnten bisher nicht erklärt werden. Bei zukünftigen Experimenten sollten auch sauerstoffhaltige organische Verbindungen gemessen werden sowie Vorexperimente zum Verdampfungs- und Depositionsverhalten von höhermolekularen Kohlenwasserstoffen (z. B. n-Dekan) oder höhersiedenden Kohlenwasserstoffgemischen (z. B. Testbenzinen) durchgeführt werden.

Weil Minderungsstrategien nicht sofort, sondern erst in der Zukunft Wirkung entfalten können, wurde im Rahmen dieser Arbeit ein Referenzszenario für das Bezugsjahr 2010, unter Berücksichtigung der Aktivitätsentwicklung auf Grundlage von [PROGNOS, 2002] sowie der voraussichtlichen Minderungswirkung der nationalen Implementierung der EU-VOC-Direktive [VOC-Richtlinie, 1999] und der DECOPAINT-Richtlinie [DECOPAINT, 2004] durch die Umsetzung der 31. BImSchV [31. BImSchV, 2001] bzw. der ChemVOC-FarbV [ChemVOCFarbV, 2004] berechnet.

Durch die Implementierung der 31. BImSchV [31. BImSchV, 2001] ist unter Berücksichtigung der Aktivitätsentwicklungen bis 2010 mit einer Minderung der Lösemittlemissionen um etwa 18% zu rechnen. Dies entspricht einer Minderung um etwa 152 kt bis 2010 gegenüber einem Szenario, welches nur die Entwicklung der Aktivitäten berücksichtigt. Dass die Minderungswirkung durch die Umsetzung der 31. BImSchV [31. BImSchV, 2001] insgesamt relativ gering ausfällt, liegt zum einen daran, dass die 31. BImSchV nur die Anwendung von Lösemitteln in Anlagen ab einem festgelegten Lösemittelverbrauch erfasst und zum anderen an der vorwiegend prosperierenden Entwicklung der Aktivitäten bis 2010, die zu erhöhten Emissionen führt und die erreichten Minderungen teilweise kompensiert.

Durch die Umsetzung der ChemVOC-FarbV [ChemVOCFarbV, 2004] ist mit einer Minderung um weitere 3% zu rechnen. Das bedeutet eine Minderung der Emissionen um weitere 26 kt im Referenzszenario. Es kann festgestellt werden, dass in Deutschland bis 2010 noch erhebliche Anstrengungen zur Minderung der NMVOC Emissionen notwendig sein werden, wenn die NEC-Direktive [NEC-Direktive, 2001] für Deutschland eingehalten werden soll, die für 2010 eine Obergrenze für die anthropogenen NMVOC-Emissionen von 995 kt/a vorschreibt. Es ist in Deutschland bis 2010 noch eine erhebliche zusätzliche Minderung der Lösemittlemissionen um etwa 61 kt notwendig.

Auf Grundlage des berechneten Referenzszenarios wurden die zu betrachtenden Quellgruppen festgelegt, bei denen über gesetzliche Maßnahmen hinaus gehende Minderungspotenziale identifiziert und bewertet wurden.

Es wurde dabei nach folgenden Kriterien ausgewählt:

- Wird die zu betrachtende Quellgruppe schon ganz oder teilweise von gesetzlichen Maßnahmen erfasst?
- Hat der von gesetzlichen Maßnahmen bisher nicht erfasste Anteil eine relevante Quellgruppenstärke?

Auf Grundlage dieser Kriterien wurden drei Arten von Quellgruppen klassifiziert:

- offene Anwendungen,
- anlagenbezogene Anwendungen, bei denen ein Teil der Anlagen nicht den Schwellenwert der 31. BImSchV [31. BImSchV, 2001] überschreitet,
- anlagenbezogene Anwendungen, die nicht von den Tätigkeitsdefinitionen der 31. BImSchV erfasst sind.

In folgenden Quellgruppen wurden Minderungspotenziale identifiziert und bewertet:

Anwendung von

- Aerosolsprays,
- Klebstoffen,
- Farben und Lacken im Schreinerhandwerk,
- Farben und Lacken im Maschinenbau,
- Reinigungsmitteln im Bogenoffsetdruck,
- Isopropanol im Bogenoffsetdruck,
- Lösemitteln und lösemittelhaltigen Produkten im Verpackungsflexodruck,
- Lösemitteln und lösemittelhaltigen Produkten im Siebdruck,
- Lösemitteln in der industriellen und gewerblichen Metallentfettung,
- Lösemitteln bei der Dienstleistung im Kfz-Handwerk,
- Lösemitteln bei der Entkonservierung von PKW,
- Lösemitteln in der organischen Spezialreinigung,
- Lösemitteln in der Feinoptik, Elektronik und Feinmechanik,
- Lösemitteln bei der Entlackung,
- Lösemittel bei der Herstellung von lösemittelhaltigen Produkten.

Dabei wurde jeweils zwischen produktbezogenen und anlagenbezogenen Maßnahmen unterschieden. Insgesamt wurde ein zusätzliches Emissionsminderungspotenzial in Höhe von etwa 96 kt identifiziert. Das bedeutet, dass bei vollständiger Implementierung dieser zusätzlichen Maßnahmen der NEC-Zielwert [NEC-Direktive, 2001] von 995 kt NMVOC für Deutschland im Jahr 2010 erreicht werden könnte. In einem weiteren Arbeitsschritt wurden Möglichkeiten zur Implementierung der identifizierten Minderungspotenziale betrachtet bzw. etwaige Hemmnisse und Möglichkeiten zu deren Überwindung analysiert. Die Realisierung des ermittelten Minderungspotenzials kann zunächst durch den Erlass entsprechender Verordnungen eingeleitet werden; dazu bieten sich insbesondere folgende Wege an:

- Produktbezogene Verordnungen, die den maximalen Lösemittelgehalt definierter Produktgruppen festlegen (z. B. die gerade in Kraft getretene ChemVOC-FarbV [ChemVOCFarbV, 2004]),
- Herabsetzung der Schwellenwerte der 31. BImSchV [31. BImSchV, 2001], die den jährlichen Lösemittelverbrauch festlegen, ab der eine Tätigkeit unter die 31. BImSchV [31. BImSchV, 2001] fällt (z. B. Metallentfettung),
- Erweiterung der Definition von Tätigkeiten, die von der 31. BImSchV erfasst werden (z. B. Offsetdrucktätigkeiten).

Produktbezogene Maßnahmen lassen sich aus Wettbewerbsgründen nur im Rahmen der EU umsetzen. Anlagenbezogene Maßnahmen lassen sich dagegen auf nationaler Ebene einführen, jedoch ist auch hier eine EU-weite Umsetzung vorzuziehen. Daneben lassen sich möglicherweise auch durch freiwillige Vereinbarungen beträchtliche Teile des Minderungspotenzials umsetzen, insbesondere jene, bei denen abgesehen vom Aufwand der Umstellung keine Mehrkosten zu erwarten sind.

In einem letzten Arbeitsschritt wurden am Beispiel der Implementierung der ChemVOC-FarbV [ChemVOCFarbV, 2004] Möglichkeiten zum Abbau von Hemmnissen bei der Einführung der identifizierten Minderungspotenziale untersucht. Es zeigte sich, dass eine Reihe von Hemmnissen bestehen, die die Einführung der technischen Emissionsminderungsmöglichkeiten behindern. Dies gilt, obwohl die Implementierung von Minderungsmaßnahmen, insbesondere von Primärmaßnahmen, häufig mit ökonomischen Vorteilen, einer Produktverbesserung und einer Imageaufbesserung der lösemittelverarbeitenden Akteure einhergeht. Bei den Akteuren, das heißt den Malern, Lackierern, Schreibern, Druckern, Metallverarbeitern und anderen lösemittelverwendenden Akteuren, ist teilweise durchaus die Bereitschaft vorhanden, solche Maßnahmen umzusetzen, insbesondere aufgrund der zu erwartenden Verbesserung der Umweltsituation. Trotz dieser allgemein zu beobachtenden Motivation wird die Maßnahme nicht eingeführt, weil sie fast immer eine erhebliche Veränderung der gewohnten Arbeitsabläufe mit sich bringt; es gibt Unsicherheiten, ob die gewohnte Qualität gewährleistet ist und die z. B. von der VOB [VOB, 2002] geforderte Gewährleistung eingehalten werden kann. Meist erfordert die Verarbeitung und Anwendung lösemittelärmerer Produkte zudem eine höhere Qualifikation der Mitarbeiter und den Abschied von gewohnten Arbeitsabläufen. Der beste Weg zur Beseitigung dieser Hemmnisse ist die gezielte Förderung von Akteur-Workshops, bei denen die Anwender Erfahrungen über die Anwendung von lösemittelmindernden Anwendungsalternativen austauschen können.

Um die von der EU im Rahmen ihrer Luftreinhaltestrategie definierte Emissionshöchstgrenze für NMVOC von 995 kt [NEC-Direktive, 2001], bei der es sich um ein sehr ehrgeiziges Ziel handelt, zu erreichen, sind noch erhebliche Anstrengungen notwendig. Hierbei muss der Erlass neuer Verordnungen begleitet werden durch die gezielte Information der lösemittelverwendenden Akteure über Möglichkeiten zur Minderung von Lösemittlemissionen und Maßnahmen zu deren Umsetzung, da sich nur so die wesentlichen Minderungspotenziale in vollem Umfang erschließen lassen.

## Anhang

**Tabelle A.1:** Zusammenfassung der in dieser Arbeit durchgeführten Berechnungen der NMVOC-Emissionen aus der Anwendung von Lösemitteln in Deutschland für das Bezugsjahr 2000, der Ergebnisse des sektoral hoch aufgelösten Referenzszenarios sowie des Minderungsszenarios für 2010

Anwendung/Sektor	Aktivitätsindex	Emissionen 2000 [t]	Aktivitätsindex 2010/2000 [%]	Erfassungsgrad durch 31. BImSchV[%]	Minderungsgrad durch 31. BImSchV bzw. ChemVOC-FarbV [%]	Emissionen Referenzszenario 2010 [t]	Minderungsfaktor [%]	Minderungsszenario 2010
Automobilserienfertigung	Branchemsatz Fahrzeugbau-Automobilindustrie	19.731	142,11	100,00	27,00	20.469	0,00	20.469
Autoreparaturlackierung	Marktvolumen KFZ-Handel, Reparatur, Tankstellen	11.353	128,65	100,00	74,00	3.797	0,00	3.797
Herst. v. Nutz- und sonstigen Fahrzeugen	Branchemsatz Fahrzeugbau-sonstiger Fahrzeugbau	1.907	137,50	100,00	64,00	944	0,00	944
Malerei- und Lackierergewerbe	Marktvolumen Baugewerbe	55.051	104,76	0,00	30,00	40.370	0,00	40.370
Heimwerker (DIY)	Bevölkerung	29.180	100,16	0,00	30,00	20.459	0,00	20.459
Bandbeschichtung (Coil Coating)	Branchemsatz Metallherzeugung u. Metallherzeugnisse	389	118,60	100,00	40,00	277	0,00	277
Schiffbau	Branchemsatz Fahrzeugbau-sonstiger Fahrzeugbau	8.310	137,50	50,00	80,00	6.856	0,00	6.856
Möbelherstellung	Branchemsatz Möbel	23.109	103,33	50,00	80,00	14.327	0,00	14.327
Innenausbau- und Schreinergerwerbe	Branchemsatz Holzgerwerbe	20.147	94,12	0,00	0,00	18.962	30,00	13.274
Elektro, Haushalt	Branchemsatz Metallherzeugung u. Metallherzeugnisse	7.660	118,60	75,00	60,00	4.997	0,00	4.997
Maschinenbau	Branchemsatz Maschinenbau	29.963	131,76	75,00	67,00	19.641	50,00	9.820
Autzubehör / Metall	Branchemsatz Metallherzeugung u. Metallherzeugnisse	4.022	118,60	75,00	67,00	2.373	0,00	2.373
Metallwaren	Branchemsatz Metallherzeugung u. Metallherzeugnisse	4.402	118,60	75,00	67,00	2.597	0,00	2.597
Blechballlagen	Branchemsatz Metallherzeugung u. Metallherzeugnisse	7.864	118,60	75,00	67,00	4.640	0,00	4.640
Drahtlacke	Branchemsatz Metallherzeugung u. Metallherzeugnisse	537	118,60	75,00	67,00	317	0,00	317

**Tabelle A.1:** Zusammenfassung der in dieser Arbeit durchgeführten Berechnungen der NMVOC-Emissionen aus der Anwendung von Lösemitteln in Deutschland für das Bezugsjahr 2000, der Ergebnisse des sektoral hoch aufgelösten Referenzszenarios sowie des Minderungsszenarios für 2010 (FortS.)

Anwendung/Sektor	Aktivitätsindex	Emissionen 2000 [t]	Aktivitätsindex 2010/2000 [%]	Erfassungsgrad durch 31. BImSchV[%]	Minderungsgrad durch 31. BImSchV bzw. ChemVOC-FarbV [%]	Emissionen Referenzszenario 2010 [t]	Minderungsfaktor [%]	Minderungsszenario 2010
Tränke- und Gießmittel	Brancheumsatz Gummi- und Kunststoffwaren	1.121	126,92	0,00	0,00	1.423	0,00	1.423
Bauelemente	Marktvolumen Baugewerbe	5.900	104,76	75,00	67,00	3.075	0,00	3.075
Kunststoffe	Brancheumsatz Gummi- und Kunststoffwaren	11.401	126,92	75,00	67,00	7.199	0,00	7.199
Papier- und Folienbeschichtung	Brancheumsatz Papier-, Verlags-, und Druckgewerbe	367	119,18	75,00	67,00	218	0,00	218
übrige industrielle Verarbeitung	Brancheumsatz verarbeitendes Gewerbe	17.503	125,52	50,00	80,00	13.182	0,00	13.182
Lackspray	Brancheumsatz verarbeitendes Gewerbe	3.151	125,52	0,00	0,00	3.955	0,00	3.955
Markierungsfarben	Marktvolumen Baugewerbe	3.379	104,76	0,00	0,00	3.540	0,00	3.540
Sonstige Bereiche	Brancheumsatz Fahrzeugbau-sonstiger Fahrzeugbau	5.777	137,50	0,00	0,00	7.943	0,00	7.943
Korrosionsschutz	Marktvolumen Baugewerbe	12.983	104,76	0,00	0,00	13.601	0,00	13.601
Anwendung von Holzschutzmitteln	Brancheumsatz Holzgewerbe	32.691	94,12	75,00	50,00	19.230	20,00	15.384
Anwendung von Baustoffadditiven	Marktvolumen Baugewerbe	44.987	104,76	0,00	0,00	47.128	0,00	47.128
Anwendung von Unterbodenschutz	Brancheumsatz Fahrzeugbau-Automobilindustrie und Marktvolumen KFZ-Handel, Reparatur, Tankstellen	3.526	133,97	0,00	0,00	4.724	0,00	4.724
Bewachung von Kraftfahrzeugen	Brancheumsatz Fahrzeugbau	39	141,63	0,00	0,00	55	0,00	55
Imprägnierung von Glas- und Mineralwolle	Marktvolumen Baugewerbe	1.176	104,60	0,00	0,00	1.230	0,00	1.230
Illustrationstiefdruck	Brancheumsatz Papier-, Verlags-, und Druckgewerbe	8.108	119,18	100,00	0,00	9.663	0,00	9.663
Bogenoffsetdruck	Brancheumsatz Papier-, Verlags-, und Druckgewerbe	18.261	119,18	0,00	0,00	21.763	70,00	6.529
Heatset-Offsetdruck	Brancheumsatz Papier-, Verlags-, und Druckgewerbe	11.000	119,18	100,00	25,00	9.832	0,00	9.832

**Tabelle A.1:** Zusammenfassung der in dieser Arbeit durchgeführten Berechnungen der NMVOC-Emissionen aus der Anwendung von Lösemitteln in Deutschland für das Bezugsjahr 2000, der Ergebnisse des sektoral hoch aufgelösten Referenzszenarios sowie des Minderungszenarios für 2010 (Fortfs.)

Anwendung/Sektor	Aktivitätsindex	Emissionen 2000 [t]	Aktivitätsindex 2010/2000 [%]	Erfassungsgrad durch 31. BImSchV[%]	Minderungsgrad durch 31. BImSchV bzw. ChemVOC-FarbV [%]	Emissionen Referenzszenario 2010 [t]	Minderungsfaktor [%]	Minderungsszenario 2010
anderer Offsetdruck	Branchenumsatz Papier-, Verlags-, und Druckgewerbe	3.697	119,18	0,00	0,00	4.406	0,00	4.406
Buchdruck	Branchenumsatz Papier-, Verlags-, und Druckgewerbe	203	119,18	0,00	0,00	242	0,00	242
Verpackungstiefdruck	Branchenumsatz Papier-, Verlags-, und Druckgewerbe	11.484	119,18	100,00	30,00	9.581	0,00	9.581
Verpackungsflexodruck	Branchenumsatz Papier-, Verlags-, und Druckgewerbe	5.761	119,18	86,00	40,00	4.504	14,50	3.851
Siebdruck	Branchenumsatz Papier-, Verlags-, und Druckgewerbe	11.282	119,18	0,00	0,00	13.446	30,00	9.412
Andere Druckenwendungen	Branchenumsatz verarbeitendes Gewerbe	28.868	124,52	50,00	70,00	23.365	0,00	23.365
Anwendung von Künstlerfarben	Bevölkerung	324	100,16	0,00	0,00	325	0,00	325
Anwendung von Tinten und Tuschen	Bevölkerung	443	100,16	0,00	0,00	444	0,00	444
Klebstoffanwendung - Papier & Verpackung	Branchenumsatz Papier-, Verlags-, und Druckgewerbe	1.614	119,18	75,00	10,00	1.779	5,00	1.690
Klebstoffanwendung - Bau	Marktvolumen - Baugewerbe	3.226	104,76	0,00	0,00	3.380	10,00	3.042
Klebstoffanwendung - Holz & Möbel	Branchenumsatz - Holzgewerbe	2.957	94,12	50,00	80,00	1.670	10,00	1.503
Klebstoffanwendung - Transport	Branchenumsatz Fahrzeugbau	2.494	141,63	50,00	75,00	2.208	10,00	1.987
Klebstoffanwendung - Schuh	Branchenumsatz Textil- und Bekleidungsindustrie	6.763	96,15	85,00	85,00	1.804	10,00	1.624
Klebstoffanwendung - Do-it-Yourself	Bevölkerung	3.921	100,16	0,00	0,00	3.927	50,00	1.964
Klebstoffanwendung - Montage	Branchenumsatz verarbeitendes Gewerbe	1.541	124,52	25,00	75,00	1.559	10,00	1.403
Klebstoffanwendung - Untergrundvorbehandler, Primer und Verdünnern	Mittlerer Aktivitätsindex über alle FEICA-Sektoren	872	106,45	25,00	75,00	754	15,00	641

**Tabelle A.1:** Zusammenfassung der in dieser Arbeit durchgeführten Berechnungen der NMVOC-Emissionen aus der Anwendung von Lösemitteln in Deutschland für das Bezugsjahr 2000, der Ergebnisse des sektoral hoch aufgelösten Referenzszenarios sowie des Minderungsszenarios für 2010 (FortS.)

Anwendung/Sektor	Aktivitätsindex	Emissionen 2000 [t]	Aktivitätsindex 2010/2000 [%]	Erfassungsgrad durch 31. BImSchV[%]	Minderungsgrad durch 31. BImSchV bzw. ChemVOC-FarbV [%]	Emissionen Referenzszenario 2010 [t]	Minderungsfaktor [%]	Minderungsszenario 2010
Industrielle Metalleffettung - nichchlorierte KWL	Branchenumsatz Metallerzeugung u. Metallerzeugnisse und Branchenumsatz - Maschinenbau	10.632	125,20	82,00	55,00	7.308	16,00	6.110
Industrielle Metalleffettung - CKW	Emissionen bleiben aufgrund von Substitutionsprozessen konstant	7.172	100,00	0,00	0,00	7.172	0,00	7.172
Nichtindustrielle Dienstleistungen	Marktvolumen KFZ-Handel, Reparatur, Tankstellen	5.272	128,65	0,00	0,00	6.782	50,00	3.391
Fertigung elektronischer Geräte	Branchenumsatz Büromaschinen und Elektrotechnik	713	130,00	70,00	70,00	473	5,00	449
Feinoptik	Branchenumsatz Büromaschinen und Elektrotechnik	886	130,00	96,00	60,00	488	0,00	488
Feinmechanik	Branchenumsatz Büromaschinen und Elektrotechnik	842	130,00	83,00	75,00	413	5,00	393
Stationäre Gießanlagen für 2-K-Kunststoffe	Branchenumsatz Gummi- und Kunststoffwaren	1.240	126,92	1,00	70,00	1.563	85,00	234
Mischer bzw. Rührwerke für 1-K-Dichtstoffe	Branchenumsatz Gummi- und Kunststoffwaren	177	126,92	100,00	86,00	31	67,00	10
Produktreinigung und finishing	Branchenumsatz Gummi- und Kunststoffwaren	3.101	126,92	50,00	75,00	2.460	5,00	2.337
CKW-Einsatz in der organischen Spezialreinigung	Branchenumsatz Gummi- und Kunststoffwaren	2.171	126,92	100,00	90,00	276	0,00	276
Entwachsung von Fahrzeugen	Branchenumsatz Fahrzeugbau-Automobilindustrie	1.114	142,11	0,00	0,00	1.583	90,00	158
Entfernung von Farben und Lacken (nicht CKW)	Branchenumsatz Metallerzeugung u. Metallerzeugnisse	1.471	118,60	100,00	0,00	1.745	20,00	1.396
Entfernung von Farben und Lacken (CKW)	Branchenumsatz Metallerzeugung u. Metallerzeugnisse	2.075	118,60	100,00	0,00	2.461	96,00	98
Polyesterverarbeitung	Branchenumsatz Gummi- und Kunststoffwaren	341	126,92	0,00	0,00	433	0,00	433
Polyvinylchloridverarbeitung	Branchenumsatz Gummi- und Kunststoffwaren	213	126,92	0,00	0,00	270	0,00	270

**Tabelle A.1:** Zusammenfassung der in dieser Arbeit durchgeführten Berechnungen der NMVOC-Emissionen aus der Anwendung von Lösemitteln in Deutschland für das Bezugsjahr 2000, der Ergebnisse des sektoral hoch aufgelösten Referenzszenarios sowie des Minderungszenarios für 2010 (Fortfs.)

Anwendung/Sektor	Aktivitätsindex	Emissionen 2000 [t]	Aktivitätsindex 2010/2000 [%]	Erfassungsgrad durch 31. BImSchV[%]	Minderungsgrad durch 31. BImSchV bzw. ChemVOC-FarbV [%]	Emissionen Referenzszenario 2010 [t]	Minderungsfaktor [%]	Minderungsszenario 2010
Polyurethanverarbeitung	Branchenumsatz Gummi- und Kunststoffwaren	3.656	126,92	0,00	0,00	4.640	0,00	4.640
Polystyrolschäumung	Branchenumsatz Gummi- und Kunststoffwaren	5.884	126,92	0,00	0,00	7.468	0,00	7.468
Gummiverarbeitung	Branchenumsatz Gummi- und Kunststoffwaren	2.314	126,92	85,00	50,00	1.689	0,00	1.689
Herstellung von Arzneimitteln	Branchenumsatz sonstige Chemische Industrie	13.604	123,94	85,00	50,00	9.696	10,00	8.725
Herstellung von Farben und Lacken	Emissionen aus der Anwendung von Farben und Lacken	9.502	114,78	100,00	12,50	9.543	25,00	7.157
Herstellung von Holzschutzmitteln	Branchenumsatz Holzgewerbe	1.099	94,12	100,00	33,00	693	0,00	693
Herstellung von Baustoffadditiven	Marktvolumen Baugewerbe	1.829	104,76	100,00	33,00	1.284	0,00	1.284
Herstellung von Druckfarben	Branchenumsatz Papier-, Verlags-, und Druckgewerbe	2.389	119,18	100,00	0,00	2.847	0,00	2.847
Herstellung von Tinten, Tuschen und Künstlerfarben	Konsumausgaben für Zeitungen, Bücher und Schreibwaren	95	108,80	100,00	0,00	103	0,00	103
Herstellung von Klebstoffen und Klebebändern	Emissionen aus der Anwendung von Klebstoffen	918	106,50	100,00	0,00	978	0,00	978
Herstellung von Filmen und Photographien	Branchenumsatz sonstige Chemische Industrie	18	123,94	0,00	0,00	22	0,00	22
Herstellung von Magnetbändern	Branchenumsatz sonstige Chemische Industrie	262	123,94	0,00	0,00	325	0,00	325
Herstellung von Konsumgütern	Gewichteter mittlerer Aktivitätsindex bei der Verwendung von Konsumgütern	4.157	124,48	0,00	0,00	5.175	25,00	3.881
Herstellung von Oberflächenreinigungsmitteln	Gewichteter mittlerer Aktivitätsindex bei der Anwendung von Oberflächenreinigungsmitteln	1.618	126,49	0,00	0,00	2.047	25,00	1.535
Herstellung von Frostschutz- und Enteisungsmitteln	Gewichteter mittlerer Aktivitätsindex bei der Anwendung von Frostschutz- und Enteisungsmitteln	2.616	118,73	0,00	0,00	3.106	25,00	2.329

**Tabelle A.1:** Zusammenfassung der in dieser Arbeit durchgeführten Berechnungen der NMVOC-Emissionen aus der Anwendung von Lösemitteln in Deutschland für das Bezugsjahr 2000, der Ergebnisse des sektoral hoch aufgelösten Referenzszenarios sowie des Minderungsszenarios für 2010 (FortS.)

Anwendung/Sektor	Aktivitätsindex	Emissionen 2000 [t]	Aktivitätsindex 2010/2000 [%]	Erfassungsgrad durch 31. BImSchV[%]	Minderungsgrad durch 31. BImSchV bzw. ChemVOC-FarbV [%]	Emissionen Referenzszenario 2010 [t]	Minderungsfaktor [%]	Minderungsszenario 2010
Herstellung von Be- und Entwachsungsmitteln	Gewichteter Aktivitätsindex bei der Anwendung von Be- und Entwachsungsmitteln	186	142,08	0,00	0,00	264	25,00	198
Herstellung von Abbeizmitteln	Branchenumsatz Metallerzeugung u. Metallerzeugnisse	419	118,60	0,00	0,00	497	25,00	373
Seifen	Konsumausgaben für Körperpflege	843	127,66	0,00	0,00	1.076	0,00	1.076
Wasch-, Putz- und Spülmittel	Konsumausgaben insgesamt	17.391	118,97	0,00	0,00	20.690	0,00	20.690
Desodorierende Zubereitungen	Konsumausgaben insgesamt	959	118,97	0,00	0,00	1.141	0,00	1.141
Schuh- und Lederpflegemittel	Konsumausgaben für Bekleidung	1.745	104,84	0,00	0,00	1.829	0,00	1.829
Möbel- und Bodenpflegemittel	Konsumausgaben für Möbel- und Haushaltsgeräte	6.280	109,22	0,00	0,00	6.859	0,00	6.859
Autopflegemittel	Konsumausgaben für Verkehr	2.927	114,01	0,00	0,00	3.337	0,00	3.337
Polier- und Scheuermittel	Konsumausgaben insgesamt	860	118,97	0,00	0,00	1.023	0,00	1.023
Dufnwasser	Konsumausgaben für Körperpflege	18.063	127,66	0,00	0,00	23.059	0,00	23.059
Schminkmittel	Konsumausgaben für Körperpflege	458	127,66	0,00	0,00	585	0,00	585
Zubereitungen zur Hand- und Fußpflege	Konsumausgaben für Körperpflege	547	127,66	0,00	0,00	698	0,00	698
Andere Zubereitungen zur Schönheitspflege	Konsumausgaben für Körperpflege	12.154	127,66	0,00	0,00	15.516	0,00	15.516
Haarwasch- und Pflegemittel	Konsumausgaben für Körperpflege	28.890	127,66	0,00	0,00	36.881	0,00	36.881
Zubereitete Rasier-, Riech-, Körperpflege- und Schönheitsmittel	Konsumausgaben für Körperpflege	14.898	127,66	0,00	0,00	19.019	0,00	19.019
Häusliche Anwendung von pharmazeutischen Produkten	Konsumausgaben für Gesundheitspflege	4.283	131,40	0,00	0,00	5.628	0,00	5.628

**Tabelle A.1:** Zusammenfassung der in dieser Arbeit durchgeführten Berechnungen der NMVOC-Emissionen aus der Anwendung von Lösemitteln in Deutschland für das Bezugsjahr 2000, der Ergebnisse des sektoral hoch aufgelösten Referenzszenarios sowie des Minderungsszenarios für 2010 (FortS.)

Anwendung/Sektor	Aktivitätsindex	Emissionen 2000 [t]	Aktivitätsindex 2010/2000 [%]	Erfassungsgrad durch 31. BImSchV[%]	Minderungsgrad durch 31. BImSchV bzw. ChemVOC-FarbV [%]	Emissionen Referenzszenario 2010 [t]	Minderungsfaktor [%]	Minderungsszenario 2010
Anwendung von Kfz-Frostschutzmitteln	Konsumausgaben für Verkehr	13.231	114,01	0,00	0,00	15.085	0,00	15.085
Anwendung von Enteisungsmitteln	Marktvolumen Luftverkehr und Marktvolumen alle Wirtschaftsbereiche	9.610	125,22	0,00	0,00	12.034	0,00	12.034
Chemische Reinigung	Konsumausgaben für Bekleidung	1.429	104,84	100,00	0,00	1.498	0,00	1.498
Extraktion von Ölen und Fetten	Branchenumsatz Ernährungsgewerbe	6.306	111,11	100,00	0,00	7.007	0,00	7.007
Verwendung von Lösemittel bei der Anwendung von Pflanzenschutzmitteln	Marktvolumen Land- und Forstwirtschaft	3.542	103,39	0,00	0,00	3.662	0,00	3.662
Hochschulen	Konsumausgaben für Bildung	241	108,82	0,00	0,00	262	0,00	262
Wissenschaftliche Einrichtungen	Konsumausgaben für Bildung	1.565	108,82	0,00	0,00	1.703	0,00	1.703
Zusätzliches Minderungspotenzial bei der Anwendung von Aerosolsprays								-36.960
Summe		724.654				664.608		568.774

## Literatur

### [2. BImSchV, 2001]

Jost, D., Zweite Verordnung zur Durchführung des Bundesimmissionsschutzgesetzes (Verordnung zur Emissionsbegrenzung von leichtflüchtigen Halogenkohlenwasserstoffen-2.BImSchV), Die neue TA Luft, WEKA Fachverlag, Augsburg, 1999 und Verordnung zur Umsetzung der Richtlinie 1999/13/EG über die Begrenzung von Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen vom 21. August 2001, Artikel 2: Änderung der Verordnung von leichtflüchtigen Halogenkohlenwasserstoffen, Bundesgesetzblatt, Jahrgang 2001, Teil I, Nr.44, Bonn, 2001

### [4. BImSchV, 1999]

Vierte Verordnung zur Durchführung des Bundesimmissionsschutzgesetzes (Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen- 4. BImSchV) vom 24.07.1985 (BGBl I S. 1586), zuletzt geändert 1999, Bonn, 1999

### [31. BImSchV, 2001]

31. BImSchV, Einunddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundesimmissionsschutzgesetzes (Verordnung zur Begrenzung der Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen bei der Verwendung organischer Lösemittel in bestimmten Anlagen) vom 21. August 2001 (BGBl I S. 2180), Bonn 2001

### [ACEA, 2003]

Europäische Produktionsstatistik der Association des Constructeurs Européens d' Automobiles (ACEA), <http://www.acea.be>, Brüssel, 2003

### [ADAC, 1997]

Persönliche Mitteilung von Herrn Stahle, ADAC München, 1997

### [AGPU, 2002]

Arbeitsgemeinschaft PVC und Umwelt e.V., Persönliche Mitteilung Frau Dr. Lindner, Bonn, 2002

### [Anspach, 1995]

Anspach, I., Flugzeuge umweltschonend enteisen, Umwelt, Band 25 (1995) Nr. 1/2 Januar/Februar, München, 1995

### [AVISO, 2001]

AVISO GmbH 2001, Ozonrelevante VOC Emissionen aus der Produkthanwendung und aus nicht nach BImSchG genehmigungsbedürftigen Anlagen, Schlussbericht im Auftrag des Landesumweltamtes Nordrhein-Westfalen, Aachen, 2001

### [Bartholemy, 2001]

Persönliche Mitteilung von Herrn Bartholemy, Technische Informationsstelle des deutschen Maler- und Lackiererhandwerks, Stuttgart, 2001

### [Bartholemy, 2003]

Vortrag von Herrn Bartholemy, Technische Informationsstelle des deutschen Maler- und Lackiererhandwerks, „Vorschlag der Europäischen Kommission für eine DECOPAINT-Richtlinie“ im Rahmen des Informationsworkshops „Minderungspotenziale bei Maler- und Lackierarbeiten im Handwerk durch die Umsetzung der DECOPAINT-Richtlinie“ am 17. Oktober 2003 in Stuttgart, 2003

**[Baumann, 1999]**

Baumann, W., Rothardt, T., Druckereichemikalien, Daten und Fakten zum Umweltschutz, 2. überarbeitete und ergänzte Auflage, Springer-Verlag, Berlin, 1999

**[Baums et al., 1999]**

Baums, M., Hansemann, W., Holz lösemittelarm lackieren - Praxisratgeber zur Umsetzung der VOC-Richtlinie in der Holz- und Möbelindustrie; Hrsg.: Verband der Lackindustrie VdL e.V. und Hauptverband der Deutschen Holz und Kunststoffe verarbeitende Industrie und verwandter Zweige HDH e.V., Frankfurt, 1999

**[BBA, 1997]**

Persönliche Mitteilung von Herrn Schmidt, Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Braunschweig, 1997

**[Berner, 1996]**

Berner, P., Maßnahmen zur Minderung der Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen aus der Lackanwendung - Vergleich zwischen Abluftreinigung und primären Maßnahmen am Beispiel Baden-Württembergs, Stuttgart: Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung, Universität Stuttgart, Forschungsbericht Band 42, 1996 - Dissertation, Stuttgart, 1996

**[Berner et al., 1996]**

Berner, P., Obermeier, A., Friedrich, R., Ondratschek, D., Schaber, K., Strategien zur Minderung der VOC-Emissionen ausgewählter Emittentengruppen in Baden-Württemberg, Forschungsbericht FZKA-PEF 147, Karlsruhe, 1996

**[Betontrenn, 1996]**

Betontrennmittel und Umwelt, Sachstandsbericht Juni 1996, Deutsche Bauchemie e. V., Frankfurt/Main, 1996

**[Betonzusatz, 1999]**

Betonzusatzmittel und Umwelt Sachstandsbereich Mai 1999, Deutsche Bauchemie e. V., Frankfurt/Main, 1999

**[BG, 1997]**

Zeitschrift der Berufsgenossenschaft Druck 6/97, Stuttgart, 1997

**[Biesterfeld, 1996]**

Persönliche Mitteilung von Frau Burmeister, Firma Biesterfeld, Hamburg, 1996

**[BIPRO, 2002]**

Screening study to identify reductions in VOC Emissions due to the restrictions in the VOC content of products, BIPRO, AFC Consult, DFIU, DG Environment, Brüssel, 2002

**[BPI, 2001]**

Pharmadaten 2001, Bundesverband der Pharmazeutischen Industrie e.V., Berlin 2001

**[Bräutigam et al., 1992]**

Bräutigam, M., Kruse, D. K., Ermittlung der Emissionen organischer Lösemittel in der Bundesrepublik Deutschland. Köln: Consulting Services, 1992 - Forschungsbericht 10404116/01 im Auftrag des Umweltbundesamtes, Berlin, 1992

**[Bültjer, 2002]**

Persönliche Mitteilung von H. Bültjer, Gesamtverband Kunststoffverarbeitende Industrie-AKV-TV e.V., Frankfurt/Main, 2002

**[BUWAL, 1995]**

Handbuch - Emissionsfaktoren für Stationäre Quellen, Ausgabe 1995, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern, Schweiz 1995

**[BUWAL, 2003]**

Handbuch - Emissionsfaktoren für Stationäre Quellen, Ausgabe 2000, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern, Schweiz 2003

**[BVDM, 1996]**

Bundesverband Druck und Medien e.V.(BVDM)(Hrsg.), „Umweltschutz in der Druckindustrie“, Wiesbaden, 1996

**[BVDM, 2003]**

Bundesverband Druck und Medien e.V. (BVDM) - Betriebe und Beschäftigte der deutschen Druckindustrie, <http://www.bvdm-online.de>, Wiesbaden, 2003

**[Census, 2003]**

Bevölkerungsstatistik des US Census Bureau, <http://www.census.gov/ipc/www/>, 2003

**[CH2M Hill, 1991]**

CH2M HILL, Detergent Ethanol emissions from municipal wastewater collection and treatment systems, prepared for the soap and detergent association, Emeryville, California, 1991

**[ChemVOCFarbV, 2004]**

Chemikalienrechtliche Verordnung zur Begrenzung der Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen (VOC) durch Beschränkung des Inverkehrbringens lösemittelhaltiger Farben und Lacke (Lösemittelhaltige Farben- und Lackverordnung - ChemVOC-FarbV) vom 16. Dezember 2004, BGBl. I S. 3508, Bonn, 2004

**[Crutzen et al., 1992]**

Crutzen, P.J., Zimmerman, P., The Changing of the Photochemistry of the Troposphere, *tellus* 43 B, 136, 1991

**[DECHEMA, 1997]**

Adams, N., Emissionen von halogenierten Kohlenwasserstoffen in der Bundesrepublik und in Europa, DECHEMA, GDCh, DBG-Gemeinschaftsausschuss "Chemie der Atmosphäre", Anlagen zum Protokoll der 3. Sitzung am 25./26.11.1997, Frankfurt, 1997

**[DECOPAINT, 2002]**

Vorschlag für eine Richtlinie des europäischen Parlaments und des Rates über die Begrenzung der Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen aufgrund der Verwendung organischer Lösemittel in Dekorfarben und -lacken und Produkten der Fahrzeugreparaturlackierung sowie zur Änderung der Richtlinie 1999/13/EG, KOM (2002) 750 endgültig, 2002/0301 (COD), Brüssel, 23.12.2002

**[DECOPAINT, 2004]**

Richtlinie 2004/42/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 21. April 2004 über die Begrenzung der Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen aufgrund der Verwendung organischer Lösemittel in bestimmten Farben und Lacken und in Produkten der Fahrzeugreparaturlackierung sowie zur Änderung der Richtlinie 1999/13/EG, Brüssel, 2004

**[Derwent et al., 1996]**

Derwent, R.G., Jenkin, M.E., Saunders, S.M., Photochemical ozone creation potentials for a large number of reactive hydrocarbons under european conditions, Atmospheric Environment Vol 30, No.2, pp.181-199, 1996

**[Derwent et al., 1998]**

Derwent, R. G., Jenkin, M. E., Saunders, S. M., Pilling, P.J., Photochemical ozone creation potentials for organic compounds in Northwest Europe calculated with a master chemical mechanism, Atmospheric Environment Vol 32, No.14/15, pp.2429-2441, 1998

**[DIN 51 631]**

DIN 51 631, Spezialbenzine, Siedegrenzenbenzine, Anforderungen, Normenausschuss Materialprüfung im Deutschen Institut für Normung e.V. Fachausschuss Mineralöl und Brennstoffnormung, Berlin, 1988

**[DIN 51 632]**

DIN 51 632, Spezialbenzine, Siedegrenzenbenzine, Anforderungen, Normenausschuss Materialprüfung im Deutschen Institut für Normung e.V. Fachausschuss Mineralöl und Brennstoffnormung, Berlin, 1988

**[Domnick et al., 2003]**

Domnick, J., Hruschka, R., Ondratschek, D., Scheibe, A., Qualitätsgerechte und effektive Maßnahmen zur Luftreinhaltung in handwerklichen und industriellen Lackierereien. Abschlussbericht zum Vorhaben BWD 21001 des Förderprogramms BWPLUS des Landes Baden-Württemberg, Karlsruhe, 2003

**[DTV, 1998]**

Persönliche Mitteilung von Frau Fritsche, Deutscher Textilreinigungsverband (DTV), Bonn, 1998

**[DTV, 2002]**

Deutscher Textilreinigungsverband (DTV), Statistik der Textilreinigungsbetriebe, <http://www.dtv-bonn.de/neu/start.asp>, Bonn, 2002

**[Dusek, 2000]**

Dusek, U., Secondary organic aerosol formation mechanisms and source contributions in Europe, interim report, IR-00-066 International Institute for Applied Systems analysis (IIASA), Laxenburg, 2000

**[Ebinger et. al, 2001]**

Ebinger, F., Tebert, C., Steffens, F., Abschlussbericht zum Projekt: Akteurskooperation "Umweltfreundlich Druck machen" in den Regionen Freiburg und Hohenlohe, Ökoinstitut, Modell Hohenlohe e.V. im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg (UVM), 2001

**[EEA, 1996]**

European Environmental Agency (ed.): Atmospheric Emission Inventory Guidebook - Emission summary tables. EEA, Copenhagen, 1996

**[EEA, 1999]**

European Environmental Agency (ed.): Atmospheric Emission Inventory Guidebook. - EEA, Copenhagen (<http://www.eea.eu.int/aegb/backgrou/aver.htm>), Stand: April 1999

**[Ehhalt, 1994]**

Ehhalt, D.H., On the photochemical oxidation of natural trace gases and man-made pollutants in troposphere, Sci. total. Environ. 143, 1, 1994

**[Eisele, 1998a]**

Persönliche Mitteilung von F. Eisele, Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER), Universität Stuttgart, Stuttgart, 1998

**[Eisele, 1998b]**

Persönliche Mitteilung von F. Eisele, Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER), Universität Stuttgart, Stuttgart, 1998

**[Elkan, 1997]**

Persönliche Mitteilung von Frau Elkan, Fachvereinigung Mineralfaserindustrie e.V. (FMI), Frankfurt, 1997

**[Emminger, 2002]**

Persönliche Mitteilung von Herrn Emminger, Informationszentrum Kunststoffverpackung, Bad Homburg, 2002

**[Enquete, 1994]**

Die Industriegesellschaft gestalten, Bericht der Enquete Kommission Schutz des Menschen und der Umwelt, S. 374, Economica Verlag GmbH, Bonn 1994,

**[EPA, 1999]**

U.S. Environmental Protection Agency, Compilation of Air Pollutant Emission Factors, AP-42, Fifth Edition. Research Triangle Park, NC. <http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42.html>, Stand April 1999

**[EUROIII-IV, 1998]**

Richtlinie 98/69/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 13. Oktober 1998 über Maßnahmen gegen die Verunreinigung der Luft durch Emissionen von Kraftfahrzeugen und zur Änderung der Richtlinie 70/220/EWG des Rates und der Richtlinie 1999/96/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 13. Dezember 1999 zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über Maßnahmen gegen die Emission gasförmiger Schadstoffe und luftverunreinigender Partikel aus Selbstzündungsmotoren zum Antrieb von Fahrzeugen und die Emission gasförmiger Schadstoffe aus mit Erdgas oder Flüssiggas betriebenen Fremdzündungsmotoren zum Antrieb von Fahrzeugen und zur Änderung der Richtlinie 88/77/EWG des Rates

**[EU, 1994]**

Richtlinie 94/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 20. Dezember 1994 zur vierzehnten Änderung der Richtlinie 76/769/EWG zur Angleichung der Rechts- und Verwaltungsvorschriften der Mitgliedstaaten für Beschränkungen des Inverkehrbringens und der Verwendung gewisser gefährlicher Stoffe und Zubereitungen, 94/60/EG - (ABl. Nr. L 365 vom 31.12. 1994 S. 1), Brüssel, 1994

**[EU, 2002]**

DG Environment, The Costs and benefits of the reduction of volatile organic compounds from paints, Brüssel, 2002

**[Fauser, 2003]**

Vortrag von Herrn Fauser, Votteler Lackfabrik GmbH & Co KG, Ditzingen „Stand der Technik bei der Einführung emissionsarmer Beschichtungen für die Möbel und Kunststoffverarbeitende Industrie“ im Rahmen des Informationsworkshops „Minderungspotenziale bei Maler- und Lackierarbeiten im Handwerk durch die Umsetzung der DECOPAINT-Richtlinie“ am 17. Oktober 2003, Stuttgart, 2003

**[FEICA, 1996]**

The FEICA Classification Manual, Classification of Adhesives, A guide through applications and product types, Düsseldorf, 1996

**[FEICA, 2000]**

Absatzstatistik für Klebstoffe in Europa - 2000, <http://www.feica.com>, Düsseldorf, 2000

**[Finlayson-Pitts, 1999]**

Finlayson-Pitts, B.J. and Pitts, J.N., Chemistry of the Upper and Lower Atmosphere, Academic press, Canada, 1999

**[Gartz, 2003]**

Vortrag von Frau Gartz, CD Color GmbH & Co KG, Düren „Lackindustrie und europäische Gesetzgebung - was kommt auf die Branche zu?“ im Rahmen des Informationsworkshops „Minderungspotenziale bei Maler- und Lackierarbeiten im Handwerk durch die Umsetzung der DECOPAINT-Richtlinie“ am 17. Oktober 2003 in Stuttgart, Stuttgart, 2003

**[GDI, 2001]**

GDI-Baumarktstatistik 1995-2000, Gesamtverband Dämmstoffindustrie (GDI), Frankfurt, 2001

**[Glassl, 2003]**

Persönliche Mitteilung von Herrn Dr. Glassl, Industrieverband Körperpflege und Waschmittel e.V., 2003

**[Gothenburg, 1999]**

UNECE "Protocol to the 1979 Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution to abate acidification, eutrophication and ground-level ozone", Gothenburg, 1999

**[GPGAUM, 2000]**

Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories, Chapter 8

**[Graßmann, 1997]**

Persönliche Mitteilung von Herrn Graßmann, Industrieverband Bauchemie und Holzschutzmittel e.V., 1997

**[Greiner, 1999]**

Persönliche Mitteilung von Frau Dr. Greiner, Umweltbundesamt, Berlin 1999

**[Groß, 2003]**

Persönliche Mitteilung von Herrn Dr. Groß, Verband deutscher Ölmühlen e.V., Berlin, 2003

**[Hägele, 2002]**

Persönliche Mitteilung von Herrn Hägele, Landesverband Holz und Kunststoff e.V., Stuttgart, 2002

**[Heßland, 2004]**

Persönliche Mitteilung von Herrn Heßland, Industrieverband Klebstoffe e.V. (IVK), Düsseldorf, 2004

**[Hirsch, 1998]**

Persönliche Mitteilung von Herrn Hirsch, Verband der Polyurethan-Weichschaumindustrie e.V. (VPWI), Frankfurt/Main, 1998

**[Hohenstein, 1996]**

Kurz, J., Klein, P., Anhörung des Umweltbundesamtes und des Bundesinstitutes für gesundheitlichen Verbraucherschutz und Veterinärmedizin zu Kohlenwasserstofflösemitteln (KWL), Bereich Textilreinigung, Marktübersicht der in der Textilreinigung eingesetzten Kohlenwasserstofflösemittel, Forschungsinstitut Hohenstein, Berlin, 1996

**[Huber, 1998]**

Persönliche Information von B. Huber und H. Reh, Lösemittelbilanzen der EMTEC Magnetics - Werke in München und Willstätt, Ludwigshafen 1998

**[IGA, 2001]**

Industriegemeinschaft Aerosole e.V.(IGA), Der Deutsche Aerosolmarkt 2000, <http://www.igaerosole.de>, Frankfurt/Main, 2001

**[IGA, 2002]**

Industriegemeinschaft Aerosole e.V.(IGA), Der Europäische Aerosolmarkt 2000, Frankfurt/Main, 2002

**[INFRAS, 1994]**

Infras (Hrsg.): Gesamterhebung für flüchtige organische Verbindungen in Industrie und Gewerbe - Teilprojekt "Weitere Branchen" - Zürich, 1994

**[IPPC, 1996]**

Council Directive 96/61/EC of 24. September 1996, concerning integrated pollution prevention and control, Office Journal of the European Communities, No. L257/26, 1996

**[Jahrbuch, 2002]**

Statistisches Bundesamt, Statistisches Jahrbuch 2002, Wiesbaden, 2002

**[Jepsen et al., 1999]**

Jepsen, D., Grauer, A., Tebert, C., Ermittlung des Standes der Technik und der Emissionsminderungspotenziale zur Senkung der VOC-Emissionen aus Druckereien, Ökopol GmbH im Auftrag des Umweltbundesamtes, FKZ 297 44 906/01, Berlin, 1999

**[Jepsen, 2002]**

Persönliche Mitteilung von Herrn Jepsen, Ökopol GmbH, Hamburg, 2002

**[Jepsen et al., 2003]**

Jepsen, D., Ipsen, A. Ermittlung von Emissionsfaktoren für VOC-Emissionen aus kleinen Gewerbebetrieben und privaten Haushalten in Berlin, Kurzbericht der Ökopol GmbH im Auftrag der Berliner Senatsverwaltung IX, D2, Berlin, 2003

**[Jepsen et al., 2004]**

Jepsen, D., Theloke, J., Ipsen, A., Zangl, S., Friedrich, R., Endbericht zum UFOPLAN-Vorhaben „Emissionsdaten für flüchtige organische Verbindungen aus der Lösemittelverwendung – Methodenevaluierung, Datenerhebung und Prognosen - VOC-Emissionskataster, FKZ 20143 306, Berlin, 2004

**[Jopp, 1996]**

Jopp, Klaus; Vom Kunststoff zum Schadstoff und zurück, Die Zeit, 13.09.1996, Frankfurt/Main 1996

**[Knofe, 2002]**

Persönliche Mitteilung von Herrn Dr. Knofe, Umweltbeauftragter des deutschen Textilreinigungsverbandes e.V. (DTV), Bonn, 2002

**[Kilfrost, 2000]**

Internetpräsentation der Firma Kilfrost Ltd., <http://www.indutec.com>, Frankfurt, 2000

**[Kosfeld, 1998]**

Persönliche Mitteilung von Herrn Kosfeld, Abteilung Umweltschutz der Agfa-Gevaert AG, Leverkusen, 1998

**[Kühlwein et al., 1999]**

Kühlwein, J., Friedrich, R., Obermeier, A., Theloke, J., Abschätzung und Bewertung der Unsicherheiten hochaufgelöster NO<sub>x</sub>- und NMVOC-Emissionsdaten, Forschungszentrum Karlsruhe, Baden-Württemberg Projekträgerchaft Lebensgrundlage Umwelt und ihre Sicherung BWPLUS, FZKA-BWPLUS 30, 1999 - Internet: <http://bwplus.fzk.de/SBer/PEF296002SBer.pdf>, Karlsruhe, 1999

**[Kühlwein et al., 2002]**

Kühlwein, J., Wickert, B., Trukenmüller, A., Theloke, J., Friedrich, R., Emission modeling in high spatial and temporal resolution and calculation of pollutant concentrations for comparisons with measured concentrations, Atmospheric Environment, Vol. 36 (S1), pp. 7-18, Elsevier Science Ltd., 2002

**[LBA, 1993]**

Konzeption zur Minderung der VOC-Emissionen in Baden-Württemberg, Umweltministerium Baden-Württemberg, Luft-Boden-Abfall, Heft 21, Stuttgart, 1993

**[Leiß, 1992]**

Leiß, B., Holzschutzmittel im Einsatz, Bestandteile, Anwendungen, Umweltbelastungen, Bauverlag, Wiesbaden, Bonn, 1992

**[LIV, 2002]**

Zahlen und Fakten, [http://www.liv-maler-lackierer-bw.de/wir\\_uns/zahlen.html](http://www.liv-maler-lackierer-bw.de/wir_uns/zahlen.html), Landesinnungsverband des Maler- und Lackiererhandwerks Baden-Württemberg, Stuttgart, 2002

**[Malle, 1993]**

Malle, B., Emissionen organischer Lösemittel in Österreich - Mengenanalyse und Verminderungspotentiale, Wien: Technisch-Naturwissenschaftliche Fakultät, Universität Wien, 1993 - Dissertation

**[Mann et al., 1992]**

Mann, M., Heilig, G., Lamberts, W., Zöllner R., PUR-Hartschaumstoffe mit alternativen Treibmitteln, Alternativen zu FCKW und Halonen, Internationale Konferenz, Berlin 1992

**[Manschreck, 2000]**

Manschreck, K, Experimentelle Bestimmung von städtischen Emissionen anhand von Konzentrationsmessungen im Lee einer Stadt - Untersuchungen zum Beitrag verschiedener Quelltypen und Vergleich mit einem Emissionsberechnungsmodell, Dissertation, Wuppertal, 2000

**[Marti, 1999]**

Marti, J., Pentanemissionen beim Schäumen von Polystyrol, Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft, 59 (1999) Nr.5-Mai, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1999

**[McInnes, 1999]**

McInnes, G.: Atmospheric Emission Inventory Handbook. - European Environmental Agency. Kopenhagen, 1996

**[Middleton, 1990]**

Middleton, P., Stockwell, W., Carter, W., Aggregation and analysis of volatile organic compound emissions for regional modeling, Atmospheric Environment Vol. 24A, No. 5, pp. 1107-1133, 1990

**[Mörtel, 1998]**

Modifizierte mineralische Mörtelsysteme und Umwelt, Sachstandsbericht Juni 1998 Deutsche Bauchemie e.V, Frankfurt/Main, 1998

**[Motz et al., 1998]**

Motz, B., Reichardt, N., Wenk, N., Kirsch, A., Ermittlung von Art, Umfang, und räumlicher Verteilung der ozonrelevanten VOC-Emissionen 1996 aus der Produkthanwendung und aus nicht nach BImSchG genehmigungsbedürftigen Anlagen im Bundesland Nordrhein-Westfalen, PROGROS AG, Untersuchung im Auftrag des Landesumweltamtes, Köln, 1998

**[Nacken et al., 1999]**

Nacken, M., Niederau, A., Schneider, C., Vogt, J., Ermittlung der NMVOC Emissionen aus der Verwendung lösemittelhaltiger Produkte in den Haushalten der Regierungsbezirke Dresden und Chemnitz und des Regierungsbezirks Leipzig, Schlussbericht, Studie im Auftrag des Sächsischen Landesamtes für Umwelt und Geologie, Heusch/Boesefeldt, Beratende Ingenieure für Verkehrstechnik und Datenverarbeitung GmbH, Aachen, 1999

**[Nader, 2001]**

Persönliche Mitteilung von Prof. Dr. F. Nader, Abteilung Technik, CKW-Lösemittelmarkt Deutschland 2000 in kt, Verband der Chemischen Industrie e. V., Frankfurt/Main, 2001

**[NEC-Bericht, 2003]**

Nationales Programm der Bundesrepublik Deutschland nach Art. 6 der Richtlinie 2001/81/EG vom 23. Oktober 2001 über nationale Emissionshöchstgrenzen für bestimmte Luftschadstoffe, Umweltbundesamt, Berlin, 2003

**[NEC-Direktive, 2001]**

Directive 2001/81/EC of the European Parliament and the Council of 23 October 2001 on national emission ceilings for certain atmospheric pollutants, Office Journal of the European Communities, L309/22, 27.11.2001

**[NESPRI, 2003]**

NESPRI - Nebelfreies Spritzen von Außenfassaden, Verbundforschungsvorhaben durchgeführt vom Fraunhofer-Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik (IWTM), Kaiserslautern, Institut für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb (IFF), Universität Stuttgart und Institut für Maschinenwesen im Baubetrieb (IMB), Universität Karlsruhe in enger Kooperation mit mehreren Malerbetrieben, dem Farbenhersteller Caparol Farben, Lacke, Bautenschutz GmbH & Co KG, Ober-Ramstadt sowie dem Maschinenhersteller Wagner GmbH, Markdorf gefördert vom Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit im Rahmen des Programms zur Förderung innovativer Netzwerke, Berlin, 2003

**[Nolting, 1997]**

Persönliche Mitteilung von Herrn Nolting, Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Braunschweig, 1997

**[Obermeier, 1995]**

Obermeier, A., Ermittlung und Analyse von Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen in Baden-Württemberg, Stuttgart, Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung, Universität Stuttgart, Forschungsbericht Band 19, 1995-Dissertation

**[Öko, 1999]**

Schwarz, W., Leisewitz, A., Stand der Technik und Potentiale zur Senkung der VOC-Emissionen aus Anlagen zur Reinigung von Oberflächen, Ökorecherche, Büro für Umweltforschung und -beratung GmbH, Frankfurt/Main, 1999 - Forschungsbericht 204 04 906/02 im Auftrag des Umweltbundesamtes

**[Ölmühlen, 2004]**

Statistik des Verbandes deutscher Ölmühlen e.V., <http://www.oelmuehlen.de>, Berlin, 2004

**[Ondratschek, 1999]**

Ondratschek, D., Endbericht zum UFOPLAN-Vorhaben "Ermittlung des Standes der Technik und Emissionsminderungspotenziale zur Senkung der VOC-Emissionen bei der Reinigung der Applikationsgeräte in der Lackierung", FKZ 204 04 906/04, Berlin, 1999

**[Ondratschek, 2004]**

Persönliche Mitteilung Herr Ondratschek, Institut für industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb, Universität Stuttgart, Stuttgart, 2004

**[Passant, 1993]**

Passant, N.R., Emissions of volatile organic compounds (VOC's) from the food and drink industries of the European Community, Atmospheric Environment, Vol.27a, No. 16, 1993

**[Peters et al., 2002]**

Peters, N., Nunge, S., Geldermann, J., Rentz, O. Bericht über Beste Verfügbare Techniken im Bereich der Lack- und Klebstoffverarbeitung in Deutschland, Teilband I: Lackverarbeitung, Deutsch-Französisches Institut für Umweltforschung (DFIU), Karlsruhe, 2002

**[Pflanzenschutz, 1998]**

Gesetz zum Schutz der Kulturpflanzen, PflSchG - Pflanzenschutzgesetz Fassung vom 14. Mai 1998 (BGBl. I 1998 S. 971, ber. S. 1527, S. 3512; 25.6.2001 S. 1215 Artikel 14; 29.10.2001 S. 2785 Art. 186; 25.3.2002 S. 1193; 20.6.2002 S. 2076, 6.8.2002 S. 3082)

**[Prinn et al., 1992]**

Prinn, R., Cunnold, D., Simmonds, P., Alyea, F., Boldi, R., Crawford, A., Fraser, P., Gutzler, D., Hartley, D., Rosen, R., Rasmussen, R., Global Average Concentration and Trend for hydroxyl radicals deduced from ALE/GAGE Trichlorethane (Methylchloroform) Data for 1978-1990, J. Geophys. Res. 97, 2445, 1992

**[PROGNOS, 2002]**

Eitenmüller, S., Haker, S., Jens, S., Knittel, T., Limbers, J., Schlesinger, M., PROGNOS Deutschland Report 2002-2020, PROGNOS AG, Basel, Juni 2002

**[Raßhofer, 1994]**

Raßhofer, W., Recycling von Polyurethan-Kunststoffen, Hüthig Verlag, 1994

**[Rettinger, 2003]**

Persönliche Mitteilung von Herrn Dr. Rettinger, Industrieverband Körperpflege und Waschmittel e.V., Frankfurt, 2003

**[Reul, 1991]**

Reul, H., Handbuch der Bauchemie, Einführung in die Grundlagen - Rohstoffe, Rezepturen, Verlag für chem. Industrie, Augsburg, 1991

**[RIVM, 1997]**

RIVM (ed.), General information on the emission database for global atmospheric research (EDGAR) - Version 2.0. - (<ftp://info.rivm.nl/pub/lae/EDGARV20>), Stand: April 1999

**[Rudd et al., 1998]**

Rudd, H., Marlowe, I., Improvements to the VOC inventory through speciation of white spirits. A report produced for the department of the environment, transport and the regions, AEAT-3321/20011001 Issue 1, 1998

**[Schaber, 1999]**

Persönliche Mitteilung von Prof. K. Schaber, Institut für technische Thermodynamik und Kältetechnik (TTK), Universität Karlsruhe (TH), Karlsruhe, 1999

**[Schilling, 1999]**

Persönliche Mitteilung von M. Schilling, Arbeitsgemeinschaft Verstärkte Kunststoffe - Technische Vereinigung e.V. (AVK-TV), Frankfurt/Main, 1999

**[Schmidt, 2003]**

Schmidt, K., Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Institut für Folgenabschätzung im Pflanzenschutz, Kleinmachnow, Ergebnisse der Meldungen für Pflanzenschutzmittel und Wirkstoffe nach § 19 des Pflanzenschutzgesetzes für die Jahre 1999, 2000 und 2001 im Vergleich zu 1998, Nachrichtenbl. Deutsch. Pflanzenschutzd., 55(6), S. 121-123, Stuttgart, 2003

**[Schreiner, 1999]**

Nutzbarmachung des VOC-Minderungspotenzials im Schreinerhandwerk, erstellt durch Umweltzentrum für Handwerk und Mittelstand e.V., Freiburg, im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg, Stuttgart, 1999

**[Schreiner, 2000a]**

Förderung des Wasserlackeinsatzes im Schreinerhandwerk durch optimierte Trocknungssysteme, erstellt durch Umweltzentrum für Handwerk und Mittelstand e.V., Freiburg, im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg, Stuttgart, 2000

**[Schreiner, 2000b]**

Nutzbarmachung des VOC-Minderungspotenzials im Schreinerhandwerk: Praxisgerechte Lösemittelbilanzierung in Schreinereien, erstellt durch Umweltzentrum für Handwerk und Mittelstand e.V., Freiburg, im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg, Stuttgart, 2000

**[Schreiner, 2000c]**

Nutzbarmachung des VOC-Minderungspotenzials im Schreinerhandwerk: Einsatz von Ölen und Wachsen zur Oberflächenbeschichtung, erstellt durch Umweltzentrum für Handwerk und Mittelstand e.V., Freiburg, im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg, Stuttgart, 2000

**[Schröter, 1999]**

Persönliche Mitteilung von Herrn Schröter, Deutsche Bauchemie e.V., Frankfurt/Main, 1999

**[Schwarz, 2000]**

Persönliche Mitteilung von Herrn Dr. Schwarz, Ökorecherche, Büro für Umweltforschung und -beratung GmbH, Frankfurt/Main, 2000

**[StaBuA, 1995]**

Statistisches Bundesamt, Systematisches Güterverzeichnis für Produktionsstatistiken, Ausgabe 1995, Wiesbaden, 1994

**[StaBuA, 2000a]**

Statistisches Bundesamt, Produzierendes Gewerbe, Fachserie 4, Reihe 3.1, Produktion im Produzierenden Gewerbe 2000, Wiesbaden, 2001

**[StaBuA, 2000b]**

Statistisches Bundesamt, Außenhandel, Fachserie 7, Reihe 2, Außenhandel nach Waren und Ländern Dezember Jahr, 2000, Wiesbaden, 2001

**[StaLa, 1998]**

Statistisches Landesamt Baden-Württemberg: persönliche Mitteilungen von Herrn Dr. Büringer, Stuttgart, 1998

**[Steinbrecher, 2000]**

Persönliche Mitteilung von Herrn Dr. Steinbrecher, IFU, Garmisch-Partenkirchen, 2000

**[Stoye, 1993]**

Stoye, D., Paints, Coatings and Solvents, VCH-Verlag, Weinheim, 1993

**[Stuttgart, 2001]**

Expertentreffen am 6.12.01 in Stuttgart zum Thema Identifizierung von Minderungspotenzialen und Möglichkeiten zur Implementierung im Maler- und Lackiererhandwerk sowie der Holzlackierung, Stuttgart, 2001

**[TA Luft, 2002]**

Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft, Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundesimmissionsschutzgesetz (1. BImSchVwV-Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft-TA Luft) vom 24.07.2002, GMBI. S. 511, Berlin, 2002

**[Tebert et.al., 2003]**

Tebert, C., Jepsen, D., Integrierter Umweltschutz bei bestimmten industriellen Tätigkeiten - Anlagen zur Oberflächenbehandlung durch Appretieren, Imprägnieren, Bedrucken, Tränken, Beschichten-Teilband II „Bedrucken“, Endbericht, Ökopol GmbH, Hamburg, 2003

**[Theloke, 1997]**

Theloke, J., UV-Absorptionsquerschnitte atmosphärenchemisch wichtiger Carbonylverbindungen, Diplomarbeit an der Universität Stuttgart, Fakultät Chemie, Institut für Physikalische Chemie (Prof. F. Zabel), Stuttgart, 1997

**[Theloke et al., 2000]**

Theloke, J., Obermeier, A., Friedrich, R., Ermittlung der Lösemittellemissionen 1994 in Deutschland und Methoden zur Fortschreibung, Forschungsbericht 295 42 628 im Auftrag des Umweltbundesamtes, Berlin, 2000

**[Theloke et al., 2003]**

Theloke, J., Ondratschek, D., Friedrich, R., Minderung von NMVOC-Emissionen aus der Lösemittelanwendung in Baden-Württemberg, Abschlussbericht zum Vorhaben BWE 20 010 des Förderprogramms BWPLUS des Landes Baden-Württemberg, Karlsruhe, 2003

**[TIF, 2000]**

Verwendung von Bautenlacken und Bautenfarben im deutschen Maler- und Lackiererhandwerk, Technische Informationsstelle des deutschen Maler- und Lackiererhandwerks, Stuttgart, 2000

**[UBA, 1996]**

Römbke, J., Knacker, Th., Stahlschmidt-Allner, P., Studie über Umweltprobleme im Zusammenhang mit Arzneimitteln, ECT Ökotoxikologie GmbH, Flörsheim am Main, 1996, Forschungsbericht Nr. 10604121 im Auftrag des Umweltbundesamtes, Berlin, 1996

**[UBA, 2000]**

Umweltbundesamt - Umweltdaten 2000, Berlin, 2000

**[Umeg, 2000]**

UMEG, Emissionskataster Baden-Württemberg 1998, Herausgeber Ministerium für Umwelt und Verkehr, Baden-Württemberg, Karlsruhe, 2000

**[Umeg, 2003]**

UMEG, Emissionskataster Baden-Württemberg 2000, Herausgeber Ministerium für Umwelt und Verkehr, Baden-Württemberg, Karlsruhe, 2003

**[Van Halteren, 2003]**

Persönliche Mitteilung von Herrn van Halteren, Industrieverband Klebstoffe e.V., Düsseldorf, 2003

**[Vautard et al., 2003]**

Vautard, R., Martin, D., Beekmann, M., Drobinski, P., Friedrich, R., Jaubertie, A., Kley, D., Lattuati, M., Moral, P., Neiningen, B., Theloke, J., Paris emission inventory diagnostics from the ESQUIF airborne measurements and a chemistry-transport model, J. Geophys. Res., Vol. 108, (D17), 8564, doi: 10.1029/2202JD002797, 2003

**[VCI, 1997]**

Gemeinsamer Abschlussbericht zum Dialog des BMU und des VCI zu Umweltzielen am Beispiel VOC, erarbeitet von Vertretern des Bundesumweltministeriums, des Umweltbundesamtes, des Verbandes der Lackindustrie e. V., des Verbandes der Druckfarbenindustrie im Verband der Mineralfarbenindustrie e. V., des Bundesverbandes Druck, des Industrieverbands Klebstoffe e.V. und des Verbandes der Chemischen Industrie e.V., Frankfurt, 1997

**[VCI, 2003]**

Verband der Chemischen Industrie e.V. (VCI), Chemiewirtschaft in Zahlen - Ausgabe 2003, Frankfurt/Main, 1993

**[VDI 2592]**

Richtlinie Nr. 2592 zur Emissionsminderung - Anlagen zur Gewinnung von pflanzlichen Ölen und Fetten, Verein Deutscher Ingenieure (VDI), Düsseldorf, 1992

**[VDL, 1999]**

Persönliche Mitteilungen von Herrn Dr. Bachhausen, Herrn May und Herrn Maier, Verband der Lackindustrie e.V., Frankfurt/Main, 1999

**[VDL, 2002]**

Jahresbericht 2001/2002, Verband der Lackindustrie e.V., Frankfurt/Main, 2002

**[VDL, 2003]**

Persönliche Mitteilung von Herrn Dr. Eichstätt, Herrn Broos und Herrn Meyer, VDL, Mai 2003, Frankfurt/Main, 2003

**[Verkehr, 1996]**

Bundesministerium für Verkehr, Verkehr in Zahlen 1996, Bonn 1996

**[Verkehr, 2000]**

Bundesministerium für Verkehr, Verkehr in Zahlen 2000, Bonn 2000

**[Vitovec et al., 1998]**

Vitovec, W., Puxbaum, H., Knienider, R., Schmidt, A., Die ökologischen Auswirkungen der Lösungsmittelverordnungen 1991 und 1995, Studie im Auftrag des Fachverbandes der Chemischen Industrie Österreichs, Technische Universität Wien, Wien, 1998

**[VOB, 2002]**

Vergabe- und Vertragsverordnung für Bauleistungen (VOB) Teile A und B (DIN 1960 und DIN 1961), Ausgabe 2002, Berlin, 2002

**[VOC-Richtlinie, 1999]**

Richtlinie 1999/13/EG des Rates vom 11.März.1999 über die Begrenzung von Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen, die bei bestimmten Tätigkeiten und in bestimmten Anlagen bei der Verwendung organischer Lösungsmittel entstehen, Brüssel, 1999

**[VOC, 1990]**

Economic Commission for Europe, VOC Task Force, Emissions of Volatile Organic Compounds (VOC) from stationary Sources and Possibilities of their Control, Karlsruhe, 1990

**[Vollmer, 1991a]**

Vollmer, G., Franz, M., Chemie in Bad und Küche, Verlag Thieme, Stuttgart, 1991

**[Vollmer, 1991b]**

Vollmer, G.; Franz, M., Chemie in Hobby und Beruf, Verlag Thieme, Stuttgart, 1991

**[Vollmer, 1994]**

Vollmer, G.; Franz, M.; Chemie in Haus und Garten, Verlag Thieme, Stuttgart, 1994

**[Wickert et al., 2000]**

Wickert, B., Pregger, T., Theloke, J., Friedrich, R., Emissionen gesundheitsschädlicher Stoffe bei Produktionsprozessen, im Verkehr und im privaten Bereich, in: Jahresbericht 1999 gesundheitsschädigende Luftverunreinigungen, Entstehung-Wirkung-Minderung, Hrsg.: Arbeitsgruppe Luftreinhaltung der Universität Stuttgart (ALS), Stuttgart 2000

**[Windsperger et al., 2002a]**

Windsperger, A., Schörner, G., Schönstein, R., Schmidt-Stejskal, H., Steinlechner, S., Draxler, S., Fister, G., Verbesserung von Emissionsdaten (Inventur und Projektion bis 2010) für den Bereich Lösungsmittel in Österreich, Studie im Auftrag der Bundesministerien für Wirtschaft und Arbeit sowie Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (Österreich), Endbericht, Institut für Industrielle Ökologie, St. Pölten, und Forschungsinstitut für Energie- und Umweltplanung Wirtschaft und Marktanalysen GmbH, Wien, Juni 2002

**[Windsperger et al., 2002b]**

Windsperger, A., Schörner, G., Schönstein, R., Schmidt-Stejskal, H., Steinlechner, S., Draxler, S., Fister, G., Gegenüberstellung und Abgleich der Daten von Top-Down zu Bottom-up für Lösungsmittel im Jahr 2000, Studie im Auftrag der Bundesministerien für Wirtschaft und Arbeit sowie Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (Österreich), Endbericht, Institut für Industrielle Ökologie, St. Pölten, und Forschungsinstitut für Energie- und Umweltplanung Wirtschaft und Marktanalysen GmbH, Wien, Dezember 2002

**[Windsperger et al., 2003]**

Windsperger, A., Schörner, G., Schönstein, R., Schmidt-Stejskal, H., Steinlechner, S., Draxler, S., Fister, G., Lösungsmittel in Österreich im Jahr 2000 Vergleich Bottom-up zu Top-down, Studie im Auftrag der Bundesministerien für Wirtschaft und Arbeit sowie Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (Österreich), Kurzzusammenfassung, Institut für Industrielle Ökologie, St. Pölten, und Forschungsinstitut für Energie- und Umweltplanung Wirtschaft und Marktanalysen GmbH, Wien, Mai 2003

**[Winiwarter et al., 2000]**

Winiwarter, W., Orthofer, R., Unsicherheit der Emissionsinventur für Treibhausgase in Österreich, Studie im Auftrag des Umweltbundesamtes, Endbericht, Österreichisches Forschungszentrum Seibersdorf GmbH, Bereich Systemforschung Technik - Wirtschaft - Umwelt, Geschäftsfeld Umweltplanung, Wien, 2000

**[Wooley et al., 1990]**

Wooley, J., Nazaroff, W.N., Hodgon, A.T., Release of ethanol to the atmosphere during use of consumer cleaning products, J. Air Waste Manage. Assoc. 40, 1114-1120, Berkeley, California, 1990

**[Wrede, 1995]**

Wrede, F., Polyvinylchlorid, Kunststoffe 85(1995)10, München, 1995

**[Wyss, 1997]**

Persönliche Information von Herrn Wyss, Flumroc AG, Flums, Schweiz, 1997