

## UFOPLAN-Vorhaben

„Emissionsdaten für flüchtige organische Verbindungen aus der Lösemittel-  
verwendung – Methodenevaluierung, Datenerhebung und Prognosen“

# VOC-Emissionsinventar

FKZ 201 43 306

*Kurzfassung und Ergebnisse*

Ökopol/IER, Hamburg 2004

## **IMPRESSUM**

Kurzfassung des F+E-Vorhabens

Emissionsdaten für flüchtige organische Verbindungen aus der Lösemittelverwendung – Methodenevaluierung, Datenerhebung und Prognosen - FKZ 43 306.

**Auftrag:** Umweltbundesamt

**Laufzeit:** 01.09.2001 bis 30.11.2003.

### **Bearbeitung:**

Ökopol - Institut für Ökologie und Politik GmbH, Hamburg  
Nernstweg 32 – 34; 22765 Hamburg, Tel. 040/39 100 2-0, Fax.: -33  
Internet: [www.oekopol.de](http://www.oekopol.de), E-Mail: [jepsen@oekopol.de](mailto:jepsen@oekopol.de)

Projektleitung: **Dipl.-Ing. Dirk Jepsen**

Mitarbeit: **Dr. Anne Ipsen, Dipl.-Ing. Stéphanie Zangl**

Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER)  
Universität Stuttgart, Heßbrühlstr. 49a; 70550 Stuttgart;  
Tel.: 0711/780 61 – 56; Fax.: 0711/780 3953; E-Mail: [jt@ier@uni.stuttgart.de](mailto:jt@ier.uni.stuttgart.de)

Projektleitung: **Dipl.-Chem. Jochen Theloke**

## Inhalt

Inhalt .....	3
Einleitung .....	4
Zielstellung .....	4
Ergebnisse .....	5
Entwicklung der Emissionsinventar-Struktur .....	5
Grundmethodik .....	5
Detaillierungsgrad .....	6
Unsicherheiten & Prognosen .....	8
Fortschreibungsfähigkeit .....	9
Aufbau eines EDV-gestützten Systems zur Datenhaltung und Fortschreibung der Emissionsberechnungen .....	10
Begründung .....	10
Aufbau .....	11
Ermittlung der lösemittelbezogenen VOC-Einsatz- und Emissionsmengen für 2000 und 2001 ..	11
Gesamtüberblick .....	11
Auswertung einzelner Quellgruppen für 2001 .....	13
Fazit .....	18

## Einleitung

NMVOC-Emissionen (Non-Methane Volatile Organic Compounds) stellen eine Stoffgruppe mit vielfältigen Wirkungen dar. Sie tragen zur Bildung erhöhter bodennaher Ozonkonzentrationen im Sommer bei und sind teilweise am Abbau stratosphärischen Ozons sowie an der Verstärkung des Treibhauseffektes beteiligt. Einzelne Komponenten besitzen karzinogene Eigenschaften. Wesentliche anthropogene NMVOC-Quellen sind der Straßenverkehr und die Anwendung von Lösemitteln sowie lösemittelhaltiger Produkte.

Zur Reduktion der Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen (VOC) besteht vor dem Hintergrund der drängenden Ozonproblematik ein national und international anerkannter Handlungsbedarf. Langfristiges Ziel ist die dauerhafte Unterschreitung bodennaher Ozonkonzentrationen von  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Um dieses Ziel zu erreichen, wurden verschiedene internationale Vereinbarungen und Regelungen getroffen. Insbesondere sind hier zu nennen:

- Das Protokoll der UN/ECE zur Bekämpfung von Versauerung, Eutrophierung und bodennahem Ozon („Göteborg-Protokoll“) zum Übereinkommen über weiträumige grenzüberschreitende Luftverunreinigungen
- Die EG-Richtlinie über nationale Emissionshöchstgrenzen für bestimmte Luftschadstoffe (EG-NEC Richtlinie)
- Da Ozon ein Treibhausgas ist, werden seine Vorläufersubstanzen darüber hinaus im Kyoto-Prozess als indirekte Treibhausgasemissionen erfasst. Aus den verschiedenen internationalen Übereinkünften resultieren zum einen - gestuft über die nächsten Jahre - deutliche Minderungsziele für NMVOC-Emissionen, und andererseits umfangreiche Monitoring- und Berichtspflichten der Vertragsstaaten. Hier sind insbesondere die Anforderungen der Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) zu benennen, die auch den Bereich der NMVOC-Emissionen aus der Lösemittelanwendung adressieren.

Der relative Anteil der Emissionen aus der Lösemittelanwendung nimmt zu und hat derzeit bereits ca. 66 % der gesamten anthropogenen NMVOC-Emissionen in Deutschland erreicht [NEC-Bericht]. Dies liegt darin begründet, dass die Emissionen aus der Lösemittelanwendung über die letzten 10 Jahre weitgehend konstant blieben, während es insbesondere im Bereich der Emissionen aus dem Straßenverkehr in den vergangenen Jahren durch verschärfte Abgasvorschriften auf EU-Ebene zu relevanten Emissionsminderungen gekommen ist. Für die notwendigen weiteren Minderungen der NMVOC-Emissionen rückt somit der Bereich der Lösemittelanwendung zunehmend in den Fokus der Diskussion.

## Zielstellung

Vor dem skizzierten Hintergrund war es Ziel des vorliegenden Vorhabens, das bereits im Auftrag des UBA erstellte VOC-Emissionsinventar<sup>1</sup> (im folgenden „IER-Methodik“) für die Bezugsjahre 1994 und 1996 gezielt zu einer fortschreibungsfähigen Basis für die periodische Berichterstattung und das Monitoring der Entwicklungen im Bereich der NMVOC-Emissionen aus Lösemittelanwendungen weiterzuentwickeln und dabei insbesondere auch den aktuellen Berichtsanforderungen an Systematik, Transparenz und Vollständigkeit Rechnung zu tragen.

Im Rahmen dieser übergreifenden Zielstellung wurden von der Gutachter-Kooperation Ökopoll-IER, in enger Abstimmung mit den Fachbetreuern aus dem Fachgebiet III 1.4 des Umweltbundesamtes als Auftraggeber eine Reihe von Teilaufgaben bearbeitet, die sich den drei folgenden Bereichen zuordnen lassen:

1. (Weiter-)Entwicklung der Emissionsinventar-Struktur, die in ihrer Grundmethodik, ihrem Detaillierungsgrad sowie bezüglich Unsicherheitsbetrachtungen und Prognosen den Anforderungen der internationalen Berichtspflichten entspricht und vom UBA selbst jährlich fortschreibbar ist.

<sup>1</sup> basiert auf dem UFOPLAN Vorhaben 295 42 628 „Ermittlung der Lösemittlemissionen in Deutschland und Methodik zur Fortschreibung“

2. Aufbau eines EDV-gestützten Systems zur Datenhaltung und Fortschreibung der Emissionsberechnung für die in Frage stehenden Emissionsbereiche.
3. Ermittlung der lösemittelbezogenen VOC-Einsatz- und Emissionsmengen in der Bundesrepublik Deutschland für die Bezugsjahre 2000 und 2001 einschließlich der Erstellung von Emissionsprognosen für die Jahre 2005 und 2010 in Abstimmung mit Branchenvertretern und Fachexperten.

## Ergebnisse

Im Folgenden werden entlang dieser Aufgabenstellungen die wesentlichen Untersuchungsergebnisse dargestellt.

## Entwicklung der Emissionsinventar-Struktur

### GRUNDMETHODIK

Bei der vorliegenden IER-Methodik handelt es sich um einen verwendungsorientierten Ansatz der Emissionsberechnung. Dabei werden die NMVOC-Mengen, die über lösemittelhaltige Produkte<sup>2</sup> in die zu betrachtenden Quellbereiche eingetragen werden, ermittelt und über jeweils speziell angepasste Emissionsfaktoren die Emissionsmengen ermittelt.

Die folgende Abbildung zeigt diese Methodik schematisch.

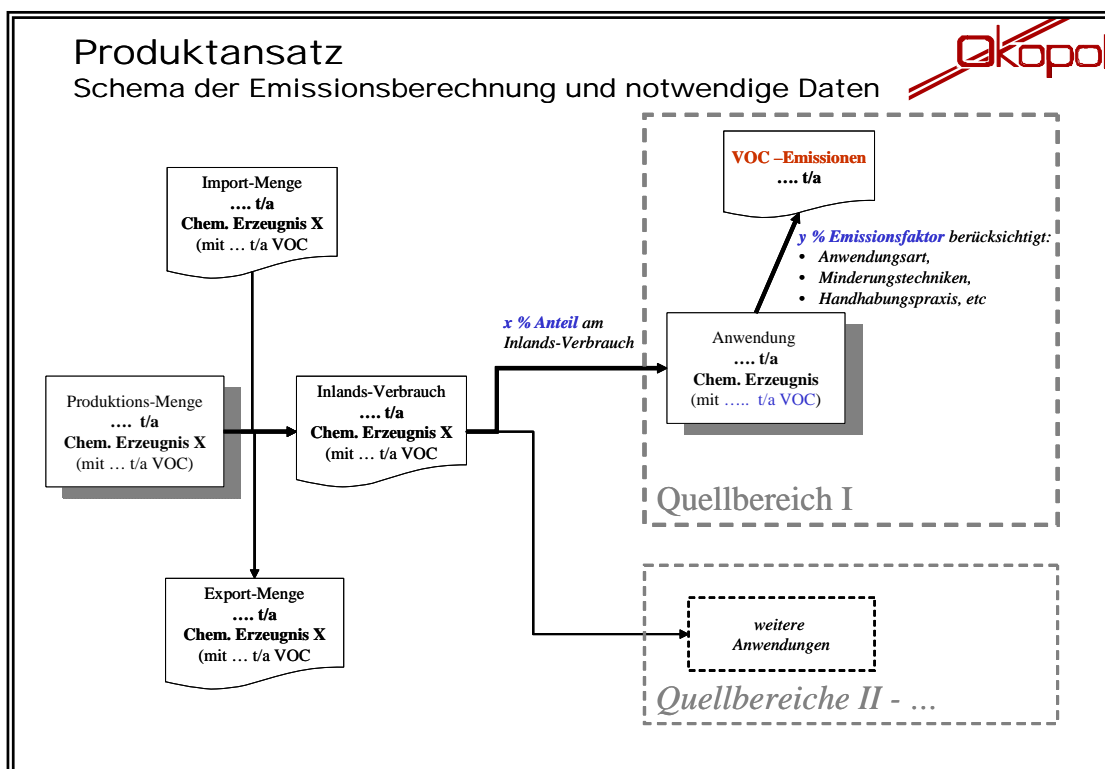


Abb. 1: Schematische Darstellung der Emissionsberechnung auf Basis des Verwendungsansatzes

<sup>2</sup> Das IER spricht aus diesem Grunde auch von einem „Produktansatz“ in Unterscheidung zum prinzipiell auch möglichen „Lösemittelansatz“, bei dem direkt die Lösemittelverwendung betrachtet wird.

Die Emissionsberechnung auf Basis des Verwendungsansatzes wird in den IPCC Guidelines<sup>3</sup> unter der Bezeichnung „consumption-based emissions estimating“ explizit als eine von zwei üblicherweise für die Emissionsberechnung der Kategorie 3 anzuwendenden Methoden angeführt.<sup>4</sup> Vor diesem Hintergrund und nach kritischer Prüfung möglicher alternativer Berechnungsansätze wurde die Grundmethodik im Rahmen der Weiterentwicklung des Emissionsmodells bewusst beibehalten.

Die Methodik erfordert für jeden der betrachteten Quellbereiche die Kenntnis über:

- die im jeweiligen Berichtsjahr eingesetzte Menge an VOC-haltigen (Vor-)Produkten und Hilfsstoffen;
- die VOC-Gehalte dieser Produkte und Stoffe;
- die konkreten Anwendungs- und damit Emissionsbedingungen.

In Hinblick auf die Emissionsbedingungen sind dabei insbesondere die VOC-Mengenanteile, die über Produkte oder Abfälle „gefasst“ ausgetragen werden, zu bestimmen. Bei der verbleibenden und damit im Regelfall verdunstenden Menge ist zu betrachten, welcher Anteil von ihnen durch abluftseitige „Sekundärmaßnahmen“ erfasst und zerstört (bzw. zurück gewonnen) wird.

## DETAILLIERUNGSGRAD

Eine detaillierte Analyse der Vielzahl verschiedener Berichtspflichten gegenüber der EU und anderen internationalen Gremien zeigte folgende Ergebnisse:

- Zwischen den auf (Einzel-)Anlagen bezogenen Berichtspflichten (VOC-Richtlinie & EPER) und den gesamtstaatlichen (auf höheren Ebenen aggregierten) Berichtspflichten bestehen praktisch keine Überschneidungen.
- Alle gesamtstaatlichen Berichtsanforderungen besitzen einen direkten Bezug zu den Berichtsanforderungen unter UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change) und CLRTAP (Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution-UN/ECE).

Die Anforderungen aus den letztgenannten internationalen Vereinbarungen wurden deshalb als Basis für das deutsche Emissionsinventar gewählt.

Zu Erfüllung der Berichtspflichten sind jeweils detaillierte Richtlinien erarbeitet worden<sup>5</sup>. In den IPCC-Guidelines wird innerhalb der nationalen Emissions-Inventare für die NMVOC-Emissionen aus dem Bereich „solvent and other product use“ jeweils eine eigene Kategorie vorgesehen – die Kategorie 3. Die Kategorie 3 ist nach dem Common Reporting Format (CRF) untergliedert in die Sub-Kategorien 3A („Paint Application“), 3B („Degreasing & Dry Cleaning“), 3C („Chemical Products, Manufacture & Processing“) und 3D („Other“).

<sup>3</sup> Hier das Reference Manual, Chapter 3, revised 1996

<sup>4</sup> Als zweite Methode wird dort das „production-based emissions estimating“ aufgeführt. Dabei handelt es sich um eine Indexwert-hochrechnung von Basisaktivitäten, also z.B. die Berechnung der NMVOC-Emissionen der Automobilfertigung über Emissionsfaktoren pro Fahrzeug.

<sup>5</sup> Im Fall des UNFCCC handelt es sich hierbei um die Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) -Guidelines sowie um die Good Practice And Uncertainty Management (GPGAUM) -Guidelines. Bei CLRTAP sind es die European Monitoring Emission Program (EMEP) -Guidelines und das Atmospheric Emission Inventory Guidebook (AEIG).

Es ergibt sich somit das folgende Berichtsschema.

Tab.1: Grundschemata für NMVOC Emissionen aus der Lösemittelanwendung nach den IPCC-Guidelines

Kategorie & Sub-Kategorien	NMVOC-Emissionen [t/a]	Unsicherheit	Prognose 2005	Prognose 2010
3 Lösemittelanwendung	Gesamt-Summe 3 A – 3 D			
3A Anwendung von Farben und Lacken	Summe der NMVOC-Emissionen			
3B Entfettung, Chemische Reinigung und Elektronik	Summe der NMVOC-Emissionen			
3C Herstellung und Verarbeitung von chem. Produkten	Summe der NMVOC-Emissionen			
3D Andere Anwendungen von Lösemitteln und ähnl. Aktivitäten	Summe der NMVOC-Emissionen			

Da die Qualitätsanforderungen aus den Guidelines eine transparente Unterlegung dieser Ergebnisse nahe legen und das Umweltbundesamt für das realitätsnahe Monitoring von Maßnahmen zur Emissionsminderung eine differenziertere Datenbasis benötigt, wurde zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer eine weitere Untergliederung der Quellbereiche abgestimmt. Dafür wird auf die SNAP-Gruppen aus der CORINAIR-Systematik<sup>6</sup> zurückgegriffen.

Den vier IPCC Sub-Kategorien von 3A bis 3D entsprechen dort auf dem so genannten „Level 2“ die Quellgruppenbereiche 601 bis 604, ausgenommen ist dabei der Bereich 605, der der IPCC Kategorie 2 zuzuordnen ist<sup>7</sup>. Auf der Ebene des „Level 3“ sind die vier Quellgruppenbereiche wiederum in insgesamt 39 einzelne Quellgruppen untergliedert. Um keine „künstlichen“ Trennungen sachlich eng verknüpfter Emissionsbereiche zu erzwingen, wurden im abschließend erarbeiteten Konzept der Gutachter mehrere SNAP's zu Quellgruppen zusammengeführt<sup>8</sup>. Die so abgeleitete Inventarstruktur ist der Tab.1 zu entnehmen.

In diesen Quellgruppen werden alle flüchtige organische Verbindungen betrachtet, die bei 293,15 K einen Dampfdruck von mindestens 0,01 kPa oder unter den entsprechenden Gebrauchsbedingungen eine entsprechende Flüchtigkeit haben.<sup>9</sup>

Neben Lösemitteln im engeren Sinne werden auch flüchtige organische Treib-, Extraktions- oder Kältemittel (z.B. auch FCKW und Halone) sowie Weichmacher (Phthalate) erfasst. Produkte, die als chemische Reaktionskomponente eingesetzt werden, fallen dagegen nicht in die hier betrachtete Emissionskategorie.

<sup>6</sup> Basierend auf den Selected Nomenclature for Air Pollution for CORINAIR Inventory 97

<sup>7</sup> Dies wird u.a. im Abschnitt "Correspondence between 1996 IPCC source categories and SNAP 97" der Erläuterungen zur SNAP 97 Systematik Version 1.0 ausgeführt.

<sup>8</sup> Es handelt sich um die SNAPs für Metallentfettung, Fertigung elektronischer Komponenten, Oberflächenreinigung in der Feinoptik, Optoelektronik und Spezialreinigung (SNAP 60201, 60203, 60204 und 60209) sowie um die SNAPs für Kunststoffverarbeitung (SNAP 60301-04).

<sup>9</sup> Dies entspricht den Definitionen der EG-Lösemittelrichtlinie (1999/13/EG)

## UNSICHERHEITEN & PROGNOSEN

Im Rahmen der internationalen Berichtspflichten sind sowohl Anforderungen an die Betrachtung von Unsicherheiten als auch für die Erstellung von Projektionen festgelegt.

Bezüglich der Unsicherheiten ist es Teil der Berichtspflicht, die Qualität der gemeldeten Daten mitzuteilen, die gemeldeten Emissionen mit den getroffenen Annahmen zu unterlegen sowie die Methode zur Ermittlung der Unsicherheiten transparent zu beschreiben. Nach den Reporting Instructions of IPCC-Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories ist dabei die Qualität der abgeschätzten Daten für die verschiedenen Kategorien in der folgenden Abstufung anzugeben:

H: High Confidence Level

M: Medium Confidence Level

L: Low Confidence Level

Zur Unterlegung dieser Klassierung werden in den entsprechenden Management-Guidelines einerseits die Methodik der Fehlerfortpflanzung und andererseits die Monte-Carlo-Simulation vorgeschlagen. Aus rein wissenschaftlicher Perspektive wäre der Monte-Carlo-Simulation der Vorzug zu geben. Sie erfordert allerdings einen deutlichen höheren Aufwand bei Datenversorgung und Durchführung.

Um zu prüfen, wie eine möglichst aufwandseffiziente Inventarfortschreibung realisiert werden kann, wurde deshalb für ausgewählte Quellbereiche die tatsächlichen Abweichungen zwischen diesen statistischen Methoden geprüft. Es zeigte sich, dass wie zu erwarten die Fehlerintervalle bei der Monte-Carlo-Simulation nominell kleiner sind. Die Relation der Fehlerintervalle der verschiedenen Emissionsgrößen sind aber bei beiden Methoden weitestgehend gleich. Damit verändern sich die Ausgangsinformationen für eine qualitative Klassierung entsprechend den Berichtsanforderungen nicht.

Für die Fortschreibung des NMVOC-Emissionsinventars schlagen die Gutachter eine routinemäßige Unsicherheitsbetrachtung nach der Fehlerfortpflanzungsmethodik vor. So können mit vergleichsweise geringem Fortschreibungsaufwand den internationalen Anforderungen voll genügende Berichte erstellt werden.

Um die Datenversorgung für die Fehler-Fortschreibung zu ermöglichen, wurden von den Gutachtern im EDV-gestützten Inventarsystem für alle Eingangsgrößen zusätzlich Standardabweichungen (95 % Konfidenzintervalle) in Form von (+ x % / - y %) eingefügt. Als Basiseinstellung werden dabei die folgenden Standardabweichungen verwendet:

- **+/- 10 %:** Für einfache Größen, die auf einer strukturierten Basis ermittelt werden, wie z.B. die Mengendaten der Produktions- und Handelsstatistiken.
- **+/- 15 %:** Für komplexe Größen, die bereits inhärent eine Mittelwertabschätzung vornehmen, wie z.B. die Angaben zu Lösemittelgehalten oder Emissionsfaktoren in Emissionsbereichen, in denen eine gute Detailkenntnis über die üblicherweise vorzufindenden Einzelwerte gegeben ist.
- **+/- 20 %:** Für komplexe Größen – siehe vorstehend, in Emissionsbereichen, in denen nur stichpunktartig Einzelerkenntnisse vorliegen.

Wo in einzelnen Bereichen von Experten für einzelne Quellbereiche andere Einschätzungen vorgenommen wurden oder wo zusätzliche Erkenntnisse über die Belastbarkeit der verfügbaren Eingangsgrößen vorliegen, wurde dies mit entsprechenden Kommentaren gesondert deutlich gemacht. Auf diese Art und Weise kann im Dialog mit den Akteuren der verschiedenen Quellbereiche auch im Verlauf der Fortschreibung des Inventars jederzeit eine transparente Herkunft der Fehlerabschätzung gewährleistet werden.

Auf Basis dieser Informationen wird vom EDV-gestützten Inventarsystem jeweils mittels Fehlerfortpflanzung die Gesamtstandardabweichung (95 % Konfidenzintervall) der Subkategorien (3A – 3D) und der Gesamtkategorie (3) berechnet.

Sollte zu einem späteren Zeitpunkt, z.B. im Rahmen veränderter Berichtsanforderungen, ein entsprechender Bedarf entstehen, kann jederzeit mit frei erwerblichen EDV-Tools auf die erstellte Datenbasis aufgesetzt und eine Monte-Carlo-Simulation durchgeführt werden.



Bezüglich der Prognosen sollen die berichtspflichtigen Parteien jeweils eine 5 Jahres- und eine 10 Jahres-Projektion erstellen. Dabei sind die voraussichtlichen Entwicklungen:

- 1) unter Berücksichtigung gesetzlicher Maßnahmen
- 2) unter Berücksichtigung zusätzlicher Maßnahmen
- 3) ohne Berücksichtigung von derartigen Maßnahmen

darzustellen. Optional können Sensitivitätsanalysen für die einzelnen Projektionen durchgeführt werden. Allerdings sollte die Zahl der Szenarien ein überschaubares Maß nicht überschreiten.

Um die skizzierten Anforderungen bedienen zu können, werden in dem vorgelegten Konzept drei Projektions-Faktoren berücksichtigt:

1. Sozioökonomische Entwicklungen,  
die die (Basis-)Aktivitäten in den verschiedenen Quellbereichen verändern.  
Hier finden Index-Faktoren Anwendung, die von der PROGNO AG im Rahmen des Deutschland Report (Deutschland bis zum Jahr 2020) für eine Reihe von Wirtschaftssektoren in Deutschland erstellt wurden. Die verschiedenen Quellbereiche des Inventarsystems werden mit diesen Sektorentwicklungen verknüpft. Dabei treten einerseits Zuordnungsprobleme auf - die Sektoren sind naturgemäß deutlich breiter als die Quellbereiche des Inventarsystems - und andererseits handelt es sich bei den Index-Faktoren von PROGNO um Wert-Angaben, die nur bedingt mit der Entwicklung der Materialströme korrelieren.  
Aus diesem Grund wurden nach Möglichkeit auch detailliertere Prognosen einzelner Wirtschaftsbereiche mit berücksichtigt. Belastbare mengenbezogene Entwicklungsprognosen sind allerdings auch innerhalb von Wirtschaftsbranchen meist nicht oder nur für sehr eingegrenzte Teilmärkte verfügbar.
2. Gesetzlich induzierte Entwicklungen,  
die zu einer Verringerung der Emissionen führen. Hier sind insbesondere die zu erwartenden Auswirkungen der Umsetzung der EG-Lösemittelrichtlinie (31. BImSchV) sowie der Umsetzung der EG-Decopaint-Richtlinie (Lösemittelhaltige Farben- und Lack-Verordnung) einschlägig. Die Umsetzungsfristen der Decopaint-Richtlinie liegen derzeit noch eher außerhalb des Prognosehorizontes<sup>10</sup>. Um die Minderungswirkungen der 31. BImSchV realitätsnah zu berücksichtigen, wird zunächst die Minderungsanforderung in den verschiedenen Tätigkeitsbereichen ermittelt<sup>11</sup> und dann eine Abschätzung vorgenommen, wie viel Prozent der VOC-Mengen in Anlagen eingesetzt werden, die unter die 31. BImSchV fallen.
3. Weitere eigenständige Entwicklungen,  
die zu einer Verringerung der Emissionen führen, wie z.B. einen technologischen Wandel, in dessen Zuge emissionsrelevante Arbeitsschritte wie z.B. die umweltoffene Handreinigung von Maschinenteilen o. Ä. zunehmend entfallen.

## FORTSCHREIBUNGSFÄHIGKEIT

Da es sich bei der Bedienung der Berichtspflichten zukünftig um jährlich wiederkehrende Routineaufgaben der zuständigen Fachabteilungen im Umweltbundesamt handelt, ist der Aspekt der Fortschreibungsfähigkeit des Inventars von herausgehobener Bedeutung.

Bei der kritischen Evaluation des bislang verfügbaren Inventarsystems wurde deutlich, dass eine solche Fortschreibbarkeit auf der Basis von periodisch aktualisierten und dem UBA direkt verfügbaren Quellen nur in Teilen des Inventars gegeben war. Als problematisch erwiesen sich insbesondere Bezüge zu einmaligen Detailuntersuchungen, die nicht fortgeschrieben werden.

Aus diesem Grund wurde bei Weiterentwicklung der Methodik gezielt versucht, in allen Quellbereichen eine direkte Verbindung zu den Produkt- bzw. Warengruppen der Produktions- und

<sup>10</sup> Wobei sicherlich in einzelnen Produktgruppen vorauslaufende Adaptionen erfolgen werden, die aber in Relation zu den in Frage stehenden Gesamtemissionen vernachlässigbar sein dürften.

<sup>11</sup> Relation zwischen den derzeitigen Emissionsfaktoren und den nach 31. BImSchV zulässigen Emissionsfaktoren

Handelstatistik herzustellen. In Bereichen, in denen diese Basis-Statistiken aufgrund mangelnder Trennschärfe (in Bezug auf die Quellgruppenzuordnung oder die Trennung in lösemittelhaltige und –freie Produkte) nicht ausreichen, wurden Fachstatistiken integriert, nachdem mit den zuständigen Fach- oder Branchenverbänden die Verfügbarkeit dieser Daten geklärt wurde.

### **Kategorie 3A: Anwendung von Farben und Lacken**

Während die Mengen der verschiedenen Lackarten direkt aus den Basisstatistiken ermittelt werden, dient ein differenzierter Zuordnungsschlüssel vom Verband der Lackindustrie dazu, die Lackarten den verschiedenen Lackanwendungen zuzuordnen. Für dieses wesentliche Inventar-Element konnte die Zusage des VDL erreicht werden, sie in periodischem Rhythmus (z. B. alle 3 Jahre) überarbeitet verfügbar zu machen.

### **Kategorie 3B: Entfettung, Chemische Reinigung und Elektronik**

Dieser Bereich des Inventars ist auch nach der Überarbeitung nur mit erhöhter Unsicherheit fortschreibbar. Sehr wenige Produktgruppen der Basis-Statistiken müssen hier auf vergleichsweise viele, emissionsseitig deutlich unterschiedlich zu bewertende Quellbereiche verteilt werden. Mangels quellgruppenspezifischer Fachverbände oder einheitlicher Zulieferstrukturen konnten trotz intensiven Bemühens keine geeigneten Datenquellen für die periodische Fortschreibung dieser differenzierten Zuordnung ermittelt werden. Die strukturelle Zuordnung basiert damit weiterhin auf einer im Rahmen eines UFOPLAN-Vorhabens<sup>12</sup> durchgeführten Zeitpunktanalyse aus der Mitte der 90er Jahre. Eine Qualitätssteigerung der Emissionsaussagen für diese Subkategorie würde eine Aktualisierung dieser Untersuchung erfordern.

### **Kategorie 3C: Herstellung und Verarbeitung von chemischen Produkten**

Für diesen Bereich bestehen überwiegend recht eindeutige Zuordnungen zu den Basis-Statistiken, so dass hier eine gute Fortschreibbarkeit gegeben ist.

### **Kategorie 3D: Andere Anwendungen von Lösemitteln**

Die Quellbereiche der Sub-Kategorie 3D sind in Bezug auf die eingesetzten lösemittelhaltigen Produkte, die Anwendungsbedingungen sowie die Akteursstrukturen extrem heterogen.

Dennoch konnte auch hier überwiegend ein direkter Bezug zu den Basis-Statistiken hergestellt werden sowie andere periodisch verfügbare Informationsquellen identifiziert werden, die die Fortschreibbarkeit gewährleisten.

Für den Bereich der Druckindustrie wird allerdings vorrangig auf eine Branchen-Statistik des Verbandes der Druckfarbenindustrie zugegriffen, da diese eine erheblich größere Trennschärfe in Bezug auf die Ermittlung der Einsatzmengen lösemittelhaltiger Produkte aufweist. Eine grundsätzliche Bereitschaft, diese Daten für das Umweltbundesamt zugänglich zu machen, besteht.

## **Aufbau eines EDV-gestützten Systems zur Datenhaltung und Fortschreibung der Emissionsberechnungen**

### **BEGRÜNDUNG**

Bereits in einer frühen Projektphase wurde gemeinsam mit dem Auftraggeber die Entscheidung getroffen, zur Datenhaltung und für die vielfältigen Verknüpfungs- und Rechenoperationen zur differenzierten NMVOC-Emissionsermittlung ein EXCEL-basiertes Inventarsystem zu programmieren.

Diese Entscheidung erfolgte mit zwei Zielsetzungen:

- Zum einen konnte so projektbegleitend ein „Werkzeug“ erarbeitet werden, welches den Fachmitarbeitern des Umweltbundesamtes auch zukünftig bei der Ermittlung und Fortschreibung der NMVOC-Emissionen zur Verfügung steht.

<sup>12</sup> vgl. 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.

- Zum anderen lassen sich die Algorithmen der mehrstufigen Verknüpfungen von Produkt- und Lösemittelmengen sowie ihre Verteilung auf unterschiedlichste Anwendungsbereiche und dergleichen mehr auf diese Art und Weise sehr viel besser nachvollziehbar dokumentieren.

## AUFBAU

Vom Grundkonzept her handelt es sich bei dem entwickelten Inventarsystem um eine EXCEL-Arbeitsmappe, die 12 verknüpfte Arbeitsblätter sowie 2 weitere Arbeitsblätter mit ergänzenden Informationen umfasst.

Die Arbeitsmappe enthält das komplette Emissions-Inventar für ein konkretes Berichtsjahr sowie zwei Prognosejahre. Entsprechend den zu bedienenden Berichtspflichten ist das Inventarsystem im Kern, entlang der vier Subkategorien sowie darunter, nach den einzelnen SNAP-Codes gegliedert. Neben dem Berichtsjahr werden parallel jeweils auch eine 5 Jahres- und eine 10 Jahres-Prognose berechnet. Die entsprechenden Prognosefaktoren sind in einem zusätzlichen Arbeitsblatt hinterlegt.

Über Farbkennungen sowie zusätzliche Kommentarfelder sind die verschiedenen statistischen Datenquellen sowie die Herkunft zusätzlicher Faktorwerte transparent nachvollziehbar.

## Ermittlung der lösemittelbezogenen VOC-Einsatz- und Emissionsmengen für 2000 und 2001

### GESAMTÜBERBLICK

In Tabelle 2 sind die ermittelten Lösemittlemissionen für 2000 und 2001, disaggregiert nach den verschiedenen Quellbereichen (SNAP-CODES) sowie die Emissionsprognose für 2010 unter Berücksichtigung der Umsetzung der 31.BImSchV dargestellt.

Tabelle 2: Lösemittlemissionen in den Jahren 2000, 2001 und 2010 in Deutschland

SNAP-CODE	Bezeichnung des Sektors entsprechend CORINAIR 97	Emissionen 2000 [t]	Emissionen 2001 [t]	Emissionen 2010 [t]
<b>60100</b>	<b>Anwendung von Farben und Lacken</b>	<b>284 109</b>	<b>291 286</b>	<b>262 694</b>
60101	Herstellung von Fahrzeugen	19 733	20 646	27 872
60102	Reparatur von Fahrzeugen	13 260	11 700	6 409
60103	Konstruktionen und Gebäude	55 055	54 853	46 454
60104	Häusliche Anwendungen von Farben und Lacken	29 184	30 171	24 160
60105	Bandbeschichtung	389	408	429
60106	Schiffsbau	8 310	8 634	10 279
60107	Holz	43 258	44 323	34 893
60108	Andere industrielle Verarbeitung	93 206	98 058	89 479
60109	Andere nicht-industrielle Verarbeitung	21 714	22 494	22 718
<b>60200</b>	<b>Entfettung, chemische Reinigung und Elektronik</b>	<b>35 467</b>	<b>42 687</b>	<b>35 741</b>
60201	Metallentfettung	17 549	20 832	23 750

SNAP-CODE	Bezeichnung des Sektors entsprechend CORINAIR 97	Emissionen 2000 [t]	Emissionen 2001 [t]	Emissionen 2010 [t]
60202	Chemische Reinigung	1 152	1 036	541
60203	Herstellung von Elektronikkomponenten	653	813	916
60204	Andere industrielle Reinigung	16 113	20 006	10 533
<b>60300</b>	<b>Herstellung und Verarbeitung von chemischen Produkten</b>	<b>35 908</b>	<b>39 532</b>	<b>41 104</b>
60301	Verarbeitung von Polyester	189	160	199
60302	Verarbeitung von Polyvinylchlorid	213	259	323
60303	Verarbeitung von Polyurethan	3 863	4 713	5 869
60304	Verarbeitung von Polystyrolschaum	5 884	7 012	8 732
60305	Gummiverarbeitung	3 826	3 887	3 607
60306	Herstellung von pharmazeutischen Produkten	7 961	8 215	8 736
60307	Herstellung von Farben und Lacken	9 470	9 684	9 044
60308	Herstellung von Druckfarben und Tinten	1 214	2 389	2 231
60309	Herstellung von Klebstoffen	592	591	612
60310	Bitumen blasen	201	196	239
60311	Herstellung von Haftmaterialien, Magnetbändern, Filmen und Fotografien	559	535	596
60312	Produktion und Verarbeitung von Textilien (Textilveredlung)	1 936	1 891	916
<b>60400</b>	<b>Andere Anwendungen von Lösemitteln und ähnliche Aktivitäten</b>	<b>377 321</b>	<b>381 986</b>	<b>397 567</b>
60401/02	Behandlung von Glas- und Mineralwolle	1 172	983	1 041
60403	Druckindustrie und andere Druckfarbenanwendungen	90 786	98 968	92 582
60404	Extraktion von Ölen und Fetten	4 900	4 900	5 388
60405	Anwendung von Klebstoffen und Haftmaterialien	23 388	20 794	18 694
60406	Anwendung von Holzschutzmitteln	31 496	34 241	25 273
60407	Anwendung von Unterbodenschutz und Konservierung von Fahrzeugen	12 178	12 355	12 552
60408	Häusliche Verwendung von Lösemitteln	103 973	94 083	114 191
60409	Entwachsen von Fahrzeugen	1 311	1 630	1 736
60411	Häusliche Verwendung von pharmazeutischen Produkten	3 295	3 493	4 469
60412	Sonstiges	104 822	110 538	121 640
	<b>Gesamt</b>	<b>732 805</b>	<b>755 492</b>	<b>737 106</b>

2001 wurden nach diesen Berechnungen in Deutschland fast 760 kt NMVOCs bei der Anwendung von Lösungsmitteln und lösemittelhaltigen Erzeugnissen emittiert.

#### AUSWERTUNG EINZELNER QUELLGRUPPEN FÜR 2001

##### Signifikante Quellgruppen

Abbildung 2 zeigt die Verteilung der Lösemittlemissionen auf die verschiedenen mengenrelevanten Quellgruppen. Man sieht, dass knapp 65 % (ca. 484 kt) aller Lösemittlemissionen den drei Quellgruppen "Anwendung von Farben und Lacken", "Häusliche Verwendung von Lösemitteln" (ohne Anwendung von Farben und Lacken) sowie den „Druckanwendungen“ entstammen. Alle weiteren Quellgruppen sind von jeweils deutlich geringerer Signifikanz ( $\leq 7$  % der Gesamtemissionen).

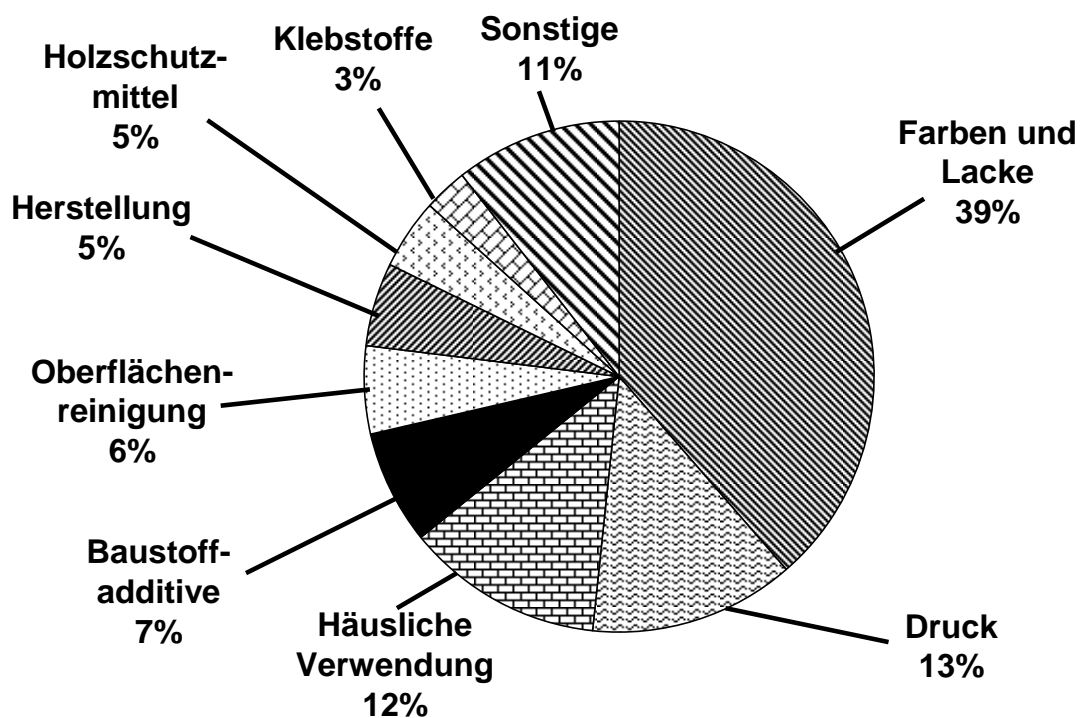


Abb. 2: NMVOC-Emissionen aus Lösemittelanwendungen in Deutschland 2001

### Anwendung von Farben und Lacken

Ungefähr 39 % (ca. 292 kt) der Lösemittlemissionen wurden 2001 durch die Anwendung von Farben und Lacken verursacht. Sie verteilen sich wie in der folgenden Grafik ersichtlich auf die verschiedenen Anwendungsbereiche.

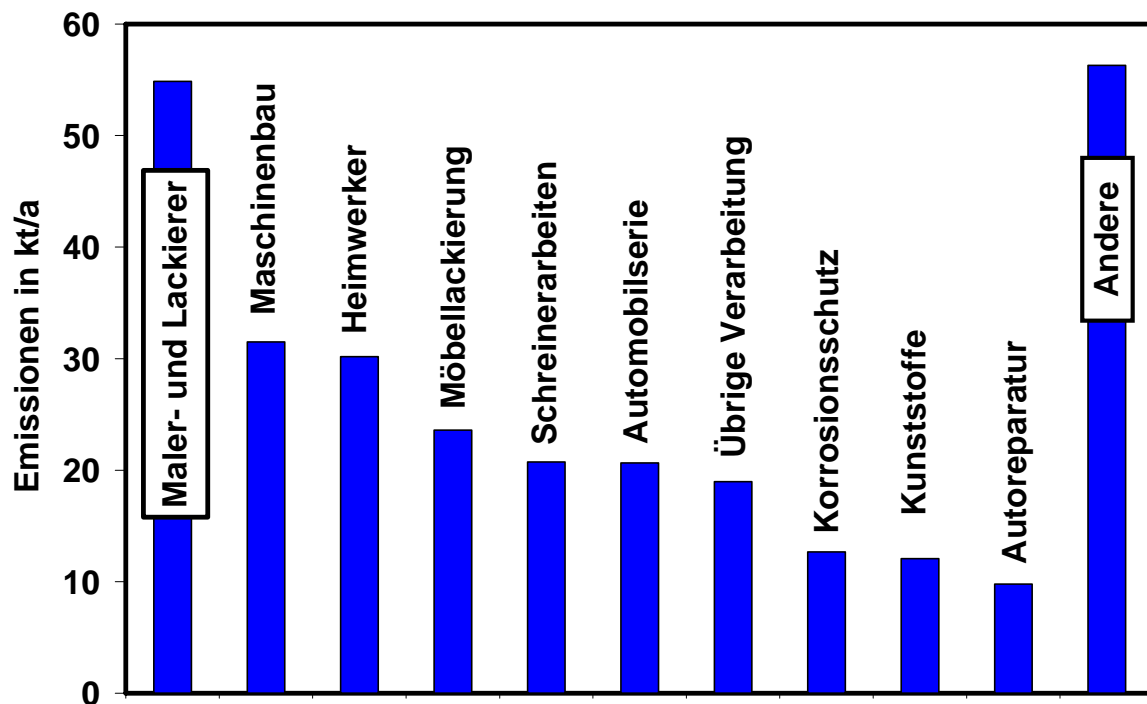


Abb. 3: NMVOC-Emissionen aus der Anwendung von Farben und Lacken

Durch die Umsetzung der 31.BImSchV sowie durch Veränderungen der Rezepturen u.a. im Vorfeld der Umsetzung der europäischen Decopaint Richtlinie kommt es im Bereich der Anwendung von Farben und Lacken zu deutlichen spezifischen Emissionsminderungen, die durch die prognostizierten Marktzuwächse allerdings vielfach fast wieder kompensiert werden, so dass nur vergleichsweise geringe Gesamtminderungen (von ca. 8 %) bis 2010 modelliert werden. Wie bereits ausgeführt fehlen bislang allerdings anwendungsbezogene Aussagen darüber, ob es sich in den nächsten Jahren um ein quantitatives oder um ein eher qualitatives Wachstum handeln wird. In letzterem Fall würden die Produktvolumina und damit auch die VOC-Durchsätze deutlich weniger stark steigen als in dem bestehenden Modell.

**Entfettung, chemische Reinigung und Elektronik**

Ca. 43 kt NMVOC bzw. ca. 6 % der Gesamtemissionen wurden bei Oberflächenreinigungsprozessen bzw. der chemischen Reinigung emittiert. Die Zusammensetzung dieser Emissionen nach Quellgruppen zeigt Abbildung 4. Der größte Teil der Emissionen (49 %) wird hier durch die Metallentfettung (ca. 21 kt) verursacht.

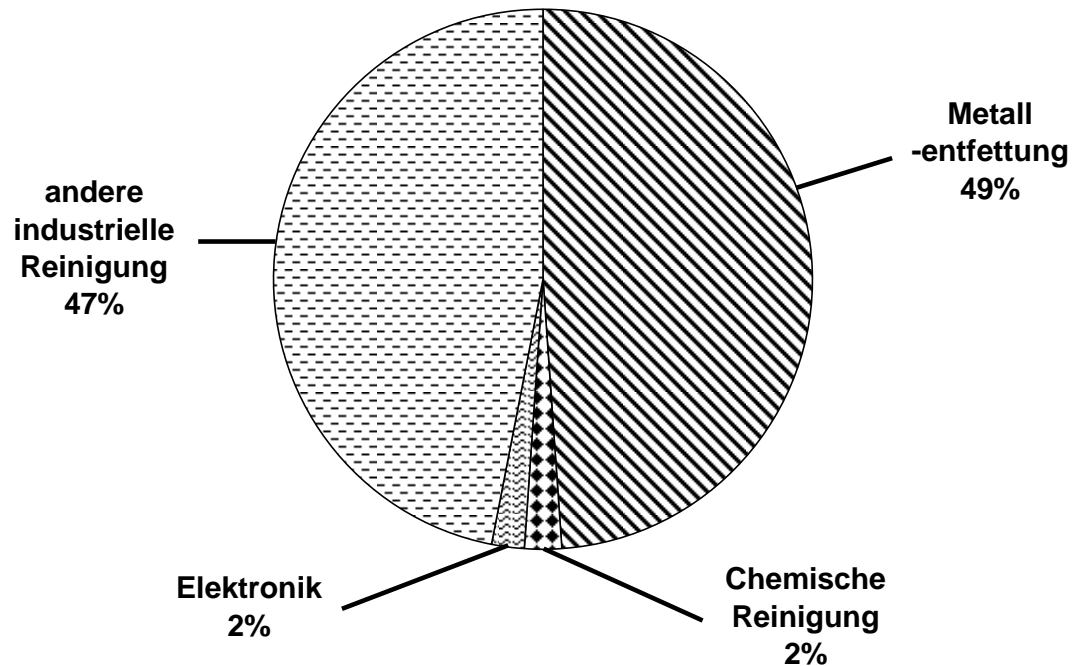


Abb. 4: Lösemittелеmissionen aus Entfettung, chemischer Reinigung und anderer industrieller Reinigung (Gesamtemission: ca 43 kt)

Für diese Sub-Kategorie weist das Prognosemodell relevante Minderungswirkungen (ca. 16 %) insbesondere durch die 31. BImSchV aus.

### Herstellung und Verarbeitung von chemischen Produkten

Bei der Herstellung und Verarbeitung von Kunststoffen und anderen Produkten wurden 2001 ca. 39 kt NMVOC bzw. ca. 5 % der Gesamtemissionen emittiert. Die Aufschlüsselung in Abbildung 5 zeigt die einzelnen Quellgruppen sortiert nach der Höhe der NMVOC-Emissionen.

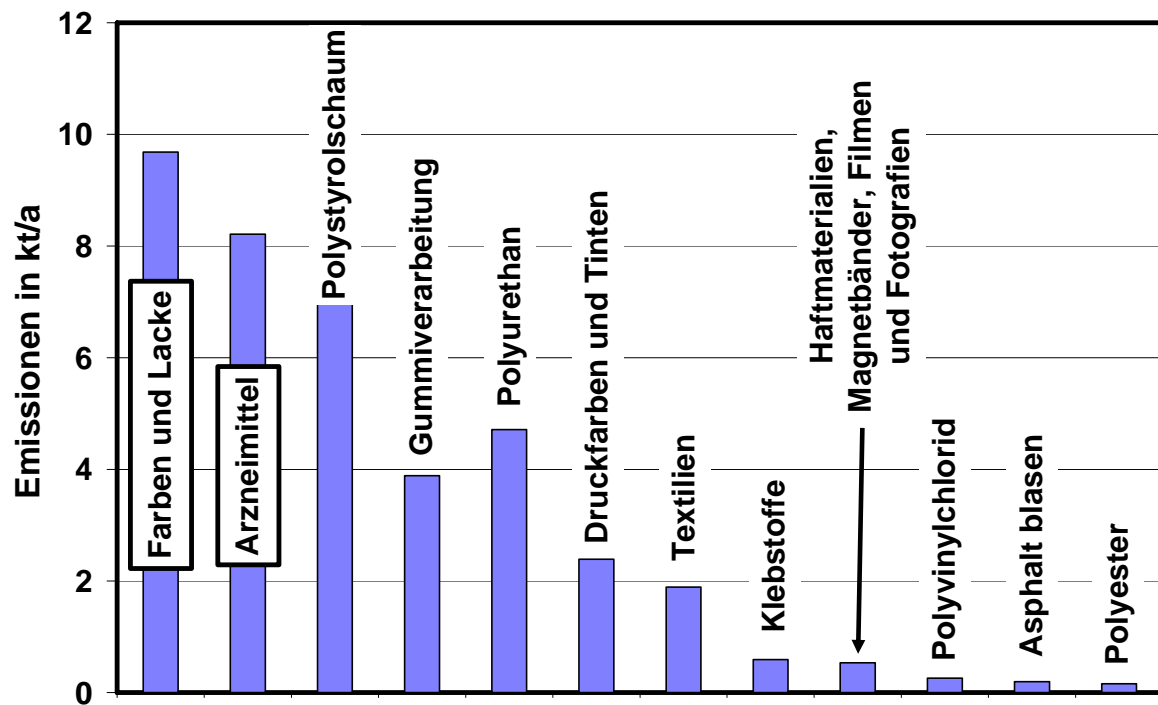


Abb. 5: NMVOC-Emissionen aus der Herstellung und Produktion von chem. Produkten

In den Quellbereichen dieser Sub-Kategorie werden die durchaus gegebenen Minderungseffekte der 31. BImSchV durch die prognostizierten Wachstumseffekte weitgehend kompensiert, so dass sich bis 2010 ein in etwa gleich bleibendes Emissionsniveau ergibt.



### Andere Anwendung von Lösemitteln und ähnlichen Aktivitäten

Ungefähr 51 % (ca. 382 kt) der NMVOC-Emissionen aus Lösemittelanwendungen entstammten den so genannten anderen Anwendungen. Bereits in Abbildung 2 wurde die mengenrelevanten Quellgruppen dieser Sub-Kategorie mit ihren entsprechenden Prozentanteilen an den Gesamt-Lösemittel-Emissionen dargestellt. Es handelt sich um die Quellgruppen:

- Häusliche Verwendung von lösemittelhaltigen Produkten
- Schmierstoffe
- Druckindustrie und andere Druckfarbenanwendungen
- Betonzusatzmittel
- Holzimprägnierung

Weitere Details der Emissionsmengen sind in Abbildung 6 dargestellt:

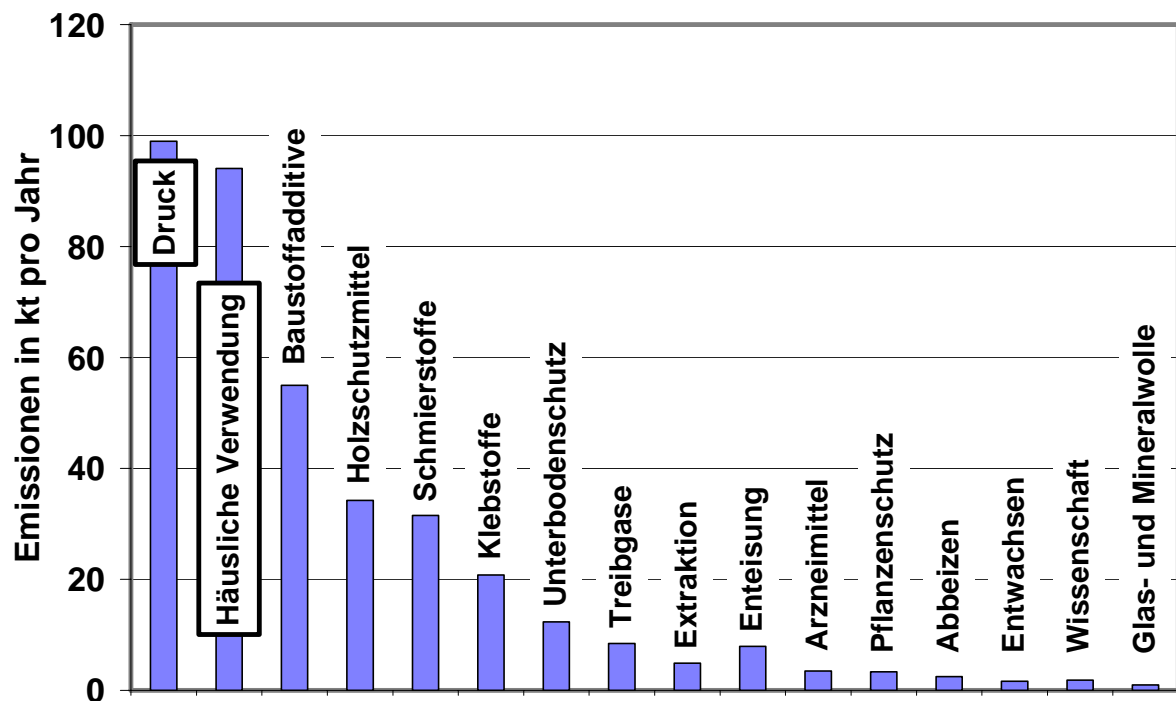


Abb. 6: NMVOC-Emissionen aus anderen Lösemittelanwendungen

Auch wenn in Teilbereichen, wie z.B. bei der Anwendung von Klebstoffen oder Holzschutzmitteln, durchaus signifikante Emissionsminderungen zu erwarten sind, werden die Gesamtemissionen aus dieser Sub-Kategorie bis 2010 eher ansteigen (um ca. 2 %). Dies liegt insbesondere darin begründet, dass die anlagenbezogenen Maßnahmen zur Emissionsbegrenzung in diesen sehr kleinteiligen Quellgruppen weitgehend ins Leere laufen und sie zudem durch die Wachstumseffekte deutlich überkompensiert werden.

## Fazit

Im Rahmen des durchgeführten Vorhabens konnte durch die gezielte Optimierung der bestehenden Basismethode und die Fachdiskussion mit einer Vielzahl von Anwenderbranchen ein Modell zur Berechnung der NMVOC-Emissionen aus der Lösemittelanwendung entwickelt werden, welches mit vertretbarem Aufwand fortschreibungsfähig ist und den gestiegenen Qualitätsanforderungen der internationalen Berichtspflichten in vollem Umfang genügt.

Durch die Umsetzung des Modells in ein EDV-gestütztes System konnte darüber hinaus für die zuständigen Mitarbeiter des Umweltbundesamtes ein praxistaugliches Werkzeug entwickelt werden. Dieses Werkzeug gewährleistet auf der einen Seite die fehlertolerante Fortschreibung der komplexen rechnerischen Zusammenhänge in den sehr heterogenen Quellgruppenbereichen und macht auf der anderen Seite die relevanten Eingangsgrößen in das Emissionsmodell für die Fachdiskussionen transparent.

Nach Auffassung der Gutachter könnte eine deutliche Aufwandsminderung und eine signifikante Steigerung der Aussagequalität der periodischen Emissionsberichtserstattung insbesondere durch eine Restrukturierung der amtlichen Basis-Statistiken (Produktions- und Aussenhandelsstatistik) erreicht werden. Sie müsste sicherstellen, dass lösemittelhaltige Produktgruppen zielgerichteter extrahierbar und eine trennschärfere Zuordnung zu verschiedenen Anwendungsbereichen gegeben wären. In weiten Bereichen der Basis-Statistiken könnten diese Verbesserungen bereits mit vergleichsweise geringen Eingriffen in die bestehen Produkt- /(Waren-)gruppen Strukturen umgesetzt werden.

Bei der Ermittlung der Emissionsdaten für die Bezugsjahre 2000 und 2001 zeigte sich, dass Datenunschärfen insbesondere in dem weder in den Basis-Statistiken noch in der deutschen Verbandslandschaft ausreichend homogen erfassten Bereich der Oberflächenentfettung (Kategorie 3B) sowie in den sehr kleinteiligen aber mengenrelevanten Quellgruppen der Kategorie 3D bestehen.

Offene Fragen bestehen auch bei der Anwendung der verfügbaren Wachstumsprognosen für die relevanten Teilmärkte, die für diesen spezifischen Anwendungsfall zu wenig zwischen quantitativem und qualitativem Wachstum unterscheiden. Hier sehen die Gutachter relevanten weiteren Gesprächsbedarf zwischen dem Umweltbundesamt und einzelnen Fachverbänden, wie ggf. sachgerechtere Prognosefaktoren gewonnen und periodisch in die Emissionsberichterstattung eingespeist werden können.