

PVC – HEUTE

Die aktuelle Situation des Werkstoffs Weich-PVC in den relevanten Themenbereichen

September 2007

IM AUFTRAG DES
FACHVERBANDES DER CHEMISCHEN INDUSTRIE
ÖSTERREICHS (FCIO)

DURCHGEFÜHRT VON:
ANDREAS WINDSPERGER,
BRIGITTE WINDSPERGER UND RICHARD TUSCHL



Inhaltsverzeichnis

1 Aufgabenstellung	3
1.1 Hintergrund	3
1.2 Zielsetzung	4
1.3 Vorgangsweise	4
1.4 Themenfeldanalyse	5
1.4.1 Bewertungsmethodik	6
2 Rohstoffbereitstellung – Chlorchemie international mit dem Schwerpunkt EU	7
2.1 Rohstoffverfügbarkeit	7
2.2 Chlorherstellung mit Chlor-Alkali-Elektrolyse	8
2.2.1 Amalgamverfahren	8
2.2.2 Diaphragmaverfahren	9
2.2.3 Membranverfahren	9
2.2.4 Technologische Entwicklung der Chlorherstellung mit Chlor-Alkali-Elektrolyse	11
2.3 PVC und die Vermeidung der Chlorchemie	13
2.4 Risiko der technischen Anlagen	15
2.5 Umweltbelastungen durch die Chlorchemie	16
2.6 Energiebedarf und Klimarelevanz	19
2.7 Wertschöpfung durch Koppelprodukte der Elektrolyse	23
2.8 Transportrisiko	23
2.9 PVC-spezifische Belastungen am Arbeitsplatz	25
2.10 Arbeitsunfälle in der Chlorindustrie	25
3 Vom Compound bis zum Endprodukt Schwerpunkt auf Verarbeitung in Österreich, Roh-PVC Import aus EU	27
3.1 Additive allgemein	28
3.2 Stabilisatoren	29
3.3 Farbpigmente	30
3.4 Weichmacher	31
3.4.1 Phthalate	32
3.4.2 Alternative Weichmacher	36
3.4.3 Innere Weichmachung	38
3.5 Energiebedarf der Verarbeitung	38
3.6 Gesundheitsgefährdung am Arbeitsplatz	39
4 Die Nutzung von PVC-Produkten Anwendungen in Österreich und der EU	40
4.1 Wesentliche Anwendungsbereiche von PVC-Produkten in Österreich	
40	

4.2 Umwelt- und Gesundheitsbelastung durch Weichmacher	41
4.2.1 Umwelt- und Gesundheitsbelastung durch Phthalate	41
4.2.2 Umwelt- und Gesundheitsbelastung durch alternative Nicht-Phthalate	46
4.3 Umwelt- und Gesundheitsgefährdung durch Stabilisatoren	46
4.4 Umwelt- und Gesundheitsgefährdung durch Farbpigmente	47
4.5 Additive in einzelnen Produktgruppen	47
4.5.1 Lebensmittelverpackungen	47
4.5.2 Kinderspielzeug	49
4.5.3 Medizinprodukte und DEHP	49
4.6 Kostenvorteil PVC	51
4.7 Technische Eignung der Produkte	51
4.8 PVC im Brandfall	52
4.8.1 Brandrisiko im Baubereich	52
4.8.2 Brandverhalten und Folgekosten im Brandfall	54
4.8.3 Personengefährdung durch Abgase und Brandprodukte	56
4.8.4 Bildung von persistenten toxischen Substanzen bei Bränden	56
5 PVC-Produkte im und als Abfall Schwerpunkt Situation in Österreich	59
5.1 Die aktuelle Abfallsituation bei PVC	59
5.2 Umweltbelastungen durch PVC im Abfall	60
5.2.1 Umweltbelastung durch Weichmacher	60
5.2.2 Umweltbelastungen durch Stabilisatoren und Farbpigmente	61
5.2.3 Verbrennung in Müllverbrennungsanlagen	62
5.2.4 Mehrkosten in der Abfallverbrennung durch PVC	63
5.3 Altmaterialieinsatz durch Recycling	64
5.3.1 Situation bei PVC-Bodenbelägen	65
5.3.2 Das Vinyloop-Verfahren für PVC-Verbunde	66
5.3.3 Chemisches (rohstoffliches) Recycling	67
6 Zusammenfassung der Ergebnisse	68
7 Literaturübersicht	74

1 Aufgabenstellung

Die vorliegende Studie wurde vom Fachverband der Chemischen Industrie in Abstimmung mit der Interessengemeinschaft PVC (API) in Auftrag gegeben. Ziel ist die Darstellung der aktuellen Situation und der Entwicklungen in den für PVC relevanten Bereichen. Dabei soll der Schwerpunkt auf jenen Themenbereichen liegen, die von manchen Umwelt-NGOs und Beschaffern als kritisch gesehen werden und zu Bekenntnissen zur PVC-Vermeidung und zum Ausstieg aus der Anwendung von PVC geführt haben. Im Zuge der Arbeit soll festgestellt werden, wie weit die früheren Bedenken noch gerechtfertigt sind oder durch die Entwicklungen der letzten Jahre entkräftet werden konnten.

1.1 Hintergrund

Kunststoff spielt in unserem Leben mittlerweile eine bedeutende Rolle, ein Leben ohne Kunststoffe ist heute kaum mehr vorstellbar. PVC ist einer der wesentlichsten Kunststoffe, die derzeit im Einsatz sind. Polyvinylchlorid (PVC)¹ wird seit mehr als 50 Jahren großtechnisch hergestellt und gehört damit zu den ältesten synthetischen Polymeren. PVC-Produkte zeichnen sich durch Vielseitigkeit in der Anwendung und relativ niedrige Kosten aus. Der Ausgangsstoff für PVC, das Vinylchlorid, wird zum größten Teil aus Chlor und Ethylen hergestellt. Rohstoffe dafür sind Erdöl (43 %) und Steinsalz (57 %).

Rund 100.000 Tonnen PVC² werden jährlich in Österreich verarbeitet oder als Halb- oder Fertigprodukte importiert. Dabei haben rund 90 % Prozent der PVC-Produkte eine 10-jährige bzw. bis mehr als 50-jährige Lebensdauer. PVC verfügt unter allen Thermoplasten über das breiteste Anwendungsspektrum. Dies ist in erster Linie darauf zurückzuführen, dass eine Vielzahl von unterschiedlichen Additiven entwickelt wurde, die die Herstellung anwendungsspezifischer Compounds ermöglichen. Das Image speziell von PVC ist aber sehr kontroversiell. Dieser Kunststoff war als eines der ersten Chemieprodukte mit massiver Gegnerschaft von Umweltgruppen konfrontiert. Die Argumente in der Diskussion waren teilweise sachlich, aber auch von Polemik geprägt.

Auch auf europäischer Ebene hat sich die Politik ausführlich mit dem Werkstoff PVC befasst und im Juli 2000 ein Grünbuch zu PVC zur öffentlichen Diskussion erstellt. Mehrere tausend Stellungnahmen sind daraufhin bei der Europäischen Kommission eingegangen, wobei viele positive Äußerungen zum Werkstoff PVC, aber auch kritische Anmerkungen gemacht wurden³.

¹ PVCplus Kommunikations GmbH; Initiative PVC plus - PVC Werkstoff;
<http://www.pvcplus.de/index.php?id=50>

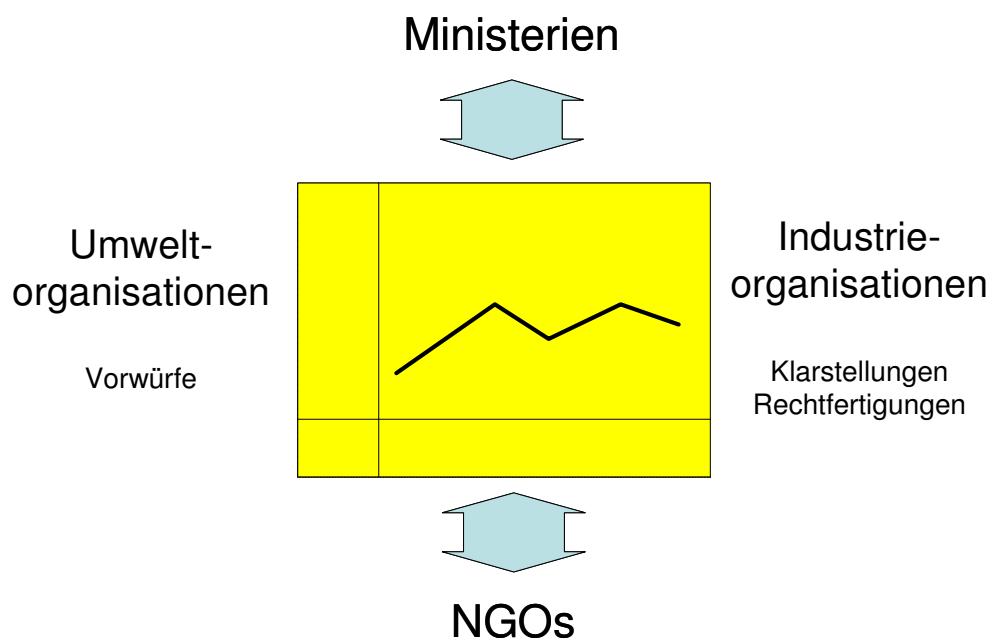
² API Wien; Internetartikel; <http://www.pvc.at/d/api.htm>

³ Europäische Kommission; Internetartikel; Polyvinyl Chloride (PVC);
<http://ec.europa.eu/environment/waste/pvc/index.htm>; Feb. 2007

1.2 Zielsetzung

Die vorliegende Studie strebt ein Update der Situation des Werkstoffs PVC in den einzelnen Phasen des Lebenszyklus an. Sie widmet sich dabei besonders den kritischen Punkten in der PVC-Diskussion und untersucht auf sachlicher Basis, in welchen Themenbereichen die geäußerten Bedenken durch die aktuelle Situation bereits entkräftet werden konnten bzw. wo sie noch berechtigt sind.

Der vorliegende Bericht soll einerseits als Basis für Gespräche mit Stakeholdern dienen, um eine Abstimmung der Sichtweisen zumindest in einzelnen Bereichen zu erzielen. Er soll aber auch zukünftige Perspektiven der PVC-Industrie aufzeigen und zur Klärung von weiterem Handlungsbedarf innerhalb der PVC-Industrie beitragen.



1.3 Vorgangsweise

Die Arbeit gliedert sich in die nachfolgenden drei Schritte:

- Zusammenstellung der kontrovers diskutierten Themenbereiche - Themenfeldidentifizierung
 - Erfassen der wesentlichen Argumentationslinien
 - Zusammenstellen der relevanten Themenbereiche nach Lebenszyklusphasen
- Recherchieren der aktuellen Situation und der laufenden Entwicklungen, sowie der dadurch bewirkten Veränderungen - Themenfeldanalyse
 - Veränderungen der Produktionstechnologie und ihre Auswirkungen
 - Entwicklungen bei Weichmachern und Stabilisatoren, Zusammensetzung und Einsatzmengen
 - Ergebnisse der ökologischen Bewertung von Produkten und die Position des Werkstoffs PVC

- Veränderungen im Risikopotenzial der Produktionskette bis zur Nutzung
- Erkenntnisse beim Brandverhalten und der entstehenden Personengefährdung
- Situation im Abfallmanagement
- Recyclingmöglichkeiten

- Verbale Bewertung der Situation in den identifizierten Themenfeldern

Bei der Bewertung der Ergebnisse wird herausgearbeitet, ob und wie weit die Entwicklungen zu einer Verbesserung der derzeitigen Situation in den PVC-relevanten Themenbereichen geführt haben.

Die Ergebnisse der Themenfeldanalyse werden - nach zwei Richtungen strukturiert - dargestellt.

- Nach den Lebenszyklusphasen von der Rohstoffbereitstellung bis zum Granulat, Compound und Compoundverarbeitung, Nutzungsphase bis zur Entsorgung inklusive Recycling
- Innerhalb der Phasen nach Themenfeldern wie z.B. Ressourcenverfügbarkeit, Umweltbelastungen, Gesundheitsgefährdung, Risikopotenzial, Energiebedarf und Klimarelevanz, Kosten etc.

Die Ergebnisse werden für Hart-PVC Produkte und Weich-PVC Produkte in getrennten Berichten dokumentiert. In den Themenfeldern, die den Grundstoff PVC betreffen, sind Inhalte und Aussagen gleich, die anwendungsspezifischen Kapitel unterscheiden sich entsprechend der verschiedenen Charakteristika von Hart- und Weich-PVC Produkten.

1.4 Themenfeldanalyse

Im Rahmen der Themenfeldidentifizierung wurden die Kritikpunkte bzw. die Vorwürfe nach Themenfeldern (z.B. Ressourcenverfügbarkeit, Umweltbelastungen, Toxizität, Risikopotenzial, Energiebedarf und Klimarelevanz, Kosten, ...) zusammengestellt und diese dann den Lebenszyklusphasen (Produktionsprozess, Nutzung und Entsorgung bzw. Recycling) zugeordnet.

Im Rahmen der Themenfeldanalyse wird die aktuelle Situation anhand von Literaturstellen beschrieben, kontroverse Sichtweisen werden einander gegenüber gestellt. Abschließend wird für jedes Themenfeld ein verbales Fazit versucht, das die Grundlage für den Bewertungsvorschlag nach der nachfolgend beschriebenen Methodik darstellt. Etwaiger Handlungsbedarf wird aufgezeigt bzw. werden wenn möglich Vorschläge zur Lösung gemacht, die abschließend in Kapitel 6 zusammengefasst und resümiert werden. Sie sollen als Grundlage für weitere Gespräche mit Stakeholdern dienen.

1.4.1 Bewertungsmethodik

Die Fazits (Schlussfolgerungen) in den einzelnen Themenfeldern werden mit einem Punkteschema in den nachfolgend angegebenen Stufen bewertet. Die Zuordnung zu einer Stufe ist ergänzend auch an der Hintergrundfarbe des Textfelds ersichtlich.

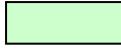
- +**  *Situation generell oder durch erfolgte Problemlösung vorteilhaft*
- 0**  *Situation neutral oder nunmehr unbedenklich, bei größerer Tragweite eines Risikos nur minimale Wahrscheinlichkeit*
- >**  *Die Lösung kontroverser Situationen ist vorhanden, deutliche Verbesserungen sind bereits erfolgt*
-  *Nachteil von PVC, aber ohne ein derartiges Gefahrenpotenzial, das Marktbeschränkungen rechtfertigen würde*
- !**  *Es besteht Handlungsbedarf, um Gefahrenpotenzial zu mindern oder Anwendungsbeschränkungen abzuwenden*

Abbildung 1: Darstellung der Bewertungsstufen

Abschließend werden in Kapitel 6 die Bewertungen aller Themenfelder in einem Raster, der nach Lebenszyklusphasen und Themenbereichen gegliedert ist, zusammenfassend dargestellt.

2 Rohstoffbereitstellung – Chlorchemie international mit dem Schwerpunkt EU

In dieser Lebenszyklusphase haben sich in den letzten Jahren massive Veränderungen ergeben, die durch den Umstieg von der Chlor-Alkali-Elektrolyse auf das Membranverfahren und arbeitsplatzrelevante Verbesserungen in der Prozesskette bis zum Granulat geprägt sind.

Die Betrachtung erfolgt hier international mit Schwerpunkt EU, da hier der Großteil der Firmen, von denen in Österreich das Vorprodukt bezogen wird, ihren Sitz haben.

2.1 Rohstoffverfügbarkeit

PVC hat zwei wesentliche Rohstoffe: Chlor und Ethen (Ethylen). Der Grundstoff für Chlor ist Salz, das kann Stein- oder Meersalz sein. Salz ist als Rohstoff (zumindest auf die Menge für die Kunststoffherstellung bezogen) weltweit in unbegrenzter Menge vorhanden. Chlor ist eines der am weitesten verbreiteten Elemente der Natur, sowohl in den Weltmeeren als auch in unterirdischen Lagern in unerschöpflichen Mengen in Form von Salzen.

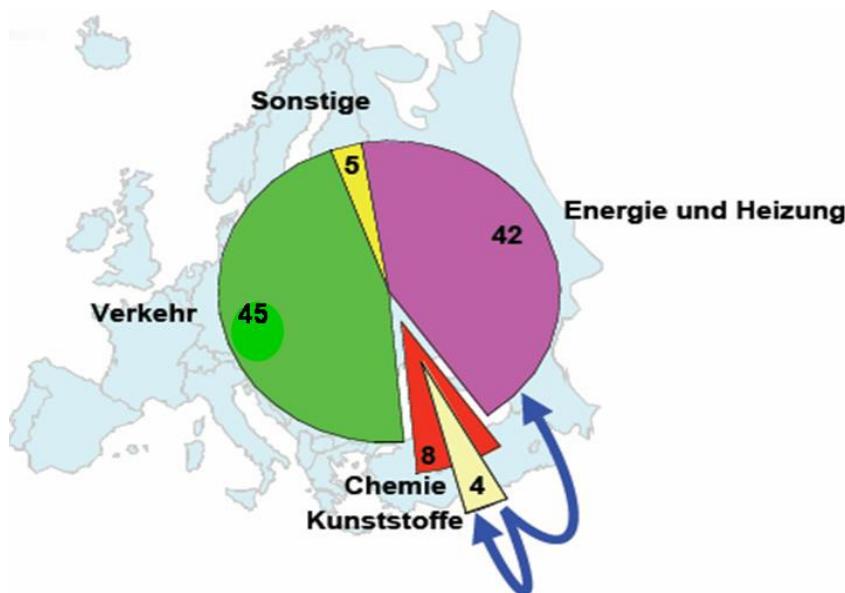


Abbildung 2: Einsatzgebiete von Erdöl⁴

Rohöl ist der Grundstoff für Ethen, der in der Raffinerie im Zuge der Rohöldestillation und der nachfolgenden petrochemischen Verarbeitung gewonnen wird. Der Großteil der Rohölprodukte geht als Treibstoff in den Verkehr bzw. wird als Energieträger in der Energie- oder Raumwärmebereitstellung eingesetzt. Diese Bereiche, bei denen Rohölprodukte verbrannt werden führen zur direkten Freisetzung von CO₂ und sind damit für den Großteil des Treibhauseffekts verantwortlich, sie machen 87 % des Erdölverbrauchs aus. Hingegen verbraucht die Kunststoffherstellung insgesamt nur etwa 4 % des Rohöls und bewirkt darüber hinaus keine direkte Freisetzung des Kohlenstoffs. Durch die Langlebigkeit der meisten aus PVC hergestellten Produkte wird eine

⁴ GUA GmbH; Kunststoffe und Energiebedarf; November 2005

Speicherung des fossilen Kohlenstoffs im Produkt (non-energy use of fossils) bewirkt. Gegenüber anderen Kunststoffen hat PVC den Vorteil, nur 43 % des Produktgewichts an Ethen zu benötigen, was sich positiv auf den Verbrauch der fossilen Ressourcen auswirkt. Weich-PVC kann aber maßgebliche Anteile Additive, vor allem Weichmacher, beinhalten, die überwiegend petrochemischer Herkunft sind. Dadurch wird der Vorteil beim Verbrauch fossiler Ressourcen proportional zum Weichmacheranteil geringer.

Fazit: +

Die PVC-Kunststoffmatrix basiert zu mehr als der Hälfte auf dem in beinahe unbegrenzter Menge vorhandenen mineralischen Rohstoff Salz und nur zu weniger als der Hälfte auf fossilen Ressourcen. Durch den geringeren Anteil des petrochemischen Grundstoffs Ethen (Ethen) werden fossile Rohstoffe eingespart. Weich-PVC kann allerdings bis etwa zur Hälfte des Materials aus Additiven, vor allem Weichmachern bestehen, die überwiegend petrochemischer Herkunft sind. Dadurch wird der Vorteil beim Verbrauch fossiler Ressourcen proportional zum Weichmacheranteil geringer.

2.2 Chlorherstellung mit Chlor-Alkali-Elektrolyse

Für die chemische Industrie ist das Element Chlor durch seine vielfältigen Eigenschaften ein Schlüsselprodukt, mit dem etwa 60 % des Umsatzes verbunden sind. Chlor wird durch Elektrolyse von Steinsalz hergestellt. Dabei wird die Eigenschaft genutzt, dass sich Natriumchlorid in wässriger Lösung mit Strom in die Elemente Chlor und Natrium auftrennen lässt, dieses Elektrolyse-Verfahren wird als Chloralkali-Elektrolyse bezeichnet⁵. Die Herstellung von 1 Tonne Chlor benötigt 1710 kg Natriumchlorid, es entstehen 2,26 Tonnen 50 %ige Natronlauge und 312 m³ Wasserstoff (als Energiegutschrift). Die Elektrolyse erfordert aber den Einsatz von 2,4 bis 3,2 MWh elektrischer Energie⁶. Um Verunreinigungen aus dem Elektrolyten für die Elektrolyse zu entfernen, werden 54 kg Fällungsmittel (NaOH, Na₂CO₃, BaCO₃) eingesetzt. Die Verunreinigungen fallen als Abfall (151 kg, feucht) an⁷.

2.2.1 Amalgamverfahren

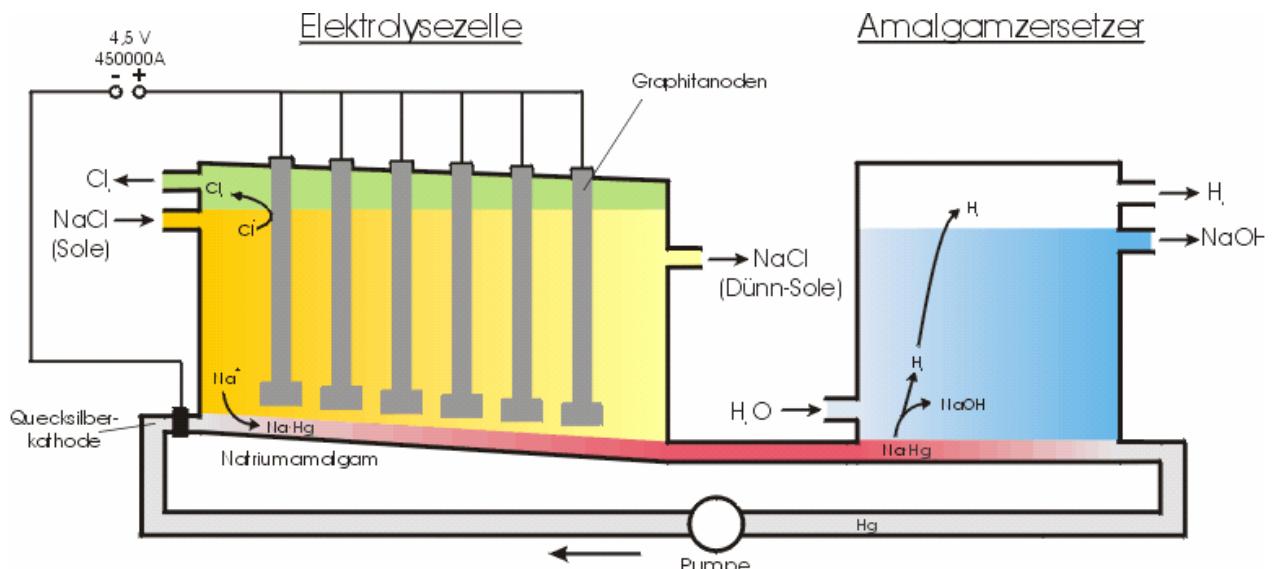
Das Amalgamverfahren dient der Gewinnung von Chlorgas und Natronlauge, welche wichtige Ausgangsprodukte nicht nur für die Kunststoffindustrie sind. Pro Jahr werden so etwa 55 Millionen Tonnen Chlor und 50 Millionen Tonnen Natronlauge hergestellt. Die Abscheidung von Chlor und Natrium an den Elektroden beruht auf der Verschiebung der Abscheidungspotenziale der Elemente Wasserstoff und Sauerstoff aufgrund von Überpotenzialen.

Die Elektrolyse von Natriumchlorid-Lösung erfolgt hierbei zwischen einer Graphitanode und der Namen gebenden Quecksilberkathode. An der Anode wird Chlorgas abgeschieden. Das an der Kathode gebildete Natrium bildet zusammen mit dem Quecksilber sofort Natriumamalgam. Das Amalgam wird danach mit Wasser behandelt, worauf sich Natriumhydroxid und Wasserstoff bilden. Das verbleibende Quecksilber wird in den Prozess rückgeführt.

⁵ <http://de.wikipedia.org/wiki/Chlor-Alkali-Elektrolyse>

⁶ OR Ing. Heribert Ulrich; Positionspapier des BMWA; PVC im Baugewerbe; 1999

⁷ Tötsch W., Gaenssen; Polyvinylchlorid, zur Umweltrelevanz eines Standardkunststoffs; Köln 1990

Abbildung 3: Schema Amalgamverfahren⁸

2.2.2 Diaphragmaverfahren

Beim Diaphragmaverfahren besteht die Kathode aus Eisen oder Stahl, die Anode aus Titan. Der Kathodenraum ist vom Anodenraum durch eine für Strom und Kationen durchlässige, poröse Trennwand abgegrenzt, damit das an der Anode gebildete Chlor weder mit dem an der Kathode gebildeten Wasserstoff noch mit den ebenfalls gebildeten Hydroxid-Ionen in Kontakt kommt. Man verhindert damit, dass Chlor mit den Hydroxid-Ionen zu Chlorid- und Hypochlorit disproportioniert.

Früher bestand das Diaphragma aus Asbest, heute werden Diaphragmen auf Kunststoffbasis „Poliramix“ eingesetzt. Da dieses Diaphragma die in der Lösung vorhandenen Hydroxid-Ionen nicht vollständig aus dem Anodenraum abtrennen kann, ist bei einer erhöhten Hydroxid-Ionen-Konzentration eine Reaktion zu Wasser und Sauerstoff möglich, was die Gewinnung von Natronlauge bis zu einer Konzentration von etwa 12 bis 15 Prozent bedingt.

Vorteile:

- Niedrigerer Energieaufwand
- Geringste Umweltbelastung
- Hypochlorite (Bleichlauge) oder Chlorate können gebildet werden

Nachteile:

- Verunreinigte Natronlauge durch Natriumchlorid
- Diaphragma besteht bei alten Anlagen noch aus Asbest

2.2.3 Membranverfahren

Wie auch beim Diaphragmaverfahren arbeitet das Membranverfahren mit einer Titananode und einer Eisenkathode. Der entscheidende Unterschied besteht darin, dass das Diaphragma durch eine etwa 0,1 mm dünne chlorbeständige Kationentauscher-Membran ersetzt wurde, welche aus Polytetrafluethen (PTFE) mit negativ geladenen

⁸ <http://de.wikipedia.org/wiki/Chlor-Alkali-Elektrolyse>

SO_3 Resten besteht. Die entstehenden Anionen wie Hydroxid- oder Chloridionen können diese nicht passieren, wohingegen die positiv geladenen Natriumionen hindurch gelangen. Aufgrund der Undurchlässigkeit für Chloridionen entsteht eine kaum verunreinigte 35 %ige Natronlauge.

Vorteile:

- umweltfreundlich und nicht gesundheitsschädlich, keine Verunreinigungen durch Asbest oder Quecksilber
- reine Endprodukte, nur Chlor mit geringen Spuren von Sauerstoff

Nachteile:

- Membranen sind empfindlich gegen Erdalkalimetallionen, welche sich an dieser festsetzen können und den Durchlass von Natriumionen behindern, daher aufwendige Reinigung der Sole nötig
- kostenintensiv wegen geringer Standfestigkeit und Lebensdauer

Membrane Cell

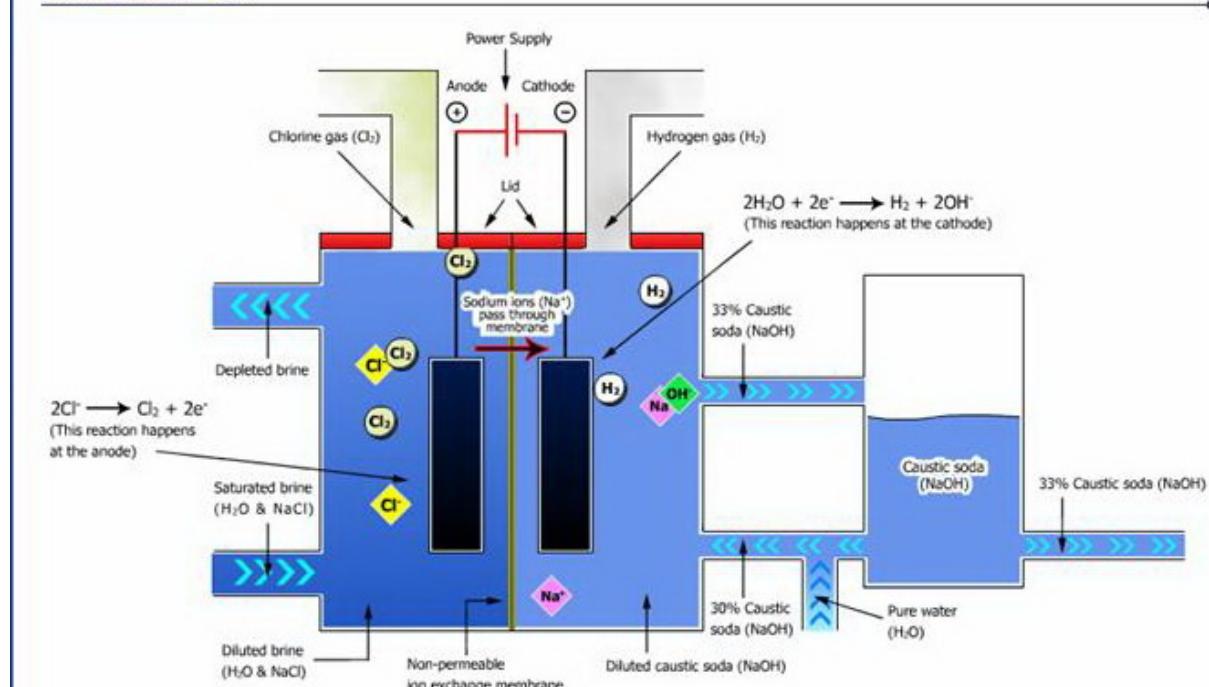


Abbildung 4: Schema Membranverfahren⁹

⁹ Eurochlor; <http://www.eurochlor.org/animations/diaphragm-cell.asp>

2.2.4 Technologische Entwicklung der Chlorherstellung mit Chlor-Alkali-Elektrolyse

Am Beginn der industriellen Herstellung stand das Amalgamverfahren, das auf Grund seiner Verwendung und der Emissionen von Quecksilber ein Angriffspunkt des gesamten Prozesses für Umweltgruppen war. Mittlerweile wird dieses Verfahren durch das umweltneutralere und energiesparendere Membranverfahren laufend ersetzt. Weltweit geht der Einsatz des Amalgamverfahrens zurück, die USA waren bereits vor dem Jahr 2000 mit dem Ausstieg schon sehr weit fortgeschritten.

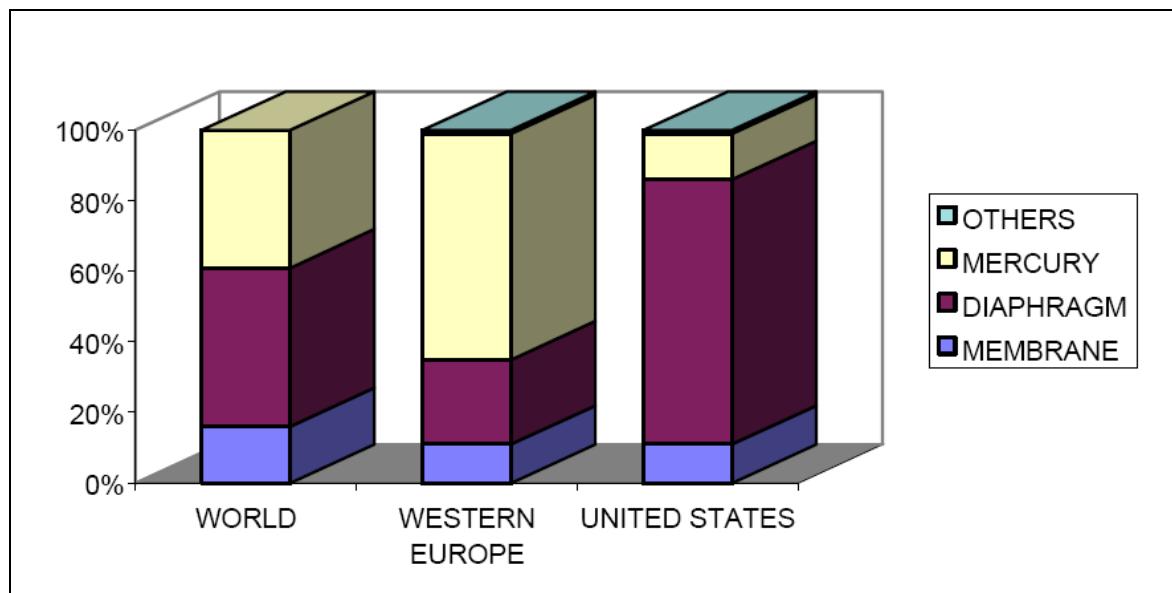


Abbildung 5: Elektrolyse-Verfahren weltweit¹⁰

Die Entwicklung der Anteile der Produktionsverfahren in Europa bis 2004 zeigt Abbildung 6. Man erkennt die deutliche Zunahme der quecksilberfreien Verfahren, die im Jahr 2004 etwa die Hälfte der Anlagen ausmachen. Neue Anlagen werden ausschließlich nach dem Membranverfahren gebaut.

¹⁰ Umweltbundesamt Berlin; National Focal Point – IPPC; Integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung (IVU), Referenzdokument über die Besten Verfügbaren Techniken in der Chloralkaliindustrie; Dezember 2001

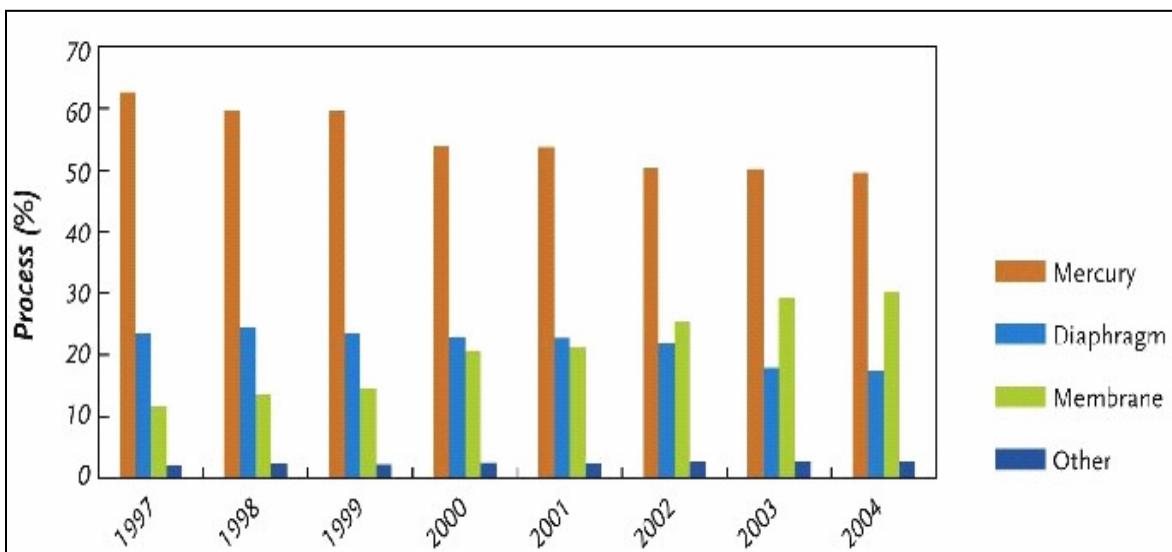


Abbildung 6: Verfahren der Chlorgewinnung in Europa bis 2004¹¹

In Deutschland¹² bestand Ende 2003 eine Produktionskapazität von rund 4,4 Millionen Tonnen Chlor pro Jahr. Davon entfielen

- nur mehr 1,2 Millionen Tonnen (27 Prozent) auf das Amalgamverfahren
- 1,0 Millionen Tonnen (23 Prozent) auf das Diaphragmaverfahren
- und bereits 2,2 Millionen Tonnen Chlor (50 Prozent) auf das Membranverfahren

In Österreich existiert nach der Schließung der Chlorproduktion von Solvay in Hallein im Jahr 1996 nur mehr ein Chlorwerk. Dieses wird von der Donau Chemie AG in Brückl (Kärnten) mit einer Jahreskapazität von etwa 60.000 Tonnen nach dem Membranverfahren betrieben. Am Standort wird neben der Chlor-Alkali-Elektrolyse Chlorverflüssigung, Salzsäureherstellung, Herstellung von Eisenchlorid, Hypochlorit, Acetylen und ein Recycling von Beizsäuren betrieben. Durch die Umstellung der Chlor-Alkali-Elektrolyse 1999 vom Amalgamverfahren auf das quecksilberfreie Membranverfahren kam es am Standort in Hinblick auf Quecksilber zu einer deutlichen Verbesserung der Umweltsituation.

Fazit: >

Die Chlor-Alkali-Elektrolyse wird weltweit zunehmend auf das Membranverfahren umgestellt, das gegenüber dem alten Amalgamverfahren deutlich weniger Energieaufwand und geringere Umweltbelastungen aufweist. Diese Entwicklung ist in der EU noch am Laufen, in Deutschland schon sehr weit gediehen, in Österreich bereits abgeschlossen. In Österreich gibt es nur eine Elektrolyse-Anlage, die nach dem Membranverfahren betrieben wird.

¹¹ Eurochlor; <http://www.eurochlor.org/index.asp?page=180>; Daten aus dem EPER ; 2004

¹² Rothert A.; Positionen zur Chemie mit Chlor - VCI Internetartikel; Nov. 2005

2.3 PVC und die Vermeidung der Chlorchemie

Der chemische Stoff Chlor birgt ohne Zweifel auf Grund seiner toxikologischen Eigenschaften ein Gefahrenpotenzial, ist aber in vielen Anwendungsbereichen vom Haushalt bis zur Medizin aus unserem heutigen Leben nicht mehr wegzudenken. Neben der Herstellung von Kunststoffen sind chlorierte aromatische Verbindungen (z. B. Chlorbenzol für die Phenolsynthese), Lösungsmittel und anorganische Chlorverbindungen wichtige Produktgruppen. Die Einsatzgebiete reichen von der Wasserhygiene bis zur Pharmazeutik (siehe Abbildung 7 und Abbildung 8). Ein Teil des erzeugten Chlors wird beispielsweise zur Trinkwasserdesinfektion eingesetzt. Hiermit tragen Chlor und Chlorprodukte zur Hygiene speziell in Entwicklungsländern bei.

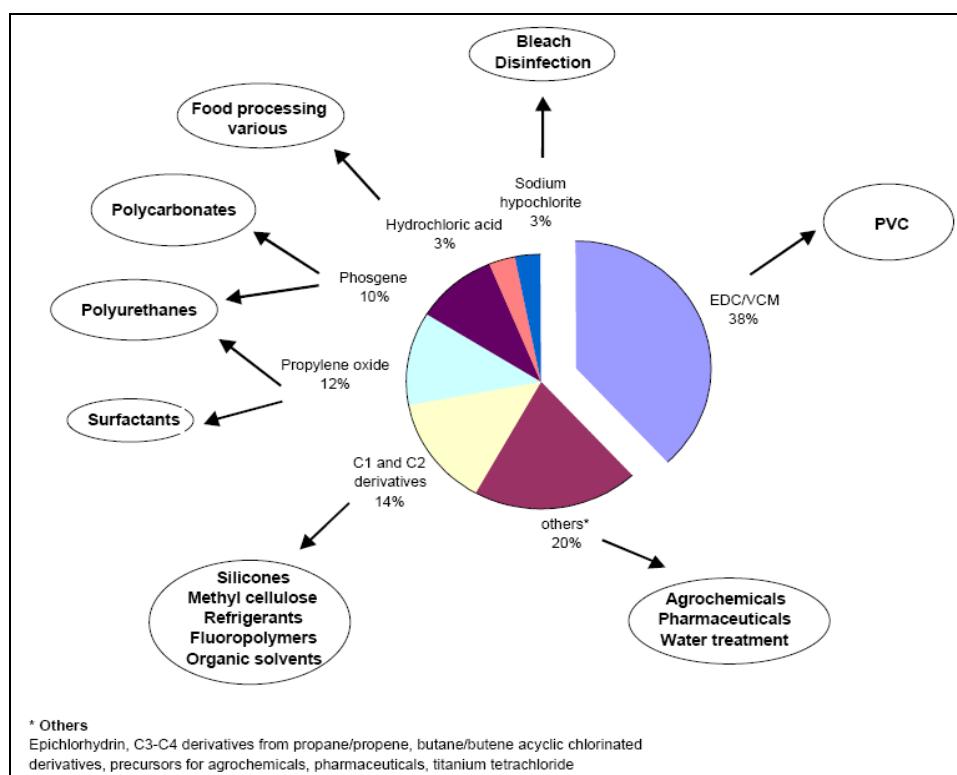
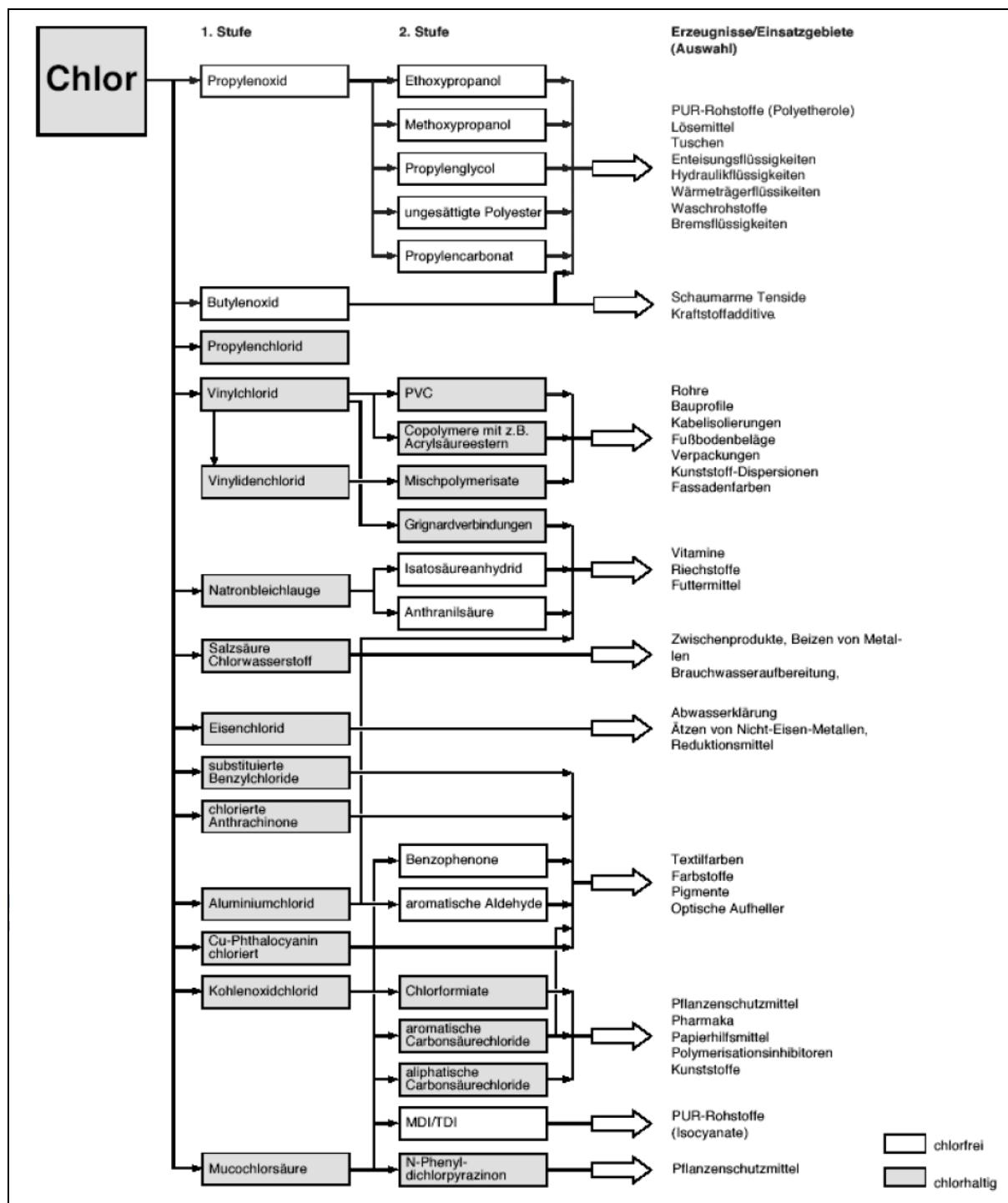


Abbildung 7: Einsatzbereiche von Chlor¹³

Die Verwendung von Chlor würde daher in diesen Bereichen auch ohne die PVC-Produktion in großem Ausmaß weitergeführt. Daher ist eine Vermeidung von PVC nicht gleichzusetzen mit einer Vermeidung des Stoffs Chlor.

¹³ Umweltbundesamt Deutschland; Integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung (IVU; Referenzdokument über die Besten Verfügbaren Techniken in der Chloralkaliindustrie) <http://www.bvt.umweltbundesamt.de/archiv/chloralkaliindustrie.pdf>; Dez. 2001

Abbildung 8: Der Chlor-Stammbaum¹⁴

Fazit: 0

Etwa ein Drittel des hergestellten Chlors wird für PVC verwendet. Auch ohne PVC wird Chlor einerseits für chemische Synthesen vieler - auch chlorfreier - Grundstoffe benötigt, anderseits in der Medizin, der Pharmaproduktion, aber auch der Trinkwasserdesinfektion eingesetzt.

¹⁴ VCI-Publikation; Im Dialog; September 1997

2.4 Risiko der technischen Anlagen

Die Anlagen der Produktionskette bis zum PVC-Compound (Granulat) sind als Anlagen mit einem gewissen Gefahren- und somit Risikopotenzial einzustufen. Wie die Entwicklung der letzten Jahrzehnte sowohl im Bereich der Chlorchemie als auch der chemischen Industrie insgesamt zeigt, ist dieses Risiko der Anlagen der Chlorchemie durch Anwendung technischer und organisatorischer Maßnahmen deutlich gesunken, die Eintrittswahrscheinlichkeit größerer Unfälle ist nur mehr gering. Das deutsche Umweltbundesamt fasst dies in seinem Referenzdokument 2001 wie folgt zusammen: „Methoden wie HAZOP (Gefahren- und Durchführbarkeitsstudie), HAZAN und QRA dienen dazu, dass der Betrieb der Chlorherstellung ein vernachlässigbares Risiko für die Beschäftigten, die Nachbarschaft und die Umwelt darstellt“¹³.

Dies zeigt sich auch in der Zahl der Prozessstörungen und Ausfälle in der europäischen Chlorindustrie, die einen deutlichen Rückgang um 75 Prozent von 67 (2001) auf 15 im Jahr 2005 aufweisen. Die Stabilisierung dieses niedrigen Wertes stellt auch das Ziel der Chlorindustrie für das Jahr 2010 dar (Abbildung 9).

Das Bewusstsein der Betriebe für einen verantwortungsvollen Umgang mit dem Risiko zeigt auch der hohe Anteil von 35 der 41 EU-Betriebe der Chlorchemie, die nach Responsible Care, dem Sicherheits- und Umweltsystem der chemischen Industrie, zertifiziert sind¹¹.

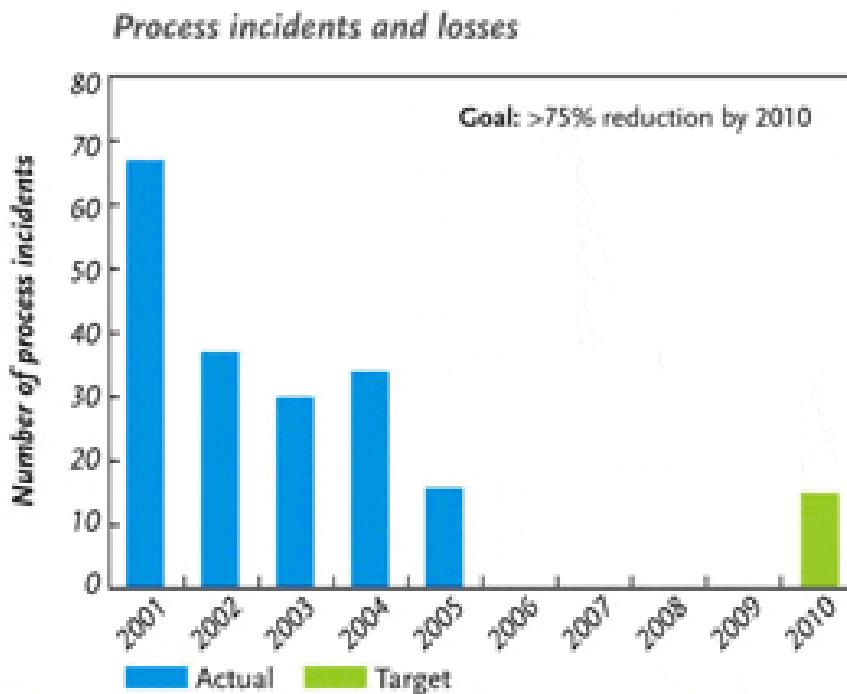


Abbildung 9: Prozessstörungen in der Chlorchemie¹¹

Fazit: 0

Wie die meisten großtechnischen Anlagen sind auch die Anlagen der Chlorchemie gefahrengeneigte Anlagen. Die Entwicklungen der letzten Jahrzehnte zeigen einen deutlichen Rückgang der Störungen mit maßgeblichen Auswirkungen in den Anlagen der Produktionskette von PVC in Europa. Das Risiko der Anlagen kann daher mit technischen Mitteln auf ein niedriges Niveau reduziert werden, zukünftig sind weitere Reduktionen vorgesehen.

2.5 Umweltbelastungen durch die Chlorchemie

Die Umweltbelastung durch die Chlorchemie war einer der wesentlichen und meist diskutierten Themenbereiche von Umweltgruppierungen. Hauptpunkt war die Emission von Quecksilber aus den Amalgamanlagen (siehe auch Chlor-Alkali-Elektrolyse), aber auch Emissionen von Vinylchlorid und Chlorgas (siehe auch „PVC-spezifische Belastungen am Arbeitsplatz“).

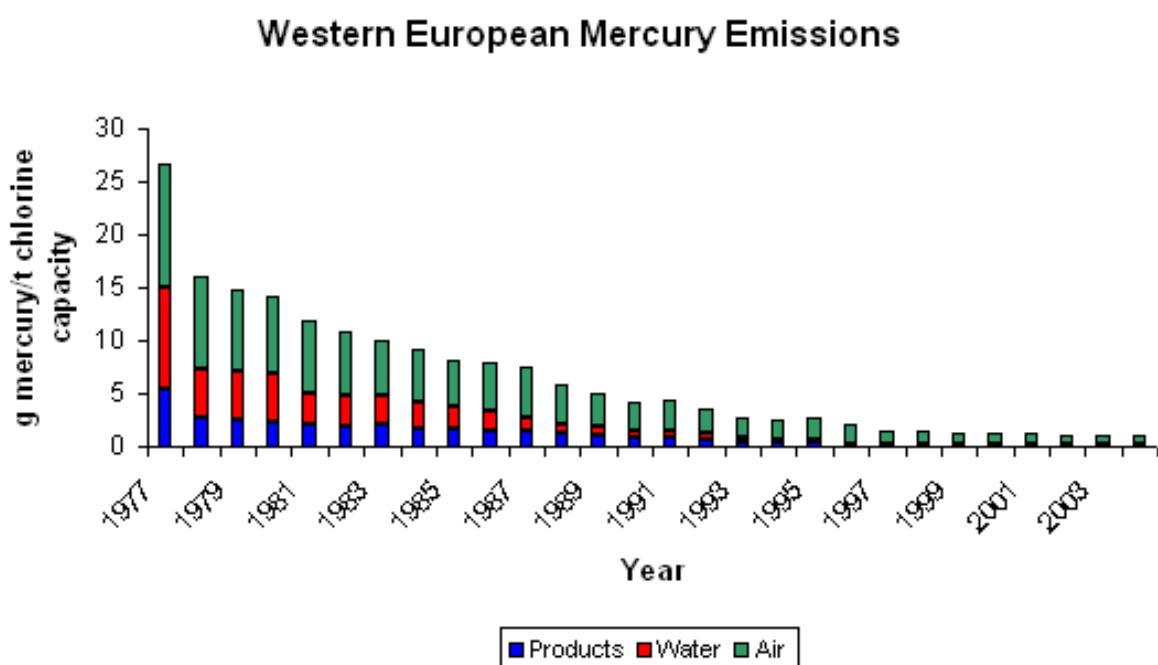


Abbildung 10: Gesamt-Quecksilberemissionen der Chlorherstellung in Westeuropa¹¹

Die gesamten **Quecksilberemissionen** sind von 1984 bis 2004 in Westeuropa um ca. 90 % (Abbildung 10) und in Deutschland von 1972 bis 2003 um fast 99 % gesunken¹⁵. Der Großteil dieser Verbesserung im Bereich der Chlorchemie liegt in der Optimierung von Produktionsprozessen und anderweitig in der Umstellung auf Membranverfahren, mit dem alle neu errichteten Anlagen ausgestattet werden. Schrittweise werden nun auch ältere Produktionsstätten darauf umgestellt. Laut der Schätzung des UN-Umweltprogramms vom Dezember 2002 betragen die weltweiten Atmosphäreneinträge

¹⁵ Eurochlor; Chlorine Online, How is chlorine made; <http://www.eurochlor.org/COCEM> ; Daten aus dem EPER ;2004

aus natürlichen Quellen 1.400 - 1.650 Tonnen pro Jahr¹⁶. Damit verglichen sind die heutigen Quecksilberemissionen aus Amalgamanlagen (geschätzt auf 87 Tonnen für das Jahr 2000) als unbedeutend anzusehen¹⁷.

Das Membranverfahren benötigt dabei kein Quecksilber und ist darüber hinaus das Verfahren mit dem besten energetischen Wirkungsgrad. Am einzigen österreichischen Chlorproduktionsstandort wird das Membranverfahren eingesetzt, wobei die Chlorproduktion ausschließlich für die chemische Grundstoffproduktion genutzt wird. Es gibt keine PVC-Produktion mehr in Österreich.

Seit 1985 werden laufend die **Emissionen in Luft und Wasser** der wichtigsten Chlor-Substanzen im europäischen Schadstoffregister EPER festgehalten. Dabei wurde 2004 eine 99 %ige Reduktion der Einbringung in Wasser und eine 93 %ige in die Atmosphäre gegenüber dem Jahr 1985 festgestellt (Abbildung 11).

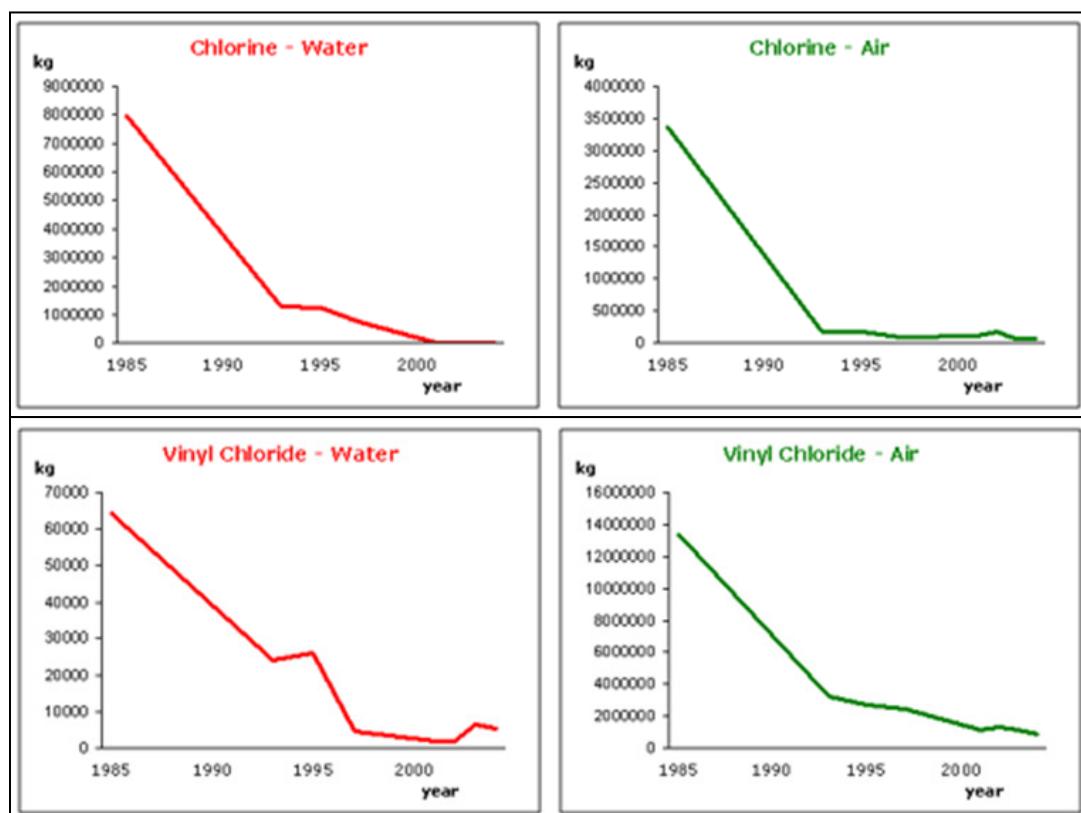


Abbildung 11: Emissionen in Luft und Wasser von Chlor und VC¹⁸

Im Rahmen einer wissenschaftlichen Studie auf Basis einer **Lebenszyklusanalyse** (LCA) im Auftrag der Europäischen Kommission wurden im Jahr 2004 die

¹⁶ UNEP United Nations Environment Programme); Global Mercury Assessment; <http://www.chem.unep.ch/mercury/Report/Chapter6.htm#6.2>; Feb.2003

¹⁷ VCI Verband der chemischen Industrie; Die Zukunft der Amalgam-Anlagen in Deutschland; November 2006

¹⁸ Eurochlor; Chlorine Online, How is chlorine made; <http://www.eurochlor.org/index.asp?page=76>; Daten aus dem EPER ;2004 ident mit Fußnote 15

Umweltbelastungen der Produktionskette der Chlorchemie für die PVC-Herstellung betrachtet¹⁹, sie sind im Folgenden auszugsweise angeführt.

Abbildung 12 zeigt die Anteile der Belastungen in den Wirkungsklassen der Wirkungsanalyse (Impact Assessments). Daraus ist deutlich ersichtlich, dass bei fast allen Wirkungsklassen die Energiebereitstellung den größten Teil der Umweltauswirkungen zu verantworten hat. Im Detail sind dies bei EP (Eutrophication Potential), TETP (Terrestrial Ecological Toxicity Potential), GWP (Global Warming Potential), AP (Acidification Potential) über 50 % und bei der Primärenergie und HTP (Human Toxicity Potential) sogar über 80 % bzw. 90 %. Bei zwei von acht Impactklassen ist der Anteil der Chlorchemie am größten. Bei AETP (Aquatic Ecological Toxicity Potential) ist dies durch die Quecksilberemissionen der Elektrolyse nach dem Amalgamverfahren bedingt, die durch den Ersatz dieser Technologie an Bedeutung verlieren werden. Bei POCP (Photochemical Ozone Formation Potential) liegt die Ursache beim Rohstoff Salz.

Maßnahmen zur Reduktion der Belastungen bei der PVC-Herstellung müssten daher vor allem bei der Energiebereitstellung ansetzen.

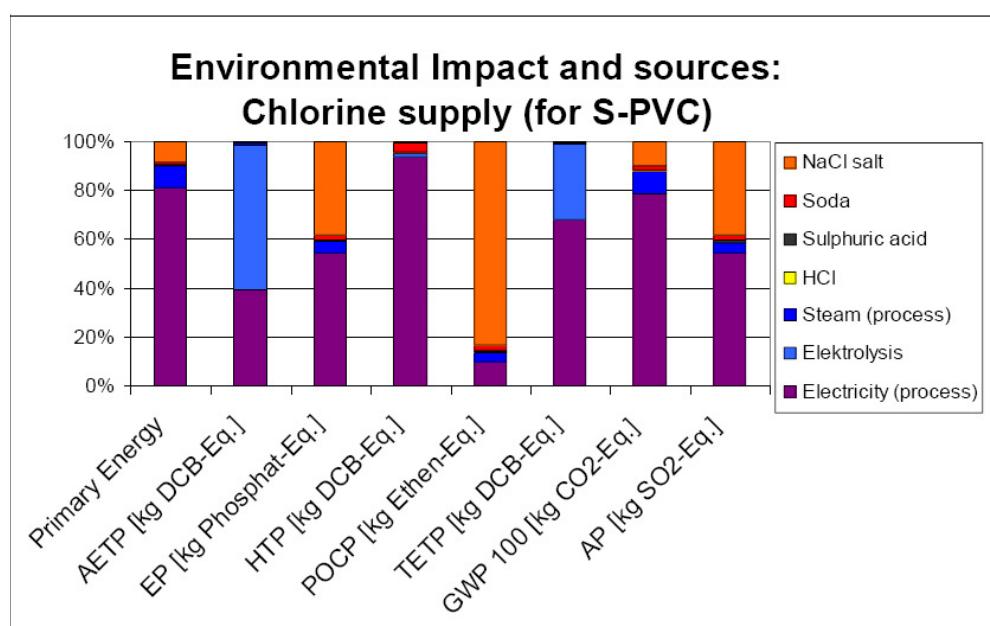


Abbildung 12: Umweltauswirkungen durch die Chlor-Produktion¹⁹

Bei der Synthese des Vinylchloridmonomers (Abbildung 13) verursacht die Herstellung des Ethen (Ethylen) den größten Teil der Belastungen. Besonders deutlich wird dies bei der Primärenergie, bei AETP und TETP. Nur in einer von acht Wirkungsklassen (HTP) hat die Chlorchemie den größten Einfluss.

¹⁹ Europäische Kommission; Life Cycle Assessment of PVC and of principal competing materials; Commissioned by the European Commission; July 2004

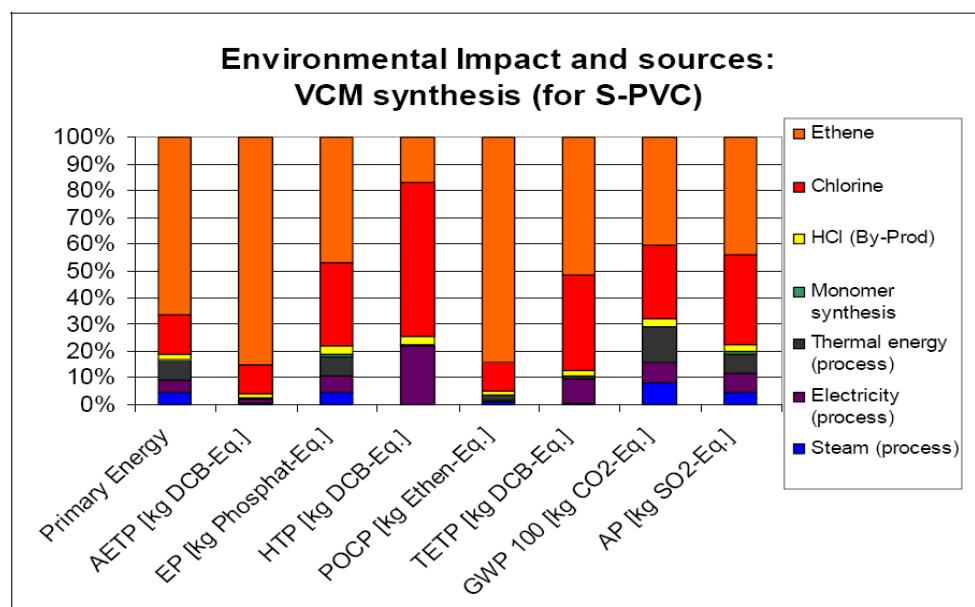


Abbildung 13: Umweltauswirkungen durch die VCM Synthese¹⁹

Die spezifischen chlorchemischen Emissionen spielen nach den Ökoprofildaten keine große Rolle. Das toxische Potenzial wird vor allem durch Emissionen beeinflusst, die bei der Erzeugung von Strom und Dampf durch das Verbrennen von Kohle, Öl etc. entstehen und bei den Raffinerie- und Crackprozessen zur Erzeugung des organischen Teils in chlorchemischen Produkten. Während bei Chlor-chemischen Produkten mehr Strom für die Elektrolyse benötigt wird, ist der Bedarf an fossilen organischen Rohstoffen geringer als bei chlorfreien Produkten. Bei PVC überwiegen die Belastungen aus dem Ethylen im Vergleich zu Chlor.

Fazit: 0

Die Quecksilberemissionen in der EU sind in den letzten Jahren insgesamt deutlich gesunken, die Emissionen der einzelnen Standorte liegen unterhalb der gesetzlichen Vorgaben, sie werden durch den weiteren Ersatz von Altanlagen noch weiter reduziert. Dies wird in den kommenden Jahren eine vollständige Bereinigung der Situation bringen. In Österreich gibt es keine Quecksilberemissionen durch die Chlorchemie, da kein Amalgamverfahren mehr im Einsatz ist.

Die Emissionen von Chlor und Vinylchlorid in Luft und Wasser konnten in den letzten 20 Jahren um mehr als 90 % reduziert werden und stellen kein spezifisches Problem mehr dar. Die verbliebenen Belastungen über den gesamten Lebenszyklus kommen zum größeren Teil aus nicht chlorspezifischen Quellen.

2.6 Energiebedarf und Klimarelevanz

Die Prozesse der Chlorchemie gelten oft als hauptverantwortlich für den angenommenen hohen Energieverbrauch der gesamten PVC-Herstellung. Betrachtet

man die in der von der EU beauftragten LCA-Studie¹⁹ angegebenen Energieaufwendungen über den gesamten Lebenszyklus (Abbildung 14), so zeigt sich, dass der Großteil des Energieverbrauchs durch die Herstellung des Ethens begründet ist, das für viele Kunststoffe als überwiegender Ausgangsstoff dient.

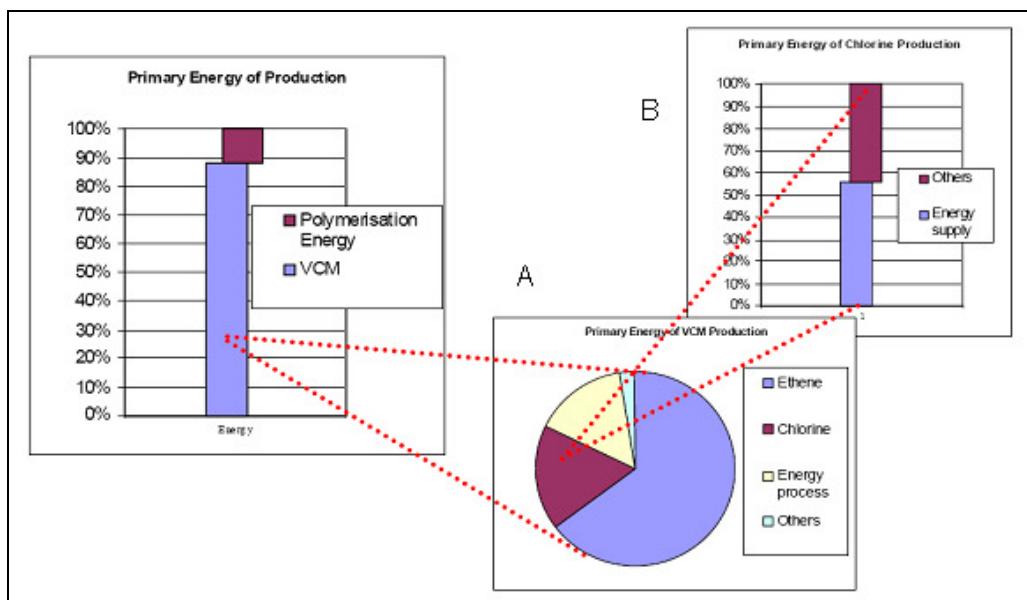


Abbildung 14: Energieverbrauchsschema PVC-Produktion¹⁹

Ein Vergleich des Energieaufwandes mit anderen Kunststoffen zeigt dementsprechend, dass PVC einen geringeren spezifischen Energieverbrauch vor allem im Bereich Feedstock (= Herstellung des industriellen Grundstoffs) verursacht (Abbildung 15).

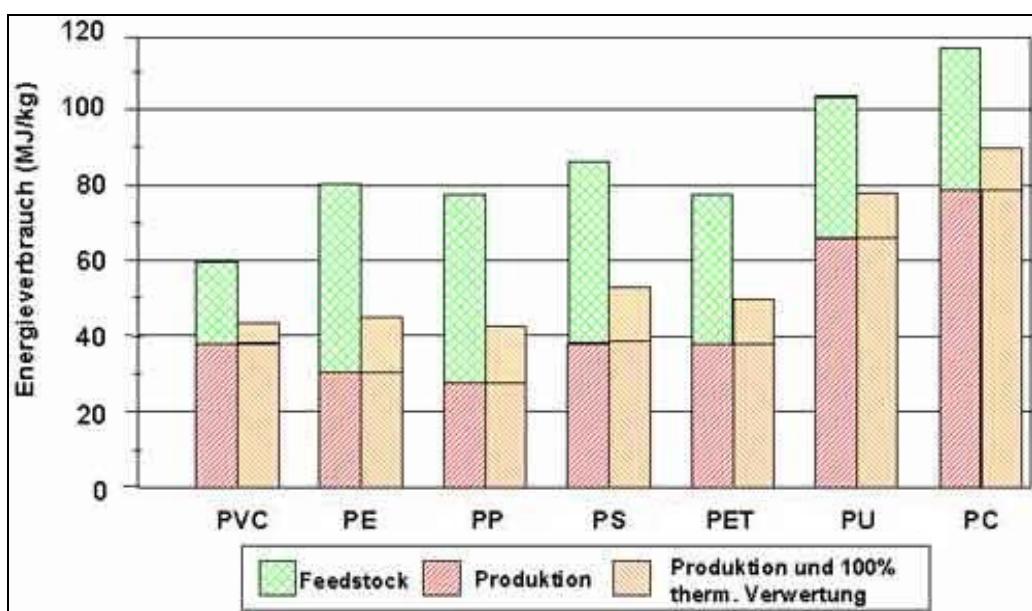


Abbildung 15: Energieverbrauch in der Kunststoffherstellung²⁰

Der Prozess der Elektrolyse ist dennoch ein energieaufwändiger Schritt, bei dem weiterer Optimierungsbedarf gegeben ist. Den geringsten Energieeinsatz für die Chlorherstellung weisen Anlagen mit Membranverfahren auf. Die europäische Chlor-

²⁰ Koller U; Umweltberatung Bayern; Fachinformation „Umwelt und Gesundheit“; http://www.bayern.de/lfu/umwberat/data/chem/stoff/pvc_2000_abb.htm; April 2000

Alkali-Industrie wird ihre alten Amalgamanlagen schrittweise bis 2020 stilllegen (Konversion zum Membranverfahren) und so eine weitere Reduzierung des Energieverbrauchs erreichen. Im Jahr 1999 wurden zum Beispiel Kapazitäten von insgesamt 400.000 Tonnen Chlor pro Jahr auf das energiesparendere Membranverfahren umgestellt. Der Bedarf an Elektrolysestrom verringerte sich dadurch gegenüber den bisherigen Verfahren um ca. 340 GWh pro Jahr²¹. Für die Chlorherstellung lag im Jahr 2000 für Deutschland ein Strombedarf von ca. 11 TWh vor, der bis zum Jahr 2020 auf ca. 8,5 TWh reduziert werden könnte²². Dem prognostizierten Rückgang des Strombedarfs liegt vor allem der Wechsel der Produktionstechnologie vom Amalgam- zum Membranverfahren zugrunde. Diese Umstellung allein bewirkt eine Minderung des Gesamtenergieverbrauchs um durchschnittlich 15 % (bei einer alten Amalgamanlage sogar bis zu 30 %)²³. Für Neuanlagen wird heute nur noch das Membranverfahren eingesetzt²⁴.

Durch die Verbesserung bei den Verfahrensprozessen und durch Optimierungen der Rohstoffeffizienz konnte der spezifische Energieverbrauch von 1990 bis 2005 auf 62 % verringert werden (Abbildung 16). Dies führte zu fast analogen prozentuellen Reduktionen beim Gesamtenergieverbrauch und den dadurch bedingten CO₂-Emissionen. Bis 2010 sind weitere Reduktionen geplant.

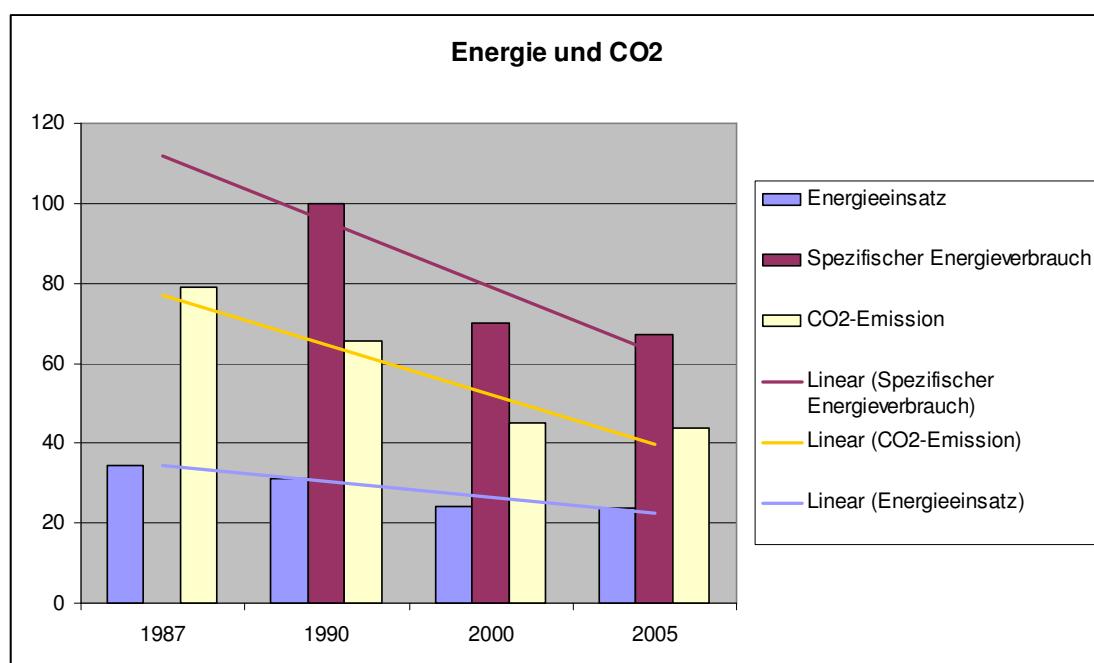


Abbildung 16: Energieverbrauch (in Mio. t SKE) und CO₂ Emissionen (in Mio. t)²⁵

²¹ RWI Essen; Die Klimaschutzerklärung der deutschen Industrie vom März 1996 – eine abschließende Bilanz; Monitoring-Bericht 2000, Fortschrittsberichte der Verbände

²² wik-Consult – FhG Verbund Energie; Bericht, Bad Honn; Dezember 2006

²³ KfW Bankengruppe, Abteilung Volkswirtschaft; Energie effizient nutzen: Klima schützen, Kosten senken, Wettbewerbsfähigkeit steigern; [http://www.competence-site.de/energie.nsf/4C4FCDAC981D3E3FC1257076002706D7/\\$File/sonderpublikation_energie_effizienz_kfw_bankengruppe.pdf](http://www.competence-site.de/energie.nsf/4C4FCDAC981D3E3FC1257076002706D7/$File/sonderpublikation_energie_effizienz_kfw_bankengruppe.pdf); Juli 2005

²⁴ Verband der chemischen Industrie (VCI); Zukunft der Alkalichlorid-Elektrolyse-Anlagen nach dem Amalgam-Verfahren; März 2001

²⁵ VCI; Grafik erstellt nach Daten der Selbstverpflichtung der VCI

Die Herstellung von PVC weist durch den geringeren Anteil an Ethen gegenüber anderen Kunststoffen auch niedrigere CO₂-Emissionen auf (Abbildung 17). Durch Umstellung auf das Membranverfahren verringerte sich wie oben angegeben der Bedarf an Elektrolysestrom, was einer verringerten Emission um etwa 200.000t CO₂ pro Jahr entspricht²¹.

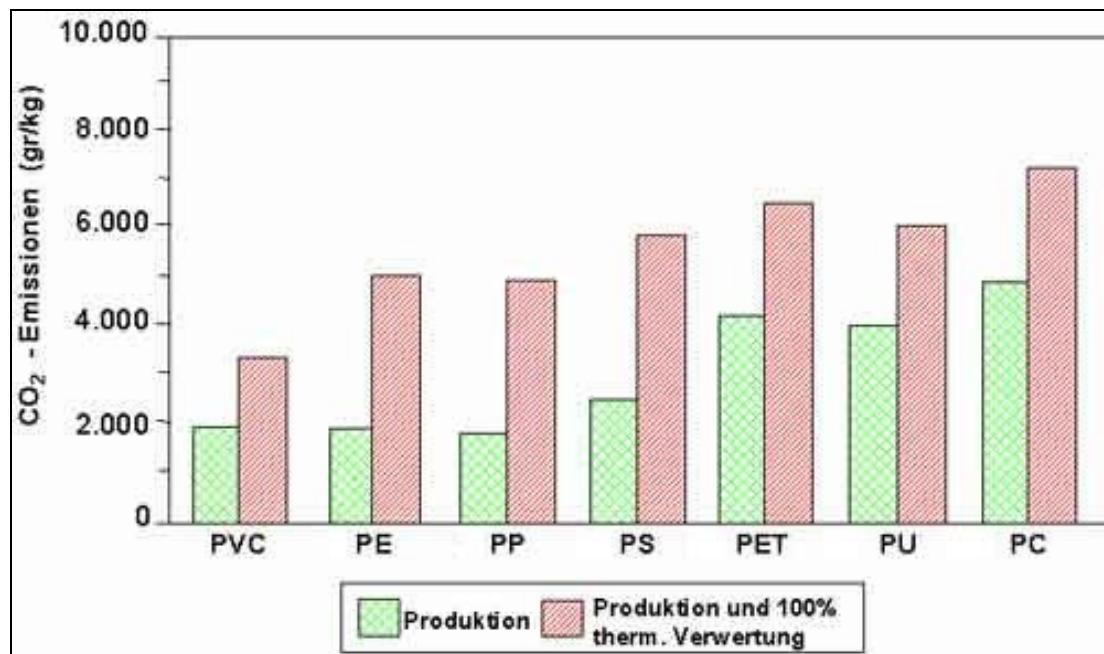


Abbildung 17: CO₂ Emissionen der Kunststoffherstellung²⁰

Die regelmäßige Aktualisierung der Lebenszyklusdaten für PVC durch Partner von PlasticsEurope²⁶ (Tabelle 1) zeigt auch die kontinuierliche weitere Verbesserung bei Energiebedarf und Emissionen.

PVC-Ökoprofil Werte	Einheit	1994	1998	2004
Primärenergie	MJ/kg	64,9	56,7	56,8
CO ₂	g/kg	1750	2000	1770
SOx	g/kg	13	8,2	2,6
NOx	g/kg	15	9,6	3,7
Staub	g/kg	3,9	2,9	0,5
Azidität	%	100	63	20

Tabelle 1: Entwicklung der Ökoprofil-Werte von PVC

Fazit: 0

Die Herstellung des Grundstoffs PVC weist gegenüber anderen Kunststoffen einen vergleichsweise geringen Energieeinsatz auf und liegt bei Ökovergleichen mit anderen Werkstoffen oft im Mittelfeld. Der Energiebedarf wird vor allem durch die Herstellung des Ausgangsstoffs Ethen verursacht, dem überwiegenden Grundstoff für die meisten Kunststoffe. Die Chlorchemie ist nicht Hauptträger des Energieverbrauchs bei der PVC-Herstellung und hat in den letzten Jahren den spezifischen Energieeinsatz gesenkt.

²⁶ PlasticEurope; Präsentation PVC-Workshop, 13.12.2006

Bei Weich-PVC kann allerdings etwa die Hälfte des Materials aus Additiven, vor allem Weichmachern, bestehen, die überwiegend petrochemischer Herkunft sind. Dadurch wird der Vorteil beim Energieeinsatz proportional zum Weichmacheranteil geringer.

2.7 Wertschöpfung durch Koppelprodukte der Elektrolyse

Ausgehend von einer wässrigen Salzlösung werden in der Chlorchemie durch den Elektrolyseprozess Chlor, Wasserstoff und Natriumhydroxid (NaOH) hergestellt. Alle diese Stoffe sind wichtige Produkte für weitere Anwendungen in der Industrie, was verbesserte Ressourceneffizienz bringt und die Gesamtwertschöpfung des Prozesses erhöht.

Speziell die beim Elektrolyseprozess entstehende Natronlauge stellt keinen „Abfall“, sondern ein wichtiges Koppelprodukt dar, das auch die Wirtschaftlichkeit des Prozesses maßgeblich unterstützt. Natronlauge ist eine Base, die in verschiedenen Bereichen der chemischen, pharmazeutischen, Textil-, Papier-, Metall- und Nahrungsmittelindustrie oder auch in der Landwirtschaft und zur Behandlung von Wasser und Abwasser eingesetzt wird.

Fazit: +

Die Chlorchemie führt zu zwei vollwertigen Hauptprodukten: Chlor und Natronlauge. Natronlauge ist daher kein unerwünschter Abfall, sondern ein Koppelprodukt, das einen zusätzlichen Deckungsbeitrag für die Unternehmen liefert. Sie stellt einen maßgeblichen Industriegrundstoff dar und erzeugt Wertschöpfung in den Anwendungsbereichen.

2.8 Transportrisiko

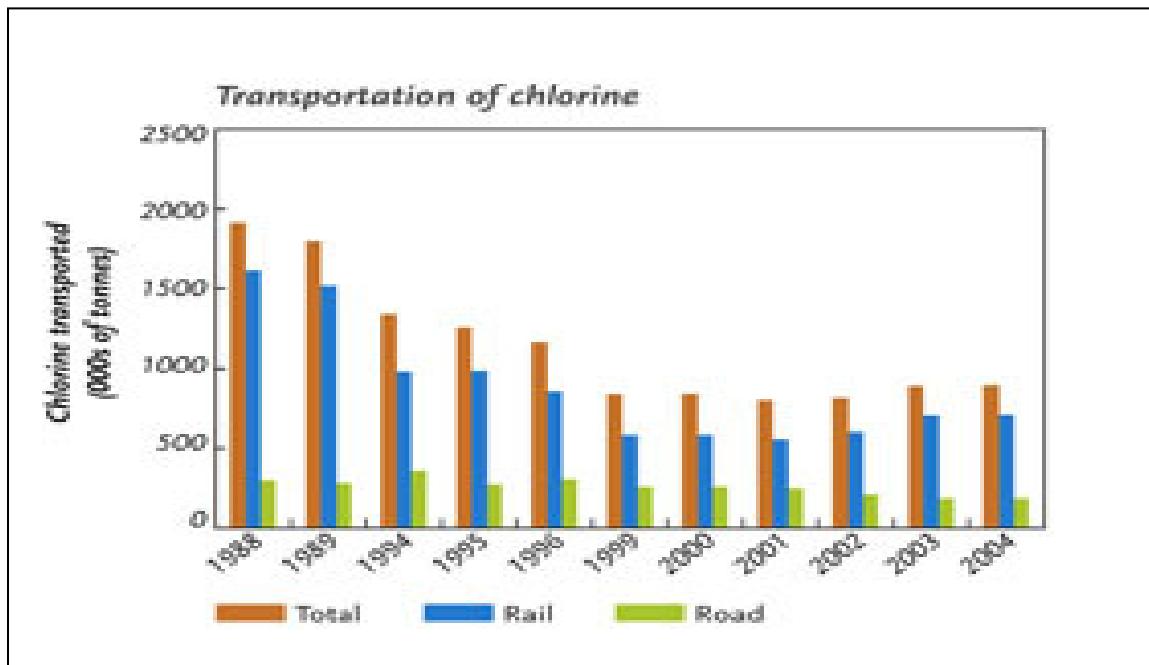
Die Zwischenprodukte der Produktionskette - speziell im Bereich der Chlorchemie (besonders Chlor und Vinylchlorid) - sind als gefährliche Güter einzustufen, deren Transport generell mit Risiko behaftet ist. Insgesamt nimmt der Gefahrguttransport in Europa deutlich zu, die PVC Produktionskette macht hier nur einen untergeordneten Anteil aus. Mit umfangreichen Gefahrguttransportbestimmungen wird auf verkehrsrechtlicher Ebene dem Transportrisiko begegnet.

Durch Standortkonzentrationen innerhalb der chemischen Industrie werden bereits mehr als 85 % der EU-Chlorproduktion noch am selben Standort weiterverarbeitet bzw. an einem benachbarten Standort für die Weiterverarbeitung chemischer Produkte eingesetzt. Der Transport von Zwischenprodukten spielt daher nur mehr eine untergeordnete Rolle und ist weiter rückläufig (Abnahme um ca. 50 % seit 1988). Von der verbleibenden Beförderung werden 77 % (bei Cl₂) bzw. 87 % (bei VC) mit der Bahn in gesicherten Spezialwaggons abgewickelt²⁷ (Tabelle 2).

Chlor Transport in Europa 2004	
Anteil Chlortransport Bahn in t	712.250
Anteil Chlortransport Bahn	77 %

Tabelle 2: Chlortransport in Europa¹¹

Durch die umfassenden Sicherheitsbestimmungen ist die Eintrittswahrscheinlichkeit eines Unfalls mit Gefährdungspotenzial nur mehr sehr gering. Laut einer Studie der Bergischen Universität Wuppertal liegt die Wahrscheinlichkeit der Chlorfreisetzung aus Kesselwaggons infolge Bahnbetriebsunfällen bei einem Unfall in 140 Jahren²⁷. Dieses Risiko durch den Chlortransport betrifft aber nicht nur die PVC-Herstellung, sondern auch den Einsatz von Chlor in den anderen Anwendungen.

Abbildung 18: Transport von Chlor in Westeuropa¹¹

Bei der Produktion von Chlor fällt Natronlauge als Koppelprodukt an. Für den Transport liegt diese als 50 %ige wässrige Lösung vor und kann ohne Probleme über längere Zeiträume gelagert werden¹³. Der Versand von Natronlauge erfolgt in Eisenbahnkesselwagen und Straßentankfahrzeugen. Dieser stellt kein Problem dar, die Auswirkungen bei einem Unfall sind begrenzt.

Fazit: 0

Der Transport von Chlor bzw. Vinylchlorid fällt unter die Bestimmungen des Transports gefährlicher Güter. Die Bedrohung ist in Industrieländern allerdings nicht größer als bei Treibstoff- bzw. anderen Chemikalientransporten. Durch die zunehmenden Standortkonzentrationen in der chemischen Industrie und den überwiegenden Bahntransport gab es in den letzten Jahrzehnten weltweit kaum größere Unfallereignisse. Der Transport von Natronlauge stellt kein Problem dar, da die Auswirkungen bei einem Unfall begrenzt sind.

²⁷ Pötzsch M.: Risikobewertung des Transports von Chlor mit Binnentankschiffen auf dem Rhein unter besonderer Beachtung des Gefahrgutrechts; Dissertation; Bergische Universität Wuppertal 2004

2.9 PVC-spezifische Belastungen am Arbeitsplatz

Die PVC-spezifischen Belastungen für die Arbeitnehmer waren einer der Hauptkritikpunkte der PVC-Gegner. In vielen Argumentationen standen die Vorwürfe, die Herstellung von PVC führe zu Gefährdungen der Arbeitnehmer, speziell durch Belastungen mit Chlorgas und dem krebsfördernden Vinylchlorid sowie durch PVC-Stäube, im Mittelpunkt. Auf die damals teilweise berechtigten Vorwürfe von Umweltgruppen wurde mit deutlichen Verbesserungen der Arbeitsplatzsituation reagiert.

Durch Optimierung der bestehenden Anlagen konnten die Belastungen am Arbeitsplatz stark reduziert werden. Die Produktionsanlagen wurden auf geschlossene Anlagen umgestellt. Im Jahr 1999 beschloss der EU-Ministerrat die Aufnahme von Vinylchlorid-Monomeren in die Arbeitsplatzschutzrichtlinie (90/394/EEL). Der maximal zulässige Wert am Arbeitsplatz beträgt demnach 3 ppm. Heute liegen die Konzentrationen in Anlagen für Suspensionspolymerisations-Verfahren deutlich unter 1 ppm. So weisen die Statistiken der Berufsgenossenschaften für seit dem Jahr 1975 Beschäftigte keine Neuerkrankungen an Leberangiosarkomen durch VC mehr aus^{28,29}.

Das Verantwortungsbewusstsein der Betriebe für ihre Mitarbeiter wird auch durch den hohen Anteil von „Responsible Care“ zertifizierten Betrieben in der EU dokumentiert.

Fazit: 0

In den letzten Jahren sind massive Verbesserungen der Arbeitsplatzbedingungen in Europa erfolgt. Für nach 1975 eingetretene Beschäftigte sind keine PVC-spezifischen Belastungen am Arbeitsplatz mehr gegeben und auch keine Erkrankungen durch Belastungen der Chlorchemie oder Vorprodukte der PVC-Herstellung mehr gemeldet.

2.10 Arbeitsunfälle in der Chlorindustrie

Auch in diesem Themenbereich hat sich die Situation in der Chlorchemie sowie in der chemischen Industrie generell deutlich verbessert. Durch die geschlossenen Anlagen, den hohen Automatisierungsgrad und umfangreiche Sicherheitseinrichtungen liegt die Anzahl der Arbeitsunfälle in der Rohstoffbereitstellung für PVC (Chlorchemie) in der EU deutlich niedriger als der Industriedurchschnitt in Österreich^{28 30}. Bis 2010 ist eine weitere deutliche Verringerung um mehr als 80 % vorgesehen (Abbildung 19).

Bei Unfällen mit Personenschäden, die zu Ausfallzeiten von mindestens einem Tag führen, ist eine Reduzierung um 85 Prozent von 9,47 (2001) bis auf 1,3 (2010) Unfälle pro Million Arbeitsstunden geplant. Außerdem sollen die Unfälle mit Ausfalltagen bei Subunternehmen um 90 Prozent von 15,39 (2001) auf 1,3 Unfälle pro Million Arbeitsstunden gesenkt werden.

Zusätzlich zu den technischen Optimierungen hat die chemische Industrie im Jahr 1992 das Programm „Responsible Care“ ins Leben gerufen, eine freiwillige Initiative mit dem Ziel, die Gesundheits-, Sicherheits- und Umweltsituation in den Betrieben kontinuierlich

²⁸ Arbeitsmedizin Wien und Unfallverhütungsberichte der Deutschen Bundesregierung; Auskunft

²⁹ Arbeitsgemeinschaft PVC und Umwelt: Wissenswertes über PVC, August 2005

³⁰ AUVA; Angaben zu Arbeitsunfällen; 2005

und nachhaltig zu verbessern. Im Beobachtungszeitraum 2000 bis 2005 konnten die Ausfallstunden um 16 % und die meldepflichtigen Arbeitsunfälle in der gesamten Branche um 27 % gesenkt werden, obwohl die Beschäftigungsquote um 8 % gestiegen ist³¹.



Abbildung 19: Arbeitsunfälle in der Chlorchemie¹¹

Fazit: +

Im Vergleich mit dem Industriedurchschnitt ist die Situation der Arbeitssicherheit in der chemischen Industrie und der Chlorchemie in Europa sehr gut, Programme zur ständigen weiteren Verbesserung dienen zum Ausbau der führenden Position.

³¹ FCIO; Jahresbericht der chemischen Industrie; Wien 2005

3 Vom Compound bis zum Endprodukt

Schwerpunkt auf Verarbeitung in Österreich, Roh-PVC Import aus EU

Polyvinylchlorid (PVC), ein thermoplastischer Kunststoff, wird durch Polymerisation des Monomers Vinylchlorid unter Druck zu PVC-Granulat hergestellt. Diesem werden Zusatzstoffe wie Stabilisatoren, Antistatika, Füllstoffe, Gleitmittel, Schlagzähmodifizierer und für Weich-PVC vor allem Weichmacher zugesetzt. Das Endprodukt erhält durch diese Beigabe von Additiven die gewünschten Eigenschaften. Angeboten werden die PVC-Compounds in zwei Formen: als Granulat oder Pulvermischung. Zu unterscheiden ist zwischen festen - die hauptsächlich für Rohre, Fenster oder Rollläden - und flexiblen Compounds, die unter anderem für Kabel, Fußböden, medizinische Anwendungen oder in der Schuhindustrie eingesetzt werden³². PVC wird z.B. im Spritzguss- und Strangpressverfahren verarbeitet, lässt sich biegen, schweißen, verformen und verschäumen. Das durch Zusatz von Weichmachern hergestellte Weich-PVC dient zur Isolierung und Ummantelung von Drähten und Kabeln, zur Herstellung von Wand- und Betonbelägen, Schläuchen u. a. PVC ist wegen seines hohen Chlorgehalts gegen Chemikalien sehr beständig.

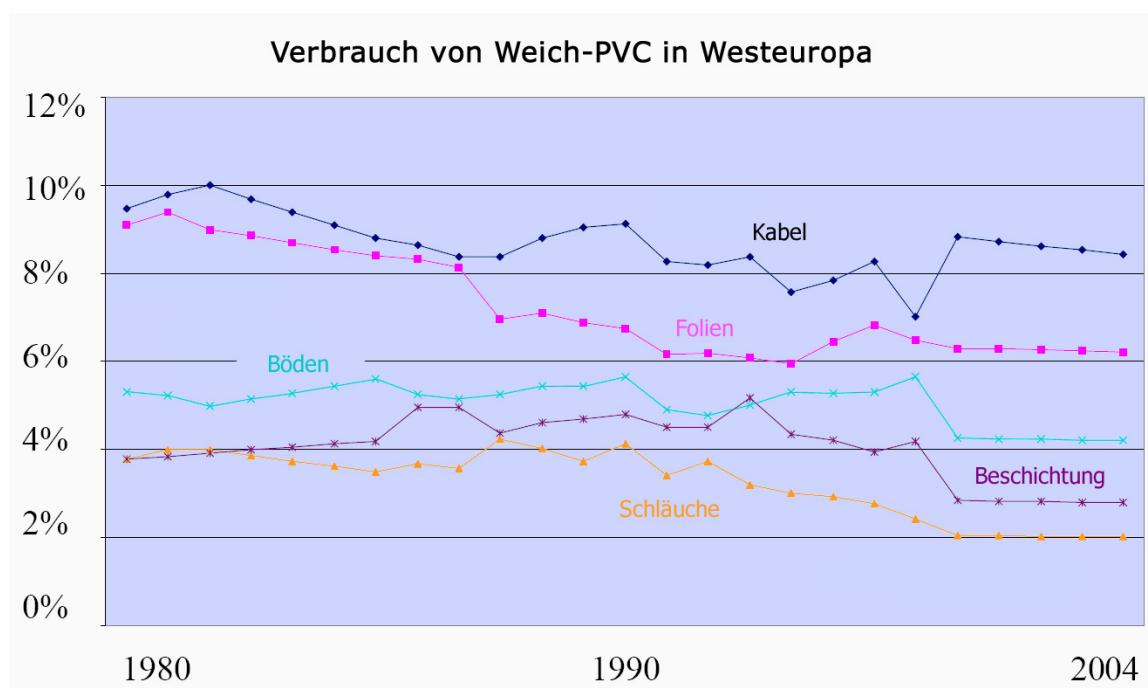


Abbildung 20: Anteile der einzelnen Produkte bei Weich-PVC in W-Europa³³

In Österreich gibt es keine Produktion von PVC-Granulat mehr. Die einzige Anlage der Solvay wurde 1995 geschlossen. Deshalb sind alle in Österreich verwendeten PVC-Produkte entweder aus importiertem PVC-Granulat bzw. importierten PVC-Mischungen hergestellt oder werden als PVC-Produkte direkt importiert. Weich-PVC Produkte machen bei den in Österreich hergestellten Produkten nur mehr etwa 10 % bis 15 % der

³² API Wien; Internetartikel; PVC-Compounds von EVC auf pflanzlicher Basis; http://www.pvc.at/d/news_at_0205.htm; Feb. 2005

³³ European Commission; Life Cycle Assessment of PVC and of principal competing materials; Commissioned, July 2004

Harzverarbeitung aus, dies betrifft vor allem die Bereiche Kabel und Planen (Abbildung 21)³⁴.

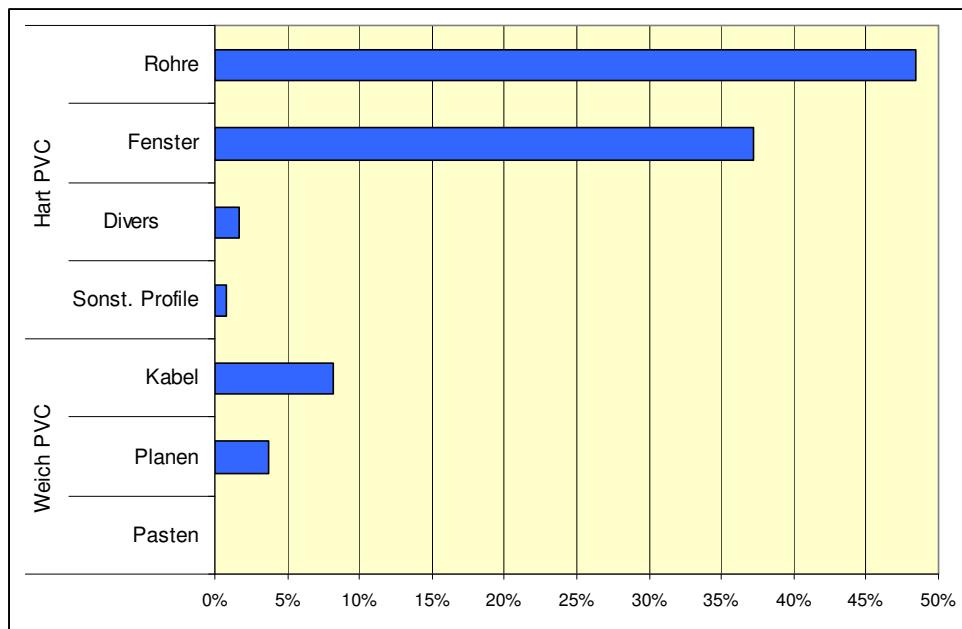


Abbildung 21: Verarbeitung von PVC-Harz in Österreich⁴⁰

Die nachfolgenden Betrachtungen beziehen sich vor allem auf die Situation in Österreich und auf die Herkunftsländer in der EU und Westeuropa, aus denen Vor- oder Fertigprodukte von Österreich bezogen werden.

3.1 Additive allgemein

Ein PVC-Compound benötigt verschiedene Additive, die das Material auf unterschiedliche Art und Weise modifizieren und ihm dadurch einen weiten Anwendungsbereich eröffnen. Die wichtigsten Additive für PVC sind Stoffe zur Verbesserung der physikalischen Eigenschaften wie Temperatur-, Licht- und Wetterbeständigkeit, Zähigkeit, Elastizität und Transparenz, auch Stoffe zur Verbesserung der Verarbeitbarkeit und Farbpigmente. Dies sind Wärmestabilisatoren, UV-Stabilisatoren, Weichmacher, Füllstoffe, Antioxidantien, Farbpigmente, Flammenschutzmittel, Gleitmittel, etc. Weichmacher und Stabilisatoren sind für Weich-PVC spezifisch, die restlichen Additive werden auch bei anderen Kunststoffen verwendet³⁵. Der Anteil der Additive kann bei Weich-PVC bis zu 60 % ausmachen.

³⁴ API und Umweltberatung; Daten über die Anwendung von PVC-Harz in Österreich basierend auf Statistik Austria; pers. Mitteilung

³⁵ UBA-DE, Fraunhofer Institut, Ökopol; Leitfaden zur Anwendung umweltverträglicher Stoffe; Februar 2003

	PVC (rein)	Stabilisatoren	Weichmacher	Füllstoffe	Sonstige
Fenster	80-90%	3-5%	/	3-5%	5-10%
Rohre	95-98%	1-5%	/	/	/
Kabel	40-50%	1-2%	20-30%	30-40%	/
PVC-Bodenbeläge	20-50%	1-2%	15-30%	40-50%	0-10%
PVC-Hartfolien	90-95%	1-2%	/	/	5-10%

Tabelle 3: PVC-Produkte und ihre Zusammensetzung in Deutschland³⁶

Fazit: -

Speziell Weich-PVC entwickelt erst durch Zugabe von Additiven die breite Anwendbarkeit und die technische Eignung. Sowohl die Additive als auch deren Anteil sind in den einzelnen Anwendungsbereichen sehr unterschiedlich, teilweise können sie bis zu 60 % ausmachen und sind für die Betrachtung oft wesentlicher als der Werkstoff PVC selbst. Die Eigenschaften der Additive prägen damit oft die Charakteristik des Produktes.

3.2 Stabilisatoren

Der Compound wird in der Regel bei Temperaturen von 160 bis 200 Grad Celsius verarbeitet. Prozess- und Hitzestabilisatoren sind für die PVC-Verarbeitung notwendig. Sie verleihen dem PVC ausreichende Hitzestabilität für die Verarbeitung, damit sich das Polymer nicht zersetzt. Zusätzlich geben sie dem Fertigartikel die erforderliche Alterungsbeständigkeit während seiner Gebrauchsduer und schützen ihn vor Veränderungen durch Wärme, UV-Licht oder Sauerstoff³⁷.

Für eine Stabilisierung können Blei-, Barium-Zink-, Calcium-Zinkstabilisatoren sowie Calcium-organische und metallfreie Stabilisatoren eingesetzt werden. Cadmiumbasierte Stabilisatoren werden aufgrund einer freiwilligen Selbstverpflichtung der PVC-Branche europaweit seit 2001 nicht mehr eingesetzt. Bei Blei ist der EU-weite Kompletttausstieg jedenfalls bis 2015 vorgesehen³⁸. Der Ausstieg aus Blei wurde bei Weich-PVC Produkten aber bereits in den 80er Jahren begonnen. Die Umsetzung differiert je nach Produktgruppe und Unternehmen. Heute werden in der EU bei Bodenbelägen, Folien und Planen in der Regel keine Bleistabilisatoren mehr eingesetzt⁴¹.

³⁶ AgPU; Produktions- Verbrauchs- u. Abfalldaten für Deutschland unter Einbeziehung der Verwertung; 2004

³⁷ Bodo Möller Chemie GmbH- Offenbach am Main; Prozess- und Hitzestabilisatoren, <http://www.bm-chemie.de/content/de/kunststoffadditive/hitzestabilisator.shtml>

³⁸ Fraunhofer Institut ICT; Technologiestudie zur Verarbeitung von Polyvinylchlorid (PVC); Pfinztal, Mai 2005

Allerdings weist das deutsche Umweltbundesamt 2003 darauf hin, dass die vollständige Substitution des Cadmiums damals noch nicht überall erfolgt war³⁹, was an Importen aus Fernost liegen könnte⁴⁰. Die kurzfristige vollständige Substitution des Cadmiums, die Realisierung der Substitution des Bleis und eine Nichtausweitung des Organozinnverbrauchs werden als notwendig angeführt.

Österreich hat diesen Weg bereits beschritten, der Import von cadmiumhaltigen PVC-Produkten ist verboten, es sind auch keine Organozinn-Verbindungen als Substitute im Einsatz. Der Ausstieg aus der Bleiverwendung ist bei den meisten in Österreich hergestellten Weich-PVC Produkten weitgehend abgeschlossen⁴¹.

Fazit: 0

Stabilisatoren werden dem Compound beigesetzt, um den Kunststoff verarbeitbar und beständig zu machen. In Österreich ist der Ausstieg aus Cadmium abgeschlossen, Blei wird für die meisten in Österreich verwendeten Weich-PVC-Produkte nicht mehr eingesetzt. EU-weit ist der Bleiausstieg im gesamten PVC-Bereich jedenfalls bis 2015 vorgesehen.

3.3 Farbpigmente

Die Farbgebung ist ein wichtiger Teil der Produktgestaltung. Wesentlich bei Farben sind neben den Kosten die Farbintensität und der Farbcharakter sowie deren Dauerhaftigkeit etc. Durch die Selbstverpflichtung zum Ausstieg aus der Verwendung von Blei werden schon derzeit Weich-PVC Produkte in den großen Produktbereichen Folien, Kabel und Bodenbeläge in Europa kaum mehr mit bleihaltigen Pigmenten gefärbt. Generell werden die Mischungen und Dosierungen in geschlossenen Systemen durchgeführt und die Abluft wird gefiltert, sodass keine Belastung des Personals und der Umgebung entsprechend den arbeitsmedizinischen Bestimmungen vorliegt⁴¹.

Fazit: 0

Bei Weich-PVC werden in Europa kaum mehr blei- und chromhaltige Farbpigmente verwendet. In den großen Produktbereichen ist der Ausstieg weitgehend erfolgt. Der komplette Ausstieg aus blei- und chromhaltigen Farben ist bis spätestens 2015 vorgesehen.

³⁹ UBA DE; *Handlungsfelder und Kriterien für eine vorsorgende nachhaltige Stoffpolitik am Beispiel PVC; 14.07.2003*

⁴⁰ BMLFUW; *Gesamtbericht; Behandlungs- und Verwertungswege für PVC-Abfälle; Dezember 2002*

⁴¹ Chemson; *persönliche Mitteilung; 2007*

3.4 Weichmacher

Die Flexibilität von Kunststoffen auf PVC-Basis wird durch die Zugabe von Weichmachern erreicht³⁵. Weichmacher (Plastifikatoren) sind flüssige oder feste organische Stoffe mit geringem Dampfdruck, die Kunststoffen, Lacken, Klebstoffen, Kautschuk u. a. zugesetzt werden, um erhöhtes Formänderungsvermögen, erhöhte elastische Eigenschaften und/oder geringere Härte zu erreichen. Durch Zusatz von Weichmachern wird der thermoplastische Bereich bei niedrigeren Temperaturen erreicht. Hierbei treten die polaren Gruppen des Weichmachers mit den polaren Gruppen des PVC in Wechselwirkung. Dabei verschieben sich die kleinen, beweglichen Weichmacher wie Pole zwischen den Kettenmolekülen des PVC und binden sich an deren Dipole. Durch Auflockerung der Kettenmoleküle werden die gewünschten Eigenschaften wie Dehnung, Weichung und Zugfestigkeit erreicht⁶.

Insgesamt kennt man mehr als 2400 Stoffe, die diese Eigenschaft besitzen. Die wichtigsten Weichmacher sind:

- Phthalate
- Acyclische Di-Karbonsäureester
- Polymerweichmacher
- Phosphate
- Fettsäureester
- Zitronensäureester
- Epoxidweichmacher

Dabei gibt es mehr als 300 unterschiedliche Typen von Weichmachern; 50 bis 100 davon werden auch kommerziell genutzt. 90 % der Weichmacher sind Phthalate und bei einer Jahresproduktion von fast 1 Million Tonnen in Westeuropa sind diese die bei weitem gängigsten Weichmacher. Bei der Bewertung von Alternativen sind neben der technischen Eignung weitere Eigenschaften wie die Gelierzähigkeit (Auswirkung auf die Verarbeitungstemperatur), die Stabilität und die Effizienz als Weichmacher zu berücksichtigen⁴².

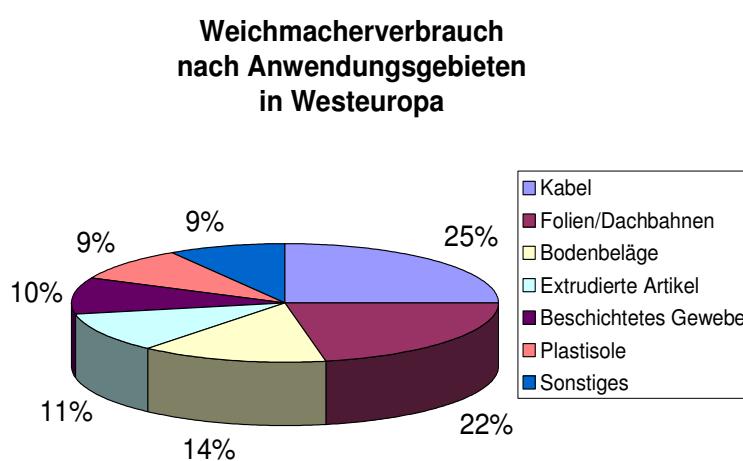


Abbildung 22: Weichmachereinsatz in Westeuropa⁴³

⁴² UBA-DE; Hinweise zur Substitution gefährlicher Stoffe; Kapitel 5.1 Funktion: Weichmacher; Umweltbundesamt Deutschland, 2003

⁴³ http://www.agpu.de/fileadmin/user_upload/information_herunterlade/Weichmacher-Anwendungen%20Westeuropa_230106.lin.pdf

Der Zusatz dieser Substanzen wird als äußere Weichmachung bezeichnet. Nachteilig bei der äußeren Weichmachung ist die Migration der Weichmacher aus der Kunststoffmatrix speziell bei niedermolekularen Weichmachern, was mit der Gefahr der Alterung verbunden ist, die zu einer Verhärtung der Produkte führt.

Fazit:

Bei Weich-PVC wird vor allem die äußere Weichmachung mit Phthalaten verwendet. Trotz des hohen Siedepunktes der verwendeten Substanzen besteht die Gefahr der Auswanderung (Migration) der Weichmacher aus dem Polymer, was zu einer Verhärtung der Produkte einerseits, zu Belastungen von Umwelt und Gesundheit andererseits, in Abhängigkeit der verwendeten Stoffe führen kann.

3.4.1 Phthalate

Die größte Gruppe der verwendeten Weichmacher sind Phthalate - die Dialkylester der ortho-Phthalsäure - mit einer Kettenlänge von 4 bis 10 Kohlenstoffatomen. Phthalate gehören zu den in großen Mengen hergestellten Industriechemikalien, 90 Prozent davon werden Weich-PVC als Weichmacher (in Konzentrationen bis zu über 50 % der Gesamtmasse) zugesetzt und sind in Fußböden, Verkleidungen, Kunststoffbelägen und -artikeln enthalten⁴⁴. Die restlichen Phthalatmengen kommen in vielen anderen Bereichen zum Einsatz, etwa bei der Herstellung von Insektiziden, Körperpflegemitteln, Medikamenten, Polstermöbeln, Klebstoffen und Textilien⁴⁵.

Phthalate sind farblose, schwer flüchtige, fast geruchlose Flüssigkeiten, die in Wasser kaum, in Öl/Fett dagegen gut löslich sind. Sie sind gegen eine Reihe von Einflüssen, z.B. Licht, sehr stabil. Einige von ihnen sind außerdem in gewissem Umfang flüchtig. Der Zusatz von Phthalaten stellt äußere Weichmachung dar, sie gehen mit dem Kunststoff keine chemische Bindung ein und können somit, je nach Einsatzbereich der Erzeugnisse, wieder aus dem Kunststoff herausgelöst werden bzw. allmählich heraus migrieren⁴⁶.

Der wichtigste Vertreter der Phthalate ist das Diethylhexylphthalat, DEHP (Veresterungsprodukt aus o-Phthalsäure mit 2-Ethyl-hexanol, auch als Dioctylphthalat DOP bezeichnet). Es wird heute vielfach durch die unbedenklicheren Alternativen Di-isonylphthalat (DINP) und Di-iso-decylphthalat (DIDP) sowie Di-iso-propylheptylphthalat (DPHP) ersetzt. Dimethyl- (DMP), Diethyl- (DEP) oder Dibutylphthalat (DBP) kommen auch als Bestandteil in Kleb- und Beschichtungsstoffen, Kosmetika oder Körperpflegemitteln und pharmazeutischen Produkten zum Einsatz.

Der Preis der Phthalate liegt bei etwa 1000 €/ t, wobei DINP um etwa 5 bis 10 % teurer⁴⁷ ist als DEHP.

⁴⁴ GEO-LAB UMWELTANALYTIK; Internetartikel; <http://www.geo-lab.de/phthalat.htm>

⁴⁵ UBA;

<http://www.umweltbundesamt.at/umweltschutz/umweltanalytik/schadstoff/pvcweichmacher>

⁴⁶ AssTech Risk Management Service GmbH; Newsletter zum Thema Weichmacher;

http://www.asstech.com/de/downloads/newsletter_Weichmacher.pdf

⁴⁷ AgPU; Marktdaten Weichmacher; Bonn 2006

R	R'	Substanz
-H	H	Phthalsäure PA
-CH ₃	-CH ₃	Dimethyl Phthalat DMP
-(CH ₂) ₃ CH ₃	-(CH ₂) ₃ CH ₃	Dibutyl Phthalat DBP
-(CH ₂) ₃ CH ₃	-CH ₂ C ₆ H ₅	Butyl Benzyl Phthalat BBP
-CH ₂ CH(CH ₂) ₃ CH ₃ CH ₂ CH ₃	-CH ₂ CH(CH ₂) ₃ CH ₃ CH ₂ CH ₃	Di(2-Ethylhexyl) Phthalat DEHP
		Di-isooctyl Phthalat DIOP
		Di-isononyl Phthalat DINP
		Di-isodecyl Phthalat DIDP
		Di-isotridecyl Phthalat DTDP

Tabelle 4: Die wichtigsten Phthalat-Weichmacher⁴⁸

Phthalat	Anwendungen
DMP	Körperpflegemittel, Parfums, Deodorants, pharmazeutische Produkte
DEP	Körperpflegemittel, Parfums, Deodorants, pharmazeutische Produkte
BBzP	PVC (z.B. Transformatoren, Bodenbeläge, Rohre und Kabel, Teppichböden, Wandbeläge), Dichtmassen, (Lebensmittel-)Verpackungen, Kunstleder, Lebensmitteltransportbänder
DBP	<u>Pharmazeutische Produkte (time-release Medikamente, magensaftresistente Verkapselungen)</u> , PVC, Zellulose-Kunststoffe, Dispersionen, Lacke/Farben (auch Nagellacke), Klebstoffe (v.a. Polyvinyl-Acetate), Schaumverhüter und Benetzungsmittel in der Textilindustrie, Körperpflegemittel, Parfums, Deodorants, (Lebensmittel-)Verpackungen
DEHP	PVC (z.B. Rohre, Schläuche und Kabel, Schuhsohlen, Vinyl-Handschuhe, KFZ-Bauteile), Dispersionen, Lacke/Farben, Emulgatoren, Verpackungen
DnOP	PVC-Produkte (wie DEHP)
DINP	PVC (z.B. Bodenbeläge, Rohre, Schläuche und Kabel, Teppichböden, Wandbeläge, Schuhsohlen, KFZ-Bauteile), Dispersionen, Lacke/Farben, Emulgatoren, (Lebensmittel-)Verpackungen
DIDP	PVC (z.B. Bodenbeläge, Rohre und Kabel, Teppichböden, Wandbeläge), Dispersionen, Lacke/Farben, Emulgatoren, (Lebensmittel-)Verpackungen

Tabelle 5: Verwendung wichtiger Phthalsäurediester⁴⁹

⁴⁸ Henrik Jungclas; *Nachweis der Humanbelastung und klinische Relevanz des Weichmachers DEHP sowie ausgewählter Metabolite*; Dissertation; Marburg 2006

⁴⁹ Angerer J., Koch H.M.; *Entwicklung und Anwendung einer analytischen Methode zum biologischen Monitoring umwelt- und arbeitsbedingter Phthalsäurediester-Belastungen*; 2005

3.4.1.1 DEHP

Ca. 97 % des auf dem europäischen Markt befindlichen DEHP wird als Weichmacher in Kunststoffen überwiegend in PVC eingesetzt. 78 % dieser Kunststoffe werden zu Produkten in Innenräumen (Fußbodenbeläge, Vinyltapeten) und 22 % zu Produkten in Außenanwendungen (Schuhsohlen, Planen, Kabelisolierungen) weiterverarbeitet. 3 % des Marktvolumens werden in Farben und Dichtungen eingesetzt.

Diethylhexylphthalat (DEHP) war lange Zeit der wichtigste Vertreter einer ganzen Stoffklasse der Weichmacher auf Phthalatbasis. Als Reaktion auf die kontroversen Diskussionen (siehe auch Abschnitt „Nutzung“) wurde der DEHP-Einsatz in PVC-Produkten, wo dies technisch möglich ist, bereits vorsorglich reduziert. Von 1999 bis 2004 ging der DEHP-Einsatz um ca. 50 % zurück und wurde in vielen Fällen durch DINP und DIDP ersetzt. Den gegenüber DEHP etwa um 10 % teureren Ersatzstoffen DINP und DIDP wird in den Risikoanalysen der EU weitgehende Unbedenklichkeit bescheinigt.

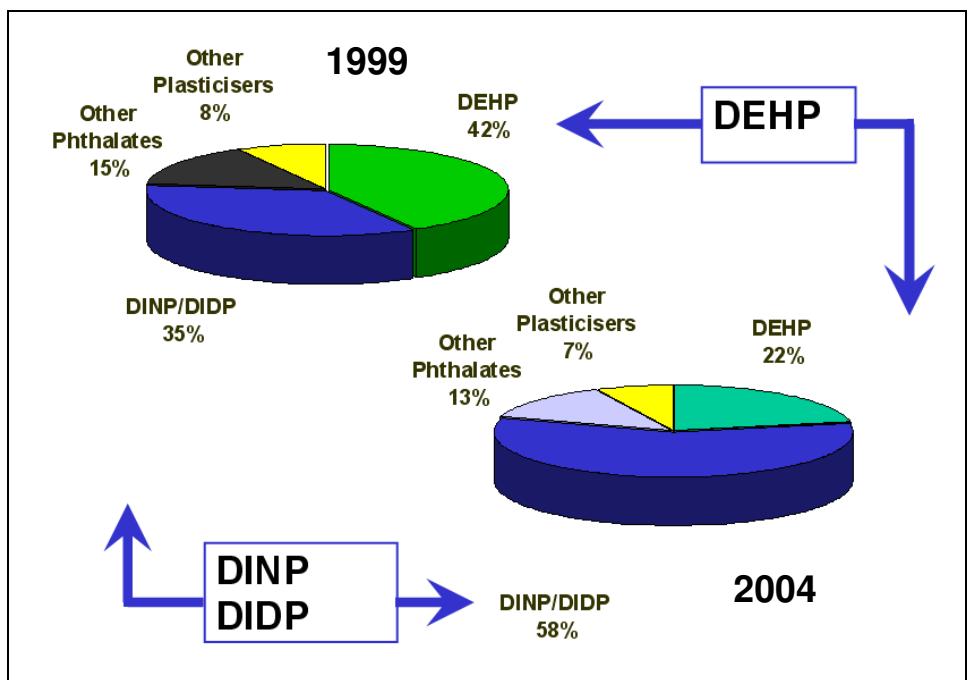


Abbildung 23: Ersatz von DEHP durch DINP und DIDP zwischen 1999 und 2004⁴⁷

3.4.1.2 Alternative Phthalate

Die Phthalate DINP (Diisononylphthalate), DIDP (Diisodecylphthalat) und DPHP (Diisopropylheptylphthalat) stellen mit den um ein bzw. zwei Kohlenstoffatome verlängerten Alkoholen die naheliegendsten Alternativen zum DEHP als Hauptweichmacher dar. Die PVC-Hersteller ersetzten vor allem DEHP durch diese beiden Alternativen. Neben ihrer Verwendung als Weichmacher werden sie auch als Löse- und Hilfsmittel (Stellmittel, Schmieröle, Entschäumer) in der industriellen Praxis vielfältig eingesetzt.

In vielen Produkten erweisen sich DINP und DIDP sogar als vorteilhaft im Vergleich zu DEHP, da sie offensichtlich in der Polymermatrix weniger mobil sind und damit eine bessere Qualität und Haltbarkeit der Produkte ermöglichen. Unterbodenschutz wird mit

DINP und DIDP weichgemacht⁵⁰, während sich DIDP bei Flachdachbahnen hinsichtlich der Produktfunktionalität bewährt hat. Planen für LKW und Veranstaltungszelte werden in Deutschland mit DINP und anderen langkettigen Phthalaten weichgemacht, da DEHP aufgrund seiner höheren Flüchtigkeit die Anforderungen an Haltbarkeit und Witterungsbeständigkeit nicht erfüllt.

Langkettige n-Alkyl-Phthalate werden vereinzelt als Weichmacher in Fahrzeuginnenreinrichtungen zur Vermeidung von Fogging eingesetzt.

Sowohl DINP und DIDP wurden einer Risikobewertung nach der Altstoffverordnung unterzogen. Im Gegensatz zu DEHP wurde unter den gegenwärtigen Bedingungen kein Bedarf für Risikominderungsmaßnahmen für DINP und DIDP identifiziert. Diese alternativen Phthalate sind nach einer toxikologischen und ökologischen Prüfung in Bezug auf Kennzeichnungspflichten durch die EU nicht kennzeichnungspflichtig⁵¹. Die EU-Kommission hat aber bereits vor dem Abschluss der Risk Assessments unter Bezugnahme auf das „Vorsorgeprinzip“ auch für DINP ein Verbot für Babyartikel und Kinderspielzeug, das in den Mund genommen werden kann, erlassen. Die EU-Risikobewertungen zeigen aber keine weiteren Risiken bei DINP und DIDP auf. Aufgrund der zu erwartenden Steigerung der eingesetzten Mengen sollten sich die Preise von DINP und DEHP zukünftig angleichen, ähnliches ist auch für DIDP zu erwarten. Andere Phthalate haben deutlich geringere Produktionsvolumina und sind entsprechend teurer⁴².

3.4.1.3 Umwelt- und Gesundheitsgefährdung in der Verarbeitung durch Phthalate

Phthalate gehen mit dem Kunststoff keine chemische Bindung ein und können somit, je nach Umgebungsbedingungen, wieder aus dem Kunststoff austreten (siehe auch Kapitel 3.4.1). Dies kann sowohl bei der Verarbeitung als auch bei der Nutzung erfolgen. Aus Qualitätsgründen ist der Hersteller aber bemüht, diese Auswanderung von Weichmachern zu minimieren, da sie auch eine Verhärtung oder Versprödung des Materials bedeutet.

Hohe Temperaturen während der Verarbeitung begünstigen die Freisetzung genauso wie hohe Weichmacherkonzentrationen in der Matrix⁴². Die Auswirkungen der Phthalate auf den Menschen sind derzeit noch nicht restlos geklärt (siehe auch Kapitel 4). Nach den wissenschaftlichen Erkenntnissen in den Risikoanalysen der EU nach EEC793/93⁵² für die wichtigsten Phthalate stellt aber der Schritt der Verarbeitung keine Gefahr für Mensch oder Umwelt dar.

Die maximale Arbeitsplatzkonzentration (MAK-Wert) wurde für DEHP zuletzt im Jahr 2002 von der Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe auf 10 mg/m³ festgelegt. Messungen am Arbeitsplatz zeigten, dass die tatsächlichen Konzentrationen durchwegs deutlich niedriger liegen. Die Europäische Union geht davon aus, dass weniger als ein Prozent des gesamten Phthalateintrags aus Produktion und Verarbeitung stammen⁴².

⁵⁰ DOW Chemicals; persönliche Mitteilung

⁵¹ EU Risk Assessment Report for DINP; JRC Ispra 2003

⁵² ECB (European Chemicals Bureau); <http://ecb.jrc.it/>

Fazit: 0

Einigen Phthalaten wird ein Gefährdungspotenzial für Umwelt und Gesundheit zugeschrieben. Allerdings liegt im Zuge der Verarbeitung nur ein geringer Teil der möglichen Freisetzung vor. Es werden auch die Arbeitsplatzkonzentrationen deutlich unterschritten, sodass mit keinen Belastungen durch Phthalate im Zuge der Verarbeitung zu rechnen ist.

3.4.2 Alternative Weichmacher

Als Reaktion auf die kontroversen Diskussionen speziell DEHP betreffend, wurden alternative Produkte forciert. Neben den Phthalaten finden u. a. Zitate, Succinate, Terephthalate, Adipate und polymere Adipate, Sebacate, Acelate, Trimellitate und Cyclohexandicarbonsäureester als Weichmacher für PVC Verwendung.

Zitate sind Ester der Zitronensäure und insbesondere Acetyltributylzitrat (ATBC) wird als Weichmacher in PVC-Produkten verwendet.

ATBC weist im Vergleich zu DEHP eine höhere UV-Beständigkeit, Hitzestabilität und Farbbeständigkeit auf, es migriert schneller in wässrige Medien hinein als DEHP und ist daher für Außenanwendungen nicht geeignet. ATBC ist etwa vier- bis fünfmal teurer als DINP.

Zitate werden im Bereich der Lebensmittelfolien, in Kleinkinderspielzeugen aus PVC, die zum Kauen und Nuckeln gedacht sind, eingesetzt. Ein Test bei PVC-Fußbodenbelägen zeigte, dass die Produkte riechen und weniger stark vergilben, durch den höheren Preis aber schwer absetzbar sind.

Zitate sind biologisch abbaubar und nicht toxisch. Ein weiterer Vorteil von Zitaten ist, dass sie aus nachwachsenden Rohstoffen gewonnen werden können⁵⁴.

Hexamoll® DINCH - Di-(isononyl)-cyclohexan-1,2-dicarboxylat, ein Ester der Cyclohexandicarbonsäure, wird aus DINP durch vollständige Hydrierung des aromatischen Kerns hergestellt. Hierdurch entsteht ein völlig neues Molekül, welches mit DINP zwar noch den veresterten Isononylkohol gleich hat, ansonsten aber in biologischen Systemen andere Eigenschaften zeigt. Hexamoll® DINCH ist z.B. kein Peroxisomenproliferator mehr.

Die technischen Eigenschaften sind denen des DEHP vergleichbar, die Umstellung auf diesen Weichmacher sollte daher mit geringem Aufwand für die Rezepturanpassung verbunden sein.

Hexamoll® DINCH wurde als Neustoff angemeldet, demnach kann davon ausgegangen werden, dass die Risiken bezüglich der beabsichtigten Anwendungen hinreichend untersucht wurden. Während für DEHP ein NOAEL von 4,8 mg / kg bzw./Tag bzgl. Hodentoxizität und entwicklungsschädigender Wirkung festgesetzt wurde, zeigten entsprechende Studien für Hexamoll® DINCH Dosierungen ohne Effekte von 1000 mg/kg bzw./Tag und mehr. Hexamoll® DINCH wurde mit der Richtlinie 2007/19/EG (4. Amendment der 2002/72/EG) von der EFSA auch für den Lebensmittelkontakt zugelassen. Dabei wurde kein spezifisches Migrationslimit festgelegt, nur die Globalmigration ist zu beachten. Migrationsuntersuchungen zeigten, dass die Migration von Hexamoll® DINCH ungefähr um den Faktor 8 geringer ist als jene von DEHP.

Nach den Prüfergebnissen der Hautreizprüfung (OECD 404) ist Hexamoll® DINCH nicht als reizend einzustufen und dementsprechend auch nicht mit R38 zu kennzeichnen

Insgesamt weist diese Alternative erheblich bessere toxikologische Eigenschaften als Phthalate auf⁵³.

Adipate sind Ester der Adipinsäure, insbesondere Bis(2-ethylhexyl)adipat (**DEHA** oder **DOA**) und Di-iso-nonyladipat (**DNA**) werden als Weichmacher in PVC eingesetzt. Im Vergleich zu Phthalaten führen Adipate zu besseren Tieftemperatureigenschaften und geringerer Plastisoleigenschaft.

Adipate dienen vor allem im Bereich der Lebensmittelverpackungen als Alternative zu Phthalaten. Die Migrationsraten aus PVC-Folien in Lebensmitteln liegen allerdings, je nach Fettgehalt, bei DEHA bis zu dreimal höher als bei DEHP. Der Preis für Adipate liegt etwa 30 % über dem von DINP. **DOA** ist ein hocheffektiver Weichmacher für kältebeständige Anwendungen von Weich-PVC.

Adipinsäurepolyester (ASPE) sind mittelviskose Polymerweichmacher auf Basis von Adipinsäure für öl- und fettbeständige Anwendungen von PVC, besonders gut geeignet für die Herstellung von Verpackungsfolien und Fußböden. Sie entsprechen vielen lebensmittelrechtlichen Bestimmungen⁵⁴.

Alkylsulfonsäureester des Phenols zeichnen sich durch höhere Verseifungsbeständigkeit aus und sind somit für Anwendungen, in denen PVC starker Witterung oder scharfen Reinigungs- und Desinfektionsmitteln ausgesetzt ist, geeignet. Durch die gute Gelierfähigkeit können die Verarbeitungstemperaturen gesenkt und die Verfahren beschleunigt werden.

Es wird für Puppenköpfe, Wasserbettfolien und Folien für Swimmingpools eingesetzt. ASPE weist keine akute Giftigkeit auf. Allerdings ist es nicht leicht abbaubar, wodurch man ein Bioakkumulationspotenzial nicht ausschließen kann⁵⁴.

Vertreter der Alkylsulfonsäureester sind gut gelierende, verseifungsbeständige und sehr gut verträgliche Weichmacher und aufgrund von lebensmittelrechtlichen Zulassungen auch für Lebensmittelkontaktanwendungen geeignet.

Disflamoll®: ein Diphenylkresylphosphat - eignet sich besonders als weichmachendes Flammenschutzmittel für PVC.

Fazit: 0

Es gibt mittlerweile zahlreiche Alternativen zu den Phthalaten, die entsprechend ihrer stoffspezifischen Eigenschaften und unter Beachtung der ökologischen und toxikologischen Eigenschaften in den verschiedenen Anwendungsgebieten zur Weichmachung von PVC eingesetzt werden können. Für Hexamoll® DINCH und die Stoffgruppe der Zitate liegen ausreichend Daten vor, die zur Zulassung als Weichmacher für PVC in Spielzeug und im Lebensmittelkontakt führten. Andere Alternativen sind generell noch nicht in dem Ausmaß wie die Phthalate hinsichtlich ihrer Umwelt- und Gesundheitsrelevanz untersucht.

⁵³ F. Welle, G. Wolz, R. Franz - Fraunhofer Institut; Studie über das Migrationsverhalten von DEHP gegenüber einem alternativen Weichmacher, Hexamoll® DINCH, aus PVC Schläuchen in enterale Nahrungslösungen; 2005

⁵⁴ Lanxess Links; <http://www.experts4additives.com/pma/de/products/plasticizers>; 2004

3.4.3 Innere Weichmachung

Neben der als äußere Weichmachung bezeichneten Additivzugabe ist auch die so genannte innere Weichmachung möglich. In diesem Fall wird der Weichmacher im Rahmen einer Copolymerisation eingefügt. Im Gegensatz zur äußeren Weichmachung, wo der Weichmacher nur über Dipol-Wechselwirkungen mit dem Makromolekülen verknüpft ist, wird er bei innerer Weichmachung Teil des Makromoleküls (in dem Fall ein Copolymer). Dadurch bleibt der Kunststoff dauerhaft weich und es kommt zu keinem Ausdiffundieren des Weichmachers. Beispielsweise kann Vinylchlorid mit bis zu 20 Prozent Vinylacetat polymerisiert werden. Andere Zusätze für die Copolymerisation von Vinylchlorid sind Maleinsäure, Vinylether oder Acrylsäuremethylester.

Diese Verfahren sind schon seit langem bekannt, sie haben sich aber wegen der höheren spezifischen Aufwendungen und wegen der geringeren Flexibilität bisher kaum in technischen Anwendungen durchgesetzt.

Fazit: 0

Diese Technologie könnte neben den alternativen Weichmachern eine Chance für die Zukunft sein, derzeit liegen aber keine Anwendungen vor.

3.5 Energiebedarf der Verarbeitung

Die Verarbeitung des Compounds weist vom Energieeinsatz innerhalb der gesamten Produktionskette nur untergeordnete Bedeutung auf. Erwähnenswert ist, dass PVC für bestimmte Anwendungsbereiche bereits bei 150 °C verarbeitet werden kann. Dies liegt unter den üblichen Verarbeitungstemperaturen von Kunststoffen⁵⁵, woraus sich in diesen Fällen energetisch leichte Vorteile ergeben.

Den geringeren Energieverbrauch der Verarbeitung von PVC im Vergleich zu anderen Kunststoffen stellt auch eine von der EU in Auftrag gegebene LCA-Studie zu PVC fest: „Energieverbrauch und Emissionen bei Compoundieren und Verarbeiten von PVC sind innerhalb der Prozesskette relativ niedrig“⁵⁶.

Fazit: 0

Der Verarbeitungsschritt weist vom Energieeinsatz innerhalb der gesamten Produktionskette nur untergeordnete Bedeutung auf.

⁵⁵ Leoni Gruppe; Umwelterklärung, 12.2.2004

⁵⁶ PE Europe GmbH; Ökobilanzierung von PVC und wichtigen Konkurrenzwerkstoffen; Im Auftrag der Europäischen Kommission; April 2004

3.6 Gesundheitsgefährdung am Arbeitsplatz

Bei der PVC-Verarbeitung können Stäube entstehen, die in hohen Konzentrationen bei den betroffenen Arbeitern zu Staublungen führen können. In diesem Bereich hat sich die Situation in den letzten Jahrzehnten in Europa deutlich verbessert. Die Stabilisatoren für Compounds werden nach dem Stand der Technik in nicht staubender Form oder in für Pulverapplikation geeigneten Anlagen verarbeitet²⁰.

Der aktuelle MAK-Wert beträgt 5 mg / m³ in Österreich und Deutschland (in der Schweiz 1 mg / m³) und wird voraussichtlich zukünftig weiter verschärft. Diese Werte werden sowohl in Österreich und Deutschland als auch in der Schweiz eingehalten.

Fazit: 0

Die Verarbeitung erfolgt nach dem Stand der Technik in Europa in nicht staubender Form oder in für Pulverapplikation geeigneten Anlagen, wodurch Arbeitsplatzbelastungen vermieden werden.

4 Die Nutzung von PVC-Produkten

Anwendungen in Österreich und der EU

In diesem Abschnitt wird die Nutzung der Weich-PVC-Produkte in den maßgeblichen Anwendungsbereichen in den EU-Staaten mit Schwerpunkt auf Österreich betrachtet.

4.1 Wesentliche Anwendungsbereiche von PVC-Produkten in Österreich

Weich-PVC Produkte weisen ein breites Anwendungsspektrum auf. Während in Europa anfänglich die kurzlebigen Anwendungen im Verpackungsbereich im Vordergrund standen, liegt mittlerweile auch bei Weich-PVC eine Dominanz der langlebigen Produkte vor, wie Abbildung 24 zeigt⁵⁷.

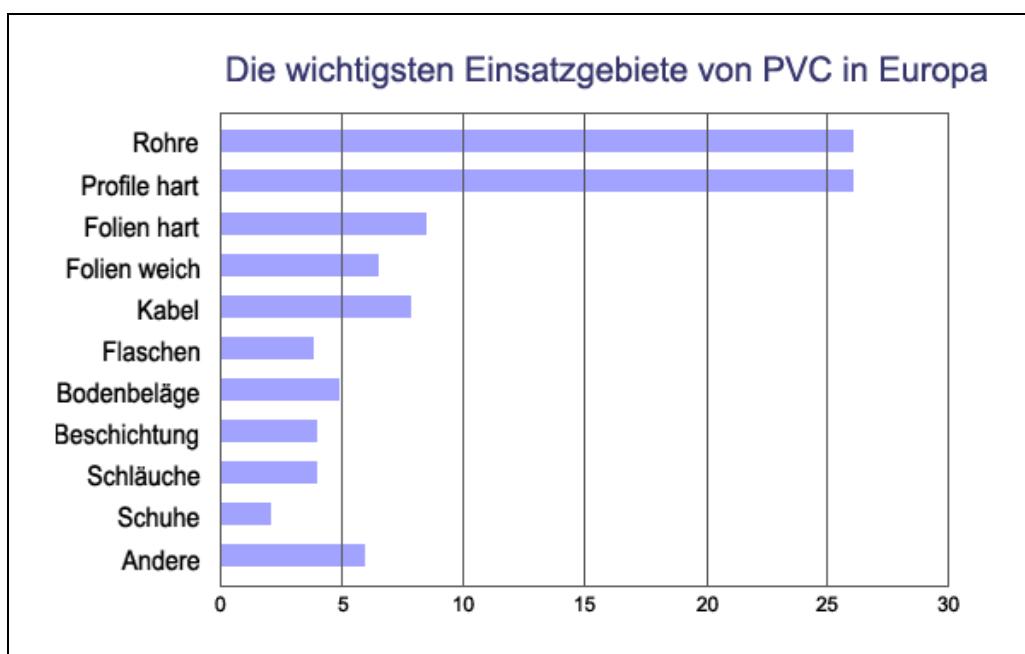


Abbildung 24: Einsatzgebiete von PVC in West-Europa in Prozent⁵⁷

Bei den langlebigen Weich-PVC Produkten spielt ebenfalls der Baubereich mit den Einsatzgebieten elastischer Bodenbeläge, Kabelummantelungen und Folien eine wichtige Rolle (Abbildung 25). Zu den weiteren Weich-PVC Einsatzbereichen gehören Gebrauchsgegenstände, PVC-Pasten und beschichtete Gewebe. Thermoplastische Folien sind vielseitig einsetzbar für Büroartikel, medizinische Produkte und Sicherheitsanwendungen wie Schweißschutzwände oder Reflektionsartikel. Im Automobilbau haben PVC-Pasten für den Unterbodenschutz wesentlich zur längeren Lebensdauer von Fahrzeugen beigetragen. Anwendungen bei Gebrauchsartikel finden sich bei beschichteten Geweben und bei Kunstleder für Schuhe und Taschen.

⁵⁷ AgPU, API, PVCH, VKE; Abbildung nach Daten aus „PVC daten, fakten, perspektiven“; aktualisierte Fassung; Mai 2003

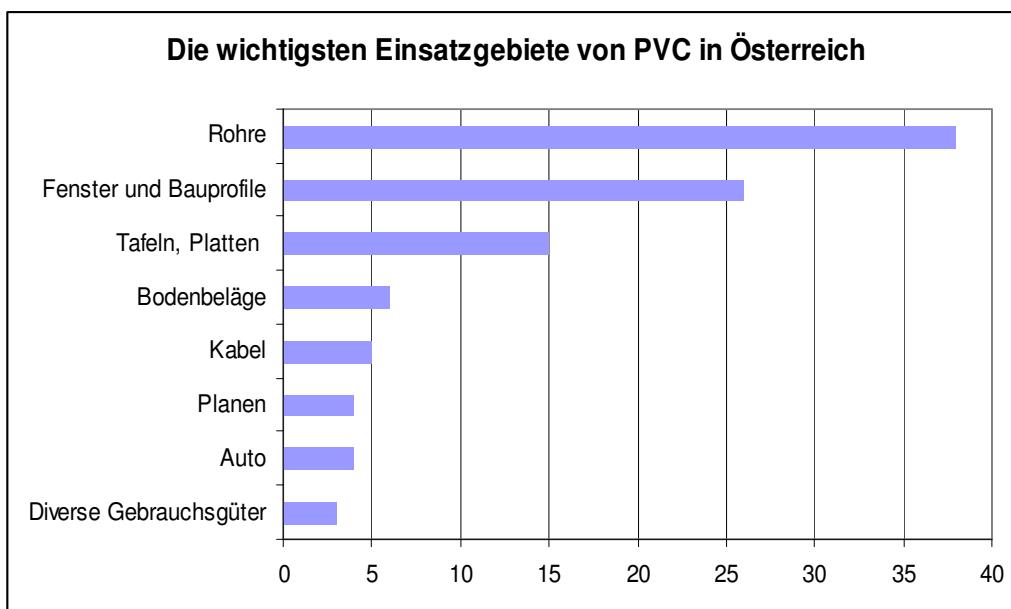


Abbildung 25: Einsatzgebiete von Österreich in Prozent⁵⁷

Fazit: -

Auch bei Weich-PVC-Produkten überwiegen die eher langlebigen Anwendungsbereiche. Eine Vielzahl von Weich-PVC Produkten sind aber kurzlebige Produkte, dies betrifft einerseits medizinische Bedarfsartikel, andererseits findet man größere Mengen als billige Konsumprodukte und im Verpackungsbereich. In diesen kurzlebigen Anwendungsbereichen wird durch die breite Verteilung eine zukünftige gezielte Erfassung erschwert.

4.2 Umwelt- und Gesundheitsbelastung durch Weichmacher

4.2.1 Umwelt- und Gesundheitsbelastung durch Phthalate

In der öffentlichen Diskussion bringt man Phthalate immer wieder mit toxikologischen und ökotoxikologischen Effekten in Verbindung, die Auswirkungen auf den Menschen sind (vor allem bei DEHP) noch nicht restlos geklärt.

Phthalate können bei der Nutzung aus den Produkten langsam aber dauerhaft ausdünsten, herausgelöst oder ausgewaschen werden. Hohe Weichmacherkonzentrationen in der Matrix erhöhen den Austritt. Die Freisetzung von Phthalaten durch Auswaschung oder Abrieb erfolgt überwiegend bei Anwendungen im Freien: etwa aus dem Unterbodenschutz, aus Dachfolien oder aus LKW-Planen. Auch beim Reinigen von PVC-Böden oder beim Waschen PVC-bedruckter Textilien gelangen Phthalate in das Abwasser. In den Kläranlagen lagern sie sich überwiegend am Klärschlamm an. Kommt dieser Klärschlamm auf die Felder, gelangen Phthalate in den Boden. Vereinzelt ließen sie sich sogar im Grundwasser nachweisen. Phthalate sind in der Umwelt unter aeroben Bedingungen biologisch abbaubar, sie können sich aber in wenig durchlüfteten Umweltbereichen wie Böden, Sedimenten etc. anreichern^{58,59,60}. Die Bioakkumulation nimmt allerdings mit steigender Trophiestufe ab^{61,62}.

⁵⁸ N. Scholz et.al.; Biodegradation of DEHP, DBP and DINP; *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* (58, 527)

Bei vielen verbrauchernahen Anwendungen des Weich-PVC, zum Beispiel in Bodenbelägen, Tapeten oder Lebensmittelverpackungen, ist eine Aufnahme von Phthalaten durch den Menschen möglich. Fast bei jedem Menschen sind Phthalate oder ihre Abbauprodukte (Metabolite) im Blut und/oder im Urin nachweisbar.

In Innenräumen spielen Luftbelastungen durch PVC-Produkte aber keine Rolle. Der Weichmacheranteil liegt unter $0,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ Luft und ist daher ebenfalls nicht relevant⁶³. Einmal entwichen, neigen Phthalate dazu, sich an Partikel anzulagern. Nachdem sie fettlöslich sind, reichern sie sich in der Umwelt - insbesondere in Sedimenten - an⁶⁴. Es gibt aber keine Hinweise auf die Akkumulation in Gegenwart von Luft (aerobe Bedingungen) und Licht.

Im Körper werden Phthalate nach der Aufnahme zunächst in der Leber aufgenommen und dort abgebaut, die Metabolite werden vom Körper ausgeschieden, wodurch sich organtypische Gleichgewichtskonzentrationen bilden. Die akute Warmblütotoxicität ist relativ gering, diskutiert werden mögliche endokrine Wirkungen der Phthalate⁴⁴, hierfür stehen aber endgültige Befunde noch aus.

Kanzerogenität von Phthalaten wurde für den Menschen bislang nicht nachgewiesen und ist nach derzeitigem Stand der Wissenschaft nicht relevant. Die Phthalate DEHP, DINP, DIDP und DPHP wurden in der EU nicht als kanzerogen eingestuft⁶⁵. Bei DEHP wurde, allerdings nur im Tierversuch, Kanzerogenität bei sehr hohen Dosierungen festgestellt.

Auf Grund kontrovers diskutierter Umwelt- und Gesundheitsgefährdungspotenziale wird von Umweltinstitutionen der schrittweise Ersatz von Weich-PVC Produkten durch andere Werkstoffe gefordert⁶⁶. Die Kunststoffkommission des deutschen Bundesinstituts für Risikobewertung empfiehlt, keine DEHP enthaltenden Folien aus Weich-PVC, die in Kontakt mit Lebensmitteln kommen können, zu verwenden. Mit Ausnahme von DEHP liegt nach den Risikobewertungen der EU kein Bedarf zu Risiko-Minderungsmaßnahmen bei den alternativen Phthalaten vor. Trotzdem wird nach dem Vorsorgeprinzip mit legistischen Mitteln der Kontakt des Menschen zu dieser Stoffgruppe möglichst reduziert.

In Österreich sind Phthalate in Lebensmittelverpackungen - außer in wenigen Ausnahmen - verboten. Österreich hat auch als eines der ersten Länder eine Verordnung erlassen, die den Phthalateinsatz bei Spielzeug für Kinder unter drei Jahren

⁵⁹ N. Scholz; *Ecotoxicity and biodegradation of phthalate monoesters; Chemosphere* 53,(2003),921

⁶⁰ EU Risk Assement Report DEHP

⁶¹ C. Mackintosh; *Distribution of phthalate esters in a marine aquatic food web; Environ. Sci. & Technol; Accept; Dec 22th 2003*

⁶² F. Gobas et.al.; *Bioaccumulation of phthalate esters in aquatic foodwebs; The Handbook of Environmental Chemistry Vol 3, Part Q (201); 2003*

⁶³ Thölmann D.; *Emissionen von Phthalaten aus Weich-PVC; Proc. Achema-Konferenz; 2006*

⁶⁴ <http://www.umweltbundesamt.at/umweltschutz/umweltanalytik/schadstoff/pvcweichmacher>

⁶⁵ International Agency for Research on Cancer (IARC); *Technical Report on some Industrial Chemicals; Volume 77; Feb. 2000*

⁶⁶ UBA DE; *Presse-Information; Phthalate – nützliche Weichmacher mit unerwünschten Eigenschaften; Februar 2007*

verbietet⁶⁷. Für Kleinkind-Spielzeug, das bestimmungsgemäß in den Mund genommen wird, wurde der Einsatz der Phthalate generell verboten, da es keine zuverlässige Messmethode gab, die Migration der Phthalate und damit die mögliche Belastung der Kinder zu messen. Inzwischen liegt aber eine vom Europäischen Chemikalienbüro ECB validierte Methode vor, das Verbot des Einsatzes von DINP und DIDP bezieht sich aber vor allem auf das Vorsorgeprinzip (siehe auch Kapitel 4.5.2).

Fazit: >

Bei der Verwendung von Weichmachern ist deren Freisetzung aus Weich-PVC grundsätzlich nicht zu verhindern, Weich-PVC ist zwar nicht die einzige, aber doch die bedeutendste Emissionsquelle von Phthalaten.

Der meist angewendete Weichmacher war lange Zeit DEHP, bis der Verdacht der Fortpflanzungsschädigung und die darauf aufbauende Kennzeichnungspflicht zur verstärkten Substitution durch Alternativen führte. DEHP wird derzeit bereits vielfach durch gesundheitlich unbedenkliche Alternativen ersetzt. Weiterer Reduktionsbedarf ist in jenen Einsatzbereichen, bei denen die Aufnahme in den Körper möglich ist, gegeben.

Alternative Phthalate (vor allem DINP, DIDP und DPHP) zeigen nach den Risikoanalysen der EU kein Risikopotenzial für die Umwelt und die menschliche Gesundheit. Trotz der positiven Ergebnisse der Risk Assessments für DINP und DIDP wird in einigen Anwendungsbereichen die Anwendung dieser Phthalate unter Bezug auf das Vorsorgeprinzip verboten, damit wird die derzeit laufende Substitution gegen unbedenkliche Alternativen zu Phthalaten forciert.

Es steht für die Weichmachung von PVC bereits eine Vielzahl von alternativen Weichmachern zur Verfügung, bei denen allerdings die toxikologischen und die technischen Eigenschaften noch nicht in gleichem Ausmaß bekannt sind. Daher erscheint der Einsatz der alternativen Phthalate entsprechend den gesetzlichen Gegebenheiten, die eine Reduktion der Aufnahme durch den Menschen zum Ziel haben, vertretbar, bis die Abklärung der Eigenschaften der phthalatfreien Weichmacher abgeschlossen ist.

⁶⁷ Umweltbundesamt Österreich; Pressemeldung;

http://www.umweltbundesamt.at/presse/lastnews/newsarchiv_2004/news040401; 2004

4.2.1.1 DEHP

Je nach Einsatzbereich wird DEHP aus Produkten während des Gebrauchs im Laufe der Zeit freigesetzt. Die mittlere jährliche Verlustrate wird mit maximal 6 % des Marktvolumens angegeben.

Lebenszyklusschritt	Freisetzung in t/a	% vom Marktvolumen
Synthese	700	0,15
Verarbeitung	700	0,17
Gebrauch innen	1.800	1,9
Gebrauch außen	7.100	
Altprodukte	17.800	3,75
Abfallbehandlung und Deponie	100	< 0,1

Tabelle 6: Freisetzung an DEHP in der EU bezogen auf ein Marktvolumen von 480.000 t/a⁴²

Hinsichtlich der Gesundheitsgefährdung erfolgt die Aufnahme von DEHP (Diethylhexylphthalat), dem bekanntesten Weichmacher, vorrangig über Lebensmittel und - wegen der geringen Flüchtigkeit - kaum über die Raumluft und liegt unter 30 µg pro kg Körpergewicht und Tag. Eine größere Weichmacheraufnahme wurde nur im medizinischen Bereich (vor allem über PVC-Beutel und Schläuche bei der Dialyse) beobachtet.

Studien über den DEHP Gehalt im Hausstaub von deutschen Haushalten zeigen Konzentrationen von 400 bis 700 mg DEHP pro kg Staub. Im Trinkwasser werden üblicherweise Gehalte bis 1 µg / l DEHP, vereinzelt deutlich höhere Werte gefunden. Im Vordergrund einer gesundheitlichen Gefährdung durch DEHP stehen nach neuesten Erkenntnissen die Entwicklungs- und Reproduktionstoxizität sowie Störungen des Hormonkreislaufs (endocrine disruption). Die kanzerogene Wirkung, die in früheren Tierversuchs-Studien gefunden wurde, steht aufgrund der mangelnden Übertragbarkeit des tierischen Wirkmechanismus auf den Menschen nun nicht mehr im Vordergrund⁶⁸.

Epidemiologische Daten zur Wirkung von DEHP auf den Menschen sind vor einigen Jahren erhoben worden. So wird in einer schwedischen Studie (Bornehag et al⁶⁹) mit erhöhter Konzentration von DEHP im Hausstaub ein Anstieg von Asthma bei Kindern berichtet. Die Studie kommt dabei zum Ergebnis, dass PVC-Kunststoffe und Textilien in Innenräumen für Atemwegserkrankungen verantwortlich seien. Es konnten aber keine Korrelationen zwischen der DEHP-Konzentration im Hausstaub und jener der DEHP-Abbauprodukte im Urin gefunden werden⁷⁰. Von Seiten der Industrie wird mit einer Stellungnahme des dänischen Asthma- und Allergieverbandes argumentiert, nach dem in der Interpretation der Ergebnisse Ursache und Wirkung vertauscht wurden. Generell raten Ärzte Eltern von Allergie-disponierten Kindern zu glatten Bodenbelägen, die oft PVC-Böden sind, ohne dass diese die Allergie ausgelöst hätten.

⁶⁸ IARC (Int. Agency for Research on Cancer); Technical Report on some industrial chemicals; Vol 77; Feb. 2000

⁶⁹ C G Bornehag, J Sundell; C J Weschler, T Sigsgaard; B Lundgren, M Hasselgren, L Hagerhed-Engman; The association between asthma and allergic symptoms in children and phthalates in house dust: a nested case-control study; Am. J. Public Health 89 188-192 ; 1999

⁷⁰ Becker et.al.; DEHP metabolites in urine of children and DEHP in house dust; Int. Hyg. Environ. Health 207; (409); 2004

Die meisten Befunde stützen sich jedoch nach wie vor auf Tierversuche, die hauptsächlich mit Ratte oder Maus durchgeführt wurden⁷¹. Aufgrund toxikologischer Untersuchungen mit Ratten und Mäusen werden die Phthalate DBP, BBP und DEHP als reproductionstoxisch (Kategorie 2) eingestuft. Ihnen liegen klar definierte Grenzdosierungen zugrunde, unterhalb derer für Mensch, Umwelt und Tier kein Risiko besteht. Die Risiko-Analysen der EU belegen diese Aussage. Die Fakten werden sehr kontroversiell betrachtet und daher laufen seit mehreren Jahren weitere Risikoabschätzungen innerhalb der EU, sie haben bei DEHP bis jetzt aber noch zu keinem endgültigen Urteil geführt.

Laut dem Umweltbundesamt in Deutschland wurde in einer Studie der Universität Erlangen ein Konnex zwischen DEHP und dem Hormonhaushalt des Menschen hergestellt. Dieser sei mitverantwortlich für den seit Jahrzehnten beobachteten Rückgang der Spermienzahl⁶⁷. Laut Bundesinstitut für Risikobewertung sind Maßnahmen zur Reduktion des Kontakts mit DEHP notwenig⁷². Laut der oben erwähnten Studie der Universität Erlangen soll die Exposition der Bevölkerung mit Phthalaten wesentlich größer als bisher angenommen sein. Es werden aber keine Risiken konstatiert.

DEHP wurde entsprechend der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie als einer von 33 prioritären Stoffen für Maßnahmen auf europäischer Ebene kategorisiert.

Fazit: !

Da eine Gesundheitsgefährdung nach vorliegenden Studien nicht ausgeschlossen werden kann, ist ein Reduktionsbedarf bei DEHP in Einsatzbereichen, bei denen die Aufnahme in den Körper möglich ist, gegeben. Die Substitution von DEHP, also gesundheitlich unbedenkliche Alternativen, sollte in diesen Anwendungsbereichen forciert werden.

Eine Ausnahme bildet die Herstellung von Blutbeuteln wegen der Vorteile der konservierenden Wirkung von DEHP.

4.2.1.2 Alternative Phthalate

Die PVC-Hersteller ersetzten mittlerweile vor allem DEHP teilweise durch DINP und DIDP. Diese Phthalate sind nicht als gefährliche Stoffe eingestuft. Beim Ersatzstoff DINP liegt innerhalb der Wissenschaft Konsens über die Unbedenklichkeit vor. Die EU-Risikobewertungen zeigen keine weiteren Risiken bei DINP und DIDP auf, allerdings ist bei DIDP die Unbedenklichkeit bei Spielzeug eingeschränkt. Die EU-Kommission hat aber bereits vor Abschluss der Risikobewertungen unter Bezugnahme auf das „Vorsorgeprinzip“ auch für DINP ein Verbot für Babyartikel und Kinderspielzeug, das in den Mund genommen werden kann, erlassen.

Das anzunehmende Umweltverhalten von DINP und DIDP wird als bedenklich eingestuft. Sie stehen im Verdacht, sich in Organismen anzureichern und eine lange Lebensdauer im Boden und in Sedimenten aufzuweisen. Studien belegen zwar die Anreicherung in Böden und Sedimenten, die Bioakkumulation nimmt allerdings mit steigender Trophiestufe ab. Da die Freisetzung der Phthalate aus Weich-PVC

⁷¹ Markus Binder, Herbert Obenlan; *Literaturstudie zum Vorkommen und zur Expositions- und Risikoabschätzung von DEHP im Innenraum; im Juli 2004*

⁷² BfR; *Pressemitteilungen vom 23.07.2003 und 13.08.2003*

grundlegend nicht zu verhindern ist, wird der schrittweise Ersatz von Phthalaten empfohlen⁷⁹.

Fazit: >

Die verwendeten alternativen Phthalate sind nach den Risikoanalysen für die Gesundheit weitgehend unbedenklich. Ihre Anwendung wird unter Bezugnahme auf das „Vorsorgeprinzip“ in einigen Anwendungsbereichen aber eingeschränkt. Bei den verbleibenden Anwendungsbereichen ist keine Gesundheitsgefährdung anzunehmen, Akkumulierungspotenzial in der Umwelt betrifft vor allem Böden und Sedimente, die Bioakkumulation nimmt allerdings mit steigender Trophiestufe ab. Da einige phthalatfreie Weichmacher noch nicht vollständig auf ihre Umwelt- und Gesundheitsrelevanz untersucht sind, erscheint ein Einsatz der alternativen Phthalate bis zum Vorliegen endgültiger Ergebnisse vertretbar.

4.2.2 Umwelt- und Gesundheitsbelastung durch alternative Nicht-Phthalate

Für die alternativen Nicht-Phthalat-Weichmacher liegen vor allem für Zitate und Hexamoll® DINCH keine Hinweise auf negative Gesundheits- oder Umweltauswirkungen vor.

Allerdings wird bei Zitaten die zugrunde liegende Datenlage teilweise als unzureichend auf Grund ihres Alters eingestuft. Die Frage eines sensibilisierenden Potenzials von Zitaten konnte noch nicht endgültig geklärt werden, eine derartige Wirkung wurde bei ATBC (Acetyltributylzitrat) allerdings nicht beobachtet.

Bei den Adipaten zeigen sich hohe Migrationsraten und im Hinblick auf die Umweltrelevanz ein Risikopotenzial bei der aquatischen Toxizität bzw. bei Trimellitataten erhöhtes Persistenzvermögen in der Umwelt.

Fazit: 0

Für Zitate und Hexamoll® DINCH liegen ausreichend Daten für deren Unbedenklichkeit vor, die zu deren Zulassung auch in sensiblen Produktbereichen führten. Allerdings ist auch bei einigen phthalatfreien Weichmachern aufgrund unzureichender Datenlage Umwelt- und Gesundheitsgefährdung nicht generell auszuschließen.

4.3 Umwelt- und Gesundheitsgefährdung durch Stabilisatoren

Grundsätzlich können bei Weich-PVC-Produkten Stabilisatoren während der Nutzung freigesetzt werden. Allerdings werden bei Weich-PVC kaum bleihaltige Stabilisatoren verwendet, sondern Mixed-Metal-Systeme und metallfreie Systeme, bei denen kaum Gefährdung vorliegt. Bei Kontakt mit Lebensmitteln oder medizinischen Produkten ist die Verwendung bleihaltiger Zusatzstoffe bereits seit vielen Jahren verboten.

Bedenkliche Produkte können aber über den Import von außerhalb Europas nach Österreich kommen, hier würden Herkunftsdeklarationen durch die Inverkehrsetzer eine Lösung darstellen.

Fazit: 0

Bei Weich-PVC Produkten ist eine Freisetzung von Stabilisatoren während der Nutzung nicht ganz auszuschließen. Es werden bei Weich-PVC aber keine cadmium- und kaum mehr bleihaltige Stabilisatoren in Europa verwendet.

4.4 Umwelt- und Gesundheitsgefährdung durch Farbpigmente

Weich-PVC-Produkte werden kaum mehr mit bleihaltigen Pigmenten gefärbt. Auch wenn von einem möglichen Austritt während der Nutzungsphase ausgegangen wird, ist wegen des Verzichts auf Bleipigmentstoffe keine Belastung der Nutzer gegeben.

Bedenkliche Produkte können aber über den Import von außerhalb Europas nach Österreich kommen, hier würden Herkunftsdeklarationen durch die Inverkehrsetzer eine Lösung darstellen.

Fazit: 0

Durch die Substitution von bleihaltigen Pigmenten liegt keine nennenswerte Belastung der Nutzer bei Produkten europäischer Herkunft vor.

4.5 Additive in einzelnen Produktgruppen**4.5.1 Lebensmittelverpackungen**

Bei Lebensmittelverpackungen spielen Stabilisatoren und Weichmacher eine große Rolle. Diese müssen so gewählt werden, dass sie nicht in Lebensmittel migrieren können bzw. nicht schädlich sind. Laut API PVC- und Umweltberatung GmbH wird Weich-PVC für Lebensmittelverpackungen mit Kalzium-Zink-Verbindungen stabilisiert, als Weichmacher kommen zum Großteil DOA bzw. HEXAMOLL® DINCH zum Einsatz⁷³. Weiters würden „ausschließlich Rohstoffe verwendet, die für den direkten Kontakt mit Lebensmitteln zugelassen sind und die die Einhaltung der vorgeschriebenen Migrationswerte von Stoffen aus der Folie auf die Lebensmittel garantieren“.

Allerdings kommt das Bundesamt für Risikoabschätzung (BfR) in seiner Expositionsabschätzung zu dem Schluss, dass die tägliche tolerierbare Dosis, also die gesundheitlich unbedenkliche Aufnahmemenge pro Tag, überschritten werden kann. Die geschätzte tägliche Phthalataufnahme ist besonders im Hinblick auf die mögliche Gefährdung von Kindern nicht vertretbar. Die Bewertung erfolgte auf der Grundlage von Untersuchungsergebnissen des Chemischen und Veterinäruntersuchungsamtes Stuttgart aus, das eine erhöhte Konzentration an den Phthalaten DEHP, Di-isonylphthalat (DINP) und Di-isodecylphthalat (DIDP) in Pesto, Pastasaucen, Dressings und in Öl eingelegtem Gemüse aus Gläsern gemessen hat. Das BfR empfiehlt der Industrie, auf die Verwendung von Phthalaten in Dichtmassen von Deckeln, die für fetthaltige Lebensmittel bestimmt sind, zu verzichten und stattdessen

⁷³ API PVC- und Umweltberatung GmbH; PVC Produktinformation Nr. 13; Dez. 2002

weniger bedenkliche Ersatzsubstanzen zu verwenden. Entsprechend der BfR-Kunststoffempfehlung zu weichmacherhaltigen Hochpolymeren sollten Beschichtungen, Folien oder Tuben aus Weich-PVC, die Phthalate enthalten, nicht in Kontakt mit fetthaltigen Lebensmitteln verwendet werden. Diese Empfehlung wurde bei der europäischen Gesetzgebung mit der 2007/19/EG (plastic materials in contact with food, 4. Änderung) inzwischen umgesetzt. Die Industrie hat mit dem Einsatz alternativer Weichmacher beispielsweise DEHA, einem Adipinsäure-bis-2-ethylhexylester, der als Weichmacher für Lebensmittelverpackungen zugelassen ist, reagiert. Allerdings zeigt eine Untersuchung von Stiftung Warentest im Jahr 2005⁷⁴ von 26 verpackten Käsesorten zwei stark und acht deutlich über der Migrationsgrenze liegende mit DEHA belastete Proben. Von Industrievertretern wird die Aussagekraft dieses Ergebnisses bezweifelt, da es einen Einzelfall unter unklaren Rahmenbedingungen darstellt.

Als geeigneten Weichmacher für Lebensmittelfolien nennt das Fraunhofer-Institut Hexamoll® DINCH. Der Vorteil liegt demnach in der 8-fach geringeren Migration in fetthaltige Lösungen als DEHP. Hexamoll® DINCH wurde mittlerweile mit der Richtlinie 2007/19/EG (4. Amendment der 2002/72/EG) von der EFSA für den Lebensmittelkontakt zugelassen.

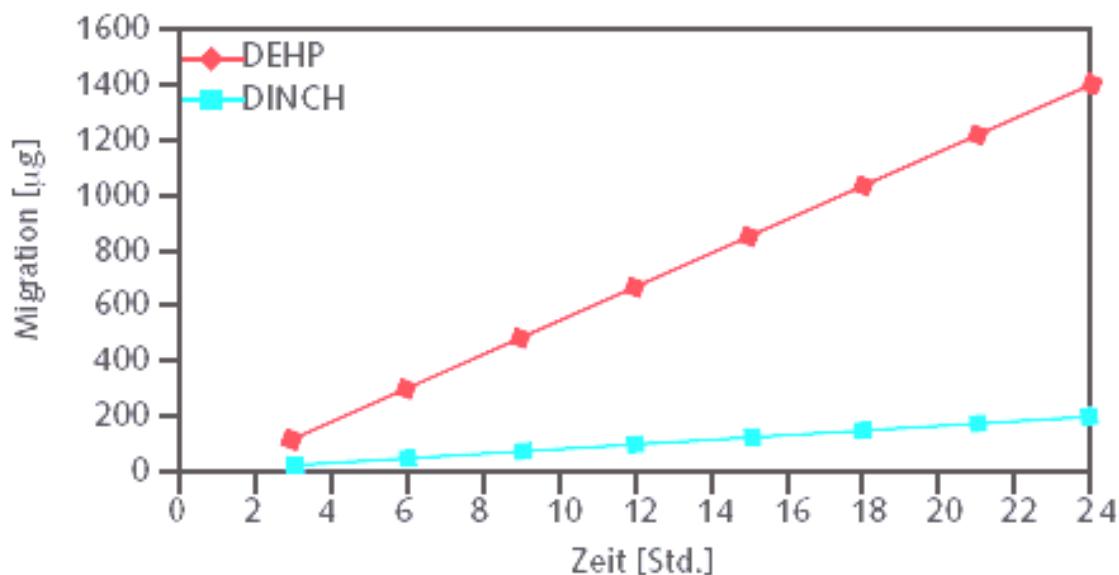


Abbildung 26: Kumulierte Migration der Weichmacher unter Applikationsbedingungen⁷⁵

Auch Zitate werden als Weichmacher bei Lebensmittelfolien verwendet und treten dort mit Adipaten wegen ihrer geringeren Migrationsraten in Wettbewerb. Zitate sind biologisch abbaubar und nicht toxisch, allerdings sind die Untersuchungen teilweise schon veraltet und würden den heutigen Anforderungen nicht mehr entsprechen⁷⁶.

Fazit: 0

⁷⁴ Stiftung Warentest; Rückstände aus Verpackungen; Da geht was rein; Test auf Essen und Trinken, 03/2005

⁷⁵ Welle et. al.; Migration von Weichmachern aus PVC-Schläuchen in Nahrungslösungen; Pharma International 3 (17), 2005

⁷⁶ Umweltbundesamt Berlin; Leitfaden zur Anwendung umweltverträglicher Stoffe, Teil 1; Feb 2003

Durch die gute Löslichkeit von Phthalaten in fetthaltigen Substanzen und die Unsicherheit bezüglich der humantoxischen Eigenschaften der Weichmacher werden in Österreich (mit einzelnen Ausnahmen) keine Phthalate eingesetzt. Bei den zugelassenen Ersatzstoffen scheinen vor allem HEXAMOLL® DINCH und Zitate unbedenklich.

4.5.2 Kinderspielzeug

In der EU dürfen seit 2007 die Phthalate DEHP, DBP und BBP weder in Kinderspielzeug noch in Babyartikeln eingesetzt werden (2005/84/EG). Als Ersatzstoffe werden Zitate (ATBC) und Hexamoll® DINCH eingesetzt, die derzeit keinen Anlass zu Sicherheitsbedenken geben. ATBC wird als Alternative zu den verbotenen Phthalaten in Kleinkinderspielzeugen aus PVC, die zum Kauen und Nuckeln gedacht sind, verwendet. Für die Anwendung in Kleinkinderspielzeugen wird es überwiegend nach Asien exportiert. Auch in anderen Spielzeugen, z.B. in aufblasbaren Bällen und Schwimmflügeln, werden Phthalate durch Zitate ersetzt. Bei den Zitraten ist die Frage eines möglichen, sensibilisierenden Potenzials noch nicht endgültig geklärt. Insgesamt erscheinen sie aber als geeignete Alternative für die Weichmachung in Kinderspielzeugen, die in den Mund genommen werden⁷⁶.

DINP, DIDP und DNOP können in Kinderspielzeugen und Babyartikeln eingesetzt werden, die von Kindern nicht in den Mund genommen werden können. Der Einsatz dieser Phthalate wurde nicht wegen ihrer toxikologischen Eigenschaften, sondern auf Grund des Vorsorgeprinzips begrenzt.

Fazit: 0

Durch Verbot der kennzeichnungspflichtigen Phthalate DEHP, DBP und BBP in diesem Bereich, die Begrenzung der alternativen Phthalate auf Grund des Vorsorgeprinzips und dem Einsatz von phthalatfreien Ersatzstoffen wie Zitate und HEXAMOLL® DINCH in sensiblen Anwendungsbereichen ist keine Gefährdung mehr anzunehmen.

4.5.3 Medizinprodukte und DEHP

Im Bereich der Medizinprodukte zeigen sich die Diskrepanzen in den Ansichten. Die Vorteile von Weich-PVC liegen in der Sauerstoffdurchlässigkeit und dem sehr niedrigen Allergiepotenzial bei Kälte- bzw. Hitzestabilität, weiters in seiner Flexibilität und der guten Sterilisierbarkeit. Bereits im Dezember 2000 erklärte die schwedische Gesundheitsbehörde Weich-PVC als geeignet für den medizinischen Bereich. Ausschlaggebend war, dass der Nutzen für die Patienten höher liegt als eventuelle Risiken. Dies wird auch vom deutschen Bundesinstitut für Arzneimittel und Medizinprodukte ähnlich beurteilt. So heißt es in einer Pressemitteilung vom 28.01.2005, dass sich PVC mit DEHP wegen seiner günstigen Materialeigenschaften für verschiedene medizinische Anwendungen außerordentlich bewährt habe⁷⁷. DEHP hat dabei den Vorteil ein sehr guter Konservierungsstoff für rote Blutkörperchen zu sein. Daher gibt es technisch gesehen keine bessere Alternative für zum Beispiel Blutkonserven.

⁷⁷ Bundesinstitut für Arzneimittel und Medizinprodukte; März 2005; http://www.bfarm.de/cln_043/nn_421158/DE/Presse/mitteil2005/pm03-2005.html__nnn=true

Problematisch ist allerdings die Migration von Weichmachern während der medizinischen Behandlung, was zum Beispiel aus der Beobachtung von Dialysen bekannt und daher immer wieder Gegenstand medizinischer Untersuchungen ist. Dazu hat das wissenschaftliche Komitee für Medizinprodukte (Scientific Committee for Medicinal Products and Medical Devices, SCMPMD) in seiner Stellungnahme vom 17. Oktober 2002 festgestellt, dass momentan kein alternatives Material empfohlen werden kann, da die Alternativen noch nicht vollständig bewertet sind. Eine neue Bewertung der Datenlage zu DEHP und Alternativen in Medizinprodukten wird derzeit in der EU vom wissenschaftlichen Ausschuss für neu auftretende und neu identifizierte Gesundheitsrisiken (SCENIHR) ausgearbeitet und soll bis Ende Mai 2007 veröffentlicht werden.

Allgemein liegt bei Medizinprodukten eine andere Situation vor als bei Kinderspielzeug oder Kosmetika. Das deutsche Bundesinstitut für Arzneimittel und Medizinprodukte hat 2005 dazu Stellung genommen: „Zahlreiche Medizinprodukte sind überlebenswichtig, und von ihrer Qualität hängt auch die Qualität der medizinischen Versorgung ab. Die Auswahl der Materialien, aus denen das Medizinprodukt hergestellt wird, ist dabei ein wesentlicher Aspekt. PVC mit DEHP hat sich wegen seiner günstigen Materialeigenschaften für verschiedene medizinische Anwendungen außerordentlich bewährt. Gleichermassen geeignete DEHP-freie Alternativen stehen noch nicht bei allen Produkten zur Verfügung“. Es gibt zurzeit einige Ersatzprodukte, die andere Weichmacher wie Zitate, Benzoate, Trimellitate, Adipate oder DINCH verwenden, jedoch treten auch diese Additive während der medizinischen Behandlung aus dem Produkt aus.

Die Vielschichtigkeit des Einsatzes von Kunststoffen in der Medizin zeigt der folgende Sachverhalt. Spenderblut wird im Allgemeinen in verschiedene Fraktionen getrennt gelagert: Das Blutplasma wird bei -30 °C in DEHP-weichgemachten PVC-Blutbeuteln eingefroren. Die Blutplättchen werden bei Raumtemperatur in TOTM-weichgemachten PVC-Beuteln aufbewahrt, da der Trimellitat-Weichmacher sich in der Gasdurchlässigkeit besser verhält als DEHP. Die roten Blutkörperchen werden bei 4 °C bis zu 35 Tage in DEHP-haltigen Blutbeuteln aufbewahrt. Mit DEHP weichgemachtes PVC weist einen günstigen Permeationswert für Sauerstoff und Kohlendioxid auf. Darüber hinaus stabilisiert DEHP die Zellmembran und verlängert somit die Lagerdauer. Ohne DEHP beginnt der Abbauprozess bereits nach zwei Tagen. TOTM als Weichmacher führt zwar zu besseren Permeationswerten, aber es fehlt die lange Lagerfähigkeit. BTHC dagegen, ein Zitrat-Weichmacher, unterstützt zwar die Haltbarkeit, aber die Permeationswerte sind schlechter. Diese Probleme betreffen dabei alle mit Weichmachern behandelten Kunststoffe.

Zur Aufnahme von DEHP in der Medizin stellte eine Harvard-Studie⁷⁸ eine stärkere Belastung von Frühgeborenen fest, da diese eine intensive medizinische Betreuung benötigen. Eine andere Studie bei Jugendlichen, die als Frühgeburten eine relativ hohe Exposition unter anderem mit Weich-PVC-Schläuchen erfahren haben, zeigt keine medizinischen Abweichungen von der allgemeinen Entwicklung Jugendlicher. Die Studie untersuchte Effekte vor allem in Bezug auf die Geschlechtsentwicklung und fand keine signifikanten Veränderungen der Untersuchten. Auch sind hier bislang keine exakt eindeutigen Aussagen möglich, da die Ergebnisse vieler Studien einander widersprechen. Das deutsche Bundesinstitut für Risikobewertung schreibt dazu in einer

⁷⁸ Green et al.; Use of di(2-ethylhexyl)phthalate containing medical products and urinary levels of mono (2-ethylhexyl)phthalate in neonatal intensive care unit infants; Environm. Health Persp., <http://dx.doi.org/>; 8 June 2005

Stellungnahme⁷⁹: „Da der Wirkmechanismus, der den reproduktionstoxischen Effekten von DEHP zugrunde liegt, nicht hinreichend aufgeklärt ist, kann keine wissenschaftlich fundierte Speziesbetrachtung angestellt werden“.

Auf diesen Vorwurf wurde bereits reagiert und es werden derzeit bei Frühgeborenen mit Hexamoll® DINCH weichgemachte Schlauchsysteme eingesetzt.

Fazit: !

Die Situation stellt sich sehr kontrovers dar. Die Substitution von DEHP ist in dem sensiblen Bereich der Frühgeborenen abgeschlossen. Wegen der konservierenden Wirkung, die für die Lagerung von Blutkonserven wesentlich ist, ist DEHP bei Medizinprodukten generell noch in Verwendung. Mit Ausnahme der Blutbeutel, wo die Suche nach Alternativen mit vergleichbaren Eigenschaften notwendig ist, sollte die bereits begonnene Substitution von DEHP gegen Ersatzstoffe in allen Anwendungsbereichen der Medizin forciert werden.

4.6 Kostenvorteil PVC

PVC kann im Vergleich zu anderen Kunststoffen durch den Rohstoff Salz einerseits, aber auch durch die Verwertung aller bei der Elektrolyse entstehenden Produkte andererseits kostengünstig hergestellt werden. Dieser Kostenvorteil wird auch beim Konsumenten als Preisvorteil sichtbar. Greenpeace attestiert PVC dabei ein um durchschnittlich 20 bis 30 % günstigeres Preisniveau bei Medizinprodukten⁸⁰. Die niedrigeren Kosten sind auch ein häufiges Argument für den Einsatz von PVC.

Fazit: +

PVC besitzt in vielen Bereichen einen Kostenvorteil gegenüber Konkurrenzprodukten. Die niedrigeren Kosten sind auch ein häufiges Argument für den Einsatz von PVC.

4.7 Technische Eignung der Produkte

PVC verfügt unter allen Thermoplasten über das breiteste Anwendungsspektrum, was durch eine Vielzahl von anwendungsspezifischen Compounds mit unterschiedlichen Additiven ermöglicht wird.

Die technische Eignung von PVC ist bei den einzelnen Anwendungsbereichen generell sehr hoch, in vielen Bereichen weisen PVC-Produkte Vorteile gegenüber Konkurrenzprodukten auf. Die Einschätzung der Eignung ist allerdings sehr kontroversiell, sodass diesbezüglich keine einheitliche Sichtweise vorliegt. Allgemein kann aber gesagt werden, dass PVC-Produkte sich durch geringen Pflegeaufwand und lange Nutzungsdauer auszeichnen, was in einzelnen Fällen auch zu ökobilanziellen Vorteilen führt.

⁷⁹ Bundesinstitut für Risikobewertung; Stellungnahme des BfR vom 23. Juli 2003

⁸⁰ Greenpeace; Hintergrund Papier; PVC in Medicalprodukten, Antworten auf 12 oft gestellte Fragen; Okt. 1999

Ein kurzer Einblick in die technischen Vorteile von PVC gegenüber anderen Werkstoffen wird in nachfolgenden Zitaten angegeben:

- Das Fraunhofer Institut stellt in seiner Technologiestudie fest, dass PVC in vielen Fällen eine optimale Lösung darstellt: „Diesen Umfang von Spannweiten der Werkstoffeigenschaften, anwendbaren Verarbeitungs- und Nachbearbeitungsverfahren weist praktisch kein anderer thermoplastischer Werkstoff auf. Der Wunsch, PVC durch andere Werkstoffe zu substituieren, führt in vielen Fällen aus technologischer Sicht zu suboptimalen Lösungen“⁸¹.
- Weiters bestätigt auch Patrick Moore – einer der Gründer von Greenpeace – die Eignung von PVC: „Further, PVC is durable, low-maintenance, recyclable and performs well on LVA tests“⁸².
- Auch die Enquete-Kommission stellt bereits 1994 fest: „kann die Enquete-Kommission jedoch die Substitution von PVC durch andere Werkstoffe nicht empfehlen. Eine solche Umstellung birgt die Gefahr einer Problemverschiebung, wenn nicht gar einer Verschlechterung des gegenwärtigen Zustandes in sich“⁸³.

Fazit: +

PVC bietet in der technischen Eignung in vielen Anwendungsbereichen Vorteile gegenüber den Konkurrenzprodukten, die auch in Ökobilanzen zu Vorteilen in den einzelnen Anwendungsbereichen führen.

4.8 PVC im Brandfall

Bei jedem Brand entstehen hohe Temperaturen und je nach Brandbedingungen und den am Brand beteiligten Materialien auch Schadstoffe. Beispiele sind Kohlenmonoxid (CO), Ruß, Salzsäure (HCl) oder Blausäure (HCN). Die meisten Schadstoffe sind gasförmig und werden mit dem Brandgas von der Brandstelle ausgetragen⁸⁴.

Nachfolgend werden die wesentlichen Aspekte des Brandfalls von PVC-Produkten betrachtet.

4.8.1 Brandrisiko im Baubereich

Fast alle Kunststoffe sind brennbar, das muss besonders beim Einsatz im Hochbau und in einigen Tiefbaubereichen (U-Bahn, Tunnelbau) berücksichtigt werden.

⁸¹ Fraunhofer ICT; Technologiestudie zur Verarbeitung von Polyvinylchlorid (PVC) S.37; 2005

⁸² Patrick Moore; Interview auf ABC Radio National; Originalinterview:

www.abc.net.au/rn/counterpoint/ und Video-Botschaft <http://www.youtube.com/watch?v=n6Mcj4FQss>; Australien 10.04.2006

⁸³ Enquête-Kommission; Bericht Schutz des Menschen und der Umwelt -Bewertungskriterien und Perspektiven für umweltverträgliche Stoffkreisläufe in der Industriegesellschaft; 1994

⁸⁴ Bayrisches Landesamt für Umweltschutz; Schadstoffe bei Brandereignissen; 2004

Aufgrund des hohen Chlorgehalts ist PVC schwer entflammbar, im Gegensatz zu anderen technischen Kunststoffen, die für das Erreichen dieser Eigenschaft Zusätze von Flammhemmern benötigen. Der Chlorgehalt von 57 % in PVC bewirkt einen inhärenten Flammschutz des Kunststoffs, dadurch besitzt PVC eine höhere Entzündungstemperatur von 330° bis 400°C als die meisten anderen Kunststoffe. Allerdings weisen die eingesetzten Weichmacher keine flammhemmenden Eigenschaften auf, wodurch der Vorteil der schweren Entflammbarkeit des PVCs teilweise aufgehoben wird. Der Einsatz von Flammschutzmitteln kann bei Weich-PVC notwendig sein. Generell ist durch die Verwendung von PVC jedenfalls kein höheres Brandrisiko gegeben.

Zünd - Temperaturen

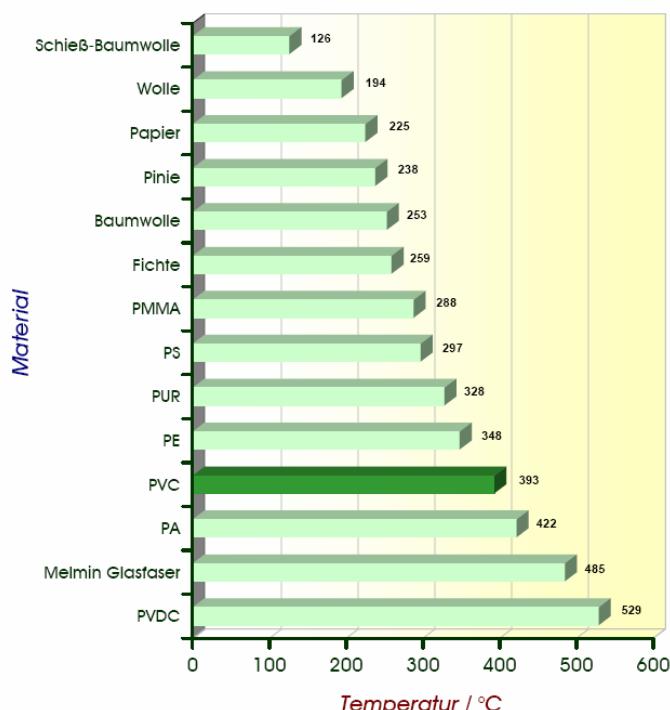


Abbildung 27: Zündtemperaturen im Vergleich⁸⁵

Gegenüber Stahl wirkt sich bei Kunststoffen wie auch bei Holz die geringe Wärmeleitung günstig aus⁸⁶. Weiters entwickelt PVC im Brandfall durch den geringeren Heizwert weniger Hitze und es bilden sich keine brennenden Tropfen. Darüber hinaus ist PVC selbstverlöschend, wenn die äußere Brandquelle entfernt wird.

Als Baustoffe im Sinne der Norm gelten platten- und bahnenförmige Materialien, Verbundwerkstoffe, Bekleidungen, Dämmstoffe, Beschichtungen, Rohre und Formteile. Nach der DIN 4102 - in dieser Norm ist das Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen geregelt - werden Baustoffe in die nicht brennbare Baustoffklasse A und in jene der brennbaren Baustoffe B eingeteilt. Die Klasse B gliedert sich in

- schwer entflammbar (B1): sind grundsätzlich brennbar, sie dürfen nach dem Erlöschen des Feuers aber nicht selbstständig weiter brennen.
- normal entflammbar (B2): lassen sich durch Zündquellen entflammen und brennen - abhängig von den Umgebungsbedingungen - von alleine weiter.

⁸⁵ Hirschler; *Journal of Sciences* 5, 289; 1987

⁸⁶ Schießl P; *Skriptum zur Grundvorlesung in Baustoffkunde*; Technische Universität München

- leicht entflammbar (B3): B3-Baustoffe brennen rasant ab. Sie lassen sich mit kleinen Zündquellen entflammen und brennen ohne weitere Wärmezufuhr mit steigender Geschwindigkeit weiter. Sie stellen ein hohes Brandrisiko dar.

Baustoffklasse	Bauaufsichtliche Benennung
A	nicht brennbare Baustoffe
A1	
A2	
B	brennbare Baustoffe
B1	schwer entflammbarer Baustoffe
B2	normal entflammbarer Baustoffe
B3	leicht entflammbarer Baustoffe

Tabelle 7: Baustoffklassen gemäß DIN 4102-1

In die Baustoffklasse B1 fallen PVC-Bodenbeläge, verklebt auf massivem Untergrund nach DIN 16951⁸⁷.

Fazit: 0

PVC hat durch seinen Chlorgehalt einen inhärenten Flammschutz und damit ein geringeres Brandrisiko als andere Kunststoffe, Holz oder Papier. Die eingesetzten Weichmacher verringern durch ihre Brennbarkeit diesen Vorteil zwar proportional zu ihrem Anteil, die Verwendung von PVC führt generell aber zu keinem höheren Brandrisiko. Durch geeignete Füllstoffe kann PVC auch rauch- und chlorarm im Rauch eingestellt werden (Low Smoke, Low Halogen „LSLH“).

4.8.2 Brandverhalten und Folgekosten im Brandfall

Polyvinylchlorid ist zwar schwer entflammbar, brennt aber in der Flamme unter Freisetzung von Chlorwasserstoff, der mit Wasser verdünnte Salzsäure bildet. Bei Bränden werden Temperaturen bis zu 800 °C erreicht, wobei sich durch den „Molekülbruch“ der langkettigen Weichmacher bei diesen Temperaturen die Brennbarkeit erhöht.

Die potenziellen Schäden durch die Salzsäurebildung hängen von der Art des Brandes ab, sie können z.B. bei Bränden in elektrischen Anlagen bedeutend sein. Bei Großbränden hingegen sind bleibende Schäden an Gebäuden weniger durch diese korrosiven Effekte bedingt. Hier dominieren die Zerstörungen durch die hohen Brandtemperaturen bei einem Gebäudebrand, verursacht z.B. durch Holz, Textilien etc.⁸⁸.

⁸⁷ Schmacher L.; pw-Internet Solutions GmbH: Die Baustoffklassen; Mönchengladbach; http://www.baumarkt.de/b_markt/fr_info/brandbau1.htm

⁸⁸ Rotard W.; Gefahrstoffe nach Bränden – Sanierungsleitwerte in Sanierung von Brandschäden; Vortragsband einer Fachtagung des VdS e.V.; Köln; 1996

Bei Stahlbetonkonstruktionen haben Brandgase in den meisten Fällen keinen Einfluss auf die weitere Nutzungsfähigkeit der Bauteile. Die mit dem Löschwasser gebildeten Salzsäuredämpfe können aber an Stahloberflächen zu Korrosion führen. Die Stahlbewehrung im Beton wird in den meisten Fällen jedoch nicht angegriffen, da die Zahl der Chlorid-Ionen nicht ausreicht. Nur bei Anwesenheit von vielen Chlorid-Ionen können diese bis zur Bewehrung vordringen und dort Korrosion verursachen. Dies stellt beispielsweise eine Gefahr im Tunnel und U-Bahnbau dar. Unbewehrter Beton wird durch die Einwirkung von Salzsäuredämpfen aus PVC-Bränden nicht geschädigt⁸⁹.

Im Allgemeinen gibt es bei einer Sanierung und Brandschadenbeseitigung nach dem heutigen Stand der Technik auch keine Probleme mit Maschinen und elektronischen Einrichtungen⁹⁰. Die direkten Kosten für Aufräum- und Sanierungsmaßnahmen sind relativ gut abschätzbar⁹¹ und bei sachgemäßer Sanierung nicht durch den PVC-Einsatz erhöht. Die Möglichkeit einer Korrosion besteht jedoch bei Kleinbränden ohne Sanierung bzw. vor allem bei deren nicht sachgemäßer, zu später Durchführung. Dies kann z.B. bei Bränden von Elektroinstallationen zu Schäden an Lüftungsanlagen führen.

Chemikaliensachverständige sollten insbesondere dann hinzugezogen werden, wenn größere Mengen an problematischen Vorläufersubstanzen verbrannt sind (z.B. PVC bei stark belegten Kabeltrassen). Bei Bränden im Haus- und Wohnbereich entstehen i.d.R. weniger problematische Substanzen als bei Bränden im gewerblichen oder industriellen Bereich.

Bei Spezialanwendungen kann die höhere Rauchdichte im Brandfall wesentlich sein, dies ist z.B. Untertage, bei Menschenansammlungen und im Tunnelbau zu berücksichtigen.

⁸⁹ http://www.biw.fhd.edu/alumni/2002/stiebinger/sem-brandschutz/bv_beton.htm; Brandverhalten von Beton

⁹⁰ Hammer; Sanierung von Brandschäden; Vortrag auf der VdS Fachtagung, Köln 1996

⁹¹ Verband der Schadensversicherer VdS; Richtlinie zur Brandschadensanierung; VdS-Richtlinie 2357; 1998

Fazit: -

PVC ist zwar schwer entflammbar, brennt aber in der Flamme unter Freisetzung von Chlorwasserstoff und verstärkter Rauchbildung. Bei sachgemäßer Sanierung nach dem heutigen Stand der Technik sind bei Großbränden die PVC-spezifischen Belastungen je nach Gebäudenutzung und verwendete Produkte generell nicht wesentlich bei den Sanierungskosten. In einzelnen Fällen kann die gebildete Salzsäure zu Korrosionsproblemen führen. Die PVC-spezifischen Belastungen durch die Salzsäurebildung und die höhere Rauchdichte können in Spezialfällen (vor allem bei kleinen Bränden oder in Tunneln) bedeutend sein.

4.8.3 Personengefährdung durch Abgase und Brandprodukte

Bei jedem Brand geht vom entstehenden Kohlenmonoxid (CO) die größte Gefahr (90 %) aus, gefolgt von Blausäure, die bei Brand von Wolle, Teppichböden, Textilien, etc. entsteht. PVC-Brandgase sind für Menschen nicht gefährlicher als Gase anderer Brände, da der Chlorwasserstoff (HCl), der beim Verbrennen von PVC entsteht, aufgrund seiner Toxizitätscharakteristik im Normalfall nicht die Todesursache ist.

Untersuchungen von Engelmann und Skura haben gezeigt, dass im Brandfall der CO-Gehalt rasch tödliche Konzentrationen erreicht, wobei die HCl-Konzentration (z.B. im Löschwasser) nur langsam steigt⁹². Die Entstehung von Dioxinen ist nicht an die Anwesenheit von PVC gebunden (siehe Kapitel 4.8.4), sie sind auch nicht der wesentliche Faktor für die Personengefährdung. Übereinstimmend damit konnten im Blut von Feuerwehrleuten bislang keine erhöhten Dioxinwerte festgestellt werden.

Fazit: 0

Die wesentliche Personengefährdung geht bei Bränden von Kohlenmonoxid (CO) aus. Die aus PVC gebildeten Verbrennungsprodukte haben nur geringere Bedeutung. Auch die Dioxinbildung ist nicht primär für die Gefährdung von Menschenleben verantwortlich.

4.8.4 Bildung von persistenten toxischen Substanzen bei Bränden

Die Gruppe der persistenten organischen Schadstoffe (POPs) ist eine Sammelbezeichnung für Substanzen mit den umgangssprachlichen Trivialnamen Dioxine (Dibenz-p-Dioxine) und Furane (Dibenz-p-Furane). Sie entstehen vor allem unerwünscht bei Verbrennungsprozessen, an denen organische oder anorganische chlorhaltige Verbindungen beteiligt sind bei Temperaturen zwischen 300 und 600 °C; bei Temperaturen ab etwa 850 °C zerfallen sie. Mit Rauchgasen, Produkten und Produktionsrückständen gelangen sie in die Umwelt. Sie entstehen ebenso durch offene Feuer, Wald- und Deponiebrände, Brände von und in Gebäude, Brandrodung und Gewitter. Für die Gesamtbilanz von Österreich sind Brände jedoch eine relativ unbedeutende Quelle.

⁹² Engelmann M., Skura J.; PVC im Brandfall; Gummi, Fasern, Kunststoffe, Nr.49; 1996

Die mengenmäßig größten Emissionen an Dioxinen und Furanen werden durch den Hausbrand, die Sinteranlagen, die Sekundär-Aluminiumerzeugung, die Gewinnung und Produktion von Eisen und Stahl und jene Branchen, die Holz und Holzreststoffe thermisch verwerten, verursacht. Branchen, die aufgrund der verwendeten Verfahren, der Einsatzstoffe sowie der Betriebsbedingungen Anlagen mit hohem Dioxinemissionspotenzial betreiben, spielen – bedingt durch die in den letzten Jahren gesetzten Minderungsmaßnahmen – für die Gesamtemission nur noch eine untergeordnete Rolle. Dazu gehören z. B. die Müllverbrennungsanlagen und mit einigen Einschränkungen die Sekundär-Kupferproduktion⁹⁵. Die Chlorchemie ist derzeit nur noch in geringem Maß an Neueinträgen von Dioxin in die Umwelt beteiligt, gilt aber als wichtiger Verursacher von Altlasten.

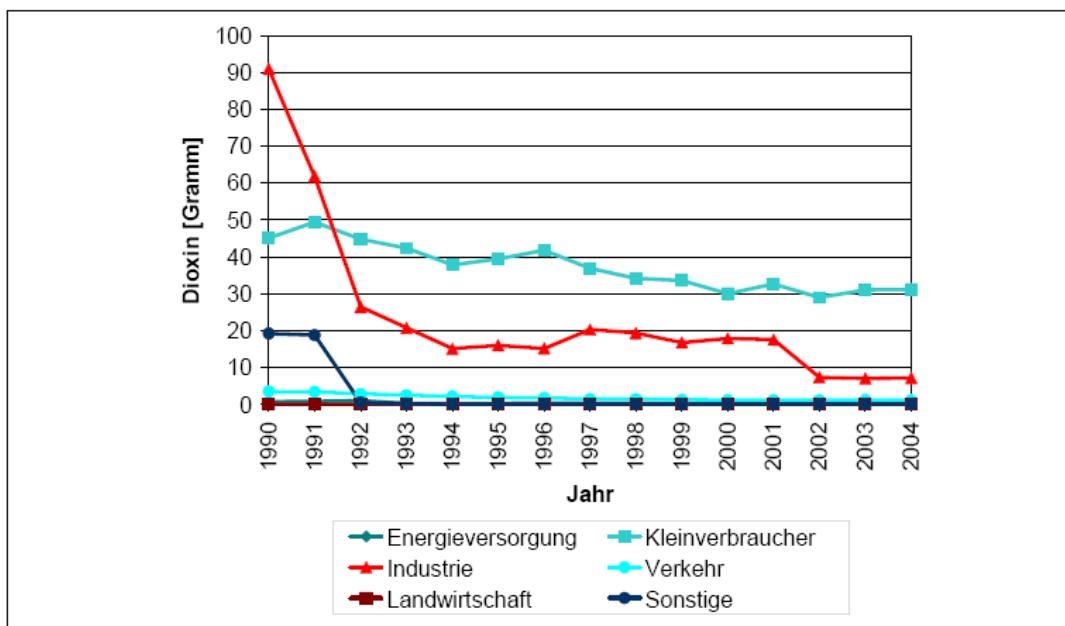


Abbildung 28: Trend der Dioxinemissionen nach Sektoren von 1990 bis 2004⁹⁵

Es gibt 210 mögliche Verbindungen, von denen weniger als 20 für den Nachweis im menschlichen Organismus toxikologisch von Bedeutung sind. Die weltweite, ubiquitäre Umweltbelastung wird angesichts der langen Halbwertzeit auch dann, wenn die Emission erheblich eingeschränkt werden kann, in den kommenden Jahren nur langsam zurückgehen⁹⁶. Aus umweltmedizinischer Sicht ist die Anreicherung über die Nahrungskette, besonders in Milch, Fleisch, Eiern und Fischen sowie daraus hergestellten Produkten von größter Bedeutung⁹⁷.

Betreffend die Personengefährdung bei Bränden überwiegt im Brandrauch die Gefährlichkeit von Kohlenmonoxid, Blausäure und Salzsäure. Auf der erkalteten Brandstelle hingegen stehen neben Ruß, der selbst bereits ein Gesundheitsrisiko darstellt, besonders die polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAKs), Polychlorierte Biphenyle (PCB) und Dioxine im Vordergrund. Die entstehenden

⁹⁵ Umweltbundesamt Österreich; *Emissions-Trends in Österreich; 2005*

⁹⁶ Deutsches Gesundheitsamt;

<http://www.gesundheitsamt.de/alle/umwelt/chemie/luft/diox/infobl.htm>

⁹⁷ Arbeitsgruppe Dioxin; <http://www.hygiene.ruhr-uni-bochum.de/hygiene/dioxin/dioxin-information.html; 2007>

persistenteren Stoffe sind fest an den Brandruß gebunden und weisen nur geringe Mobilität auf. Auch wenn von einem Risiko der Dioxinaufnahme durch Inhalation von Ruß ausgegangen werden muss, konnten bislang auch bei Feuerwehrleuten, der bei Bränden am stärksten exponierten Gruppe, keine erhöhten Dioxinwerte im Blut von Feuerwehrleuten nachgewiesen werden^{98,99}.

Die festgestellten Dioxin-/ Furangehalte im Ruß bei Bränden in Wohngebäuden lagen unter 200 Nanogramm TE pro Quadratmeter (TE = Toxizitätsäquivalente: Sie geben an, wie stark ein bestimmtes Dioxin- oder Furankongener im Vergleich zu 2,3,7,8-TCDD wirkt.). Bei Gebäuden mit besonders hohem Kunststoffanteil (z.B. Arztpraxen, Lager etc.) traten aber Gehalte bis zu 10.000 Nanogramm TE auf¹⁰⁰.

Das kanzerogene Potenzial des Brandrußes wird vor allem durch die, ebenfalls an den Ruß gebundenen, polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAKs) bestimmt. Deren Wirkung kann, auch unter Berücksichtigung der unterschiedlichen toxikologischen Wirkung, um etwa den Faktor 100 bis 500 höher als die von Dioxinen/Furanen sein. Da Ruß aus Brandstellen durch eine Vielzahl toxischer Verbindungen unabhängig von der Anwesenheit von PVC belastet ist, ist jedenfalls eine sorgfältige, dem Stand der Technik entsprechende Entsorgung notwendig.

Fazit: 0

Organische und anorganische Chlorverbindungen führen bei Bränden zu erhöhter Dioxin- und Furanbildung, diese sind österreichweit aber eine nur unbedeutende Dioxinquelle. Die Personengefährdung bei Bränden ist durch die Rauchgase, bei denen Kohlenmonoxid dominiert, geprägt. Die bei Bränden gebildeten Dioxine/Furane sind an den Ruß gebunden und weisen nur geringe Mobilität auf. Im Ruß wird das Gefährdungspotenzial neben Dioxinen/Furanen vor allem durch polyzyklische Aromaten (PAKs) verursacht, die eine spezielle Entsorgung nach Bränden auch ohne PVC-Beteiligung erfordern.

⁹⁸ Ruhr-Universität Bochum und Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf im Auftrag des Ministeriums für Arbeit, Gesundheit und Soziales des Landes Nordrhein-Westfalen; Umweltmedizinische Untersuchungen an Feuerwehrleuten; 1993

⁹⁹ Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft des Landes Nordrhein-Westfalen; Dokumentation Grossbrand Lengerich; 1994

¹⁰⁰ Fachinformation Umwelt und Gesundheit; Polyvinylchlorid (PVC); Stand: April 2000

¹⁰³ Prognos;: Mechanical Recycling of PVC Wastes; Study for DG XI, EC 2000

5 PVC-Produkte im und als Abfall

Schwerpunkt Situation in Österreich

In diesem Kapitel wird die aktuelle Situation von PVC im Abfall in Österreich betrachtet, aber auch die Möglichkeiten der Rückgewinnung unter Einbeziehung internationaler Aktivitäten.

5.1 Die aktuelle Abfallsituation bei PVC

Der größere Teil des eingesetzten Weich-PVC geht in Bauwerke und erfüllt dort für meist viele Jahre seine Aufgaben. Nachdem der massive Einsatz von PVC im Baubereich vor mehreren Jahrzehnten begonnen hat, wird erst in den nächsten Jahren mit wachsenden PVC-Abfallmengen aus dem Baubereich gerechnet. Derzeit finden sich im Abfall daher vor allem die kurzlebigen Produkte, die vielfach aus Weich-PVC bestehen.

In Österreich betrug die Summe aller PVC-Abfälle im Jahr 2000 ca. 43.000 Tonnen⁴⁰. Davon waren etwa 34.000 Tonnen Gebrauchsabfälle, wovon nur ca. 1.000 - 3.000 Tonnen (2,9 % - 8,8 %), meist Hart-PVC Produkte, dem Recycling zugeführt wurden. Thermisch genutzt wurden ca. 4.000 bis 6.000 Tonnen, der Rest wurde deponiert. Seit In-Kraft-Treten der Deponie-VO ist mit einer deutlichen Erhöhung der Mengen in der Verbrennung zu rechnen (siehe 5.2.3). Wenn auch die Zahlen nicht mehr den aktuellen Stand wiedergeben dürften, so stimmen doch die Angaben zu den Verwertungsmengen tendenziell mit den Branchenangaben überein.

PVC Abfall in Österreich 2000 in t	
PVC Abfall gesamt	43.000
Gebrauchsgegenstände	34.000
rezykliert	1.000 - 3.000
thermisch genutzt	4.000 - 6.000
deponiert	34.000 - 38.000

Tabelle 8: PVC Abfall in Österreich⁴⁰

Eine aktuelle Abschätzung der PVC-Abfallströme durch die GUA (pers. Mitteilung, noch unveröffentlicht) führt zu insgesamt 35.000 t PVC-Abfall, von denen etwa 76 % vorwiegend thermisch in Müllverbrennungsanlagen (MVA) verwertet werden, 16 % gehen in mechanisch-biologische Behandlungsanlagen (MBAs) und etwa 8 % werden werkstofflich verwertet. Letzteres betrifft vor allem Rohre, Fensterrahmen, Kabel, Bodenbeläge und Dachfolien.

Die geringen Mengen, die bei den eingerichteten Sammelsystemen für Fenster und Rohre im Vergleich zur Produktion eingehen, dürften mit dem Verbleib der Produkte in den Bauwerken zusammenhängen. Laut API Wien wirken sich die hohe Nachfrage vor allem nach langlebigen PVC-Anwendungen und die steigenden Rohstoffpreise negativ auf die Verfügbarkeit von PVC-Abfällen zur Erfassung und Verwertung aus.

Für die Zukunft werden aber steigende Mengen erwartet, da Sanierungen und Tauschmaßnahmen im Steigen begriffen sind. Daher sollten zukünftig bei den Sammelstellen ausreichende Mengen für das stoffliche Recycling verfügbar sein. Auch EU-weit wird erwartet, dass der Anfall auf 6,2 Mio t pro Jahr bis 2020 ansteigen wird (Tabelle 9)

Angaben in t	2000	2010	2020
Prä-User	500.000	650.000	920.000
Post-User	3.600.000	4.700.000	6.200.000

Tabelle 9: Entwicklung des PVC-Abfallaufkommens in Europa¹⁰³

Fazit: -

Der Großteil der in den Baubereich gehenden langlebigen PVC-Produkte ist noch in Verwendung und fällt damit noch nicht als Abfall an. Damit stammen die derzeit im Abfall vorliegenden PVC-Mengen vorwiegend aus kurzlebigen Weich-PVC-Anwendungen, bei denen entsprechend dem Abfallmanagement in Österreich thermische Verwertung angenommen werden kann. Diese ist wegen des geringeren Heizwertes und des nicht genutzten Chloranteils keine optimale Verwertung, führt aber durch die bei Müllverbrennungsanlagen (MVA) üblichen Abluftreinigungsverfahren zu keinen Umweltbelastungen.

5.2 Umweltbelastungen durch PVC im Abfall

In den nachfolgenden Kapiteln werden die möglichen Belastungen durch PVC-Produkte bei der Abfallbehandlung und -entsorgung behandelt und anschließend die Verwertungswege betrachtet.

5.2.1 Umweltbelastung durch Weichmacher

Weichmacher können wie bei der Nutzungsphase auch im Abfall aus den Produkten auswandern. Dies ist weitgehend auf Deponien beschränkt, wo Auslaugungen aus den Ablagerungen auftreten. Phthalate sowie deren Abbauprodukte können in Sickerflüssigkeiten von Deponien festgestellt werden. Allerdings sind die Mengen an Phthalaten, die bislang in Sickerwässern gefunden wurden, nur sehr gering, da sie scheinbar bereits im Deponiekörper abgebaut werden. So wird DEHP im Boden je nach Beschaffenheit und Sauerstoffgehalt in ca. 30 Tagen zu 90 % abgebaut⁵⁸.

Weiters besitzen Deponien heutzutage Sickerwasserbehandlungsanlagen, in denen ein weiterer Abbau anzunehmen ist. Der Abbau der Phthalate erfolgt aber unterschiedlich und je nach Typ nicht vollständig. Speziell langkettige Phthalate werden in den üblichen Sickerflüssigkeits- und Abwasserkläranlagen nur zum Teil abgebaut und können sich auf suspendierten Farbstoffen anreichern¹⁰⁴. Kläranlagen stellen laut einer Untersuchung des Landesamts für Wasser und Abfall Nordrhein-Westfalen zwar keine maßgeblichen Phthalatemissionsquellen dar, tragen aber doch zur Hintergrundbelastung bei¹⁰⁵.

¹⁰⁴ Kommission der Europäischen Gemeinschaften; Grünbuch zur Umweltpolitik von PVC; 2000

¹⁰⁵ Furtmann K.; Landesamt für Wasser und Abfall, Nordrhein-Westfalen; Phthalate in der aquatischen Umwelt; LWA-Materialien, Nr. 6/93; 1993

Fazit: >

Seit In-Kraft-Treten der DeponieVO in Österreich ist die Ablagerung von PVC-Abfällen deutlich zurückgegangen. Der Austritt von Weichmachern und speziell Phthalaten aus den bereits abgelagerten Mengen kann zu Belastungen im Deponiesickerwasser führen. Trotz der bei Deponien üblichen Sickerwasserbehandlung kann eine Restemission vorliegen, der zur Phthalatbelastung der Umwelt beiträgt. Durch den Rückgang der Ablagerung von PVC-Abfällen ist mit dem Wegfall dieser Emissionsquelle in den nächsten Jahren zu rechnen.

5.2.2 Umweltbelastungen durch Stabilisatoren und Farbpigmente

Schwermetallstabilisatoren könnten aus PVC-Produkten unter erhöhten Temperaturen und unterstützt durch biologischen Angriff der Kunststoffmatrix unter Umständen in das Sickerwasser von **Deponien** gelangen. Weich-PVC hat laut einer Studie von Mersikovski et al. über das Langzeitverhalten von PVC-Abfällen unter Deponiebedingungen eine Freisetzung von Stabilisatoren gefunden. Allerdings stellte das deutsche Umweltbundesamt fest, dass „die Gefahr der Elution von Schwermetallen aus PVC-Produkten sehr gering“ ist. PVC-Produkte sind im Vergleich zu anderen Abfallstoffen auf Deponien keine entscheidenden Schwermetallquellen. In dem 2001 veröffentlichten Bericht der TUTech GmbH wird festgestellt, dass stabilisierte PVC-Produkte auf Deponien keine signifikanten Umweltauswirkungen haben¹⁰⁶. Dies wird ebenfalls in einer weiteren Studie über Recycling von Alt-PVC bestätigt¹⁰⁷. Bei etwaigem Austrag ist mit einer Abscheidung der Schwermetalle in Sickerwasserbehandlungsanlagen zu rechnen.

Durch die Deponie-VO einerseits, andererseits durch den zunehmenden Wert des Rohstoffes haben die auf Deponie gehenden PVC-Mengen seit 2004 deutlich abgenommen (s.a. 5.1).

In **Müllverbrennungsanlagen** (MVA) können Stabilisatoren und Farbpigmente in die Gasphase übergehen, sie werden dann in der Abluftreinigung, die auch auf die Abscheidung von Schwermetallen ausgerichtet ist, abgeschieden. Durch den Ausstieg aus der Cadmiumverwendung und dem weitgehenden Verzicht auf Blei scheint durch Weich-PVC keine Gefährdung durch Schwermetalle in MVAs vorzuliegen.

Fazit: 0

Die Ablagerung von PVC auf Deponien ist seit In-Kraft-Treten der DeponieVO deutlich zurückgegangen. Durch die Umweltanlagen von Deponien und Müllverbrennungsanlagen liegt keine Belastung der Umwelt durch Stabilisatoren und Pigmente vor..

¹⁰⁶ TuTech GmbH; Contribution of Post-Consumer PVC Products to Lead Inventory in Landfilled Waste; Hamburg; Jun. 2001

¹⁰⁷ Rieber, Boeke, Saffert, Lindner; Recycling von bleihaltigem Alt-PVC; 1995

5.2.3 Verbrennung in Müllverbrennungsanlagen

Der Cl-Gehalt im Hausmüll, der sich über Messungen von Verbrennungsanlagen belegen lässt, beträgt europaweit im Mittel ca. 7 kg Cl / t Abfall, wobei etwa die Hälfte nämlich 3,4 bis 5,6 kg Cl / t aus PVC stammt.

Geht man von 1,6 Mio t Haushaltsabfällen in Österreich aus, ergibt dies einen Anteil von 5.400 – 9.000 t Chlor, der auf die Verbrennung von PVC zurückzuführen ist¹⁰⁸. Daraus ergibt sich eine Gesamtmenge an PVC im Abfall von 12.000 – 20.000 t (inklusive Spitalsabfällen). Diese Abschätzung stimmt tendenziell mit den Werten in⁴⁰ überein. Die aktuellen Mengen von PVC im Restmüll dürften vorwiegend Weich-PVC Produkte sein. Sie sind damit vom Mengenanteil nur gering (kleiner 2 %), machen von der Chlorfracht aber etwa die Hälfte aus.

Der bei der Verbrennung gebildete Chlorwasserstoff wird in den Nasswäschern von Müllverbrennungsanlagen (MVA), von denen der erste im sauren Bereich und meist mit Salzsäure arbeitet, abgeschieden. Die Gaswäsche ist wegen des im Abfall nie auszuschließenden Chlor- und Fluorgehalt ein normaler Verfahrensschritt bei MVAs.

Die Verbrennung von PVC war lange Zeit ein sensibles Thema, als sie im Verdacht stand, den Hauptteil der Dioxinbelastungen zu verursachen. Nicht nur bei PVC, sondern bei fast allen Verbrennungsprozessen können gesundheitsschädliche polychlorierte Dibenzodioxine und Dibenzofurane (PCDD/F) entstehen. Müllverbrennungsanlagen (MVA) waren anfänglich maßgebliche Dioxinquellen, seit vielen Jahren sind aber alle MVAs in Österreich mit Filteranlagen ausgerüstet, die in der Lage sind, Abgaswerte von 0,1 ng Toxizitäts-Äquivalente pro Normkubikmeter (TEQ/Nm³) zu erfüllen.

Heute sind alle Abfallverbrennungsanlagen, in denen auch PVC-Abfälle thermisch entsorgt werden, mit fortschrittlicher Abgasbehandlung ausgestattet, sodass die entstehenden Gase abgetrennt werden können. Die in der EU befindlichen Müllverbrennungsanlagen stellen laut Vehlow eine Dioxinsenke dar¹⁰⁹. Salzsäure und Schwermetalle bedeuten auch in der Verbrennung keine Probleme, wie Messungen am Forschungszentrum Karlsruhe zeigen, wird ein Abscheidungsgrad von 99 % für beide Stoffe erzielt¹¹⁰.

¹⁰⁸ *Bertin Technologies; The influence of PVC on the quantity and hazardousness of flue gas residues from incineration; Study for DG XI, April 2000*

¹⁰⁹ *Vehlow J.; Waste combustion and the dioxin issue; Korean Institute of Science and Technology (KIST); Europe Environmental Technology Workshop; Saarbrücken 1997*

¹¹⁰ *Dr. H.-R. Paur; Forschungszentrum Karlsruhe, Institut für Technische Chemie, Multifunctional Scrubber for Incineration Plants; Simultaneous Removal of Mercury, Submicron Particles, and Dioxins*

Technische Daten

Quecksilberabscheidung	bis zu 99%
SO ₂ - und HCl-Abscheidung	bis zu 99%
Feinstpartikelabscheidung	bis zu 98%
Dioxinabscheidung	bis zu 97%
Differenzdruck	< 8 mbar
Leistungsaufnahme Ionisator	0,2 bis 0,3 W / (m ³ /h)

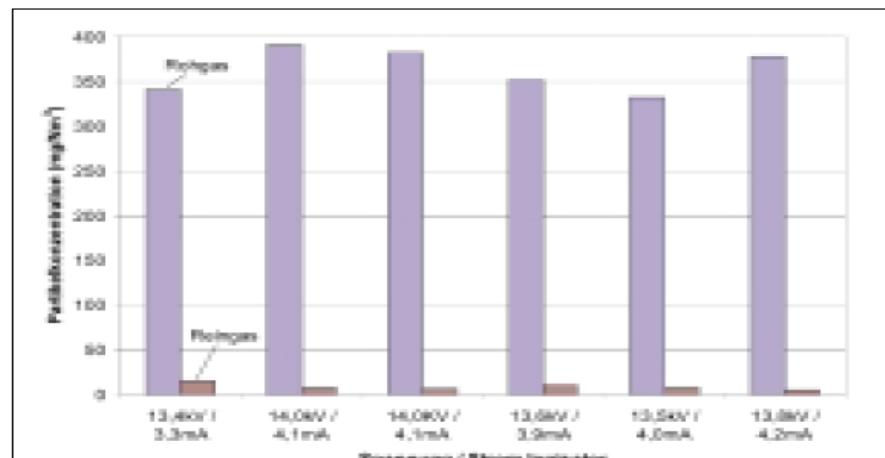


Abbildung 29: Auszug aus den Messungen des Forschungszentrums Karlsruhe

Fazit: 0

Die Verbrennung von PVC in Mullverbrennungsanlagen (MVA) stellt durch deren technologische Ausstattung keine Quelle von Umweltbelastungen dar.

5.2.4 Mehrkosten in der Abfallverbrennung durch PVC

Wegen des Chloranteils und des damit geringen Kohlenstoffanteils und niedrigeren Heizwertes ist bei PVC einerseits der Energiegewinn geringer, andererseits entsteht bei der Verbrennung Chlorwasserstoff, der in den Wäschern zu Salzsäure reagiert; verwendete Stabilisatoren werden freigesetzt und Dioxine gebildet.

Da unabhängig von PVC ein Halogeneintrag (Chlor oder Fluor) nicht ausgeschlossen werden kann, besteht heute die Verpflichtung, jede MVA mit mehrstufigen Wäschern und Dioxinfiltren auszustatten. Die anfallenden Betriebskosten der Abluftreinigung werden nicht maßgeblich durch PVC bestimmt. Die aus dem Chlorwasserstoff im Wäscher entstehende Salzsäure geht ins Waschmedium über und stellt keine zusätzliche Belastung dar.

Die Kosten für Kunststoffe in der Müllverbrennung bewegen sich in einem Bereich von 260 bis 400 Euro pro Tonne. In der im Jahr 2000 veröffentlichten Kirrman-Studie „Incineration of PVC and other products in MSW“ liegt PVC mit 320 Euro pro Tonne Weich-PVC und 340 Euro pro Tonne Hart-PVC im Mittelfeld der untersuchten

Materialien¹¹¹. Die häufig unterstellten überdurchschnittlich hohen Kosten für die Verbrennung von PVC-Müll haben sich nicht bestätigt. Es ergeben sich daher keine starken Veränderungen in den Behandlungskosten von Restmüll, falls PVC daraus eliminiert würde.

Fazit: 0

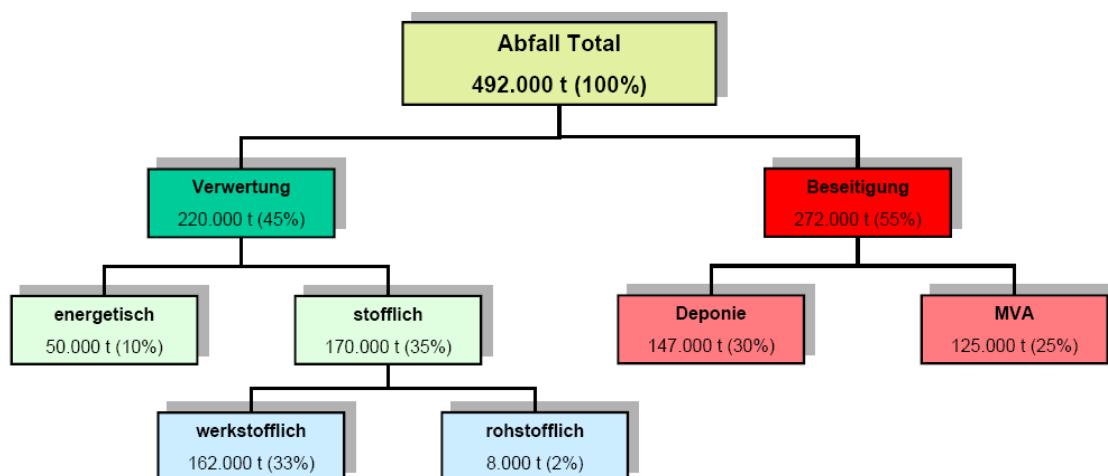
Bei Müllverbrennungsanlagen entstehen durch den PVC-Anteil im Abfall keine zusätzlichen Kosten. Eine Eliminierung von PVC würde keine großen Veränderungen in der Kostenstruktur bringen.

5.3 Altmaterialieinsatz durch Recycling

Im Vergleich zu anderen Kunststoffen hat PVC einen geringeren Erdölanteil und daher einen geringeren Brennwert. Damit kann nur etwa die Hälfte des PVCs thermisch genutzt werden, der Chloranteil bleibt ungenutzt. Aus diesen Eigenschaften erscheint eine getrennte Sammlung mit nachfolgender stofflicher Verwertung oder thermischer Verwertung unter Rückgewinnung der Salzsäure erstrebenswert.

Möglich ist dabei sowohl werkstoffliches Recycling (Erhalt der PVC-Matrix, Rückgewinnung des Granulats) als auch rohstoffliches Recycling (Rückgewinnung von Kunststoff-Grundbausteinen). Welches Verfahren gewählt wird, hängt zum Großteil vom Reinheitsgrad ab: je reiner der Abfall ist, desto eher wird werkstoffliches Recycling eingesetzt, je verschmutzter bzw. vermischt, desto mehr kommt rohstoffliches Recycling bzw. thermische Verwertung zum Einsatz.

Wie Abbildung 30 und Abbildung 31 zeigen, wurden in Deutschland bereits 2003 annähernd 46 % aller PVC-Abfälle verwertet. Bezogen auf den Gesamtabfallstrom werden ca. 33 % werkstofflich, 10 % energetisch (mit MVA zur Verwertung) und 2 % rohstofflich verwertet. Ca. 55 % der Abfälle werden deponiert oder verbrannt (MVA)¹¹².



¹¹¹ Kirrman; *Incineration of PVC and other products in MSW*; Nov. 2000

¹¹² AGPU; *Consultic-Studie: Produktions-, Verbrauchs- und Abfalldaten für PVC in Deutschland unter Einbeziehung der Verwertung*; 2005

Abbildung 30: Abfallbilanz für PVC für Deutschland 2003

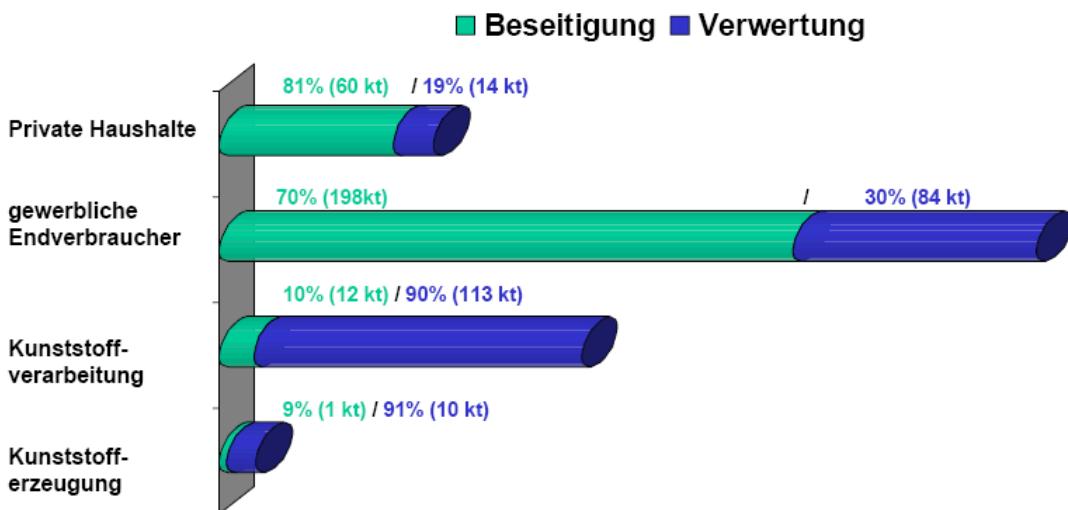


Abbildung 31: Verwertungsanteil nach Herkunft in Deutschland 2003

Der Großteil der PVC-Abfälle kommt aus dem post-consumer Bereich (Abbildung 31). Im Produktions- und Verarbeitungsbereich liegt heute bereits weitgehend vollständiges Recycling vor, aber auch im Gewerbeabfall zeigt sich mit 30 % ein hoher Verwertungsanteil.

Fazit: >

Wegen des mineralischen Anteils und der damit geringeren thermischen Nutzungsmöglichkeit sollte stoffliches Recycling im Vordergrund stehen, bei dem sowohl der fossile als auch der mineralische Teil genutzt wird. Derzeit wird in der Verarbeitung aber überwiegend Frischmaterial eingesetzt.

Technologien für werkstoffliches Recycling bestehen, allerdings wären Sammel- und Verwertungssysteme für die einzelnen Weich-PVC Anwendungsbereiche mit ausreichender Kapazität einzurichten. Unter Berücksichtigung des jeweiligen Sammelaufwandes sollte jedenfalls eine möglichst hohe Sammelquote für Weich-PVC angestrebt werden. Die danach nur geringen verbleibenden PVC-Mengen im Abfall würden keine Belastung im Abfallmanagement darstellen.

5.3.1 Situation bei PVC-Bodenbelägen

Seit 1990 werden in Österreich PVC-Bodenbeläge durch die Oberösterreichische Landes-Abfall-Verwertungsunternehmen-AG (LAVU) gesammelt. Die in 40 cm breite Streifen geschnittenen Bodenbeläge werden in Containern zum Recycling nach Deutschland gebracht. Anhaftende Estrich- und Kleberreste stören dabei nicht¹¹³. Das Verfahren basiert dabei auf der Kaltvermahlung, d.h. mittels Abkühlung wird der Glaspunkt des Materials unterschritten und anschließend PVC-Mehl mit einer Korngröße von 200 µm hergestellt. Das so produzierte Rezyklat wird wieder in der Herstellung von Belägen verwendet. Im Jahr 2001 konnten auf diese Weise 109,6 Tonnen gebrauchte PVC-Bodenbeläge der Wiederverwertung zugeführt werden. Die europäische Gruppe für

¹¹³ AgPR - Arbeitsgemeinschaft PVC-Bodenbelag Recycling; AgPR-Recyclingliste

PVC-Bodenbeläge (EPFloor) hat sich verpflichtet, bis zum Jahr 2008 mindestens 50 % der sammelbaren PVC-Abfälle aus Bodenbelägen zu verwerten.

5.3.2 Das Vinyloop-Verfahren für PVC-Verbunde

Eine für die Verwertung vorteilhafte Eigenschaft von PVC ist dessen vollständige Löslichkeit in bestimmten Lösungsmitteln. Von Solvay S.A. wurde ein mechanisches Recyclingverfahren namens VINYLOOP entwickelt:

In einem vollständig rezyklierbaren Lösungsmittel werden PVC-Verbunde aufgelöst und nach Entfernung der Fremdstoffe wieder ausgefällt und getrocknet. Wasser und Lösungsmittel werden dem Kreislaufsystem wieder zugeführt. Das gewonnene PVC-Compound kann wieder in der Produktion eingesetzt werden. Angewandt werden kann das Verfahren beispielsweise für Planen (PVC/Polyester), Kabel (PVC/Metalle, Glasfasern), Blisterverpackungen (PVC/Aluminium) oder Instrumententafeln von Autos (PVC/andere Kunststoffe).

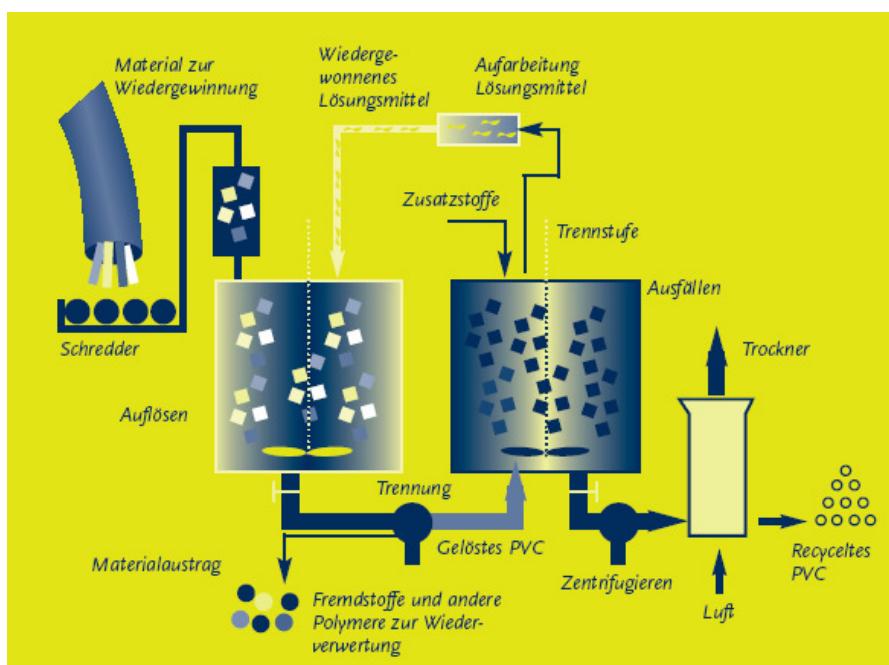


Abbildung 32: Das VINYLOOP-Verfahren

Gegenüber anderen Entsorgungswegen und gegenüber frischem Compound hat das Vinyloop-Verfahren deutliche Vorteile. Durch das einfache Verfahren (Auflösen und Ausfällen) ist im Vinyloop-Verfahren geringerer Energieeinsatz als bei konkurrierenden chemischen Recycling-Technologien erforderlich. Auch die Abgabekosten sind gegenüber den anderen Verfahren geringer.

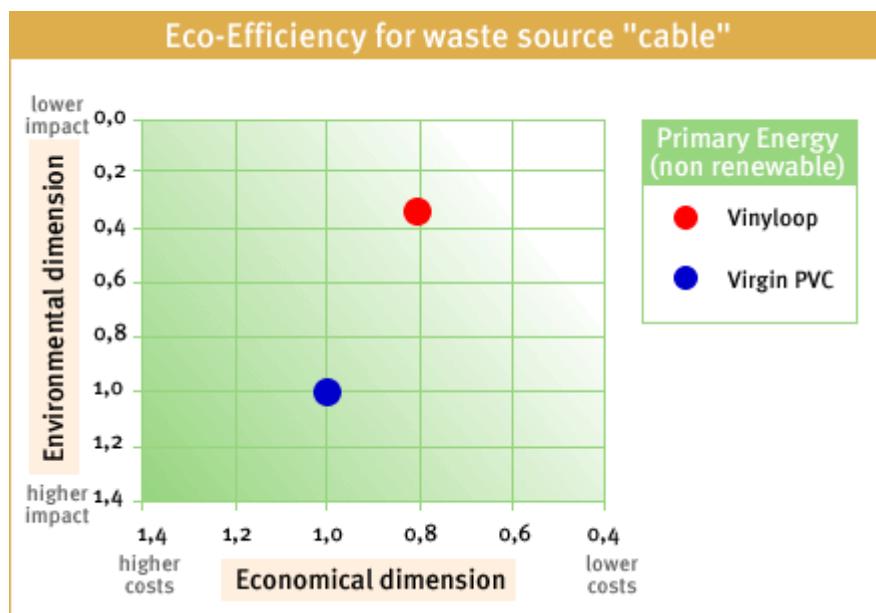


Abbildung 33: PVC-Compound-Regenerat aus Kabelabfällen mit frischem Compound¹¹⁴

5.3.3 Chemisches (rohstoffliches) Recycling

Es gibt einige Ansätze für chemisches Recycling. Dabei würde mit chemischen Reaktionen - Pyrolyse oder Vergasung - Grundkörper für die Petrochemie wie CO, H₂ erzeugt, die wieder für die Herstellung von Monomeren eingesetzt werden können. Bislang sind diese Verfahren aber noch nicht soweit entwickelt, dass ausreichende Anlagengrößen für die wirtschaftliche Beurteilung der Verfahren gebaut werden können. Da hiermit aus Abfällen die gefährlichen Stoffe wie zum Beispiel Cadmium ausgesondert werden könnten, wäre diese Technologie eine Perspektive für die Zukunft.

¹¹⁴ Solvay S.A; PVC-Compound-Rezyklat ist ökoeffizienter als Neuware; Internetartikel; <http://www.vinyloop.com/sustainable/ecoeficiencyvirginproduct/0,39506-4-0,00.htm>

6 Zusammenfassung der Ergebnisse

Nachfolgend werden die Ergebnisse der Themenfeldanalyse resumiert und die vorgeschlagenen Bewertungen zusammengefasst.

Bei Weich-PVC liegen positive Schwerpunkte vor allem in der Rohstoffverfügbarkeit, im vergleichsweise geringen Energiebedarf für die Herstellung der PVC-Matrix und auch im Sozialbereich bei der Arbeitssicherheit. Weiters werden auch hinsichtlich des Preises und der technischen Eigenschaften sowie bei der Gebrauchseignung Vorteile von PVC-Produkten von Seiten der Industrie und auch von den Anwendern argumentiert.

In wesentlichen der kontrovers diskutierten Themenfelder ist die Situation mittlerweile bereinigt. Dies betrifft vor allem die Bereiche der Rohstoffbereitstellung durch die Chlorchemie, die Arbeitsplatzbedingungen in den Anlagen der Chlorchemie und bei der Verarbeitung des Compounds, die Gesundheitsgefährdung bei der Nutzung und die geordneten Abfallentsorgung sowie die Vermeidung von Cadmium und Blei als Stabilisator. Speziell durch den Stand der Umwelttechnik bei Abfallverbrennungsanlagen und Deponien in Österreich werden Belastungen von Mensch und Umwelt ausgeschlossen. Zu berücksichtigen ist jedoch, dass sich die erzielten Verbesserungen anzunehmender Weise auf Europa, derzeit möglicherweise sogar auf Mittel- und Westeuropa beschränken. Produktionsstandorte in Fernost und Übersee können davon deutlich abweichende Bedingungen aufweisen. Es ist daher wichtig, die Rohstoffbereitstellungskette zu dokumentieren, was im Rahmen einer Herkunftsdeklaration möglich wäre.

Noch nicht vollständig entspannt, aber eine eindeutig positive Tendenz zeigt die Situation bei der Umstellung der Elektrolyse auf Membranverfahren sowie im Abfallmanagement und beim Recycling. Die Umstellung der Elektrolysetechnologie zeigt in ganz Europa positive Entwicklung, Handlungsbedarf besteht hier nur in der kontinuierlichen Fortsetzung dieser Entwicklung.

Im Abfallbereich entspricht die aktuelle Situation bei Weich-PVC noch nicht der Zielsituation einer optimalen Abfallwirtschaft. Wegen des Chloranteils trägt PVC zu etwa ein bis zwei Dritteln der Chlorfracht im Restmüll bei. Diese bedeutet zwar keine Umweltgefährdung bei der Abfallverbrennung, führt aber zu geringerer thermischer Nutzungsmöglichkeit und dem Verlust des mineralischen Anteils. Daher sollte bei PVC generell das stoffliche Recycling im Vordergrund stehen, da bei diesem sowohl der fossile als auch der mineralische Teil genutzt wird. Analog zum Recycling von Hart-PVC bestehen sowohl Technologien als auch geeignete Verfahren für werkstoffliches Recycling. Sammelsysteme sind derzeit in Österreich nur für einzelne Produktbereiche (Kabel, Bodenbeläge) vorhanden. In den restlichen, sehr breit gestreuten Anwendungsbereichen liegen noch kaum Ansätze zur Erfassung gebrauchter Weich-PVC-Produkte vor; die Verbreiterung der Recyclingschienen erscheint als eine Perspektive für die Zukunft. Hierfür wären Sammel- und Verwertungssysteme für die einzelnen Weich-PVC Anwendungsbereiche mit ausreichender Kapazität einzurichten, um hohe Sammelquoten zu erreichen, deren Festlegung im Einvernehmen mit öffentlichen Stellen und NGOs unter Berücksichtigung des jeweiligen Sammelaufwandes erfolgen könnte. Damit würde sich der PVC-Gehalt im Restmüll deutlich reduzieren und der Werkstoff PVC könnte optimal genutzt werden.

Ein oft angesprochener Kritikbereich ist das Brandverhalten von PVC Produkten. In diesem Bereich bestehen einzelne generelle Nachteile von PVC. Die Bewertung der Problematik erfordert allerdings die detaillierte Betrachtung der einzelnen Aspekte des Brandverhaltens. Dabei zeigen sich Vorteile beim Brandrisiko durch geringere

Entflammbarkeit der PVC-Matrix (wenn auch dieser PVC-spezifische Vorteil bei Weich-PVC - bedingt durch den Weichmacheranteil - reduziert wird, besteht auch bei Weich-PVC der Vorteil der Selbstverlöschung), allerdings Nachteile durch die Chlorwasserstoffbildung. Diese führt aber weniger zu Personengefährdung als zu höherer Rauchdichte und Korrosionsgefahr bei Stahlbauteilen, Blechen und vor allem elektronischen Bauteilen je nach Nutzungsart und den verwendeten Produkten führen kann. Hinsichtlich der Personengefährdung bei Bränden zeigt sich eindeutig Kohlenmonoxid (CO) als der dominante Schadstoff. Das in Zusammenhang mit PVC-Bränden viel zitierte Dioxin tritt zwar generell bei Anwesenheit von Chlor bei Bränden auf, ist aber weder hinsichtlich der Dioxinbilanz noch der Todesfälle bei Bränden bedeutend.

Als wesentlicher Diskussionspunkt bei Weich-PVC Produkten zeigte sich die Verwendung von Phthalaten als Weichmacher. Der meist angewendete Weichmacher war lange Zeit DEHP. Der Verdacht der Reprotoxizität und die darauf aufbauende Kennzeichnungspflicht führten zur verstärkten Substitution von DEHP gegen alternative Phthalate oder in sensiblen Bereichen gegen phthalatfreie Ersatzstoffe, speziell in jenen Bereichen, wo direkter Kontakt zum Menschen gegeben ist. Handlungsbedarf besteht bei DEHP weiterhin in medizinischen Einsatzbereichen, bei denen die Aufnahme in den Körper möglich ist. Die weitergehende Substitution von DEHP durch gesundheitlich unbedenkliche Alternativen ist in diesen Anwendungsbereichen zu forcieren. Eine Ausnahme bildet die Herstellung von Blutbeuteln bis Alternativen mit vergleichbaren Eigenschaften (konservierende Wirkung) vorliegen.

Bei den alternativen Phthalaten (DINP, DIDP) zeigen die Risikobewertungen der EU kein Risiko für Mensch und Umwelt, trotzdem wird ihre Anwendung unter Bezugnahme auf das „Vorsorgeprinzip“ in einigen Anwendungsbereichen in der EU eingeschränkt.

Unbedenkliche phthalatfreie Alternativen liegen bereits in größerer Zahl vor (Hexamoll® DINCH, Zitrat, etc.), sie weisen allerdings noch nicht in allen Bereichen äquivalente Gebrauchseignung auf, wodurch der Umstieg oft zögerlich verläuft. Sie stellen jedenfalls für die Zukunft eine umweltneutrale Perspektive im Bereich der Weich-PVC Produkte dar.

Da einige Ersatzstoffe hinsichtlich ihrer toxikologischen und ökologischen Eigenschaften noch nicht in gleichem Ausmaß untersucht sind, erscheint der Einsatz der alternativen Phthalate entsprechend den gesetzlichen Gegebenheiten (die eine Reduktion der Aufnahme durch den Menschen zum Ziel haben) jedenfalls so lange vertretbar, bis die Abklärung der Eigenschaften der phthalatfreien Weichmacher abgeschlossen ist.

Eine generelle Deklaration der verwendeten Additive würde eine Abgrenzung jener Produkte, die auf unbedenkliche Alternativen setzen, von denen, die noch kennzeichnungspflichtige Zusätze verwenden, erlauben.

Die nachfolgende Ergebnis-Zusammenstellung zeigt die für Weich-PVC relevanten Themenfelder und die Bewertung auf Grund der durchgeföhrten Analyse.

Erläuterung zur Bewertung:

+	<i>Situation generell oder durch erfolgte Problemlösung vorteilhaft</i>
O	<i>Situation neutral oder nunmehr unbedenklich, bei größerer Tragweite eines Risikos nur minimale Wahrscheinlichkeit</i>
>	<i>Die Lösung kontroverser Situationen ist vorhanden, deutliche Verbesserungen bereits erfolgt</i>
-	<i>Nachteil von PVC, aber ohne ein Gefahrenpotenzial, das eine Rechtfertigung für Marktbeschränkungen darstellen würde</i>
!	<i>Es besteht Handlungsbedarf, um Gefahrenpotenzial zu mindern oder Anwendungsbeschränkungen abzuwenden</i>

Tabelle 10: Ergebniszusammenstellung für Weich-PVC

Weich - PVC	
Rohstoffbereitstellung	Rohstoffverfügbarkeit
	Technologische Entwicklung der Chlor-Alkali-Elektrolyse
	PVC und die Vermeidung der Chlorchemie
	Risiko der technischen Anlagen
	Umweltbelastungen durch die Chlorchemie
	Energiebedarf und Klimarelevanz
	Wertschöpfung durch Koppelprodukte der Elektrolyse
	Transportrisiko
	PVC-spezifische Belastungen am Arbeitsplatz
	Arbeitsunfälle
Produktherstellung	Additive
	Stabilisatoren
	Farbpigmente
	Weichmacher
	Umwelt- und Gesundheitsgefährdung durch Phthalate
	Alternative Weichmacher
	Innere Weichmachung
	Energiebedarf der Verarbeitung
	Gesundheitsgefährdung am Arbeitsplatz
Nutzungsphase	Anwendungsschwerpunkte von PVC in Österreich
	Umwelt- und Gesundheitsbelastung durch Phthalate
	Umwelt- und Gesundheitsbelastung durch DEHP
	Umwelt- und Gesundheitsbelastung durch alternative Phthalate
	Umwelt- und Gesundheitsbelastung durch altern. Nicht-Phthalate
	Umwelt- und Gesundheitsgefährdung durch Stabilisatoren
	Umwelt- und Gesundheitsgefährdung durch Farbpigmente
	Additive in Lebensmittelverpackungen
	Additive in Kinderspielzeug
	Medizinprodukte und DEHP
Entsorgung	Kostenvorteil PVC
	Technische Eignung der Produkte
	Brandrisiko im Baubereich
	Brandverhalten und Folgekosten im Brandfall
	Personengefährdung im Brandfall
	Bildung von persistenten toxischen Substanzen bei Bränden
	Abfallsituation bei PVC
	Umweltbelastungen durch Weichmacher
	Umweltbelastungen durch Stabilisatoren und Farbpigmente
	Verbrennung in Müllverbrennungsanlagen

7 Literaturübersicht

- 1 PVCplus Kommunikations GmbH; Initiative PVC plus - PVC Werkstoff; <http://www.pvcplus.de/index.php?id=50>
- 2 API PVC- und Umweltberatung; Internetartikel; <http://www.pvc.at/d/api.htm>
- 3 Europäische Kommission; Internetartikel; Polyvinyl Chloride (PVC); <http://ec.europa.eu/environment/waste/pvc/index.htm>; Feb. 2007
- 4 GUA GmbH; Kunststoffe und Energiebedarf; November 2005
- 5 <http://de.wikipedia.org/wiki/Chlor-Alkali-Elektrolyse>
- 6 OR Ing. Heribert Ulrich; Positionspapier des BMWA; PVC im Baugewerbe; 1999
- 7 Tötsch W., Gaenssen; Polyvinylchlorid, zur Umweltrelevanz eines Standardkunststoffs; Köln 1990
- 8 <http://de.wikipedia.org/wiki/Chlor-Alkali-Elektrolyse>
- 9 Eurochlor; <http://www.eurochlor.org/animations/diaphragm-cell.asp>
- 10 Umweltbundesamt Berlin; National Focal Point – IPPC; Integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung (IVU), Referenzdokument über die Besten Verfügbaren Techniken in der Chloralkaliindustrie; Dezember 2001
- 11 Eurochlor; <http://www.eurochlor.org/index.asp?page=180>; Daten aus dem EPER ; 2004
- 12 Rothen A.; Positionen zur Chemie mit Chlor - VCI Internetartikel; Nov. 2005
- 13 Umweltbundesamt Deutschland; Integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung (IVU; Referenzdokument über die Besten Verfügbaren Techniken in der Chloralkaliindustrie); <http://www.bvt.umweltbundesamt.de/archiv/chloralkaliindustrie.pdf>; Dez. 2001
- 14 VCI-Publikation; Im Dialog; September 1997
- 15 Eurochlor; Chlorine Online, How is chlorine made; <http://www.eurochlor.org/COCEM>; Daten aus dem EPER ;2004
- 16 UNEP United Nations Environment Programme); Global Mercury Assessment; <http://www.chem.unep.ch/mercury/Report/Chapter6.htm#6.2>; Feb.2003
- 17 VCI Verband der chemischen Industrie; Die Zukunft der Amalgam-Anlagen in Deutschland; November 2006
- 18 Eurochlor; Chlorine Online, How is chlorine made; <http://www.eurochlor.org/index.asp?page=76> ?; Daten aus dem EPER ;2004
- 19 Europäische Kommission; Life Cycle Assessment of PVC and of principal competing materials; Commissioned by the European Commission; July 2004
- 20 Koller U; Umweltberatung Bayern; Fachinformation „Umwelt und Gesundheit“; http://www.bayern.de/lfu/umwberat/data/chem/stoff/pvc_2000_ab.htm; April 2000
- 21 RWI Essen; Die Klimaschutzerklärung der deutschen Industrie vom März 1996 – eine abschließende Bilanz; Monitoring-Bericht 2000, Fortschrittsberichte der Verbände
- 22 wikt-Consult – FhG Verbund Energie; Bericht, Bad Honn; Dezember 2006
- 23 KfW Bankengruppe, Abteilung Volkswirtschaft; Energie effizient nutzen: Klima schützen, Kosten senken, Wettbewerbsfähigkeit steigern; [http://www.competence-site.de/energie.nsf/4C4FCDAC981D3E3FC1257076002706D7/\\$File/sonderpublikation_energieeffizienz_kfw_bankengruppe.pdf](http://www.competence-site.de/energie.nsf/4C4FCDAC981D3E3FC1257076002706D7/$File/sonderpublikation_energieeffizienz_kfw_bankengruppe.pdf); Juli 2005
- 24 Verband der chemischen Industrie (VCI); Zukunft der Alkalichlorid-Elektrolyse- Anlagen nach dem Amalgam-Verfahren; März 2001
- 25 VCI; Grafik erstellt nach Daten der Selbstverpflichtung der VCI
- 26 PlasticsEurope; Präsentation PVC-Workshop, 13.12.2006
- 27 Pötzsch M.: Risikobewertung des Transports von Chlor mit Binnentankschiffen auf dem Rhein unter besonderer Beachtung des Gefahrenrecht; Dissertation; Bergische Universität Wuppertal 2004

28 *Arbeitsmedizin Wien und Unfallverhütungsberichte der Deutschen Bundesregierung; Auskunft*

29 *Arbeitsgemeinschaft PVC und Umwelt: Wissenswertes über PVC, August 2005*

30 *AUVA; Angaben zu Arbeitsunfällen; 2005*

31 *FCIO; Jahresbericht der chemischen Industrie; Wien 2005*

32 *API Wien; Internetartikel; PVC-Compounds von EVC auf pflanzlicher Basis; http://www.pvc.at/d/news_at_0205.htm; Feb. 2005*

33 *European Commission; Life Cycle Assessment of PVC and of principal competing materials; Commissioned, July 2004*

34 *API und Umweltberatung; Daten über die Anwendung von PVC-Harz in Österreich basierend auf Statistik Austria; pers. Mitteilung*

35 *UBA-DE, Fraunhofer Institut, Ökopol; Leitfaden zur Anwendung umweltverträglicher Stoffe; Februar 2003*

36 *AgPU; Produktions- Verbrauchs- u. Abfalldaten für Deutschland unter Einbeziehung der Verwertung; 2004*

37 *Bodo Möller Chemie GmbH- Offenbach am Main; Prozess- und Hitzestabilisatoren, <http://www.bm-chemie.de/content/de/kunststoffadditive/hitzestabilisator.shtml>*

38 *Fraunhofer Institut ICT; Technologiestudie zur Verarbeitung von Polyvinylchlorid (PVC); Pfintzal, Mai 2005*

39 *UBA DE; Handlungsfelder und Kriterien für eine vorsorgende nachhaltige Stoffpolitik am Beispiel PVC; 14.07.2003*

40 *BMLFUW; Gesamtbericht; Behandlungs- und Verwertungswege für PVC-Abfälle; Dezember 2002*

41 *Chemson; persönliche Mitteilung; 2007*

42 *UBA-DE; Hinweise zur Substitution gefährlicher Stoffe; Kapitel 5.1 Funktion: Weichmacher; Umweltbundesamt Deutschland, 2003*

43 *http://www.agpu.de/fileadmin/user_upload/information_herunterlade/Weichmacher-Anwendungen%20Westeuropa_230106.lin.pdf*

44 *GEO-LAB UMWELTANALYTIK; Internetartikel; <http://www.geo-lab.de/phthalat.htm>*

45 *UBA; <http://www.umweltbundesamt.at/umweltschutz/umweltanalytik/schadstoff/pvc/weichmacher>*

46 *AssTech Risk Management Service GmbH; Newsletter zum Thema Weichmacher; http://www.asstech.com/de/downloads/newsletter_Weichmacher.pdf*

47 *AgPU; Marktdaten Weichmacher; Bonn 2006*

48 *Henrik Jungclas; Nachweis der Humanbelastung und klinische Relevanz des Weichmachers DEHP sowie ausgewählter Metabolite; Dissertation; Marburg 2006*

49 *Angerer J., Koch H.M.; Entwicklung und Anwendung einer analytischen Methode zum biologischen Monitoring umwelt- und arbeitsbedingter Phthalsäurediester-Belastungen; 2005*

50 *DOW Chemicals; persönliche Mitteilung*

51 *EU Risk Assessment Report for DINP; JRC Ispra 2003*

52 *ECB (European Chemicals Bureau); <http://ecb.jrc.it/>*

53 *F. Welle, G. Wolz, R. Franz - Fraunhofer Institut; Studie über das Migrationsverhalten von DEHP gegenüber einem alternativen Weichmacher, Hexamoll® DINCH, aus PVC Schläuchen in enterale Nahrungslösungen; 2005*

54 *Lanxess Links; <http://www.experts4additives.com/pma/de/products/plasticizers;> 2004*

55 *Leoni Gruppe; Umwelterklärung, 12.2.2004*

56 *PE Europe GmbH; Ökobilanzierung von PVC und wichtigen Konkurrenzwerkstoffen; Im Auftrag der Europäischen Kommission; April 2004*

57 *gPU, API, PVCH, VKE; Abbildung nach Daten aus „PVC daten, fakten, perspektiven“; aktualisierte Fassung; Mai 2003*

58 *N. Scholz et.al.; Biodegradation of DEHP, DBP and DINP; Bull. Environ. Contam. Toxicol. (58, 527)*

59 N. Scholz; *Ecotoxicity and biodegradation of phthalate monoesters*; *Chemosphere* 53,(2003),921

60 EU Risk Assessment Report DEHP

61 C. Mackintosh; *Distribution of phthalate esters in a marine aquatic food web*; *Environ. Sci. & Technol*; Accept; Dec 22th 2003

62 F. Gobas et.al.; *Bioaccumulation of phthalate esters in aquatic foodwebs*; *The Handbook of Environmental Chemistry Vol 3, Part Q (201)*; 2003

63 Thölmann D.; *Emissionen von Phthalaten aus Weich-PVC*; *Proc. Achema-Konferenz*; 2006

64 <http://www.umweltbundesamt.at/umweltschutz/umweltanalytik/schadstoff/pvc/weichmacher>

65 International Agency for Research on Cancer (IARC); *Technical Report on some Industrial Chemicals*; Volume 77; Feb. 2000

66 UBA DE; *Presse-Information*; *Phthalate – nützliche Weichmacher mit unerwünschten Eigenschaften*; Februar 2007

67 Umweltbundesamt Österreich; *Pressemeldung*; http://www.umweltbundesamt.at/presse/lastnews/newsarchiv_2004/news040401; 2004

68 IARC (Int. Agency for Research on Cancer); *Technical Report on some industrial chemicals*; Vol 77; Feb. 2000

69 C G Bornehag, J Sundell; C J Weschler, T Sigsgaard; B Lundgren, M Hasselgren, L Hagerhed-Engman; *The association between asthma and allergic symptoms in children and phthalates in house dust: a nested case-control study*; *Am. J. Public Health* 89 188-192 ; 1999

70 Becker et.al.; *DEHP metabolites in urine of children and DEHP in house dust*; *Int. Hyg. Environ. Health* 207; (409); 2004

71 Markus Binder, Herbert Obenlan; *Literaturstudie zum Vorkommen und zur Exposition- und Risikoabschätzung von DEHP im Innenraum*; im Juli 2004 BfR; *Pressemitteilungen vom 23.07.2003 und 13.08.2003*

73 API PVC- und Umweltberatung GmbH; *PVC Produktinformation Nr. 13*; Dez. 2002

74 Stiftung Warentest; *Rückstände aus Verpackungen*; *Da geht was rein*; *Test auf Essen und Trinken*, 03/2005

75 Welle et.al.; *Migration von Weichmachern aus PVC-Schlüuchen in Nahrungslösungen*; *Pharma International* 3 (17), 2005

76 Umweltbundesamt Berlin; *Leitfaden zur Anwendung umweltverträglicher Stoffe*, Teil 1; Feb 2003

77 Bundesinstitut für Arzneimittel und Medizinprodukte; *März 2005*; http://www.bfarm.de/cln_043/nn_421158/DE/Presse/mitteil2005/pm03-2005.html_nnn=true

78 Green et al.; *Use of di(2-ethylhexyl)phthalate containing medical products and urinary levels of mono (2-ethylhexyl)phthalate in neonatal intensive care unit infants*; *Environm. Health Persp.*, <http://dx.doi.org/>; 8 June 2005

79 Bundesinstitut für Risikobewertung; *Stellungnahme des BfR vom 23. Juli 2003*

80 Greenpeace; *Hintergrund Papier*; *PVC in Medicalprodukten, Antworten auf 12 oft gestellte Fragen*; Okt. 1999

81 Fraunhofer ICT; *Technologiestudie zur Verarbeitung von Polyvinylchlorid (PVC)* S.37; 2005

82 Patrick Moore; *Interview auf ABC Radio National*; *Originalinterview*: www.abc.net.au/rn/counterpoint/ und *Video-Botschaft* <http://www.youtube.com/watch?v=n6M-ci4FQss>; *Australien 10.04.2006*

83 Enquête-Kommission; *Bericht Schutz des Menschen und der Umwelt - Bewertungskriterien und Perspektiven für umweltverträgliche Stoffkreisläufe in der Industriegesellschaft*; 1994

84 Bayrisches Landesamt für Umweltschutz; *Schadstoffe bei Brandereignissen*; 2004

85 Hirschler; *Journal of Sciences* 5, 289; 1987

86 Schießl P; *Skriptum zur Grundvorlesung in Baustoffkunde*; Technische Universität München

87 Schmacher L.; *pw-Internet Solutions GmbH: Die Baustoffklassen*; Mönchengladbach; http://www.baumarkt.de/b_markt/fr_info/brandbau1.htm

88 Rotard W.; *Gefahrstoffe nach Bränden – Sanierungsleitwerte in Sanierung von Brandschäden*; Vortragsband einer Fachtagung des VdS e.V.; Köln; 1996

89 http://www.biw.fhd.edu/alumni/2002/stiebinger/sem-brandschutz/bv_beton.htm; Brandverhalten von Beton

90 Hammer; *Sanierung von Brandschäden*; Vortrag auf der VdS Fachtagung, Köln 1996

91 Verband der Schadensversicherer VdS; *Richtlinie zur Brandschadensanierung*; VdS-Richtlinie 2357; 1998

92 Engelmann M., Skura J.; *PVC im Brandfall*; Gummi, Fasern, Kunststoffe, Nr.49; 1996

93 Deutsches Gesundheitsamt; <http://www.gesundheitsamt.de/alle/umwelt/chemie/luft/diox/infobl.htm>

94 Arbeitsgruppe Dioxin; <http://www.hygiene.ruhr-uni-bochum.de/hygiene/dioxin/dioxin-information.html>; 2007

95 Umweltbundesamt Österreich; *Emissions-Trends in Österreich*; 2005

96 Fachinformation Umwelt und Gesundheit; *Polyvinylchlorid (PVC)*; Stand: April 2000

97 Ruhr-Universität Bochum und Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf im Auftrag des Ministeriums für Arbeit, Gesundheit und Soziales des Landes Nordrhein-Westfalen; *Umweltmedizinische Untersuchungen an Feuerwehrleuten*; 1993

98 Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft des Landes Nordrhein-Westfalen; *Dokumentation Grossbrand Lengerich*; 1994

99 European Commission; *Study for DG XI; Mechanical Recycling of PVC Wastes; Prognos 2000*

100 Kommission der Europäischen Gemeinschaften; *Grünbuch zur Umweltpolitik von PVC*; 2000

101 Furtmann K.; *Landesamt für Wasser und Abfall, Nordrhein-Westfalen; Phthalate in der aquatischen Umwelt; LWA-Materialien*, Nr. 6/93; 1993

102 TuTech GmbH; *Contribution of Post-Consumer PVC Products to Lead Inventory in Landfilled Waste*; Hamburg; Jun. 2001

103 Rieber, Boeke, Saffert, Lindner; *Recycling von bleihaltigem Alt-PVC*; 1995

104 EUCommission; *The influence of PVC on the quantity and hazardousness of flue gas residues from incineration*; Berlin 2000

105 Vehlow J.; *Waste combustion and the dioxin issue*; Korean Institute of Science and Technology (KIST); Europe Environmental Technology Workshop; Saarbrücken 1997

106 Dr. H.-R. Paur; *Forschungszentrum Karlsruhe, Institut für Technische Chemie, Multifunctional Scrubber for Incineration Plants; Simultaneous Removal of Mercury, Submicron Particles, and Dioxins*

107 Kirrman; *Incineration of PVC and other products in MSW*; Nov. 2000

108 AGPU; *Consultic-Studie: Produktions-, Verbrauchs- und Abfalldaten für PVC in Deutschland unter Einbeziehung der Verwertung*; 2005

109 AgPR - Arbeitsgemeinschaft PVC-Bodenbelag Recycling; *AgPR-Recyclingliste*

110 Solvay S.A; *PVC-Compound-Rezyklat ist ökoeffizienter als Neuware; Internetartikel*; <http://www.vinylloop.com/sustainable/ecoeficiencyvirginproduct/0,39506-4-0,00.htm>