

daten, fakten, perspektiven

mpv

---

## **pvc: daten, fakten, perspektiven**

Ein Leitfaden für alle, die sachliche Informationen zum Thema PVC haben wollen. Ein Nachschlagewerk mit aktuellen Daten und Fakten, das die Perspektiven des vielseitigen Werkstoffes aufzeigt.

Herausgegeben von:

AgPU

API

PVCH

VKE

aktualisierte Fassung

Mai 2003



---

## **vorwort**

PVC ist ein wertvoller Rohstoff, der sich problemlos herstellen, verarbeiten und recyceln lässt. Die einzigartige Bandbreite von Eigenschaften eröffnet umfangreiche Innovationsmöglichkeiten und bringt der Gesellschaft Fortschritte und Vorteile in einer Vielfalt von Anwendungen vom Gesundheitswesen über die Bautechnik bis hin zur Entwicklung von alltäglichen Gütern. Die Bandbreite reicht von robusten Wasserrohren bis zu leichten Dachmembranen. PVC ist ein ökoeffizienter Werkstoff, der bei verantwortungsbewusster Steuerung über den gesamten Lebensweg hinweg der Gesellschaft nachhaltige Vorteile bietet.



---



## Impressum

Herausgeber:

AgPU

API

PVCH

VKE

Redaktion:

Dr. Rüdiger Baunemann

Dr. Michael Graß

Dr. Sabine Lindner

Dr. Reinhard Saffert

Dr. Ernst Spindler

Texte:

Arbeitskreis PVC-Fakten der  
AgPU und des VKE

Gestaltung:

okapidesign GmbH, Köln

[www.okapidesign.de](http://www.okapidesign.de)

Erscheinungsdatum:

Mai 2003

## 1 produkte

1.1	rohre	7
1.2	fensterprofile	7
1.3	fußbodenbeläge	8
1.4	dachabdichtungen	9
1.5	pvc-plastisole im automobilbau	10
1.6	planen	10
1.7	kabel	11
1.8	elektroanwendungen	12
1.9	kunstleder	12
1.10	strukturschaumtapeten	13
1.11	verpackungen	14
1.12	medizinalanwendungen	15
1.13	spielzeug	16

## 2 lebensweg des pvc

2.1	herstellung (chlor, vc, polymerisation)	18
2.2	verarbeitung	20
2.2.1	extrusion	20
2.2.2	kalandrieren	20
2.2.3	spritzgießen	20
2.2.4	blasformen	21
2.2.5	pvc-pastenverarbeitung	21
2.3	additive	22
2.3.1	stabilisatoren	22
2.3.2	weichmacher	23
2.3.3	sonstige additive	25
2.4	einzelfragen der gebrauchphasen von pvc-produkten	26
2.4.1	innenraumluftbelastung	26
2.4.2	brandverhalten	27
2.5	verwertung und beseitigung von pvc-abfällen	30
2.5.1	werkstoffliches recycling	32
2.5.2	rohstoffliches recycling	34
2.5.3	energetische verwertung	35
2.5.4	entsorgung von pvc auf deponien	36

## 3 pvc: werkstoff mit zukunft

3.1	pvc ist ein technisch leistungsfähiger werkstoff	38
3.2	pvc ist ein ökonomisch wettbewerbsfähiger werkstoff	38
3.3	pvc ist ein ökologisch zukunftsfähiger werkstoff	39

## 4 pvc: standortbestimmung



---

## 1 produkte

PVC (Polyvinylchlorid) ist einer der vielseitigsten Kunststoffe und hat sich in vielen Lebensbereichen bewährt. Ob am Bau, in der Medizin, im Designbereich oder in der Automobilindustrie – immer wenn’s besonders sicher, langlebig und zuverlässig sein soll, vertrauen Konstrukteure, Ärzte und Architekten auf diesen ausgereiften Kunststoff »1.

Viele Produkte aus PVC sind uns so vertraut und selbstverständlich, dass wir uns ihrer Vorteile – der technischen, ökologischen und ökonomischen –, die für die Wahl dieses Materials ausschlaggebend sind, nicht immer bewusst werden.

In diesem Kapitel werden die wichtigsten Produkte aus dem Werkstoff PVC vorgestellt. Dem Recycling dieser PVC-Produkte widmet sich das Kapitel 2.5.

Die meisten Kunststoffrohre in Europa werden aus PVC gefertigt. Der Verwendung nach gliedern sich PVC-Rohre in zwei Gruppen:

- Druckrohre, z. B. für Trinkwasserleitungen
- Drucklose Rohre, z. B. für Abwasserkanäle und -leitungen

Neben dem in diesen Anwendungsbereichen eingesetzten PVC-U (das »U« steht für »Unplasticized«) gibt es PVC-C (das ist ein nach-chloriertes PVC), das wegen seiner höheren Wärmebeständigkeit vor allem in der Trinkwasser-Hausinstallation Verwendung findet.

PVC-Rohre sind sehr langlebige Produkte. Dies bestätigen seit 45 Jahren laufende Untersuchungen, geprüfte Eigenschaftswerte von vor 60 Jahren verlegten Rohren und Studien der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser. 100 Jahre sind demnach eine realistische Nutzungsdauer.

PVC-Rohre sind korrosionsbeständig. Ihre chemische Widerstandsfähigkeit qualifiziert sie sogar für die Ableitung aggressiver Industrieabwässer und für Produktleitungen in chemischen Betrieben. Ihre hydraulische Leistungsfähigkeit ist u. a. aufgrund der glatten Rohrinnenflächen hoch: Inkrustationen werden vermieden, das Fließverhalten nicht beeinträchtigt.

Rohre aus PVC gehören zu denen mit den geringsten Abriebwerten. Sie erfüllen mit ihren sicheren Verbindungen die umweltrelevante Forderung nach Dichtheit – auch unter extremen Belastungen. Wurzeleinwuchs tritt nicht auf.

Die Verlegung von PVC-Rohren ist bei großen Rohrlängen mit vergleichsweise weniger Verbindungen, aufgrund ihres geringen Gewichts und vollständiger Formstückprogramme mit vielen Vorteilen verbunden »2,3.

PVC-Rohrsysteme sind äußerst wirtschaftlich; dies gilt sowohl für Investitionskosten (Materialpreis, Personal- und Baukosten) als auch für die Aufwendungen für Betrieb und Unterhaltung. Letztlich gehört dazu auch die kostenlose Rücknahme und Verwertung (Recycling) von Rohrabfällen.

Die positiven technischen, ökologischen und ökonomischen Eigenschaften sowie die Innovationsfähigkeit der Kunststoffrohr-Industrie, die sich z. B. in der Entwicklung von Rohren mit reduziertem Materialeinsatz ohne Eigenschaftsverluste dokumentiert, werden auch in Zukunft PVC-Rohrsystemen starke Marktpositionen sichern.



## 1.2 fensterprofile

»1 L. Reusser, »Ökobilanz von Rohrleitungssystemen«, EMPA St. Gallen, März 1998

»2 L. Reusser, »Ökobilanz von Rohrleitungssystemen«, EMPA St. Gallen, März 1998

»3 H. Krähling, E.-J. Spindler; »PVC pipes and sustainability« (XI Intern. Pipes Conference, Munich), 2001

PVC ist heute in Europa der wichtigste Werkstoff für Fensterrahmen; seine Bedeutung nimmt stetig zu. Das Haupteinsatzgebiet für PVC-Fenster liegt in der Altbausanierung von Eigenheimen und Wohnblocks sowie im kommunalen Wohnungsbau. Auch in privaten Neubauten finden sie vielfach Anwendung.



Fensterprofile aus PVC haben eine lange Lebensdauer. Regen, Schnee, Eis, Sonnenlicht und andere Umwelteinflüsse können ihnen nichts anhaben. Bis auf das gelegentliche Nachstellen von Beschlägen und Austauschen von Dichtungen benötigen PVC-Fenster keinerlei Wartung und bleiben formstabil über die gesamte Einsatzdauer, die 40 Jahre und mehr betragen kann. Ein zusätzlicher Oberflächenschutz durch Lacke oder Lasuren ist nicht notwendig. Begrenzt wird die Funktionsdauer der Fenster in erster Linie durch die Haltbarkeit der Beschläge.

Die Anschaffungskosten sind für PVC-Fenster durchweg geringer als für andere Fenster. Zusammen mit den geringen Wartungskosten ergeben sich daraus um 70 bis über 100% geringere Lebenswegkosten. Dieser Kostenvorteil kann z. B. für eine thermisch verbesserte Verglasung genutzt werden » 4. Die so verbesserten PVC-Fenster sind immer noch kostengünstiger als die Alternativen, weisen aber eine viel günstigere Ökobilanz auf.

Balkon- und Terrassentüren sowie Haustüren mit dekorativen Füllungen sind in ihrer Bautechnik und in ihren Anforderungen mit den Fenstern vergleichbar.

In diesem Zusammenhang sind auch die Rollläden zu nennen. Rollläden aus PVC-Profilen haben die früher üblichen Holz-Rollläden fast völlig verdrängt. Vor allem das deutlich geringere Gewicht, das auch noch große handbetätigte Rollladenpanzer erlaubt, hat zum Siegeszug beigetragen.

Die Herstellung von PVC-Fensterprofilen erfolgt durch die Extrusion einer Mischung aus PVC-Pulver, Schlagzäh-Modifiern, Gleitmitteln, Füllstoffen, wie beispielsweise Kreide, Stabilisatoren und Pigmenten, wie beispielsweise Titandioxid. Die heute übliche und bewährte Bleistabilisierung wird zunehmend durch Stabilisatoren auf Kalzium-Zink-Basis ergänzt.

Mehrere Ökobilanzstudien in verschiedenen Ländern zeigen, dass PVC-Fenster hinsichtlich Energiebedarf und Emissionen bei der Herstellung und Verwendung vergleichbar mit Alternativen sind » 5, 6. Signifikant verbessern lässt sich das Ökopprofil eines PVC-Fensters durch Recycling: Alle relevanten Umweltbelastungen sinken bei der Verwendung von Recyclat.

In Deutschland gibt es drei Recyclinganlagen, in denen Altfenster – auch aus Österreich – werkstofflich wieder verwertet werden.

» 4 E.-J. Spindler, »Sustainable Development: How to Weigh Both Economical and Ecological Cost? A New Strategy for a combined Optimization«, Journal of Vinyl & Additive Technology, Vol. 7, p. 84-89, 2001

» 5 K. Richter et al., »Ökologische Bewertung von Fensterkonstruktionen verschiedener Rahmenmaterialien (ohne Verglasung)«, EMPA Schweiz, Mai 1996

» 6 J. Kreißig, M. Baitz, M. Beltz, W. Straub, »Ganzheitliche Bilanzierung von Fenstern und Fassaden«, Institut für Kunststoffprüfung und Kunststoffkunde (IKP), Universität Stuttgart, 1997/1998

» 7 H.-C. Langowski, »Life Cycle Assessment Study on Resilient Floorcoverings for ERFMI«, Fraunhofer Institut, Verfahrenstechnik und Verpackung, 1998

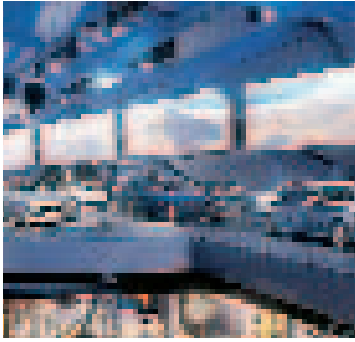
---

## 1.3 fußbodenbeläge

Am gesamten Markt von Bodenbelägen in Westeuropa hat PVC einen Anteil von etwa 15 %, bezogen auf die Fläche des verlegten Materials.

Im privaten Bereich sind PVC-Böden beliebt, weil sie gute Qualität und leichte Verlegbarkeit zu einem günstigen Preis bieten. In öffentlichen Gebäuden werden häufig die durch Besucherverkehr besonders stark beanspruchten Räume mit PVC ausgelegt. Neben der hohen Abriebfestigkeit spielen auch die Beständigkeit gegenüber Säuren und Laugen sowie die leichte Reinigung eine wichtige Rolle » 7.





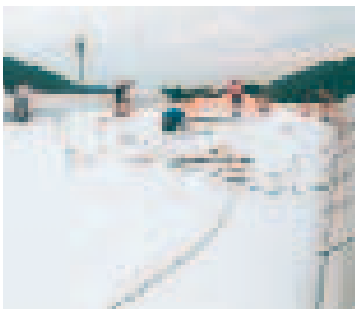
Bei der Ausstattung von Krankenhäusern, Laboratorien und Reinsträumen zur Halbleiterfertigung, also überall dort, wo es auf äußerste Hygiene oder Staubfreiheit ankommt, werden häufig PVC-Bodenbeläge verwendet. Die einzelnen PVC-Bahnen lassen sich zu fugenlosen Oberflächen verschweißen und durch Aufbiegen an den Wänden zu nahtlosen Wannen formen. Es gibt daher keine Ritzen, in denen sich Schmutz oder Keime ansiedeln können, ebenso werden verschüttete Flüssigkeiten sicher zurückgehalten.

PVC-Bodenbeläge gibt es in kompakter Form, wobei das Material entweder aus einer homogenen Schicht oder aus mehreren Schichten mit unterschiedlichen Eigenschaften besteht. Beide Typen zeigen eine hohe Abriebfestigkeit. Daneben gibt es geschäumte Bodenbeläge (auch »CV-Beläge« nach dem englischen Begriff »Cushion Vinyls«), die aus einem in PVC eingebetteten Glasvlies bestehen, auf das eine PVC-Schaumschicht aufgebracht wird. Diese Beläge sind weich, fußwarm und dämpfen den Trittschall.

PVC-Bodenbeläge enthalten verschiedene Zuschlagstoffe, die sowohl einer guten Verarbeitung als auch der Verbesserung der Gebrauchseigenschaften dienen. Als Stabilisatoren werden vorwiegend Kalzium-Zink-Verbindungen eingesetzt. Pigmente ermöglichen die Einstellung jeder Farbe, Weichmacher mit einem Anteil zwischen 10 und 20 Gewichtsprozent geben dem Belag die gewünschte Flexibilität.

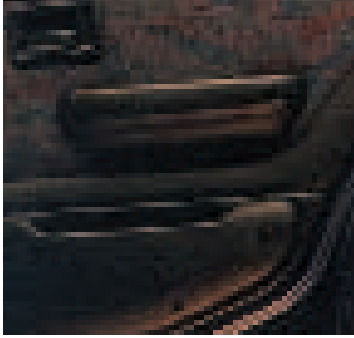
## 1.4 dachabdichtungen

Dachdichtungsbahnen werden in der Regel als oberste Schicht eines Flachdachaufbaues eingesetzt. Üblicherweise wird darauf noch eine Lage Kies geschüttet. Hauptaufgabe aller Abdeckungen ist der Schutz des darunter liegenden Bauwerkes vor Regen, Schnee, Eis, Stauwasser, Wärme, Kälte und Wind. Die Dachbahn selbst muss UV-Licht und Luftschadstoffen widerstehen, Flugfeuer und Strahlungswärme sollen ihr möglichst wenig anhaben können. Oftmals wird verlangt, dass das Dach begehbar bekieset bzw. begrünt werden kann, dies schafft zusätzliche Belastungen.



All diesen Anforderungen wird PVC als Material für Dachdichtungsbahnen auf Grund seiner guten Rezeptiermöglichkeiten als Werkstoff gerecht: Es besitzt eine hohe Witterungsbeständigkeit, hält lange und lässt sich leicht verarbeiten. Gerade bei der Sanierung alter Dachaufbauten spielt die sichere Verbindungs- und Anschluss technik eine wichtige Rolle.

PVC-Dachbahnen werden unverstärkt, mit Glas- oder Polyestervliesen verstärkt, kaschiert und mit Einlagen aus PES bzw. Glas (Vliese, Gewebe) angeboten; die Dicke beträgt nur 1,2 bis 2,0 mm. Lichtschutzmittel verbessern die UV-Beständigkeit der PVC-Bahn. Eine Verbesserung der Biegsamkeit, Dehnbarkeit und des Bewitterungsverhaltens wird durch die Auswahl entsprechender Weichmachertypen und Anpassung des Weichmachergehaltes ermöglicht. Erhöhte Anforderungen an den Brandschutz werden durch Additive erfüllt, wie beispielsweise Aluminiumhydroxid.



PVC-Dachbahnen gehören zu den preiswertesten Lösungen für das Abdichten von Flachdächern. All diese positiven Eigenschaften sowie die Verwertungsmöglichkeit durch die Arbeitsgemeinschaft für Dachbahnenrecycling (AfDR) sind die Voraussetzungen dafür, dass PVC-Dachbahnen ihre gute Position in diesem Marktsegment behaupten und ausbauen können.

---

## 1.5 pvc-plastisole im automobilbau

Unter einem PVC-Plastisol versteht man eine Dispersion spezieller PVC-Typen in Weichmachern (s. auch Kapitel 2.2.5 PVC-Pastenverarbeitung). Dabei handelt es sich um eine bei Raumtemperatur streichbare Masse. Beim Erwärmen der Plastisole wandert der Weichmacher in das feinverteilte PVC, das sich dann zu flexiblen, formstabilen und abriebfesten Systemen verfestigt – der Fachmann spricht vom »Gelieren«.

Plastisole können vielfältig verarbeitet werden, beispielsweise durch Streichen, Sprühen, Tauchen und Gießen.

PVC-Plastisole finden im Automobilbau Verwendung als:

- Verklebungen,
- Abdichtungen und Versiegelungen,
- Bördelnähte,
- Unterbodenschutz.

Aber auch Armstützen und Türinnenteile werden mit PVC-Plastisolen hergestellt.

Der gelierte Unterbodenschutz schützt das Autoblech gegen Korrosion. Er ist wärmebeständig, alterungsbeständig und auch bei tiefen Temperaturen ausreichend flexibel. Positiv schlagen zudem die gute Abrieb-, Zug- und Schälfestigkeit zu Buch » 8.

PVC-Plastisole stellen für viele Anwendungen im Automobilbau sowohl technisch als auch wirtschaftlich eine optimale Problemlösung dar, die sich in langjähriger Praxis bewährt hat » 9, 10.

---

## 1.6 planen

Planen bestehen aus einem Trägerstoff – meist einem Gewebe aus hochfesten Polyesterfasern, der mit Weich-PVC beschichtet wird.

PVC-Planen zeichnen sich durch folgende Eigenschaften aus:

- Geringe Wasseraufnahme,
- gute Kälteflexibilität,
- Schwerentflammbarkeit,
- gute Wetterbeständigkeit,
- hohe mechanische Festigkeiten,
- gutes Preis-Leistungs-Verhältnis.

» 8 Krähling, Saffert, Spindler, »PVC-Plastisole: Problemlöser im Automobilbau, KGK 5/1999«; S. 477 – 481

» 9 AgPU (Hrsg.): »PVC-Produkte liefern optimale Lösungen für den Automobilbau«, 1999

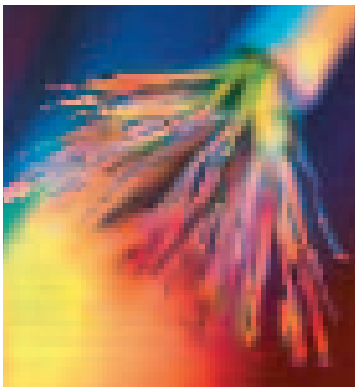
» 10 E.-J. Spindler, »Ökologisch, ökonomisch und sozial verträglich – PVC im Auto (Noch Vorurteile?)«; PLASTVERARBEITER 53 (2002), p. 40 – 41

Eines der wichtigsten Einsatzgebiete sind Planen für Lkw zum Schutz der transportierten Güter. Zugleich sind sie wichtige Werbeträger. Weiterhin werden Planen für Eisenbahnwaggons, für Open-Top-Container und in der Bauwirtschaft zur Sicherung von Gebäuden und nässeempfindlichen Baustoffen verwendet. Daneben werden PVC-Planen in der Landwirtschaft und bei der Herstellung von Bootspersennungen eingesetzt.

Ein besonderes Anwendungsfeld sind sogenannte Wetterlütten, die in Bergwerken zur Belüftung dienen. Sie müssen antistatisch sein und höchste Ansprüche hinsichtlich des Brandschutzes erfüllen.

Auch im Baubereich haben PVC-beschichtete Gewebe wichtige Einsatzgebiete erschlossen. Großzelte, Traglufthallen und gespannte Flächentragwerke lassen sich ebenso mit dem flexiblen Material fabricieren wie Überdachungen von Sport- und Produktionsstätten.

## 1.7 kabel



Weich-PVC ist seit vielen Jahrzehnten das am häufigsten eingesetzte Polymermaterial für die Isolierung und Ummantelung von Leitungen und Kabeln im Niederspannungsbereich bis zu 1.000 V.

Gute dielektrische Eigenschaften, hohe Witterungs- und Chemikalienbeständigkeit und leichte Verarbeitbarkeit auf Hochgeschwindigkeitsextrudern sowie die Möglichkeit, durch kostengünstige, geeignete Rezeptierungen die geforderten Eigenschaften zu erreichen, sind Gründe für die bevorzugte Verwendung von PVC als Kabelwerkstoff »11.

Konventionelle PVC-Compounds für Kabelummantelungen und Isolierungen haben bereits gute brandhemmende Eigenschaften durch ihren natürlichen Halogengehalt. Weitergehende Forderungen nach geringerer Säureemission und verminderter Rauchabgabe können durch neuentwickelte Compounds erfüllt werden. Compounds mit speziellen Füllstoffen wurden entwickelt, um im Brandfall die Säureemissionen und Rauchbildung noch weiter zu verringern. Auch flammhemmende Weichmacher dienen dem Ziel eines erhöhten Brandschutzes. Darüber hinaus kann die Beschichtung der Kabel mit Dämmschichtbildnern eine Brandweiterleitung erheblich verhindern.

Für dünnwandige Kraftfahrzeugleitungen, die im Motorraum hohen Umgebungstemperaturen und dem Angriff von Ölen und Kraftstoff ausgesetzt sind, stehen auch Compounds auf Basis schwerflüchtiger Weichmacher und auch vernetzbare PVC-Compounds zur Verfügung, die deutliche Verbesserungen der Wärmeformbeständigkeit, Abriebfestigkeit und Chemikalienbeständigkeit erbringen.

Klassischerweise werden PVC-Compounds für den Kabelbereich mit Stabilisatoren auf der Basis von Blei-Verbindungen gefertigt. Heute stehen auch Compounds auf der Basis von Kalzium-Zink-Verbindungen zur Verfügung.

Recycling von ausgedienten Kabeln ist für die Hersteller nicht nur wegen des zurückgewonnenen Kupfers attraktiv. Inzwischen wurden

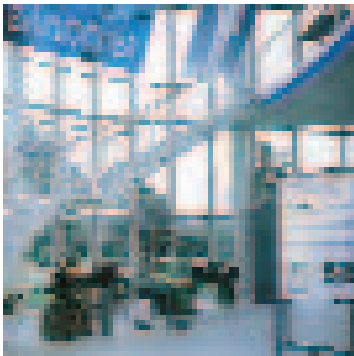
» 11 K. Büppelmann, G. Kammel, E. Spindler, »PVC – ein bewährter Werkstoff für die Kabeltechnik«, Elektrizitätswirtschaft, 26(1994) S. 1638-1642

Verfahren entwickelt, die durch Einsatz von Lösungsmitteln die spezifische Rückgewinnung von PVC auch aus komplexen Materialkombinationen, wie z. B. Kabelbäumen aus Fahrzeugen, ermöglicht. Durch die Fähigkeit des Polymers, neben einem breiten Spektrum unterschiedlicher Weichmacher auch große Anteile an anorganischen Füllstoffen aufzunehmen, wird ein besonders günstiges Preis-Leistungs-Verhältnis von PVC-Kabel-Compounds erreicht, das die weitverbreiteten Anwendungen in der Energieversorgung, Industrie, privaten und öffentlichen Gebäuden und im Fahrzeugbau auch in der Zukunft absichert.

---

## 1.8 elektroanwendungen

PVC-Produkte bieten dem Anwender eine hohe Isolierung gegen elektrische Spannungen und guten mechanischen Schutz bei einfachem Handling und leichter Bearbeitbarkeit.



Die Einsatzgebiete von PVC in der Elektrotechnik umfassen:

- Kanäle, Rohre und Schläuche zur Aufnahme von elektrischen Leitungen sowie Geräteeinbaudosen für Schalter, Steckdosen- und Fernmeldeanschlüsse,
- Stromverteilerkästen für Sicherungseinsätze, Stromzähler und Schaltelemente,
- Gehäuse elektrischer Geräte für Büro- und Telekommunikation, Haushalts- und Unterhaltungselektronik sowie elektrische Handwerkzeuge,
- Abzweig- und Verteilerdosen.

Materialien, die in der Elektrotechnik zum Einsatz kommen, müssen eine ganze Reihe von Anforderungen erfüllen:

- Hohes elektrisches Isolationsvermögen,
- mechanische Steifigkeit,
- Beständigkeit gegen chemische Einwirkungen, Korrosion und Verrottung,
- Schwerentflammbarkeit und Temperaturbeständigkeit,
- einfache und schnelle Montage,
- Schlagzähigkeit auch bei niedrigen Temperaturen (Schneiden, Schrauben, Nageln), Möglichkeit unterschiedlicher Einfärbungen.

PVC weist insgesamt ein günstiges Eigenschaftsprofil auf: Es besitzt eine hohe elektrische Durchschlag- und eine gute Kriechstromfestigkeit. Es ist schwer entflammbar, gegen die meisten Lösemittel beständig und hat unter normalen Einsatzbedingungen eine ausreichende Formbeständigkeit. Auch Witterung und Licht haben kaum Einfluss auf PVC, das nur eine geringe Neigung zur Spannungsrissbildung aufweist.

---

## 1.9 kunstleder

Kunstleder ist ein Sammelbegriff, unter dem lederähnliche Verbundstoffe zusammengefasst werden. PVC-Kunstleder gibt es trägerlos oder auf Trägern aus verschiedensten Geweben.



Häufig besteht das PVC-Kunstleder aus einer Schaumunterseite und einer kompakten Nutzschiicht.

Hauptanwendungsbereiche von PVC-Kunstleder sind:

- Sitzmöbelbezüge aus Kunstleder mit den Vorteilen: leichte Reinigung, Witterungsbeständigkeit und rationelle Verarbeitung.
- PVC für Verkleidungen und Sitzbezüge im Autoinnenraum.
- Täschnerwaren; diese umfassen Hand-, Einkaufs- und Reisetaschen sowie Koffer; als Kleinartikel werden Portemonnaies und Necessaires gefertigt.
- Büroartikel (Schreibmappen, Unterlagen etc.).
- In der Schuhindustrie wird Kunstleder für Sportschuhe verwendet.
- Bei Regenschutz, Arbeitsschutzanzügen und Modeartikeln spielt PVC-Kunstleder eine wichtige Rolle.
- Tischdecken und Tisch-Sets, die schmutzabweisend sind.

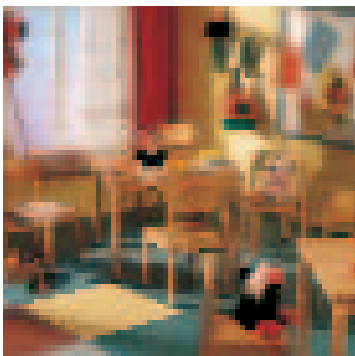
PVC ist beständig gegen Chemikalien und Witterungseinflüsse wie UV-Licht, Wasser, Hitze und Kälte. Positiv auf das Eigenschaftsprofil wirken sich außerdem die hohe Reißfestigkeit und die hohe Dimensionsstabilität aus. Designer schätzen Kunstleder aus PVC wegen der Vielfalt an Einfärbungen und Oberflächenstrukturen.

Für viele Anwendungen stellt das geringe Gewicht von Kunstleder einen spürbaren Vorteil dar. Kunstleder ist unempfindlich gegen Verschmutzung und lässt sich leicht reinigen.

Überall dort, wo es um Wirtschaftlichkeit geht, erweitert Kunstleder aus PVC die Palette der Werkstoffe für Täschnerwaren und ähnliche Produkte.

## 1.10 strukturschaumtapeten

Tapeten mit PVC-Beschichtung haben sich aufgrund ihrer Eigenschaften (abwaschbar, scheuerfest, lichtecht, druckelastisch) im Markt bewährt. Dabei wird insbesondere die gestalterische Vielfalt geschätzt.



Hier bietet die Plastisolverarbeitung außergewöhnliche Möglichkeiten, den Werkstoff vor der Verfestigung in flüssiger Form auf Papier oder Vlies aufzutragen. Die Verwendung von Treibmitteln ermöglicht zusätzlich das Verschäumen der Beschichtung während des Gelerprozesses. Als Auftragsmethode hat sich die Siebdrucktechnologie mit ihrer einzigartigen Vielfalt der Dessinierung sowohl bei kompakten als auch geschäumten Tapeten als das bevorzugte Verfahren bewährt.

Als Trägermaterialien können herkömmliche Basispapiere für die Tapetenherstellung ebenso wie Spezialvliese verwendet werden.

Durch besondere Oberflächenprägung bei kompakten Tapeten oder eine entsprechende Strukturierung durch Schaum lassen sich dreidimensionale Oberflächen erzeugen. Dieser optische Reiz verschmilzt bei der Innenraumgestaltung in Kombination mit passenden Dessins von Dekostoffen, Gardinen und Tischdecken zu raffinierten Dekorationen.

Neben diesen gestalterischen Möglichkeiten bieten die PVC-Tapeten auch praktische Vorteile. Sie sind nach DIN 4102 schwer entflammbar

(Klasse B1) und geschäumte Beschichtungen isolieren gegen Schall und Wärmeverluste.

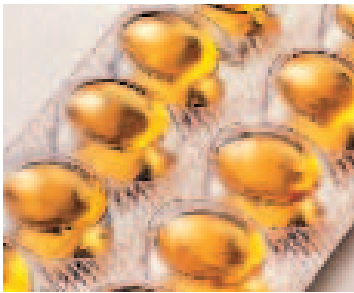
Für Produkte, die in Räumen verarbeitet werden, in denen Menschen leben und arbeiten, gelten besondere Anforderungen hinsichtlich ihrer Belastungen für Mensch und Umwelt. Für Tapeten, die das RAL-Gütezeichen tragen, wird die Einhaltung strenger Anforderungen von neutraler Seite laufend überwacht (RAL-GZ 479, Ausg. 10/2000).

---

## 1.11 verpackungen

Die meisten PVC-Verpackungen bestehen aus PVC-Hartfolie:

- Pharmaverpackungen, zu denen Durchdrückverpackungen für Tabletten, Blister für Ampullen und medizinische Einmalartikel zählen,
- Lebensmittelverpackungen, wie Becher, Deckel und Sortiereinsätze für Lebensmittel, die aus PVC-Hartfolien durch Tiefziehen hergestellt werden,
- technische Verpackungen, z. B. für Elektrokleinteile, Autozubehör, Garten- und Sportartikel und den gesamten Selbstbedienungs-Bereich,
- Sichtfenster für Kartonagen und Schachteln sowie ganze Boxen aus PVC-Folie.



Von geringerer Bedeutung in der Verpackung ist Weich-PVC. Erwähnenswert ist im Wesentlichen die Frischfleischverpackung, der sogenannte »Cling-Film«. Weiterhin werden noch Verschlussdichtungen aus Weich-PVC hergestellt.

PVC-Folien besitzen eine Reihe von vorteilhaften Eigenschaften:

- Die Barrierewirkung gegen Sauerstoff und Aromastoffe verhindert, dass empfindliche Lebensmittel verderben, Gerüche annehmen oder selbst abgeben. Sie sorgt weiterhin dafür, dass Arzneimittel in ihrer Wirksamkeit nicht beeinträchtigt werden. PVC-Verpackungen lassen sich darüber hinaus mit allen üblichen Methoden sterilisieren, der Zutritt von Keimen wird zuverlässig verhindert. Besonders wichtig ist die kontrollierte Sauerstoffdiffusion beim Cling-Film. Erreicht wird dies durch den Einsatz eines speziellen Weichmachers, der dafür sorgt, dass frisches Fleisch »atmen« kann, also seine rote Farbe über lange Zeit beibehält.
- Hart-PVC zeigt aufgrund seiner hohen Beständigkeit besonders wenig Neigung, Inhaltsstoffe an Nahrungsmittel abzugeben. Um die Migration von Weichmachern in Nahrungsmittel zu verhindern, ist Weich-PVC-Folie zur Verpackung von fettreichen Lebensmitteln wie Käse nicht zugelassen.
- Die hohe Transparenz, das gute Verhalten beim Tiefziehen, Schweißen oder Verkleben sowie die gute Bedruckbarkeit sind weitere Vorteile, die PVC als Verpackungsmaterial aufweist. Weich-PVC wird mit Kalzium-Zink-Verbindungen stabilisiert, als Weichmacher dient ein Ester der Adipinsäure (DOA).



Auch die Entsorgung von PVC-Verpackungen ist geregelt: Sie geschieht beispielsweise in Deutschland gemeinsam mit den anderen Kunststoffverpackungen im Rahmen des Dualen Systems.



PVC ist heute der mit Abstand gebräuchlichste Kunststoff in der Intensivmedizin. Rund 10.000 Tonnen PVC werden in Deutschland jährlich in Form von Beuteln und Schlauchsystemen für die verschiedensten Zwecke verbraucht, das sind etwa 30% des gesamten Kunststoffverbrauches in diesem Bereich. Meist handelt es sich um Weich-PVC mit einem Anteil von 5 bis 25% Weichmacher. Auch Handschuhe, Wundpflaster, Schlauchklemmen und andere Zubehörteile werden aus PVC hergestellt »12.

Zu den Hauptanforderungen im medizinischen Bereich zählt die Sterilisierbarkeit. Gleich ob durch Dampf-, Ethylenoxid- oder Strahlensterilisierung – PVC lässt sich mit allen Methoden problemlos keimfrei einstellen.

Im Bereich der Blutbeutel ist zum einen eine hohe Kälteelastizität wichtig, da Blutkonserven über längere Zeit eingefroren werden. Zum anderen müssen sie nach dem Auftauen weich und flexibel sein, damit die Beutel beim Entleeren in sich zusammenfallen können. Andernfalls müsste zum Druckausgleich eine Belüftung mit steriler Luft erfolgen, was die Handhabung wesentlich erschweren würde.

PVC zeigt im medizinischen Bereich weitere günstige Eigenschaften. Seine Transparenz erleichtert die Überprüfung der Füllhöhe und die Beurteilung des Beutelinhaltes. Das gute Rückstellvermögen und das gute Abriebverhalten ermöglichen den Einsatz sogenannter Rollenpumpen. Ein Vorteil von PVC ist die Möglichkeit des sogenannten Hochfrequenzschweißens. Dieses Verfahren liefert besonders zuverlässige, porenfreie Schweißnähte. Die hohe Festigkeit der Schweißnähte ist wichtig, wenn das Blut zur Trennung in seine Bestandteile zentrifugiert wird.

Darüber hinaus zeigen Langzeitstudien, dass der Weichmacher DEHP (Di-(2-ethylhexyl)-Phthalat) die roten Blutkörperchen während der Lagerung im Blutbeutel vor Abbau bewahrt und somit eine längere Haltbarkeit des Blutes garantiert »13.

Als Stabilisatorsysteme werden ausschließlich Kalzium-Zink-Verbindungen eingesetzt, als Weichmacher dient überwiegend DEHP in medizinischer Qualität. Blut kann wegen seines Fettgehaltes geringe Anteile des Weichmachers aus dem PVC herauslösen. Die Wirkung des Weichmachers auf den Menschen wurde daher intensiv untersucht. Die Forschungsergebnisse zeigen, dass für eine Gesundheitsgefährdung keine Anzeichen existieren »14.

» 12 Bruder et al., »PVC – der Werkstoff für Medizinprodukte«, Swiss Plastics 21 (1999) Nr. 4, S. 5 – 10

» 13 J.P. AuBuchon, T.N. Estep, R.J. Davey, »The Effect of the Plasticizer Di-2-Ethylhexyl-Phthalate on the Survival of Stored RCBs«, Blood, Vol. 71, 1988, pp 448-452

»14 EU-Scientific Committee for Medicinal Products and Medical Devices, »Opinion of the Scientific Committee for Medicinal Products and Medical Devices (SCMPMD)« vom 26.09.2002, veröffentlicht am 17.10.2002

## 1.13 spielzeug

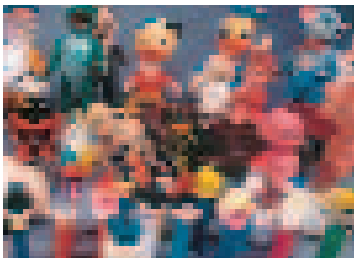
Spielzeug aus Weich-PVC ist schon sehr lange gebräuchlich. Die meisten Puppenköpfe, fast das gesamte aufblasbare Wasserspielzeug, Bälle und Spielzeugfiguren werden aus PVC hergestellt.

Für Puppenteile ist Weich-PVC das bevorzugte Material. Sie werden im Rotationsguss produziert. Dies ist ein Verfahren, mit dem Hohlkörper von komplizierter Geometrie hergestellt werden können.

Bälle aus PVC werden ebenfalls im Rotationsguss hergestellt. Durch dieses effiziente Herstellungsverfahren sind PVC-Bälle besonders preiswert. Sie sind in einer Vielzahl von Dessins erhältlich, nicht porös und damit lange haltbar.

Bei der Fabrikation von aufblasbarem Wasserspielzeug werden Weich-PVC-Folien zusammenschweißt. Die Ventile bestehen auch aus Weich-PVC, sie werden angespritzt. Doppelkammern, wie sie aus Sicherheitsgründen z. B. für Schwimmflügel notwendig sind, lassen sich einfach realisieren. Löcher können mit einem Flicker aus PVC und einem handelsüblichen Spezialkleber selbst schnell und einfach repariert werden.

Bei der Herstellung von besonders detailgetreuen Figuren ist Weich-PVC der Werkstoff der Wahl. Wie kein anderer Kunststoff lässt PVC feinste Nuancen in der Gestaltung zu und lässt sich besonders gut bemalen.



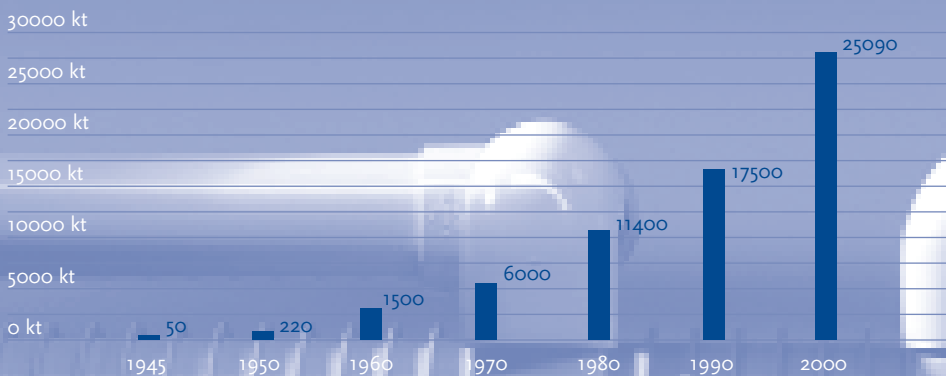
Spielwaren unterliegen dem Lebensmittel- und Bedarfsgegenstände-gesetz. Hier wird sichergestellt, dass von diesen Produkten keine Gefahr für die Gesundheit ausgeht. Strenge Vorgaben für die Sicherheit von Spielwaren gibt auch die Europäische Norm EN 71, die unter anderem die Migration von Schwermetallen regelt.

Sorgfältige Rezeptierung, überlegtes Design und jahrzehntelange Erfahrung machen PVC zu einem der sichersten Werkstoffe für Spielwaren.





## PVC-Weltmarkt



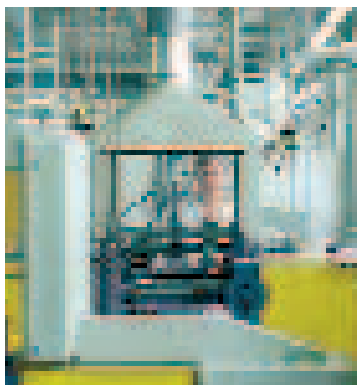
## 2 lebensweg des pvc

Polyvinylchlorid (PVC) wird seit mehr als 50 Jahren großtechnisch hergestellt und gehört damit zu den ältesten synthetischen Polymeren.

Heute ist PVC einer der wichtigsten Kunststoffe. Sowohl in der Produktion als auch in der Verarbeitung von PVC nimmt Westeuropa einen Spitzenplatz ein. Die PVC-verarbeitende Industrie ist hier weitgehend mittelständisch geprägt. Wie auch die Kunststoffhersteller sind die Verarbeiter sehr exportorientiert.

PVC ist weltweit ein anerkannter und vom Markt akzeptierter Werkstoff (s. Abbildung). Die PVC-Produkte sind nicht nur vielseitig in ihrer Anwendung, sondern auch kostengünstig. Das führt zu einer weiter steigenden Nachfrage in den Industrieländern und insbesondere in den Schwellenländern.

## 2.1 herstellung (chlor, vc, polymerisation)



Die Rohstoffe für PVC werden zu 43% aus Erdöl und zu 57% aus Steinsalz gewonnen.

Erdöl bildet die Rohstoffbasis für nahezu alle Kunststoffe. Der allergrößte Teil des weltweit geförderten Erdöls, nämlich mehr als 80%, wird zur Strom- und Wärmeerzeugung sowie für den Betrieb unserer Verkehrsmittel verbrannt. Etwa 6% des Erdölbedarfs werden zur Herstellung von Kunststoffen verwendet, der Anteil für PVC liegt bei weniger als einem Prozent »15.

Durch Raffination des Erdöls erhält man verschiedene Fraktionen, eine davon ist die Naphtha-Fraktion (»Chemie-Benzin«). Durch Cracken (Spalten bei hohen Temperaturen) von Naphtha lassen sich Ethylen, Propylen und andere Chemierohstoffe herstellen.

Steinsalz – auch bekannt als Kochsalz – wird weltweit in großen Mengen gewonnen. Die Vorräte sind nahezu unerschöpflich. Eine fast gesättigte wässrige Lösung des Salzes (Sole) wird durch einen Elektrolyseprozess (Auftrennung in die Bestandteile durch elektrischen Strom) in Chlor, Natronlauge und Wasserstoff zerlegt. Sowohl Chlor als auch Natronlauge und Wasserstoff sind wichtige Einsatzprodukte in der Grundstoffindustrie. Der hohe Chloranteil im PVC ist verantwortlich für viele physikalische Eigenschaften, aber auch für den im Vergleich zu anderen Kunststoffen niedrigen Energiebedarf und die niedrigen Kosten.

Es stehen drei verschiedene Chloralkali-Elektrolyseprozesse zur Verfügung: der Amalgamprozess mit Quecksilberkathoden, der Diaphragmaprozess mit Asbestdiaphragma und der moderne Membranprozess. Umweltprobleme der Altanlagen konnten im Verlauf der letzten 30 Jahre drastisch minimiert werden. So wurden die Quecksilber-Emissionen aus den Amalgamelektrolysen seit Beginn der 70er Jahre mit großem wirtschaftlichem Aufwand drastisch (um mehr als 97%) verringert. Im Vergleich zu anderen natürlichen und anthropogenen Quellen sind die Quecksilber-Emissionen aus Elektrolysen als sehr gering zu bezeichnen. Die Handhabung der Asbest-Diaphragmen aus dem Diaphragmaverfahren findet wegen der kanzerogenen Eigenschaften von Asbest unter besonderen technischen Vorkehrungen statt. Nach Gebrauch erfolgt eine ordnungsgemäße Entsorgung »16, 17, 18.

Die europäische Chlor-Alkali-Industrie wird ihre Amalgamanlagen zur Herstellung von Chlor und Natronlauge schrittweise bis 2020 stilllegen (Konversion zum Membranverfahren). Für Neuanlagen wird heute nur noch das Membranverfahren realisiert »19.

Im nächsten Schritt stellt man aus Ethylen und Chlor bei ca. 80°C mit Eisenverbindungen als Katalysator in der sogenannten »Direktchlorierung« Dichlorethan her, das in einem nachgeschalteten Schritt unter Abspaltung von Chlorwasserstoff zu Vinylchlorid (VC) umgesetzt wird. Den bei der Abspaltung erhaltenen Chlorwasserstoff setzt man in einem zweiten Verfahren, der »Oxichlorierung«, ebenfalls zur Herstellung von Dichlorethan aus Ethylen ein. Dieser Verfahrensschritt wird bei Temperaturen von etwa 250°C mit Kupferverbindungen als Katalysator betrieben. Neben dem Chlorwasserstoff aus der Spaltung kann auch Chlorwasserstoff aus anderen Quellen eingesetzt werden, beispielsweise die Mengen, die als Abfälle bei bestimmten chemischen Prozessen anfallen (z. B. PUR-Herstellung).

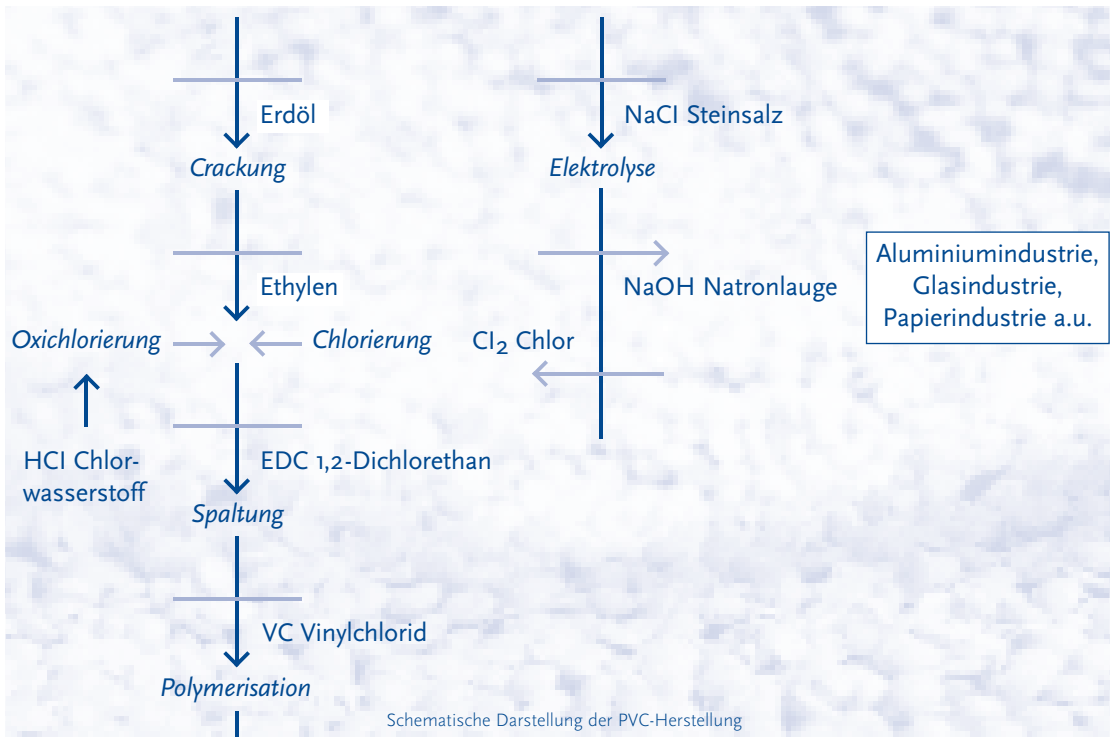
» 15 Verband der Kunststoff-  
erzeugenden Industrie (VKE),  
»Wirtschaftsdaten und Grafiken  
zu Kunststoffen«, 22.10.2002

» 16 Verband der Chemischen  
Industrie (VCI), »Positionen zur  
Chemie mit Chlor«, Frankfurt,  
Dezember 1998

» 17 EURO CHLOR, »Mercury  
Process for making Chlorine«,  
August 1998

» 18 Verband der Chemischen  
Industrie (VCI), »Zukunft der  
Alkalichlorid-Elektrolyse-Anlagen  
nach dem Amalgam-  
Verfahren«, März 2001

» 19 Verband der Chemischen  
Industrie (VCI), »Zukunft der  
Alkalichlorid-Elektrolyse-  
Anlagen nach dem Amalgam-  
Verfahren«, März 2001



Vinylchlorid wird über eine Destillation von allen unerwünschten Bestandteilen gereinigt und wird dann als Monomer zur PVC-Herstellung in der Polymerisation eingesetzt.

Der Polymerisationsschritt kann in Suspension (S-PVC), Emulsion (E-PVC), Mikro-Suspension (Mikro-S) oder in Masse (M-PVC) geschehen. Diese verschiedenen Verfahren erlauben es, PVC-Typen mit unterschiedlichen Eigenschaften gezielt für bestimmte Anwendungsgebiete zu produzieren.

Umfangreiche arbeitshygienische und betriebstechnische Maßnahmen haben gemeinsam mit gesetzlichen Regelungen dafür gesorgt, dass der Umgang mit dem Krebs erzeugenden Vinylchlorid (VC) schon seit vielen Jahren kein gesundheitliches Risiko mehr darstellt. Neuerkrankungen an dem zu Beginn der 70er Jahre beobachteten Leberangiosarkom (einer seltenen Form von Leberkrebs) sind seit 1977 nicht mehr aufgetreten.

Die VC-Emissionen bei der PVC-Herstellung wurden in den letzten Jahren ständig weiter minimiert » 20.

Bei der PVC-Verarbeitung ist die Belastung der Raum- und Umgebungsluft so gering, dass sie in der Regel nicht messbar ist; eine Überwachung der VC-Konzentration ist daher normalerweise nicht erforderlich.

Der heutige Kenntnisstand zeigt, dass mit der Herstellung von PVC keine wesentlichen Beeinträchtigungen von Mensch und Umwelt verbunden sind. Auch die Enquête-Kommission des Deutschen Bundestages hat 1994 die Schlussfolgerung gezogen, dass die prozess-spezifischen Emissionen bei der PVC-Herstellung heute sehr gering sind, eine wesentliche dauerhafte Belastung der Umwelt entsteht hierdurch nicht » 21.

» 20 Verband der Kunststoff-erzeugenden Industrie (VKE), »Stellungnahme zum Stand der Umsetzung der im PVC-Bericht des Bund/Länderausschusses für Umweltchemikalien (BLAU) vom September 1992 enthaltenen Maßnahmenempfehlung«, 03.09.1996

» 21 Enquête-Kommission des Deutschen Bundestages »Schutz des Menschen und der Umwelt«, Bericht »Schutz des Menschen und der Umwelt – Bewertungskriterien und Perspektiven für umweltverträgliche Stoffkreisläufe in der Industriegesellschaft«, 1994, Kapitel 4.4.4

Die europäischen VC/PVC-Hersteller haben sich in einer freiwilligen Erklärung zu einer weiteren Senkung der Emissionen verpflichtet »22. Damit wird die Einhaltung europaweiter Standards bei der Herstellung von VC und PVC auch in solchen Bereichen garantiert, die gesetzlich noch gar nicht geregelt sind.

---

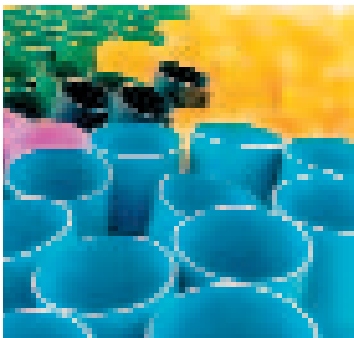
## 2.2 verarbeitung

PVC ist ein thermoplastischer Werkstoff. Das heißt, er wird in der Wärme weich, lässt sich dann beliebig verformen und erstarrt nach dem Abkühlen wieder. Dieser Vorgang kann mehrfach wiederholt werden, ohne dass sich die Eigenschaften wesentlich ändern. Dies ist u. a. für die werkstoffliche Verwertung von Verarbeitungsabfällen oder gebrauchten Produkten wichtig. Je nachdem, welches Endprodukt hergestellt werden soll, kommen unterschiedliche Verarbeitungs-Technologien zur Anwendung.

---

### 2.2.1 extrusion

Bei diesem kontinuierlichen Verfahren wird eine Mischung aus PVC und Additiven, das sogenannte »Dryblend« oder »Compound« in einem überdimensionalen »Fleischwolf« durch beheizte Förderschnecken unter Druck gefördert und dabei aufgeschmolzen. Das plastifizierte Material wird durch die Öffnung des formgebenden Werkzeuges gepresst, teilweise kalibriert und schließlich abgekühlt. Mit Hilfe dieses Verfahrens werden Fenster- und Rolladenprofile, Rohre, Stäbe, geschäumte und kompakte Platten sowie ummantelte Kabel gefertigt.



---

### 2.2.2 kalandrieren

Bei diesem ebenfalls kontinuierlichen Verfahren wird die PVC-Mischung zunächst im Spalt zweier gegenläufig rotierender und beheizter Metallwalzen aufgeschmolzen. Weitere, nachgeschaltete Walzen sorgen für die zusätzliche Homogenisierung und Dickeneinstellung des flächigen Endproduktes. Auf diese Weise werden vor allem Platten und Folien, aber auch Bodenbeläge und Kunstleder gefertigt.

---

### 2.2.3 spritzgießen

Ähnlich wie bei der Extrusion wird die PVC-Mischung in der ersten Phase der Verarbeitung über ein beheiztes Schneckensystem plastifiziert. Anschließend wird die Schmelze direkt in eine Form gespritzt und gekühlt, so dass das feste Fertigteil der geöffneten Form entnommen werden kann. Typische, nach dieser diskontinuierlichen Technologie hergestellte Artikel sind Rohrleitungs-Formstücke (»Fittings«), Gehäuse (Elektroschaltkästen, Bildschirme), PC-Tastaturen, WC-Spülkästen, Sitzschalen sowie Gartenmöbel.

» 22 European Council of Vinyl Manufacturers (ECVM), »ECVM Industry Charter for the Production of VCM and PVC«, 1995



Das Blasformen dient zur Herstellung von Folien und Hohlkörpern. Das in einem Extruder aufgeschmolzene Material wird dabei durch eine Ringdüse gepresst, dabei entsteht ein dünnwandiger Schlauch. Zur Herstellung von Folien wird der extrudierte Schlauch auf das Mehrfache seines Ausgangsdurchmessers aufgeblasen, flach gelegt, abgezogen und aufgewickelt.

Zur Fertigung von Hohlkörpern, wie beispielsweise Flaschen, wird der noch plastische Schlauch mit Hilfe von Luft an die Wände einer entsprechenden Form gepresst. Nach dem Abkühlen kann der geöffneten Form die fertige Flasche entnommen werden.

## 2.2.5 pvc-pastenverarbeitung

### Was ist eine PVC-Paste?

Beim Vermischen von Weichmachern mit körnigem Suspensions(S)-PVC führt dessen Porosität dazu, dass der Weichmacher vollständig aufgesaugt wird und eine pulverige Masse entsteht, das sogenannte Dryblend. Das feinteilige, porenarme Emulsions(E)-PVC verhält sich dagegen anders: Beim fortgesetzten Rühren verliert die Mischung ihre Pulvrigkeit, sie wird pastös und schließlich erhält man ein homogenes zähflüssiges Produkt, Plastisol oder auch PVC-Paste genannt. Deren Viskosität hängt vom E-PVC-Typ und der Weichmachermenge ab. PVC-Pasten eröffnen neue Wege der PVC-Verarbeitung, nämlich die Formgebung zum fertigen Artikel bei Raumtemperatur. Dafür gibt es unterschiedliche Wege:

- Streichen auf einen Träger, beispielsweise Textil- oder Glasfaser- Gewebe, auf diese Weise werden Fußbodenbeläge oder Planen hergestellt,
- Sprühen, beispielsweise für Unterbodenschutz oder Dichtungen,
- Tauchen einer Form in eine Paste, beispielsweise für Handschuhe,
- Rotationsgießen zur Herstellung von Bällen, Puppenkörperteilen, Autotürarmlehnen und Federn.

Durch anschließendes Erwärmen auf 180 bis 230° C mittels Heißluft oder Infrarotstrahlung in einem Gelierkanal oder direkt in der Form setzt das thermoplastische Gelieren der Paste ein und die endgültige Form wird fixiert. Danach verhält sich die Paste wie übliches thermoplastisches Material.

### Streichverarbeitung

Die Streichverarbeitung geschieht durch Rakel- und Walzenauftrag bzw. Siebdruck. Auf eine laufende Gewebbahn wird Paste aufgegossen, eine über der Bahn hängende Rakel sorgt für die gewünschte Beschichtungsdicke und eine glatte Oberfläche.

Für einen besonders dünnen oder dekorativen Auftrag eignet sich der Siebdruck. Hier läuft die Gewebbahn über eine perforierte Walze, aus deren Innerem die Paste hervorquillt.

Vinyltapeten und Bodenbeläge können auch chemisch oder physikalisch aufgeschäumt hergestellt werden. Dazu wird der Paste entweder ein Treibmittel zugesetzt oder es werden inerte Gase eingemischt.

### Sprühaufrag

Unterbodenschutzpaste wird mit Sprühpistolen aufgetragen. Deckel- und Flaschenverschluss-Dichtungsmasse werden injiziert und durch Schleudern oder Stempeln gleichmäßig verteilt.

### **Tauchverarbeitung**

Hierbei werden die zu beschichtenden Artikel kurze Zeit in ein Plastisol eingetaucht. Nach dem Abtropfen erfolgt das Ausgelieren. Die Beschichtungsdicke wird durch die Pastenviskosität bestimmt.

### **Rotationsgießen**

Die Paste wird in eine verschleißbare Form gegeben, durch Schleudern an den Innenwänden der Form gleichmäßig verteilt und in der Form ausgeliert. Bei diesem Verfahren können Artikel beliebiger räumlicher Geometrie in einem einzigen Arbeitsgang schnell und kostengünstig hergestellt werden.

Die Vielseitigkeit dieser Verarbeitungsverfahren für PVC ist unverkennbar. Kaum ein anderer Werkstoff weist die beschriebenen Variations- und Kombinationsmöglichkeiten aus stofflicher Vielseitigkeit und breitem Verarbeitungsspektrum auf.

---

## **2.3 additive**

PVC wird – wie die meisten anderen Werkstoffe – nicht alleine verarbeitet, sondern im Gemisch mit Zusatzstoffen. Sein chemischer Aufbau – der Fachmann spricht von polarer Struktur – erlaubt es dem PVC, eine große Menge der unterschiedlichsten Komponenten aufzunehmen. Auswahl und Dosierung dieser Stoffe bestimmen wesentlich die Verarbeitungseigenschaften der PVC-Mischung und die Gebrauchseigenschaften des Fertigproduktes. Da sich diese in weiten Grenzen variieren lassen, ist die große Anwendungsbreite von PVC leicht erklärbar.

Die wichtigsten Additive für PVC sind Stoffe zur Verbesserung physikalischer Eigenschaften wie Temperatur-, Licht- und Wetterbeständigkeit, Zähigkeit, Elastizität und Transparenz. Daneben werden Stoffe zur Verbesserung der Verarbeitbarkeit und Farbpigmente zugesetzt. All diese Stoffe sind im PVC-Fertigprodukt fest eingebunden und praktisch nicht bioverfügbar.

An die heute verwendeten PVC-Additive werden hohe Anforderungen gestellt. Sie müssen in möglichst geringer Konzentration eine hohe Wirkung aufweisen, die durch die unterschiedlichen Herstellungsprozesse für das Kunststoff-Formteil nicht beeinträchtigt werden darf. Sie müssen dem Formteil während dessen Gebrauchsdauer die gewünschten Eigenschaften verleihen. Sie sollen auch aus Konsumentensicht sicher anwendbar sein. Um diese Sicherheit der Verbraucher zu gewährleisten, regeln gesetzliche Vorgaben Herstellung und Verwendung bis hin zur Entsorgung von Kunststoffadditiven bzw. mit Additiven ausgerüsteten Fertigteilen aus Kunststoff. PVC-Additive spielen vor diesem Hintergrund grundsätzlich keine Sonderrolle.

---

### **2.3.1 stabilisatoren**

PVC ist ein thermoplastischer Kunststoff, der normalerweise im Temperaturbereich von 160 bis 200°C verarbeitet wird. Ohne Stabilisatoren wäre die Verarbeitung bei diesen Temperaturen nicht möglich, da Zersetzungsprozesse unter Abspaltung von HCl-Gas ein-

setzen. Darüber hinaus verbessern Stabilisatoren auch die Gebrauchseigenschaften von PVC (z. B. die Witterungsbeständigkeit). Zur Stabilisierung von PVC werden im wesentlichen Verbindungen auf der Basis von Blei, Kalzium-Zink und Zinn eingesetzt. Für die Auswahl des Stabilisators sind vor allem technische Gründe und die Art der Anwendung maßgeblich. In ihrer freiwilligen Selbstverpflichtung hat sich die PVC-Branche zu einem schrittweisen Ausstieg aus der Verwendung von Blei als Stabilisator bekannt.



Im Folgenden sind einige wichtige Gesichtspunkte der Verwendung von Stabilisatoren aufgeführt.

Die Stabilisierung von PVC mit Blei-Produkten ist seit Jahrzehnten bewährt. Herstellung und Verwendung dieser Stoffe wurden ständig weiterentwickelt, so dass heute keine Risiken bezüglich Arbeits-, Gesundheits- und Umweltschutz zu erwarten sind. Durch die Entwicklung effektiver und leistungsfähiger Blei-Systeme konnte der Anteil der Blei-Verbindungen in den Stabilisatoren verringert werden. Wie für alle anderen Systeme gilt auch für bleihaltige Stabilisatoren, dass diese fest in die PVC-Matrix eingebunden sind. Risikobewertungen zeigen, dass der Einsatz von Blei als Stabilisator vertretbar ist » 23, 24. Trotzdem hat sich die europäische PVC-Branche (insbesondere die Verbände ESPA, EuPC und ECVI) verpflichtet, Blei-Stabilisatoren bis zum Jahr 2015 vollständig zu ersetzen (Einzelheiten dazu im Kapitel 3).

Das Recycling von stabilisatorhaltigen PVC-Abfällen im Rahmen der vorhandenen Rücknahmesysteme bereitet keine Probleme » 25. Die Deponierung und Verbrennung von stabilisiertem PVC ist mit keinen speziellen Risiken verbunden.

In den letzten Jahren wurde die Entwicklung alternativer Stabilisierungssysteme vorangetrieben » 26. Entsprechende Produkte werden von der verarbeitenden Industrie in zunehmendem Maße für die Hart- und Weich-PVC-Verarbeitung eingesetzt.

## 2.3.2 weichmacher

Die Eigenschaften von PVC lassen sich mit Hilfe von Weichmachern in weiten Grenzen variieren. Ihr Zusatz verleiht dem von Natur aus harten Werkstoff Eigenschaften ähnlich denen von Gummi: Er wird flexibel und dehnbar. Weich-PVC (PVC-P) eignet sich für eine große Zahl von Verarbeitungsverfahren und Anwendungen. Die Möglichkeit der Herstellung von Pasten – einer Mischung von PVC und Weichmachern – erweitert die Palette der Verarbeitungsverfahren nochmals. Verglichen mit anderen Werkstoffen liefert PVC diese Material- und Verfahrensvorteile zu einem äußerst günstigen Preis.

Als Weichmacher dienen vor allem Phthalsäureester. Der wichtigste Weichmacher ist das DEHP (Di-(2-ethylhexyl-)Phthalat, auch DOP genannt). In den letzten Jahren gewinnt DINP (Di-isononylphthalat) zunehmend Marktanteile. Geringere Bedeutung haben Ester der Adipinsäure und anderer organischer Säuren sowie Ester der Phosphorsäure. Bei den sogenannten Polymerweichmachern handelt es sich vor allem um Polyester der Adipinsäure. Allen Weichmachern ist gemeinsam, dass sie sich bei der thermoplastischen Verarbeitung zwischen die Molekülketten des PVC einlagern und deren Gefüge auflockern.

» 23 Nordiska Plaströrgruppen (NPG) »An Assessment of the Environmental Impact of Lead Stabilizers in PVC Pipes«, 1995

» 24 H.B. Sundmark, »Risk assessment of the Use of Lead Stabilizers in PVC«, Report of Hydro, Research Centre, 1995

» 25 Rieber, Boeke, Saffert, Lindner, »Recycling von bleihaltigem Alt-PVC«, AgPU 1995

» 26 Norsk Hydro ASA, Ciba Additives, Chalmers University of Technology, »Organic stabilisers for PVC«, Press release Nov. 1996

Da es sich bei der Einlagerung von Weichmachern nicht um eine chemische Bindung handelt, können Weichmachermoleküle von der Oberfläche der PVC-Artikel verdampfen oder in andere Stoffe migrieren. Dies hat in der Vergangenheit zu Diskussionen um die Auswirkungen von Weichmachern auf Umwelt und Gesundheit geführt.

### Emissionen von Weichmachern

Der Weichmacherverlust lässt sich durch die Wahl des geeigneten Weichmachertyps bzw. der richtigen -menge sehr niedrig halten. Somit bleiben die guten Materialeigenschaften von Weich-PVC über einen langen Zeitraum erhalten. Veröffentlichungen »27, 28, in denen die Eintragswege und -mengen von Weichmachern in die Umwelt untersucht wurden, zeigen, dass keine gesundheitlichen Probleme verursacht werden:

- Die Herstellung von Weichmachern erfolgt in geschlossenen Anlagen, die Beeinträchtigungen und umweltbezogenen Emissionen sind gering (0,025% des Verbrauchs).
- Die Verarbeitungsanlagen von Weich-PVC sind in Westeuropa im allgemeinen mit einer Nachverbrennung oder Filtern für die Abluft versehen.
- Die Weichmacherverluste aus PVC-Produkten in Innenräumen sind gering und erfolgen im Wesentlichen durch Reinigungsmaßnahmen; die direkte Verdunstungsrate aus Fußböden, Tapeten etc. ist sehr niedrig »29, 30, 31.

### Toxikologie von Weichmachern

DEHP kann in hohen Dosierungen bei Nagetieren Leberkrebs erzeugen. Dies beruht auf einem speziellen Mechanismus der Schädigung von Leberzellen bei Nagern (Peroxisomenproliferation). Für den Menschen spielt dieser Mechanismus keine Rolle, daher sind solche Effekte hier nicht zu erwarten. DEHP wurde deshalb von der EU-Kommission als nicht kanzerogen für den Menschen eingestuft, die International Agency for Research on Cancer (IARC) bestätigte unlängst diese Bewertung »32, 33, 34.

DEHP und DBP (Di-Butylphthalat) können in hohen Dosierungen im Tierversuch die Fruchtbarkeit und die Entwicklung des Embryos im Mutterleib beeinträchtigen.

Die Europäische Chemikalienbehörde hat 2001 - und hier interpretierte sie die verfügbaren Daten neu – DEHP und DBP bezogen auf frucht-

» 27 European Council for Plasticisers and Intermediates (ECPi), »Phthalate Esters used in PVC, Assesment of the Release, Occurrence & Possible Effects of Plasticisers in the Environment«, Brüssel, 1993 update 1996

» 28 European Council for Plasticisers and Intermediates (ECPi), »Health and Environmental Effects of Phthalates«, 1998

» 29 H. M. Quackenboss, Ind. & Eng. Chem. 46, 54 S. 1335

» 30 Environ-Inst. Washington DC 1988, Korrespondenz mit CEFIC-ECP

» 31 Fraunhofer Wilhelm-Klauditz-Institut für Holzfor-schung, »Untersuchung von PVC-Tapeten auf flüchtige Weichmacher«, 25.08.2000

» 32 EG-Kommission, »Entscheidung der EG-Kommission vom 25.07.90 über die Einstufung, Verpackung und Kennzeichnung von DEHP« nach Art. 23 der Richtlinie 61/548 EWG

» 33 WHO, International Series on Chemical Safety 131 DEHP, Geneva 1992

» 34 International Agency for Research on Cancer (IARC), »Technical Report on some Industrial Chemicals«, Volume 77, February 2000

### Reproduktionstoxizität – Kategorisierung

#### Kategorie 1

- Stoffe, die beim Menschen die Fortpflanzungsfähigkeit bekanntermaßen beeinträchtigen

#### Kategorie 2

- Stoffe, die als beeinträchtigend für die Fortpflanzungsfähigkeit des Menschen angesehen werden sollten

#### Kategorie 3

- Stoffe, die wegen möglicher Beeinträchtigung der Fortpflanzungsfähigkeit des Menschen zu Besorgnis Anlass geben

\*1 Toxikologische und ökologische Kennzeichnung der Phthalate



Tabelle: Toxologische und ökologische Kennzeichnung der Phthalate

Phthalate	Kanzerogenität	Fortpflanzungs-fähigkeit	Teratogenität	Umwelt
DBP	keine	R62	R61	R50
DEHP	keine	R60	R61	keine
DINP	keine	keine	keine	keine
DIDP	keine	keine	keine	keine
BBP*	keine	R62	R61	R50/53

\*noch nicht offiziell beschlossen

- »R60 Kann die Fortpflanzungs-fähigkeit beeinträchtigen
- »R61 Kann das Kind im Mutterleib schädigen
- »R62 Kann möglicherweise die Fortpflanzungsfähigkeit beeinträchtigen
- »R63 Kann möglicherweise das Kind im Mutterleib schädigen
- »R50 Umweltgefährlich
- »R53 Kann langfristig Schäden im Gewässer bewirken

schädigende Wirkungen in Kategorie 2 eingestuft (s. Kasten). Dies bedeutet, dass DEHP und DBP »basierend auf eindeutigen Ergebnissen im Tierversuch« »als fruchtschädigend und Fruchtbarkeitsbeeinträchtigend für den Menschen« angesehen werden sollten. Im Rahmen von Responsible Care hatte die Industrie bereits 1994 DEHP und DBP in Kategorie 3 eingestuft; mit der Entscheidung der EU, die verfügbaren Daten konservativer zu interpretieren, ergibt sich nun die Einstufung in Kategorie 2. Im gleichen Zusammenhang wurden auch DINP und DIDP bewertet. Beide Weichmacher unterliegen danach keiner Kennzeichnungspflicht. Einzelheiten zu den Ergebnissen des EU-Risk-Assessments zeigt die Tabelle: Toxologische und ökologische Kennzeichnung der Phthalate

In jüngster Zeit werden bei einer Reihe natürlicher und synthetischer Stoffe hormonähnliche, vorzugsweise östrogenartige Wirkungen diskutiert. Einige Phthalate (Di-Butylphthalat - DBP, Butylbenzylphthalat - BBP) zeigen in Reagenzglasversuchen (in-vitro) eine schwache östrogene Aktivität »35, 36, während für andere Phthalate wie beispielsweise DEHP in diesen Versuchen keine östrogene Wirkungen nachweisbar waren. Wurden anstelle der Di-ester von DBP und BBP die für den Menschen relevantesten Stoffwechselprodukte, die Monoester, getestet, war eine östrogene Wirkung nicht mehr nachweisbar. In Tierversuchen (in-vivo) konnte eine östrogene Wirkung der Phthalate nicht nachgewiesen werden »37.

### 2.3.3 sonstige additive

Gleitmittel, z. B. Wachse, mit einem Anteil von bis zu 3 % verbessern das Fließverhalten bei der thermoplastischen Verarbeitung von Kunststoffen und finden auch bei PVC Verwendung. Sie stellen keine Gesundheits- oder Umweltgefahr dar.

Als Füllstoff für PVC dient vor allem Kreide in unterschiedlichen Modifikationen. Daneben wird Talkum eingesetzt. Diese Stoffe können einen Anteil von bis zu 50 % im PVC erreichen.

»35 Sharpe R., Skakkebeak, N., »Are Oestrogens involved in falling sperm counts and disorders of the male reproductive tract?«, The Lancet 341, 1993, p. 1392

»36 Jobeling S., Sumpter JP, »A Variety of Environmentally Persistent Chemicals, including some Phthalate Plasticizers, are Weakly Estrogenic«, Env. Health Perspective 103, 1995, 582 + 1136

» 37 G. Gans, »Östrogene Wirkung von Phthalaten«, BASF, 1996

Als Farbmittel für PVC dienen eine ganze Reihe von Buntpigmenten, dabei sind bleihaltige Pigmente nicht notwendig. Das mengenmäßig wichtigste Titandioxid, ein Weißpigment, zählt zu den Stoffen, die wegen ihrer Unbedenklichkeit auch für den Kontakt mit Lebensmitteln, Kosmetika und Arzneimitteln geeignet sind.

PVC ist von Natur aus schwer entflammbar, in der Regel ist daher der Einsatz von Flammenschutzmitteln nicht notwendig. Für extrem hohe Anforderungen an die Flammfestigkeit kann PVC mit speziellen Additiven ausgerüstet werden. Dabei handelt es sich um Stoffe wie Aluminiumhydroxid oder Phosphorsäureester, seltener auch Antimontrioxid.

---

## 2.4 einzelfragen der gebrauchungsphase von pvc-produkten

---

### 2.4.1 innenraumluftbelastung

Im Zusammenhang mit gesundheitlichen Beschwerden von Bewohnern vor allem neuerer Häuser wurde in den letzten Jahren dem Komplex »Sick-Building-Syndrom« (SBS) verstärkt Aufmerksamkeit geschenkt. Dabei beschäftigt man sich mit den Fragen möglicher Emissionen aus Baumaterialien und deren Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit.

Auch im Innenraum von Kraftfahrzeugen sind viele Untersuchungen auf flüchtige Bestandteile hin durchgeführt worden » 38. Hier spricht man vom sogenannten »Fogging«, für dessen Bestimmung genormte Prüfmethoden (DIN 75 201) entwickelt wurden.

Als Hauptursache des SBS gelten » 39, 40, 41 vor allem unzureichende Belüftung (50 %) und Luftschadstoffe (30 %, Pilzsporen, Rauchen, Kochen, Hobby, Radon etc.). Von untergeordneter Bedeutung sind Baumaterialien (4 %), wobei es sich dabei größtenteils um heute nicht mehr verwendete Stoffe handelt (Asbest, Formaldehyd, PCB, PCP etc.). Auch PVC-Produkte wurden als mögliche Emissionsquelle untersucht.

Der heutige Wissensstand zur Rolle dieses Werkstoffes in Bezug auf die Innenraumluft lässt sich wie folgt zusammenfassen » 42, 43:

Schadstoffe werden von PVC-Tapeten nach Erkenntnissen des Fraunhofer-Institutes für Holzforschung (Braunschweig) nicht an die Raumluft abgegeben. Beispielsweise weist diese Tapetenart von allen Wandbekleidungsmaterialien die geringste Formaldehydabgabe auf.

Vinylchlorid (VC) konnte in keinem einzigen Fall nachgewiesen werden, dies ist angesichts des niedrigen Rest-VC-Gehaltes schon im Rohstoff und des schnellen Abbaus von VC an der Luft auch nicht zu erwarten. Rechnerische Abschätzungen ergeben theoretische Konzentrationen, die ein toxikologisches Risiko praktisch ausschließen.

» 38 »Contribution for Fogging from Phthalate Plasticisers«, J. Vinyl & Additive Techn. 2.1 (1996), 1–4

» 39 Kruse; Vortrag IBK-Baufachtagung, »Baukunst versus Naturstoffe«, 1993

» 40 M. Samet et al., Am. Rev. Respir. Dis 137, 88, S. 221 ff

» 41 Konzeption der Bundesregierung zur Verbesserung der Luftqualität in Innenräumen 1992/96

» 42 Böcker, Saffert, Spindler, »PVC-Bauprodukte und Innenraumluft, eine Literaturrecherche«, DBZ Deutsche Bauzeitschrift 9, 1995

» 43 E.-J. Spindler, »PVC-Bauprodukte und die Innenraumluft«, Vortragsmanuskript VDI Wissensforum, »Emissionen aus Baustoffen und Ausstattungsmaterialien«, November 2001, Mannheim

- » 44 Thölmann, D., »Emissionen von Phthalaten aus Weich-PVC«, Proc. Achema-Konferenz, München, 1996
- » 45 Menzel, »Weichmacher«, Kunststoffe, 1986, 7, S. 992–996
- » 46 Das bundesweit interessante »Ökohaus« sieht sich selber vor ökologischen Problemen, Frankfurter Rundschau vom 26.05.1992
- » 47 Mücke, W. et al »Toxikologische Untersuchung des Luftstaubs in Innenräumen bei gleichzeitiger Erfassung der Außenluft«, Gefahrstoffe Reinhaltung der Luft, 59 (1999) S. 285-288
- » 48 Spindler, »PVC-Bauprodukte und Innenraumluftbelastungen«, VDI-Seminar »Emissionen aus Baustoffen«, November 2001
- » 49 The Vinyl Institute, »PVC in Fire«, USA, 1996
- » 50 M. Engelmann, J. Skura, »PVC im Brandfall«, Brandschutz/DFZ, 4/92, S. 51off, mit Ergänzungen neu aufgelegt in Gummi, Fasern, Kunststoffe, 49 (1996), S. 554 – 558
- » 51 P. Vandavelde, P. Van Hees, University of Gent, Belgien, Beitrag zu PVC '93, Brighton-Konferenz, 1993
- » 52 »Acute Inhalation Toxicity of Thermal Degradation Products Using The NYX Modified Pittsburgh, Protocol on BFG CPVC Commercial (Grey)«, United States Testing Company, Inc., 1988
- » 53 M.A. Barnes, A.F. Matheson, »A Technical Evaluation of Fire Related Characteristics of Vinyl Based & Non Halogenated Cable Materials«, Firmenschrift der Hydro Polymers und EVC, 1995
- » 54 The Geon Company, »Comparative Fire Studies on Computer Housing made of different Materials including PVC«, FR-ABS and FR-ABS-PC, 1996

Weichmacher konnten bis vor kurzem unter Praxisbedingungen nicht nachgewiesen werden. Das Bundesgesundheitsamt ermittelte rechnerisch mögliche Konzentrationen von Weichmachern in der Größenordnung von einem Zehntausendstel des sogenannten MAK-Wertes (Maximale Arbeitsplatzkonzentration), das sind etwa  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Die deutliche Herabsetzung der Nachweisgrenze in der jüngsten Zeit » 44, 45 ergibt Messwerte in einem Bereich von etwa  $0,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Bei diesen niedrigen Konzentrationen spielt die Aufnahme über die Atemluft aber keine Rolle mehr.

Sonstige flüchtige organische Produkte (TVOC, »Total Volatile Organic Compounds«) finden sich – wie bei allen organischen Baustoffen – in Konzentrationen oberhalb der Nachweisgrenze. Sie stammen beispielsweise aus Verdünnern oder Lösungsmitteln, die als Verarbeitungshilfsmittel auch bei einigen PVC-Produkten zum Einsatz kommen. Die Industrie arbeitet an der Verminderung und Optimierung dieser Substanzen, beispielsweise wird das früher häufig verwendete Isobutytrat heute nicht mehr angewendet.

Insgesamt bleibt festzuhalten, dass sich die unterschiedlichen organischen Baustoffe (Holz, Kunststoffe, Linoleum, Textilien, Farben, Dicht- und Isoliermassen) hinsichtlich ihrer Emissionen nicht wesentlich unterscheiden. Art und Menge der Emissionen schwanken und bedürfen jeweils einer individuellen Bewertung. Insbesondere finden sich keine Unterschiede zwischen natürlichen und synthetischen Baustoffen, unter ungünstigen Bedingungen können gerade natürliche Materialien zu gesundheitlichen Problemen führen » 46.

In den letzten Jahren wurde die Schadstoffbelastung von Stäuben in Innenräumen neu diskutiert. Auch dieser Bereich sollte möglichst umfassend betrachtet werden: Welche Rolle spielt diese Belastung überhaupt, wenn man von den heute doch stark gesenkten Staubkonzentrationen von ca.  $20 \mu\text{g Staub}/\text{m}^3$  in der Innenraumluft ausgeht » 47? Wie stark sind die auf Hausstäuben adsorbierten Schadstoffe bioverfügbar, sind alle Hausstaubfraktionen auch in der Atemluft vorhanden, etc.? Hausstäube sind mit vielerlei Schadstoffen belastet: PAK, PCB, Schwermetalle, Organophosphate, Weichmacher etc. Die Konzentrationen einzelner Schadstoffe reichen über viele Größenordnungen. Aus Sicht der Weichmacher und organischen Zinnstabilisatoren wurden die Verhältnisse im November 2001 zusammengestellt » 48. Für beide Substanzklassen werden die Tolerable Daily Intake (TDI)-Werte (bei weitem) nicht erreicht.

## 2.4.2 brandverhalten

Alle organischen Substanzen sind brennbar, deshalb werden sie zum Teil gezielt und unter kontrollierten Bedingungen als Brennstoff eingesetzt. Bei einem ungewollten Brand ergeben sich Probleme aus der Freisetzung von Schadstoffen – vor allem Kohlenmonoxid (CO) – der Hitzeentwicklung und deren Wirkung auf Menschen, Gegenstände und Gebäude.

Das Brandverhalten von PVC wurde umfassend untersucht » 49, 50. Die Erkenntnisse stützen sich dabei sowohl auf experimentelle Untersuchungen » 51, 52, 53, 54 als auch auf praktische Erfahrungen im Brandfall.



### Brandklassen

Viele PVC-Bauprodukte sind nach DIN 4102 als schwer entflammbar eingestuft. Auch bei vielen Brandtests der Automobilindustrie fallen PVC-Teile (meist Weich-PVC) unter das Kriterium »schwer entflammbar«. Am bekanntesten ist der »Federal Motor Vehicle Safety Standard« (FMVSS) der US-Behörden.

### Brandrisiko

PVC ist ein Werkstoff, der aufgrund des hohen Chloranteils von 57% von Natur aus relativ schlecht brennt: Die meisten PVC-Produkte lassen sich nur durch intensive äußere Brandeinwirkung in Brand setzen. Entfernt man die Brandquelle, hört PVC auf zu brennen, der Fachmann spricht von »selbstverlöschendem« Brandverhalten. Im Gegensatz zu anderen organischen Werkstoffen sind diese Eigenschaften bei PVC »inhärent«, sie werden also in der Regel nicht durch den Zusatz anderer Stoffe erreicht.

PVC schneidet bei einer ganzen Reihe von Parametern gut ab, die das Brandverhalten von Werkstoffen bestimmen:

- Die Entzündungstemperatur (330 bis 400°C) sowie die Selbstentzündungstemperatur (400°C) von PVC liegen vergleichsweise hoch.
- PVC entwickelt im Brandfall weniger Hitze als andere Materialien.
- PVC-Produkte verbrennen ohne Bildung von brennenden Tropfen.

PVC hat Bedeutung als Element des vorbeugenden Brandschutzes, da sein Einsatz die Risiken der Entstehung und Ausbreitung von Bränden deutlich senkt – dies kann ein Vorteil für den Schutz von Menschen und Sachwerten sein » 21.

Das sogenannte »ökologische Bauen« bringt übrigens vielfach eine Erhöhung der Brandgefahr mit sich » 55, da die Mengen an brennbaren Stoffen und damit die »Brandlast« steigen.

Wenn PVC-Teile in Kombination mit anderen brennbaren Baustoffen verlegt werden, führt deren Brand zwangsläufig auch zum Verbrennen von PVC. Dies lässt sich durch überlegte Materialkombinationen und durch konstruktive Maßnahmen verhindern. Hierfür gibt es entsprechende Bauvorschriften und Brandschutzmaßnahmen (Bildung von Brandabschnitten etc.) » 56.

### Rauchentwicklung

Bei der Verschmelzung, d.h. der unvollständigen Verbrennung von PVC, kann es (wie bei anderen Werkstoffen auch) zu erhöhter Rauchentwicklung kommen. Das Ausmaß der Rauchentwicklung hängt dabei nicht allein vom Werkstoff ab, sondern auch von vielen anderen Umgebungsfaktoren wie Sauerstoffmenge, Luftzufuhr etc. Mittlerweile existieren eine ganze Reihe von Möglichkeiten, die Rauchentwicklung mit Hilfe von Additiven zu verringern.

### Toxizität von Brandgasen

Die Auswertung zahlreicher Brandfälle in den USA hat gezeigt, dass – neben der Hitzeeinwirkung – über 90% aller Todesfälle durch Kohlenmonoxid (CO) verursacht werden. Danach folgt Blausäure, z. B. aus Wolle, Teppichböden, Textilien, Leder oder anderen stickstoffhaltigen Materialien » 57, 58, 59, 60. Chlorwasserstoff (HCl) spielt eine untergeordnete Rolle.

» 21 Enquête-Kommission des Deutschen Bundestages »Schutz des Menschen und der Umwelt«, Bericht »Schutz des Menschen und der Umwelt – Bewertungskriterien und Perspektiven für umweltverträgliche Stoffkreisläufe in der Industriegesellschaft«, 1994, Kapitel 4.4.4

» 55 Prof. Achilles, Vortragsveranstaltung »PVC im Bauwesen – umweltgerecht bauen und wohnen«, Frankfurt, März 1992

» 56 Verband der Kunststoff-erzeugenden Industrie (Hrsg.), Tagungsband »VKE-Brand-Symposium«, Dezember 1996

» 57 M. M. Hirschler, J. Vinyl Technology 11, 2 (1989)

» 58 Hilado, Cumming, »Überlebenszeit im Brandfall bei Brandgasen verschiedener Materialien im Tierversuch«, Fire and Materials Vol. 2, No. 2, 1978

» 59 Ch. Schlatter, Vortrag BVD-Seminar (20.03.91), ETH Zürich

» 60 W. Rotard, »Toxikologie von Brandgasen und Brandrückständen«, VDI Berichte, (1997), 99-112

Untersuchungen haben gezeigt, dass der CO-Gehalt im Brandfall rasch tödliche Werte erreicht, während die HCl-Konzentration nur langsam ansteigt und deshalb tödlich wirkende Konzentrationen nicht erreicht werden » 50.

Dioxine und Furane, die bei jedem Brand entstehen, sind an den Ruß der Brandrückstände gebunden. Deshalb wurden bei vielen Untersuchungen von Brandexponierten niemals erhöhte Dioxinkonzentrationen gefunden. Für die Beurteilung der Toxizität der Brandgase spielen sie deshalb keine Rolle » 61, 62.

### Brandfolgekosten

Bestimmte Bestandteile von Brandgasen wirken korrosiv, dazu gehören u. a. Schwefel- oder Salpetersäure und Essigsäure. Verbrennt PVC, so entsteht Chlorwasserstoff, der mit Wasser zu verdünnter Salzsäure abreagiert. Diese wirkt auf eine ganze Reihe von Materialien korrosiv, darunter auch auf Metalle und Beton.

Befürchtungen, die Standfestigkeit von Gebäuden sei durch PVC-Brandgase gefährdet, haben sich als unbegründet erwiesen. Die bei einem Vollbrand entstehende Hitze von mehr als 1.000°C ist die Hauptursache für irreparable Gebäudeschäden. Bleibende Schäden durch Salzsäure gibt es in der Regel nicht, vor allem wenn die Sanierung zügig und nach dem heutigen Stand der Technik durchgeführt wird » 63. Dies gilt auch für Korrosionsschäden an Maschinen und elektronischen Einrichtungen, wie die Erkenntnisse aus einem Brand bei einem schwedischen Zulieferer für die Automobilindustrie zeigten: Nach 12 Tagen konnte der Betrieb die Produktion wieder aufnehmen » 64.

Die heute vorliegenden Erfahrungen bei Bränden erlauben es in der Regel, die notwendigen Aufräumungs- und Sanierungsarbeiten soweit abzuschätzen, dass weder unnötige Kosten durch aufwändige Analytik entstehen noch unkalkulierbare Risiken für Mensch und Umwelt resultieren. Wichtiges Hilfsmittel sind hierbei die Empfehlungen des ehemaligen Bundesgesundheitsamtes (BGA) zur Reinigung von Gebäuden nach Bränden » 65 und die Leitlinien des Verbandes der Schadensversicherer (VdS) zur Brandschadensanierung » 66. Zusätzliche Maßnahmen aufgrund der Beteiligung von PVC am Brandgeschehen sind normalerweise nicht notwendig. Die wichtigste Maßnahme ist die sorgfältige Reinigung der Brandstelle von Ruß, da dieser generell toxisch ist.

Durch die günstigen PVC-Produktkosten werden eventuelle Mehrkosten durch erhöhte Sanierungskosten deutlich überwogen » 67.

### Dioxine

Unter dem Begriff »Dioxine« versteht man im allgemeinen eine Klasse von Substanzen, die der Chemiker als »polychlorierte Dioxine« (PCDD) und »polychlorierte Furane« (PCDF) bezeichnet. Die Debatte um Dioxine, ihre Quellen und ihre Auswirkungen auf Mensch und Umwelt ist in hohem Maße von Emotionen gekennzeichnet. Mangelndes Wissen und sorgloser Umgang mit diesen gefährlichen Substanzen, aber auch Unsicherheiten nach dem ersten großen Unfall in Seveso mit Dioxinfreisetzung, ermöglichten lange Zeit keine sachliche Auseinandersetzung mit diesem Thema. Mit dem heute vorliegenden Wissen sieht die Wissenschaft die Gefahren durch Dioxine realistischer und die wissenschaftliche Diskussion verläuft weniger emotional » 68, 69, 70.

» 50 M. Engelmann, J. Skura, »PVC im Brandfall«, Brandschutz/DFZ, 4/92, S. 510 ff, mit Ergänzungen neu aufgelegt in Gummi, Fasern, Kunststoffe, 49 (1996), S. 554 – 558

» 61 Bericht der unabhängigen Expertenkommission der Landesregierung NRW zum Flughafenbrand Düsseldorf, April 1997

» 62 E.-J. Spindler, »Which are the Prioritarian Carcinogenic Substances in Soot«, Dioxin '96, Organohalogen Compounds Vol. 30 (1996) pp.7 – 11

» 63 W. Rotard, »Gefahrstoffe nach Bränden – Sanierungsleitwerte« in »Sanierung von Brandschäden«, Vortragsband einer Fachtagung des VdS e.V., Köln, 1996

» 64 Hammer, »Sanierung von Brandschäden«, Vortrag auf der VdS-Fachtagung, Köln 1996

» 65 Bundesgesundheitsamt, »Empfehlungen zur Reinigung von Gebäuden nach Bränden«, Bundesgesundheitsblatt 1 (1990), S. 32 ff

» 66 Verband der Schadensversicherer (VdS), »Richtlinie zur Brandschadensanierung«, VdS-Richtlinie 2357, 1998

» 67 M.Engelmann, »Kosten-Nutzen-Abschätzung: Halogenfreie oder PVC-Kabel« VB Vorbeugender Brandschutz, 3 (1995) S.32, 33

» 68 H. Beck, »PCDD/F Exposure and Human Levels«, BgVV Symposium, Berlin 1996

» 69 William F. Carroll, »Is PVC in House Fires the Great Unknown Source of Dioxin?«, FIRE AND MATERIALS, Vol.20, 1996, 161 – 166

» 70 W. F. Carroll et. al., »Characterization of Emissions of Dioxins and Furans from Ethylene Dichloride (EDC), Vinyl Chloride Monomer (VCM) and Polyvinyl Chloride (PVC) Facilities in the United States iv. Consolidated Report«. Organohalogen Compounds Vol.41 (1999) p.31-34

» 62 E.-J. Spindler, »Which are the Prioritarian Carcinogenic Substances in Soot«, *Dioxin '96, Organohalogen Compounds* Vol. 30 (1996) pp.7 – 11

» 63 W. Rotard, »Gefahrstoffe nach Bränden – Sanierungsleitwerte« in »Sanierung von Brandschäden«, Vortragsband einer Fachtagung des Verband der Schadensversicherer e.V., Köln, 1996

» 68 H. Beck, »PCDD/F Exposure and Human Levels«, *BgVV Symposium*, Berlin 1996

» 71 Spindler, M. Engelmann, »Schadstoffbilanzen – eine Quelle für Überraschungen!« Informationsschrift der Vinnolit Kunststoffe GmbH, Burghausen 2002

» 72 M. Angrick, R. Batz in UTECH94 (UTECH Berlin Umwelttechnologieforum), 37. Seminar über Dioxinemissionen aus Industrie, Verkehr und weiteren Quellen, 1994

» 73 H. Fiedler et. al (editor), »Dioxin '94: 14th International Symposium on Chlorinated Dioxins, PCB and Related Compounds«, Kyoto 1994

» 74 Jacobus E. M. Beurskens et al., »Geochronology of Priority Pollutants in a Sedimentation Area of the Rhine River«, *Environ. Toxicol. & Chem.*, Vol. 12 (1993) 1549-66

» 75 Dioxin '96, Malisch: Vol. 28, p 277, Schrey: Vol. 30, p 51

» 76 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

» 77 Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft Nordrhein-Westfalen »Dokumentation Grossbrand Lengerich«, (1994)

» 78 Jäger, Wilken, Zschmar-Lahl, »Dioxin- und Furanemissionen« in Berlin; Staub-Reinhal- tung der Luft 52 (1991) 99

» 79 B. Lindblad, E. Burström, »A Scandinavian View on (coated) Scrap and the Environment«, 10th Process Technology Conference, Toronto 1992

» 80 Landesenergieverein des Landes Steiermark, »Umweltbelastung durch kleine Einzelfeuerungen für feste Brennstoffe«, 1987

» 81 Bericht der unabhängigen Expertenkommission der Landesregierung NRW zum Flughafenbrand Düsseldorf, April 1997

Dioxine entstehen entlang des Lebensweges aller Produkte – schon durch die Emissionen bei der Erzeugung der notwendigen Energie. Dies lässt sich am Beispiel der Bilanzierung des Herstellprozesses für Fensterrahmen aus unterschiedlichen Werkstoffen zeigen: PVC-Fenster schneiden hinsichtlich der Dioxinemissionen in der Produktion nicht schlechter ab als Alternativmaterialien » 71.

Die wesentlichen Quellen für Dioxine sind heute bekannt, die Emissionen aus den wichtigsten wurden deutlich reduziert. Der weitgehende Verzicht auf bleihaltiges Benzin, die Einstellung der Produktion von PCB und PCP und die Umstellung von Bleichverfahren in der Papierindustrie haben den Dioxineintrag in die Umwelt deutlich reduziert. Auch die Müllverbrennungsanlagen tragen infolge der Umrüstung gemäß den Vorschriften der 17. Verordnung zum Bundesimmissionschutzgesetz seit 1997 nur noch untergeordnet zur Dioxinbelastung bei. Die größte Einzelquelle für Dioxine ist das Metall-Sintern, eine Vorstufe zum Hochofenprozess » 72. Die Produktion der Chemischen Industrie insgesamt, speziell die PVC-Produktion nach dem heutigen Stand der Technik, ist eine völlig untergeordnete Dioxinquelle » 73.

Als Konsequenz der geschilderten Maßnahmen nehmen die Dioxineinträge in die Umwelt überall deutlich und nachweisbar ab. Dies gilt für Fluss-Sedimente » 74 ebenso wie für Lebensmittel, den Klärschlamm oder das Blut bzw. die Muttermilch » 68. Der zu Beginn der 90er Jahre geforderte Vorsorgewert der Dioxinaufnahme von 1pgTE pro Tag und Kilogramm Körpergewicht wird heute unterschritten » 75.

Brände sind eine vergleichsweise unbedeutende Dioxinquelle. Die dabei entstehenden Dioxine sind fest an den Brandruß gebunden und so gut wie nicht bioverfügbar. Beispielsweise konnten im Blut von Feuerwehrleuten keine erhöhten Dioxinwerte nachgewiesen werden » 76, 77. Für Berlin errechnet sich der Anteil von Schadfeuern am jährlichen Dioxineintrag auf 0,1 Prozent » 78.

Das kanzerogene Potenzial des Brandrußes wird im übrigen nicht so sehr durch Dioxine, sondern durch die ebenfalls fest an den Ruß gebundenen sogenannten polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe, durch Mikrorußteilchen selbst und vielleicht noch andere Schadstoffe bestimmt » 63. Unabhängig von einer PVC-Beteiligung ist deren Konzentration meist deutlich höher als die von Dioxinen, selbst wenn man die unterschiedliche Wirkungsstärke berücksichtigt. Belegt ist dies für zahlreiche thermische Prozesse » 79, 80 und Brandfälle, z. B. nach dem Brand im Düsseldorfer Flughafen » 62, 81.

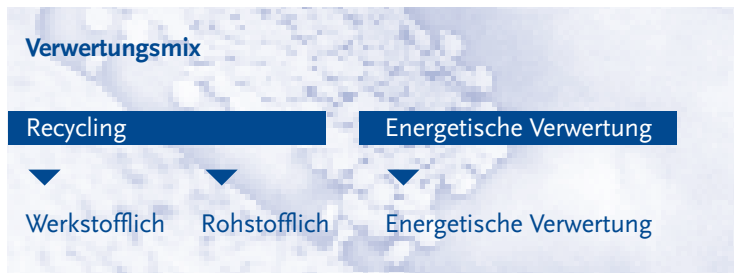
---

## 2.5 verwertung und beseiti- gung von pvc-abfällen

Das Kunststoffrecycling ist heute ein fester Bestandteil der Kreislaufwirtschaft. Eine dem Abfallstrom angepasste differenzierte Verfahrensentwicklung hat eine Vielzahl von umweltfreundlichen und wirtschaftlich sinnvollen Verwertungsmöglichkeiten geschaffen.

Ein Verwertungsmix aus werkstofflichem und rohstofflichem Recycling und der energetischen Verwertung bildet dabei die Grundlage im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung.

Die Recyclingoptionen für PVC orientieren sich an diesem Verwertungsmix. Zusätzlich wird beim rohstofflichen Recycling von PVC-Abfällen jedoch nach Verfahren mit und ohne Chlorlimitierung unterschieden. Das werkstoffliche Recycling wird vorzugsweise für sortenreine oder vorsortierte PVC-Produkte wie z. B. Fenster, Rohre, Fußbodenbeläge, Dachbahnen, Kabel und Planenstoffe angewandt. Dabei kommen trockenmechanische Verfahren oder Lösemittelverfahren zum Einsatz.



Beim rohstofflichen Recycling werden hauptsächlich verschmutzte Mischkunststoffe oder Verbundwerkstoffe, die nicht werkstofflich zu verwerten sind, zu Kohlenwasserstoff-Verbindungen und Salzsäure umgesetzt. Eine Spaltung des PVC zurück zum VC-Monomer ist nicht möglich.



Die energetische Verwertung eignet sich besonders für Abfälle, die mit angemessenem Aufwand nicht zu trennen sind. Als »Zielprodukte« können thermische und elektrische Energie, aber auch Salzsäure genannt werden.

Nähere Informationen zum Thema Recycling finden Sie in der Broschüre »PVC-Recycling«, die Sie bei der AG PVC und Umwelt e. V. kostenlos anfordern können. Eine elektronische Fassung der Broschüre kann auch aus dem Internet ([www.agpu.com](http://www.agpu.com)) heruntergeladen werden.



## 2.5.1 werkstoffliches recycling

Zirka 60% des jährlich produzierten PVC wird zu Bauprodukten verarbeitet. Für diese PVC-Produkte, Fenster, Rohre, Bodenbeläge und Dachbahnen wurden Anfang der 90er Jahre Verwertungsanlagen errichtet und Sammelsysteme aufgebaut bzw. optimiert. Für einige Produkte sind diese Systeme bereits flächendeckend vorhanden. Die Recyclinganlagen basieren auf grundsätzlich gleichen verfahrenstechnischen Prozessen und setzen sich zum Beispiel aus Zerkleinerungstechnik einschließlich Kaltvermahlung sowie Förder- und Sortieraggregaten zusammen. Das zurückgewonnene PVC-Mahlgut wird zur Herstellung von neuen PVC-Fenstern, Bodenbelägen, Rohren und Dach- und Dichtungsbahnen wieder eingesetzt. Die praktische Erfahrung mit dem PVC-Recycling hat aber auch die derzeitigen ökonomischen Grenzen gezeigt.

### Verpackungen

Im Verpackungssektor wird die PVC-Fraktion seit 1990 durch das Duale System Deutschland AG (DSD) erfasst und über den Garantiegeber DKR der Verwertung zugeführt. PVC-Verpackungen werden im Mengenstromnachweis des DSD nicht gesondert aufgeführt, sondern mit den anderen Verpackungen der Verwertung zugeführt.



### Rohre

PVC-Rohre sind – wie andere Kunststoffrohre – gut zu recyceln. Kunststoffrohrverband (KRV) und Gütegemeinschaft Kunststoffrohre (GKR) haben – verbunden mit einer Rücknahmeverpflichtung – ein Sammel- und Wiederverwertungssystem für Rohrreste sowie ausgebaute Rohre und Formteile aus Kunststoffen aller Art konzipiert. Es ist seit Beginn des Jahres 1994 unter der Regie der GKR in Deutschland bundesweit eingeführt.

In Österreich und der Schweiz existieren ähnliche Sammelsysteme und Recyclinganlagen. Im Zusammenhang mit der Freiwilligen Selbstverpflichtung zum werkstofflichen Recycling ist es Zielsetzung der laufenden und künftigen Bemühungen, die gesammelten Mengen an recycelbaren PVC-Rohrmaterialien erheblich zu steigern (siehe Kapitel 4).

### Fenster

Seit Mitte 1991 existieren in Deutschland und Österreich Sammelsysteme zur Rücknahme und Wiederverwertung von Fensterprofilen. Die Rewindo GmbH, gegründet Ende Juni 2002, vereint die bisherigen Gesellschafter der Fenster-Recycling-Initiative (FREI) sowie das Unternehmen VEKA AG. Die 1993 ins Leben gerufene Verwertungsgesellschaft für Altfenster GbR (FREI) wurde aufgelöst. Der Rewindo GmbH obliegt die Kontrolle, Koordination und Dokumentation der Umsetzung der Freiwilligen Selbstverpflichtung der europäischen PVC-Branche im Bereich werkstoffliche Verwertung von PVC-Altfenstern und Produktionsabfällen aus der Herstellung von PVC-Fenstern bzw. Fensterprofilen sowie artverwandter Produkte. Auch für den Bereich PVC-Fenster wurden im Rahmen der »Selbstverpflichtung zum nachhaltigen Wirtschaften« Recyclingziele festgeschrieben (siehe Kapitel 4).

### Bodenbeläge

PVC-Hersteller und führende Bodenbelaghersteller sammeln bereits seit 1990 über die Arbeitsgemeinschaft PVC-Bodenbelag-Recycling (AgPR) Bodenbeläge zur Verwertung. Die Erfassung der PVC-Altbeläge erfolgt im Auftrag der AgPR bundesweit durch Entsorgungsunter-



nehmen und Logistikpartner.

Im Bereich des werkstofflichen Recyclings haben sich die Hersteller von PVC-Bodenbelägen verpflichtet, zunehmende Mengen von PVC-Bodenbelagsabfällen am Ende ihrer Nutzung werkstofflich zu verwerten (siehe Kapitel 4).



### Dachbahnen

Die Arbeitsgemeinschaft für PVC-Dachbahnen-Recycling (AfDR GmbH), ein Zusammenschluss von PVC-Dachbahnen-Herstellern, hat in Troisdorf eine Recyclinganlage für PVC-Dachbahnen errichtet, die im September 1994 in Betrieb genommen wurde. Im Bereich des werkstofflichen Recyclings haben sich in Europa die Hersteller von PVC-Dachbahnen verpflichtet, zunehmende Mengen von PVC-Dachbahnen-Abfällen am Ende ihrer Nutzung werkstofflich zu verwerten (siehe Kapitel 4).

### Kabel

Ein Großteil der heute anfallenden Kabelabfälle wird durch Kabelzerlegebetriebe aufbereitet. Deren Interesse galt bisher im Wesentlichen den Leitermetallen Kupfer und Aluminium. Die Recyclate, die hauptsächlich PVC, aber auch andere Materialien wie Polyethylen und Gummi sowie Restkupfer enthalten, sind Ausgangsstoffe für verschiedene Produkte (z. B. Backenfüße für die Straßenverkehrs-sicherung).

Für die bisher nicht verwertete Restfraktion können rohstoffliche Verwertungsverfahren und auch Löseverfahren zum Einsatz kommen: Eine spezielle Eigenschaft des PVC ist die vollständige Löslichkeit in bestimmten Lösemitteln. Auf Basis dieses Wissens wurden in der Vergangenheit verschiedene Löseverfahren für Kunststoffabfälle entwickelt.

Auch die Forscher der Solvay S.A. haben sich die Löslichkeit von PVC zunutze gemacht und auf Basis dieser Eigenschaft ein neues Recyclingverfahren namens VINYLOOP® entwickelt.

SolVin, ein Tochterunternehmen von Solvay und BASF, und Partnern u.a. aus der Kabelverwertungsindustrie haben im Rahmen eines gemeinsamen Projektes im März 2001 den Bau einer Verwertungsanlage auf Basis der VINYLOOP®-Technologie in Ferrara, Italien, begonnen, und im Februar 2002 fertig gestellt.

Insgesamt verfügt die Anlage über Aufbereitungskapazitäten von ca. 10 kt/Jahr.

### Planen

Das französische Unternehmen Ferrari, das auf die Produktion von PVC-beschichteten Geweben (z. B. Planen, Zelte) spezialisiert ist, hat mit Solvay einen Vertrag geschlossen, um das VINYLOOP®-Verfahren für seine PVC-Produktpalette zu nutzen. Das dabei hergestellte Vinyloop-Pulver ist wieder für die Herstellung neuer Planen vorgesehen.



### Scheckkarten und ähnliches

PVC-Karten werden weltweit vielfältig und in großer Stückzahl eingesetzt. Neben den Hauptanwendungen als Kreditkarte, Girokarte oder Identifikationskarte der Krankenkassen, werden Mitgliedsausweise für Bahnkunden, Videotheken oder Sportvereine, Kundenkarten für Kaufhausketten und Automobilclubs immer häufiger aus PVC hergestellt. Auf dem Werksgelände der Klöckner Pentaplast GmbH in Gendorf wird das Kartenmaterial durch den Subunternehmer MEPEX aufbe-

reitet. Aus dem Mahlgut werden im österreichischen Spritzgießbetrieb der MEPEX z. B. Abstandshalter für die Bauindustrie und Keile zur Fixierung von Rollen gefertigt. Ein anderer Scheckkarten-Recycler, die BEKU in Beverungen, fertigt aus Scheckkartenabfällen, Kabelabdeckungen und Kabelschutzrohre.

### Recycling-Produkte

Eine Reihe hochwertiger Recycling-Produkte sind heute bereits am Markt verfügbar. So haben sich neben PVC-Recycling-Fenstern, -Bodenbelägen, -Rohren, -Dachbahnen und Backenfüßen, auch zahlreiche andere PVC-Recycling-Produkte am Markt etabliert. Laufend kommen neue PVC-Recyclingprodukte dazu, wie z. B. Verkehrsleitschwellen, Kabelschutzrohre, Kabelabdeckungen, Arbeitshandschuhe, Automatten, Stallzubehör, Pullover, deren Fasern aus gebrauchten PVC-Wasserflaschen gewonnen werden, oder ein Bodenbelag in Puzzleform, der äußerst schnell verlegt werden kann und in dem gebrauchte PVC-Kabel wiederverwertet werden.

---

## 2.5.2 rohstoffliches recycling

Als Ergänzung zum werkstofflichen Recycling ist das rohstoffliche Recycling insbesondere dann sinnvoll, wenn eine weitere Aufbereitung von stark vermischten und verschmutzten Abfällen sowie bei Verbunden ökonomisch und ökologisch keinen Sinn mehr macht.



Für »PVC-reiche« Abfallfraktionen sind die Zielprodukte Salzsäure und Kohlenwasserstoffverbindungen. Die PVC-Branche hat deshalb in eigener Initiative verschiedene Projekte zum rohstofflichen Recycling der »PVC-reichen« Abfallfraktion gestartet. Bei PVC-Anteilen im Abfall von kleiner 10% wird bei der rohstofflichen Verwertung das HCl aus PVC meist neutralisiert. Vorrangiges Ziel ist hier die Verwertung der Kohlenwasserstoffe.

Im Folgenden werden die wesentlichen Projekte der PVC-Branche zum rohstofflichen Recycling für »PVC-reiche« Fraktionen beschrieben:

### DOW/BSL – Drehrohfen-Verwertungsanlage Schkopau

Im September 1999 wurde die Reststoffverwertungsanlage der Buna Sow Leuna Olefinverbund GmbH (BSL), Schkopau, – heute DOW – offiziell in Betrieb genommen.

Neben der stofflichen Verwertung chlorhaltiger Abfälle in fester und flüssiger Form können auch PVC-Abfälle verwertet werden. Die eingesetzten Abfälle werden in der Anlage bei Temperaturen oberhalb von 1100°C thermisch behandelt. Dabei wird unter Ausnutzung der freiwerdenden Energie Chlorwasserstoff abgespalten und zu Salzsäure weiterverarbeitet. Diese Reinsäure wird am Standort der Chlorelektrolyse zugeführt. Aus dem erzeugten Chlor wird Vinylchlorid und nachfolgend Polyvinylchlorid (PVC) hergestellt (siehe Kapitel 2.1).

### Weitere Verfahren

Die PVC-Branche ist der Auffassung, dass eine rohstoffliche Verwertungstechnologie benötigt wird, um vor allem kontaminierte und vermischte PVC-Abfälle zu recyceln. In diese Richtung zielen die Untersuchungen der nachfolgend aufgeführten Verfahren.

Optionen im Bereich des rohstofflichen Recyclings werden zur Zeit untersucht, dazu gehören Vergasungsverfahren, ein kombiniertes Hydrolyse- und Pyrolyseverfahren in Dänemark (Stignaes), ein zweistufiges Pyrolyse-Verfahren (NKT-Watech, DK) und Versuche zur Dehydrochlorierung aus gemischten Kunststoffabfällen (REDOP, NL). Das kombinierte Hydrolyse- und Pyrolyseverfahren wird zur Zeit in Dänemark mit einer Großanlage für 40 kt (Start im vierten Quartal 2004) umgesetzt.

Die PVC-Branche hat damit für chlorreiche Abfälle durch innovative Technologien neue Ansätze in der Recyclingpraxis realisiert.

## 2.5.3 energetische verwertung

### Die ökologische Rolle von PVC in MVA

PVC war in der Vergangenheit zu etwa 50% für den Chloreintrag in MVA (Müllverbrennungsanlagen) verantwortlich. Aufgrund des Rückgangs von PVC im Verpackungsbereich und der Verwertungsaktivitäten des DSD liegt der Anteil heute sicher niedriger. Die aus PVC und den anderen Chlorquellen (vor allem Nahrungsmittel) entstehende Salzsäure (HCl) kann sehr effektiv aus Rauchgasen entfernt werden. HCl-Emissionen aus MVA spielen daher absolut und relativ zu anderen sauren Abgasen auch aus anderen Quellen keine Rolle mehr.

Heute ist klar, dass die Menge an PVC in der Müllverbrennung unerheblich ist für die Dioxinmissionen. Müllverbrennungsanlagen sind ohne weiteres in der Lage, selbst strenge Abgaswerte von 0,1 Nanogramm (ng) Toxizitätsäquivalente pro Normkubikmeter (TEQ/Nm<sup>3</sup>) zu erfüllen, wie sie seit 1999 nach der 17. Bundes Immissionsschutz-Verordnung (BImSchV) in Deutschland gelten und nach dem Entwurf von 1998 auch EU-weit vorgesehen sind. Untersuchungen, die insbesondere vom Forschungszentrum Karlsruhe durchgeführt worden sind » 82, 83, 84 belegen, dass moderne Müllverbrennungsanlagen eine Dioxin-Senke darstellen. In einer neuen Untersuchung an 8 bayerischen MVA im Zeitraum von 1993 bis 1997 konnten sogar Abscheidegrade für PCDD/PCDF von etwa 99% festgestellt werden » 85.

### Die ökonomische Rolle von PVC in MVA

Generell hängt die Höhe der Verbrennungskosten vom gewählten Verfahren und den damit verbundenen Investitionen, dem Auslastungsgrad der Anlage und den Folgekosten insbesondere für die Rauchgaswäsche und die Rückstandsbehandlung ab. In Europa werden überwiegend Rostfeuerungen mit nachgeschalteter Rauchgasreinigung betrieben. Dabei dominieren die Nass- und quasi-trockenen Verfahren mit einem Anteil von über 60%. Diese Prozesse haben die geringsten Rückstände und sind deshalb am preisgünstigsten. Mit dem von Solvay entwickelten NEUTREC®-Verfahren oder mit der Salzsäurerückgewinnung werden die zu deponierenden Rückstände reduziert und damit Kosten gesenkt.

Die im November 2000 veröffentlichte Kirrman-Studie »Incineration of PVC and other products in MSW« hat die Kosten (werkstoffbezogene Kosten im Vergleich zu Kosten für durchschnittlichen Siedlungsabfall) verschiedener Materialien in der Müllverbrennung bei gleichen

» 82 Vehlow, H. Vogg, »Thermische Zerstörung organischer Verbindungen«, Müllverbrennung und Umwelt 5, EF-Verlag, Berlin, 1991

» 83 Vehlow, H. Vogg, Th. Wanke, F.E. Mark, A.H.M. Kayen, »Co-Combustion of Mixed Plastic Waste and Municipal Solid Waste in the Karlsruhe Test Incinerator TAMARA, Part II: The Influence of PVC and Cu Speciation on the Formation of low Volatile Organic«

» 84 The American Society of Mechanical Engineers, »The Relationship between Chlorine in Waste Streams and Dioxin Emissions from Waste Combustor Stacks«, New York, 1995

» 85 H.Riedel, »Restmüllverbrennung: Schadstoffverteilung im Gaspfad«, Müll und Abfall, 1 (2000), S. 15-24

Rahmenbedingungen verglichen. Kunststoffe nehmen einen Bereich zwischen 260 und 400 Euro pro Tonne ein. Die häufig unterstellten besonders hohen Aufwendungen für das Mitverbrennen von PVC werden nicht bestätigt, vielmehr liegt der Werkstoff mit 320 Euro für Weich-PVC, 340 Euro für Hart-PVC und 330 Euro für PVC allgemein im Mittelfeld der untersuchten Materialien. Die Behandlungskosten für Restmüll würden sich also nur unwesentlich reduzieren, wenn PVC vollständig aus dem Restmüll eliminiert würde. Die gelegentlich behaupteten Mehrkosten durch PVC-Müll rechtfertigen deshalb keine Sonderregelung für den Werkstoff.

### **Fazit**

Das Thema energetische Verwertung und PVC in der Müllverbrennung ist in seinen vielfältigen Aspekten durch zahlreiche Studien sehr intensiv erforscht worden.

PVC führt in der Müllverbrennung nur zu marginalen Mehrkosten. Deshalb ist es nicht sinnvoll, PVC-Abfälle aus der Müllverbrennung fern zu halten oder einen speziellen Deckungsbeitrag für PVC-Produkte zu erheben. Die gute Datenlage lässt generell den Schluss zu, dass PVC in der Verbrennung keinen Problemstoff darstellt.

Weitere Informationen zu diesem Thema finden Sie in der Broschüre »PVC in der Müllverbrennung«, die als PDF-File im Internet unter [www.agpu.com](http://www.agpu.com) zum Download bereitsteht.

---

## **2.5.4 entsorgung von pvc auf deponien**

Die von Mersiowsky et al. - Universität Hamburg-Harburg - in 1999 und 2000 vorgelegten Studien zum Deponieverhalten von PVC-Produkten zeigen, dass PVC auf der Deponie generell keine wesentlichen Probleme verursacht » 86. Eine Schwäche aller bisherigen Studien: Nur PVC-Produkte und kein einziger konkurrierender Werkstoff wurden untersucht.

Phthalate werden in Sickerwässern in nur sehr geringen Mengen gefunden, da sie im Deponiekörper biologisch abgebaut werden. Schwermetalle aus PVC können in das Sickerwasser gelangen. PVC-Produkte spielen aber entsprechend der o. g. Studien im Vergleich zu anderen Schwermetallquellen in der Deponie keine wesentliche Rolle. In dem im Juni 2001 vorgelegten ergänzenden Bericht »Contribution of Post-Consumer PVC Products to Lead Inventory in Landfilled Waste« der TuTech GmbH, Hamburg, kommt der Autor zu dem Ergebnis, dass mit Blei stabilisierte PVC-Produkte auf der Deponie keine signifikanten Umweltauswirkungen hervorrufen.

Preise oder Gebühren für Deponien hängen von einer Vielzahl von Faktoren ab, wie zum Beispiel dem Standard der Deponie oder dem Wettbewerb zwischen den verschiedenen Entsorgungswegen. Im allgemeinen konnte bisher kein Einfluss auf Preise und Gebühren durch das Vorhandensein von PVC im zu deponierenden kommunalen Müll festgestellt werden und dies wird auch in Zukunft nicht erwartet.

» 86 Ivo Mersiowsky, »Long-term Fate of PVC Products and their Additives in Landfills«, Prog. Polym. Sci. 27 (2002) p. 2227 – 2277



---

### 3 pvc: werkstoff mit zukunft

Die Diskussion um PVC hat sich in den letzten Jahren versachlicht und ist substantiell weiterentwickelt worden. Dennoch sehen manche in der Forderung nach Substitution von PVC immer noch ein Synonym für ökologischen Fortschritt, obwohl selbst Kritiker von PVC erkennen, dass es eine Reihe von ökologisch bedenklicheren Werkstoffen gibt » 87. Interessanterweise wird deren Substitution kaum gefordert.

Künftig wird es immer wichtiger werden, unsere Bedürfnisse mit technisch ausgereiften, preiswerten und ökologisch optimierten Werkstoffen und Produkten zu erfüllen. Dabei hängen alle drei Forderungen (technische, ökonomische und ökologische Eignung) eng miteinander zusammen: Gute technische Eignung heißt beispielsweise lange Lebensdauer – eine gerade auch unter ökologischen und ökonomischen Aspekten äußerst sinnvolle Eigenschaft.

## 3.1 pvc ist ein technisch leistungsfähiger werkstoff

Viele der herausragenden technischen Eigenschaften von PVC werden durch das Chloratom in der Molekülkette bewirkt:

- Ihm verdankt das PVC seine leichte Mischbarkeit mit vielen Hilfsstoffen. Wie bei unterschiedlichen Stahlsorten kann damit mit einem einzigen Basiskunststoff (PVC) eine Reihe von verschiedenen »Legierungen« aufgebaut werden, die unterschiedliche technische, ökonomische und ökologische Anforderungen gezielt erfüllen.
- Die inhärente Brandschutzausrüstung garantiert geringe Entflammbarkeit sowie Selbstverlöschten und geringe Wärmefreisetzung im Brandfall.
- Durch Zugabe von Weichmachern kommen andere wichtige Eigenschaften hinzu wie Gummiähnlichkeit, Elastizität usw.

Alle diese positiven Grundeigenschaften lassen sich weiter verbessern und kombinieren. So prägen Innovationen den gesamten PVC-Lebensweg: Von der Herstellung der Ausgangsstoffe, über neue Produkte bis zur Verwertung und Beseitigung der PVC-Produkte » 88.

Die guten technischen Eigenschaften von PVC-Produkten werden in der Regel auch von Kritikern des Werkstoffes nicht bestritten. Damit soll nicht gesagt werden, dass jedes Produkt aus PVC sinnvoll ist – das aber ist wohl kein Problem des Werkstoffes...

## 3.2 pvc ist ein ökonomisch wettbewerbsfähiger werkstoff



Dem Chloratom verdankt PVC auch seine hervorragende wirtschaftliche Position. Chlor als wichtigster Teil im PVC ist deutlich kostengünstiger als Ethylen, der zweitwichtigste Bestandteil.

Moderne, kostengünstige Werkstoffe – darunter vor allem PVC – haben in der Vergangenheit dazu beigetragen, Wohlstand für breite Bevölkerungsschichten zu schaffen, und sorgen heute dafür ihn zu erhalten. Beispielsweise haben optimierte Verpackungen dazu beigetragen, dass Nahrungsmittel preisgünstiger werden konnten. PVC-Medizinprodukte, PVC-Rohre für Trinkwasserversorgung oder Abwasserentsorgung sind weitere wichtige Beispiele für eine kostengünstige und sichere Versorgung mit wichtigen Gütern. Die sichere, kostengünstige Versorgung mit Nahrungsmitteln, Medizinprodukten und Trinkwasser ist noch wichtiger in Ländern der Dritten Welt, wo die Mittel knapp sind.

Die umfangreichste Untersuchung zur ökonomischen Situation von Produkten aus PVC im Vergleich zu anderen Werkstoffen wurde von der Prognos AG vorgelegt. Die Studie »Konversion der Chlorchemie«, die im Auftrag des hessischen Umweltministeriums erstellt wurde, errechnete jährliche Mehrkosten von 3,3 Milliarden Euro durch den Ersatz von 70% der PVC-Produkte in West-Deutschland. Extrapoliert man die Prognos-Zahlen auf 100% der Anwendungen und Gesamt-Deutschland, so würden jährliche Mehrkosten in Höhe von 6,2 Mrd. Euro anfallen » 87.

» 87 E. Plinke, R. Schüssler, K. Kämpf, »Konversion Chlorchemie«, Prognos AG im Auftrag des Hessischen Ministeriums für Umwelt, Energie und Bundesangelegenheiten, 1994

» 88 Baunemann et al., »Innovationen in PVC«, Hrsg.: PVC-plus Kommunikations GmbH, Mai 2000

Für verschiedene Beispiele (PVC-Fenster, PVC-Rohre) wurde quantitativ gezeigt, welche riesigen Potenziale zur Einsparung von Energie, CO<sub>2</sub>-Emissionen etc. in kostengünstigen Produkten stecken. Diese Potenziale kann man realisieren, wenn man die Kostenvorteile von PVC-Produkten ganz oder teilweise für ökologisch sinnvolle Investitionen einsetzt » 89, z. B. für die Wärme-Isolierung des Althausbestandes in Deutschland.



Angesichts wachsender Bevölkerungszahlen und der Verknappung von Rohstoffen in der Zukunft, gewinnen ökonomische Betrachtungen immer mehr an Bedeutung:

- Kostengünstige Produkte ermöglichen die Grundversorgung vieler Menschen in den ärmeren Ländern und die Teilhabe sozial schwächer gestellter Menschen am Wohlstand in den reicheren Ländern.
- Kostengünstige Produkte ermöglichen über ihre Kostenvorteile Investitionen in ökologisch sinnvolle Projekte.

Auch Geld ist eine knappe Ressource. Der in einigen Kommunen praktizierte Ausschluss von PVC-Produkten für den öffentlichen und öffentlich geförderten Wohnungsbau verursacht erhebliche, häufig vernachlässigte Zusatzkosten. Die zahlreichen Berechnungen liegen zwar auseinander, gemeinsam ist ihnen allerdings, dass sie signifikant höhere Kosten bei einem Verzicht auf PVC im Bauwesen aufweisen.

#### Zwei Beispiele:

- In Bayern wurde 1996 das 500-Betten-Krankenhaus Agatharied bei Miesbach zunächst mit halogenfreien Kabeln geplant. Angesichts von fast 2 Mio. Euro Mehrkosten wurde das Krankenhaus mit PVC-Kabeln und einem Rauchabsaugsystem realisiert. Eine Entscheidung für höhere Sicherheit, zu einem Zehntel der zuvor geplanten Kosten.
- Die Bauministerin Schleswig-Holsteins erklärte anlässlich eines Gemeinschaftsrichtfestes von 4 Bauträgern für 132 Wohnungen am 15.10.1997 in Norderstedt, dass der Bau dieses Mehrfamilienhauses – gänzlich ohne PVC – mit einer Steigerung der Baukosten um 10% verbunden gewesen sei » 90.

## 3.3 pvc ist ein ökologisch zukunftsfähiger werkstoff

Auf dem Weg in eine nachhaltige Zukunft hat der Werkstoff PVC gute Startbedingungen durch ökologische Vorteile:

- Herstellung und Verarbeitung von PVC erfordern wenig Energie,
- PVC-Herstellung schont nicht-nachwachsende Ressourcen, da sie nur zu 43% von Erdöl/Erdgas abhängt,
- geringe Emissionen und Abfälle bei Herstellung und Verarbeitung,
- gute Recyclierbarkeit,
- langlebige Produkte: Rohre ca. 100 Jahre, Fenster ca. 50 Jahre.

Bei der Bewertung von konkurrierenden Produkten spielen heute Ökobilanzen eine wichtige Rolle. Ökobilanzen, die detailliert Auskunft geben, welchen »Rucksack« an Umweltbelastungen (z. B. Energie-

» 89 E.-J. Spindler »Integration der monetären Kosten in Ökobilanzen«, UWSF – Z. Umweltchem. Ökotox. 11 (5) 299-302 (1999)

» 90 Ministerium für Frauen, Jugend, Wohnungs- und Städtebau des Landes Schleswig-Holstein (Hrsg.): »PVC-Anwendungen, Problem, Alternativen«, 1999

verbrauch, Treibhauspotenzial) ein Produkt mit sich trägt, zeigen, dass sich Bauprodukte aus PVC nicht hinter solchen aus sogenannten alternativen Werkstoffen zu verstecken brauchen » 91.

Als problematisch erweist sich, dass für viele der mit PVC in Wettbewerb stehenden Werkstoffe, die oftmals von vornherein als besonders günstig angesehen werden, keine belastbare Datenbasis existiert. Dagegen liegen mit den Ökoprofilen der Europäischen Kunststoffindustrie vergleichbare Basisdaten für die Kunststoffe PE, PP, PS, PVC, PET und andere vor » 92.

Ökobilanzen, Ökoprofil, Lebensweganalyse – schon die Vielzahl der Namen zeigt, dass es eine Reihe von Ansätzen gibt, um die Umweltbelastungen eines Produktes »von der Wiege bis zur Bahre« zu erfassen. Trotz unterschiedlicher Auffassung darüber, worum es sich bei einer Ökobilanz handelt und in welchem Umfang sie ein Produkt beschreiben muss, sind aufgrund der intensiven Normungsbemühungen wesentliche Grundprinzipien mittlerweile akzeptiert.

Ökobilanzen können ein geeignetes Werkzeug sein, wenn es darum geht, Produkte aus verschiedenen Werkstoffen miteinander zu vergleichen. Zu vielen wichtigen PVC-Anwendungen gibt es solche Ökobilanzen aus mehreren Ländern. Vor allem Bauprodukte und die früher bevorzugt bilanzierten Verpackungen wurden ausführlich bearbeitet » 92, 93.

PVC geht bei diesen Betrachtungen nicht immer als »Sieger« hervor, aber in anerkannt wichtigen Punkten schneidet es gut ab:

- Produkte aus PVC zeichnen sich im Vergleich zu solchen aus anderen Werkstoffen durch einen relativ geringen Energieverbrauch aus. Für eine umfassende ökologische Bewertung reicht die Betrachtung des Energieverbrauchs allein zwar nicht aus, er stellt aber angesichts schwindender fossiler Energiereserven und der globalen Klimadiskussion eine ökologische Schlüsselgröße dar.
- PVC besteht nur zu 43% aus Erdöl, 57% bestehen aus Chlor, das aus heimischem, beliebig verfügbarem Salz gewonnen wird. Unter dem Aspekt der Ressourcenschonung ein wichtiger Faktor.
- PVC lässt sich bei vergleichsweise niedrigen Temperaturen von ca. 170 bis 200°C verarbeiten – dagegen werden die meisten klassischen Werkstoffe wie z. B. Metalle, Keramik und Glas bei hohen Temperaturen von 800 bis weit über 1.000°C mit entsprechendem Energieaufwand verarbeitet.
- Viele Produkte aus PVC zeichnen sich durch eine besonders hohe Langlebigkeit aus. Was aber lange lebt, muss weniger oft gewartet, repariert und ersetzt werden – spart also Energie, Material und Kosten. Dies gilt vor allem für den Bausektor » 94.
- Produkte aus PVC liefern wichtige Beiträge zur Wärme-Isolation, zum Korrosionsschutz, zum Schutz von Lebensmitteln und Medikamenten, zur Hygiene und zum Schutz vor gefährlichen Stoffen, z. B. bei Umweltschutzanlagen.
- Moderne Produktions- und Verarbeitungsverfahren helfen, PVC-Abfälle zu vermeiden oder sie ermöglichen ihre Wiederverwertung. Ökobilanzen zeigen ganz klar, dass Recycling in Abhängigkeit von der Art des Abfalls die ökologische Position eines Produktes extrem verbessern kann. Recyclathaltige PVC-Produkte wie beispielsweise Fensterprofile oder Rohre spielen in dieser Hinsicht eine Vorreiterrolle.



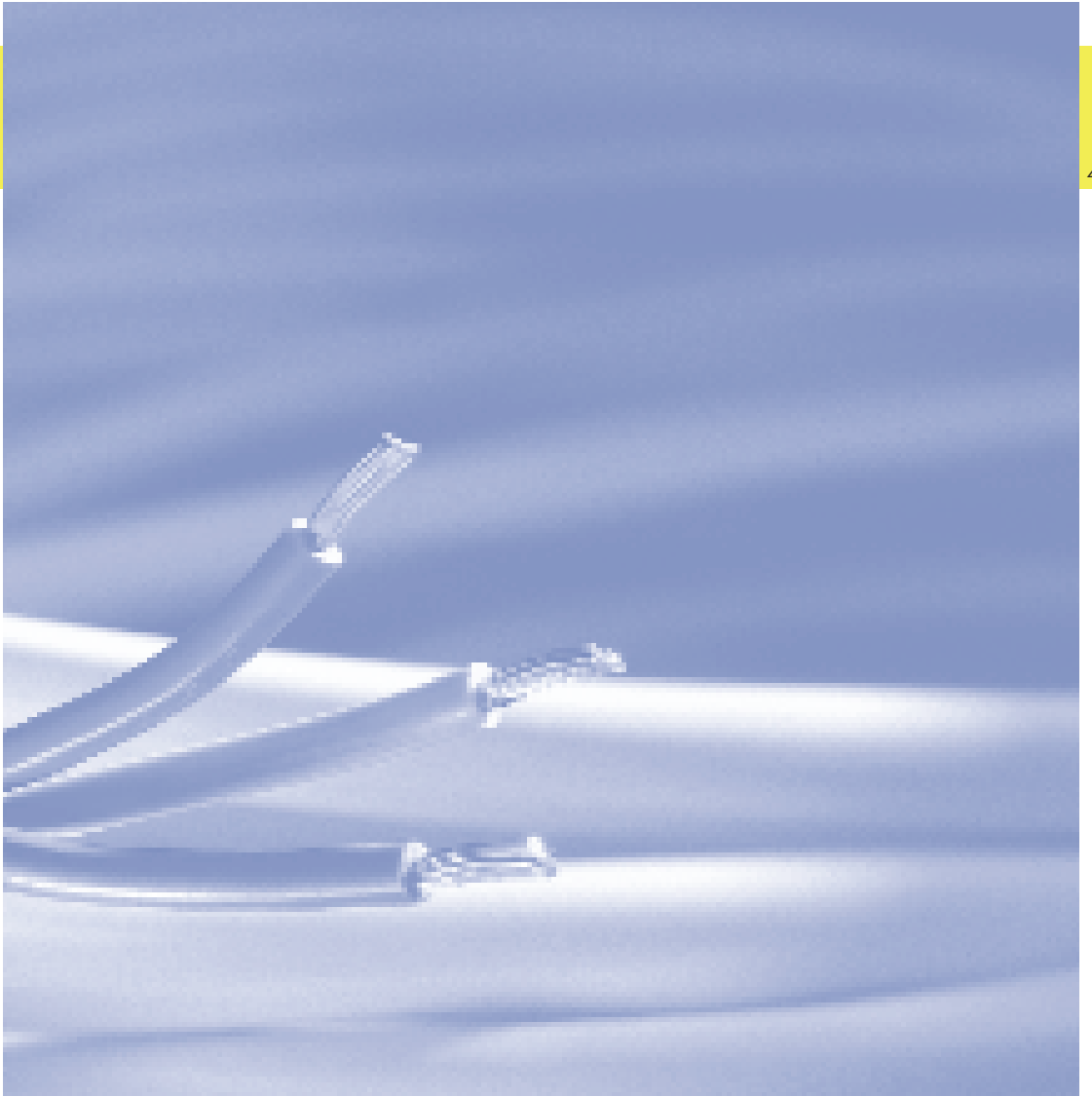
» 91 Krähling, »Life Cycle Assessments of PVC Products: Green Guides to Ecological Sustainability«, in: LCA-Documents Vol. 6, 1999

» 92 Association of Plastics Manufactures in Europe: »Eco-Profiles of the European plastics industry«, Report 6 (Second Edition): Polyvinyl Chloride, May 1998

» 93 Bertin Technologies – ECOBILAN, »Life Cycle Assessment of PVC Products«, Study intended for ECVI, October 2000

» 94 Institut für das Bauen mit Kunststoffen, »Langzeitbewährung und Entwicklungstendenzen von Kunststoffbauprodukten im Wohnungsbau«, 1995





---

## 4 pvc: standortbestimmung

Allein die Tatsache, dass PVC seit über 50 Jahren hergestellt wird und auch heute noch – trotz immer stärker werdender Konkurrenz durch andere Werkstoffe – ca. 1/5 der weltweiten Kunststoffproduktion insgesamt darstellt, spricht für seine Akzeptanz.

PVC hat sich mit den wachsenden Anforderungen ständig weiterentwickelt – ökonomisch, technologisch und ökologisch. Daher wird trotz seiner »Reife« für diesen Werkstoff ein Wachstum von mehr als 4% jährlich weltweit prophezeit, an der Spitze stehen dabei die rasch emporstrebenden Staaten des Fernen Ostens mit zweistelligen Zuwachsraten.

## 4 pvc: standortbestimmung



PVC ist heute einer der am besten untersuchten Werkstoffe. Die mit seiner Herstellung, Verwendung und Entsorgung zusammenhängenden Risiken sind weitgehend bekannt und wurden minimiert. In den heute für PVC relevanten Einsatzgebieten kommen seine positiven Eigenschaften besonders gut zum Ausdruck.

Der aus ökologischer Sicht besonders wichtige Energie- und Rohstoffbedarf ist bei Produkten aus PVC vergleichsweise gering. PVC-Produkte schneiden daher in Ökobilanzen relativ gut ab » 91. Bisher sind keine umfassenden ökobilanziellen Betrachtungen vorgelegt worden, die eine Umweltentlastung durch den Verzicht auf Produkte aus PVC nachgewiesen hätten. Die Forderung nach einer generellen Substitution von PVC durch andere Werkstoffe ist häufig ideologisch begründet.

Die Politik hat sich vielfältig mit PVC befasst, in Deutschland beispielsweise das Sachverständigenrat »Gesundes Bauen und Wohnen« beim Bundesbauministerium (1989), die Umweltministerkonferenz (1992) und die Enquête-Kommission »Schutz des Menschen und der Umwelt« des Deutschen Bundestages (Endbericht 1994) » 21. Signifikante, unverantwortbare Schwachstellen wurden dabei nicht festgestellt.

### Umweltpolitischer Durchbruch für PVC

Wie die Perspektiven der Herstellung und Verwendung von PVC bei Berücksichtigung des Leitbildes einer nachhaltig zukunftsverträglichen Entwicklung aussehen, hat die Enquête-Kommission »Mensch und Umwelt« beispielhaft für Rohre, Fensterprofile, Bodenbeläge, Kabelummantelungen und Verpackungen untersucht.

Die Kommission ist zu der Beurteilung gekommen, dass PVC aufgrund der jahrelangen Diskussion heute hinsichtlich seiner Umweltrelevanz der »bei weitem am besten untersuchte Werkstoff« sei, wohingegen Informationen über die Umweltauswirkungen vorgeschlagener Ersatzlösungen häufig fehlen. Ohne ökonomische und ökologische Begründung könne die Kommission die Substitution von PVC durch andere Werkstoffe nicht empfehlen. Eine solche Umstellung berge die Gefahr einer Problemverschiebung, wenn nicht gar eine Verschlechterung des gegenwärtigen Zustandes in sich » 21.

Die Kommission kam im wesentlichen zu der Empfehlung,

- die Verwertungsmöglichkeiten für PVC-Produkte zu erweitern,
- die Entsorgungs- und Verwertungskosten für PVC sowie der Ersatzstoffe in den Produktpreis zu integrieren.

Die Enquête-Kommission »Mensch und Umwelt« des Bundestages hat damit ähnlich wie bereits die Umweltministerkonferenz im November 1992 die Schließung des PVC-Stoffkreislaufs in den Mittelpunkt ihrer Forderungen für einen künftigen Umgang mit dem Werkstoff PVC gestellt. Auch Umweltverbände wie der BUND haben das Problem bei PVC in der Wiederverwertung gesehen » 95.

Im Jahr 1998 bewertete der von der deutschen Bundesregierung eingesetzte Sachverständigenrat für Umweltfragen in seinem Umweltgutachten PVC neu: die mit PVC heute verbundenen Gesundheits- und Umweltrisiken – im Vergleich zu Substituten wie PET, PP und anderen – rechtfertigten kein Verbot oder umfangreiche Beschränkungen mehr.

» 21 Enquête-Kommission des Deutschen Bundestages »Schutz des Menschen und der Umwelt«, Bericht »Schutz des Menschen und der Umwelt – Bewertungskriterien und Perspektiven für umweltverträgliche Stoffkreisläufe in der Industriegesellschaft«, 1994, Kapitel 4.4.4

» 95 Braunschweiger Zeitung: »BUND-Umweltschutzreferent über PVC: Das Problem liegt in der Wiederverwertung« vom 22.10.1990

Zur Begründung seiner neuen Haltung weist der Rat ausdrücklich auf die zwischenzeitliche Entwicklung der Produktions- und Entsorgungstechnik hin » 96.

Ende der 90er Jahre initiierte die Arbeitsgemeinschaft PVC und Umwelt einen offensiven Dialogprozess. Vertreter aus Wissenschaft, Politik, Industrie, Nichtregierungsorganisationen und Medien versuchten, die Frage zu klären, ob der seit vielen Jahren kontrovers diskutierte Werkstoff PVC einen positiven Beitrag zu einer nachhaltigen ökologischen und ökonomischen Entwicklung leistet bzw. leisten kann. Ein Ergebnis dieses ungewöhnlichen Dialogprojekts war die im März 1999 publizierte, unabhängige Prognos-Studie über die Nachhaltigkeit von ausgewählten PVC-Produkten, die Maßnahmen aufzeigt, die dem Werkstoff PVC einen zukunftsfähigen Weg in das nächste Jahrtausend weisen » 97.

Im Juni 1999 erschien eine Studie des Umweltbundesamtes (UBA), die am Beispiel von PVC-Produkten versuchte, einen Ansatz für einen einheitlichen Bewertungsrahmen für Stoffströme zu entwickeln und daraus Handlungsfelder und Kriterien für eine dauerhaft umweltgerechte Stoffpolitik abzuleiten » 98.

Trotz Mängeln – der Bericht beschränkt sich nur auf den ökologischen Teilaspekt der Nachhaltigkeit und klammert ökonomische und soziale Aspekte aus – belegt der UBA-Bericht, dass heute der überwiegende Teil der früher streitigen Behauptungen über Umweltauswirkungen des Kunststoffes PVC eindeutig widerlegt sind und dass die PVC-Branche in den letzten Jahren bemerkenswerte Anstrengungen zur »ökologischen Modernisierung« unternommen hat. Das UBA stellt fest, dass eine Substitution von Hart-PVC bei Beachtung bestimmter Verbesserungen »zu keiner wesentlichen Verringerung von Umweltisiken« führt. Bei Weich-PVC empfiehlt es eine eingehende Prüfung, da vor der Einführung von Ersatzprodukten ausreichend geprüft sein müsse, inwieweit sie den in der UBA-Studie entwickelten Maßstäben besser genügen als die entsprechenden Produkte auf PVC-Basis.

### Politische Neubewertung von PVC

Die Neubewertung durch Experten wird auch in der Politik wahrgenommen: so sind in den Bundesländern Hessen, Mecklenburg-Vorpommern, Thüringen, Niedersachsen, Berlin und Bremen frühere Beschränkungen bei der Beschaffung von PVC oder bei öffentlich geförderten Bauvorhaben zurückgenommen oder gelockert worden. In Nordrhein-Westfalen verfügte der grüne Bauminister Vesper 1999 einen Erlass zum umweltschonenden Bauen, der keine Werkstoffverbote enthält » 99.

In den Niederlanden enthält das Handbuch des Bau- und Umweltministeriums zum nachhaltigen Bauen (»Duurzaam Bouwen«) sogar eine ausdrückliche Empfehlung für den Einsatz von PVC-Produkten, die recycelbar oder aus Recyclat sind » 100.

Auch die Europäische Kommission setzte sich in den letzten Jahren mit dem Werkstoff PVC auseinander. Eine übergreifende Untersuchung »Horizontal-Initiative« genannt, sollte die Basis für die künftige Haltung der EU-Kommission zur Verwendung von PVC bilden. Federführend für die Horizontal-Initiative sind gemeinsam die Direktion für Industrie und die Direktion für Umwelt. Anfang 1999 wurden



» 96 Der Rat von Sachverständigen für Umweltfragen, »Umweltgutachten 1998. Umweltschutz: Erreichtes sichern – Neue Wege gehen«, Stuttgart: Metzler-Poeschel, 1998

» 97 Prognos, »PVC in ausgewählten Produktsystemen – Ein Beitrag zur Nachhaltigkeitsdiskussion« Deutscher Instituts-Verlag, Köln, ISBN-Nr. 3-602-14485-2, Herausgeber: Arbeitsgemeinschaft PVC und Umwelt e.V. und die Steuerungsgruppe »Dialogprojekt PVC und Nachhaltigkeit«, 1999

» 98 Umweltbundesamt, »Handlungsfelder und Kriterien für eine vorsorgende nachhaltige Stoffpolitik am Beispiel PVC«, Erich Schmidt Verlag, Berlin 1999

» 99 Ministerium für Bauen und Wohnen: »Umweltschonendes Bauen des Landes«, Runderlass; im Ministerialblatt für das Land Nordrhein-Westfalen, Nr. 2, S. 14 vom 26.01.1999

» 100 Stiftung Bouwresearch, NL, »Duurzaam Bouwen«, Handbuch, 1999

schließlich 5 Studien an verschiedene Auftragnehmer zu den unterschiedlichen Aspekten der Entsorgung – immer in Bezug auf PVC – vergeben » 101, 102, 103, 104, 105.

Auf Basis dieser Studien hatte die EU-Kommission dann im Juli 2000 ein Grünbuch zu PVC vorgelegt und alle interessierten Kreise aufgefordert, hierüber zu diskutieren » 106. Die Resonanz war enorm: 33.000 Stellungnahmen sind laut EU-Kommission zum PVC-Grünbuch eingegangen, davon äußerten sich über 98% positiv zum Einsatz und zur Verwendung von PVC [http://europa.eu.int/comm/environment/pvc/index.htm].

Am 23. Oktober 2000 fand eine öffentliche Anhörung statt und im April 2001 stimmte das Europäische Parlament über den Grünbuch-Bericht des Abgeordneten Sacconi und zahlreiche Änderungsanträge ab » 107. Anträge zum Verzicht auf PVC – generell – oder auf Weich-PVC sowie die Forderung, PVC-Produkte als nicht nachhaltig zu bewerten, sind abgelehnt worden. Insgesamt forderte das EU-Parlament, das Recycling zu verstärken. Begrüßenswert ist, dass das EU-Parlament erkennt, dass sich das Grünbuch der Kommission hauptsächlich auf die Analyse der Umweltauswirkungen von PVC auf die Abfallwirtschaft konzentriert, ohne sämtliche Aspekte von PVC-Erzeugnissen während des gesamten Lebenszyklus zu analysieren und ohne die wirtschaftlichen Vor- und Nachteile dieses Materials umfassend zu untersuchen. Derzeit erarbeitet die EU-Kommission eine Schlussfolgerung aus der Grünbuchdebatte; geplant ist eine »Mitteilung«.

» 101 Bertin Technologies, »The Influence of PVC on the Quantity and Hazardousness of Flue Gas Residues from Incineration«, Study for DG XI, April 2000

» 102 AEA-Technology, »Economic Evaluation of PVC Waste Management«, Report for European Commission Environment Directorate, June 2000

» 103 ARGUS/Universität Rostock, »The Behaviour of PVC in Landfill«, Study for DG XI.E.3, February 2000

» 104 PROGNOSE/Plastic Consult/Cowi, »Mechanical Recycling of PVC Wastes«, Study for DG XI of the European Commission, January 2000

» 105 TNO, »Chemical Recycling of Plastics Waste (PVC and other resins)«, Study for DG III of the European Commission, December 1999

» 106 Kommission der EU »Grünbuch zur Umweltproblematik von PVC«, KOM (2000) 469 endgültig, Brüssel, 26.07.2000

» 107 Europäisches Parlament, »Entschließung des Europäischen Parlaments über das Grünbuch der Kommission zur Umweltproblematik von PVC«, (KOM(2000) 469 – C5-0633/2000 – 2000/2297 (COS)), April 2001

### Selbstverpflichtung der PVC-Branche zur nachhaltigen Entwicklung

Um den Herausforderungen der Zukunft im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung zu begegnen, wurde von der europäischen PVC-Branche – vertreten durch die vier Hauptverbände (s. Tabelle):

- ECVM (PVC-Hersteller)
- ECPI (PVC-Weichmacher-Hersteller)
- ESPA (PVC-Stabilisatoren-Hersteller)
- EuPC (PVC-Verarbeiter)

im März 2000 eine freiwillige Vereinbarung, die »Selbstverpflichtung der PVC-Branche zur nachhaltigen Entwicklung« unterzeichnet.

#### ECVM

The European Council of Vinyl Manufacturers  
[Europäischer Verband der Vinyl-Hersteller]

#### ECPI

The European Council for Plasticisers and Intermediates  
[Europäischer Verband für Weichmacher und Zwischenprodukte]

#### ESPA

The European Stabilisers Producers Association  
[Verband europäischer Stabilisator-Hersteller]

#### EuPC

European Plastics Converters  
[Verband europäischer Kunststoff-Verarbeiter]

Die unterzeichnenden Verbände repräsentieren die PVC-Kette von den PVC- und Additiv-Produzenten bis zu den PVC-Verarbeitern. Dieser integrierte Ansatz deckt jedes Stadium des Lebensweges eines PVC-Produktes ab: von der verantwortlichen Herstellung, der Ressourceneffizienz, bis hin zur Verwertung und Entsorgung. Essentielle Elemente der Vereinbarung sind quantifizierbare und nachweisbare Ziele. Zum Erreichen dieser Ziele werden Termine festgelegt, um in einem stufenweisen Prozess das Gesamtziel zu erreichen. Die freiwillige Vereinbarung deckt den Zeitrahmen von 2000 bis 2010 ab.

Die Freiwillige Selbstverpflichtung beschäftigt sich mit den jeweiligen Schlüsselfragen in den einzelnen Abschnitten des Lebensweges. Der erste Teil befasst sich mit der Herstellung der Grundstoffe (PVC, Weichmacher und Stabilisatoren) und schildert die kontinuierliche Verbesserung in Bezug auf Umweltauswirkungen und Nutzung von Ressourcen. Der zweite Teil befasst sich mit der verantwortungsbewussten und nachhaltigen Nutzung von Additiven, deren Beimischung zu PVC eine innovative Entwicklung des Werkstoffes ermöglicht. Im dritten Teil wird erläutert, wie die Industrie ihren Beitrag zu einer verantwortungsbewussten Entsorgung des Produktes am Ende seiner Nutzungsdauer leistet. Im vierten Teil wird der Prozess, mit dem die PVC-Industrie die Einhaltung der verschiedenen Verpflichtungen kontrollieren will, eingehend beschrieben; hier wird auch die Thematik der Bereitstellung von entsprechenden Finanzmitteln erörtert » 108. Jedes Jahr wird ein Bericht über das jeweils abgelaufene Jahr veröffentlicht, der allen Interessenten zugänglich gemacht wird. Der erste dieser »Fortschrittsberichte« erschien im März 2001 » 109, 110.

Im Oktober 2001 hat die PVC-Branche unter dem Titel »Vinyl 2010« die Selbstverpflichtung zur nachhaltigen Entwicklung ergänzt » 111. Dabei geht es um den schrittweisen Verzicht auf Bleistabilisatoren, eine Konkretisierung der Recyclingziele auch für Dachbahnen und Bodenbeläge und die Etablierung eines sozialen Dialoges mit den Gewerkschaften.

Darüber hinaus erhielten die Freiwillige Selbstverpflichtung, die für ihre Umsetzung zuständige Organisation und die in diesem Rahmen durchgeführten Projekte einen neuen Namen: »Vinyl 2010 – Die Herausforderung der nachhaltigen Entwicklung annehmen«.

Der zweite Fortschrittsbericht, der von unabhängigen Dritten (Det Norske Veritas) überprüft wurde, ist im April 2002 der Öffentlichkeit präsentiert worden » 112.

Am 6. Mai 2003 legte die europäische PVC-Branche den dritten Fortschrittsbericht, der ebenfalls von Det Norske Veritas zertifiziert wurde, vor. Die Initiative »Vinyl 2010«, die erstmals die Bemühungen einer gesamten, vertikal vernetzten Branche auf dem Weg zu Nachhaltigem Wirtschaften dokumentiert, zeigte im vergangenen Jahr Erfolge: so etwa bei den stark gestiegenen Investitionen in den Bereichen Abfallwirtschaft, Forschung und Entwicklung sowie bei Einzelprojekten im Bereich Ökoeffizienz. Der neue Fortschrittsbericht ist im Internet unter [www.vinyl2010.org](http://www.vinyl2010.org) abrufbar » 113.

Im Jahr 2005 wird die Erreichung der selbst gesteckten Ziele durch unabhängige Dritte überprüft werden.

» 108 ECVM, ECPI, ESPA, EuPC, »Freiwillige Selbstverpflichtung zum nachhaltigen Wirtschaften der PVC-Branche«, März 2000

» 109 ECVM, ECPI, ESPA, EuPC, »Fortschrittsbericht 2001 zur Freiwilligen Selbstverpflichtung zum nachhaltigen Wirtschaften der PVC-Branche«, März 2001

» 110 Arbeitsgemeinschaft PVC und Umwelt e.V., »Aufgaben und Projekte der AgPU zur Umsetzung der Selbstverpflichtung zum nachhaltigen Wirtschaften der PVC-Branche in Deutschland«, März 2001

» 111 ECVM, ECPI, ESPA, EuPC, »Freiwillige Selbstverpflichtung der PVC-Industrie zur nachhaltigen Entwicklung«, Oktober 2001

» 112 Vinyl 2010, »Fortschrittsbericht 2002: Die Freiwillige Selbstverpflichtung der PVC-Industrie zur nachhaltigen Entwicklung«, April 2002

» 113 vinyl 2010, »sustainable Development; Progress Report 2003«, May 2003

- Die einzigartige Bandbreite von Eigenschaften eröffnet umfangreiche Innovationsmöglichkeiten und bringt der Gesellschaft Fortschritte und Vorteile in einer Vielfalt von Anwendungen vom Gesundheitswesen über die Bautechnik bis hin zur Entwicklung von alltäglichen Gütern. Die Bandbreite reicht von robusten Wasserröhren bis zu leichten Dachmembranen. PVC ist ein öko-effizienter Werkstoff, der bei verantwortungsbewusster Steuerung über den gesamten Lebensweg hinweg der Gesellschaft nachhaltige Vorteile bietet.

**Fazit:**

Produkte aus PVC haben sich in der Vergangenheit als außerordentlich sicher bewährt. Aufgrund dieser Tatsache und wegen seiner hervorragenden Kosten-Nutzen-Bilanz ist PVC nach wie vor weltweit ein Erfolgsprodukt.



- Das niedrige Gewicht des Materials führt zu Energieeinsparungen in Anwendungsbereichen wie Verpackung und Verkehr. Leichtere Fahrzeuge verbrauchen weniger Kraftstoff, leichtere Verpackungen führen zur Kraftstoffersparnis bei der Verteilung usw.
- Aufgrund der Dauerhaftigkeit von PVC kann bei manchen Anwendungen von einer Lebensdauer von über 100 Jahren ausgegangen werden – trotz der Einwirkung von Sonnenstrahlen, Hitze oder Chemikalien. Langlebige Produkte benötigen wenig Wartung und sprechen für eine hocheffiziente Ressourcennutzung.
- Die einzigartige Bandbreite von Eigenschaften eröffnet umfangreiche Innovationsmöglichkeiten und bringt der Gesellschaft Fortschritte und Vorteile in einer Vielfalt von Anwendungen vom Gesundheitswesen über die Bautechnik bis hin zur Entwicklung von alltäglichen Gütern.
- Produkte aus PVC haben wie solche aus Stahl, Glas oder Papier Umweltauswirkungen bei Herstellung, Verwendung und Entsorgung; alle bisher veröffentlichten Bewertungen lehnen den Verzicht auf PVC ab und empfehlen ökologische Verbesserungen.
- Ein Vorteil mit Auswirkungen auf alle Bereiche nachhaltigen Fortschritts ist der oft ganz erhebliche Kostenvorteil von PVC-Produkten: Er verbessert die Lebensqualität vieler Menschen, gerade auch sozial schwächerer, und macht ökonomische Ressourcen frei für weitgehende ökologische Optimierungen.

PVC war in den letzten Jahrzehnten Gegenstand zahlreicher Diskussionen und umfassender Untersuchungen hinsichtlich vieler verschiedener Aspekte seines Lebenszyklus. Aus einer Vielzahl unabhängiger Untersuchungen ging als Tenor hervor, dass PVC ein öko-effizienter Werkstoff ist, der bei verantwortungsbewusster Steuerung über den gesamten Lebensweg hinweg der Gesellschaft nachhaltige Vorteile bietet.





Arbeitsgemeinschaft  
PVC und Umwelt e.V.

Am Hofgarten 1–2  
D - 53113 Bonn  
Fon 0049 228 917 83-0  
Fax 0049 228 53 89 594  
[www.agpu.com](http://www.agpu.com)  
[agpu@agpu.com](mailto:agpu@agpu.com)



API – PVC- und Umweltberatung GmbH

Dorotheeagasse 6–8/14  
A - 1010 Wien  
Fon 0043 1 71 27 277  
Fax 0043 1 71 27 27 788  
[www.pvc.at](http://www.pvc.at)  
[api@vip.at](mailto:api@vip.at)



Arbeitsgemeinschaft der  
Schweizerischen PVC-Industrie

Guyerweg 11  
CH - 5004 Aarau  
Fon 0041 62 823 07 72  
Fax 0041 62 823 09 72  
[www.pvch.ch](http://www.pvch.ch)  
[info@pvch.ch](mailto:info@pvch.ch)



Verband Kunststoffherzeugende  
Industrie e.V.

Karlstraße 21  
D - 60329 Frankfurt/Main  
Fon 0049 69 25 56 1303  
Fax 0049 69 25 10 60  
[www.vke.de](http://www.vke.de)  
[info@vke.de](mailto:info@vke.de)