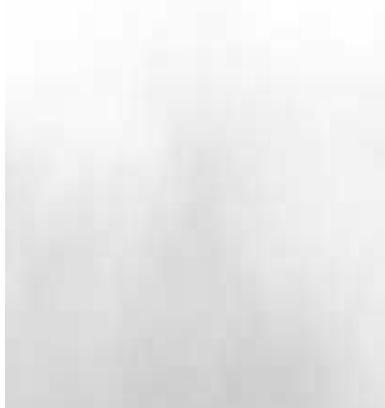


Forschungsprogramm "Rationelle Energienutzung in Gebäuden"



Kunststoffe in der Schweizer Bauindustrie



Kathrin Schneeberger

Dow Europe S.A, Horgen

Untersuchung im Rahmen des
IEA BCS Annex 31:
Energy Related Environmental Impact of
Buildings

Mit Unterstützung des
Bundesamtes für Energie

Februar 1999

Impressum

Projekttitel: IEA CBS Annex 31, "Energy Related Environmental Impact of Buildings"
Titel Teilprojekt: **Kunststoffe in der Schweizer Bauindustrie**
Auftraggeber: Bundesamt für Energie, BfE
Projektleitung: Annick Lalive d'Epina
Gruppe für Sicherheit und Umweltschutz
Laboratorium für Technische Chemie
Eidgenössische Technische Hochschule ETH
8092 Zürich

Auftragnehmer: Katrin Schneeberger
Dow Europe S.A.
Horgen
Schweiz

Bezug: Gruppe für Sicherheit und Umweltschutz
Laboratorium für Technische Chemie
Eidgenössische Technische Hochschule ETH
8092 Zürich

1. Auflage, Februar 1999

Danksagung

Ich möchte mich ganz herzlich bei den folgenden Personen bedanken:

Herrn David A. Russell, Dow Europe, für seine kompetente Betreuung während meines Praktikums. Seine Anregungen und Ratschläge waren eine grosse Hilfe.

Herrn Fred Jacober und Herrn Willem Jetten (beide Dow), die mir mit ihrem Sponsoring dieses Praktikum erst ermöglichten.

Frau Annick Lalive d'Epinay, ETH Zürich, die das Praktikum zusammen mit F. Jacober initiierte. Ihre Kritik, Anregungen und fachliche Unterstützung wurde sehr geschätzt.

Herrn W. Angst, ETH Zürich, dass er sich zur Verfügung stellte, mein Praktikum als Fachdozent zu begleiten, und mir Informationen zur Wirkung chemischer Stoffe zur Verfügung gestellt hat.

Allen Personen, die mir mit ihrem fachlichen Wissen über Kunststoffe und die Bauindustrie zur Seite standen. Besonders möchte ich erwähnen F. Mark, H. Wirgailis, G. Abbott, O. Keiser (alle Dow) und H. Rischgasser (KVS).

Alle Firmen, die mir Informationsmaterial zur Verfügung gestellt haben.

All meinen Kollegen und Kolleginnen vom EH&S Team, die mir eine so angenehme und spannende Praktikumszeit ermöglicht haben.

Zusammenfassung

Jedes Jahr werden in der Schweiz, trotz rückläufiger Auftragslage in der Bauindustrie, tausende Tonnen Material verbaut. Der Anteil der Kunststoffe ist seit 1950 stetig angestiegen und wird auch in Zukunft noch steigen. Kunststoffe sind widerstandsfähig, leicht, langlebig, kostengünstig und oft einfach zu installieren. 1995 wurden in der Schweizer Bauindustrie rund 115'000 t Kunststoffe eingesetzt, dies entspricht 0.5% des gesamten Materialverbrauchs in der Bauindustrie und ca. 20% des gesamten Kunststoffverbrauchs in der Schweiz.

Kunststoffe finden eine Anwendung in Rohren, Fenstern, Dämmstoffen, Wand- und Bodenbelägen, Dichtungsbahnen, Profilen, Kabel und anderem. Den grössten Anteil haben Produkte aus PVC (53%) und PE (14%).

Nur rund 26'000 t dieser Kunststoffe werden jährlich zu Abfall, was auf das grosse Materialzwischenlager im Bauwerk Schweiz hinweist. Das Abfallaufkommen wird sich aber in den nächsten 10 Jahren beinahe verdoppeln. Einige der "alten" Produkte haben noch Inhaltsstoffe (Cadmium, FCKW) mit grossem Umweltgefährdungspotential. Die sachgerechte Entsorgung dieser Abfälle wird eine wichtige Rolle spielen.

Ein grosser Teil der Abfälle wird in der KVA verbrannt, wobei der Anteil an illegal entsorgten brennbaren Bauabfällen (Kunststoffe, Papier / Karton, Holz) bei beträchtlichen 46% liegt.

Für einige Kunststoffprodukte (Fenster, Rohre, Dämmstoffe, ...) bestehen Recyclingkonzepte. Die Rücklaufquote ist aber meist sehr gering. Dies liegt einerseits am momentan niedrigen Abfallaufkommen (Langlebigkeit) andererseits an der Schwierigkeit des rohstofflichen Recyclings von post-consumer Abfällen. Die Herstellung eines Regranulats mit konstanter Qualität wird erschwert durch Verschmutzung und Vermischung von verschiedenen Kunststoffabfällen. Der Entwicklung von recyclingorientierter Produktion und marktorientierter Aufbereitung von gebrauchten Kunststoffen sollte in Zukunft eine grössere Bedeutung zukommen.

Es wurden bereits verschiedene Studien bezüglich Ökologie von Baustoffen ausgeführt. Kunststoffe können, entgegen ihrem schlechten Image, oft sehr gut mit anderen Materialien konkurrenzieren. Es scheint nicht angebracht die Verwendung gewisser Baustoffe zu verbieten, da die ökologischen Vor- bzw. Nachteile oft nur marginal sind.

Trotzdem sollte die Entwicklung umweltfreundlicher Produkte (speziell im Bereich der Additive), Konstruktionen und Entsorgungswege in Zukunft im Zentrum der Bemühungen der Kunststoffindustrie stehen.

Abstract

Thousands of tons of material are used every year in the Swiss construction industry, although the demand for new houses decreased over the last years. Since 1950 the quantity of plastics of the used building materials has increased and will further increase. Plastics are resistant, light weight, durable, cost effective and easy to handle.

In 1995 about 115'000 t of plastics were used in the Swiss construction industry, corresponding to about 0.5% of the total material used in the construction industry and about 20% of the total amount of plastics used in Switzerland. The main applications of plastics in buildings are pipes, windows, insulation, wall and floor coverings, linings, profiles and cables. PVC dominates the building and construction market for plastics accounting for 53% by weight of total plastics used, followed by PE (14%).

Only about 26'000 t of plastics become waste every year, which indicates how much material is accumulated in the buildings over the years. Nevertheless the yearly amount of waste will be doubled within the next ten years. Some of this "stored" products still have additives (Cd, CFC) with a highly negative impact on the environment. An environmental friendly disposal of these materials will be of great concern in the next years.

Most plastic wastes are incinerated. But still a concerning large amount of 46% of the total "combustible construction waste" (plastics, paper, wood) is disposed illegally in open fires or uncontrolled disposal.

For some products recycling systems exist (windows, pipes, insulation materials,...). Nevertheless the amount of material finally recycled is still very small. On one hand it is because of the small amount of plastics becoming waste at the moment, on the other hand it is because of the difficulties of recycling post-consumer wastes. Dirt and the mixture of different types of plastics makes it difficult and expensive to produce a recycling product of high quality. The development of "recycling friendly" production and well working recycling systems should be an important intent in the future.

Different studies about the environmental impact of building materials already exist. Plastics can, in spite of their bad image, well concur with other materials. It seems unnecessary to ban certain materials from the building and construction market. All materials have pros and cons and no material has no negative impact on the environment. It is an ever ongoing decision, which environmental impact will finally be accepted.

The main goal of the plastic industry in the future should nevertheless be the development of environmental friendly products, constructions and waste management systems.

Inhaltsverzeichnis

ZUSAMMENFASSUNG	i
ABSTRACT	ii
INHALTSVERZEICHNIS	iii
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	iv
1. ZIELSETZUNG	1
2. EINLEITUNG	2
2.1 KUNSTSTOFFE	2
2.2 AUSGANGSLAGE	3
2.3 UNTERSUCHUNGSGEBIET	5
2.4 ZUSATZSTOFFE	7
3. MATERIAL UND METHODEN	9
3.1 METHODIK	9
3.2 BESTIMMUNG DES KUNSTSTOFFVERBRAUCHS	11
3.3 BESTIMMUNG DES KUNSTSTOFFABFALLS.....	13
4. RESULTATE	14
4.1 KUNSTSTOFFVERBRAUCH	14
4.1.1 <i>Kunststoffrohre</i>	16
4.1.2 <i>Kunststoffenster</i>	17
4.1.3 <i>Dämmstoffe</i>	19
4.1.4 <i>Bodenbeläge</i>	21
4.1.5 <i>Dichtungsbahnen</i>	22
4.1.6 <i>Kabel</i>	23
4.2 KUNSTSTOFFABFALL.....	25
4.2.1 <i>Deponierung</i>	28
4.2.2 <i>Verbrennung</i>	28
4.2.3 <i>Recycling</i>	30
5. DISKUSSION	32
6. AUSBLICK	34
7. LITERATURLISTE	35
8. VERBRAUCH NACH PRODUKT UND KUNSTSTOFF	II
9. ENTWICKLUNG DES KUNSTSTOFFVERBRAUCHS IN DER BAUINDUSTRIE	III
10. ANTEIL DER VERSCHIEDENEN KUNSTSTOFFTYPEN AM GESAMTVERBRAUCH IN DER BAUINDUSTRIE	III
11. BAUABFALL NACH PRODUKT UND KUNSTSTOFF	IV
12. AUFTRAGSEINGÄNGE UND BESTÄNDE IM BAUHAUPTGEWERBE	V
13. INDEX DER KONSUMENTENSTIMMUNG	VI

Abkürzungsverzeichnis

ABS	Acryl-butadien-Styrol
APME	Association of Plastic Manufacturers Europe
BCS	Building and Community System
BFS	Bundesamt für Statistik
BUWAL	Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft
EPS	expandiertes Polystyrol
HD-PE	Polyethylen hoher Dichte
IEA	Internationale Energieagentur
LD-PE	Polyethylen niedriger Dichte
PA	Polyamid
PC	Polycarbonat
PET	Polyethylenterephthalat
PMMA	Polymethylmetacrylat
POM	Polyoxymethylen
PP	Polypropylen
PS	Polystyrol
PUR	Polyurethan
PVC	Polyvinylchlorid
TFI	Teppich-Forschungsinstitut
UP	ungesättigtes Polyester
XPS	extrudiertes expan. Polystyrol

Zielsetzung

Die vorliegende Arbeit wurde im Rahmen eines Berufspraktikums bei der Firma Dow Europe S.A. in Horgen durchgeführt.

Sie findet im Zusammenhang mit dem nationalen Projekt IEA BCS Annex 31 “Energy Related Environmental Impact of Buildings” statt. Zudem wird sie von der Professur Hungerbühler der ETH Zürich unterstützt.

In der schweizerischen Bauindustrie werden sehr grosse Mengen an Kunststoffen für die unterschiedlichsten Anwendungen eingesetzt. Genaue Schweizer Marktdaten sind aber nicht vorhanden. Ziel dieser Arbeit ist es daher, die Kunststoffströme in der Schweizer Bauindustrie quantitativ und qualitativ zu erfassen. Dabei soll sowohl der jährliche Verbrauch wie auch der jährlich entstehende Abfall erfasst werden. Ebenso wird versucht, die Materialvielfalt, die in der Bauindustrie zum Einsatz kommt, genauer zu analysieren. Dies bedeutet einerseits, welche Kunststoffe in welchen Produkten zur Anwendung kommen, andererseits auch die genaue Zusammensetzung dieser Kunststoffe (Additive). Die Kunststoffe werden dahingehend untersucht, ob Ökobilanzdaten vorhanden sind, und ob diese genügend genau sind. Zu einigen Produkten konnten bereits bestehende Vergleiche zu Nicht-Kunststoffprodukten in der gleichen Anwendung auf der Basis von Ökobilanzen gefunden werden.

Der entstehende Abfall wird bezüglich Entsorgungswege genauer beleuchtet.

Ebenso wird auf die Wachstumschancen, bzw. die Marktanteile der Kunststoffprodukte eingegangen. Die Daten stützen sich dabei vorwiegend auf Literatur- und Internetrecherchen. Es wurden aber auch Gespräche geführt mit Leuten, die in der Kunststoffherstellung oder im Baumaterialhandel tätig sind.

Einleitung

1.1 Kunststoffe

Kunststoffe sind technische Werkstoffe, die durch Polymerisationsprozesse hergestellt werden. Bereits im 19. Jh. wurden Kunststoffe synthetisiert, meist aus Naturprodukten wie Guttapercha, Schellack und Zelluloid. Zur Massenproduktion kam es aber erst nach dem 1. Weltkrieg [Stumpf K., 1994].

Als Rohmaterial werden heute vor allem Destillationsfraktionen des Erdöls und -gas eingesetzt. Aus der gesamten Erdölproduktion werden ca. 4 % für die Herstellung von Kunststoffen eingesetzt.

Die Kunststoffherstellung ist ein relativ energieaufwendiger Prozess (Energie pro kg Kunststoff), dafür wird gewichtsmässig meist weniger gebraucht als von einem anderen vergleichbaren Werkstoff. Kunststoffe können gezielt auf gewisse Eigenschaften hin konzipiert werden. Um die Verarbeitungsbedingungen der Kunststoffe zu verbessern, werden Stabilisatoren, Gleitmittel, Emulgatoren und Katalysatoren beigegeben. Die Zusätze, die eine Verbesserung der Materialeigenschaften bewirken, lassen sich in folgende Gruppen einteilen [Stumpf K., 1994]:

- Stabilisatoren: Verhindern eine thermische Zersetzung oder einen oxidativen Abbau. Zinn- und Bleiderivate schützen vor Umwelteinflüssen (Strahlung, Regen,...). Sie wirken auch als Alterungs- und Lichtschutzmittel.
- Weichmacher: Verhindern den Abbau von Ketten bei der Extrusion durch Herabsetzen der Schmelztemperatur. Es handelt sich meist um organische Verbindungen wie Terephthalate oder Isobutyrate.
- Füllstoffe: Tragen zur Verfestigung der Kunststoffe bei. Es werden Kalk, Calciumborate oder Siliciumsalze eingesetzt. Manchmal werden sie auch zur Verbilligung des Produktes gebraucht.
- Pigmente: Dienen zur Einfärbung des Kunststoffes. Als weisser Farbstoff wird meistens Titandioxid beigemischt, für die schwarze Farbe werden Russpartikel eingesetzt. Ansonsten sind sowohl anorganische Salze wie auch organische Azopigmente oder polycyclische Metallkomplexe in Gebrauch.
- Spezialzusatzstoffe: Darunter fallen antistatische Agenzien und Flammschutzmittel (Halogene, Molybdate).

Anhand der mechanischen, thermischen und technologischen Eigenschaften lassen sich Kunststoffe wie folgt einteilen [Stumpf K., 1994]:

- Thermoplaste: Meist Massenkunststoffe
verformbar durch erhitzen
schweisbar, quellbar
z.B.: PE, PP, PVC, PC, PUR, u.a.
- Duroplaste: Nicht verformbar
hart, spröde
grosse thermische, mechanische und chemische Belastbarkeit
z.B.: UP, Epoxidharze, PUR, u.a.
- Elastomere: elastisch
quellbar
abriebfest
z.B.: Silikone, Naturkautschuke, u.a.

1.2 Ausgangslage

Die Entwicklung der Schweizer Bauindustrie war in den letzten Jahren stark rückläufig (Abb. 1). Dies war vor allem eine Reaktion auf das anhaltende Überangebot auf dem Immobilienmarkt sowie auf die prekäre Finanzlage der öffentlichen Hand. Das Bundesamt für Wirtschaft und Arbeit geht 1998 von einem Angebotsüberhang im Wohnungsbau von rund einer Jahresproduktion aus.

Im weiteren hat die instabile Lage auf dem Arbeitsmarkt die privaten Investoren verunsichert [BFS, Pressemitteilung, Nr. 53/1998].

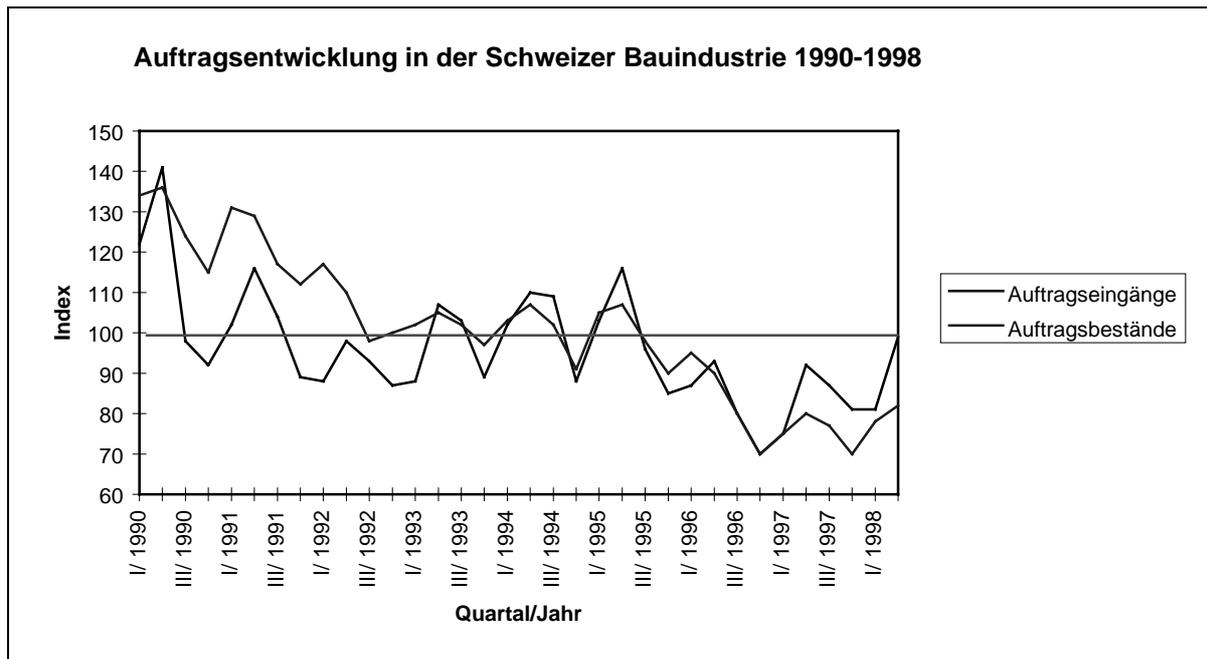


Abb. 1: Auftragsentwicklung in der Schweizer Bauindustrie. [BFS, 1998]

Indizes: Jahresdurchschnitt 1995 = 100

Trotzdem rechnet das BUWAL mit einem jährlichen Gebäudezuwachs, als umbaute Kubatur ausgedrückt, von etwa 50 Mio. m³. Geht man davon aus, dass pro m³ Kubatur rund 500 kg Baumaterial verbraucht werden, berechnet sich die jährlich im Hochbau verbaute Masse auf 25 Mio. Tonnen. [BUWAL, 1995]

Der grösste Anteil gewichtsmässig fällt dabei natürlich dem Beton und den Ziegeln zu. Kunststoffe machen gewichtsmässig nur einen sehr kleinen Anteil aus, nämlich etwa 0.5 % (eigene Berechnung).

Der Verbrauch an Kunststoffen in der Bauindustrie hat aber in den letzten Jahren stetig zugenommen und ist auch weiterhin am steigen (Abb. 2).

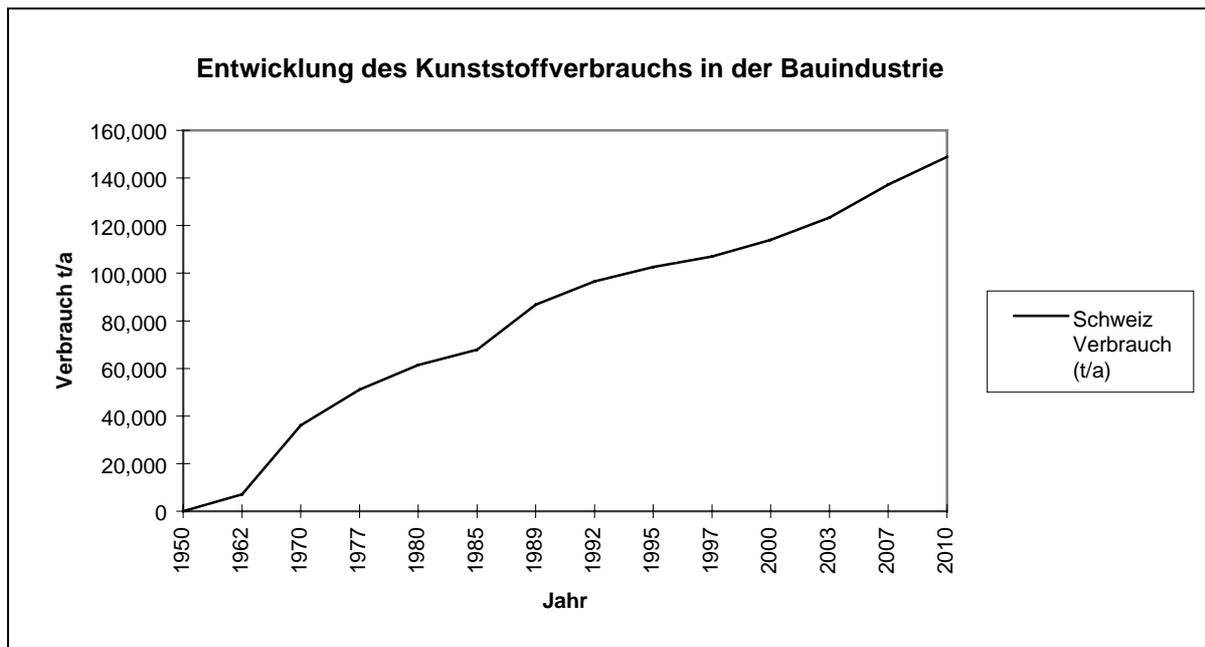


Abb. 2: Entwicklung des Kunststoffverbrauchs in der Schweizer Bauindustrie 1950-2010. [APME, 1995a]

Diese beiden gegenläufigen Trends zeigen, dass der Kunststoffanteil bei Baumaterialien am Wachsen ist. Kunststoffe ersetzen oft herkömmliche Baumaterialien, da sie eine Reihe von Vorteilen aufweisen:

- **Widerstandsfähigkeit:** Kunststoffe sind sehr widerstandsfähig gegenüber Chemikalien und klimatischen Einflüssen.
- **Lebensdauer:** Aufgrund ihrer Widerstandsfähigkeit sind Kunststoffe oft langlebige Produkte, die ein ganzes Gebäudeleben überdauern. (z.B. Rohre, Dämmstoffe,...)
- **Unterhalt:** Schutzstoffe werden oft direkt ins Kunststoffgerüst eingebaut. So erübrigt sich ein zusätzlicher Schutzanstrich.
- **Gewicht:** Kunststoffe sind Leichtgewichte. Dadurch vereinfacht sich der Transport zur Baustelle.
- **Installation:** Aufgrund ihres leichten Gewichts lassen sich Kunststoffe relativ einfach installieren. Meist werden grosse Maschinen überflüssig.
- **Kosten:** Kunststoffe können auf die Bedürfnisse hin produziert werden. Das, ihre leichte Handhabung und der einfache Transport machen sie zu einem sehr kosteneffizienten Bauprodukt.

Trotz dieser Vorteile sind Kunststoffe ein kontroverses Thema geblieben. Kunststoffe haben oft mit einem schlechten Image zu kämpfen. Aussagen wie: "Kunststoffe sind vom Menschen gemachte (künstlich erzeugte) Stoffe und können daher nur schlecht für die Umwelt sein", sind zu hören. Solche Aussagen entbehren jeder wissenschaftlichen Grundlage. Trotzdem zeigen sie, wie viele Leute über Kunststoffe denken. Solche, über Jahre manifestierte Gefühle auszuschalten, ist sehr schwierig. Bei einigen Kunststoffadditiven konnte tatsächlich eine schädliche Wirkung für die Umwelt gefunden werden (Phthalate, Cd, FCKW, Pb). Dies bestätigt natürlich viele Vorbehalte gegenüber Kunststoffen. Umweltschutzorganisationen starten immer wieder Kampagnen gegen Kunststoffe. Vor allem PVC wird hier oft angegriffen (z.B. Flughafenbrand Düsseldorf, Kinderspielzeug aus PVC,...). Der hohe Chloranteil, die krebserregende Wirkung des Ausgangsstoffes Monovinylchlorid, das Risiko beim Transport von Monovinylchlorid, der Einsatz der oben genannten Additive (Cd, Phthalate, Pb) sowie die Entstehung von Dioxinen und Furanen bei der Verbrennung von PVC (aufgrund des Chlorgehalts) liefern genug Angriffspunkte gegen PVC. PVC stellt aber auch einen der günstigsten Baustoffe dar,

der sehr vielseitig einsetzbar ist. Die Kontroverse um PVC kann in dieser Studie aber nicht abgehandelt werden. Es gibt dazu ganze Bücher, auf die hier verwiesen sei (z.B. Pohle Horst, PVC und Umwelt, Springer Verlag 1997, ISBN 3-540-61705-1).

Ein weiterer Problempunkt liegt in der Entsorgung von Kunststoffen. In der vorliegenden Arbeit wird auf Möglichkeiten, Wege und Probleme der Kunststoffentsorgung eingegangen.

1.3 Untersuchungsgebiet

Beim Begriff Bauindustrie handelt es sich in dieser Arbeit vorwiegend um den Hochbau. Vorwiegend, weil nicht in allen konsultierten Quellen die Trennung immer ganz nachvollziehbar war, und daher nicht garantiert werden kann, dass die Zahlen und Angaben sich immer nur auf den Hochbau beziehen. Allein schon die untersuchten Produkte ergeben aber eine Fokussierung auf den Hochbau. Kunststoffe finden in der Bauindustrie eine Reihe von Anwendungsmöglichkeiten. Aufgrund ihrer chemischen, thermischen und mechanischen Eigenschaften meist in langlebigen Produkten (Tab. 1).

Tab. 1: Lebensdauer der Kunststoffe nach verschiedenen Produktkategorien. Angaben in Prozent (%) [APME, 1995c]

Lebensdauer in Jahren	<2	2-5	5-10	10-20	20-40	>40
Produkt						
Rohre		1	1	3	20	75
Fenster			1	2	32	65
Dämmstoffe	2			10	50	38
Dichtungsbahnen	5		10	25	40	20
Profile	3		5	30	50	12
Einbaumöbel	1		25	49	20	5
Bodenbeläge (ohne Teppiche)	5	2	20	68	5	
Wandbezüge	2	8	50	30	10	

Dies führt dazu, dass der Kunststoffverbrauch zur Zeit erheblich höher ist als das Abfallaufkommen. Der grösste Teil des Materials wird im Bauwerk Schweiz über Jahre zwischengelagert. Dies gilt nicht nur für Kunststoffe, sondern für alle Baumaterialien.

Man rechnet damit, dass jährlich ca. zehnmals soviel Material verbaut wird, wie das Bauwerk Schweiz als Abfall verlassen [IP Bau, 1992]. (Anm.: Zur Zeit sind verschiedene Studien daran, die umweltliche Bewertung dieser Lagerbildung genauer zu untersuchen (z.B. A. Lalive d'Epina, ETH Zürich; Baccini, ETH Zürich)).

Dies könnte sich in Zukunft insofern ändern, als dass vermehrt saniert oder umgebaut wird. Dadurch wird das Ungleichgewicht zwischen Zufluss und Abfluss tendenziell abnehmen bzw. die Bauabfallmenge zunehmen [IP Bau, 1992].

Ebenso zeigt sich, dass die stoffliche Zusammensetzung der verbauten Materialien je nach Baujahr sehr verschieden ist.

Die wichtigsten Anwendungen von Kunststoffen in der Bauindustrie sind heute vor allem die folgenden:

- Fenster (Rahmen, Sichtteile)
- Dämmstoffe (thermische und akustische)
- Rohre (sanitär, elektrisch)
- elektrische Isolationen, Kabel

- Abdichtungen (Dachfolien, Wandfolien)
- Fugenabdichtungen
- Tapeten
- Rolläden
- Türen
- Bauteile
- Dispersionen, Lacke

Dazu kommen Verbrauchs- und Verpackungsmaterialien wie Baufolien, Behälter, Stretchfolien etc. Die Verpackungsmaterialien wurden in dieser Arbeit nicht untersucht, da sie nicht direkt eine Anwendung im Bauwerk finden.

Ebenso wird auf Dispersionsfarben und Lacke nicht eingegangen. Die Mengen sind hier sehr schwer zu erfassen. Ausserdem gelangen viele dieser Produkte auch über Do-it-yourself Anwendungen in die Gebäude.

Bei den Kunststofftypen macht PVC (Polyvinylchlorid) den grössten Anteil aus (Abb. 3).

Mit über 50 % dominiert dieser Kunststoff geradezu den Baukunststoffmarkt. PVC findet dabei sowohl Anwendung in Fenstern, Rohren, Abdichtungen wie auch Kabeln. Bei all diesen Anwendungen wird sog. "suspension PVC" gebraucht. "Suspension" meint dabei die Art der Herstellung. Der Polymerisationsschritt kann in Suspension, Emulsion (v.a. für PVC als Deckschicht) oder in Masse (v.a. für PVC zur Herstellung von Flaschen) geschehen. Die Art des in Baumaterialien verwendeten PVC's variiert also nur nach der Art der Zusatzstoffe. Hersteller von Bauprodukten sind aber immer sehr vorsichtig mit der Angabe dieser speziellen Mischung. Es ist daher sehr schwierig, die genaue Zusammensetzung des PVC's herauszufinden. Soweit sie allerdings bekannt war, wird sie in der Beschreibung der Produkte erwähnt (Kap. 6. Resultate).

Unter PE (Polyethylen) sind in untenstehender Graphik sowohl HD-PE (high density Polyethylene) wie auch LD-PE (low density Polyethylene) zusammengefasst. PE findet vor allem in der Rohr- und Folienproduktion eine Anwendung. Aber auch als Kabelummantelung wird PE (neben PVC) häufig verwendet. Für die Anwendung als Kabelummantelung muss PE mit speziellen Flammenschutzmitteln ausgerüstet werden (v.a. Aluminiumhydroxid und Magnesiumhydroxid), zudem besteht die Ummantelung aus ca. 40% Füllstoffen (Kreide). Harte Gegenstände wie Rohre werden vor allem aus HD-PE hergestellt, weiche, flexible Produkte wie Kabel und Folien aus LD-PE. Das Produktionsverfahren unterscheidet sich dabei im Druck bei der Polymerisation (ca. 2000 bar für LD-PE und normaler Luftdruck für HD-PE).

EPS (expandiertes Polystyrol), XPS (extrudiertes Polystyrol) und PUR (Polyurethan) werden meist in der Dämmstoffherstellung verwendet. Das Rohmaterial (lose Kügelchen) wird dabei aufgeschäumt und anschliessend zu kompakten Platten verklebt.

PA (Polyamid) findet vor allem Verwendung in Bodenbelägen. Es wird dabei als Obermaterial von Teppichen eingesetzt.

PMMA (Polymethylmetacrylate) wird für Badewannen, Lavabos etc. verwendet. Unter dem Namen Plexiglas ersetzt es oft richtiges Glas z.B. in Wintergärten.

Unter dem Begriff "Andere" sind Kunststoffe zusammengefasst die alleine weniger als 1% des Gesamtverbrauchs ausmachen. Darunter zählen ABS (Acrylbutylenstyrol), PET (Polyethylenterephthalat), POM (Polyoxymethylen), Amino und Acrylics. Diese Kunststoffe findet man meist in Einbaumöbeln in Küche und Bad (ausser ABS, das vornehmlich in Rohren und Profilen zur Anwendung kommt).

Für alle Kunststoffe, die in grösseren Mengen eingesetzt werden, hat APME Daten für life cycle assessment (LCA) erhoben. Darin sind alle Daten von der Gewinnung der Rohmaterialien bis zur Herstellung des Kunststoffes erfasst. Daten, die die Herstellung der verschiedenen Produkte betreffen sind darin aber nicht enthalten. Diese müssten bei den Herstellern der Produkte nachgefragt werden. Im Zuge der zunehmenden Wichtigkeit von Ökologischen Kriterien bei der Produktwahl werden solche Daten schon häufig von Herstellern erhoben (z.B. Geberit Rohrherstellung). Eine genaue Zusammenstellung aller Ökobilanzdaten war aber im Rahmen dieser Studie nicht mehr möglich.

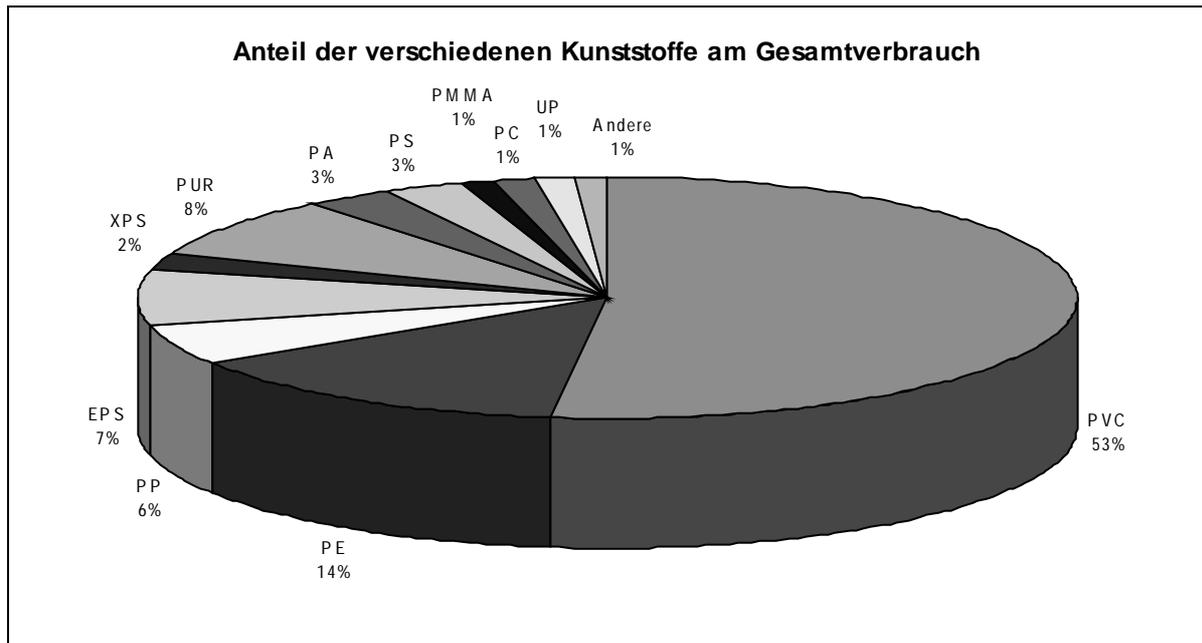


Abb. 3: Anteil der verschiedenen Kunststoffe am Gesamtverbrauch. Kunststofftypen unter "Andere" siehe Text [APME, 1995a].

1.4 Zusatzstoffe

Kunststoffprodukte werden oft aufgrund von Zusatzstoffen angegriffen, die zwar nur in kleinen Mengen im Produkt enthalten sind, bei denen aber von schädlichen Wirkungen auf die Umwelt ausgegangen werden muss. In diesem Abschnitt sollen einige, bei denen negative Umweltauswirkungen vermutet werden oder bewiesen sind, kurz vorgestellt. Es handelt sich nicht um eine naturwissenschaftliche Abhandlung, sondern nur um einen kurzen Überblick.

FCKW / HFCKW: Fluorkohlenwasserstoffe (FCKW) sind ein Sammelbegriff für Kohlenwasserstoffe, bei denen Wasserstoffatome durch Chlor und Fluor ersetzt sind. FCKW sind farblose Gase oder Flüssigkeiten. Sie sind chemisch sehr beständig und haben dadurch eine sehr lange Lebensdauer (durchschnittlich 55 Jahre). Sie sind massgeblich am Abbau der Ozonschicht beteiligt. Durch ihre Trägheit können sie ungehindert bis in die Stratosphäre vordringen, wo sie durch die kurzwellige Strahlung gespalten werden. Das freiwerdende Chlor reagiert mit dem Ozon (O_3). Es wirkt dabei nur als Katalysator und wird nicht verbraucht. Es steht so einem weiteren Ozonabbau zur Verfügung ($Cl + O_3 \rightarrow ClO + O_2$ und $ClO + O \rightarrow Cl + O_2$).

HFCKW weist ein 10-20-mal geringeres Ozonzerstörungspotential auf.

FCKW wird in der Kunststoffindustrie als Aufschäummittel von Dämmstoffen gebraucht.

Seit 1991 ist die Verwendung von FCKW und ab 2000 diejenige von HFCKW verboten. Eine Marktüberwachungsstudie des Bundes [BUWAL, 1996] ergab 1995, dass noch in 4% aller untersuchten Schaumstoffe in der Schweiz FCKW nachgewiesen werden konnte.

- Cadmium:** Cadmium ist ein Schwermetall. Die Verbrennungsabgase stellen die grösste Cd-Quelle dar. Cadmium hat in Körperzellen eine Halbwertszeit von 10 Jahren und reichert sich somit leicht an (v.a. in der Niere). Eine zu grosse Konzentration kann zu Nierenfunktionsstörungen führen. Ausserdem kann es im Knochen das Calcium verdrängen, was zu Skelettschwund führt (Itai-Itai-Krankheit). Für Pflanzen und Mikroorganismen sind schon geringe Mengen tödlich.
- In der Kunststoffindustrie wird es vor allem als Stabilisator verwendet. Seit 1991 ist die Verwendung von cadmiumhaltigen Kunststoffprodukten in der Schweiz verboten. Der Grenzwert liegt bei 100 mg/kg. Eine Marktüberwachungsstudie des Bundes [BUWAL, 1995b] untersuchte die Einhaltung dieses Grenzwertes. Ihre Ergebnisse sind hier kurz zusammengefasst: In der Schweiz werden trotz strenger Regelung noch cadmiumhaltige Waren (d.h. mit mehr als 100mg Cd pro kg Kunststoff) hergestellt und importiert (v.a. Recyclingmaterial und Produkte aus der Baubranche). Produkte aus PVC hatten einen überdurchschnittlich hohen Anteil an Cd.
- Phthalate:** Phthalate stehen in Verdacht schädlich auf die Leber, Nieren und die Fortpflanzungsorgane zu wirken. Deshalb werden sie auch toxikologisch ausgiebig untersucht. In der Kunststoffindustrie werden sie als Weichmacher eingesetzt (v.a. in PVC). Sie können aus dem Kunststoff herausdiffundieren. Es gibt Bedenken, sie in bestimmten Anwendungen einzusetzen (z.B. Spielzeug).

Material und Methoden

1.5 Methodik

Die Studie gliedert sich im Bereich der Stoffflussanalysen und Ökobilanzen ein. Diese beiden Umweltanalyseinstrumente sollen hier kurz vorgestellt werden und anschliessend mit der in dieser Studie angewandten Methodik verglichen werden.

Stoffflussanalyse

Die Stoffflussanalyse ist ein quantitatives Analyseinstrument. Es werden die Flüsse bestimmter Stoffe durch alle wesentlichen Prozesse und Lager einer definierten Region beliebiger Grösse während einer bestimmten Zeit gemessen. Unter Stoffen versteht man meist chemische Elemente (C, Zn, ...) aber auch Verbindungen (HCl, NO_x, ...). Direkte Handlungsanleitung oder Bewertung für Alternativen liefert die Stoffflussanalyse nicht. Für eventuelle Massnahmen ist das Instrument insofern interessant, als dass es zeigen kann, an welchen Stellen sich ein Eingreifen ökologisch auszahlt, wenn es darum geht einen bestimmten Fluss einzuschränken [Beck A. und Bosshart St., 1995].

Ökobilanz

Die Ökobilanz oder auch LCA (life cycle assessment) ist ein Instrument, das die Umweltwirkungen eines Produkts über dessen ganzen Lebenszyklus anschaut, d.h. von der Rohstoffherstellung bis zur Entsorgung. Nach einer Zieldefinition wird ein Ökoinventar erstellt, d.h. es werden sämtliche Stoff- und Energieflüsse erhoben und inventarisiert. Nach dem dritten Schritt, einer sogenannten Wirkungsbilanz, gelangt man zu einer Bewertung des Produkts, oder mehrerer Produkte im Vergleich. Für den Bewertungsschritt haben sich verschiedene Methoden etabliert (z.B. Methode der kritischen Volumina, Prinzip der ökologischen Knappheit,...) [Beck A. und Bosshart St., 1995].

Wie ist also das hier gewählte Vorgehen einzuordnen?

In einem ersten Ansatz wurde mittels Literaturstudium und in Gesprächen herausgefunden, wo (in welchen Produkten) Kunststoffe in der Bauindustrie eingesetzt werden. Weiter wurde herausgesucht, welche Kunststoffe in welchen Produkten zur Anwendung kommen. Auch hier konnte vor allem auf Literatur zurückgegriffen werden. Ebenso hilfreich waren Gespräche mit Herstellern und Verteilern von Baukunststoffen. Die genaue Zusammensetzung (Kunststoff und Additive) wurde soweit als möglich erfasst. Viele Hersteller gaben sie aber aus Gründen des Firmengeheimnisses nicht preis.

Ein dritter und weitaus schwierigerer Schritt war die Evaluation der jährlich eingesetzten Mengen. Daten sind hier nur spärlich vorhanden. Weder beim Bund noch bei Verbänden (Kunststoffverband, Verband Kunststoffrohre, etc.) werden solche Daten erhoben. Hersteller und Verteiler wollten oder konnten oft ebenfalls keine Angaben machen.

Aufgrund der schwierigen Datenerarbeitung beschränkt sich diese Studie daher vor allem darauf, den Kunststoffmarkt in der Schweizer Bauindustrie zu beschreiben. Es konnten Angaben gefunden (teils berechnet) werden, zum jährlichen Verbrauch verschiedener Kunststoffe in verschiedenen Applikationen in der Schweizer Bauindustrie, zum jährlich entstehenden Abfall und zu zukünftigen Entwicklungen im Verbrauch und Abfall.

Dieses Vorgehen ähnelt insofern einer Stoffflussanalyse, als dass der Fluss verschiedener Stoffe (in diesem Fall die Baukunststoffe) in einem definierten System (die Schweizer Bauindustrie) während einer bestimmten Zeit (1 Jahr) gemessen wurde. Als Stoff wird allerdings ein Produkt, und nicht ein chemisches Element oder eine chemische Verbindung untersucht. Dennoch kann das Vorgehen nicht mit einem Ökoinventar in einer Ökobilanz verglichen werden. Dazu fehlen Angaben betreffend

Energieverbrauch, Emissionen und Ressourcenverbrauch bei Herstellung und Entsorgung der einzelnen Produkte. Es wäre aber kaum möglich gewesen, die erforderlichen Daten in der zur Verfügung stehenden Zeit zu erarbeiten.

Damit eine Abschätzung der ökologischen Auswirkungen durch die Verwendung der verschiedenen Baukunststoffe möglich ist, wurden bereits vorhandene Ökobilanzen beigezogen. In der Beschreibung der Produkte folgt daher ein Vergleich zwischen Kunststoffen und Nicht-Kunststoffprodukten in der gleichen Anwendung, aufgrund bereits vorhandener Studien. In dieser Hinsicht wird teils eine Wertung der Produkte vorgenommen, die in einer Stoffflussanalyse nicht vorkommt.

Ausgehend von den in dieser Studie erhobenen Daten könnten weitere Vergleiche gemacht werden. Ein kurzes Beispiel soll dies illustrieren:

In der Schweiz werden jährlich rund 11'000 t PVC zur Fensterherstellung eingesetzt. Welche ökologischen Auswirkungen hätte ein Ersatz dieser PVC-Fenster durch Fenster aus Holz oder Aluminium?

Aus 11'000 t PVC kann man rund 250'000 Fenster herstellen, bei einem Fenstergewicht von 43 kg [Richter K., 1996]. Es stellt sich nun die Frage, welche Umweltbeeinflussungen durch diese PVC-Fenster entstehen. Ebenso muss abgeklärt werden, welche Einwirkungen 250'000 Alu- bzw. Holzfenster hätten. Diese Analyse soll hier grob mit Hilfe von Ökobilanzdaten aus [APME, 1998] (für PVC) und Daten aus Boustead consulting (confidential) für Holz (inkl. Anstrich) und Aluminium geschehen. Angenommen wurde eine Lebensdauer für alle Fenster von 50 Jahren. Holzfenster brauchen alle 5 Jahre einen neuen Anstrich der 250 ml Lack verbraucht. Diese Abschätzungen sind sehr willkürlich gemacht worden, und müssten selbstverständlich genauer untersucht werden.

Vergleicht man diese drei Rahmenmaterialien bezüglich Energieverbrauch, Wasserverbrauch, CO₂-Emissionen und weiteren Emissionen in die Luft, sieht das Bild wie folgt aus:

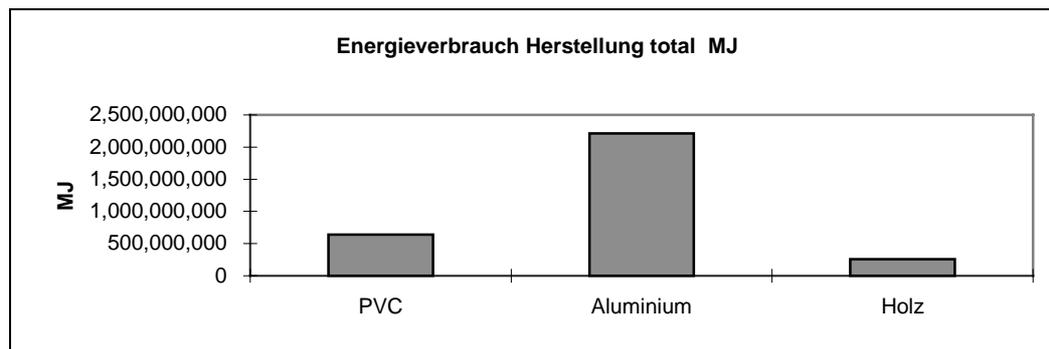


Abb. 4: Energieverbrauch zur Herstellung von 250'000 Fenstern

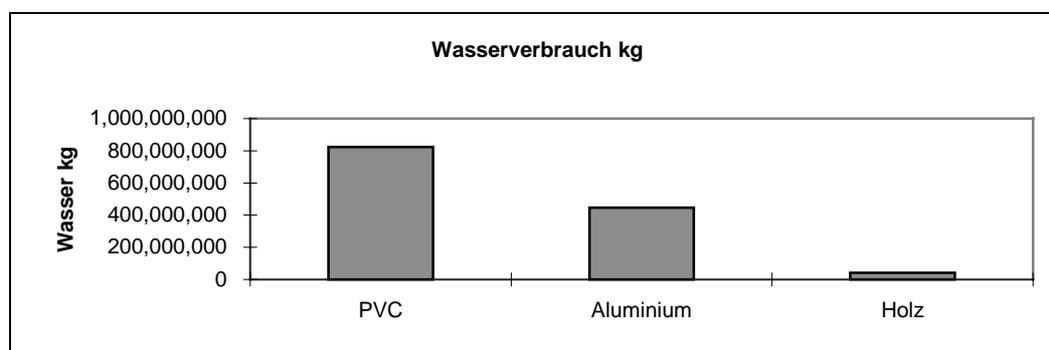


Abb. 5: Wasserverbrauch zur Herstellung von 250'000 Fenstern

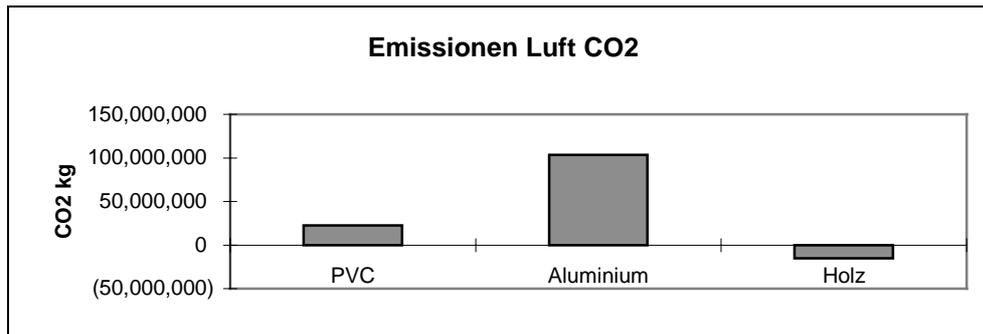


Abb. 6: Emissionen an CO₂ (Holz ist negativ, aufgrund des CO₂ Verbrauchs beim Nachwachsen des Holzes)

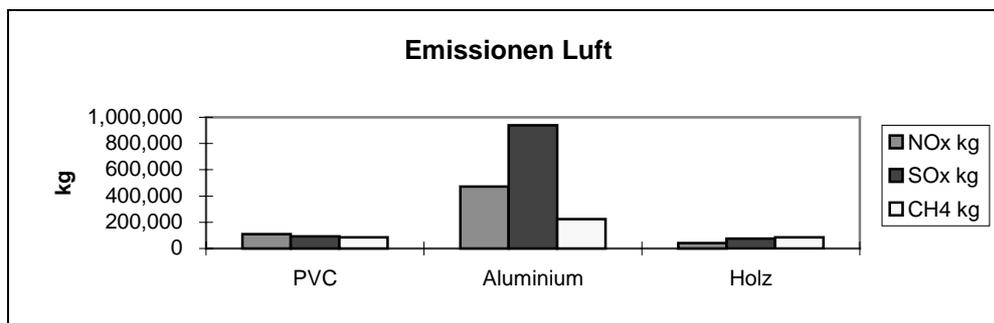


Abb. 7: Weitere Emissionen in die Luft

Es handelt sich hier natürlich um eine erste Grobabschätzung. Aufgrund der grossen Unsicherheiten und vielen Annahmen kann der gezeigte Datensatz nicht als Grundlage für irgendwelche Aussagen gebraucht werden. Er soll aber aufzeigen, wie die in dieser Studie erarbeiteten Daten weiter verwendet werden könnten.

Mit Hilfe dieser Daten könnte herausgearbeitet werden, was es bedeuten würde, wenn man Kunststoffe im Bau durch andere Werkstoffe ersetzen würde. Welche Auswirkungen hätte ein solcher Ersatz gesamtschweizerisch gesehen. Im obigen Beispiel wäre es, aufgrund der untersuchten Parameter, ökologisch nicht sinnvoll, die Kunststoffenster durch Fenster aus Aluminium zu ersetzen. Natürlich spielen noch Faktoren wie Entsorgung, Recycling, Transport oder Ökonomie eine Rolle, eine so generelle Aussage kann anhand dieser Betrachtung nicht gemacht werden. Eine detailliertere Untersuchung wäre aber Inhalt einer weiteren Studie.

1.6 Bestimmung des Kunststoffverbrauchs

Als Grundlage dienen die Daten, die von APME (Association of Plastic Manufacturers Europe) erhoben wurden.

Aufgrund von Statistiken von APME wurde der prozentuale Anteil der Schweiz am Gesamteuropäischen Verbrauch berechnet. (Tab. 2)

Die Berechnung des Verbrauchs von einzelnen Produkten beruht immer auf diesem Anteil der Schweiz am Europäischen Verbrauch von 1.88 %.

Statistiken zum Verbrauch von Produkten (und einzelnen Kunststoffen) stammen aus [APME, 1995a].

Tab. 2: Prozentualer Anteil der Schweiz am gesamteuropäischen Verbrauch. [APME, 1995 b]

Land	Verbrauch 1995 (t/a)	Anteil in %
Austria	588,000	2.41
Belgium/ Luxembourg	820,000	3.37
Denmark	423,000	1.74
Finland	326,000	1.34
France	3,546,000	14.56
Germany	5,998,000	24.63
Greece	456,000	1.87
Ireland	209,000	0.86
Italy	3,900,000	16.02
Netherlands	1,111,000	4.56
Norway	248,000	1.02
Portugal	421,000	1.73
Spain	2,067,000	8.49
Sweden	477,000	1.96
Switzerland	458,000	1.88
UK	3,302,000	13.56
total	24,350,000	100.00

Die Berechnung beruht auf dem Gesamtverbrauch an Kunststoffen. Der Anteil der Bauindustrie beträgt ca. 20% (Tab. 3). Damit ist der Bausektor der zweitgrösste Sektor des Kunststoffverbrauchs nach dem Verpackungssektor.

Tab. 3: Verteilung des Kunststoffverbrauchs nach Sektor [AMPE, 1995 b]

Sektor	Anteil in %
Automobil	7
Bauindustrie	20
Distribution/Industrie	15
Elektronik/Elektrisches	9
Landwirtschaft	2
Verpackungen	41
Andere	6

Die Bauweise in den verschiedenen Ländern variiert stark. Sei dies nun aufgrund klimatischer Bedingungen, unterschiedlicher gesetzlicher Bestimmungen, oder ganz einfach historischen Ursprungs. Dadurch variiert auch die Einsatzart und -menge der einzelnen Kunststoffe. Um einen genaueren Überblick über die Schweizer Verhältnisse zu bekommen wurden deshalb zusätzlich Produzenten und Vertreiber einzelner Produkte oder Kunststoffe, sowie Fachleute aus der Bau- und Kunststoffbranche befragt. Diese Aussagen von Kennern der Schweizer Bauindustrie wurden mit den berechneten Zahlen verglichen. Daraus liess sich eine ziemlich gute Übersicht über den Schweizer Markt gewinnen.

Zusätzlich zu diesen Daten wurden Statistiken des schweizerischen Bundesamtes für Statistik konsultiert, um einen Eindruck der Bautätigkeit und der Wirtschaft in der Schweiz allgemein zu bekommen.

Die zukünftige Entwicklung des Kunststoffverbrauchs wurde ebenfalls anhand von Voraussagen der APME berechnet. Auch hier wurde wiederum die Meinung von Branchenkennern eingeholt.

1.7 Bestimmung des Kunststoffabfalls

Das Vorgehen bei der Bestimmung des Kunststoffabfalls war im wesentlichen das gleiche wie bei der Bestimmung des Verbrauchs. Auch hier konnte aufgrund von APME Statistiken eine erste Abschätzung des Abfallaufkommens gemacht werden. Der Anteil der Schweiz am Europäischen Abfallaufkommen lag aber etwas höher als der Anteil am Verbrauch, bei 2.02 %.

Die weitere Validierung dieser Daten gestaltete sich dann aber viel schwieriger. Das BUWAL (Bundesamt für Umwelt, Wald, und Landschaft) führt zwar eine Abfallstatistik, gerade die Erfassung von Bauabfällen geschieht aber nur sehr vage. Kunststoffe werden unter "brennbare Bauabfälle" zusammen mit Altholz, Karton und Papier aufgeführt. Die genaue Zusammensetzung dieses Abfalls war aber weder beim BUWAL noch bei Bauabfallsortierern genauer bekannt. Die Erfassung der Recyclingströme gestaltete sich ebenfalls als schwierig, da viele Produkte im Ausland recycelt werden und diese die Herkunft der Abfälle nicht mehr 100%-ig zurückverfolgen können.

Eine Studie über die Art und Menge der Bauabfälle ist im Moment vom BUWAL in Auftrag gegeben, und sollte 1999 abgeschlossen sein. Diese wird bestimmt Aufschluss geben, inwiefern die hier berechneten Zahlen stimmen.

Die Voraussagen über das zukünftige Abfallaufkommen beruht ebenfalls auf Aussagen von APME [APME, 1995c]. Ausgegangen wurde dabei von Daten, die APME anhand von 'momentanem Abfallaufkommen' und 'Lebensdauer' der einzelnen Produkte abgeschätzt hat (Tab. 4).

Tab. 4: Geschätztes Abfallaufkommen aus dem Bausektor in Europa bis ins Jahr 2010

Produkt	Abfall pro Jahr in t			Wachstumsrate % / Jahr	
	1995	2000	2010	95/00	00/10
Boden- und Wandbeläge	594,606	618,774	799,845	0.8	2.6
Rohre	96,000	240,000	380,000	20.0	4.7
Dämmstoffe	84,000	132,000	400,000	9.5	11.7
Profile (elektr.)	103,776	151,074	230,162	7.8	4.3
Dichtungsbahnen	82,740	117,683	210,752	7.3	6.0
Fenster	6,000	12,000	65,000	14.9	18.4
Einbaumöbel	21,036	26,848	37,872	5.0	3.5
Kabel	150,054	171,000	226,000	2.6	2.8
Total	1,138,212	1,469,379	2,349,631	5.2	4.8

Um die jährliche Wachstumsrate zu berechnen, wurde folgende Formel benutzt:

$$K_0 * r^n = K_n \quad (1)$$

wobei:

K_0 : Abfallmenge zum Zeitpunkt t=0

K_n : Abfallmenge nach n Jahren

$$r = \left(1 + \frac{p}{100}\right)$$

p : Prozentsatz (Wachstumsrate pro Jahr)

n : Anzahl Jahre

Mit den berechneten Wachstumsraten wurde dann, ausgehend von der Abfallmenge 1995, das Abfallaufkommen in der Schweiz bis ins Jahr 2010 abgeschätzt.

Resultate

1.8 Kunststoffverbrauch

Wie schon in der Einleitung erklärt, finden Kunststoffe in der Bauindustrie eine Reihe von Anwendungsmöglichkeiten. In diesem Kapitel soll zuerst eine Übersicht über die Menge und Art des Kunststoffverbrauchs gegeben werden. Anschliessend wird in einer vertiefenden Betrachtung auf die einzelnen Produkte eingegangen.

Die Übersicht wurde aufgrund von Daten von APME zusammengestellt. Diese basieren auf Angaben der einzelnen westeuropäischen Ländern. Inwiefern diese Angaben auch auf die Schweiz zutreffen wird durch Angaben von Herstellern und Vertreibern aus der Schweiz verifiziert. Dieser Vergleich findet in den Unterkapiteln zu den einzelnen Produkten statt.

Grundsätzlich ist zu sagen, dass die Datenlage in der Schweiz eher schlecht ist. Oft können auch Branchenkenner nur mit Schätzungen helfen.

Tab. 5: Kunststoffverbrauch 1995 in der Schweizer Bauindustrie nach Produkt und Kunststoff. [APME, 1995 a]

Produkt	Kunststoff	Schweiz 1995		
		Menge (t/a)	Anteil %	
Rohre	PVC	24,985	21.87	
	HD-PE	6,411	5.61	
	LD-PE	1,654	1.45	
	PP	2,275	1.99	
	ABS	244	0.21	
	total	35,570	31.13	
Fenster	PVC	11,280	9.87	
	total	11,280	9.87	
Dämmstoffe	EPS	8,272	7.24	
	XPS	2,632	2.30	
	PUR	8,723	7.64	
	total	19,627	17.18	
Wandbezüge	PVC	1,372	1.20	
	total	1,372	1.20	
Bodenbeläge fiber	PP	3,910	3.42	
	PA	3,271	2.86	
	Acrylics	132	0.12	
	PET	395	0.35	
	non-fiber	PVC	5,283	4.62
		PU-Schaum	902	0.79
total	13,893	12.16		
Dichtungsbahnen	PE	2,933	2.57	
	PVC	2,068	1.81	
	total	5,001	4.38	
Profile	PVC	5,452	4.77	
	total	5,452	4.77	
Kabel	PVC	6,937	6.07	
	PE	4,230	3.70	
	total	11,167	9.77	
Einbaumöbel	PS	2,933	2.57	
	PMMA	1,316	1.15	
	PC	1,410	1.23	
	PA	282	0.25	
	POM	75	0.07	
	UP	1,598	1.40	
	Amino	376	0.33	
	total	7,990	6.99	
Andere		2,895	2.53	
Total		114,248	100.00	

1.8.1 Kunststoffrohre

Tab. 6: Verbrauch an Kunststoffrohren in der Schweiz 1995

Produkt	Kunststoff	Schweiz 1995	
		Menge (t/a)	Anteil %
Rohre	PVC	24,985	21.87
	HD-PE	6,411	5.61
	LD-PE	1,654	1.45
	PP	2,275	1.99
	ABS	244	0.21
	total	35,570	31.13

Rohre garantieren die Versorgung mit Wasser und Gas und leiten unsere Abwässer in die Abwasserreinigungsanlage. Sie sind aber auch für unsere Stromversorgung notwendig. In der oben aufgeführten Tabelle sind Kabelschutzrohre nicht enthalten. Aufgrund von Angaben von Schweizer Herstellern kann man aber von einem jährlichen Verbrauch in der Schweiz von 14'000 t ausgehen. Kabelschutzrohre sind vorwiegend aus PE gefertigt. Es gibt aber auch solche aus PP.

Kunststoffrohre enthalten eine Reihe von Additiven. Diese ermöglichen eine Optimierung der Kunststoffqualität bezüglich der einzelnen Anwendungsbereiche. Nach [Bossert J. und Hochuli K., 1995] sind es die folgenden:

PE	2-3 Gewichts-% Russ
PP	Antioxidantien, Farbpigmente
PVC	2-4% Stabilisatoren (hauptsächlich auf Ca-, Mg-, Zn-, und Pb-Basis) 2-4% Füllstoffe und Gleitmittel (Kreide bzw. Wachse und Paraffine) Farbpigmente

Russ wird vor allem zur Schwarzfärbung eingesetzt. Bleistabilisatoren enthalten je nach Produkt zwischen 20-40% Blei in Form von Bleisulfaten oder Bleistereaten. Die Schwermetalle Blei und Zink werden bei der Verbrennung in der KVA zu über 90% in der Schlacke, dem Filterstaub sowie dem Kesselstaub zurückgehalten. [Bossert J. und Hochuli K., 1995]

Neben Kunststoffrohren finden sich auf dem Markt Rohre aus Stahl, Eisen und Kupfer. Zudem werden Verbundrohre aus Aluminium und PE eingesetzt.

Welches Rohrmaterial aus ökologischen Gründen zu bevorzugen sei, wurde bereits in anderen Studien untersucht (z.B. [Geberit, 1996a] und [Geberit, 1996b]).

Als Beispiel sei ein Auszug aus [Geberit, 1996b] aufgeführt. Die Berechnung der Umweltbelastungspunkte wurde nach der Methode der ökologischen Knappheit (BUWAL, Schriftenreihe Umwelt Nr. 133, 1990) durchgeführt. Es wurde davon ausgegangen, dass alle Rohre eine gleich lange Lebensdauer haben. Die genaue Berechnung kann aber dort nachgelesen werden. Im Folgenden wird nur auf einige Punkte eingegangen.

Wie in Abb. 8 ersichtlich schneidet das Kunststoffrohr aus Polyethylen vernetzt weit besser ab als seine Konkurrenzprodukte. Nach [Geberit, 1996b] kann die höhere Belastung der Metallrohre anhand des Gewichtes, der aufwendigen Erzaufbereitung und der hohen Verarbeitungstemperaturen erklärt werden. Beim Stahlrohr fällt vor allem Nickel negativ ins Gewicht. Mit einem Gewichtsanteil von nur ca. $\frac{1}{6}$ des gesamten Rohrgewichtes steuert es rund 80% zur Gesamtbelastung bei. Wird eine andere Berechnungsmethode (Eco-Indicators 95) angewendet, sieht das Bild leicht anders aus, der Vorteil der Kunststoffrohre bleibt aber bestehen. Bemerkenswert ist bei allen Rohren die hohe Belastung durch die Rohmaterialherstellung, verglichen mit dem kleinen Anteil der Rohrherstellung und der Entsorgung.

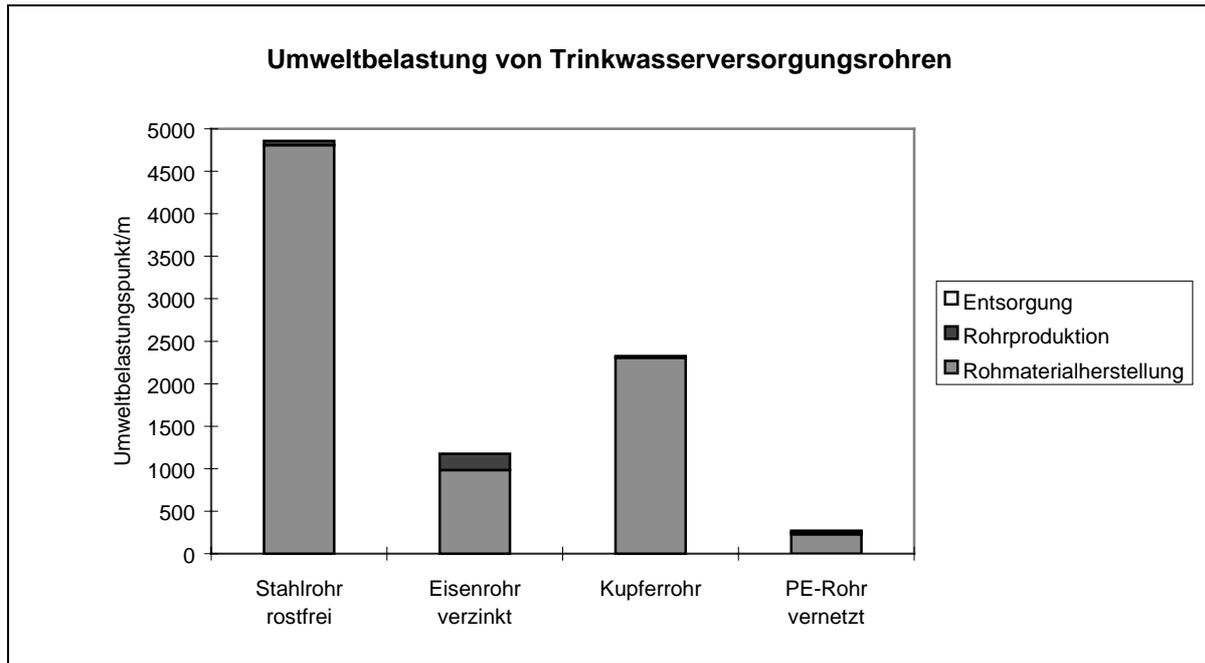


Abb. 8: Umweltbelastung von Trinkwasserversorgungsrohren, Resultat in Umweltbelastungspunkten pro Meter Rohr. [Geberit, 1996b]

Natürlich spielen noch andere Faktoren in die Entscheidung der Materialwahl hinein. Je nach Anwendung müssen die Rohre beständig sein gegenüber Chemikalien oder Hitze. Zudem darf auch der ökonomische Faktor nie vernachlässigt werden. Doch auch hier weisen Kunststoffprodukte, wie schon in der Einleitung erwähnt, ein grosses Plus auf.

Nach Meinung von befragten Branchenkennern gewinnen die Kunststoffrohre immer mehr an Marktanteilen. Kunststoffrohre ersetzen heute oft die Metallrohre, weil sie weniger anfällig sind auf Korrosion.

1.8.2 Kunststoffenster

Tab. 7: Verbrauch an Kunststoffestern in der Schweiz 1995

Produkt	Kunststoff	Schweiz 1995	
		Menge (t/a)	Anteil %
Fenster	PVC	11,280	9.87
	total	11,280	9.87

Kunststoffenster werden ausschliesslich aus PVC hergestellt. Dazu kommen allerdings noch Stützen aus Stahl und Dichtungen aus Gummi und evt. weiteren Kunststoffen. Schätzungen und Angaben von Schweizer Herstellern gehen von einem Verbrauch in der Schweiz 1997 von 15'000 - 17'000 t aus. Dies entspräche einer jährlichen Zunahme des Verbrauchs von ca. 15%. APME rechnet für den

Zeitraum 1995-1997 mit einem jährlichen Fensterverbrauchszuwachs von ca. 4%. Zieht man aber in Betracht, dass in der Schweiz erst seit etwa 20 Jahren nennenswerte Mengen an Kunststoffenstern eingebaut werden (im Gegensatz zu Deutschland seit ca. 30 Jahren) kann man in der Schweiz in den nächsten Jahren wahrscheinlich mit einem überdurchschnittlich hohen Zuwachs an Kunststoffensterverbrauch rechnen. Dies auch wegen der sehr guten Isolationseigenschaften der Fenster.

Fenster aus PVC enthalten zusätzliche Additive. Besonders Cadmium ist erwähnenswert. Früher wurde Cadmium-Barium als Stabilisator eingesetzt. Seit dem Inkrafttreten der Verordnung über umweltgefährdende Stoffe (Juni 1986) ist die Einfuhr und Herstellung von Cd-haltigen Kunststoffen in der Schweiz verboten. Ausgenommen waren Produkte, für welche nach dem Stand der Technik kein Ersatz vorhanden war und für welche keine unnötig hohen Cadmiummengen eingesetzt wurden. Dazu zählten die PVC-Fensterrahmen. In der Folgeversion der Stoffverordnung (StoV, 14.Aug.91) wurde dann auch diese Anwendung per 31.Dez. 1991 verboten. Heute werden als Stabilisatoren vornehmlich Calcium-Zink-Verbindungen eingesetzt.

Zudem finden sich in Fensterrahmen verschiedene Farbpigmente.

Als Konkurrenzprodukte stehen dem Kunststoffensterverfenster aus Aluminium und Holz entgegen. Auch hier gibt es diverse Untersuchungen bezüglich Ökologie der verschiedenen Rahmenmaterialien (z.B. [Richter K., 1996] oder [Novak E., 1994])

Einige wichtige Erkenntnisse der Studie von [Richter K., 1996] sollen hier erwähnt werden. Es gibt kein Rahmenmaterial, das in allen umweltrelevanten Punkten (Treibhauspotential, Versäuerungspotential, Ozonbildungspotential, Entsorgung) deutliche Vorteile bzw. deutliche Defizite aufweist. Die weitaus grösste Zahl der Umweltwirkungen wird massgeblich durch die Kompensation der Wärmeverluste während der Nutzungszeit verursacht (gilt v.a. für CO₂). Umweltprobleme durch direkte Energieverluste übersteigen in vielen Wirkungen die material- und bauteilspezifischen Belastungen.

Holzfenster müssen als Witterungsschutz mit einem Schutzanstrich versehen werden. Dieser basiert auf wässrigen Acrylaten. Gerade in den letzten Jahren hat sich ein Wechsel von lösemittelbasierten, langöligen Alkydharzanstrichen hin zu den wässrigen Acrylaten vollzogen. Auch die früher oftmals standardgemässe Zugabe von fungizid wirkenden Begleitstoffen in den Anstrichprodukten haben sich verändert, sowohl was die Menge und vor allem die Art (Blei, Zink, Quecksilbersublimat,...) der Wirkstoffe betrifft. Die Umweltwirkungen der neueren Produkte (bei Herstellung, Applikation und einer thermischen Verwertung der Fenster am Ende der Gebrauchsphase) sind somit nicht mit denen von alten Fenstern vergleichbar [Richter K., pers. Mitteilung]. Fenster aus Aluminium und PVC erreichen nur dann ein vergleichbares Ökoprofil wie Fenster aus einheimischem Nadelholz, wenn gut funktionierende, geschlossene Recyclingkreisläufe bestehen.

Gerade das Recycling von PVC-Fenstern ist wegen der früheren Verwendung von Cadmium-Stabilisatoren umstritten. Darauf wird im Kapitel Kunststoffabfall genauer eingegangen.

1.8.3 Dämmstoffe

Tab. 8: Verbrauch an Dämmstoffen in der Schweiz 1995

Produkt	Kunststoff	Schweiz 1995	
		Menge (t/a)	Anteil %
Dämmstoffe	EPS	8,272	7.24
	XPS	2,632	2.30
	PUR	8,723	7.64
	total	19,627	17.18

Unsere Umwelt wird in zunehmendem Masse durch den Treibhauseffekt bedroht. Dieser wird zu 50% durch CO₂-Emissionen verursacht, die bei der Verbrennung fossiler Brennstoffe entstehen.

Ein sehr grosser Anteil der fossilen Brennstoffe wird für die Beheizung der Gebäude verwendet. Eine rationelle Nutzung der im Brennstoff enthaltenen Energie reduziert nicht nur die klimatisch relevanten Emissionen (CO₂) sondern auch die Emission anderer Luftschadstoffe.

Eine gute Gebäudeisolation senkt nicht nur den Heizenergiebedarf, sondern garantiert auch, dass die Wände nicht durch Tauwasser nass werden und die Gesundheit der Bewohner gefährden.

Ein Beispiel aus [minergie, 1998] soll diese Tatsache illustrieren.

Wie in Abb. 9 ersichtlich verringert sich der Heizenergiebedarf bei zunehmender Wärmedämmung. Es wurden dabei die folgenden drei Standards verglichen: ($k = W/m^2 \cdot K$)

A	Basisstandard:	Kellerdecke	$k = 0.55$
		Aussenwände	$k = 0.35$
		Dach	$k = 0.30$
B	Hochgedämmte Hülle:	Kellerdecke	$k = 0.30$
		Aussenwände	$k = 0.20$
		Dach	$k = 0.15$
C	Supergedämmte Bauweise:	Kellerdecke	$k = 0.20$
		Aussenwände	$k = 0.15$
		Dach	$k = 0.12$

Die hochgedämmte Hülle wird heute bereits von fortschrittlichen Architekten realisiert. Die supergedämmte Bauweise ist noch im Anfangsstadium und wird erst von wenigen Architekten angewandt. Zu erwähnen ist, dass selbst die supergedämmte Bauweise dem Minergie-Standard noch nicht genügt. Weitere Energieeinsparungen müssen bei den Fenstern (sowohl Rahmen wie Verglasung), der Gebäudeform und der Ausrichtung des Gebäudes erreicht werden.

Eine immer dichtere Gebäudehülle birgt aber auch einige Probleme. Das Gebäude muss sehr gut gelüftet werden, sonst steigt die Gefahr von Schimmelpilzbildung und die Innenraumqualität sinkt massiv ab. Dadurch steigt der Aufwand für die Haustechnik, was mit einem höheren Elektrizitätsverbrauch verbunden ist. Bleibt also die Frage, welche Energieform "besser" ist, Elektrizität oder Wärme ["Sanierungsmassnahmen von Bürogebäuden", laufendes Projekt im Rahmen von BCS Annex 31].

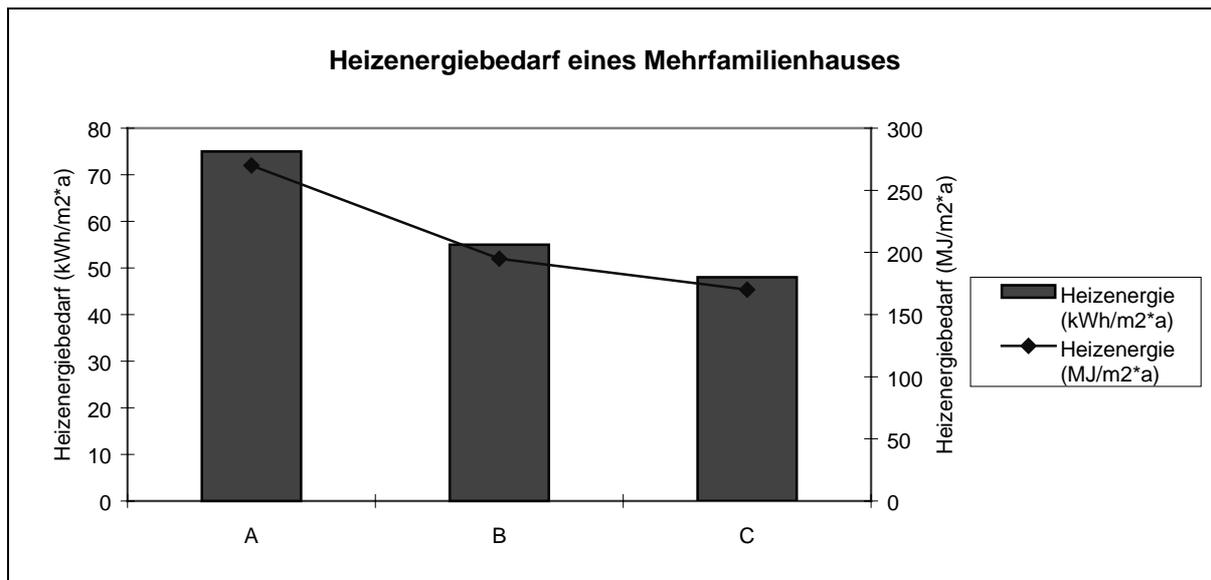


Abb. 9: Verkleinerung des Heizenergiebedarfs eines MFH bei verbesserter Wärmedämmung. [minergie, 1998] Erklärungen siehe Text.

In der Schweiz werden Kunststoffdämmstoffe seit ca. 1950 eingesetzt. 1960 betrug die normale Dicke einer Dachdämmplatte ungefähr 30 mm. Heute werden Platten mit einer Dicke bis zu 120 mm eingesetzt (Basisstandard). Dies führte zur oben genannten Verbesserung der Wärmeisolation und des Wohnkomforts.

Die Wärmeisolation in Schweizer Bauwerken darf bestimmt als sehr fortschrittlich angesehen werden. Angaben über den Verbrauch in der Schweiz werden daher auch meist höher angegeben, als aufgrund der Daten von APME berechnet (Tab. 9).

Tab. 9: Verbrauch an Dämmstoffen 1993 in der Schweiz, aufgrund von Angaben von Vertreibern und Herstellern.

Produkt	Material	Menge 1993 in m ³	Menge 1993 in t
Dämmstoffe	XPS	140'000	4'200
	EPS	730'000	14'600
	PUR	140'000	4'200
	Steinwolle	580'000	29'000
	Glaswolle	850'000	29'750

Der totale Verbrauch von Kunststoffdämmprodukten errechnet sich anhand Tab. 9 auf 23'000 t pro Jahr. Dazu kommen Produkte aus Stein- und Glaswolle, deren Anteil am schweizerischen Markt 58% beträgt. Der Anteil der Kunststoffprodukte blieb laut Angaben von Herstellern und Vertreibern in den letzten Jahren stabil. Er wird auch in Zukunft kaum zunehmen. Dagegen sprechen im Moment die Bauvorschriften, insbesondere diejenigen, die die Brennbarkeit von Bauprodukten betreffen.

Ausserdem gibt es immer noch gewisse Vorbehalte gegenüber Kunststoffdämmstoffen. Vor dem Inkrafttreten des Massnahmenpaketes zum Schutz der Ozonschicht 1991 wurden die Schaumstoffe vorwiegend mit FCKW geschäumt. Daraufhin wurden die Dämmstoffe mit HFCKW geschäumt, dessen Ozonerstörungspotential 10-20-mal tiefer liegt. Ab dem Jahr 2000 werden auch solche Produkte in der Schweiz verboten sein. Damit geht die Schweiz wesentlich über die Anforderungen des 1992 revidierten Montrealer Protokoll hinaus. Sie wird ihrer Führungsrolle im Bereich ozonschichtabbauender Stoffe aber weiterhin gerecht [BUWAL, 1996].

Dadurch wird die kunststoffherstellende Industrie gefordert sein. Schon jetzt konnten einige Veränderungen festgestellt werden. PUR wird von der Vaporoid AG mit Pentan aufgeschäumt und vom Alpsteg-Firmenverbund mit HFCKW. XPS werden heute zu 80% mit HFCKW und bereits zu

20% mit CO₂ geschäumt [Gahlmann H., 1996]. Es ist zu erwähnen, dass PUR-Produkte höhere Mengen an Flammschutzmitteln brauchen, um die gleiche Brandschutzklasse zu erreichen, wenn sie mit Pentan statt FCKW geschäumt werden [BUWAL, 1995a].

1.8.4 Bodenbeläge

Tab. 10: Verbrauch an Bodenbelägen in der Schweiz 1995

Produkt	Kunststoff	Schweiz 1995	
		Menge (t/a)	Anteil %
Bodenbeläge			
fiber	PP	3,910	3.42
	PA	3,271	2.86
	Acrylics	132	0.12
	PET	395	0.35
non-fiber	PVC	5,283	4.62
	PU-Schaum	902	0.79
	total	13,893	12.16

“Fiber” meint in der oben stehenden Statistik das Obermaterial von Teppichen. Zu “non-fiber” zählt sowohl das Trägermaterial von Teppichen wie auch Kunststoffbodenbeläge aus Linoleum und PVC. Viele Statistiken führen Teppiche nicht unter Bauprodukten, sondern vielmehr unter Verbrauchsgütern.

Bei mehr als 80% aller textilen Bodenbelägen besteht das Obermaterial aus Polyamid. Wollwaren sind mit ca. 6-8% vertreten. Daneben sind Polypropylene, Polyacryl und Polyester sowie Naturprodukte wie Kokos, Sisal, Seide und Baumwolle von gewisser Bedeutung.

Als Trägermaterial für getuftete textile Beläge dienen in aller Regel Polypropylen- oder Polyesterfliese sowie Polypropylene-Bändchengewebe [TFI, 1998].

Polyamidwaren werden häufig mit teflonartigen Fluorkohlenwasserstoffen ausgerüstet, da dadurch die Anschmutzung dieser Artikel verringert und eine Fleckenentfernung erleichtert wird [TFI, 1998].

Zu den non-fiber Produkten gehören Linoleum, Steinplatten, Parkett und PVC-Bodenbeläge. Die kommerzielle Herstellung von PVC-Bodenbelägen begann während des 2. Weltkrieges. 1953 betrug der Anteil der Bodenbeläge auf PVC-Basis in Amerika bereits 50% des gesamten Bedarfs. Neben Polyvinylchlorid enthalten die Bodenbeläge 10-20 % Weichmacher, Stabilisatoren und Farbstoffe.

Zur Ökologie der verschiedenen Bodenbeläge gibt es bereits einige Studien (z.B. [Potting J. und Blok K., 1993], [Günther A. und Langowski H.-Ch., 1997]).

Die Studie [Potting J. und Blok K., 1993] vergleicht die Menge Bodenbelag, die nötig ist, um 1 m² Boden während 15 Jahren zu bedecken. Ihre Resultate sind in Tab. 11 ersichtlich

Tab. 11: Vergleich von vier Bodenbelagstypen. Die Zahlen beziehen sich auf 1 m² Boden. Aus [Potting J. und Blok K., 1993]

Material		Linoleum	PVC	Teppich aus Wolle	Teppich aus Polyamid
Umweltbeeinflussung	Einheit				
Primärenergieverbrauch	MJ				
<i>Material</i>			73	48	154
<i>Fabrik</i>		40	107	97	184
globale Erwärmung	g CO ²	2600	9500	8200	14100
Eutrophierung	g PO ₄ ³⁻	65	3	1560	16
Versauerung	g SO ²	10	170	200	92
Photochemische Ozonbildung	g Ethylen	4	18	9	17
Abfall	g				
<i>chemischer Abfall</i>		400	600	410	420
<i>anderer Abfall</i>		1500	2000	3400	2800

Mit Ausnahme von Linoleum weist keiner der Bodenbeläge ein deutlicher Vor- bzw. Nachteil auf. Zieht man aber in Betracht, dass die Autoren bei Linoleum von einer Lebensdauer von 15 Jahren, bei den anderen Produkten von einer von 8 Jahren ausgegangen sind, kann sich das Bild ändern. Gerade für PVC-Bodenbeläge wird meist eine beträchtlich längere Lebensdauer angegeben.

Bezüglich Hygiene finden sich ebenfalls keine eindeutigen Vor- und Nachteile. Vertreiber von PVC-Produkten führen die einfache Reinigung und die Belastbarkeit ins Feld, während Teppichhersteller darauf hinweisen, dass Teppiche Staub binden, der damit nicht mehr in der Raumluft zu finden ist. Ausserdem wirkt z.B. Wolle klimaregulierend und trägt zur Verbesserung der Trittschalldämmung bei.

1.8.5 Dichtungsbahnen

Tab. 12: Verbrauch an Dichtungsbahnen in der Schweiz 1995

Produkt	Kunststoff	Schweiz 1995	
		Menge (t/a)	Anteil %
Dichtungsbahnen	PE	2,933	2.57
	PVC	2,068	1.81
	total	5,001	4.38

Dichtungsbahnen bestehen entweder aus Bitumen oder aus Kunststoffen. Die beiden Typen teilen sich in der Schweiz den Absatz (in m²) etwa je zur Hälfte [BUWAL, 1995a].

Das wichtigste Anwendungsgebiet von Dichtungsbahnen sind Steil- und besonders Flachdächer. Sie werden aber auch als Dampfsperren in Wänden und im Ingenieur- und Tiefbau eingesetzt.

Das BUWAL schätzt in seiner Studie [BUWAL, 1995a] den Verbrauch von Kunststoffbahnen auf ca. 20'000 t, darunter fallen aber sowohl Bahnen aus dem Hoch- wie aus dem Tiefbau. Befragte Hersteller von Kunststoffbahnen gehen von einem Verbrauch an Dachbahnen von ca. 6'000 t aus. Wie gross die verbrauchte Menge an Dampfsperren ist, kann nur vermutet werden. In der Schweiz

werden jährlich ca. 6000 t PE Folien verbraucht. Darunter fallen aber auch Abdeckfolien und Malerfolien, die wieder entfernt werden, sobald der Bau fertig ist. Wieviel schlussendlich im Bauwerk Schweiz verbleibt, konnte nicht eruiert werden.

Vor allem PVC-Dichtungsbahnen haben eine Reihe von Zusatzstoffen. Als Weichmacher werden meist Phthalsäureester eingesetzt. Das bekannteste Beispiel ist Di-(2-ethylhexyl-)phthalat, abgekürzt DEHP oder auch DOP. Sie verbessern die Weichheit, Biessamkeit, Dehnbarkeit und Verarbeitbarkeit von PVC. Zudem werden Stabilisatoren, 0-3% Gleitmittel, Additive und Farbstoffe (wichtigstes Weisspigment ist Titandioxid) beigemischt.

Die erwähnten Phthalsäureester gehören zu dieser Gruppe von Phthalaten, die aufgrund ihrer möglichen Umweltauswirkungen toxikologischen Tests unterzogen werden. Sie stehen in Verdacht, schädlich auf Leber, Niere und Fortpflanzungsorgane zu wirken. Es besteht die Gefahr, dass diese Stoffe aus den Dichtungsbahnen ausgewaschen werden und so in die Umwelt gelangen. Bislang stehen aber noch keine gesicherten Resultate zur Verfügung.

1.8.6 Kabel

Tab. 13: Kabelverbrauch 1995 in der Schweiz

Produkt	Kunststoff	Schweiz 1995	
		Menge (t/a)	Anteil %
Kabel	PVC	6,937	6.07
	PE	4,230	3.70
	total	11,167	9.77

Kabel werden nicht in allen Statistiken zu den Bauprodukten gezählt. Da aber eine funktionierende Stromversorgung zu jedem Gebäude gehört, wurden sie in dieser Studie ebenfalls mitberücksichtigt. Eine zuverlässige Stromversorgung hängt nicht nur von der Leitfähigkeit der metallenen Kabelseele ab, sondern auch vom Isoliervermögen und der Haltbarkeit ihrer Ummantelungen. Heute bestehen diese vor allem aus PE und PVC. Die Ummantelung schützt vor Hitze, Überlastung und Kurzschlüssen. Das PVC-Mantelmaterial enthält ca. 30% Weichmacher (Phthalsäureester (DEHP, DIDP)), 10-15% Füllstoffe (Kreide), sowie Stabilisatoren (bleihaltige Verbindungen) [greenpeace, 1999].

Dabei sind PVC-Kabel immer wieder in Verruf geraten. Dies vor allem wegen ihres Brandverhaltens. PVC gilt als schwer entflammbarer Baustoff [Engelmann M./ Skura J., 1992]. Dazu tragen der hohe Chlor-Anteil und evt. zusätzliche Flammschutzmittel (z.B. Aluminiumhydroxid) bei. PVC hat eine Entzündungstemperatur von 350-450°C (Fremdfeuer oder Selbstentzündung) [Engelmann M./ Skura J., 1992]. Trotzdem wird es oft angegriffen im Zusammenhang mit der Entstehung von HCl und Dioxinen am Brandplatz. Laut einer Greenpeace Studie (www.greenpeace.de, 28.12.98) brennt PVC zwar erst bei 600°C, es setzt aber bereits bei 100°C beträchtliche Mengen an Chlorwasserstoff (HCl) frei. Reagiert Chlorwasserstoff mit Wasser, entsteht verdünnte Salzsäure, die stark korrosiv wirkt. Es muss also mit erhöhten Sachschäden und einer Vergrößerung des Sanierungsaufwandes gerechnet werden [Engelmann M./ Skura J., 1992].

Weil PVC einen hohen Anteil an Chlor aufweist, besteht der Verdacht, dass im Brandfall vermehrt krebserregende Dioxine entstehen. Diese werden aber grösstenteils an den Russ gebunden. Bei der Sanierung von Brandstellen ist daher die wichtigste Massnahme die sorgfältige Reinigung des

Brandplatzes vom Russ. Dieser ist ohnehin schon durch eine Vielzahl von toxischen Verbindungen belastet und muss entsprechend entsorgt werden [Engelmann M./ Skura J., 1992].

Verunsichert durch solche Aussagen von Greenpeace ("PVC macht ein Feuer zum Chemieunfall", M. Krautter, Greenpeace Chemieexperte¹) überlegen sich z.B. in Deutschland mehrere Bundesländer ganz auf den Einsatz von PVC in der Bauindustrie (und somit auch in der Kabelindustrie) zu verzichten.

Bei dieser Entscheidung sollte man aber nicht ausser Acht lassen, dass das gefährlichste Brandgas immer noch CO (Kohlenmonoxid) ist, das bei jeder Verbrennung entsteht, mit oder ohne PVC.

¹ Presseerklärung 16.4.96, Flughafen Düsseldorf durch PVC dioxinverseucht, www.greenpeace.de/GP_DOK_3P/PRESSEMI/P960416.HTM, 4.2.99

1.9 Kunststoffabfall

Befasst man sich mit Abfällen in der Schweiz, wird der erste Griff sicher einmal zur Abfallstatistik des BUWAL gehen. Seit 1992 erhebt das BUWAL in Zusammenarbeit mit den Kantonen alle zwei Jahre die wichtigsten Daten zum Abfallaufkommen und den Abfallbehandlungsanlagen der Schweiz. Die Abfallstatistik liefert einen ersten Überblick über die Abfallmenge in der Schweiz (Tab. 14).

Tab. 14: Abfallmengen und Entsorgungswege in der Schweiz 1996 [BUWAL, 1998]

Abfallkategorie	KVA		Reaktordeponie		unkontrollierte Ablagerung/ Verbrennung im Freien		Gesamtmenge	
	Mio.t/a	%	Mio.t/a	%	Mio.t/a	%	Mio.t/a	%
Siedlungsabfälle	1.99	80	0.49	20	0.03	1	2.51	100
brennbare Bauabfälle	0.21	42	0.06	12	0.23	46	0.50	100
Klärschlamm (55% Trockensubstanz)	0.03	50	0.03	50	0	0	0.06	100
übrige brennbare Abfälle aus Industrie und Gewerbe	0.06	86	0.01	14	0	0	0.07	100
Total	2.29	73	0.59	19	0.26	8	3.14	100

Leider wird in dieser Studie aber nicht genauer auf die brennbaren Bauabfälle (zu welchen die hier untersuchten Kunststoffe gehören) eingegangen. Auf eine telefonische Anfrage beim BUWAL wird darauf hingewiesen, dass zur Zeit eine Studie läuft über die Zusammensetzung (und natürlich den Kunststoffgehalt) der Bauabfälle (Frau Schenk, BUWAL, Abteilung Abfall). Diese Untersuchung wird aber erst im Laufe des Jahres 1999 abgeschlossen sein.

Brennbare Bauabfälle beinhalten Papier, Karton, Holz wie auch Kunststoffe. Geht man von einem Kunststoffanteil von 4% aus [IP Bau, 1992], berechnet sich der Kunststoffabfall aus Bauabfällen auf 20'000 t.

Um eine genauere Aussage über die Zusammensetzung zu bekommen, wurden wieder Statistiken von APME zu Hilfe genommen (Tab. 15).

Aufgrund dieser Angaben berechnet sich das Abfallaufkommen an Kunststoffen in der Schweizer Bauindustrie auf rund 26'000 t pro Jahr. Ein Vergleich mit den Zahlen des BUWAL zeigt eine ziemliche Übereinstimmung der beiden Abschätzungen.

Tab. 15: Kunststoffabfall in der Bauindustrie 1995. [APME, 1995a]

Produkt	Kunststoff	Schweiz 1995	
		Menge (t/a)	Anteil %
Rohre	PVC	1,728	6.58
	PE	425	1.62
	PP	57	0.22
	total	2,210	8.41
Fenster	PVC	113	0.43
	total	113	0.43
Dämmstoffe	EPS	822	3.45
	PU	567	2.16
	XPS	227	0.54
	total	1,615	6.15
Wandbezüge	PVC	1,530	5.83
	total	1,530	5.83
Bodenbeläge fiber non-fiber	PP	1,728	6.58
	PA	2,861	10.90
	Acrylics	170	0.65
	PET	482	1.83
	PU-Schaum	708	2.70
	PVC	6,062	23.09
	total	12,011	45.74
Dichtungsbahnen	PE	1,133	4.31
	PVC	538	2.05
	total	1,671	6.36
Profile (elektr.)	PVC	2,096	7.98
	total	2,096	7.98
Kabel	PE	963	3.67
	PVC	2,068	7.87
	total	3,031	11.54
Einbaumöbel	PMMA	283	1.08
	PS	142	0.54
	total	425	1.62
Andere		1,558	5.93
Total		26,260	100.00

Wie schon in der Einleitung erwähnt, stellt das Bauwerk Schweiz ein riesiges Materialzwischenlager dar. Es scheint daher sehr wichtig, Abschätzungen über ein künftiges Abfallaufkommen zu machen. APME hat eine solche Voraussage gewagt [APME, 1995c]. APME berechnete das künftige Abfallaufkommen in der Bauindustrie anhand vom jetzigen Abfall, dem jährlichen Verbrauch und der Lebensdauer der Produkte (Tab. 1). Die dort errechneten Wachstumsraten wurden in dieser Studie gebraucht, um das Abfallaufkommen in der Schweiz abzuschätzen (Tab. 16).

Tab. 16: Entwicklung des Abfallaufkommens in der Schweizer Bauindustrie bis 2010. Die Kategorie "Andere" ist in dieser Tabelle nicht erfasst worden.

Produkt	Abfall pro Jahr in t			Wachstumsrate % / Jahr	
	1995	2000	2010	95/00	00/10
Boden- und Wandbeläge	13,541	14,091	18,214	0.8	2.6
Rohre	2,210	5,499	8,705	20.0	4.7
Dämmstoffe	1,615	2,542	7,686	9.5	11.7
Profile (elektr.)	2,096	3,051	4,648	7.8	4.3
Dichtungsbahnen	1,671	2,377	4,257	7.3	6.0
Fenster	113	226	1,224	14.9	18.4
Einbaumöbel	425	542	765	5.0	3.5
Kabel	3,031	3,446	4,542	2.6	2.8
Total	24,702	31,774	50,041	5.2	4.8

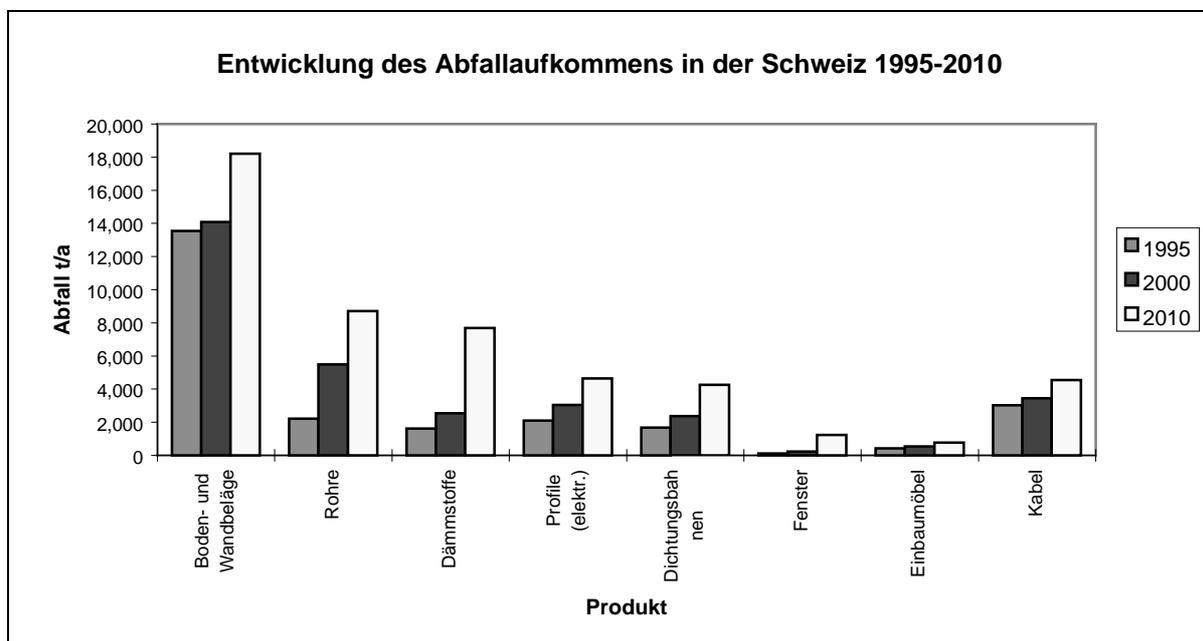


Abb. 10: Entwicklung des Abfallaufkommens in der Schweizer Bauindustrie 1995-2010

Wie in Abb. 10 ersichtlich, sind es vor allem langlebige Produkte wie Rohre, Dämmstoffe oder Fenster, die in Zukunft vermehrt zu Abfall werden. Der zeitliche Rahmen spielt bei der Untersuchung von Baukunststoffen also eine sehr entscheidende Rolle. Was heute verbraucht wird, erscheint erst viel später im Abfallstrom oder umgekehrt, der heutige Abfallstrom widerspiegelt die Verhältnisse auf dem Baustoffmarkt, die schon Jahre oder gar Jahrzehnte zurückliegen.

Auch wenn also die Entsorgung dieser langlebigen Produkte heute noch keine Probleme darstellt, sollten dennoch schon jetzt Massnahmen entwickelt werden, damit dieses Abfallaufkommen in Zukunft ökologisch und ökonomisch sinnvoll bewältigt werden kann. Gerade bei Kunststoffen, die manchmal in der Zusammensetzung sehr schnell ändern, darf bei der Beurteilung des Abfalls nie der Blick in die Vergangenheit vergessen werden.

Doch nicht nur die Mengen an Kunststoffabfall sind von grossem Interesse, sondern auch deren Entsorgungswege. Es wird im folgenden auf drei Entsorgungsarten eingegangen:

- Deponierung
- Verbrennung
- Recycling

1.9.1 Deponierung

Die Deponierung von brennbaren Bauabfällen und somit Kunststoffen sollte in Zukunft kaum mehr zur Diskussion stehen. 1990 trat die Technische Verordnung über Abfälle (TVA) in Kraft. In Art. 11 ist festgehalten, dass brennbare Abfälle nicht in Deponien abgelagert werden dürfen. Am 31. Dezember 1999 läuft die Übergangsbestimmung (Art. 53a) aus, wonach die Ablagerung brennbarer Abfälle in einer Reaktordeponie bewilligt werden kann. Faktisch heisst das, dass ab dem Jahr 2000 keine brennbaren Abfälle mehr deponiert werden dürfen. Dies macht durchaus Sinn. Nicht allein der Landverbrauch, sondern auch die Belästigung der Bevölkerung und die langfristigen Umweltgefahren sprechen gegen solche Deponien. In einer Anhäufung von vermischten Abfällen in der Natur laufen nämlich über Jahrzehnte schwer zu prognostizierende und unkontrollierbare biologische, chemische und physikalische Prozesse ab [BUWAL Bulletin 2 / 98, Artikel 21].

Die schweizerische Regelung steht im Einklang mit Bestimmungen in den Nachbarländern Frankreich und Deutschland.

1.9.2 Verbrennung

Die Verbrennung von Abfällen wird manchmal auch thermisches Recycling genannt. Dies hat wohl damit zu tun, dass alle 28 Schweizer KVA (mit einer Ausnahme) mit einer Wärmerückgewinnungsanlage gekoppelt sind. Laut BUWAL kann dadurch bis zu 10% des Energiegehalts im Abfall als elektrische Energie und gleichzeitig deutlich über 40% als Fernwärme genutzt werden [BUWAL, 1997b]. Die Stromproduktion aller 28 schweizerischen KVA vermag den Bedarf von immerhin 120'000 Einwohnerinnen und Einwohnern zu decken. Mit der genutzten Wärme kann jährlich der Import von etwa 180'000 t Erdölderivaten zur Wärmeerzeugung eingespart werden [BUWAL, 1997b].

Trotzdem hat Verbrennung nicht direkt etwas mit Recycling oder Wiederverwertung von Materialien zu tun. Die Bezeichnung thermisches Recycling scheint daher etwas fehl am Platz.

Kunststoffe haben einen relativ hohen spezifischen Heizwert. Zusammen mit Papier stellen sie 80% der Enthalpie im Abfall [Stumpf K., 1994]. Früher waren Kunststoffe im Abfall durchaus willkommen. Durch den hohen Grünanteil waren die Abfallfrachten sehr nass. Es musste daher zusätzlich Öl beigegeben werden, um eine optimale Verbrennung der Abfälle zu garantieren. Kunststoffe konnten dabei den Verbrauch an Zusatzbrennstoffen verringern. Heute hat sich die Situation stark verändert. Durch eine vermehrte Separatsammlung von kompostierbaren und wiederverwertbaren Stoffen (Grünabfall, Glas, ...) fällt in der KVA fast nur noch trockener, gut brennbarer Abfall an. Der Einsatz von zusätzlichen Brennstoffen ist heute nicht mehr nötig [persönliche Mitteilung KVA Luzern und Weinfelden]. Zusätzlich ist der Anteil an Kunststoffen im Abfall in den letzten Jahren gestiegen. Dies führte dazu, dass der Heizwert des Abfalls gestiegen ist (3.2 MWh / Tonne Abfall 1992 auf 3.32 MWh / Tonne Abfall 1996). Das BUWAL geht davon aus, dass er bis zum Jahr 2000 auf einen Durchschnittswert von gegen 3.5 MWh / Tonne steigen wird [BUWAL, 1998]. Die entstandene Wärme muss natürlich abgeführt werden. Dies stellt meistens ein Engpass dar, so dass die KVA nicht mehr bei voller Leistung gefahren werden kann. Das bedeutet, dass pro Zeiteinheit weniger Abfall verbrannt werden kann. Ziel ist es, den Heizwert durch Separatsammlung von Kunststoffen auf 3.5 MWh / Tonne zu stabilisieren.

Kunststoffe verursachen 30% der von Kehrichtverbrennungsanlagen produzierten umweltrelevanten Emissionen [Stumpf K., 1994]. Als wichtigste Schwermetalle sind Titan, Chrom, Zinn und Cadmium zu nennen. Daneben werden bei der Verbrennung hohe Mengen an Schwefel und Chlor emittiert. Kunststoffe sind die wichtigsten Chlor- und Cadmiumträger [Stumpf K., 1994].

Die bei der Verbrennung entstehende Salzsäure ist stark korrosiv und muss mit Rauchgasreinigungsanlagen (RGR) zurückgehalten werden. Die beiden Elemente Chlor und Cadmium sind leichtflüchtig und werden ohne RGR in die Luft emittiert bei der Verbrennung. 1995 betrug der Anteil an HCl-Emissionen aus Kunststoffverbrennungen in KVA 6.5%, derjenige von Cd-Emissionen <2.9% [Stumpf K., 1994].

Das emittierte Chlor ist bereits im Kessel der KVA problematisch, da die entstehende Salzsäure die Wände korrodiert. Zusätzlich verkleben Kunststoffe die Roste und führen zu lokal hohen Verbrennungstemperaturen [Stumpf K., 1994].

Eine besondere Form der Verbrennung stellt die Entsorgung in Zementwerken dar. Die Zementproduktion ist ein sehr energieintensiver Prozess. Die Zementwerke decken ihren Energiebedarf mit Kohle, Schweröl, Petrolkoks und Gas. Dies sind Roh- und Brennstoffe, die sich heute teilweise durch stoffliche oder energetische Verwertung von Abfallstoffen substituieren lassen. Nicht aller Abfall eignet sich allerdings. Zementwerke unterliegen weit weniger strengen Emissionsgrenzwerten seitens der LRV als eine Abfallverbrennungsanlage.

Abfallarten dürfen dann in Zementwerken entsorgt werden, wenn dies

- ökologisch vorteilhafter ist, als irgendeine andere Art der Entsorgung
- in Einklang mit der Abfallplanung der Kantone und des Bundes steht
- eine ökologischere Ressourcenbewirtschaftung nicht konkurrenziert

Zudem sollten folgende Regeln gelten:

- Die Entsorgung in Zementwerken muss einen Verwertungssinn machen, d.h. tatsächlich benötigte Brenn- und Hilfsstoffe substituieren
- Die Verwertung soll für den entsprechenden Abfall eine Gesamtlösung bieten, d.h. keine Folge-Entsorgungsprobleme für die Allgemeinheit verursachen
- Sie soll, wenn möglich, weiträumige Transporte eliminieren

[BUWAL, 1997a]

Kunststoffe wurden 1994 im Zementwerk Bündner Zement AG bereits eingesetzt (Menge 1'100 t/a). In anderen Werken wird ein Einsatz geprüft oder mindestens in Erwägung gezogen. Die geplante Verwertungsmenge von Kunststoffen in Zementwerken wird auf ca. 60'000 t/a angegeben [BUWAL, 1997a]. Der Input von Halogenen (v.a. Chlor und Brom) wird in Zementwerken streng limitiert, da sie Korrosionen und betriebsstörende Anbackungen im Ofen verursachen. Dies ist besonders im Auge zu behalten, da z.B. PVC grosse Mengen an Chlor enthält und somit nicht für die Verwertung in Zementöfen geeignet ist. Ausserdem sollen nur klar definierte, schadstoffarme Massenabfälle zur Verwertung in Zementwerken zugelassen werden. Kunststoffabfälle müssten also separat gesammelt und klar deklariert werden.

1.9.3 Recycling

Es werden zwei Arten von Recycling unterschieden:

- *Stoffliches Recycling*: Aufbereitung von Kunststoffabfällen zu einem sortenreinen Regranulat mit definierten Eigenschaftswerten. Dieses Regranulat kann als Sekundärrohstoff zur Herstellung des ursprünglichen Produktes oder eines anderen, weniger anspruchsvollen Produktes (Downcycling) verwendet werden [Jacob B., 1995].
- *Chemisches Recycling*: Rohstoff-Recycling. Gebrauchte Kunststoffe werden in Rohöl oder andere petrochemische Grundstoffe zurückgeführt. Aus diesen Rohstoffen lassen sich wiederum neue Kunststoffe herstellen.

Kunststoffe stellen zwei Anforderungen an ein erfolgreiches stoffliches Recycling: Sie müssen a) sortenrein und b) relativ sauber sein. Dies zeigt gerade die Probleme des Recyclings auf. Damit das Regranulat dem Neuprodukt gleichwertig ist, darf es nur sehr wenige bis gar keine Verunreinigungen aufweisen. Ausserdem können die verschiedenen Kunststofftypen nicht gemischt werden.

Hier einige Beispiele, wo das Recycling problematisch sein kann:

- * Kunststoffrohre werden oft für anspruchsvolle Anwendungen gebraucht (Chemie, Abwässer,...), weil sie besonders widerstandsfähig sind. Dabei werden sie stark verschmutzt mit Stoffen, die man beim Abbruch evt. nicht mehr bestimmen kann. Solche Rohre sind schwer zu reinigen, was ein Recycling erschwert.
- * Fenster aus alten Produktionen enthalten Cd als Stabilisator. Durch das Recycling wird dieser Stoff in die heute "saubere" Produktion verschleppt. Selbst wenn es dabei zu einer Verdünnung kommt, stellt sich doch die Frage, ob sich ein Recycling lohnt, da sich so das Cd nicht aus dem Kreislauf entfernen lässt.
- * Kunststoffe werden laufend verbessert. Es werden neue Additive eingesetzt, die den momentanen Umweltnormen besser entsprechen. Neue Anwendungsgebiete werden eröffnet, die neue Zusammensetzungen erfordern. Die Vermischung dieser vielen Stoffe kann ein Recycling ebenfalls erschweren, wenn es darum geht einen Absatzmarkt für das Regranulat zu finden.

Trotzdem ist Recycling eine Entsorgungsvariante, die viele Vorteile bietet. Beim Recycling wird 60-90% weniger Energie als bei der Neuproduktion benötigt [Stumpf K., 1994]. Wenn es zu einem Ersatz des Neumaterials durch Regranulat kommt, können Ressourcen geschont werden. Gerade im Baubereich bieten sich einige Möglichkeiten für ein lohnenswertes Recycling. Die Abfälle fallen meist in grossen Mengen an und sie können gut den einzelnen Kunststofftypen zugewiesen werden. So bestehen denn auch ein paar Recyclingkonzepte, die hier kurz vorgestellt werden sollen:

- | | |
|------------------------|--|
| EPS-Recycling Schweiz: | Hier handelt es sich um ein relativ neues Konzept, das seit März 1998 besteht. Rezykliert werden EPS Dämmstoffe und Verpackungen. Das anfallende Material wird in Säcke gepackt, und der Recyclingfirma zugeführt. Erste Schätzungen lassen eine Recyclingmenge von 50'000 m ³ EPS pro Jahr erwarten. |
| Fenster-Recycling: | Alte PVC-Fenster werden zurückgenommen und zu neuen Fenstern verarbeitet. Da das Abfallaufkommen in der Schweiz momentan noch zu klein ist, werden die Fenster in Deutschland wiederaufbereitet. Schätzungen rechnen mit ca. 100-200 t Altfenstern aus PVC. Das Regranulat wird vor allem als Füllstoff für neue Fenster gebraucht (Regranulat : Neumaterial = 70 : 30). |
| Rohr-Recycling: | Es handelt sich hier vor allem um das Recycling von Verarbeitungsabfällen aus PE, PP und PVC. 1995 rechnete man mit maximal 1000 t erfassten Abfällen [Bossert J. und Hochuli K., 1995]. |

- Dachbahnen-Recycling: Die Dachbahnen aus PE oder PVC werden in der Schweiz gesammelt und danach zur Aufbereitung nach Deutschland gebracht. Man rechnet mit ca. 50 t/J, die recykliert werden. Auch hier sind die anfallenden Mengen zu klein, und ein Recycling ist nur in Zusammenarbeit mit dem Ausland interessant. Das gewonnene Regranulat wird zur Herstellung neuer Dachbahnen gebraucht.
- Bodenbelags-Recycling: PVC-Bodenbeläge werden ebenfalls in Deutschland aufbereitet. Das aufbereitete Material wird wieder zur Herstellung von Bodenbelägen verwendet. Leider können hier keine Mengenangaben gemacht werden.
- Folien-Recycling: Gebrauchte Baufolien aus PE werden eingesammelt und wieder zu neuen Folien verarbeitet. Die wiederverwertete Menge wird auf 500-600 t geschätzt. Bei einem Verbrauch von jährlich ca. 6000 t ist dies immerhin ein Anteil von 10%.

Diskussion

Die Datenlage bezüglich Baukunststoffe in der Schweiz ist sehr schlecht. Statistiken werden weder von Produzenten noch von Verbrauchern geführt. Die Auskunftsbereitschaft ist teils aus Angst vor der Konkurrenz, teils aus Nichtwissen eher klein. Viele existierende Verbände führen ebenfalls keine Statistiken. Hier wäre aber bestimmt ein Ansatzpunkt für die Grundlage einer guten Statistik, da die Verbände einen Zusammenschluss vieler verschiedener Firmen aus der gleichen Branche darstellen.

Auch in Sachen Abfallaufkommen stehen wenige Daten zur Verfügung. Gerade für die Etablierung eines sinnvollen Recyclings wären aber solche Informationen sehr hilfreich.

Wie schon im Teil 5.1 Methodik erklärt, beschränkt sich diese Studie auf eine Beschreibung des Kunststoffmarkts in der Bauindustrie. Sie geht vor allem auf die Art und Menge der verbrauchten Kunststoffe und des entstehenden Abfalls ein. Sie soll eine erste Grundlage liefern, die keinen Anspruch auf Vollständigkeit erhebt. Da sie auf Schätzungen (mit einigen Abklärungen bei Herstellern) beruht, können die Mengenangaben vom tatsächlichen Verbrauch abweichen, widerspiegeln aber sicher die Grössenordnungen, in denen sich die Mengen bewegen.

In einigen Bereichen besteht noch ein weiterer Forschungsbedarf. So wäre es interessant, mehr über die verschiedenen Inhaltsstoffe oder die genaue Zusammensetzung der Produkte zu erfahren. Bei den Additiven handelt es sich teilweise um toxische und nicht umweltverträgliche Wirkstoffe. Sowohl bei der Verwertung wie auch bei der Entsorgung sind das Verhalten und der Verbleib dieser Substanzen von grosser Bedeutung für die Umwelt.

Daten bezüglich Emissionen, Verbrauch an Ressourcen oder Energie der einzelnen Produkte sind teilweise vorhanden (APME, verschiedene aufgeführte Ökobilanzstudien). Eine Zusammenstellung dieser Angaben wäre aber ebenfalls von grosser Wichtigkeit. Mit Stoffflussanalysen könnte herausgearbeitet werden, wo die kritischen Flüsse (z.B. von Cd oder Blei) in den Baukunststoffen zu finden sind. Ökobilanzen von Kunststoffen und anderen Materialien in der gleichen Anwendung könnten eine Entscheidungshilfe für eine ökologische Materialwahl liefern.

Die Baustoffindustrie wird immer gefordert sein, ihre Produkte den neusten Entwicklungen anzupassen.

Gerade die Kunststoffindustrie sollte in dieser Möglichkeit ihren marktwirtschaftlichen Vorteil sehen. Die Entwicklung neuer umweltfreundlicherer Zusatzstoffe (z.B. Ersatz von Cd-Stabilisatoren, Substitution von FCKW durch CO₂, ...) gehören ebenso dazu wie die Etablierung sinnvoller Entsorgungssysteme. Erste Priorität sollte dabei natürlich die Vermeidung von Abfällen haben. Da dies nie vollständig möglich ist, müssen Recyclingsysteme, im Sinne eines geschlossenen Kreislaufes eingerichtet werden. Ein Handeln nach dem Vorsatz: "Es gibt keine Abfälle, sondern nur falsch plazierte Ressourcen" [green development services, 1999], wäre wünschenswert. Doch gerade hier gibt es noch einige Lücken.

Es bestehen zwar einige gute Recyclingkonzepte, bei der Rücklaufquote und der Erfolgskontrolle fehlt es dann aber (Recyclingquote Rohre: 2.8%, Dichtungsbahnen: 1%, Bodenbeläge: nicht bekannt). Dies scheint umso bedenklicher, als dass einige Hersteller eben gerade mit der Rezyklierbarkeit ihres Produktes werben, aber nicht wissen, wie hoch die Recyclingquote schlussendlich ist. Die Verteiler und Produzenten begründen die kleinen Quoten einerseits mit mangelnder Wirtschaftlichkeit und fehlenden Absatzmärkten für die Regranulate, andererseits mit dem momentan noch geringen Abfallaufkommen. Dies zeigt die problematische Situation bei den post-consumer Abfällen. Die Qualität dieser Kunststoffabfälle ist im Hinblick auf den Grad der Verschmutzung, der Vermischung und der verschiedensten miteinander verträglichen und unverträglichen Zusätze wesentlich schlechter als bei Produktions- und Verarbeitungsabfällen. Dies erschwert die Herstellung eines Regranulats mit konstanter, gütegesicherter Qualität. Angesichts dieses Sachverhalts kommt der Entwicklung von Technologien, sowohl bezüglich recyclingorientierter Produktion wie auch bezüglich marktorientierter Aufbereitung von gebrauchten Kunststoffen grosse Bedeutung zu.

Bezüglich der Wirtschaftlichkeit wird sich wohl nicht viel ändern, solange die Rohstoffe (Öl) so günstig sind. Sollte aber eine vorgezogene Entsorgungsgebühr eingeführt werden, könnte sich ein gutes Recyclingkonzept bestimmt lohnen. Die grösste Wirkung haben dabei Konzepte, bei denen sowohl die Produzenten, der Handel und die Recyclingbetriebe einbezogen sind (z.B. Folienrecycling) [Jacob B., 1995].

Im Moment fällt jährlich nur etwa $\frac{1}{5}$ des verbrauchten Kunststoffes als Abfall an. Dies weist auf die Zunahme des Materiallagers im Bauwerk Schweiz hin.

Dem Abfall sollte auch in Zukunft ein besonderes Augenmerk gelten. Das Abfallaufkommen von Kunststoffen aus der Bauindustrie wird sich in den kommenden 10 Jahren beinahe verdoppeln (Tab. 16). Dies vor allem weil langlebige Produkte wie Fenster, Dämmstoffe, Rohre etc., die erst in den letzten Jahren in grösseren Mengen zum Einsatz gekommen sind, zu Abfall werden. Dabei ist zu beachten, dass in diesen Kunststoffen oft noch Stoffe enthalten sind, die nach heutigem Recht gar nicht mehr eingesetzt werden dürfen (Cd, FCKW). Eine umweltgerechte Entsorgung dieser Abfälle ist besonders wichtig. Es zeigt sich, wie entscheidend es ist, bei Bauabfällen den Blick in die Vergangenheit nicht zu vernachlässigen. Es ist wichtig zu wissen, wie die Inhaltsstoffe dieser Produkte in der Vergangenheit ausgesehen haben, und nicht unbedingt wie sie heute aussehen. Zudem sollte man sich bewusst sein, dass, bedingt durch die Lagerbildung, eine Änderung im Input (Verbrauch) nicht sofort als Änderung im Output (Abfall) sichtbar sein wird.

Beängstigend ist der sehr grosse Anteil (46%) an illegal entsorgtem Abfall (unkontrollierte Ablagerung / Verbrennung im Freien). Wenn man bedenkt, dass hier einige für die Umwelt kritische Stoffe enthalten sind, müsste die Kontrolle auf Baustellen verschärft werden.

Ein grösseres Abfallaufkommen wird auch ein Recycling ökonomisch attraktiver machen, daher sollten schon heute funktionierende Systeme eingerichtet werden. Nach [Stumpf K., 1994] ist ein Kunststoffrecycling bis zu einer Recyclingquote von 40 % ökologisch und ökonomisch sinnvoll. Danach übersteigt der Reinigungs- und Sortieraufwand meist die Vorteile des Recyclings.

Ausblick

Jedes Jahr werden in der Schweiz, trotz rückläufiger Auftragslage, tausende Tonnen von Material verbaut. Bei der Materialwahl werden wohl immer die Kosten bestimmend sein. Doch muss hier Ökologie nicht zwangsweise ein Nachteil sein. Über die ganze Lebenszeit eines Gebäudes betrachtet, kann sich nämlich der Einbezug der Ökologie auszahlen (einfachere Reparaturen, weil eher mechanische Verbindungen, weniger Heizenergiekosten,...). Es sollte auch nicht ausser Acht gelassen werden, dass die Wohnatmosphäre oft angehoben wird, wenn man Wert auf ökologische Aspekte legt. So kann z.B. eine spezielle Isolierverglasung erlauben, dass man die Fensterfläche vergrössert, ohne dass man besondere Einbussen in der Wärmedämmung erleidet. Dadurch gelangt mehr natürliches Licht in den Wohnraum.

Aus ökologischer Sicht sollten mindestens folgende Aspekte berücksichtigt werden [SIA, 1998]:

- Lebensdauer
- potentielle Innenraumbelastung
- Reinigungs- / Unterhaltsaufwand
- Rückbau / Entsorgung
- Ökobilanz

Dabei ist die technisch-funktionale Vergleichbarkeit von zentraler Bedeutung, d.h. es müssen gleiche Funktionen (nicht Massen, Flächen, etc.) miteinander verglichen werden.

In den Augen der Öffentlichkeit gilt immer noch, dass Chemie und Kunststoffe die Umwelt zerstören, und nicht unsere Lebens- und Wirtschaftsform insgesamt. Aufgrund der gefundenen Resultate scheint es aber unsinnig, einen bestimmten Baustoff verbieten zu wollen. Jeder Baustoff verbraucht Ressourcen, Energie und führt zur Entstehung von umweltschädlichen Emissionen. Alle Baustoffe haben gewisse Vor- bzw. Nachteile. Es gilt daher in jeder Anwendung wieder die Technik des "minus malus" (weniger schlechten) anzuwenden.

Welche Umweltbelastungen in Kauf genommen werden, liegt meist in der Entscheidung des Planers (Architekten, Bauherrn). Damit dieser aber eine sinnvolle Entscheidung treffen kann, braucht er die nötigen Informationen. Hier sind Forschung und Industrie gefordert. Sie sind es, die Untersuchungen über Ökologie und Ökonomie von verschiedenen Baustoffen zur Verfügung stellen können und müssen. Dabei sollte der Blick nicht nur auf einzelne Baustoffe, sondern auch auf ganze Systeme gerichtet sein (z.B. eine dickere Isolationsschicht spart bei der Heizung, braucht aber evt. eine bessere Lüftung). Die Industrie kann dabei selber Untersuchungen durchführen oder kann durch Datenbereitstellung helfen, eine aussagekräftige Studie zu verfassen.

In die Entscheidung wird natürlich auch der Staat eingreifen. Er bestimmt durch Gesetzgebung, welche Stoffe überhaupt zugelassen sind (Cd-Verbot, FCKW-Verbot). Zudem kann er mit entsprechenden Abgabenprogrammen oder Unterstützungen den Bau ökologischer Gebäude fördern (z.B. Energie 2000-Programm, CO₂-Abgabe).

Einen gewissen positiven Effekt für die Umwelt kann man sicher durch eine intelligente Planung erzielen (z.B. mechanische Verbindungen an Stelle von Klebstoffen, energiesparende Ausrichtung des Gebäudes), durch eine recyclingorientierte Konstruktion (Rückbaubarkeit), aber auch durch umweltfreundliches Verhalten der Bewohner des Gebäudes (Heizung, Lüftung,...).

Es wäre wünschenswert, wenn die Zusammenarbeit zwischen Industrie, Forschung und Verbrauchern gut funktionieren würde. Das bedeutet die Bereitstellung von Daten durch die Industrie, die Erarbeitung unabhängiger Studien durch die Forschung und die offene Information für die Verbraucher.

Ökobilanzen auf Basis einer guten Statistik gewinnen an Glaubwürdigkeit und könnten eventuell auch das schlechte Image vieler Kunststoffe verbessern.

Es wurde schon in vielen Bereichen erkannt, dass eine offene Kommunikation viele Vorurteile aus dem Weg räumt. Sie würde bestimmt auch das Ansehen der Kunststoffindustrie anheben.

Literaturliste

- APME, 1998 Eco-Profiles of the European plastics industry, Report 6:Polyvinylchlorid, I. Boustead, Brussels 1998
- APME, 1995a Information system on plastics in the building and construction sector and in the construction and demolition waste in Western Europe, SOFRES Conseil, a report for APME, January 1995
- APME, 1995b Plastics Recovery in Perspective, plastic consumption and recovery in Western Europe 1995, APME
- APME, 1995c Plastics, a material of choice in building and construction, APME
- Beck A. und Bosshart St., 1995 Umweltanalyseinstrumente im Vergleich, Beck A. und Bosshart St, Diplomarbeit an der ETH Zürich, Abt. Umweltnaturwissenschaften, 1995
- BFS, 1998 Der Geschäftsgang im sekundären Sektor, Produktion, Handel und Verbrauch, 2. Quartal 1998
- BFS Pressemitteilung Nr. 53 / 1998 Die Bauinvestitionen 1997 in der Schweiz
- Bossert J. und Hochuli K., 1995 Ökobilanzierung des VKR-Kunststoff-Recyclings, Interkantonales Technikum Rapperswil, Juli 1995
- BUWAL, 1998 Umweltmaterialien Nr. 90, Dr. Rolf Kettler, Abfallstatistik 1996, BUWAL 1998
- BUWAL, 1997a Umweltmaterialien Nr. 70, Liechi J. und Graf AG, Abfallentsorgung in Zementwerken, Thesenpapier, BUWAL 1997
- BUWAL, 1997b Umwelt in der Schweiz 1997 - Daten, Fakten, Perspektiven, BFS und BUWAL, Bern 1997
- BUWAL, 1996 Umweltmaterialien Nr. 50, A. Randegger-Vollrath und Ch. Hohl, FCKW und HFCKW in Schaumstoffen, Resultate einer schweizerischen Marktüberwachung. BUWAL 1996
- BUWAL, 1995a Schriftenreihe Umwelt Nr. 245, Urs von Arx, Baustoffe und Zusatzstoffe in der Schweiz, BUWAL 1995
- BUWAL, 1995b Cadmium, Blei und Chrom in Kunststoffen- Resultate einer schweizerischen Marktüberwachung. Hohl, Ch. und Randegger-Vollrath, A., BUWAL 1995
- Engelmann M./ Skura J., 1992 PVC im Brandfall, Sonderdruck aus brandschutz/DFZ 4/92, Verlag W. Kohlhammer GmbH, Stuttgart

- Gahlmann H., 1996 Das Flachdach, ein sicherer Gebäudeabschluss, HG-Consulting, Januar 1996
- Geberit, 1996a Umweltbelastung von Rohren zur Hausentwässerung, Ökobilanz, Geberit International AG, 1996
- Geberit, 1996b Umweltbelastung von Trinkwasserversorgungsrohren, Ökobilanz, Geberit International AG, 1996
- green development services, 1999 Green Development Services, Rocky Mountain Institut, Colorado: <http://www.rmi.org/gds/index.htm>, 27. Jan. 99
- greenpeace, 1999 Auszug (Stand 22.1.99) aus: http://www.greenpeace.de/GP_DOK_30/CHLOR/SEITEN/C03HI19C.HTM
- Günther A. und Langowski H.-Ch., 1997 Life Cycle Assessment Study on Resilient Floor Coverings, Fraunhofer Institut, Verfahrenstechnik und Verpackung, 1997 (Kurzfassung)
- IP Bau, 1992 Recycling: Verwertung und Behandlung von Bauabfällen, Impulsprogramm IP Bau, Bundesamt für Konjunkturfragen, 1992
- Jacober B., 1995 Kunststoffabfallflüsse 1994, Studie im Auftrag des KVS, B. Jacober 1995
- minergie, 1998 Die Daten beziehen sich auf Angaben aus der internet-site: <http://www.minergie.ch/PLANUNG/index1.htm>, Stand 28.12.98
- Novak E., 1994 Ökologische Betrachtung der Fenster-Werkstoffe Kunststoff, Aluminium, Holz, Österreichisches Forschungsinstitut für Chemie und Technik, 1994
- Potting J. und Blok K., 1993 The environmental life cycle analysis of some floor coverings, Department of Science, Technology and Society Utrecht University, Utrecht 1993
- Richter K., 1996 Ökologische Bewertung von Fensterkonstruktionen. SZFF/EMPA, 1996
- SIA, 1998 Instrumente für ökologisches Bauen im Vergleich- Ein Leitfaden für das Planungsteam; IEA/BCS-Annex 31, im Auftrag des Bundesamtes f. Energie bearbeitet durch: Econcept AG, ETHZ, Gruppe S&U, Intep AG; SIA-Dokumentation D0152, 1998
- Stumpf K., 1994 Kunststoffrecycling in der Schweiz, eine naturwissenschaftlich, technologische und ökonomische Betrachtung. Dissertation an der Universität Zürich 1994
- TFI, 1998 Deutsches Teppich-Forschungsinstitut Aachen (D): <http://tfi.ac-net.de/d/tepges.htm>, 13.11.98
- Weibel Th. und Stritz A., 1995 Ökoinventare und Wirkungsbilanzen von Baumaterialien, Institut für Energietechnik / Laboratorium für Energiesysteme, ETH Zürich, 1995

ANHANG

1. VERBRAUCH NACH PRODUKT UND KUNSTSTOFF	II
2. ENTWICKLUNG DES KUNSTSTOFFVERBRAUCHS IN DER BAUINDUSTRIE	III
3. ANTEIL DER VERSCHIEDENEN KUNSTSTOFFTYPEN AM GESAMTVERBRAUCH IN DER BAUINDUSTRIE.....	III
4. BAUABFALL NACH PRODUKT UND KUNSTSTOFF	IV
5. AUFTRAGSEINGÄNGE UND BESTÄNDE IM BAUHAUPTGEWERBE	V
6. INDEX DER KONSUMENTENSTIMMUNG	VI

Verbrauch nach Produkt und Kunststoff

Produkt	Kunststoff	Europa 1995		Schweiz 1995		
		Menge (t/a)	Anteil %	Menge (t/a)	Anteil %	
Rohre	PVC	1,329,000	21.87	24,985	21.87	
	HD-PE	341,000	5.61	6,411	5.61	
	LD-PE	88,000	1.45	1,654	1.45	
	PP	121,000	1.99	2,275	1.99	
	ABS	13,000	0.21	244	0.21	
	total	1,892,000	31.13	35,570	31.13	
Fenster	PVC	600,000	9.87	11,280	9.87	
	total	600,000	9.87	11,280	9.87	
Dämmstoffe	EPS	440,000	7.24	8,272	7.24	
	XPS	140,000	2.30	2,632	2.30	
	PUR	464,000	7.64	8,723	7.64	
	total	1,044,000	17.18	19,627	17.18	
Wandbezüge	PVC	73,000	1.20	1,372	1.20	
	total	73,000	1.20	1,372	1.20	
Bodenbeläge fibre	PP	208,000	3.42	3,910	3.42	
	PA	174,000	2.86	3,271	2.86	
	Acrylics	7,000	0.12	132	0.12	
	PET	21,000	0.35	395	0.35	
	non-fibre	PVC	281,000	4.62	5,283	4.62
		PU-Schaum	48,000	0.79	902	0.79
		total	739,000	12.16	13,893	12.16
Dichtungsbahnen	PE	156,000	2.57	2,933	2.57	
	PVC	110,000	1.81	2,068	1.81	
	total	266,000	4.38	5,001	4.38	
Profile	PVC	290,000	4.77	5,452	4.77	
	total	290,000	4.77	5,452	4.77	
Kabel	PVC	369,000	6.07	6,937	6.07	
	PE	225,000	3.70	4,230	3.70	
	total	594,000	9.77	11,167	9.77	
Einbaumöbel	PS	156,000	2.57	2,933	2.57	
	PMMA	70,000	1.15	1,316	1.15	
	PC	75,000	1.23	1,410	1.23	
	PA	15,000	0.25	282	0.25	
	POM	4,000	0.07	75	0.07	
	UP	85,000	1.40	1,598	1.40	
	Amino	20,000	0.33	376	0.33	
	total	425,000	6.99	7,990	6.99	
Andere		154,000	2.53	2,895	2.53	
Total		6,077,000	100.00	114,248	100.00	

Quelle: APME, Plastic a material of choice in building and construction, 1995

APME, Information system on plastics in the building and construction sector, 1995

Entwicklung des Kunststoffverbrauchs in der Bauindustrie

Jahr	Europa Verbrauch (t/a)	Schweiz Verbrauch (t/a)	Wachstum % / Jahr
1950	0	0	
1962	378,000	7,106	
1970	1,917,000	36,040	22.5
1977	2,715,000	51,042	5.1
1980	3,270,000	61,476	6.4
1985	3,612,000	67,906	2.0
1989	4,619,000	86,837	6.3
1992	5,134,000	96,519	3.6
1995	5,460,000	102,648	2.1
1997	5,692,000	107,010	2.1
2000	6,065,000	114,022	2.1
2003	6,560,000	123,328	2.6
2007	7,299,000	137,221	2.7
2010	7,922,000	148,934	2.8

Quelle: APME 1995, Information system on plastics in the building and construction sector
Es wurde davon ausgegangen, dass der Anteil der Schweiz am europäischen Verbrauch nicht ändert, sondern konstant bei 1.88% bleibt.

Anteil der verschiedenen Kunststofftypen am Gesamtverbrauch in der Bauindustrie

	Menge t/a	Anteil %
PVC	57,377	51.95
PE	15,228	13.79
PP	6,185	5.60
EPS	8,272	7.49
XPS	2,632	2.38
PUR	8,723	7.90
PA	3,553	3.22
PS	2,933	2.66
PMMA	1,316	1.19
PC	1,410	1.28
UP	1,598	1.45
ABS	244	0.22
PET	395	0.36
POM	75	0.07
Amino	376	0.34
Acrylics	132	0.12
Andere	1,222	1.11
Total	110,449	

Unter "Andere" sind alle Kunststoffe mit einem Anteil von weniger als 1% zusammengefasst

Bauabfall nach Produkt und Kunststoff

Produkt	Kunststoff	Europa 1992		Europa 1995		Schweiz 1992		Schweiz 1995		
		Menge (t/a)	Anteil %	Menge (t/a)	Anteil %	Menge (t/a)	Anteil %	Menge (t/a)	Anteil %	
Rohre	PVC	61,000	6.58	85,545	6.58	1,232	6.58	1,728	6.58	
	PE	15,000	1.62	21,036	1.62	303	1.62	425	1.62	
	PP	2,000	0.22	2,805	0.22	40	0.22	57	0.22	
	total	78,000	8.41	96,000	8.41	1,576	8.41	2,210	8.41	
Fenster	PVC	4,000	0.43	5,609	0.43	81	0.43	113	0.43	
	total	4,000	0.43	6,000	0.43	81	0.43	113	0.43	
Dämmstoffe	EPS	29,000	3.13	40,669	3.45	586	3.45	822	3.45	
	PU	20,000	2.16	28,047	2.16	404	2.16	567	2.16	
	XPS	8,000	0.86	11,219	0.54	162	0.54	227	0.54	
	total	57,000	6.15	84,000	6.15	1,151	6.15	1,615	6.15	
Wandbezüge	PVC	54,000	5.83	75,728	5.83	1,091	5.83	1,530	5.83	
	total	54,000	5.83	75,728	5.83	1,091	5.83	1,530	5.83	
Bodenbeläge	fibre	PP	61,000	6.58	85,545	6.58	1,232	6.58	1,728	6.58
		PA	101,000	10.90	141,640	10.90	2,040	10.90	2,861	10.90
		Acrylics	6,000	0.65	8,414	0.65	121	0.65	170	0.65
	non-fibre	PET	17,000	1.83	23,840	1.83	343	1.83	482	1.83
		PU-Schaum	25,000	2.70	35,059	2.70	505	2.70	708	2.70
		PVC	214,000	23.09	300,108	23.09	4,323	23.09	6,062	23.09
		total	424,000	45.74	594,606	45.74	8,565	45.74	12,011	45.74
Dichtungsbahnen	PE	40,000	4.31	56,095	4.31	808	4.31	1,133	4.31	
	PVC	19,000	2.05	26,645	2.05	384	2.05	538	2.05	
	total	59,000	6.36	82,740	6.36	1,192	6.36	1,671	6.36	
Profile (elektr.)	PVC	74,000	7.98	103,776	7.98	1,495	7.98	2,096	7.98	
	total	74,000	7.98	103,776	7.98	1,495	7.98	2,096	7.98	
Kabel	PE	34,000	3.67	47,681	3.67	687	3.67	963	3.67	
	PVC	73,000	7.87	102,373	7.87	1,475	7.87	2,068	7.87	
	total	107,000	11.54	150,054	11.54	2,161	11.54	3,031	11.54	
Einbaumöbel	PMMA	10,000	1.08	14,024	1.08	202	1.08	283	1.08	
	PS	5,000	0.54	7,012	0.54	101	0.54	142	0.54	
	total	15,000	1.62	21,036	1.62	303	1.62	425	1.62	
Andere		55,000	5.93	77,131	5.93	1,111	5.93	1,558	5.93	
Total		927,000	100.00	1,300,000	100.00	18,725	100.00	26,260	100.00	

Quelle: [APME, 1995a]

Da in [APME, 1995a] nur Daten zu 1992 vorhanden waren, mussten die Daten für 1995 abgeschätzt werden. Dazu wurden Angaben aus [APME, 1995c] (grau markiert) auf 100% hochgerechnet. Aus diesem Total wurden die Massenanteile der anderen Kunststoffe berechnet.

Auftragseingänge und Bestände im Bauhauptgewerbe

Jahr	Auftragseingänge	Auftragsbestände
I/ 1990	122	134
II/ 1990	141	136
III/ 1990	98	124
IV/ 1990	92	115
I/ 1991	102	131
II/ 1991	116	129
III/ 1991	104	117
IV/ 1991	89	112
I/ 1992	88	117
II/ 1992	98	110
III/ 1992	93	98
IV/ 1992	87	100
I/ 1993	88	102
II/ 1993	107	105
III/ 1993	103	102
IV/ 1993	89	97
I/ 1994	102	103
II/ 1994	110	107
III/ 1994	109	102
IV/ 1994	88	91
I/ 1995	103	105
II/ 1995	116	107
III/ 1995	96	98
IV/ 1995	85	90
I/ 1996	87	95
II/ 1996	93	90
III/ 1996	80	80
IV/ 1996	70	70
I/ 1997	75	75
II/ 1997	92	80
III/ 1997	87	77
IV/ 1997	81	70
I/ 1998	81	78
II/ 1998	99	82

Quelle: [BFS, 1998]

I = 1. Quartal

II = 2. Quartal

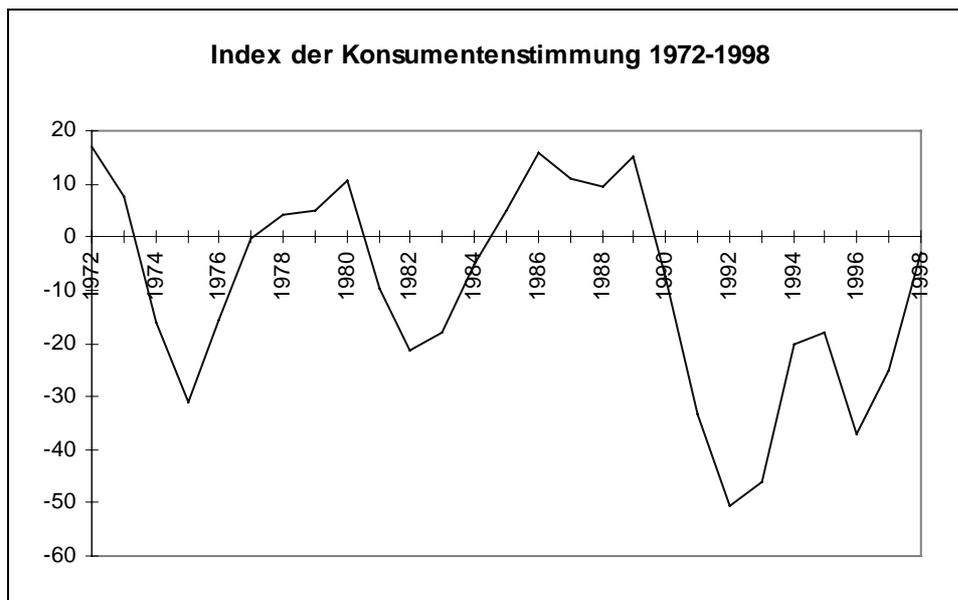
III = 3. Quartal

IV = 4. Quartal

Durchschnitt 1995 = 100

Index der Konsumentenstimmung

Jahr	Januar	April	Juli	Oktober	Durchschnitt
1972				17	17
1973	13	13	7	-3	7.5
1974	-3	-18	-20	-23	-16
1975	-25	-33	-32	-35	-31.25
1976	-41	-20	0	-1	-15.5
1977	-19	1	10	7	-0.25
1978	7	6	11	-7	4.25
1979	3	10	3	4	5
1980	10	13	13	6	10.5
1981	2	-11	-12	-18	-9.75
1982	-16	-15	-25	-29	-21.25
1983	-25	-16	-18	-13	-18
1984	-9	-8	-2	-1	-5
1985	4	2	4	10	5
1986	20	18	11	15	16
1987	13	11	12	8	11
1988	6	5	12	15	9.5
1989	25	18	6	11	15
1990	1	-1	-2	-28	-7.5
1991	-28	-27	-32	-46	-33.25
1992	-50	-46	-52	-54	-50.5
1993	-48	-47	-49	-41	-46.25
1994	-31	-20	-16	-14	-20.25
1995	-20	-13	-18	-20	-17.75
1996	-31	-38	-41	-38	-37
1997	-35	-31	-22	-13	-25.25
1998	-12	-4	3	2	-2.75



Quelle: Bundesamt für Wirtschaft und Arbeit