

***Fortentwicklung der Kreislaufwirtschaft zu einer nachhaltigen Stoffstrom- und Ressourcenpolitik, FKZ 90531411***

***Teilvorhaben „Ermittlung von relevanten Stoffen bzw. Materialien für eine stoffstromorientierte Ressourcen schonende Abfallwirtschaft“***

Endbericht

*Günter Dehoust, Matthias Buchert, Jan Ferenz, Andreas Hermann, Wolfgang Jenseit, Falk Schulze (Öko-Institut e.V.)  
Jürgen Giegrich, Horst Fehrenbach, Regine Vogt (IFEU-Institut)*

16. Mai 2006, Darmstadt



## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einführung.....</b>	<b>1</b>
1.1	Übersicht zu den Projektzielen .....	1
1.2	Rolle der Steuerungsgruppe.....	2
1.3	Wichtige Begriffsbestimmungen .....	3
<b>2</b>	<b>Untersuchungsmethodik .....</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>Vorauswahl wichtiger Materialströme .....</b>	<b>7</b>
3.1	Kriterien zur ersten Bewertung von Materialströmen.....	7
3.2	Wirtschaftliche Aktivitäten: Sektorenblick, Konsumentenblick .....	8
3.2.1	Sektorenblick .....	9
3.2.2	Konsumentenblick .....	12
3.2.3	Datenquellen und Darstellung der Ergebnisse .....	13
3.3	Vorauswahl produzierte Güter/Sektoren.....	14
3.4	Vorauswahl Konsumgüter.....	20
3.5	Reflexion der Methodik.....	23
3.6	Identifizierung von wichtigen Datenlücken.....	25
3.7	Zusammenfassende Bewertung der Vorauswahl .....	27
<b>4</b>	<b>Vertiefte Analyse der ausgewählten Sektoren und Güter in Materialflusssystemen .....</b>	<b>28</b>
4.1	Eisenerz-Stahl-Fahrzeugbau-PKW-Konsum .....	28
4.1.1	Überblick Materialflusssystem: Hauptroute .....	28
4.1.2	Stahlindustrie.....	29
4.1.3	Übersicht Fahrzeugbau in Deutschland.....	40
4.1.4	Übersicht PKW-Konsum in Deutschland .....	48
4.1.5	Wichtige bestehende Regelungen.....	51
4.1.6	Zusammenfassung der Handlungsoptionen für das Materialflusssystem .....	57
4.2	Erdöl/Erdgas-Erdölverarbeitung-Kraftstoffkonsum .....	58
4.2.1	Überblick Materialflusssystem: Hauptroute .....	58
4.2.2	Übersicht Mineralölverarbeitung in Deutschland .....	58
4.2.3	Übersicht Kunststoffherstellung und -konsum in Deutschland .....	64
4.2.4	Wichtige bestehende Regelungen.....	75
4.2.5	Zusammenfassung der Handlungsoptionen für das Materialflusssystem .....	83
4.3	Steine/Erden-Zement-Beton-Wohngebäudekonsum .....	84
4.3.1	Überblick Materialflusssystem: Hauptroute .....	84
4.3.2	Übersicht Zementindustrie in Deutschland .....	84

4.3.3	Übersicht Betonindustrie in Deutschland.....	90
4.3.4	Übersicht Wohngebäudekonsum in Deutschland.....	94
4.3.5	Exkurs zu Nichtwohngebäuden in Deutschland .....	107
4.3.6	Wichtige bestehende Regelungen.....	108
4.3.7	Zusammenfassung der Handlungsoptionen für das Materialflusssystem .....	114
4.4	Biomasse-Pflanzenbau.....	114
4.4.1	Überblick Materialflusssystem: Hauptroute .....	114
4.4.2	Übersicht Pflanzenbau in Deutschland.....	115
4.4.3	Wichtige bestehende Regelungen.....	119
4.4.4	Zusammenfassung der Handlungsoptionen für das Materialflusssystem .....	122
4.5	Biomasse-Tierhaltung.....	123
4.5.1	Überblick Materialflusssystem: Hauptroute .....	123
4.5.2	Übersicht Tierhaltung Deutschland.....	123
4.5.3	Wichtige bestehende Regelungen.....	127
4.5.4	Zusammenfassung der Handlungsoptionen für das Materialflusssystem .....	128
4.6	Biomasse-Forst-Papier-Möbelkonsum.....	128
4.6.1	Überblick Materialflusssystem: Hauptroute .....	128
4.6.2	Übersicht Papierherstellung- und -verbrauch in Deutschland .....	129
4.6.3	Übersicht Möbelkonsum in Deutschland .....	137
4.6.4	Wichtige bestehende Regelungen.....	143
4.6.5	Zusammenfassung der Handlungsoptionen für das Materialflusssystem .....	147
<b>5</b>	<b>Übersicht zu Potenzialen und Handlungsoptionen.....</b>	<b>147</b>
<b>6</b>	<b>Weiterer Untersuchungsbedarf und relevante Datenlücken. 150</b>	
6.1	Untersuchungsbedarf zur Erschließung relevanter Potenziale .....	150
6.1.1	Materialflusssystem Eisenerz-Stahl-Fahrzeugbau-PKW-Konsum.....	150
6.1.2	Materialflusssystem Erdöl/Erdgas-Erdölverarbeitung- Kraftstoffkonsum.....	151
6.1.3	Materialflusssystem Steine&Erden-Zement-Beton-Wohngebäude ...	151
6.1.4	Materialflusssysteme Biomasse-Pflanzenverarbeitung- Brotkonsum sowie Biomasse-Tierfutter-Tierhaltung- Fleischkonsum.....	152
6.1.5	Materialflusssystem Biomasse-Forst-Papier-Möbelkonsum.....	153

6.2	Schließung wichtiger Datenlücken.....	153
	<b>Anhang 1: Literatur.....</b>	<b>154</b>
	<b>Anhang 2: Mitglieder der Steuerungsgruppe .....</b>	<b>159</b>
	<b>Anhang 3: Übersicht besonders relevanter Daten für die Vorauswahl.....</b>	<b>160</b>

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 3.1	Identifizierte Sektoren/produzierte Güter, ihre Menge und Prozesse (Jahr 2000) .....	11
Tabelle 3.2	Identifizierte Konsumgüter, ihre Menge und Prozesse (Jahr 2000) .....	13
Tabelle 4.1	Entwicklung des Stahlschrottaufkommens in Deutschland (in Mio. t).....	31
Tabelle 4.2	Lieferleistungen der deutschen Stahlrecycling-Industrie in Deutschland (in Mio. t).....	33
Tabelle 4.3	Rohstoffeinsatz in der Stahlindustrie im Jahr 2002 .....	34
Tabelle 4.4	Zukünftiger Primärenergieverbrauch in der Stahlindustrie .....	38
Tabelle 4.5	Zukünftiger Primärenergieverbrauch in der Stahlindustrie in Abhängigkeit vom Elektrostahlanteil.....	38
Tabelle 4.6	Entwicklung deutsche Produktion nach Hubraum .....	42
Tabelle 4.7	Export nach Fahrzeugart (2004).....	42
Tabelle 4.8	Export von PKW und Nutzfahrzeugen nach Exportregionen/-ländern.....	43
Tabelle 4.9	Ökobilanz eines Mercedes-Benz und eines VW Golf [MB 2005], [VW 2000].....	45
Tabelle 4.10	Vergleich der Gewichte von Baugruppen eines PKW nach konventioneller und optimierter (PNGV) Bauart .....	46
Tabelle 4.11	Herstellung, Import, Zulassung und Konsum von PKW (Otto und Diesel) nach Hubraumklassen in Stückzahlen .....	49
Tabelle 4.12	Fraktionen der Erdölaufarbeitung nach [Ecoinvent 2004] .....	64
Tabelle 4.13	Produktionsausstoß der Cracker in Europa, Quelle: [PlasticsEurope 2005] (eco-profile ethylene).....	65
Tabelle 4.14	Hauptsächliche Hersteller von Kunststoffen in Deutschland, Quelle: [VKE/PlasticsEurope 2005].....	67
Tabelle 4.15	Umweltwirkungen der Kunststoffherzeugung .....	74
Tabelle 4.16	Rohstoffeinsatz der Deutschen Zementindustrie 2004 [VDZ 2005a].....	86
Tabelle 4.17	Produktion, Absatz und Export der deutschen Zementindustrie 2004 [BDZ 2005], [VDZ 2005b] .....	87
Tabelle 4.18	Brennstoffeinsatz in der deutschen Zementindustrie 1994 und 2004, nach [VDZ 1996], [VDZ 2005b] .....	88
Tabelle 4.19	Produktgruppen der Betonindustrie .....	91
Tabelle 4.20	Wohnungen und Wohnfläche im Wohnungsbestand ABL von 1994 bis 2004 .....	97
Tabelle 4.21	Wohnungen und Wohnfläche im Wohnungsbestand NBL von 1994 bis 2004 .....	98
Tabelle 4.22	Wohnungen und Wohnfläche im Wohnungsbestand in Gesamtdeutschland von 1994 bis 2004 .....	98
Tabelle 4.23	Wohnungen und Wohnfläche im Wohnungsneubau in ABL von 1994 bis 2004 .....	99

---

Tabelle 4.24	Wohnungen und Wohnfläche im Wohnungsneubau in NBL von 1994 bis 2004 .....	99
Tabelle 4.25	Wohnungen und Wohnfläche im Wohnungsneubau in Gesamtdeutschland von 1994 bis 2004 .....	100
Tabelle 4.26	Abriss von Wohnungen und Wohnfläche in ABL von 1994 bis 2004.....	100
Tabelle 4.27	Abriss von Wohnungen und Wohnfläche in NBL von 1994 bis 2004.....	102
Tabelle 4.28	Abriss von Wohnungen und Wohnfläche in Deutschland von 1994 bis 2004 .....	102
Tabelle 4.29	Holzverbrauch der Möbelindustrie in Deutschland .....	139
Tabelle 4.30	Beispiel für Materialinput und -output bei Polstermöbeln [Sietz 2001].....	140
Tabelle 4.31	Abfallfraktionen von Möbeln [UEA 2005].....	141
Tabelle 4.32	Mindestzielvorgaben für die stoffliche Verwertung einzelner Stoffgruppen, aus Verpackungsabfällen bis 31.12.2008 .....	145
Tabelle 5.1	Übersicht Potenziale und Handlungsoptionen.....	148

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 3.1	Produzierte Güter – Treibhausgase total in 1000 t CO <sub>2</sub> Äquivalente.....	15
Abbildung 3.2	Produzierte Güter – Anteil der wichtigen produzierten Güter an den Kriterien .....	16
Abbildung 3.3	Produzierte Güter – kriteriumsspezifische, kumulierte Anteile der 13 selektierten produzierten Güter von 34 .....	17
Abbildung 3.4	Produzierte Güter – kumulierte Anteile der einzelnen Kriterien, jeweils bezogen auf die Gesamtbelastung der 34 produzierten Güter (ohne Berücksichtigung des Kriteriums KEA fossil).....	19
Abbildung 3.5	Konsumgüter – Treibhausgase total in 1000 t CO <sub>2</sub> -Äquivalenten.....	20
Abbildung 3.6	Konsumgüter – Anteil der wichtigen produzierten Güter an den Kriterien .....	21
Abbildung 3.7	Konsumgüter – kriteriumsspezifische, kumulierte Anteile der 13 selektierten produzierten Güter von 19 .....	22
Abbildung 3.8	Konsumgüter – kumulierte Anteile der einzelnen Kriterien, jeweils bezogen auf die Gesamtbelastung der 19 Konsumgüter (ohne Berücksichtigung des Kriteriums KEA fossil) .....	23
Abbildung 4.1	Materialflusssystem-Hauptroute: Eisenerz-Stahl-Fahrzeugbau-PKW-Konsum .....	29
Abbildung 4.2	Produktion von Rohstahl sowie Verbrauch von Stahl (Stahlverwendung) in Deutschland. Quelle: Statisches Jahrbuch der Stahlindustrie nach [Jochem 2004] .....	30
Abbildung 4.3	Spezifischer Energieeinsatz in GJ/t für die Rohstahlerzeugung.....	35
Abbildung 4.4	Spezifische CO <sub>2</sub> -Emissionen in der kg/t für die Rohstahlindustrie.....	35
Abbildung 4.5	Entwicklung der deutschen PKW-Produktion [VDA 2004].....	41
Abbildung 4.6	Produktion in Deutschland nach Hubraumklassen 1999 [VDA 1999].....	41
Abbildung 4.7	Exportentwicklung PKW Deutschland .....	43
Abbildung 4.8	Lageraufbau PKW-Konsum (PKW der Haushalte in Deutschland) .....	49
Abbildung 4.9	Materialflusssystem-Hauptroute: Erdöl/Erdgas-Erdölverarbeitung-Kraftstoffkonsum .....	58
Abbildung 4.10	Schematischer Aufbau einer Raffinerie .....	59
Abbildung 4.11	Prozentuale Beiträge der CO <sub>2</sub> - und SO <sub>2</sub> -Emissionen der Raffinerien in Deutschland im Vergleich zu den übrigen Sektoren [Fehrenbach 2004] .....	61
Abbildung 4.12	Entwicklung des Produktausstoßes der Mineralölwirtschaft [MWV 2004].....	62
Abbildung 4.13	Stammbaum der Kunststoffherzeugung, ausgehend von Erdgas und Rohöl nach [Ecoinvent 2004].....	65
Abbildung 4.14	Die Weltproduktion von Kunststoffen [PlasticsEurope 2004] .....	68

Abbildung 4.15	Verbrauch von Kunststoffen in 1990, 2004 und eine Vorausschau für 2010 [VKE/PlasticsEurope 2005] .....	69
Abbildung 4.16	Stoffstromschema für Produktion, Verarbeitung und Verbrauch sowie Abfall und Verwertung [consultic 2004] .....	70
Abbildung 4.17	Herkunft der Post-Consumer-Abfälle [consultic 2004].....	71
Abbildung 4.18	Abfallanfall und Verwertung von Kunststoffen [consultic 2004].....	72
Abbildung 4.19	Kunststoffverwendung in Deutschland nach Sektoren 2003 [PlasticsEurope 2004].....	73
Abbildung 4.20	Kunststoffverwendung in Deutschland nach Kunststoffart und Sektoren 2003 [VKE/PlasticsEurope 2005] .....	73
Abbildung 4.21	Materialflusssystem-Haupttroute: Steine&Erden-Zement- Beton-Wohngebäude.....	84
Abbildung 4.22	Materialflusssystem-Haupttroute: Biomasse- Pflanzenverarbeitung-Brotkonsum .....	115
Abbildung 4.23	Anteile der Produkte des Pflanzenbaus am Produktionswert.....	116
Abbildung 4.24	Anteil der Produkte des Pflanzenbaus an der Ackerfläche .....	116
Abbildung 4.25	Anteile der anderen Wirtschaftsbereiche an den Vorleistungen...	117
Abbildung 4.26	Materialflusssystem-Haupttroute: Biomasse-Tierfutter- Tierhaltung-Fleischkonsum .....	123
Abbildung 4.27	Produktionswert der tierischen Produkte .....	124
Abbildung 4.28	Vorleistungen anderer Wirtschaftsbereiche für die Landwirtschaft [Agrar 2005].....	125
Abbildung 4.29	Materialflusssystem Haupttroute: Biomasse-Forst-Papier- Möbelkonsum .....	129
Abbildung 4.30	Stoffstrom Papier (vereinfachte Darstellung).....	130
Abbildung 4.31	Papiermarkt Deutschland von 1990 bis 2004 .....	131
Abbildung 4.32	Stoffflussschema der Papierherstellung .....	132
Abbildung 4.33	Kumulierter fossiler Energieaufwand (KEA) und Wasserverbrauch für die Produktion einer Tonne graphischen Papiers .....	134
Abbildung 4.34	Umsatz der deutschen Möbelindustrie in Mio. DM [Sietz 2001] ...	138
Abbildung 4.35	Beschäftigte der deutschen Möbelindustrie [Sietz 2001].....	138
Abbildung 4.36	Umsatz der deutschen Möbelindustrie nach Produktgruppen [Sietz 2001].....	139



# 1 Einführung

## 1.1 Übersicht zu den Projektzielen

Das mit diesem Bericht dokumentierte gemeinsame Projekt von Öko-Institut und IFEU-Institut für das Bundesumweltministerium mit dem Kurztitel „Nachhaltiges Materialmanagement – Wichtige Potenziale in Deutschland“ schließt an eine Recherchearbeit des Öko-Instituts für das BMU hinsichtlich des Zusammenhangs zwischen Kreislaufwirtschaftspolitik und Stoffstromkonzepten an. In dem Bericht zu dieser „Literatur- und Datenrecherche zur Schaffung von Grundlagen für eine Fortentwicklung der Kreislaufwirtschaftspolitik zu einer nachhaltigen Stoffstrom- und Ressourcenpolitik“ [Öko-Institut 2004a] wurde empfohlen, ein orientierendes Screening bzgl. der besonders relevanten Stoff- bzw. Materialströme in Deutschland durchzuführen. Weiterhin wurde vorgeschlagen, die als prioritär identifizierten Stoff- bzw. Materialströme hinsichtlich ihrer bisherigen Adressierung durch die Kreislaufwirtschaftspolitik in Deutschland bzw. der EU abzugleichen.

Einen wichtigen übergreifenden Rahmen für die angestrebte Fortentwicklung der Kreislaufwirtschaftspolitik zu einer nachhaltigen Stoffstrom- und Ressourcenpolitik bildet die nationale Nachhaltigkeitsstrategie, welche die Bundesregierung im Jahr 2002 beschlossen hat [Bundesreg. 2002]. Innerhalb der Nachhaltigkeitsstrategie wurden 21 anspruchsvolle Nachhaltigkeitsziele, u. a. wichtige Umweltziele, gesetzt. Für den Kontext des BMU-Projekts „Ermittlung von relevanten Stoffen bzw. Materialien für eine stoffstromorientierte Ressourcen schonende Abfallwirtschaft“ sind vor allem die in Deutschland bis 2020 angestrebte Verdopplung der Energieproduktivität (Verhältnis von Bruttoinlandsprodukt zum Primärenergieverbrauch), ausgehend von 1990, wie auch die Verdopplung der Rohstoffproduktivität (Verhältnis von Bruttoinlandsprodukt zum Rohstoffverbrauch), ausgehend von 1994, wichtige Zielgrößen. Diese Ziele erfordern einen einschneidend zu optimierenden Umgang mit Energie und Rohstoffen. Bisher zeigen sich Fortschritte auf dem Weg zu den langfristigen Zielen. Die bisherigen Erfolge der Kreislaufwirtschaft haben daran einen bedeutenden Anteil.

Das BMU verbindet mit dem nachfolgend beschriebenen Projekt wichtige Erkenntnisse bzgl. der zusätzlich noch vorhandenen relevanten Potenziale zur Schonung von Energie und Rohstoffen sowie zur weiteren Minimierung von Schadstoffeinträgen in die Umwelt. Damit soll eine optimale Bündelung der weiteren Aktivitäten (z. B. Förderung von Innovationen, weiterer Untersuchungsbedarf) zur Erreichung der Nachhaltigkeitsziele unterstützt werden. Wichtige Fragen, die mit dem Projekt adressiert werden, sind:

- Wo sind die größten zusätzlichen Potenziale?
- Welche Relevanz haben Materiallager in der Technosphäre für die Schonung der Primärressourcen?

- Wo besteht der größte verbleibende Handlungsbedarf, d. h. welche Potenziale versprechen die größten Effekte?
- Welche Prioritäten sollen als nächstes gesetzt werden?

Die Kreislaufwirtschaft soll damit zu einer nachhaltigen Stoffstrom- und Ressourcenpolitik weiterentwickelt werden. Das Projekt konzentriert sich zwar ausschließlich auf die nationale Ebene, in diesem Kontext ist aber auf die EU-Ressourcenstrategie und die EU-Strategie für Abfallvermeidung und -recycling sowie die Aktivitäten der OECD zum „Sustainable Materials Management“ hinzuweisen. Die wesentlichen Ziele des BMU-Projekts sind:

- **Prioritätensetzung:** Ermittlung relevanter Stoffe bzw. Materialien,
- **Blick in die Zukunft:** Trends und Szenarien, Entwicklung der Stoff- bzw. Materiallager,
- **Abgleich:** Bisherige Adressierung durch die Kreislaufwirtschaftspolitik,
- **Politikberatung:** Identifikation der größten Potenziale im Hinblick auf die Nachhaltigkeitsstrategie der Bundesregierung (Rohstoffproduktivität, Energieproduktivität),
- **Wichtiges Nebenprodukt:** Aufdecken von relevanten Datenlücken.

Die Projektziele können, allgemein gesprochen, als wichtige Zwischenetappe unter dem Dach der Fortentwicklung der Kreislaufwirtschaft zur nachhaltigen Stoffstrom- und Ressourcenpolitik angesehen werden. Nach der mit dem Projekt erzielten Schwerpunktsetzung sollen konkrete weitere Schritte im Jahr 2006 folgen.

## 1.2 Rolle der Steuerungsgruppe

Ein wichtiges Element für die erfolgreiche Projektdurchführung stellte die Einberufung einer unabhängigen Steuerungsgruppe dar, die aus erfahrenen Experten der Bereiche Materialflussanalysen, Stoffstrommanagement und Kreislaufwirtschaft zusammengesetzt wurde. Neben zwei Fachvertretern des Umweltbundesamts konnten für die Steuerungsgruppe insgesamt fünf namhafte Fachleute aus dem Bereich der universitären und außeruniversitären Forschung sowie aus dem Bereich der Umweltverbände gewonnen werden.<sup>1</sup> Die Aufgabe der Steuerungsgruppe bestand darin, das Projektteam und das BMU zeitnah fachlich zu beraten und das Projekt kritisch konstruktiv zu unterstützen. Auf diese Weise sollte die Vorgehensweise von Öko-Institut und IFEU-Institut im Projekt durch Sichtweisen von weiteren Experten begleitet und auf eine breite Akzeptanz der Ergebnisse in der Fachwelt hingearbeitet werden. Insgesamt wurden in dem ca. halbjährigen Projekt drei Sitzungen in Berlin durchgeführt (im Juli, September und November 2005). Neben dem Verteilen der Sitzungsprotokolle und Präsentationen wurden die Mitglieder der Steuerungsgruppe während der Projektbearbeitung mit weiteren Dokumenten zu Zwischenschritten

---

<sup>1</sup> Die Mitglieder der Steuerungsgruppe sind im Anhang 2 namentlich aufgeführt.

und -ergebnissen auf dem Stand gehalten; sie unterstützten ihrerseits das Projektteam zeitnah mit Hinweisen und Vorschlägen.

In der ersten Sitzung der Steuerungsgruppe wurden in erster Linie die Projektziele, Begriffsbestimmungen und die methodische Herangehensweise diskutiert. Wichtige Hinweise wurden von Seiten der Steuerungsgruppe u. a. zu den Begriffsbestimmungen geliefert. Es wurde deutlich, dass vor allem im deutschsprachigen Raum keine einheitliche Verwendung von Begriffen wie Stoff, Material, Stoffstromanalyse, Materialflussanalyse etc. erkennbar ist. Zur Vermeidung von Missverständnissen wurde daher auf diesen Punkt zu Recht Wert gelegt (vgl. nächsten Abschnitt). In der zweiten Sitzung der Steuerungsgruppe wurden schließlich wichtige Zwischenergebnisse diskutiert. Die Steuerungsgruppe bestärkte dabei das Projektteam, den Kern des Projekts auf einen qualifizierten Überblick über die prioritären Stoff- bzw. Materialströme zu legen und nicht unangemessen tief einzelne Details zu untersuchen. Weiterhin wurde dem Projektteam und dem BMU empfohlen, Schadstoffaspekte nur in Fällen besonderer Relevanz dezidiert herauszustellen und aus Gründen der begrenzten zeitlichen Ressourcen nicht mit eigenen Stoffstromanalysen anzugehen.

Auf der dritten und abschließenden Sitzung der Steuerungsgruppe wurden schließlich die Projektergebnisse vorgestellt und ausgiebig mit den Fachleuten diskutiert. Es bestand Einigkeit, dass die Projektergebnisse eine gute Voraussetzung für sich nach dem Projekt anschließende vertiefende Untersuchungen bzw. Aktivitäten des BMU bilden.

Der zweimonatige Turnus der Sitzungen der Steuerungsgruppe kann im Vergleich mit vielen anderen Projekten als sehr dicht eingestuft werden. Allerdings wurde hierdurch und durch das überdurchschnittliche Engagement der Mitglieder der Projektsteuerungsgruppe das Projekt hervorragend unterstützt und effizient befruchtet. Das Projektteam aus Öko-Institut und IFEU-Institut möchte daher an dieser Stelle den Mitgliedern der Steuerungsgruppe ausdrücklich danken.

### **1.3 Wichtige Begriffsbestimmungen**

Sowohl die Diskussion auf der 1. Sitzung der Steuerungsgruppe als auch die Recherchen von Öko-Institut und IFEU-Institut zu diesem Thema machten deutlich, dass vor allem im deutschsprachigen Raum sowohl in diversen Lehrbüchern als auch in zahlreichen Fachpublikationen häufig unterschiedliche Definitionen oder zumindest unscharfe Verwendungen von Begriffen wie „Stoff“, „Material“, „Stoffstromanalyse“ bzw. „Stoffflussanalyse“ etc. bestehen (Die Qualität der vielen Arbeiten zum Thema z. B. von diversen Enquete-Kommissionen in Deutschland soll damit in keiner Weise in Frage gestellt werden).

Das Projektteam griff daher gerne den Vorschlag von Prof. Brunner (Mitglied der Steuerungsgruppe) auf, sich für die Kommunikation der Projektarbeiten an den Begriffen und Definitionen des Regelblattes 514 „Die Anwendung der Stoffflussanalyse

in der Abfallwirtschaft“ des Österreichischen Wasser- und Abfallwirtschaftsverbandes zu orientieren [ÖWAV 2003]. Die dort verwendeten Definitionen zeichnen sich durch Klarheit aus, lassen jedoch auch aufgrund der dort eingeflossenen Erfahrungen ausreichend Spielräume; d. h. unnötig enge Eingrenzungen, die nicht zielführend im Sinne des Projekts gewesen wären, waren nicht zu besorgen.

Die für das BMU-Projekt wichtigsten Begriffsbestimmungen seien hier zitiert [ÖWAV 2003]:

Ein **Stoff** besteht aus identischen Einzelteilen und ist demzufolge ein chemisches Element (Einzelteil Atom, z. B. Stickstoff, Kohlenstoff oder Kupfer) oder eine chemische Verbindung in reiner Form (Einzelteil Molekül, z. B.  $\text{NH}_3$ ,  $\text{CO}_2$  oder Kupfersulfat). Keine Stoffe sind beispielsweise Trinkwasser, da es nicht nur aus reinem Wasser, sondern auch aus Kalzium und vielen Spurenelementen besteht, oder PVC, da es neben polymerisiertem Vinylchlorid auch Additive enthält.

**Material (engl.: material)** ist ein allgemeiner Begriff, der sowohl Güter als auch Stoffe umfassen kann und damit Rohmaterialien sowie alle bereits vom Menschen durch physikalische oder chemische Prozesse veränderten Stoffe einschließt. Der Begriff Material wird dann verwendet, wenn Güter und Stoffe betrachtet werden oder wenn man sich noch nicht festlegen will, auf welcher Ebene (Güter oder Stoffe) eine Untersuchung durchgeführt werden soll.

Mittels einer **Stoffflussanalyse (SFA)** werden in einem zeitlich und räumlich exakt abgegrenzten System alle auftretenden Import-, Export-, Input- und Outputflüsse von Gütern und Stoffen quantifiziert und die Prozesse innerhalb dieses Systems bilanziert. Bei der Bilanzierung wird das Massenerhaltungsgesetz berücksichtigt. Das untersuchte System kann ein Einzelprozess oder eine Verknüpfung vieler Prozesse einschließlich der Unterprozesse sein.

Die **Güterflussanalyse (GFA)** entspricht der Definition der Stoffflussanalyse. Im Unterschied zur Stoffflussanalyse werden in einer Güterflussanalyse ausschließlich Güterflüsse untersucht.

Die **Materialflussanalyse (MFA) (engl. material flow analysis)** entspricht ebenfalls der Definition der Stoffflussanalyse. Analog zur Verwendung des Begriffs „Material“ kann der Begriff „MFA“ sowohl für Güter- als auch für Stoffbilanzen verwendet werden. MFA ist ein oftmals gebrauchter Begriff, der nicht immer im strengen Sinne, wie in diesem Regelblatt definiert, gebraucht wird.

## 2 Untersuchungsmethodik

Wie aus dem vorangegangenen Abschnitt zu entnehmen ist, kann der Begriff **Materialflussanalyse** umfassend verstanden und verwendet werden. Entsprechend können Materialflussanalysen mit unterschiedlichem Erkenntnisinteresse durchgeführt werden. Je nach angelegter Herangehensweise wird aus der Materialflussanalyse eine

1. Stoffflussanalyse: Hier wird der Lebensweg von definierten Elementen bzw. Molekülen verfolgt. Das Erkenntnisinteresse richtet sich auf die Zirkulation dieser Substanzen und ihren Verbleib. Wichtige Beispiele hierfür sind die Cadmiumbilanz oder die Nitratbilanz.
2. Güterflussanalyse: In diesen Analysen wird der Lebensweg von Gütern eines definierten Sektors betrachtet, ihre Herstellung und ihr Verbleib. Untersuchungsgegenstand sind die hiermit verbundenen allgemeinen Umweltauswirkungen, effizienter Ressourceneinsatz sowie der Abfallverbleib. Ein Beispiel für eine Güterflussanalyse ist die „textile Kette“ oder der Bereich Eisen & Stahl. In einer sektorübergreifenden Materialflussanalyse von Bedürfnisfeldern werden verschiedene Güterflussanalysen integriert, um komplexe Bedürfnisfelder wie Wohnungsbau oder Verkehr abzubilden.

Die Auflistung macht deutlich, dass der Typ von Materialflussanalyse bzw. die dahinter stehende Fragestellung das Erkenntnisinteresse weitgehend determiniert.

So erklärt die Stoffflussanalyse Herkunft und Verbleib von definierten Elementen bzw. Molekülen sowie ihre natürlichen wie anthropogenen Quellen und Senken. Liegen unerwünschte Konzentrationen vor, so vermag die Analyse als Entscheidungshilfe zur Abwägung von Maßnahmen dienen. Diese aufwendige Form der Analyse ist hocheffizient für definierte Elemente bzw. Moleküle. Da sie allerdings nicht mit der wirtschaftlichen Umgebung verflochten ist, bedarf sie weiterer sektoraler Informationen.

Im Gegensatz dazu ist die Güterflussanalyse sehr viel breiter aufgestellt. Als vorteilhaft wird bei der Güterflussanalyse die direkte Zuordnung von einzelnen Prozessen in der gesamten Wirtschaft angesehen und zwar sowohl hinsichtlich der wirtschaftlichen Zusammenhänge als auch ihrer Umweltwirkung. Damit bietet sich die Möglichkeit, Zusammenhänge aufzuzeigen und damit verbundene Akteure zu identifizieren. Hierdurch wird versucht, die Vernetzung der Wirtschaft über Angebots- und Nachfragestrukturen auch in ihrer Umweltwirkung deutlich zu machen. So ist z. B. die deutsche Stahlindustrie als ein relevanter Emittent z. B. von Treibhausgasen schon allein dadurch von großem Interesse. Ihre wahre Bedeutung wird allerdings erst deutlich, wenn die Stahlindustrie als ein Baustein entlang der Wertschöpfungskette, d. h. Stahl neben seinen Konkurrenten in einem Materialkontext gesehen wird.

Für die Erreichung der Projektziele wurden Materialflussanalysen herangezogen, die im Kern dem Typ der Güterflussanalyse entsprechen. Da der Begriff Material-

flussanalyse Güterflussanalysen mit inkludiert und zudem eine erheblich weitere Verbreitung im deutschen bzw. angelsächsischen Sprachgebrauch (material flow analysis) aufweist, wird in der weiteren Dokumentation von **Materialflussanalysen** (MFA) gesprochen. Für die notwendige Prioritätensetzung der besonders relevanten Materialien wurden in Abstimmung mit dem BMU im Rahmen des halbjährigen Projekts keine eigenen Primärdaten erhoben, sondern es wurde vielmehr auf die zahlreichen in der Fachliteratur vorhandenen Datenbestände zurückgegriffen.

### 3 Vorauswahl wichtiger Materialströme

In dieser Studie sollen die Umweltbelastungen der Aktivitäten in Deutschland (Produktion und Konsum) durch Materialflussanalysen abgebildet und eine Prioritätensetzung für eine nachhaltige Stoffstrom- und Ressourcenpolitik erreicht werden. Für eine systematische Herangehensweise ist es aber notwendig, sowohl die Umweltbelastungen als auch die wirtschaftlichen Aktivitäten zu bestimmen und einzugrenzen. Auf Grund der Kürze der Laufzeit dieses Projekts musste die Bearbeitungstiefe wie die Bearbeitungsbreite in Abstimmung mit der Steuerungsgruppe ausgewogen gestaltet werden. Hierzu wurde zweistufig vorgegangen: Einer groben Vorauswahl im ersten Schritt folgte eine Detailanalyse weniger, aber als besonders relevant erkannter Aktivitäten im zweiten Schritt.

In der Vorauswahl (erster Schritt) wurden

1. Kriterien zur ersten Bewertung aufgestellt, die wichtige Umweltbelastungen umfassen,
2. Materialströme von wirtschaftlichen Aktivitäten strukturiert,
3. die Umweltbelastungen anhand der vorher aufgestellten Kriterien für die festgelegten Aktivitäten bestimmt,
4. eine Prioritätensetzung getroffen.

Die Vorauswahl wird in dem folgenden Unterkapitel beschrieben. Die Detailanalyse der als relevant identifizierten Materialströme folgt im Kapitel 4.

#### 3.1 Kriterien zur ersten Bewertung von Materialströmen

Die Kriterien zur Vorauswahl müssen hauptsächlich zwei Bedingungen genügen. Sie müssen zum einen die zu betrachtenden Umweltbelastungen möglichst weitgehend abdecken, aber zum anderen sollten für sie Daten bezüglich der Materialien verfügbar sein. Daher wurde im Rahmen der Steuerungsgruppe beschlossen, dass für eine zeitnahe und effiziente Vorauswahl die Anzahl der Kriterien eher eingegrenzt werden sollte. Die Verwendung einer Reihe von Kriterien, insbesondere von ökologischen Sonderprüfkriterien, d. h. Kriterien, welche nur in wenigen Materialströmen hohe Relevanz aufweisen, wurde für die sich anschließende Vertiefungsphase der vorausgewählten Materialströme zurückgestellt.

Folgende sieben ökologische Kriterien wurden für die Vorauswahl ausgewählt und entsprechende Daten recherchiert:

- Treibhausgasemissionen (CO<sub>2</sub>-Äquivalente),
- Säurebildner (SO<sub>2</sub>-Äquivalente),
- Rohstoffe – mineralisch,
- Rohstoffe – metallisch,
- Rohstoffe – biotisch,

- Kumulierter Energieaufwand (KEA) – gesamt,
- Kumulierter Energieaufwand (KEA), fossil.

Der KEA-fossil wurde zwar erhoben, aber die Ergebnisse in der endgültigen Auswertung nicht weiter berücksichtigt, da KEA-fossil sich für die betrachteten wirtschaftlichen Aktivitäten zum einen weitgehend parallel mit den Treibhausgasemissionen entwickelt und zum anderen wichtiger Bestandteil von KEA-gesamt ist. Daher würde dieses Kriterium quasi „doppelt“ gezählt.

Bei der Datenrecherche zeigte sich, dass für diese Kriterien für die meisten der untersuchten Materialströme Daten vorliegen (Fragen zur Datenqualität sollen im Detail in der Vertiefungsphase angegangen werden).

Zusätzlich wird der wirtschaftliche Einfluss der Aktivitäten indirekt über das monetäre Produktionsvolumen sowie über das Gewicht der Güter berücksichtigt.

### **3.2 Wirtschaftliche Aktivitäten: Sektorenblick, Konsumentenblick**

Die wirtschaftlichen Aktivitäten müssen definiert werden, um für das Auswahlverfahren handhabbar zu werden. Hierbei wurde als Kriterium auch die Notwendigkeit der Datenverfügbarkeit bedacht, da die Aktivitäten auch mit wirtschaftlichen Indikatoren untermauert werden müssen.

Es wurden zwei Möglichkeiten identifiziert, die einen umfassenden, aber auch effizienten Weg beschreiben:

1. Sektorenblick: Die Aktivitäten werden anhand der Produktionsstatistik gegliedert und beschrieben. Die Gliederung umfasst die Produktion in Deutschland und entspricht den üblichen Sektoren bzw. Branchen.
2. Konsumentenblick: Die Gliederung umfasst die in Deutschland konsumierten Güter inklusive der importierten Konsumgüter und wird über die Konsumstatistik (SEA<sup>2</sup>) dargestellt.

Beide Herangehensweisen haben ihre Vorteile. Der Sektorenblick konzentriert die Sichtweise auf die in Deutschland produzierten Güter. Innerhalb dieser Sichtweise liegt der Fokus auf den mit der Produktion in Deutschland verbundenen Umweltbelastungen. Diese Sichtweise wird hauptsächlich die technologische Situation der Sektoren (Effizienz etc) beleuchten. Der Hauptakteur ist die in Deutschland ansässige Industrie. Im Gegensatz dazu fokussiert der Konsumentenblick die in Deutschland konsumierten Güter. Einige Konsumgüter werden in Deutschland nur noch in geringem Ausmaß hergestellt. Hier rücken Konsumeigenschaften der Produkte in den Vordergrund, z. B. Abfalleigenschaften.

In dieser Studie wurden beide Bereiche (Sektorenblick, Konsumentenblick) berücksichtigt, um nicht zuletzt auch im Hinblick auf die unterschiedlichen zu adressieren-

---

<sup>2</sup> Ausgaben der privaten Haushalte nach Verwendungszwecken, SEA.

den Politikbereiche eine möglichst breite Aussage treffen zu können. Dies wird durch eine weitgehende Überschneidung der beiden Ansätze hinsichtlich der zu nutzenden Daten erleichtert.

Für die Vorauswahl wurde der Schwerpunkt zwar auf die Sektoren und den Konsum gelegt. Ressourcenfragen spielen jedoch – wie zu sehen sein wird – dabei eine erhebliche Rolle.

### 3.2.1 Sektorenblick

Die vom produzierenden Gewerbe erzeugten Güter in Deutschland sind in der Produktionsstatistik verzeichnet. In der Darstellung dieses Projekts wurde eine Gliederung nach 47 Gütergruppen (Sektoren, Branchen) genutzt. Das Auswahlverfahren wurde auf der Basis von ca. 1700 Unterpositionen durchgeführt, die in der Produktionsstatistik aufgeführt sind. Hieraus wurden die jeweils 200 relevantesten Positionen nach Menge und Wert ermittelt. Für diese erste Vorauswahl wurde ein erster Filter über die Grenze mehr als 700.000 Jahrestonnen bzw. mehr als 1,3 Mrd. Euro Wertschöpfung/a angelegt. Für die Kriterien Menge und Wert sind über die Statistik konsistente Daten verfügbar. Wertschöpfung/a ist aufgrund der damit ausgedrückten wirtschaftlichen Bedeutung des Produkts für Deutschland und der mit hoher Wertschöpfung häufig verbundenen komplexen Vorketten ein interessantes Kriterium. Hohe Wertschöpfung kann z. B. eine Vielzahl von Prozessvorstufen, eine Vielzahl von Halbzeugen und Bauelementen sowie einen hohen Energie- und Materialeinsatz in Prozessvorstufen oder -endstufen ausdrücken. Das Kriterium ist daher ein gutes Pendant zum Kriterium Menge.<sup>3</sup>

Diese 200 Positionen wurden den 47 Sektoren zugeordnet.<sup>4</sup> Für jeden Sektor entsteht hieraus die Menge (der relevantesten Positionen) sowie die wichtigste Einzelposition. Für 14 Sektoren ergab das Verfahren jeweils nur eine Position, die nach Menge und Wert den Sektor dominiert. Für die anderen Sektoren wurde eine Position als "typisch" ermittelt. Es handelt sich hierbei häufig um die mengenrelevanteste Position. Aus jedem Sektor (Gütergruppe) wurde somit eine Einzelposition ausgewählt, deren spezifische Umwelteigenschaften die der Gütergruppe möglichst repräsentiert. Dann erfolgte eine Hochrechnung auf die Umweltbelastungen der Sektoren durch Multiplikation der ermittelten Menge des Sektors mit den spezifischen Umweltbelastungen der ausgewählten Einzelposition.

---

<sup>3</sup> So weist z. B. Kies eine hohe Relevanz nach Mengengesichtspunkten auf. Je Tonne ist die Wertschöpfung hingegen eher gering. Für viele Elektronikprodukte verhält es sich jedoch z. B. gerade umgekehrt.

<sup>4</sup> Von den insgesamt 47 Sektoren wurden 13 für die weitere Vorauswahl aus verschiedenen Gründen nicht berücksichtigt (vgl. Abschnitt 3.6). Die Liste der Sektoren reduziert sich für die weitere Arbeit somit auf 34.

In der Tabelle 3.1 sind die verbliebenen Sektoren bzw. produzierten Güter mit der ausgewählten Position aufgeführt, für welche Daten recherchiert und herangezogen wurden.

Tabelle 3.1 Identifizierte Sektoren/produzierte Güter, ihre Menge und Prozesse (Jahr 2000)

Menge in Mio. t	Sektoren/Produzierte Güter	Verwendete Daten/Prozesse
35,0	Erz. Roheisen/Stahl	Warmbreitband
3,4	Rohre	Stahlrohr
5,6	Erste Bearbeitung Eisen & Stahl	Warmwalzstahl
16,2	Fahrzeugbau	PKW
118,4	Kokerei/Mineralöl	Diesel
18,9	Erdöl/Erdgas	Erdgas-deutsch
5,3	Kunststoffwaren	LDPE/HDPE-Mix
0,1	Gewebe aus Chemiefasern	PET
1,1	Gummiwaren	Gummi-EPDM
445,6	Gew. Steine und Erden	Kies
5,1	Naturstein	Steinplatten
48,3	Zement/Kalk/Gips	Zement
184,0	Erz. Beton	Beton
15,0	Ziegel und andere Baukeramik	Ziegel
21,6	Pflanzenbau	Mais-Körner (konventionell)
6,1	Mahl- u. Schalmühlen	Mahlen/Weizen
14,6	Sonst. Ernährungsgewerbe	Zucker
13,0	Obst/Gemüse/Öle/Fette	Saft
31,2	Getränkeherstellung	Bier
39,7	Tierhaltung	Kuhmilch
6,5	Fleischverarbeitung	Schweinefleisch
17,2	Milchverarbeitung	Milch
47,6	Forstwirtschaft	Fichte
27,6	Holzgewerbe	Spanplatten
21,1	Papiergewerbe	Papier gestrichen
9,2	Verlag & Druck	Zeitungen
0,8	Möbel	Möbel für Schlafzimmer
128,2	Kohlenbergbau Torfgewinnung	Braunkohle (Mix-rheinisch-Lausitz)-
1,5	NE-Metalle	Aluminium (Mix primär und sekundär)
4,7	Glas	Behälterglas
0,8	Keramik	Ziegel
16,7	Sonst. Mineralerz.	Asphalt

### 3.2.2 Konsumentenblick

Aus der Bundesstatistik abgeleitet, wird der Konsum der Bevölkerung an deutschen und importierten Waren über eine Liste von 108 Konsumgütergruppen<sup>5</sup> abgebildet. In jeder Konsumgütergruppe (kurz Konsumgüter) wurden ähnliche Produkte und Dienstleistungen des Gewerbes und Handels zusammengefasst. Die Konsumgüter bestehen somit aus unterschiedlich vielen Produkten, die teilweise auch sehr inhomogen sind. Für dieses Projekt werden nur materielle Güter betrachtet. Dienstleistungen und Ähnliches bleiben außen vor. Der Wohnungsbau zählt nicht zum Konsum, sondern zur Investition. Er stellt aber den einzigen großen Investitionsbereich der Haushalte dar und ist darüber dem Konsum verbunden. Dieser Bereich wurde auch aufgrund seiner großen Bedeutung für Stoffströme und Ressourcen zusätzlich zu den Konsumgütern einbezogen. 19 relevante Konsumgütergruppen verbleiben für die weitere Vorauswahl.<sup>6</sup>

---

<sup>5</sup> Ausgaben der privaten Haushalte nach Verwendungszwecken, SEA.

<sup>6</sup> Eine weitere interessante Gruppe sind die Informationsverarbeitungsgeräte (Computer etc.). Hierfür konnten bislang noch keine überzeugenden LCA-Daten gefunden werden.

Tabelle 3.2 Identifizierte Konsumgüter, ihre Menge und Prozesse (Jahr 2000)

Menge in Mio. t	Konsumgüter (Kurzform)	Verwendete Daten/Prozesse
4,0	Kraftfahrzeuge	PKW (Golf A4, 1,4 l 55 kW Otto)
59,7	PKW-Kraftstoffe	Diesel
25,8	Heizöl	Öl (leicht)
21,9	Gas	Erdgas (Mix-Deutschland)
156,9	Wohngebäude	Wohngebäude (Neubau + Instandhaltung)
4,6	Instandhaltung HH	Schnittholz/Furnier
18,0	Brot	Brot (Brotindustrie Deutschland)
16,1	Gemüse	Kartoffeln (Deutschland)
9,1	Getränke	Obstsafte
5,8	Zuckerhalt. Produkte	Marmelade
5,8	Bier	Bier
4,9	Obst	Äpfel
5,5	Fleischwaren	Tiefkühl-Schweinefleisch
11,3	Molkereiprodukte	Molkereiprodukte (Mix)
4,4	Möbel	Schnittholz/Kunststoff
4,0	Zeitungen	Zeitungspapier (Ab Regionallager, EU)
13,6	Feste Brennstoffe	Braunkohle (Mix Leipzig/Lausitz/Rheinisch)
3,7	Gartenerzeugnisse	Betonpflaster
3,2	Gebrauchsgegenstände	Leder/Eisen

### 3.2.3 Datenquellen und Darstellung der Ergebnisse

Für die Datenrecherche wurden diverse Datenquellen herangezogen; insbesondere die Datenbanken GEMIS, BASiS-2, Eco-Invent sowie diverse Arbeiten des IFEU-Instituts, welche wiederum selbst auf Daten aus mehreren Dutzend Quellen beruhen. Die eingesetzten Daten sind zumeist LCA-(Ökobilanz-)Daten. Alle Daten beinhalten die Vorkette bis zur Ressourcenschöpfung, unabhängig davon, ob diese Produktionsschritte und die damit verbundenen Umweltwirkungen innerhalb oder außerhalb Deutschlands stattfinden. Eine Ausnahme besteht für Energieträger. Bei ihrer KEA-Berechnung wird der Heizwert nicht mit einbezogen.

Die Ergebnisse werden in folgenden ausgewählten Graphiken für beide Herangehensweisen dargestellt. Die Graphiken haben sich als besonders aussagefähig und praktikabel erwiesen:

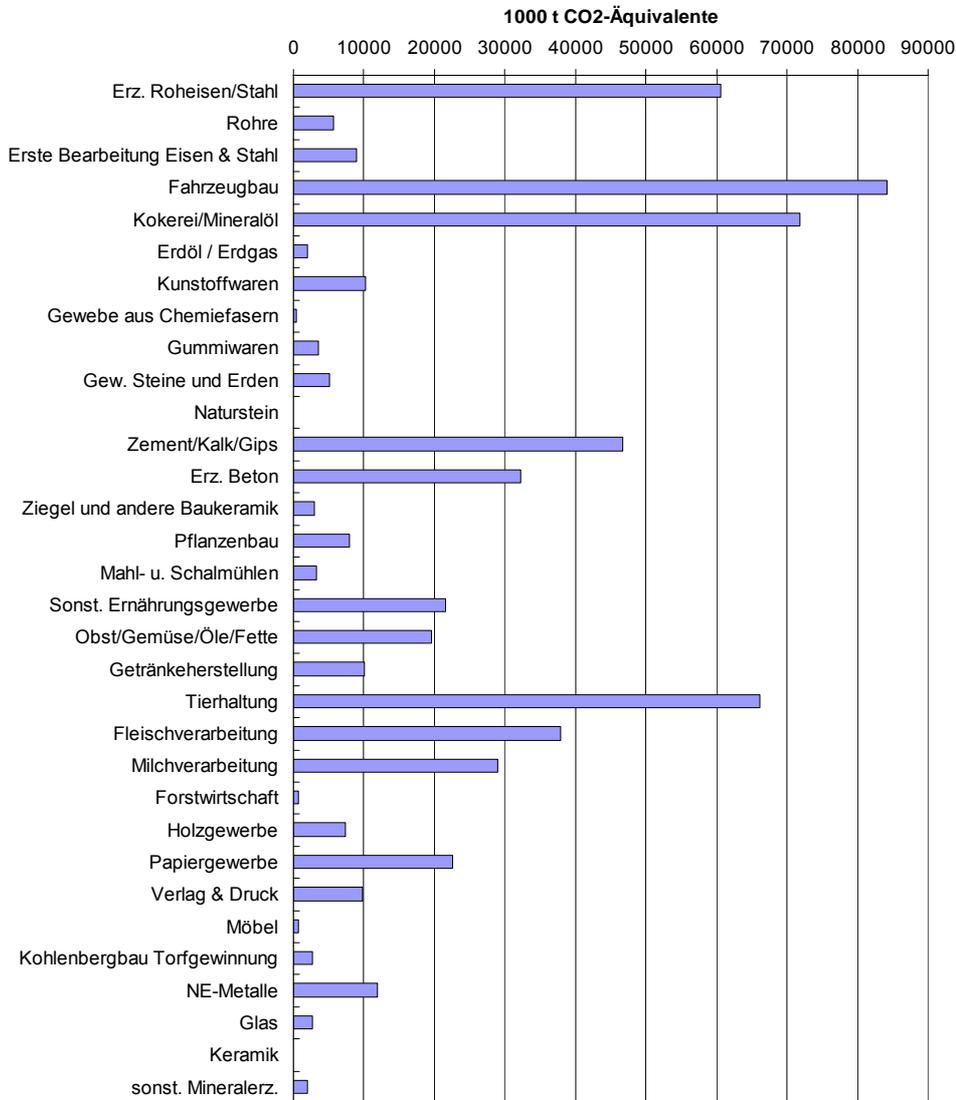
1. Treibhausgasemissionen: Am Beispiel des Kriteriums Treibhausgasemissionen sind die absoluten Ergebnisse (Multiplikation der spezifischen Werte mit der nationalen Menge) in Abb. 3.1 aufgeführt.
2. Alle Kriterien (mit mehr als 5 %): Für alle Kriterien wurde der Anteil einer Position an der Summe aller Güter berechnet. In Abb. 3.2 „Anteile der wichtigen produzierten Güter an den Kriterien“ sind ab einer Schwelle von 5 % die Anteile der Güter aufgeführt, die in mindestens einem Kriterium mindestens 5 % Anteil aufweisen. Diese Art der Darstellung soll zunächst die Übersichtlichkeit bei der Visualisierung erhöhen.
3. Kumulierte Anteile je Kriterium: In Abb. 3.3 „Produzierte Güter – kriteriumsspezifische, kumulierte Anteile der 13 selektierten produzierten Güter von 34“ ist in den Kurvenverläufen der kumulierte Anteil einer reduzierten Anzahl von Güterströmen aufgeführt. Die Endpunkte der Kurven (rechts) illustrieren, wie hoch der Abdeckungsgrad der einbezogenen Güter am Gesamtergebnis ist.
4. Kumulierte Anteile je Einzelposition: Schließlich ist anschließend die Abb. 3.4 „Produzierte Güter – Kumulierte Anteile der einzelnen Kriterien, jeweils bezogen auf die Gesamtbelastung der 34 produzierten Güter (ohne Berücksichtigung des Kriteriums KEA fossil)“ dargestellt. Die Anteile sind nicht gewichtet, sondern gleichwertig. Die Darstellung illustriert die Prioritätensetzung im Rahmen des Projekts bzgl. einer nachfolgenden intensivierten Analyse und Darstellung der Materialströme.

Die Graphiken der Konsumgüter weisen die gleiche Abfolge an Ergebnisgraphiken auf wie für die produzierten Güter („Sektorenblick“). Die Prioritätensetzung selbst war zentraler Gegenstand der Diskussion auf der 2. Sitzung der Steuerungsgruppe.

### **3.3 Vorauswahl produzierte Güter/Sektoren**

Abb. 3.1 zeigt die Ergebnisse für die Treibhausgasemissionen der produzierten Güter. Die vier Sektoren mit den höchsten Emissionen sind der Fahrzeugbau, Roheisen & Stahl, Kokerei/Mineralöl (Raffinerien) sowie Tierhaltung. Weitere wichtige Sektoren sind die chemischen Grundstoffe, Zement/Kalk/Gips, Betonerzeugnisse, sowie Fleischverarbeitung und Milchverarbeitung.

Abbildung 3.1 Produzierte Güter – Treibhausgase total in 1000 t CO<sub>2</sub> Äquivalente



Für das Kriterium KEA-gesamt/fossil stellen Fahrzeugbau, Kokerei/Mineralöl, chemische Grundstoffe und Zement/Kalk/Gips die wichtigsten Sektoren dar. In Relation dazu sind die Sektoren Fleischverarbeitung und Milchverarbeitung sowie die Tierhaltung von geringerer Bedeutung. Bei diesen Sektoren wirken sich die Treibhausgasemissionen von nichtenergetischen Emissionen (Methan, Lachgas) besonders aus.

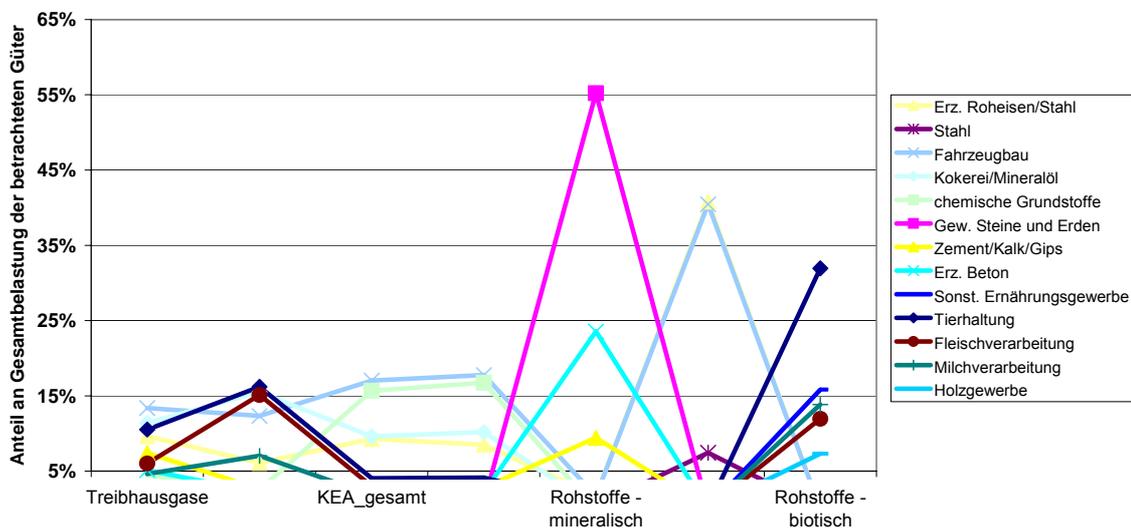
Umgekehrt verhält es sich bei dem Kriterium „Versauerung“. Hier sind die Sektoren Tierhaltung sowie Fleischverarbeitung und Milchverarbeitung aufgrund der nicht-energetischen Ammoniakemissionen deutlich wichtiger.

Wie in Abb. 3.2 ersichtlich, sind für das Kriterium „Rohstoffe biotisch“ die Sektoren Tierhaltung, Fleischverarbeitung und Milchverarbeitung, sonstiges Ernährungsgewerbe

sowie das Holzgewerbe besonders relevant. Das Kriterium „Rohstoffe-metallisch“ wird von dem Sektor Roheisen & Stahl sowie der Stahlverarbeitung dominiert. Die Sektoren Gewinnung von Steine & Erden, Erzeugung von Beton sowie die Zement-, Kalk- und Gips-erzeugung bestimmen das Kriterium „Rohstoffe-mineralisch“.

Abbildung 3.2 Produzierte Güter – Anteil der wichtigen produzierten Güter an den Kriterien

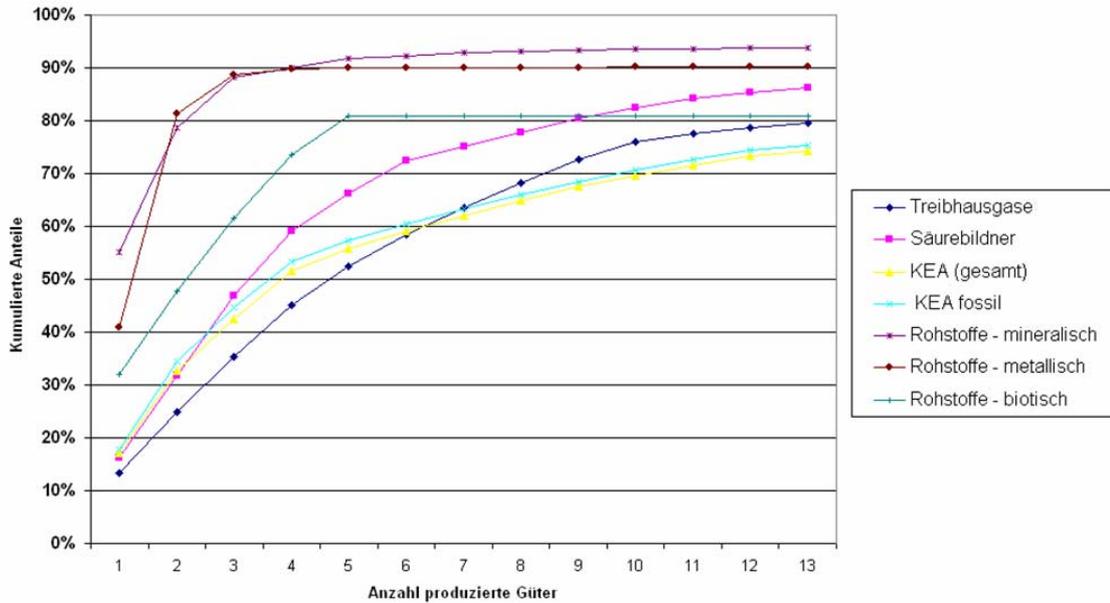
Selektiert wurden alle produzierten Güter, die in mindestens einem Kriterium einen größeren Betrag als 5 % der absoluten Gesamtbelastung (der untersuchten produzierten Güter) erreichen. Von diesen ausgewählten produzierten Gütern werden nur die Beiträge dargestellt, die größer als 5 % sind. Insgesamt wurden 13 von 34 produzierten Gütern selektiert.



In Abb. 3.3 wird der kumulierte Beitrag zu den einzelnen Kriterien dargestellt. Hierdurch soll abgeschätzt werden, wie viele Sektoren für eine sinnvolle Abbildung des jeweiligen Kriteriums notwendig sind. Es ist hierbei zu beachten, dass die Beiträge der Sektoren für jedes Kriterium einzeln nach Beitrag sortiert worden sind. Ein Sektor wird somit bei einem Kriterium an erster Stelle aufgeführt, wenn der Sektor den höchsten Beitrag liefert. Derselbe Sektor findet sich bei einem anderen Kriterium entsprechend seinem Beitrag an anderer Stelle.

Die Graphik macht deutlich, dass mit 13 ausgewählten Sektoren für die verschiedenen Kriterien eine gute Abdeckung erzielt wird. Hierbei wird für das Kriterium „Rohstoffe-mineralisch“ und „Rohstoffe-metallisch“ eine sehr hohe Abdeckung von mehr als 90 % erzielt. Die geringste Abdeckung wird für die Kriterien „KEA-(gesamt, fossil)“ mit ca. 75 % und „Treibhausgase“ mit ca. 79 % beobachtet. Für beide Kriterien werden durch Hinzufügen weiterer Sektoren keine größeren Zugewinne erzielt. Die ausgelassenen 21 Sektoren weisen für „Treibhausgase“ wie für „KEA“ relativ gleiche Beiträge auf.

Abbildung 3.3 Produzierte Güter – kriteriumsspezifische, kumulierte Anteile der 13 selektierten produzierten Güter von 34



Die Vorauswahl erfolgte über die relativen Beiträge der Sektoren zu den einzelnen Kriterien. Hierbei wurden alle Sektoren berücksichtigt, die einen Beitrag von mindestens 5 % in einem Kriterium erzielten. Diese Vorgehensweise wurde abgesichert, indem die Abdeckungsrate der kumulierten Sektorenanteile überprüft wurde. Als Ergebnis ist festzuhalten, dass die ausgewählten 13 Sektoren ein Optimum bieten. Der Gewinn, der durch zusätzliche Sektoren in der Abdeckung erzielt wird, ist in Relation zu den 13 ausgewählten Sektoren deutlich unterproportional.

Um dieses Ergebnis zu illustrieren, wurden die Beiträge des Sektors je Kriterium in Abb. 3.4 ohne Gewichtung addiert. Das Kriterium KEA fossil wurde für diese Darstellung nicht herangezogen, um eine eventuelle Übergewichtung des KEA zu vermeiden (da KEA gesamt schon in die Wertung eingeht). Die Darstellung der Sektoren erfolgt nach der Summe der Beiträge. Die in der Einzelauswertung diskutierten Sektoren Fahrzeugbau, Tierhaltung, Roheisen & Stahl sowie Gewinnung Steine & Erden finden sich in dieser Aufstellung an der Spitze. Sie werden mit der 1. Priorität bewertet. Deutlich von den anderen Sektoren abgesetzt finden sich die Sektoren Fleisch- und Milchverarbeitung, sonst. Ernährungsgewerbe, Kokerei/Mineralöl und chemische Erzeugnisse sowie Beton und Zement. Zusätzlich weisen die Sektoren Stahlverarbeitung und Holzgewerbe noch nennenswerte Anteile auf.

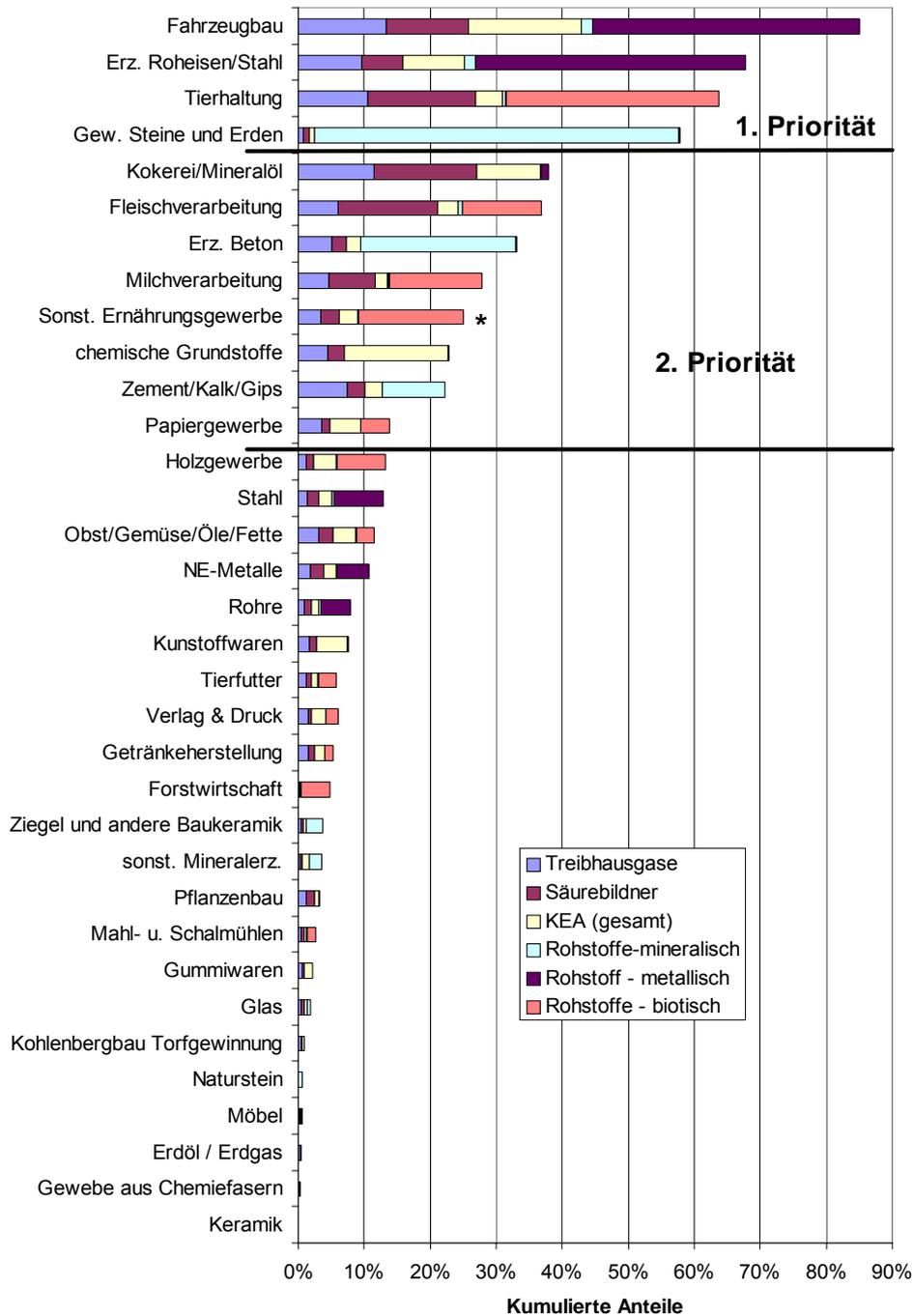
Die genannten Sektoren, außer sonst. Ernährungsgewerbe, werden zur weiteren Bearbeitung ausgewählt. Der Sektor sonst. Ernährungsgewerbe erwies sich als zu vielschichtig, um sinnvoll im Rahmen dieses Projekts bearbeitet zu werden. Dafür

wurde zusätzlich noch der Sektor Papiergewerbe in die vertiefende Untersuchung mit einbezogen.

Die aus den Zwischenergebnissen als besonders wichtig identifizierten Sektoren können durch die folgenden 10 besonders relevanten produzierten Güter bzw. Gütergruppen im Sinne des Materialflussansatzes repräsentiert werden:

- Roheisen/Stahl und Fahrzeuge (PKW etc.),
- Mineralölprodukte und Kunststoffe,
- Steine und Erden, Zement, Beton,
- Fleisch und Molkereiprodukte,
- Papier.

Abbildung 3.4 Produzierte Güter – kumulierte Anteile der einzelnen Kriterien, jeweils bezogen auf die Gesamtbelastung der 34 produzierten Güter (ohne Berücksichtigung des Kriteriums KEA fossil)

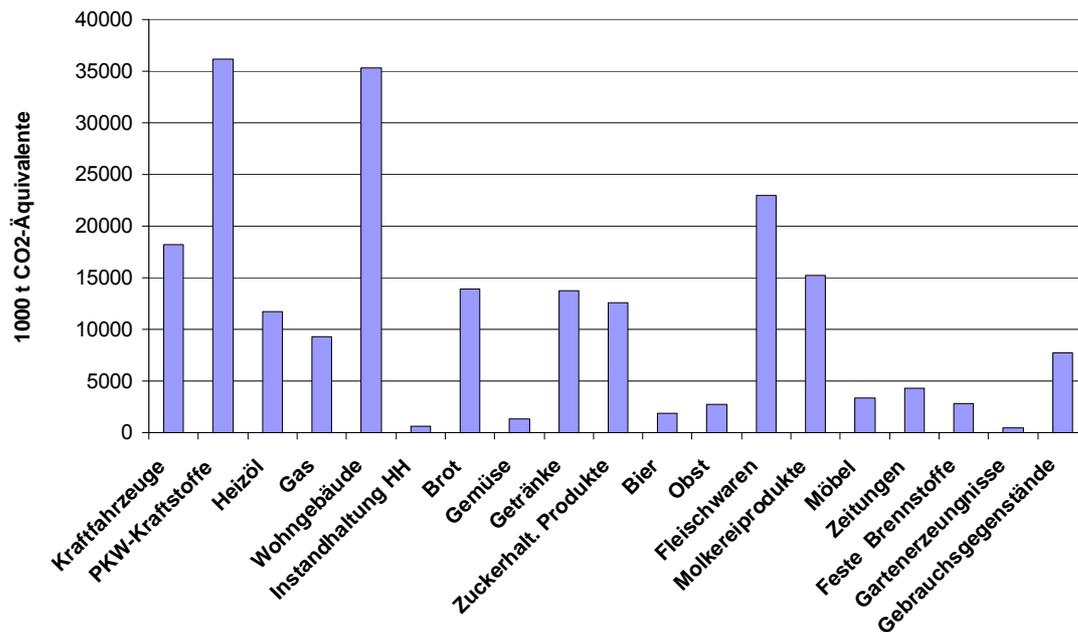


\* *ausselektierte produzierte Güter*

### 3.4 Vorauswahl Konsumgüter

In der Vorauswahl Konsumgüter wurde dieselbe Prozedur durchgeführt wie bei den produzierten Gütern.

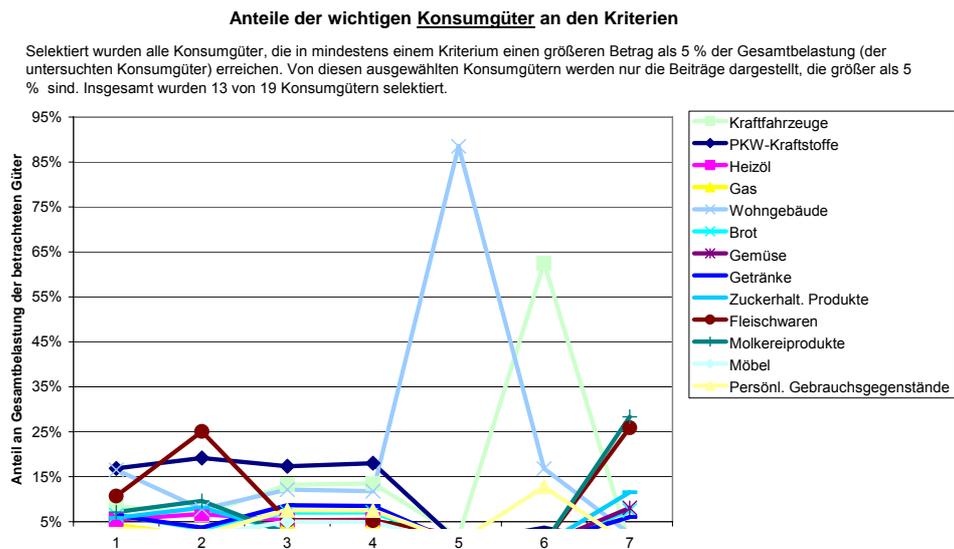
Abbildung 3.5 Konsumgüter – Treibhausgase total in 1000 t CO<sub>2</sub>-Äquivalenten



Für die Vorauswahl der Konsumgüter sind in Abb. 3.5 die Ergebnisse für das Kriterium Treibhausgasemissionen aufgeführt. Hierbei konnten die mit der Produktion korrespondierenden Konsumgüter identifiziert werden. Das Konsumgut Kraftfahrzeuge kommt aus dem Sektor Fahrzeugbau. Die Konsumgüter PKW-Kraftstoffe, Heizöl und Gas entsprechen dem Sektor Kokerei/Mineralöl. Die Wohngebäude beziehen ihre Güter hauptsächlich aus den Sektoren Steine & Erden sowie Zement/Kalk/Gips. Fleischwaren und Molkereiprodukte können den Sektoren Fleischverarbeitung und Milchverarbeitung zugeordnet werden. Insgesamt spiegeln die Konsumgüter die Ergebnisse aus der Vorauswahl der Sektoren wider. Auch bei den Konsumgütern finden sich PKW, Kraft- und Brennstoffe, Wohngebäude und tierische Nahrungsmittel als relevanteste Güter.

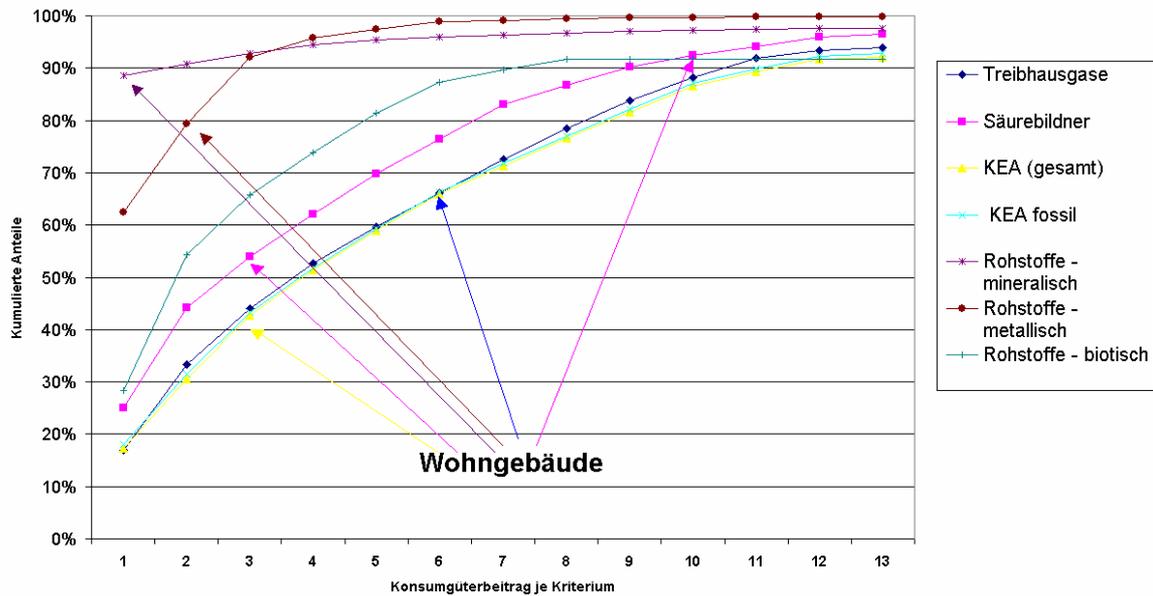
Legt man als Kriterium für die Vorauswahl wiederum das Erreichen von 5 % des Beitrages am Gesamtergebnis fest, so stellt sich ein ähnliches Bild wie bei den Sektoren ein (s. Abb. 3.6). Für die mineralischen Rohstoffe ist der Wohnungsbau das dominierende Konsumgut, während für die metallischen Rohstoffe das Konsumgut PKW einen hohen Beitrag leistet.

Abbildung 3.6 Konsumgüter – Anteil der wichtigen produzierten Güter an den Kriterien



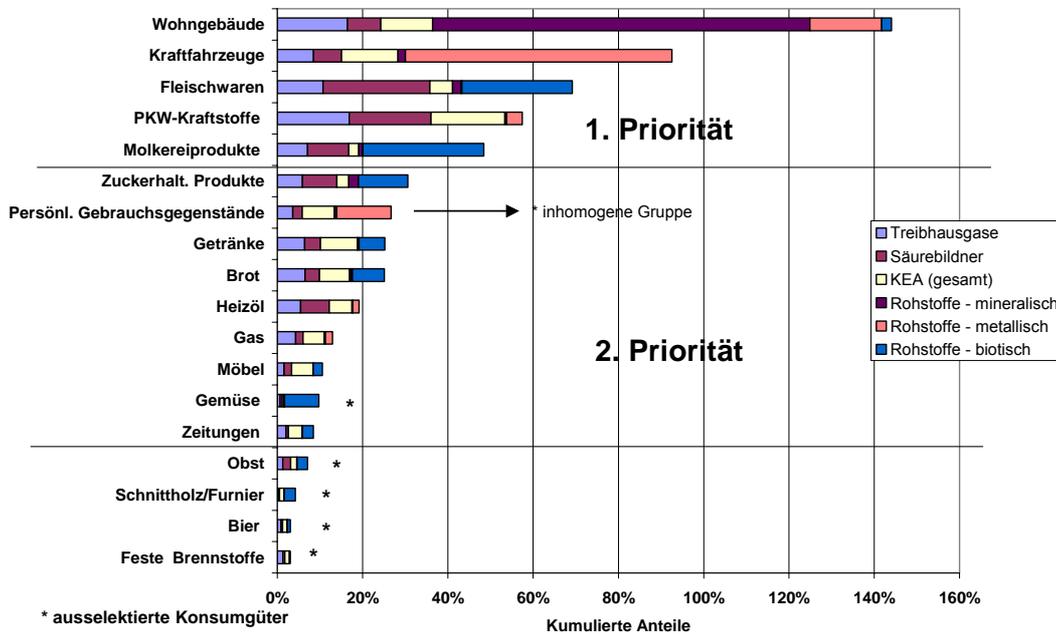
Wählt man nach diesem Verfahren die 13 relevantesten Konsumgüter aus und beobachtet den Abdeckungsgrad dieser Güter an dem Gesamtbeitrag je Kriterium, so findet man eine deutlich höhere Abdeckung für die Kriterien als bei der Analyse der Sektoren (s. Abb. 3.7). Der Abdeckungsgrad liegt für jedes Kriterium oberhalb von 90 %. Es verbleibt festzustellen, dass die restlichen Konsumgüter nur noch einen geringen Beitrag liefern können. Somit ist die Vorauswahl gerechtfertigt.

Abbildung 3.7 Konsumgüter – kriteriumsspezifische, kumulierte Anteile der 13 selektierten produzierten Güter von 19



Zur Übersicht wurden die Beiträge je Kriterium für die einzelnen Konsumgüter in Abb. 3.8 nochmals dargestellt. Die fünf Konsumgüter Wohngebäude, Kraftfahrzeuge, Fleischwaren, PKW-Kraftstoffe sowie Molkereiprodukte zeigen mit Abstand die höchsten Beiträge. Sie werden als 1. Priorität klassifiziert. Weitere relevante Konsumgüter umfassen die zuckerhaltigen Produkte, persönliche Gebrauchsgegenstände, Getränke (Fruchtsaft etc.), Brot, die Brennstoffe Heizöl und Gas sowie Möbel.

Abbildung 3.8 Konsumgüter – kumulierte Anteile der einzelnen Kriterien, jeweils bezogen auf die Gesamtbelastung der 19 Konsumgüter (ohne Berücksichtigung des Kriteriums KEA fossil)



Die Konsumgüter der 1. und 2. Priorität in Abb. 3.8 wurden ausgewählt bis auf die persönlichen Gebrauchsgegenstände, die sehr heterogen zusammengesetzt sind und einer weiteren Bearbeitung nur schwer zugänglich gewesen wären. Nach Diskussion in der Steuerungsgruppe wurden zudem Zeitungen für die vertiefende Untersuchung mit aufgenommen. Somit wurden die folgenden 12 besonders relevanten Konsumgüter im Sinne des Materialflussansatzes näher untersucht:

- PKW,
- Heizöl, Erdgas und PKW-Kraftstoffe,
- Wohngebäude,
- Brot, zuckerhaltige Produkte und Getränke (Fruchtsäfte etc.),
- Fleischwaren und Molkereiprodukte,
- Papierprodukte (Zeitungen etc.) und Möbel.

### 3.5 Reflexion der Methodik

In diesem Abschnitt soll eine kurze Reflexion der im Projekt gewählten Methodik zur Vorauswahl der aus Umweltsicht besonders relevanten produzierten Güter bzw. Konsumgüter und der mit ihnen verbundenen Materialströme erfolgen. Aus dem Kreis der Steuerungsgruppe wurde der Vorschlag unterbreitet, dass hierzu die Platingruppenmetalle (PGM) als Konsumgüter herangezogen werden. Auf die PGM fiel die Wahl aufgrund der nach Mengengesichtspunkten sehr geringen Relevanz dieser

Edelmetalle, da die erste Vorauswahl bei den Konsumgütern nach reinen Mengengesichtspunkten erfolgt ist. Somit ist ein Vergleich mit einem nach Mengengesichtspunkten wenig relevanten Konsumgut, für dessen Herstellung jedoch nennenswerte Umweltbelastungen in den Vorketten erwartet werden, aus methodischer Sicht sehr interessant. Das Projektteam hat daher den Vorschlag positiv aufgegriffen. Zudem sind durch ein abgeschlossenes Projekt unter Beteiligung des Öko-Instituts die Materialströme der wichtigsten Platingruppenmetalle (Platin, Palladium und Rhodium) und die mit ihnen verbundenen Umweltbelastungen gut untersucht [PGM 2005]. In den folgenden Ausführungen erfolgt eine Gegenüberstellung am Beispiel der Kriterien CO<sub>2</sub>-Äquivalente und SO<sub>2</sub>-Äquivalente.

Nach [PGM 2005] wurden in Deutschland im Jahr 2001 rund 38 Tonnen der drei genannten PGM nachgefragt. Von dieser Gesamtnachfrage wurden rund 21 Tonnen durch die besonders umweltintensive Primärproduktion<sup>7</sup> gedeckt. Mit der Bereitstellung der rund 38 t PGM, die für verschiedene Konsumgüter (PKW-Katalysatoren, Schmuck, Elektronikprodukte, Dentalprodukte etc.) benötigt werden, sind Emissionen von ca. 330.000 Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalenten sowie ca. 21.000 Tonnen SO<sub>2</sub>-Äquivalenten verbunden, die vor allem außerhalb Deutschlands bei der Rohstoffgewinnung und -aufbereitung an den Erzlagerstätten anfallen. Im Falle der CO<sub>2</sub>-Äquivalente lässt sich sagen, dass die Größenordnung der Emissionen – nicht zuletzt vor dem Hintergrund der Gesamtnachfrage von 38 t – durchaus sehr bemerkenswert und keinesfalls zu vernachlässigen ist. Allerdings zeigt ein Vergleich mit entsprechenden Daten für die vorausgewählten Konsumgüter, dass hier in der Regel über erhebliche größere Emissionen diskutiert werden muss. Spitzenreiter bei diesem Kriterium sind mit jeweils ca. 35 Mio. t/a die Wohngebäude sowie die PKW-Kraftstoffe, gefolgt von Fleischwaren (rund 23 Mio. t/a) und Kraftfahrzeugen (18 Mio. t/a).<sup>8</sup> Die genannten Emissionen an CO<sub>2</sub>-Äquivalenten für die PGM werden von allen weiteren vorausgewählten Konsumgütern deutlich übertroffen, meist um Größenordnungen (vgl. Daten Anhang 3).

Im Falle des Kriteriums SO<sub>2</sub>-Äquivalente ist hingegen eine größere Relevanz der PGM festzustellen. Die vorausgewählten Konsumgüter mit den höchsten Emissionen sind hier Fleischwaren (320.000 t), PKW-Kraftstoffe (245.000 t), Molkereiprodukte (125.000 t), zuckerhaltige Produkte (105.000 t), Wohngebäude (100.000 t), Heizöl (80.000 t) sowie Kraftfahrzeuge (80.000 t). Bei den SO<sub>2</sub>-Äquivalenten erreichen die Emissionen für die PGM zwar nicht dieses Spitzenfeld an vorausgewählten Konsumgütern, aber immerhin die Größenordnung der Emissionen der

---

<sup>7</sup> Im Vergleich zu PGM aus Recyclingmaterial übersteigt die Primärproduktion von PGM die spezifischen Belastungen bei der Emission von Treibhausgasen um ca. den Faktor 10, im Falle der Emission von Säurebildnern um mehr als den Faktor 100 [PGM 2005].

<sup>8</sup> Alle Daten enthalten stets alle Emissionen inkl. aller Vorketten. Nie sind jedoch Emissionen aus dem Gebrauch der Konsumgüter (z. B. Verbrennung von PKW-Kraftstoffen, Beheizung von Wohngebäuden etc.) berücksichtigt.

nachfolgenden vorausgewählten Konsumgüter (vgl. Daten Anhang 3). Die deutlich höhere Relevanz der PGM bei den SO<sub>2</sub>-Äquivalenten lässt sich durch das hohe Niveau der Emissionen bei der Aufarbeitung der sulfidischen Erze in der Primärgewinnung erklären [PGM 2005].

Als Erkenntnis für die Bewertung lässt sich anhand des Beispiels PGM daher entnehmen, dass die Wahl der Methodik durchaus zu richtigen Schwerpunkten geführt hat. Allerdings darf nicht ausgeschlossen werden, dass auch weitere Konsumgüter bzw. produzierte Güter ebenfalls – zumindest eine gewisse – Relevanz aufweisen.<sup>9</sup> Im Falle der PGM muss jedoch herausgestellt werden, dass mit der Vorauswahl des Konsumguts Kraftfahrzeuge der wichtigste Anwendungsbereich (PKW-Katalysatoren) mit erfasst wird, das heißt ein großer Teil der genannten Umweltbelastungen der PGM wird über das komplexe Konsumgut Kraftfahrzeuge mit erfasst. Dies gilt auch z. T. für die NE-Metalle, die im Falle der produzierten Güter nach Menge und Wert zwar in die Vorauswahl der 34 relevantesten produzierten Güter gelangt sind, aber bei der Anlegung der sieben übergreifenden Umweltkriterien nicht zu den am wichtigsten produzierten Gütern gezählt werden können. Ohne Zweifel sind dennoch die möglichen Umweltentlastungspotenziale bzgl. der Materialströme der NE-Metalle (z. B. durch Forcierung der Sekundärmetallgewinnung) sicherlich von Interesse. Gleiches gilt möglicherweise auch für einige produzierte Güter, die aufgrund von Datenlücken etc. in diesem Projekt nicht untersucht werden konnten.

### 3.6 Identifizierung von wichtigen Datenlücken

Während der Arbeiten zur Vorauswahl traten Datenlücken zutage. Hierbei muss zwischen zwei Typen unterschieden werden:

1. komplexe statistische Positionen,
2. fehlende ökobilanzielle Daten (LCA).

Einige statistische Positionen setzen sich aus vielen Unterpositionen zusammen, von denen keine Unterposition mengenmäßig bestimmend ist. Somit werden eine Analyse der Position und eine Bestimmung eines relevanten Prozesses bzw. Produkts erschwert. Ein Beispiel hierfür ist der Sektor „chemische Grundstoffe“. In diesem Beispiel gelang die Findung eines Prozesses, da für die chemische Industrie eine hohe Transparenz und viele Vorarbeiten durch LCA oder Stoffstromanalysen existieren. Für das Konsumgut „persönliche Gebrauchsgegenstände“ konnte die

---

<sup>9</sup> Von den Vertretern des Umweltbundesamts in der Steuerungsgruppe ist zu Recht angemerkt worden, dass bei der Vorauswahl des primären Produkts aus den zunächst 34 Sektoren (und damit 34 Produkte) in einigen Sektoren auch das an zweiter Stelle rangierende Produkt durchaus von großer Relevanz sein kann. Entsprechende Analysen sollten Gegenstand weiterer Untersuchungen werden.

(materielle) Zusammensetzung zwar abgeschätzt werden, die Gruppe ist aber so inhomogen und vielfältig aufgebaut, dass eine konkrete vertiefte Bearbeitung nahezu unmöglich ist.

Bei den Konsumgütern sind hier Sammelpositionen zu nennen, für die keine relevante bestimmende Position gefunden werden konnte. Als mengenmäßig relevanteste Sammelpositionen der Konsumgüter seien genannt:

1. Erzeugnisse der Haushaltsführung,
2. Glaswaren, Tafelgeschirr u. a.,
3. andere Artikel und Erzeugnisse für die Körperpflege,
4. Haustiere (einschl. Ge- u. Verbrauchsgüter für die Tierhaltung),
5. Gartengeräte, Handwerkzeuge u. a. Gebrauchsgüter (nicht motorbetrieben) für die Haushaltsführung,
6. Ersatzteile und Zubehör für Privatfahrzeuge,
7. Spiele, Spielzeug und Hobbywaren,
8. Geräte und Ausrüstungen für Sport, Camping und Erholung,
9. elektrische Kleingeräte für den Haushalt,
10. andere Bekleidungsartikel und -zubehör.

Diese Positionen wurden nicht weiter bearbeitet, so dass hierzu keine Informationen erhoben wurden, ob bzw. ob keine LCA-Daten vorliegen. Es ist aber anzunehmen, dass ggf. nur wenige Daten zugänglich sind.

Für die Sektoren (produzierte Güter) konnten für folgende Positionen keine relevanten bestimmenden Unterpositionen benannt werden:

1. Geräte der Elektrizitätserzeugung & -verteilung,
2. Rundfunk, TV, Nachrichtentechnik,
3. Medizin, Mess- und Regelungstechnik,
4. Metallerzeugnisse (Schrauben etc.),
5. Anstrich-/Druckfarben, Kitte.

Fehlende LCA-Daten wurden erfolglos für folgende Positionen recherchiert:

1. Computer/TV,
2. Seifen/Laugen,
3. Bekleidung,
4. Kaffee/Tee/Kakao,
5. Heimtextilien.

Hierbei ist anzumerken, dass für die ersten drei Positionen zwar LCA-Daten gefunden wurden, diese aber nur ausschnittsweise abgebildet waren. Die vorliegenden Arbeiten behandeln dabei nur spezielle Aspekte oder Anteile.

Weiterhin wurden die Sektoren „Garten- und Landschaftsbau“, „Zigaretten“ und „Recycling“ aufgrund methodischer Probleme (Dienstleistungsbereich) bzw. fehlender Daten und Relevanz nicht weiter verfolgt.

### **3.7 Zusammenfassende Bewertung der Vorauswahl**

Es wurde eine Vorauswahl für in Deutschland produzierte Güter (Sektoren) und für in Deutschland konsumierte Güter (Konsumgüter) vorgenommen. Grundlage der Auswahl war zum einen die Produktionsstatistik für die Sektoren, zum anderen die Konsumgüterstatistik (SEA). Damit wurden zwei statistische Systeme genutzt, die prinzipiell eine vollständige Erhebung anstreben, so dass dadurch eine sehr weitgehende Grundlage für die weitere Untersuchung geschaffen wurde.

Aus diesen Statistiken wurden die mengen- und wertrelevantesten Gütergruppen identifiziert. Die Bildung von Gütergruppen (Sektoren) ist notwendig, um das Auswahlverfahren durchführbar zu gestalten. Für die identifizierten Konsumgüter und Sektoren konnten Basisprozesse bzw. repräsentative Produkte gefunden werden, für die LCA-Daten bzw. MFA-Daten bereitstehen.

Insgesamt ist die Datenverfügbarkeit als hoch zu bewerten. Datenlücken konnten nur bei Positionen beobachtet werden, die nur eine geringe Mengenrelevanz haben. Ein hoher Anteil der nicht einbezogenen Positionen der Sektoren resultiert aus Positionen, die über die Wertermittlung identifiziert worden sind oder komplexe Sammelpositionen darstellen.

An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass die im vorangegangenen Kapitel genannten komplexen Sektoren (Geräte der Elektrizitätserzeugung, Rundfunk- und Nachrichtentechnik sowie der Medizin- und Regelungstechnik), für die keine relevanten Unterpositionen gefunden werden konnten, als sehr interessant eingestuft werden müssen. Ihre Menge ist zwar geringer als 1 Mio. t/a, doch weisen sie eine sehr hohe Wertschöpfung auf. Sie stehen am Ende einer langen Wertschöpfungskette und somit bleibt zu vermuten, dass ihr kumulierter Bedarf an Basismaterialien (Stahl, Kupfer etc.) und Energieträgern deutlich höher ist, als es die Menge ihrer Produkte erscheinen lässt.

Die Vorauswahl der Sektoren auf der Produktionsseite sowie der Konsumgüter ergeben korrespondierende Produkte. Dieses Ergebnis bestätigt somit zum einen das Auswahlverfahren. Die wichtigsten Konsumgüter spiegeln sich in den wichtigsten Sektoren wider. Zum anderen zeigt es aber auch, dass trotz globaler Import-/Exportverflechtungen die mengenrelevantesten Konsumgüter noch ihren Widerpart in der deutschen Produktion finden. Dieses Ergebnis gilt es zunächst festzuhalten und im folgenden Kapitel zu analysieren.

## 4 Vertiefte Analyse der ausgewählten Sektoren und Güter in Materialflusssystemen

Nach dem zuvor beschriebenen Verfahren lassen sich alle ausgewählten produzierten Güter bzw. die dazugehörigen Sektoren sowie die ausgewählten besonders relevanten Konsumgüter in sechs Materialflusssysteme einordnen – so beispielsweise die vorausgewählten Güter Steine/Erden, Zement und Beton in einem Materialflusskontext mit dem wichtigsten Verwendungsbereich Wohngebäude. Die sechs Materialflusssysteme sind:

1. Eisenerz-Stahl-Fahrzeugbau-PKW-Konsum,
2. Erdöl/Erdgas-Erdölverarbeitung-Kraftstoffkonsum (Seitenzweig Kunststoffe),
3. Steine&Erden-Zement-Beton-Wohngebäude,
4. Biomasse-Pflanzenverarbeitung-Brotkonsum,
5. Biomasse-Tierfutter-Tierhaltung-Fleischkonsum,
6. Biomasse-Forst-Papier-Möbelkonsum.

Im Kontext dieser sechs Materialflusssysteme wurde die sich anschließende vertiefende Analyse durchgeführt. Hierzu wurden weitere wichtige Umweltaspekte (z. B. hohe Schadstoffbelastungen beispielsweise durch Schwermetalle) berücksichtigt, vor allem aber auch Aspekte wie Entwicklungsperspektiven (wachsende oder schrumpfende Bedeutung in der Zukunft), ökologische und technische Potenziale, Vorhandensein von Innovationen und die bereits vorhandene Regelungsdichte.

### 4.1 Eisenerz-Stahl-Fahrzeugbau-PKW-Konsum

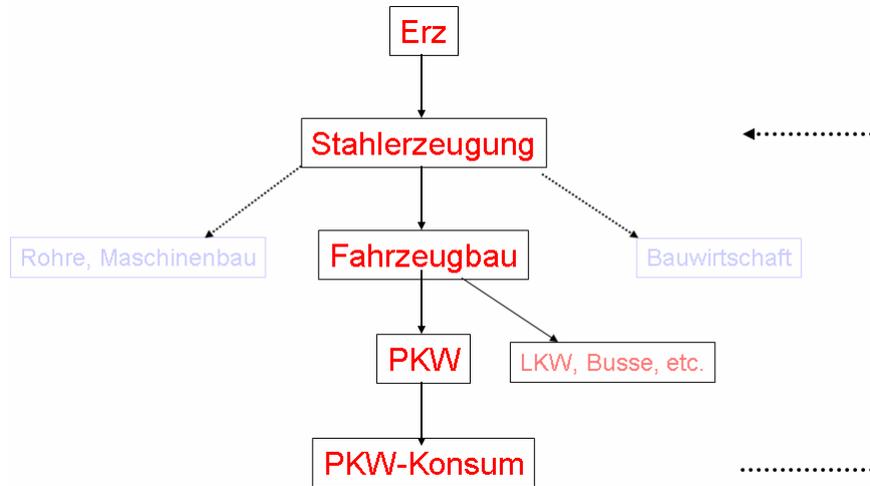
#### 4.1.1 Überblick Materialflusssystem: Hauptroute

Das Materialflusssystem Eisenerz-Stahl-Fahrzeugbau-PKW-Konsum stellt auf der Angebotsseite die Wertschöpfungskette der Stahlerzeugung, Verarbeitung sowie ihre spezielle Hauptanwendung im Fahrzeugbau und Automobilbau dar. Dem steht als Hauptprodukt auf der Nachfrageseite der PKW-Konsum gegenüber. Die aufgeführte Wertschöpfungskette stellt eine der ökonomisch wie ökologisch wichtigsten Ketten dar. Das Materialflusssystem ist mit Hilfe von Abb. 4.1<sup>10</sup> grob umrissen.

---

<sup>10</sup> Die Graphik hat keinesfalls die Aufgabe, das Materialflusssystem in allen Einzelheiten abzubilden. So wurde z. B. auf die Darstellung von Import-/Exportströmen, Reststoffanfällen, Emissionen und viele weitere wichtige Details verzichtet, um die Übersichtlichkeit zu wahren.

Abbildung 4.1 Materialflusssystem-Haupttroute: Eisenerz-Stahl-Fahrzeugbau-PKW-Konsum



## 4.1.2 Stahlindustrie

### 4.1.2.1 Daten und Fakten

In Deutschland sind die beiden wesentlichen Routen der Stahlherstellung das Oxygen- und das Elektrostahlverfahren. Die Erzeugungskette für Oxygenstahl setzt sich aus den Einzelprozessen Sinter, Hochofen und Oxygenstahl zusammen. Demgegenüber wird Elektrostahl unmittelbar aus Stahlschrott produziert.

Oxygenstahl/Hochofen: Die Gewinnung von Stahl bzw. Eisen aus Eisenerz erfolgt in einem integrierten Stahlwerk mit Kokerei, Sinteranlage, Hochofen, Oxygenstahlwerk und Gießanlage sowie Walzwerk. Das Erz wird in der Sinteranlage konditioniert und der Sinter im Hochofen mit Koks zu Roheisen geschmolzen. Die metallurgische Aufarbeitung erfolgt im Oxygenstahlwerk. Der flüssige Rohstahl wird im Gießwerk zu Brammen etc. gegossen und anschließend im Walzwerk zum Stahlprodukt gefertigt. Integrierte Stahlwerke haben eine Leistung von 2–8 Mio. t/a.

Elektrostahl: In Elektrostahlwerken wird Stahlschrott im Elektrolichtbogenofen geschmolzen, metallurgisch aufgearbeitet, gegossen und gewalzt. Als Input dienen neben Stahlschrott auch Roheisen oder Eisenschwamm. Neben Elektrizität als Hauptenergieträger werden Koks und Gas eingesetzt. Insgesamt weisen Elektrostahlwerke pro Anlage einen deutlich geringeren Output (als Oxygenstahlwerke) von bis zu ca. 500.000 t/a auf, die auch „Minimills“ genannt werden.

#### Stahlproduktion, Stahlverbrauch und Beschäftigung

Aktuelle Situation:

- Deutsche Produktion (2000):  
Hocheisen-Roheisen: ca. 31 Mio. t (entspricht 5,1 % der weltweiten Produktion),

Rohstahl: ca. 46 Mio. t (72 % Oxygenstahl, 28 % Elektrostahl) (entspricht 5,4 % der weltweiten Produktion).

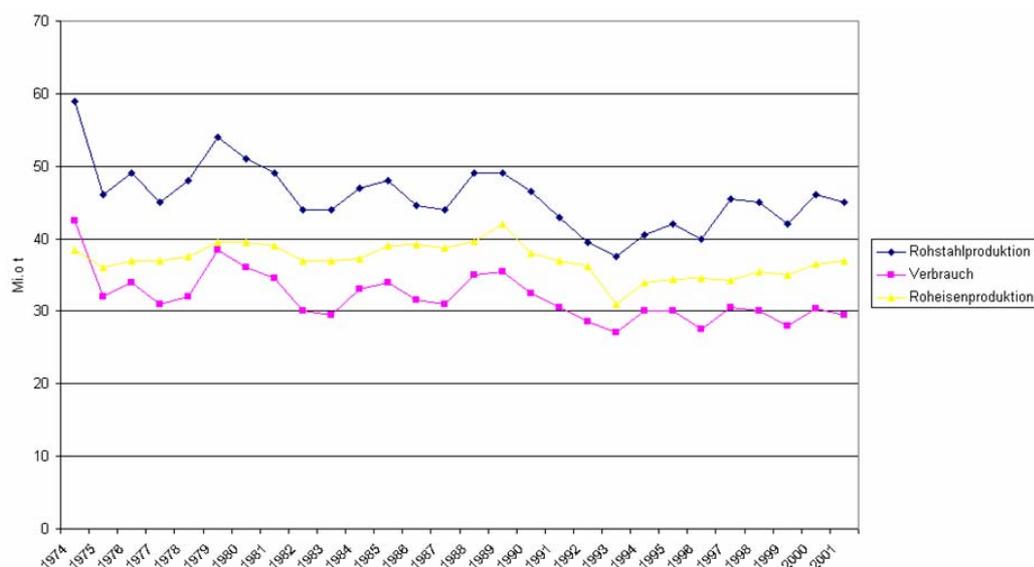
Die deutsche Stahlindustrie hat sich vor allem auf qualitativ hochwertigen Stahl spezialisiert.

- Stahlverbrauch in Deutschland:  
 506 kg/Kopf (2000)  
 Tendenziell stagniert bzw. sinkt der Pro-Kopf-Verbrauch in den Industriestaaten, was auch mit dem steigenden Einsatz von höherwertigem Stahl zusammenhängt (niedrigerer spezifischer Verbrauch bei gleicher Funktion, z. B. leichtere, weniger materialintensive Brücken) [DIW 2002].
- Beschäftigung:  
 Die Zahl der in der deutschen Stahlindustrie Beschäftigten nimmt kontinuierlich ab – von ca. 288.000 Anfang der achtziger Jahre auf 93.000 im Jahre 2004 (Stahl-Zentrum, <http://www.stahl-online.de>).

Entwicklung in der Vergangenheit:

- Die Produktion von Hochofen-Roheisen und Rohstahl war in den letzten zwanzig Jahren in Deutschland relativ stabil: Sie schwankte zwischen ca. 37 Mio. und ca. 49 Mio. t (Rohstahl) bzw. 27 Mio. und 37 Mio. t (Hochofen-Roheisen); siehe Abb. 4.2.

Abbildung 4.2 Produktion von Rohstahl sowie Verbrauch von Stahl (Stahlverwendung) in Deutschland. Quelle: Statisches Jahrbuch der Stahlindustrie nach [Jochem 2004]



## Stahlrecycling

### Aktuelle Situation

- Beschäftigte in der Stahlrecyclingwirtschaft: 35.000 [BDSV 2004],
- Jahresumsatz für die Bereiche des Stahlrecyclings einschließlich Auto- und Elektroschrottverwertung sowie weiterer Versorgungsdienstleistungen: ca. 12 Mrd. € [BDSV 2004],
- jährliches Investitionsvolumen ca. 500 Mio. € [BDSV 2004].

### Entwicklung in der Vergangenheit:

- Seit Ende der siebziger Jahre geht der Eigenentfall in den Stahlwerken (Hochofen) und Gießereien absolut zurück (Grund: stetige Verbesserung der Effizienz in der Vergangenheit in den Stahlwerken und Gießereien). Gleichzeitig stieg der Schrottversand der Stahlrecyclingwirtschaft an die Stahlwerke aus dem Inlandsaufkommen deutlich, ebenso wie die Summe des erfassten Stahlschrottaufkommens. Aus diesem Grund stieg der prozentuale Anteil des Versandes der Stahlwirtschaft deutlich von knapp 55 % im Jahre 1978 auf 74 % (Zunahme des Altschrottanteils) bis zum Ende der letzten Dekade (siehe Tabelle 4.1).

Tabelle 4.1 Entwicklung des Stahlschrottaufkommens in Deutschland (in Mio. t)

Jahr	Alt- und Neuschrott Versand (Inland)	Eigenentfall Stahlwerke	Eigenentfall Gießereien	Summe Stahlschrott	Anteil Versand / Gesamtaufkommen
	(1)	(2)	(3)	(1)+(2)+(3)	[(1)+(2)+(3)]/(1)
1978	11,5	7,0	2,3	20,9	55,1 %
1980	11,1	7,1	2,3	20,6	54,1 %
1985	12,3	5,0	2,2	19,5	62,9 %
1990	13,6	4,2	2,3	19,9	68,5 %
1995	20,1	4,9	1,8	26,9	74,8 %
1996	18,4	7,7	1,8	28,0	65,8 %
1997	20,2	5,3	1,9	27,3	74,1 %
2000	20,8	5,0	2,2	28,0	74,2 %

Abweichungen in der Summe bzw. in den Anteilswerten sind rundungsbedingt, Quelle: Jahre 1978–1990: Statistisches Bundesamt, Außenstelle Düsseldorf, nach [BDSV 1998], 2–6; Jahr 2000: VW Stahl nach [Jochem 2004].

70–75 % des Altschrotts bestehen aus Maschinen- und Anlagenschrott, aus Schienen- und Eisenbahnmaterial sowie aus Abbruch und Abwrackschrott. Anders als bei den übrigen Herkunftsbereichen fällt der Altschrott (aus hohen Lagerbeständen kommend) diskontinuierlich an [Jochem 2004]. Die Erfassungsquote von Neuschrott liegt bei 95 %. Der Anteil von Stahlschrott an der Rohstahlerzeugung lag im Jahr 2000 bei 42 % [Jochem 2004].

## Wirtschaftliche Verflechtung

### Import und Export

- Deutschland ist derzeit mit 33 bzw. 28 % der größte Hochofen-Roheisen- bzw. Rohstahlproduzent in der EU15 [Eurostat 2003].
- Deutschland ist Nettoexporteur von Rohstahl [Jochem 2004].
- Warmstahlerzeugnisse werden netto exportiert; im Jahr 2000: 23 Mio. t Ausfuhr (80 % nach Europa, USA 7 %), 19 Mio. t. Einfuhr (98 % aus Europa, davon EU 78 %) [Jochem 2004]. Exportiert wird v. a. teurer und qualitativ hochwertiger Stahl, während billiger und minderwertiger Stahl importiert wird.

### Input und Output

- Flacherzeugnisse (Bänder) werden in Deutschland fast ausschließlich aus Oxygenstahl hergestellt, Langerzeugnisse zum Großteil über die Elektrostaahlroute; von den knapp 39 Mio. t warmgewalzten Stahlerzeugnissen waren etwa 26 Mio. t Flacherzeugnisse und knapp 13 Mio. t Langerzeugnisse (Bezugsjahr 2000; [Jochem 2004]).

### Stahlschrott

- Import und Export: Während die Einfuhr von Stahl seit Ende der siebziger Jahre absolut nur geringfügig anstieg, stieg der Export um mehr als das Anderthalbfache.

Die deutlich gestiegene Bedeutung der deutschen Stahlrecycling-Industrie seit Ende der siebziger Jahre ist den Zahlen zu entnehmen, die in Tabelle 4.2 aufgeführt sind.

Tabelle 4.2 Lieferleistungen der deutschen Stahlrecycling-Industrie in Deutschland (in Mio. t)

Jahr	Versand an Stahlwerke (inkl. Einfuhr)	Versand an Gießereien (inkl. Einfuhr)	Ausfuhr	Summe Versand	Einfuhr
	(1)	(2)	(3)	(1)+(2)+(3)	(4)
1978	8,3	2,1	2,5	12,9	1,4
1980	7,7	2,2	2,7	12,5	1,4
1985	8,1	2,3	3,3	13,7	1,4
1990	7,4	2,5	4,5	14,5	0,9
1995	10,9	2,6	8,2	21,7	1,6
2000	14,7	3,0	6,9	24,6	3,5

Quelle: Statistisches Bundesamt, Außenstelle Düsseldorf, nach BDSV

#### Ökologische Kennziffern: Daten zu Umweltkriterien

- Die **Stahlproduktion** ist einer der Hauptemittenten von CO<sub>2</sub> in Deutschland [Moll 2005].
- Die **Stahl- und Eisenproduktion** weist hohe Emissionen an weiteren Luftschadstoffen auf. Traditionelle Luftschadstoffe wie CO, NO<sub>x</sub> und SO<sub>2</sub> treten v. a. beim Hochofenpfad auf, wobei dem Sinterprozess und der Kokerei aus Umweltsicht eine besondere Bedeutung zukommt [Moll 2005].
- Speziell bei der **Elektrostahlherstellung** sind vor allem Luftemissionen wie Staub, Schwermetalle und organische Luftschadstoffe aus ökologischer Sicht bedeutsam [Moll 2005].
- **Abfallmanagement:** Bei der Stahlherstellung fallen große Mengen Schlacken, Stäube und Schlämme an. Während ein Großteil der Schlacken, z. B. als Hüttensande, hochwertig recycelt werden kann, müssen andere Abfälle aufgearbeitet oder deponiert werden.
- **Wasser/Abwasser:** Hochofenwerke benötigen große Mengen an Kühl- und Prozesswasser. Je nach Vorfluter zeigen sich deutliche Unterschiede im Kühlwasserbedarf der Werke.
- **Stahlrecycling:** Sofern ein Recycling stahlhaltiger Produkte stattfindet, kann davon ausgegangen werden, dass 85–90 % des Stahlanteils wiedergewonnen werden können [Jochem 2004].

Aus Tabelle 4.3 kann die hohe Bedeutung der Stahlindustrie für den Einsatz diverser Rohstoffe entnommen werden. Die Stahlindustrie ist auch in dieser Hinsicht einer der wichtigsten Grundstoffsektoren in Deutschland.

Tabelle 4.3 Rohstoffeinsatz in der Stahlindustrie im Jahr 2002

	Oxygenstahl		Elektrostahl		Ingesamt	
	1000 t	kg/t	1000 t	kg/t	1000 t	kg/t
Roheisen	-		599	45	599	13
Eisenerze	41664	1310	167	13	42697	949
Ferrolegerungen	300	9	678	51	978	22
Walzzunder u. a.	3212	101	264	20	3212	71
Gichtstaub	331	10			331	
Schrott	6038	190	13222	1001	19260	428
Zuschlagstoffe	6259	197	705	53	6964	155
Feuerfeststoffe	605	19	70	5	675	15
Koks und -grus	11047	347			11047	245
Steinkohle	2717	85			2717	60
Schweröl	1030	32			1030	23
Insgesamt	73203	2301	15705	1189	88644	1969

Berechnungen des EEFA 2005, nach Wirtschaftsvereinigung Stahl: Statisches Jahrbuch der Stahlindustrie (verschiedene Jgg.); Statistisches Bundesamt: Eisen und Stahl, Produzierendes Gewerbe, Fachreihe 4/Reihe 8.1 3., Vierteljahr 2003)

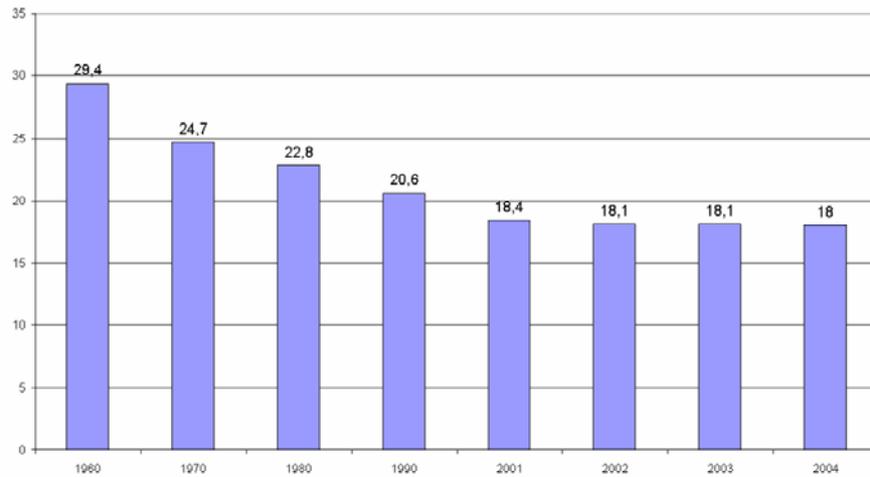
Umweltwirkung vorgelagerter Prozesse (Ausland)

- Erzabbau und Aufbereitung/Anreicherung:** Eisenerzbergbau wird in Deutschland nicht mehr betrieben. Die deutsche Stahlindustrie bezieht hochwertiges Erz aus Brasilien, Australien, Afrika und Schweden. Das Eisenerz wird dort angereichert und konditioniert. Aus Umweltsicht ist insbesondere die Landschaftsinanspruchnahme durch Bergbau und Infrastruktur relevant. Insbesondere sind Bergbauabfälle relevant, die teilweise kontaminiert sein können. Das Eisenerz wird über weite Entfernung zu den Produktionsstätten in Europa transportiert. Um den Transport möglichst kosteneffizient zu gestalten, wurde eine besondere Infrastruktur geschaffen, z. B. Umschlag Rotterdam, erweiterte Rheinkanalisation.

Energieverbrauch und CO<sub>2</sub>-Emissionen

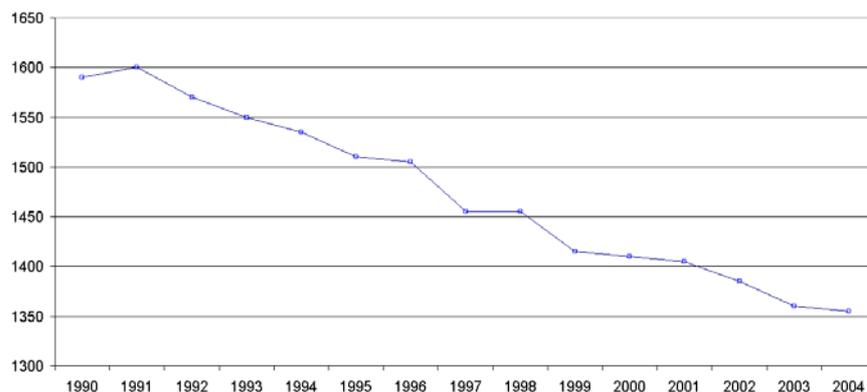
Die Entwicklung des spezifischen Energieverbrauchs (zwischen 1960 und 2004) und der spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen (zwischen 1990 und 2004) für die Rohstahlerzeugung ist in den Abbildungen 4.3 und 4.4. aufgeführt.

Abbildung 4.3 Spezifischer Energieeinsatz in GJ/t für die Rohstahlerzeugung



Quelle: Stahlzentrum [Stahl 2005]

Abbildung 4.4 Spezifische CO<sub>2</sub>-Emissionen in der kg/t für die Rohstahlindustrie



Quelle: Stahlzentrum [Stahl 2005]

#### 4.1.2.2 Dynamik und Trends

[Jochem 2004] rechnet mit einem Rückgang der Rohstahlproduktion auf etwa 41 Mio. t im Jahre 2030. Weiterhin wird angenommen, dass der Stahlverbrauch in Deutschland wegen der Fortschritte in der Materialforschung und eines damit verbundenen geringen spezifischen Materialverbrauchs zurückgehen wird. Für die Altschrottmenge wird ein Anstieg von derzeit 30 % der produzierten Rohstahlmenge auf 60 % prognostiziert [Jochem, 2004].

#### 4.1.2.3 Potenziale

Der Energieeinsatz in Stahlwerken wurde in der Vergangenheit deutlich reduziert. Nach Arbeiten des Fraunhofer-Institutes [ISI 2001] können allerdings noch erhebliche Potenziale in den einzelnen Prozessen identifiziert werden:

1. Sinter-Prozess: Typische Sinterprozesse benötigen ca. 1,5 GJ/t Energie, insbesondere Gichtgas. Durch intelligente Wärmenutzung (Vorwärmung Brennerluft, Materialvorwärmung) ist eine Reduktion um 12 % technisch möglich. Es wurde abgeschätzt, dass eine Reduktion um 7 % wirtschaftlich darstellbar ist.
2. Hochofen – Roheisenerzeugung: Der Hochofen stellt innerhalb der Stahlerzeugung den Prozess mit dem höchsten spezifischen Energieverbrauch dar. Durch Verminderung des Reduktionsmittelbedarfs (Koks), durch Ersatz von Koks durch Einblaskohle bzw. Schweröl, durch Reduktion der Kühlverluste sowie durch Wärmerückgewinnung ergibt sich ein technisches Einsparpotenzial von 5 % (von 11,3 GJ/t auf 10,7 GJ/t); hiervon sind 1–2 % wirtschaftlich realisierbar.
3. Oxygenstahlherstellung: In diesem Prozessschritt kann durch weiteren Ausbau der Nutzung des Konvertergases die Effizienz gesteigert werden.
4. Elektrostahlwerke: Durch Einsatz der Gleichstromtechnik, optimierte Prozesssteuerung, Schrottvorwärmung und Wärmerückgewinnung aus Schlacke können sowohl der Strombedarf als auch der Brennstoffbedarf gesenkt werden. Das technische Potenzial wird mit ca. 20 % (von 0,6MJ/t Brennstoff auf 0,5MJ/t, von 1,8MJ/t Strom auf 1,4MJ/t) angegeben, wovon 5–10 % wirtschaftlich realisierbar sind.
5. Gießen und Warmwalzstraßen: Es können weitere technische Einsparpotenziale durch den Einsatz und die Fortentwicklung bestehender Technologien sowie ihre Umsetzung für ähnliche Produkte in Höhe von ca. 33 % identifiziert werden. Hierzu gehört der Direkteinsatz, endabmessungsnahes Dünnbandgießen und Maßnahmen zur Wärmerückgewinnung. Es wird geschätzt, dass ca. 5–8 % wirtschaftlich durchführbar sind.
6. Durch einen Wechsel der Stahlherstellung von der Prozesskette Sinter/Hochofen/Oxygenstahlwerk auf die Elektrostahlroute können Einsparpotenziale realisiert werden. Damit verbunden ist allerdings auch ein Wechsel der Rohstoffbasis von Eisenerz auf Schrott und ein Wechsel des Energieverbrauchs von Kohle/Koks auf Strom. Bis 2020 wird ein Zuwachs auf etwa 16 Mio. t erwartet. Hier liegen Energieeinsparpotenziale von 30–60 PJ vor [Endbericht Enquete-Kommission „Nachhaltige Energieversorgung“, 602 f.].

Die Emissionen (CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>) sind weitgehend an den Energieverbrauch gekoppelt. Stahlwerke sind nach wie vor große Staubemittenten. Die hohen Luftmengen, die gefasst und abgesaugt werden müssen, führen allerdings wiederum zu einem nennenswerten Stromverbrauch. Als relevante spezifische Quelle für die Schwermetalle Chrom und Nickel sind hier die Edelstahlwerke zu nennen.

Insbesondere bei der Stahlherstellung über den Hochofen fallen große Mengen an Reststoffen und Abfällen an. Der mengenrelevanteste Reststoff, die Hochofenschlacke, kann als Hüttensand vermarktet werden. Andere Reststoffe sind mit Schwermetallen angereichert und können ohne Aufarbeitung weder intern rezirkuliert noch anderweitig verwertet werden. So lassen die hohen Anteile an Zink (1–10 %) und Blei (0,5–3 %) eine betriebsinterne Rückführung der Gichtgasschlämme in den Hochofenprozess (Anreicherung) nicht zu. Sie werden bislang deponiert, da einer breiten Umsetzung technisch aufwendiger Verwertungsmaßnahmen eine kostengünstige Deponierung gegenübersteht. Allerdings ist die Deponierung nicht unproblematisch, da Gichtgasschlamm u. a. ca. 20 bis 50 % Kohlenstoff enthält. Eine Alternative zur Deponierung stellt die externe Aufbereitung und Verwertung mittels des DK-Prozesses oder des INMETCO-Reduktionsverfahrens dar [Rentz 1996]. Bei diesen Verfahren werden neben einer Roheisenfraktion Staubfraktionen mit sehr hohen Zink- und Bleigehalten gewonnen, die von den Metallhütten als Wertstoff angenommen und aufbereitet werden. Der DK-Prozess wird von einer Duisburger Firma großtechnisch angewandt. Sie nimmt die Gichtgasschlämme einiger Stahlhöfen aus Europa, z. B. aus den Niederlanden und Belgien, die keine Verwertungsmöglichkeiten haben, an und verwertet diese. Teilweise werden auch Schlämme, die zunächst auf Halden abgelagert wurden, auf diesem Weg entsorgt.

Die Rohstoffquelle für die Elektrostahlöfen ist der Stahlschrott. Je höher die Qualität des Schrottes, desto bessere Stahlqualitäten können erzeugt werden. Ein hohes Umweltentlastungspotenzial bedingt also neben dem Anfall von Schrotten auch eine hohe Qualität durch die Reduktion von Schrottverunreinigungen, bewirkt durch eine Verbesserung der Sammlung, der Demontage, des Shredderns, der Trennung etc. Mit der EU-Altauto-Richtlinie wurden hier z. B. bereits gesetzliche Vorgaben gemacht. Es ist langfristig zu erwarten, dass sich die Reinheit des Schrotts hierbei durch eine bessere Produktgestaltung stahlhaltiger Güter verbessert (z. B. Verbot von sechs Schwermetallen für zahlreiche Bauteile in der PKW-Herstellung). Die in existierenden Gütern und Investitionen (Materiallager der Technosphäre) gebundene Stahlmenge stellt ein großes Recyclingpotenzial dar, das zukünftig als Schrott zur Verfügung stehen wird.

Stahlwerke sind sehr langfristige Investitionen. Sie unterliegen damit einem ca. 20- bis 30-jährigen Investitionszyklus. Ein hoher Anteil der oben genannten Energieeinsparmaßnahmen sowie der im europäischen BAT-Dokument festgelegten Optimierungen sind innerhalb dieses Zyklus realisierbar [BAT Steel 2001]. Nach der Umstrukturierung in den neunziger Jahren durch Zusammenlegung der Stahlwerke im Ruhrgebiet sowie den Aufbau neuer Elektrostahlwerke (Eisenhüttenstadt, Luxemburg) gibt es keine „kleineren“ Erzeuger mit ineffizienten Werken mehr. Die deutsche Stahlindustrie hat in ihrer Selbstverpflichtung zur CO<sub>2</sub>-Reduktion eine Senkung ihrer spezifischen Kohlendioxidemissionen von 1990 bis 2012 um 22 % zugesagt. Dieses Ziel soll durch einen Mix von prozesstechnischen Innovationen und verstärktem Einsatz von Sekundärrohstoffen erzielt werden. So konnte der spezifische CO<sub>2</sub>-

Ausstoß zwischen 1990 und 2004 bereits von ca. 1600 kg/t auf nahezu 1350 kg/t gesenkt werden.

Darüber hinaus können weitere langfristige Senkungen des Energieverbrauchs abgeschätzt werden, die in der folgenden Tabelle 4.4 nach [Jochem 2004] zusammengestellt sind.

Tabelle 4.4 Zukünftiger Primärenergieverbrauch in der Stahlindustrie

	Einheit	2000	2030	Änderung bzgl. 2000
Rohstahlproduktion	Mio. t/a	46,38	46,38	0,0%
Elektrostahlanteil – Basisvariante	%	28,7	28,7	0,0%
PEV Elektrostahl	GJ/t	5,4	4,3	-20,4%
PEV Oxygenstahl	GJ/t	20,6	18	-12,6%
Basisvariante	PJ/a	753	652	-13,4%

Die spezifischen Energieverbräuche reduzieren sich für die Elektrostahlroute um ca. 20 % sowie für die Oxygenstahlroute um ca. 13 %. Für die Basisvariante wird der Anteil Elektrostahl als konstant angenommen, so dass sich insgesamt eine Senkung des Primärenergieverbrauchs von 753 PJ um ca. 13 % auf 652 PJ ergibt.

Seit ca. 1990 nimmt in Deutschland der Anteil des Elektrostahls zu. Für das Jahr 2030 wird der Anteil des Elektrostahls zwischen 33 % (untere Variante) und 45 % (obere Variante) abgeschätzt. Dadurch ermäßigt sich der Energieverbrauch der Stahlindustrie weiter (vgl. Tabelle 4.5).

Tabelle 4.5 Zukünftiger Primärenergieverbrauch in der Stahlindustrie in Abhängigkeit vom Elektrostahlanteil

	Einheit	2000	2030	Änderung bzgl. 2000
PEV untere Variante	PJ/a	753	625	-17,0 %
PEV obere Variante	PJ/a	753	549	-27,1 %
Basisvariante	Mio. t Schrott	13,3	13,3	0,0 %
untere Variante	Mio. t Schrott	13,3	15,3	15,0 %
obere Variante	Mio. t Schrott	13,3	20,9	56,8 %

So wird für die untere Variante eine Reduktion des Primärenergieverbrauchs um 17 % und für die obere Variante um 27 % berechnet.<sup>11</sup> Bei einer Erhöhung des Elektrostahlanteils wächst der Schrottbedarf. Für die untere Variante wird mit einem um 2 Mio. t/a auf dann 15,3 Mio. t/a erhöhten Schrottbedarf gerechnet. Für die obere Variante wird mit einem um 7,6 Mio. t/a auf dann 20,9 Mio. t/a erhöhten Schrottbedarf gerechnet.

<sup>11</sup> Das Minderungspotenzial entspricht ca. 10–15 Mio. t/a CO<sub>2</sub>-Äquivalenten, dies sind rund 1,0 bis 1,5 % der deutschen Gesamtemissionen im Jahr 2002.

re Variante besteht ein Bedarf von ca. 21 Mio. t/a, ein Anstieg um ca. 57 % gegenüber dem Bedarf im Jahr 2000.

Folgt man [Jochem 2004] weiter, so ermäßigt sich die Rohstahlproduktion in 2030 gegenüber 2000 jedoch um 11 % auf ca. 41,3 Mio. t/a. Der Primärenergiebedarf reduziert sich gegenüber den obigen Rechnungen auf 581 PJ/a in der Basisvariante, auf 557 PJ/a für die untere Variante und auf 489 PJ/a in der oberen Variante, so dass insgesamt eine Reduktion um 23 %, 26 % und 35 % erzielt werden kann.

Die Zusammensetzung und Menge des anfallenden Gichtgasschlammes in der Hochofenroute wird von der eingesetzten Technik wie von den Rohstoffen deutlich beeinflusst. Nach [Rentz 1996] ist mit einem Anfall von ca. 3 bis 10 kg Gichtgasschlamm pro Tonne Roheisen zu kalkulieren. Damit ergeben sich ca. 100.000 bis 350.000 t/a Gichtgasschlämme, die traditionell deponiert werden. Hierfür können existierende Verfahren zur Verwertung eingesetzt werden [Rentz 1996].<sup>12</sup>

#### **4.1.2.4 Handlungsoptionen**

Aus den skizzierten Potenzialen können folgende Handlungsoptionen abgeleitet werden. Der weitere anstehende Investitionszyklus in der Stahlindustrie in den nächsten Jahren bietet gute Gelegenheiten zur Energieeinsparung und zu Beiträgen zur Erfüllung der Selbstverpflichtung (CO<sub>2</sub>-Emissionen). Das Dokument „Best Available Techniques Reference Document on the Production of Iron and Steel“ der EU [BAT Steel 2001] bietet eine Grundlage für die Erschließung der in Abschnitt 4.1.2.3 skizzierten technischen Potenziale.

Das größte zusätzliche zukünftige Potenzial und damit die wichtigste Handlungsoption liegen hierbei in der weiteren Verbreitung der Elektrostahlroute. Hierbei kommt der Bereitstellung von deutlich größeren Schrottmengen und der Qualitätssicherung von Schrotten eine elementare Bedeutung zu. Eine Überprüfung des Abschöpfungsgrades sowie eine detaillierte Vorausschau auf das zur Verfügung stehende und zukünftig zu nutzende Schrottlager bieten die Möglichkeit, durch Investitionen in die Elektrostahlroute die nötige Planungssicherheit zu schaffen.

Eine wichtige Handlungsoption zur Ressourcen schonenden Abfallpolitik stellt die Verwertung von Gichtgasschlämmen dar. Hier können einerseits die weitere Depositionierung von belastetem Gichtgasschlamm weitgehend reduziert und andererseits die Metalle Eisen, Blei und Zink gewonnen werden.

---

<sup>12</sup> Im Rahmen des Projekts konnten keine Hinweise gefunden werden, dass bislang Gichtgasschlämme aus deutschen Stahlwerken einer Verwertung zugeführt werden. Hierzu bedarf es noch zusätzlicher Untersuchungen, die den Rahmen dieses Projekts gesprengt hätten.

## 4.1.3 Übersicht Fahrzeugbau in Deutschland

### 4.1.3.1 Daten und Fakten

Mit dem Sektor Fahrzeugbau wird die Herstellung von Fahrzeugen einschließlich der Erzeugung der in Fahrzeugen verbauten Werkstoffe erfasst. Der Sektor Fahrzeugbau umfasst die Herstellung von Personenkraftwagen und Lastkraftwagen inklusive der Herstellung von Teilen und Zubehör. Der „Sonstige Fahrzeugbau“ besteht aus dem Schiffbau sowie dem Schienen-, Luft- und Raumfahrzeugbau und der Herstellung von Krafträdern, Fahrrädern u. a. Nach wirtschaftlichen und ökologischen Gesichtspunkten ist der Straßenfahrzeugbau (PKW, LKW) am bedeutendsten. Deshalb konzentriert sich diese Arbeit auf den Fahrzeugbau.

#### Ökonomische Kennziffern

Fahrzeugbau generell

- Umsatz der Automobilindustrie: 227,7 Mrd. € (2004), was einem Anteil von 18,6 % am Gesamtumsatz der verarbeitenden Industrie entspricht.
  - Beschäftigung in der deutschen Automobilindustrie: 773.200 (2004) (entspricht 13,1 % aller in der verarbeitenden Industrie Beschäftigten). Dies sind 130.000 mehr als vor zehn Jahren. Im Bereich der Herstellung von PKW und Nutzfahrzeugen sind 407.700 Beschäftigte zu verzeichnen, bei der Zulieferindustrie 329.300 und bei der Herstellung von Anhängern, Aufbauten und Containern 36.200.
  - Die deutsche Jahresproduktion im Jahr 2004 [VDA 2004]:
    - 5.192.000 PKW (93,2 %)
    - 208.000 LKW < 6 t zulässiges Gesamtgewicht (3,7 %)
    - 160.000 LKW > 6 t zulässiges Gesamtgewicht (2,8 %)
    - 10.000 Omnibusse (0,1 %)
- 5.570.000 Summe Fahrzeuge**

Die Entwicklung der deutschen PKW-Produktion ist in Abbildung 4.5 aufgeführt.

Abbildung 4.5 Entwicklung der deutschen PKW-Produktion [VDA 2004]

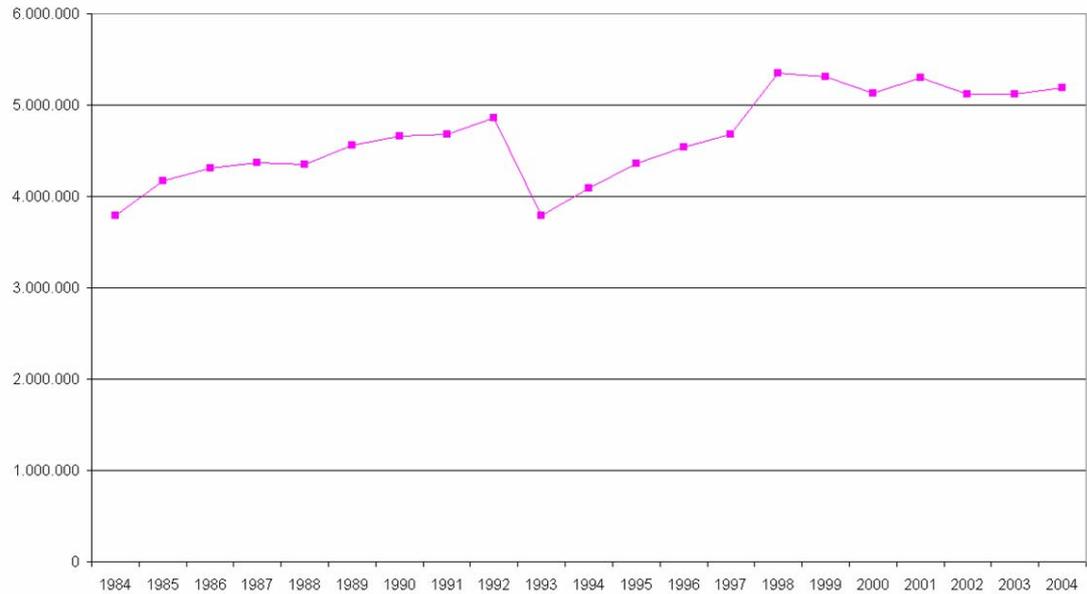


Abbildung 4.6 zeigt die Aufteilung der deutschen PKW-Produktion nach Hubraumklassen. Es ist deutlich erkennbar, dass Hubraumklassen > 1,5 l gut 80 % der deutschen PKW-Produktion bilden. Jüngste Zahlen zur Entwicklung der deutschen Produktion sind Tabelle 4.6 zu entnehmen.

Abbildung 4.6 Produktion in Deutschland nach Hubraumklassen 1999 [VDA 1999]

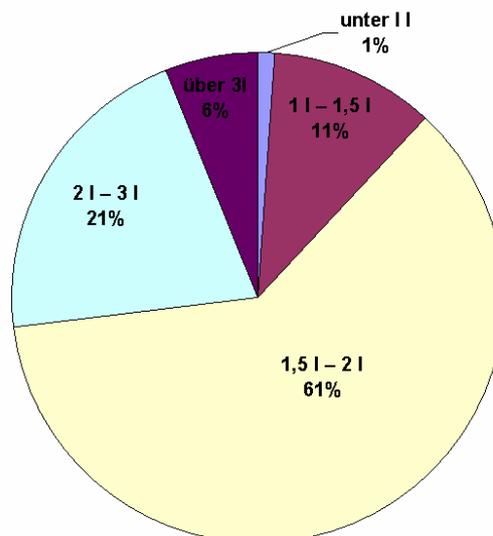


Tabelle 4.6 Entwicklung deutsche Produktion nach Hubraum

Personenkraftwagen	Zum Absatz bestimmte Produktion in Stück			
	2003	2004	1. Quartal 2005	1. Quartal 2004
Mit Otto-(Benzin-)Motor und über 1 l Hubraum	3 383 651	3 287 689	774 099	850 372
Mit Dieselmotor und über 1,5 l Hubraum	2 142 796	2 400 538	630 638	573 637
Mit Dieselmotor, alle Hubraumgrößen	:	2 485 728	677 834	626 066
Insgesamt	:	5 773 417	1 451 933	1 476 438

Quelle: Statistisches Bundesamt, Pressemitteilung vom 6. September 2005

### Wirtschaftliche Verflechtung

#### Fahrzeugbau generell

#### Export und Import:

- Insgesamt werden Erzeugnisse im Wert von 146,3 Mrd. € exportiert und automobile Erzeugnisse im Wert von 65,5 Mrd. € importiert. Beim Export dominieren in Stückzahlen gerechnet die Personenkraftwagen (vgl. Tabelle 4.7).
- Die Importe kommen zu 80,6 % aus der EU25, aus Europa insgesamt 83,7 %, aus Japan 6,0 %, aus den USA 5,9 %.
- Die Auslandmärkte haben für die heimische Automobilindustrie an Bedeutung gewonnen, während Mitte der 90er Jahr rund die Hälfte aller produzierten PKW ins Ausland ging, sind dies heute (2004) bereits 71 %. Die europäischen Nachbarländer sind für die deutschen Hersteller die wichtigsten Absatzregionen (vgl. Tabelle 4.8).

Tabelle 4.7 Export nach Fahrzeugart (2004)

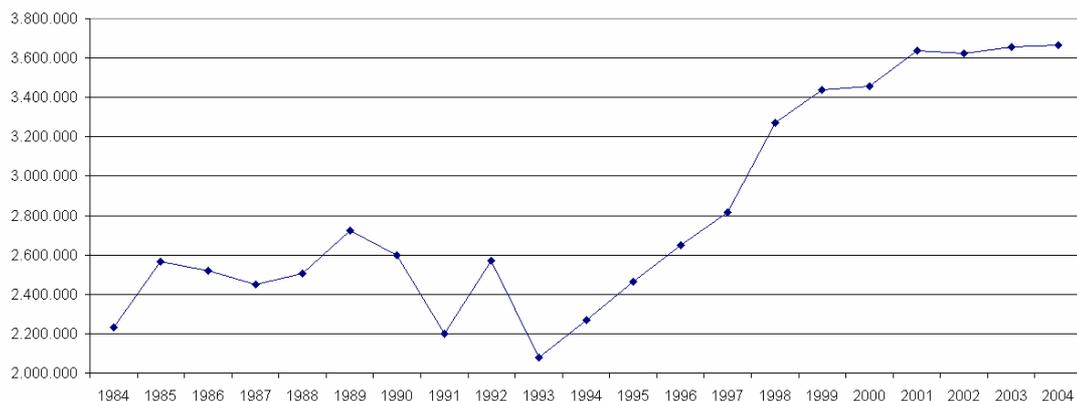
	absolut	in %
Personenkraftwagen	3.666.524	93,44 %
Nutzfahrzeuge	257.526	6,56 %
Davon:		
LKW bis 6 t zul. Ges.-Gew.	145.242	3,70 %
LKW über 6 t zul. Ges.-Gew.	104.838	2,67 %
Omnibusse	7.446	0,19 %
Kraftwagen insgesamt	3.924.050	100,00 %

Tabelle 4.8 Export von PKW und Nutzfahrzeugen nach Exportregionen/-ländern

	PKW-Export aus Deutschland nach Verbrauchsländern 2004		Nutzfahrzeug-Export aus Deutschland nach Verbrauchsländern 2004	
	absolut	in %	absolut	in %
Europa insgesamt	2.666.889	72,74 %	220.372	85,57 %
Westeuropa	2.363.406	64,46 %	179.269	69,61 %
Darunter:				
Frankreich	306.464	8,36 %	29.267	11,36 %
Großbritannien	623.114	16,99 %	44.420	17,25 %
Osteuropa	303.483	8,28 %	41.103	15,96 %
Afrika	50.997	1,39 %	8.552	3,32 %
Amerika	618.387	16,87 %	4.392	1,71 %
Asien insgesamt	275.987	7,53 %	21.044	8,17 %
Australien und Ozeanien	51.576	1,41 %	3.118	1,21 %
Export insgesamt	3.666.524	100,00 %	257.526	100,00 %

Wie aus der nachfolgenden Abbildung 4.7 ersichtlich wird, nahmen die Exportzahlen der Automobilindustrie im Bereich der PKW in den letzten zehn Jahren deutlich zu und liegen seit Ende der neunziger Jahre über der 3-Millionen-Marke [VDA 2005].

Abbildung 4.7 Exportentwicklung PKW Deutschland



Ökologische Kennziffern: Daten zu Umweltkriterien

1.) Fahrzeugbau generell:

- Der Anteil des Fahrzeugbaus am gesamten Energieverbrauch der deutschen Industrie lag im Jahr 1998 bei 24,1 % [Enquete 2001].

- Der Straßenfahrzeugbau in Deutschland hat einen Anteil von etwa 30 % am Stahlverbrauch [Stahl 2005] und von 33 % am Aluminiumverbrauch [IPAI 2000].

## 2.) PKW-Produktion

- Die spezifischen Merkmale des Gutes PKW sind die Vielfalt der speziell für den Automobilbereich entwickelten Werkstoffe und die große Anzahl an Einzelteilen aus denen ein PKW zusammengebaut ist. Es ist das Gut mit der höchsten Recyclingrate im Vergleich zu anderen produzierten Gütern [VW 2000].
- In den letzten 25 Jahren ist das durchschnittliche Leergewicht eines NeupKW von 900 kg auf 1.120 kg gestiegen (wegen größerer Komfort- und Sicherheitsausstattungen sowie leistungsstärkerer Motoren). Gleichzeitig hat sich jedoch der Gewichtsanteil relativ leichter Werkstoffe wie Kunststoffe, Aluminium erhöht [Jochem 2004].
- Die achtzig schwersten Einzelteile machen beim Golf A4 als Beispiel-PKW erst das halbe Fahrzeuggewicht aus [VW 2000]. Damit wird die Komplexität des produzierten Gutes PKW unterstrichen. Es wird deutlich, dass einschneidende Gewichtsreduzierungen nur durch die Entwicklung einer Vielzahl von Bauteilalternativen realisiert werden können.
- Als Durchschnittswerte im Jahr 2000 werden für einen PKW der Fahrzeugklasse M1 (der überwiegende Anteil der PKW ist dieser Klasse zuzuordnen) im Jahr 2000 in [Jochem 2004] genannt:

Stahl:	ca. 59 %,
Aluminium:	ca. 8 %,
Kunststoff:	ca. 14 %,
Elastomere/Rest	ca. 14 %,
sonstige NE-Metalle	ca. 5 %.

Während der Stahlanteil seit 1975 kontinuierlich abnimmt (von 75 %), steigt der Anteil von Aluminium (1975: 3 %) und Kunststoff (1975: 6 %) an.

In der nachfolgenden Tabelle 4.9 sind einige wichtige Ökobilanzdaten für die Produktion eines PKW (inkl. Vorketten) aus zwei verschiedenen Quellen aufgeführt. Es ist zu beachten, dass die Daten sich auf sehr unterschiedliche Fahrzeugmodelle und z. T. unterschiedliche Kriterien (Kohlendioxid-Äquivalente bzw. Kohlendioxid, Schwefeldioxid-Äquivalente bzw. Schwefeldioxid) beziehen. Dennoch bieten sie einen ersten guten Eindruck über die ökologische Relevanz der PKW-Produktion.

Tabelle 4.9 Ökobilanz eines Mercedes-Benz und eines VW Golf [MB 2005], [VW 2000]

Modell	Mercedes Benz (S-Klasse, Modell S 350)	Herstellung VW Golf A4
Primärenergieaufwand Herstellung	ca. 105 MJ/kg	ca. 84 MJ/kg
Treibhauspotenzial	CO <sub>2</sub> -Äquivalente: 6,54 kg CO <sub>2</sub> - Äquivalent/kg	Kohlendioxid: 4,23 kg/kg
Versauerungspotenzial	SO <sub>2</sub> -Äquivalente 0,0317 kg SO <sub>2</sub> - Äquivalente/kg	Schwefeldioxid: 0,015 kg/kg

#### 4.1.3.2 Dynamik und Trends

Insbesondere in der PKW-Produktion kann durch Material sparende Konstruktionsweise der Bedarf an Rohstoffen und Energie gesenkt werden. Gewichtsreduzierungen lassen sich über Material sparendes Design am Bauteil sowie über eine entsprechende Materialwahl realisieren. Beim Stahl kann dies beispielsweise durch maßgeschneiderte Bleche in unterschiedlicher Dicke, höherfeste Stähle, innenhochdruckgeformte Teile und laserstrahlgeschweißte Profile sowie durch Substitution der Werkstoffe, insbesondere durch Aluminium und Kunststoff, erzielt werden.

#### 4.1.3.3 Potenziale

In einer Planungsstudie wurde im Vergleich zu einer durchschnittlichen Mittelklasselimousine das Gewicht der Rohkarosserie um 25 % reduziert. Verglichen mit aktuellen Fahrzeugkomponenten konnten folgende Gewichtseinsparungen erreicht werden:

- bei verschiedenen Türenkonzepten (Tailored Blanks) bis zu 27 %,
- bei Motorhauben bis zu 32 %,
- bei Kofferraumdeckeln bis zu 29 %,
- bei Heckklappen bis zu 26 %.
- Mit dem Lotus-Unique-System konnten beim Fahrwerk Gewichtseinsparungen von 34 % und Kosteneinsparungen von 22 % erzielt werden.

Unterstellt man eine Gewichtsreduktion von 15–25 % bis 2030, so ergeben sich allein in der Herstellung Energieeinsparungen von ca. 30–50 PJ, wobei diese Zahlen genauer mit anderen Effizienzeffekten zu prüfen sein werden [Enquete 2001]. In [Altmann 2002] werden die Einsparpotenziale durch Materialwahl und konstruktive Maßnahmen aus verschiedenen Studien zusammengeführt (vgl. Tabelle 4.10). Wie ersichtlich, beläuft sich das technische Potenzial insgesamt auf bis zu 40 %, bezogen auf das konventionelle (d. h. heute übliche) Fahrzeuggewicht.

Tabelle 4.10 Vergleich der Gewichte von Baugruppen eines PKW nach konventioneller und optimierter (PNGV) Bauart

Baugruppe	Konventionell	PNGV*-Fahrzeug	Einsparung
Karosserie	514 kg	257 kg	50 %
Antrieb	499 kg	249 kg	50 %
Fahrwerk	394 kg	354 kg	10 %
Sonstiges	62 kg	28 kg	55 %
Summe	1470 kg	889kg	40 %

\* PNGV – Partnership for a new generation of vehicles

Überschlagsweise kann im PKW 1 kg Stahl durch 0,6 kg Aluminium ersetzt werden. Durch den Einsatz von Magnesium für die Karosserie können sogar 50 % Gewichtseinsparungen im Vergleich zu herkömmlichen Fahrzeugmodellen erreicht werden [Jochem 2004]. Zu beachten ist jedoch, dass die Substitution von Stahl oftmals mit einem erheblich höheren Energieaufwand bei der Produktion einhergeht. So ist der Energieaufwand bei der Produktion von Primäraluminium (Sekundäraluminium) etwa 10-mal (2-mal) höher. Dem wären jedoch die erheblichen Energieeinsparungen in der Nutzungsphase durch verminderten Treibstoffverbrauch gegenüberzustellen (dazu ausführlich [Jochem 2004]).

Gerade im Fahrzeugbaubereich geschieht ein erheblicher Teil der Umweltauswirkungen nicht im Herstellungsprozess, sondern in der Nutzungsphase. So werden bei der Herstellung eines PKW nur 15–20 % der Primärenergie des gesamten Lebenszyklus eingesetzt [VW 2000], [MB 2005]. Wie diese Studien zeigen, ist es jedoch schwierig, grundsätzliche Aussagen zur ökologischen Vorteilhaftigkeit eines bestimmten Werkstoffs oder einer bestimmten Bauweise zu treffen. Vielmehr ist meist eine Einzelfallbetrachtung notwendig [LIRECAR 2004], [Jochem 2004].

Für den Fahrzeugbau entscheidet die Materialintensität per Fahrzeug und die Materialwahl über die Energieintensität. Eine Effizienzsteigerung in diesem Sektor wird somit durch eine Stagnation bzw. Reduktion des Gewichts der Fahrzeuge erzielt, da dieses Ziel mit einer Kraftstoffreduktion einhergeht.

Eine Abschätzung der Effekte einer Materialreduktion kann überschlägig durch Multiplikation des spezifischen Energieaufwandes aus LCA-Daten (95 MJ/kg Durchschnitt aus Daten Mercedes Benz und Golf, vgl. oben), der spezifischen Materialreduktion (PNGV) um ca. 580 kg/PKW (40 %) sowie der Anzahl an in Deutschland produzierten PKW von ca. 5,8 Mio. Einheiten erfolgen. Unter diesen optimistischen Annahmen erhält man eine Materialreduktion um ca. 3,4 Mio. t/a und eine jährliche Energieeinsparung für die PKW-Produktion von 318 PJ (ca. minus 40 % gegenüber Ausgangswert).<sup>13</sup> Mit dieser Energieeinsparung in der Herstellungskette verbunden wäre zusätzlich noch eine große Einsparung an Kraftstoffmengen in der

<sup>13</sup> Das Minderungspotenzial entspricht ungefähr 18 Mio. t/a CO<sub>2</sub>-Äquivalenten, d. h. 1,8 % der deutschen Gesamtemissionen im Jahr 2002 (ohne zusätzliche erhebliche Einsparungen durch verminderten Kraftstoffverbrauch).

Gebrauchsphase der PKW. Setzt man hingegen die deutlich geringere Gewichtsreduktion nach [LIRECAR 2002] an, so reduziert sich die Einsparung auf ca. die Hälfte. Die skizzierten Einsparungen für die PKW-Herstellung können geringer ausfallen, wenn einfache, weniger energieaufwendige Materialien (z. B. Stahl) durch energieintensive Materialien (z. B. Aluminium aus Primärherstellung) substituiert werden.

Ein weiterer Weg ergibt sich durch eine optimierte Verwertung von Altfahrzeugen innerhalb der AltfahrzeugVO. Hierbei sollten die Optionen auf ihre Energieeffizienz überprüft werden und bestimmte Verfahren zugunsten von effizienten Gesamtkonzepten aufgegeben werden. So errechnet VW für sein optimiertes Verfahren (VWSicon) zur Auftrennung und Verwertung der Shredderleichtfraktion im Rahmen des Altfahrzeugrecyclings eine Entlastung von ca. 280 kg CO<sub>2</sub> je PKW. Unter der Annahme, dass in Deutschland ca. 1 Mio. PKW als Altfahrzeug entsorgt werden, ergibt sich somit ein Entlastungspotenzial von ca. 280.000 t CO<sub>2</sub> [VW 2005].

#### **4.1.3.4 Handlungsoptionen**

Der Fahrzeugbau ist eine zentrale Branche in Deutschland. Er setzt viele Basismaterialien ein und dominiert den Einsatz von energieintensiven Materialien wie Stahl (ca. 30 %) und Aluminium (ca. 33 %). Das Fahrzeuggewicht ist damit sehr relevant, nicht nur hinsichtlich der eingesetzten Materialien, sondern auch über den Einfluss des Fahrzeuggewichtes auf den Kraftstoffverbrauch. Zusätzlich zu der Quantität der eingesetzten Materialien bestimmt die Qualität des Materials die erzielbaren Einsparungen. Einerseits muss darauf geachtet werden, dass Leichtbaumaterialien (Aluminium, Magnesium) mit ihrer energieintensiven Herstellung die Erfolge bei der Gewichtsreduktion (Minderung des Treibstoffverbrauchs) nicht wieder zunichte machen. Zum anderen ist für das zukünftige Recyclingregime die Qualität der erhaltenen Reststoffe entscheidend und bestimmt ihre Einsatzfähigkeit. Die Reduktion von unerwünschten Beimengungen (z. B. Schwermetalle, siehe AltfahrzeugVO) und Stoffen im Fahrzeug sowie die entsprechende Aufarbeitung der Fraktionen aus den Altfahrzeugen ist hier anzusprechen.

Insgesamt besteht die wesentliche Handlungsoption in der fortgesetzten Forschung, Entwicklung und Realisierung von Fahrzeugkonstruktionen, die zur Reduktion der Fahrzeuggewichte beitragen. Die Rahmenbedingungen hierfür (Förderung der Grundlagenforschung sowie der angewandten Forschung) sind entsprechend optimal zu gestalten. Zur Schließung der Stoffkreisläufe ist zudem darauf zu achten, dass entsprechende Verwertungskonzepte Anwendung finden. Während die PKW-Sparte des Fahrzeugbaus sicherlich zu Recht von der Rechtsprechung prioritär behandelt wird, so sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass für die LKW-Sparte keine weiteren Regelungen vorhanden sind. Auch fehlt es an Informationen über den Verbleib und die Entsorgung der LKW. Hier ist wichtig, dass diese Wissenslücken geschlossen werden.

## 4.1.4 Übersicht PKW-Konsum in Deutschland

### 4.1.4.1 Daten und Fakten

Mit „PKW-Konsum“ wird der Kauf und Gebrauch von PKW-Fahrzeugen in Deutschland durch die Haushalte beschrieben. PKW umfassen hier die zum privaten Passagiertransport zugelassenen Fahrzeuge mit Otto-, Dieselmotor oder sonstigem Antrieb (Erdgas, Elektro). Hierzu zählen auch Wohnmobile. PKW können als Neu-PKW oder Gebrauch-PKW gekauft werden. Nach Ablauf der Zulassung gelten sie als Altfahrzeuge.

Die Haushalte beziehen Neu-PKW aus inländischer und ausländischer Produktion. Zusätzlich werden PKW von Haushalten als Gebrauch-PKW von anderen Haushalten sowie von gewerblichen Eigentümern (Handel zwischen Haushalten und Gewerbe, hier einbezogen) erworben. Zusätzlich erfolgt ein geringer Import von Gebrauch-PKW sowie ein bedeutsamerer Export von Gebrauch-PKW. Die Altfahrzeuge werden entsprechend entsorgt. Insgesamt ergibt sich dabei ein „grauer“ Export von Gebrauch-PKW bzw. Altfahrzeugen, der über die Außenhandelsstatistik aufgrund von Freigrenzen nicht ausreichend erfasst wird.

#### Ökonomische Kennziffern

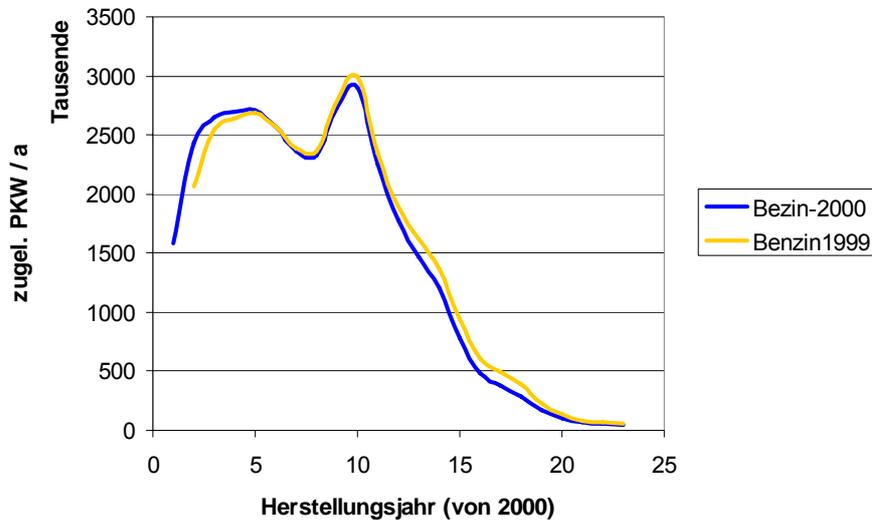
Die Ausstattung der Haushalte mit PKW wird vom SOEP-Monitor [SOEP 2004] abgefragt und zeigt ein Anwachsen der Ausstattung in Westdeutschland von 67 % in 1985 auf 72 % in 1992 und 76 % in 2004. In Ostdeutschland wurde für 1991 eine Ausstattung der Haushalte mit 49 % erhoben, die 1998 70 % betrug und im Jahr 2004 auf 72 % angewachsen war. Die Ausstattung der Haushalte mit PKW hat sich daher zwischen alten und neuen Bundesländern weitgehend angenähert. Hierbei ist zu beachten, dass die Anzahl der Haushalte dabei deutlich zugenommen hat.

Die Haushalte haben im Jahr 2004

1. ca. 1,6 Mio. Neu-PKW (Otto) und 0,48 Mio. Neu-PKW (Diesel) gekauft,
2. ca. 0,71 Mio. Gebrauch-PKW (ca. 1–5 Jahre alt) aus Importen und vom Gewerbe gekauft,
3. ca. 1,55 Mio. Gebrauch-PKW und Altfahrzeuge an Gewerbe bzw. Export verkauft oder zur Entsorgung abgegeben.

Insgesamt findet ein Aufbau des PKW-Bestandes der Haushalte statt (vgl. Abbildung 4.8). Er hat sich für PKW (Otto) von 33,62 Mio. im Jahr 1999 auf 34,41 Mio. PKW im Jahr 2000 erhöht. Für PKW (Diesel) fand im gleichen Zeitraum ein Bestandsaufbau von 4,3 Mio. auf 4,65 Mio. PKW statt.

Abbildung 4.8 Lageraufbau PKW-Konsum (PKW der Haushalte in Deutschland)



Unterteilt man die PKW in Hubraumklassen und betrachtet man deren Herstellung, Import, Zulassung (Haushalte & Gewerbe) sowie die Zulassung der Haushalte (PKW-Konsum), so findet man die aus Tabelle 4.11 ersichtliche Verteilung:

Tabelle 4.11 Herstellung, Import, Zulassung und Konsum von PKW (Otto und Diesel) nach Hubraumklassen in Stückzahlen

Klasse (Hubraum)	in D Produziert	importiert	in D zugelassen	PKW-Konsum	Anteil PKW-Konsum/Prod.
< 1,5 l	679.072	735.883	985.273	650.318	96 %
1,5–2,0 l	3.185.638	936.143	1.843.442	919.539	29 %
2,0–2,5 l	845.503	159.221	631.870	373.578	44 %
> 2,5 l	609.196	160.180	253.817	114.469	19 %
Summe	5.319.409	1.991.427	3.714.402	2.057.904	39 %

Die Tabelle zeigt die unterschiedlichen Muster in Produktion und Gebrauch. Während in der Produktion der Anteil an PKW mit Hubraum < 1,5 l gering ist, übertrifft die Zulassung die Produktion um ca. 50 %. Der Anteil PKW-Konsum an der Produktion ist ca. 96 %. In dieser Klasse dominieren Importe.

In der Hubraumklasse zwischen 1,5 und 2 l beträgt die Zulassung ca. 58 % der Produktion. Der Neukauf der Haushalte beträgt hingegen nur 29 %. Es ist ein deutliches Übergewicht der heimischen Produktion zu erkennen. Für diese Klasse ist der Effekt des Ersterwerbs des Gewerbes und der anschließenden Weiterveräußerung an die Haushalte stark ausgeprägt.

In den beiden Hubraumklassen über 2 l dominiert die heimische Produktion das Angebot. Für PKW über 2,5 l ist der Neukauf durch Haushalte auf ca. 19 % der heimischen Produktion gesunken.

### Wirtschaftliche Verflechtung

Zum Unterhalt des PKW-Konsums werden Kraftstoffe, Ersatzteile sowie andere Betriebsmittel bezogen. Weiterhin ist auf die außenwirtschaftliche Verflechtung durch Export von Gebrauchtk-PKW und Altfahrzeugen hinzuweisen. Dieser Sachverhalt führt zu einem geringeren Anfall an zu entsorgenden Altfahrzeugen, als es aus dem Bestand ohne Export erfolgen sollte (siehe unten).

### Ökologische Kennziffern: Daten zu Umweltkriterien

Der Betrieb von PKW ist mit einem hohen Kraftstoffverbrauch verbunden. Der Kraftstoffverbrauch wird durch den Bestand an PKW, die durchschnittliche jährliche Fahrleistung sowie den Durchschnittsverbrauch bestimmt. Im Zeitraum von 1991 bis 2001 hat sich der Bestand an PKW (Hier Haushalte und Gewerbe) von 36,7 auf 44,3 Mio. erhöht. Die durchschnittliche Fahrleistung hat sich im selben Zeitraum von ca. 13.500 km (1991) auf 11.500 km (2001) ermäßigt. Insgesamt hat sich damit die Fahrleistung von ca. 496 Mrd. km (1991) auf 511 Mrd. km (2001) erhöht.

Gleichzeitig sank der durchschnittliche Flottenverbrauch von 9,5 l/100 km in 1991 auf 8,8 l/100 km in 2001 für PKW mit Ottomotor. Für Diesel-PKW veränderte sich der Verbrauch von 7,7 l/100 km in 1991 auf 7,3 l/100 km in 2001. Insgesamt ist damit der Verbrauch an Ottokraftstoff von 39,6 Mrd. l auf 35,6 Mrd. l gesunken. Der steigende Anteil von Diesel-PKW führt hingegen bei Dieselmotoren zu einem Anstieg von 6,1 auf 7,7 Mrd. l [DIW 2002].

#### **4.1.4.2 Dynamik und Trends**

Die materielle Ausstattung der PKW hat sich in den letzten 25 Jahren deutlich geändert. So ist das durchschnittliche Leergewicht eines Neufahrzeugs von 900 kg auf 1.120 kg gestiegen. Der Grund hierfür liegt in den größeren Komfort- und Sicherheitsausstattungen sowie leistungsstärkeren Motoren. Dieser Zuwachs wurde durch einen höheren Gewichtsanteil leichter Werkstoffe (insbesondere im Hinblick auf die alternativen Materialien) wie Kunststoffe, Aluminium zusätzlich gedämpft. Da das Leergewicht von PKW-Konsum in den letzten Jahrzehnten deutlich gestiegen ist, weisen neu angeschaffte PKW durchschnittlich ein höheres Gewicht auf. Grund hierfür ist ein höheres Angebot an Ausstattung (Elektronik, Klimaanlage, Sicherheit). Dieser Trend hat die erfolgten Gewichtseinsparungen durch Materialien (Aluminium, Kunststoffe etc.) überkompensiert. Hier bietet sich ein weites Feld durch Umkehren dieses Trends, PKW leichter und damit weniger materialintensiv auszustatten.

Aus dem Bestand werden ca. 2 Mio. PKW gelöscht und als Gebrauchtk-PKW exportiert oder als Altfahrzeug entsorgt. Der statistisch erfasste Export weist für 2000 ein Volumen von 505.054 PKW auf. Die Entsorgung in Deutschland wird auf ca. 0,8 bis 1,2 Mio. Stück geschätzt. Der Rest muss als „Graumarkt“-Export eingestuft werden.

#### 4.1.4.3 Potenziale

Neben dem Kraftstoffverbrauch (in dieser Arbeit nicht zentraler Gegenstand der Untersuchung) können Potenziale hinsichtlich der materiellen Ausstattung sowie der Entsorgung identifiziert werden. Hierzu gelten für den PKW-Konsum prinzipiell dieselben Potenziale wie sie im vorhergehenden Kapitel beschrieben worden sind. Allerdings ist anzumerken, dass die in Deutschland von den privaten Haushalten gehaltenen Fahrzeuge geringer motorisiert sind und auch ein geringeres Leergewicht aufweisen. Die entsprechenden Potenziale müssen also geringer eingeschätzt werden. Weiterhin muss darauf hingewiesen werden, dass die PKW der deutschen Haushalte, insbesondere mit geringem Hubraum, zunehmend aus ausländischer Produktion stammen. Damit ist Deutschland auf eine übergreifende Kooperation angewiesen, um hier Potenziale im Bereich der Herstellung (Materialwahl etc.) zu aktivieren. Insgesamt bleibt aber die weiter steigende Pro-Kopf-Versorgung mit PKW eine Haupttriebkraft für den Absatz und damit für den Aufbau eines wichtigen Materiallagers in der Technosphäre.

#### 4.1.4.4 Handlungsoptionen

Für die grundsätzlichen Handlungsoptionen sei auf das vorangegangene Kapitel „Fahrzeugbau“ hingewiesen.

Als spezifische Handlungsoption für den PKW-Konsum sei angemerkt, dass die statistische Erfassung und das Wissen über den Verbleib von Gebrauch-PKW bzw. Alttautos deutliche Lücken aufweisen und zur besseren Planung der Entsorgung zeitnahe Maßnahmen notwendig sind.

#### 4.1.5 Wichtige bestehende Regelungen

Die Regelungsdichte beim Fahrzeugbau und der Entsorgung (teilweise Frage des PKW-Konsums) ist sehr hoch und reicht insbesondere auch in den Bereich der Produktherstellung (Typengenehmigungsrichtlinie der EG, ELV-Richtlinie). Die wesentlichen Vorschriften sind im europäischen Recht festgelegt. Es bestehen bereits konkrete Ansätze der Stoffkreislaufregulierung (Vorgabe von Verwertungsquoten, Verbot der Verwendung bestimmter Stoffe). Im Bereich des PKW-Konsums findet sich eine Selbstverpflichtung der Automobilverbände mit dem Ziel, den Kraftstoffverbrauch der PKW-Flotte zu vermindern, sowie eine Kennzeichnungspflicht für den Kraftstoffverbrauch. Beide bisherigen „Regelungen“ reichen jedoch nicht, um den Verbrauch entscheidend zu vermindern. Nach Ansicht der EU-Kommission müssen „ganz offensichtlich“ Maßnahmen getroffen werden, um das Ziel 120 g/km CO<sub>2</sub> bis zum Jahr 2010 zu erreichen.<sup>14</sup>

---

<sup>14</sup> Mitteilung der Kommission an den Rat und das Europäische Parlament, Umsetzung der Gemeinschaftsstrategie zur Verminderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen von Kraftfahrzeugen: Fünfter Jahresbericht über die Wirksamkeit der Strategie, Brüssel, den 22.6.2005, KOM(2005) 269 endgültig.

#### 4.1.5.1 Treibhausgas- und Emissionshandelsgesetz (TEHG)

Die folgenden Anlagen des untersuchten Materialflusssystemes unterliegen hinsichtlich CO<sub>2</sub> dem TEHG:

- Anlagen zur Trockendestillation von Steinkohle oder Braunkohle (Kokereien),
- Anlagen zum Rösten, Schmelzen oder Sintern von Eisenerzen,
- Anlagen zur Herstellung oder zum Erschmelzen von Roheisen oder Stahl einschließlich Stranggießen, auch soweit Konzentrate oder sekundäre Rohstoffe eingesetzt werden, mit einer Schmelzleistung von 2,5 Tonnen oder mehr je Stunde, auch soweit in integrierten Hüttenwerken betrieben.

Die Anlagen der Kfz-Branche sind nicht vom TEHG erfasst.

#### 4.1.5.2 Deponieverordnung<sup>15</sup> und TA Abfall<sup>16</sup>

Für die Deponierung von Abfällen aus der Stahlindustrie, wie z. B. Filterstäube oder Gichtgasschlämme auf Deponien sind die Deponieverordnung (DepV) und die TA Abfall einzuhalten. Die TA Abfall beschäftigt sich mit der Behandlung von besonders überwachungsbedürftigen Abfällen (mit ihrer Lagerung, chemisch-physikalischen und biologischen Behandlung und Verbrennung sowie mit den Anforderungen an ihre oberirdische und untertägige Ablagerung). Sie wird durch die Deponieverordnung ergänzt, die u. a. den Bau und Betrieb von Deponien regelt und die richtige Zuordnung von Abfällen zu den einzelnen Deponieklassen über bestimmte Zuordnungswerte gewährleistet. Die Deponieverordnung gilt u. a. für Deponien für besonders überwachungsbedürftige (gefährliche) Abfälle. Deponien der Klasse 0 und III müssen an die TA Abfall anknüpfende Vorgaben zu geologischen Barrieren und Basis- und Oberflächenabdichtungssystemen einhalten. Die Ablagerung von besonders überwachungsbedürftigen Abfällen in oberirdischen Deponien darf nur auf der Deponiekategorie III erfolgen und es müssen die Zuordnungskriterien für Deponiekategorie III im Anhang 3 der DepV eingehalten werden. So genannte Altdeponien (Deponien, die sich am 1.8.2002 in der Ablagerungsphase befanden) können nach der Übergangsregelung von § 14 Abs. 2 DepV eine Zulassung bis zum 15. Juli 2009 befristet beantragen.

Von der Regelung für besonders überwachungsbedürftige Abfälle in der Deponieverordnung sind auch die Abfälle aus der Stahlherstellung betroffen. So werden anfallende Gichtgasschlämme, die als besonders überwachungsbedürftig eingestuft werden, spätestens ab 15.07.2009 nur noch bei Einhaltung der Vorgaben in Anhang 3 der DepV auf Deponien der Kategorie III abgelagert werden können.

---

<sup>15</sup> Verordnung über Deponien und Langzeitlager (Deponieverordnung – DepV) vom 24. Juli 2002, BGBl. I S. 2807; zuletzt geändert am 12. August 2004, BGBl. I S. 2190.

<sup>16</sup> Zweite allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz (TA Abfall) vom 12. März 1991, GMBI. S. 139.

#### 4.1.5.3 Selbstverpflichtung der Sinteranlagenbetreiber (VDEh)

Die Sinteranlagenbetreiber (VDEh) bilden einen Zusammenschluss zu einer Arbeitsgemeinschaft „Minderung der Dioxinmissionen aus Sinteranlagen“, die gemeinsam an einer Demonstrationsanlage eine technische Lösung erarbeitet, um die aus Vorsorgegründen von der Behörde geforderte Dioxinbegrenzung auf den Zielwert von 0,1 ng I-TEQ/Nm<sup>3</sup> zu erreichen.

#### 4.1.5.4 EG Typengenehmigungs-Richtlinie für Kfz

Die EG regelt Vorgaben für die Recyclingfähigkeit von Kfz mit der EG-Typengenehmigungs-Richtlinie 2005/64/EG.<sup>17</sup> Die Richtlinie schreibt vor, dass neue Kfz, die nicht den künftig strengeren EU-Recycling-Vorgaben entsprechen, gegen Ende dieses Jahrzehnts nicht mehr in den Verkehr gebracht werden können. Ausgenommen von den neuen Recycling-Vorschriften sind Kleinserien von weniger als 500 Fahrzeugen pro Jahr in jedem EU-Staat. Die EU-Staaten müssen 54 Monate nach In-Kraft-Treten der Richtlinie die Registrierung, den Verkauf und das In-Verkehr-Bringen von neuen Kraftfahrzeugen ablehnen, wenn diese die Vorschriften zu Recycling und Wiederverwertung nicht erfüllen. Es dürfen nur Fahrzeuge mit einer Typengenehmigung auf den Markt kommen, die zu mindestens 85 Massenprozent wieder verwendbar und/oder recyclingfähig sind und zu mindestens 95 Massenprozent wieder verwendbar und/oder verwertbar sind. Die Hersteller müssen den Behörden alle notwendigen technischen Informationen zu den verwendeten Materialien und zu deren Menge geben, damit sie deren Berechnungen überprüfen können.

#### 4.1.5.5 Altfahrzeugverordnung<sup>18</sup>

Mit der Altfahrzeugverordnung wird die EG-Altfahrzeug-Richtlinie vom September 2000 in deutsches Recht umgesetzt.

Die Altfahrzeugverordnung erfasst Fahrzeuge der Klassen<sup>19</sup>

- M1 (Personenbeförderung bis zu 8 Sitzen) und
- N1 (Güterbeförderung bis 3,5 t).

---

<sup>17</sup> Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates vom 26. Oktober 2005 über die Typengenehmigung für Kraftfahrzeuge hinsichtlich ihrer Wiederverwendbarkeit, Recyclingfähigkeit und Verwertbarkeit und zur Änderung der Richtlinie 70/156/EWG des Rates, ABl. Nr. L 310 vom 25.11.2005, S. 10.

<sup>18</sup> Verordnung über die Überlassung, Rücknahme und umweltverträgliche Entsorgung von Altfahrzeugen, vom 4. Juli 1997, BGBl I 1997, S. 1666; neu gefasst durch Bek. v. 21.6.2002, BGBl. I, S. 2214; zuletzt geändert am 25.11.2003 I, S. 2304.

<sup>19</sup> Das Bundeskabinett hat in seiner Sitzung vom 25. Mai 2005 u. a. die Änderung der Altfahrzeug-Verordnung beschlossen, siehe vorherige Fußnote. Zukünftig unterliegen Fahrzeuge mit besonderer Zweckbestimmung über 3,5 t Gesamtgewicht den Bestimmungen der Verordnung.

Fahrzeuge, die mehr als 8 Personen befördern, wie z. B. Busse und Fahrzeuge zur Güterbeförderung, LKW mit mehr als 3,5 t, sind von der Altfahrzeugverordnung ausgenommen.<sup>20</sup> Aufgrund der Ersten Verordnung zur Änderung der AltfahrzeugV<sup>21</sup> werden künftig auch Fahrzeuge mit besonderer Zweckbestimmung über 3,5 Tonnen Gesamtgewicht der AltfahrzeugV unterliegen.<sup>22</sup> Dies bedeutet, dass Fahrzeuge der Klasse M1 auch dann der AltfahrzeugV unterliegen, wenn sie auf Basisfahrzeugen außerhalb der Klassen M1 und N1 aufgebaut sind. Betroffen hiervon sind insbesondere Wohnmobile.

Nach der Verordnung müssen Hersteller, Importeure und die Entsorgungswirtschaft gemeinsam sicherstellen, dass ab 2006 mindestens 85 % des durchschnittlichen Gewichts eines Altfahrzeugs verwertet und mindestens 80 % stofflich verwertet oder wieder verwendet werden. Ab 2015 sind diese Verwertungsziele auf 95 % (Verwertung) bzw. 85 % (stoffliche Verwertung, Wiederverwendung) zu steigern.

Demontagebetriebe müssen ab 2006 mindestens 10 Gewichtsprozent der angenommenen Altfahrzeuge einer stofflichen Verwertung zuführen. Shredderanlagen müssen ab diesem Zeitpunkt mindestens 5 Gewichtsprozent an Shredderrückständen (im Wesentlichen Shredderleichtfraktion), bezogen auf den Input an Altfahrzeugen, einer Verwertung zuführen. Ab 2015 ist diese Quote um weitere 15 Gewichtsprozent zu steigern, wobei 5 Gewichtsprozent einer stofflichen Verwertung zuzuführen sind.

Ab 1. Juli 2003 ist es grundsätzlich verboten, Fahrzeuge und Bauteile in Verkehr zu bringen, die die Schwermetalle Cadmium, Quecksilber, Blei und sechswertiges Chrom enthalten. Ausnahmen sind im Anhang II der Altfahrzeug-Richtlinie festgelegt, der unmittelbar anzuwenden ist. Die bereits bestehenden Umweltstandards für die Behandlung und Verwertung von Altfahrzeugen durch zugelassene Betriebe werden entsprechend den EU-Vorgaben weiter verbessert. Dies wird im Anhang der AltfahrzeugV konkretisiert. Dort finden sich Anforderungen an die Annahme und Rücknahme von Altfahrzeugen, an die ordnungsgemäße und schadlose Verwertung von Altfahrzeugen und Restkarossen sowie an die ordnungsgemäße und schadlose Entsorgung der dabei anfallenden Abfälle. Diese Vorgaben gelten nur für Annahme-/Rücknahmestellen und Demontagebetriebe, die sich mit „Altfahrzeugen“ im Sinne der AltfahrzeugV beschäftigen. Vorgaben, die die Demontage von Batterien, Betriebsflüssigkeiten etc. betreffen, sind deshalb nur für Altfahrzeuge i. S. d. Altfahrzeugverordnung zu erfüllen (Nr. 3.2.2 Anhang AltfahrzeugV).

---

<sup>20</sup> Die AltfahrzeugV geht auf Probleme mit den Massenabfällen von Kfz zurück, die eine kürzere Lebensdauer als LKW und Busse haben und bei denen Schadstoffe in größeren Mengen auftreten. Zu bedenken ist, ob der „Markt“ (Marktwert und der Schrottpreis) für LKW und Busse zu einer Ressourcen schonenden Steuerung beiträgt.

<sup>21</sup> Vgl. die erste Verordnung zur Änderung der Altfahrzeug-Verordnung in der Fassung des Kabinettsbeschlusses vom 20. Dezember 2005.

<sup>22</sup> Siehe: [http://www.bmu.de/pressemitteilungen/pressemitteilungen\\_ab\\_22112005/pm/36448.php](http://www.bmu.de/pressemitteilungen/pressemitteilungen_ab_22112005/pm/36448.php).

Daneben müssen mögliche Betreiber von Demontagebetrieben für andere Fahrzeuge (Busse, LKW) als Altfahrzeuge im Hinblick auf den Betriebsstandort (Baugenehmigung, Anzeigepflichten nach § 67 BImSchG) die allgemeinen umweltrechtlichen Vorgaben, wie z. B. KrW-/AbfG, BImSchG und Wasserhaushaltsgesetz, ebenfalls einhalten.

#### **4.1.5.6 Elektro- und Elektronikgerätegesetz<sup>23</sup>**

Das Elektro- und Elektronikgerätegesetz ist für den Bereich des PKW-Konsums nicht anzuwenden. Die vom Elektro- und Elektronikgerätegesetz erfassten Elektro- und Elektronikgeräte sind im Katalog des § 2 Abs. 1 (z. B. Überwachungs- und Kontrollinstrumente) genannt. Das Gesetz ist jedoch dann nicht anzuwenden, wenn die Geräte nach § 2 Abs. 1 Teil eines anderen Gerätes sind, das nicht in den Anwendungsbereich des Elektro- und Elektronikgerätegesetz fällt. Dies trifft z. B. auf Kontrollinstrumente zu, die im Kfz eingebaut werden.

#### **4.1.5.7 Batterieverordnung<sup>24</sup>**

Über die Batterieverordnung (BattV) wird die Batterie-Richtlinie der EG umgesetzt. Nach § 3 BattV dürfen Batterien, auch wenn sie nicht schadstoffhaltig im Sinne der BattV sind, nur in den Verkehr gebracht werden, wenn sichergestellt ist, dass sie der Endverbraucher zurückgeben kann. Dementsprechend ist gem. §§ 4, 5 BattV durch die Hersteller und Vertreiber von Batterien und Akkumulatoren ein Rücknahmesystem aufzubauen. Die Mehrheit der Batteriehersteller beteiligt sich mittlerweile am bundesweiten gemeinsamen Rücknahmesystem Batterien (GRS), das als Stiftung organisiert ist. Die GRS kann einen Großteil der zurückgegebenen Batterien einer Verwertung zuführen. Nach § 13 BattV dürfen bestimmte schadstoffhaltige Batterien nicht in den Verkehr gebracht werden.

#### **4.1.5.8 Abfallablagungsverordnung<sup>25</sup>**

Die Abfallablagungs-Verordnung (AbfAbIV) soll klimaschädigende Emissionen und schadstoffbelastetes Deponiesickerwasser verhindern, um so die Umweltverträglichkeit von Siedlungsabfällen zu gewährleisten. Um dieses Ziel zu erreichen, enthält sie u. a. Vorgaben dazu, wohin welche thermisch oder mechanisch/biologisch behandelten Abfälle gelangen dürfen (Deponieinputkriterien). Nach der Abfallablagungsverordnung ist die Ablagerung unvorbehandelter Abfälle auf Siedlungsab-

---

<sup>23</sup> Gesetz über das In-Verkehr-Bringen, die Rücknahme und die umweltverträgliche Entsorgung von Elektro- und Elektronikgeräten (Elektro- und Elektronikgerätegesetz – ElektroG) vom 16. März 2005, BGBl. I S. 762.

<sup>24</sup> Verordnung über die Rücknahme und Entsorgung gebrauchter Batterien und Akkumulatoren (Batterieverordnung – BattV) vom 02. Juli 2001, BGBl. I S. 1486; geändert am 09. September 2001, BGBl. I S. 2331.

<sup>25</sup> Verordnung über die umweltverträgliche Ablagerung von Siedlungsabfällen (Abfallablagungsverordnung – AbfAbIV) vom 20. Februar 2001, BGBl. I S. 305; zuletzt geändert am 24. Juli 2002, BGBl. I S. 2820.

falldeponien bis zum 31.05.2005 zu beenden (§ 6 Abs. 2 Nr. 1 AbfAbIV). Damit soll ab dem 1. Juni 2005 auch die bislang vorgenommene Ablagerung unbehandelter Shredderrückstände auf Siedlungsabfalldeponien unterbunden werden.

#### **4.1.5.9 Selbstverpflichtung der europäischen Automobilindustrie**

Nach der Selbstverpflichtung der europäischen Automobilindustrie (ACEA)<sup>26</sup> soll der Flottenverbrauch bis 2008 unter 140 Gramm CO<sub>2</sub> pro Kilometer sinken, was 5,6 Liter pro 100 Kilometer entspricht.<sup>27</sup> Zudem wurde gegenüber der EU angekündigt, eine Fortführung der Reduktion auf 120 g CO<sub>2</sub>/km bis zum Jahre 2012 zu prüfen (entspricht 4,9 l/100 km). Eine Selbstverpflichtungserklärung für die Kyoto-Phase 2008 bis 2012 existiert bisher nicht.

Das Monitoring der Zielerreichung führt ACEA gemeinsam mit der Kommission durch (Art. 1 Abs. 5 Empfehlung der Kommission 1999/125/EC). Entsprechende Sanktionen im Fall der Nichteinhaltung existieren bislang nicht, die Kommission hat aber angekündigt, einen Gesetzesvorschlag über CO<sub>2</sub>-Emissionen von Personenkraftwagen vorzulegen, falls die in der Selbstverpflichtung für 2008 angestrebten Emissionsziele nicht erreicht werden. Nach dem Monitoringbericht der ACEA für 2002 beträgt die durchschnittliche spezifische Emission der Neuwagenflotte in der EU 165 g/km (für benzinbetriebene Kfz 172 g/km; für Diesel-Fahrzeuge 155 g/km).<sup>28</sup> Im Kalenderjahr 2003 wurde eine durchschnittliche spezifische Emission der Neuwagenflotte von 164 g/km in der EU erreicht.<sup>29</sup> Die Kommission kommt zu dem Schluss, dass „ganz offensichtlich“ Maßnahmen getroffen werden müssen, um das Ziel 120 g/km bis zum Jahr 2010 zu erreichen. Die Umsetzung der Richtlinie 1999/94<sup>30</sup> zur Bereitstellung von Verbraucherinformationen über den Kraft-

---

<sup>26</sup> Empfehlung der Kommission vom 5. Februar 1999 über die Minderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen von Personenkraftwagen (bekannt gegeben unter Aktenzeichen K(1999) 107).

<sup>27</sup> Die Mitglieder des Dachverbands der europäischen Automobilhersteller (ACEA) sollten gemeinsam, hauptsächlich durch die Einführung neuer Technologien und die sich daraus ergebenden Marktveränderungen, für den Durchschnitt ihrer in der Gemeinschaft verkauften neuen Personenkraftwagen (Klasse M1 nach der Begriffsbestimmung in Anhang I zur Richtlinie 70/156/EWG des Rates) bis zum Jahre 2008 ein CO<sub>2</sub>-Emissionsziel von 140 g/km, gemessen nach der Richtlinie 93/116/EG der Kommission (4), erreichen.

<sup>28</sup> Monitoring of ACEA's Commitment on CO<sub>2</sub> Emission Reductions from Passenger Cars (2002), Final Report from 05/09/2003. Joint Report of the European Automobile Manufacturers Association and the Commission Services, siehe: <http://www.acea.be>.

<sup>29</sup> Mitteilung der Kommission an den Rat und das Europäische Parlament, Umsetzung der Gemeinschaftsstrategie zur Verminderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen von Kraftfahrzeugen: Fünfter Jahresbericht über die Wirksamkeit der Strategie, Brüssel, den 22.6.2005, KOM(2005) 269 endgültig.

<sup>30</sup> Richtlinie 1999/94/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 13. Dezember 1999 über die Bereitstellung von Verbraucherinformationen über den Kraftstoffverbrauch und CO<sub>2</sub>-Emissionen beim Marketing für neue Personenkraftwagen, Amtsblatt Nr. L 12 vom 18.01.2000, S. 16.

stoffverbrauch und CO<sub>2</sub>-Emissionen hat sich nach Einschätzung der Kommission nicht als sehr wirksam erwiesen. Gleichzeitig verweist die Kommission darauf, dass die ACEA und die JAMA (Japan Automobile Manufacturers Association) keine Möglichkeiten sehen, das Ziel von 120 g CO<sub>2</sub>/km bis 2012 kostengünstig mit technischen Maßnahmen zu erreichen.<sup>31</sup>

#### **4.1.5.10 PKW-Energieverbrauchskennzeichnung (PKW-EnVKV)<sup>32</sup>**

Die PKW-EnVKV soll gewährleisten, dass Verbraucher beim Kauf von neuen PKW durch Hinweisschilder am Fahrzeug, Aushänge im Verkaufsraum, einen Leitfaden sowie Werbematerial Informationen über den Kraftstoffverbrauch und die CO<sub>2</sub>-Emissionen erhalten. Die PKW-EnVKV ist zum 1. Oktober 2004 in Deutschland in Kraft getreten und dient der Umsetzung einer entsprechenden EU-Richtlinie von 1999 (sog. CO<sub>2</sub>-Labellingrichtlinie) über die Bereitstellung von Verbraucherinformationen zu Kraftstoffverbrauch und CO<sub>2</sub>-Emissionen von PKW.

#### **4.1.5.11 Altölverordnung<sup>33</sup>**

Durch die Altöl-Verordnung (AltölV) wird die EU-Altöl-Richtlinie umgesetzt. Ziel der Altöl-Verordnung ist es, möglichst viele Altöle einer Wiederverwendung zuzuführen. Daher schreibt § 2 der AltölV einen Vorrang der Aufbereitung vor. Durch die stoffliche Verwertung von Altölen kann Basisöl gewonnen werden, das Ausgangsprodukt für Schmierstoffe ist. Vom Anwendungsbereich der AltölV ausgenommen sind Öle, die zugleich PCB im Sinne der PCB-AbfallV sind, da solche Öle nach dieser Verordnung zu entsorgen sind.

### **4.1.6 Zusammenfassung der Handlungsoptionen für das Materialflusssystem**

Für das Materialflusssystem Eisenerz-Stahl-Fahrzeugbau-PKW-Konsum sind nach den Untersuchungen des Projekts zur Erschließung weiterer deutlicher Umweltentlastungspotenziale die folgenden Handlungsoptionen besonders hervorzuheben:

- Maßnahmen zur mittel- bis langfristigen Steigerung des Schrotteinsatzes aus den diversen Materiallagern in der Technosphäre (Altfahrzeuge, Infrastruktur, dauerhaft ungenutzte Gebäude) für die deutsche Stahlindustrie bzw. Stärkung des Anteils der Elektrostahlroute. Hierzu zählen eine detaillierte Erfassung der Materiallager und bessere Einschätzungen ihrer Mobilisierungszeitpunkte und Mobilisierungsmöglichkeiten.

---

<sup>31</sup> Mitteilung der Kommission, KOM (2005) 269.

<sup>32</sup> Verordnung über Verbraucherinformationen zu Kraftstoffverbrauch und CO<sub>2</sub>-Emissionen neuer Personenkraftwagen vom 28. Mai 2004, BGBl I 2004, 1037.

<sup>33</sup> Altölverordnung (AltölV) vom 16. April 2002, BGBl. I S. 1368.

- Anstrengungen (Schaffung von Verwertungskapazitäten, Einschränkung der Ablagerung) zur Verwertung bislang noch deponierter Abfallströme aus der Stahlherstellung wie Gichtgasschlämme.
- Förderung von Maßnahmen zu merklichen Gewichtseinsparungen im Fahrzeugbau unter angemessener Berücksichtigung von Vorkettenaufwendungen (besonders energieintensive Materialien etc.).

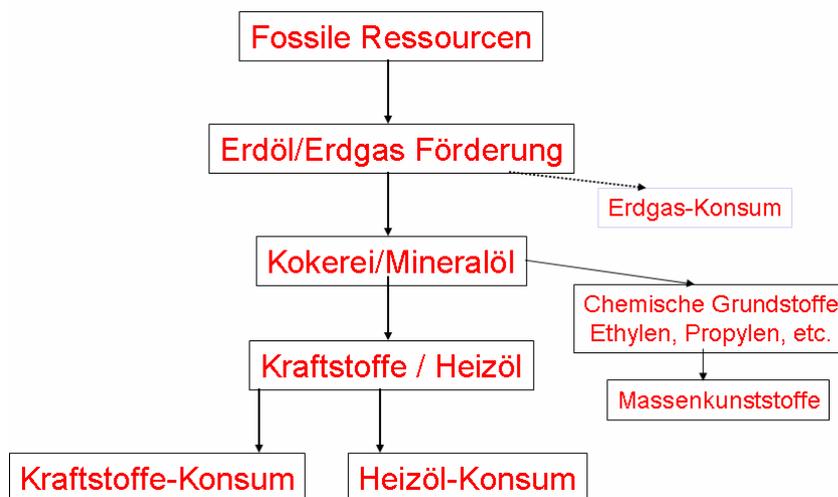
## 4.2 Erdöl/Erdgas-Erdölverarbeitung-Kraftstoffkonsum

### 4.2.1 Überblick Materialflusssystem: Hauptroute

Das Materialflusssystem Erdöl/Erdgas-Erdölverarbeitung-Kraftstoffkonsum (vgl. Abbildung 4.9) umfasst mit der Mineralölverarbeitung und dem wichtigen Seitenzweig der Kunststoffherstellung zwei Schlüsselsektoren der deutschen Wirtschaft, auf die in den folgenden Abschnitten näher eingegangen werden soll.

Abbildung 4.9 Materialflusssystem-Hauptroute:

Erdöl/Erdgas-Erdölverarbeitung-Kraftstoffkonsum



### 4.2.2 Übersicht Mineralölverarbeitung in Deutschland

#### 4.2.2.1 Daten und Fakten

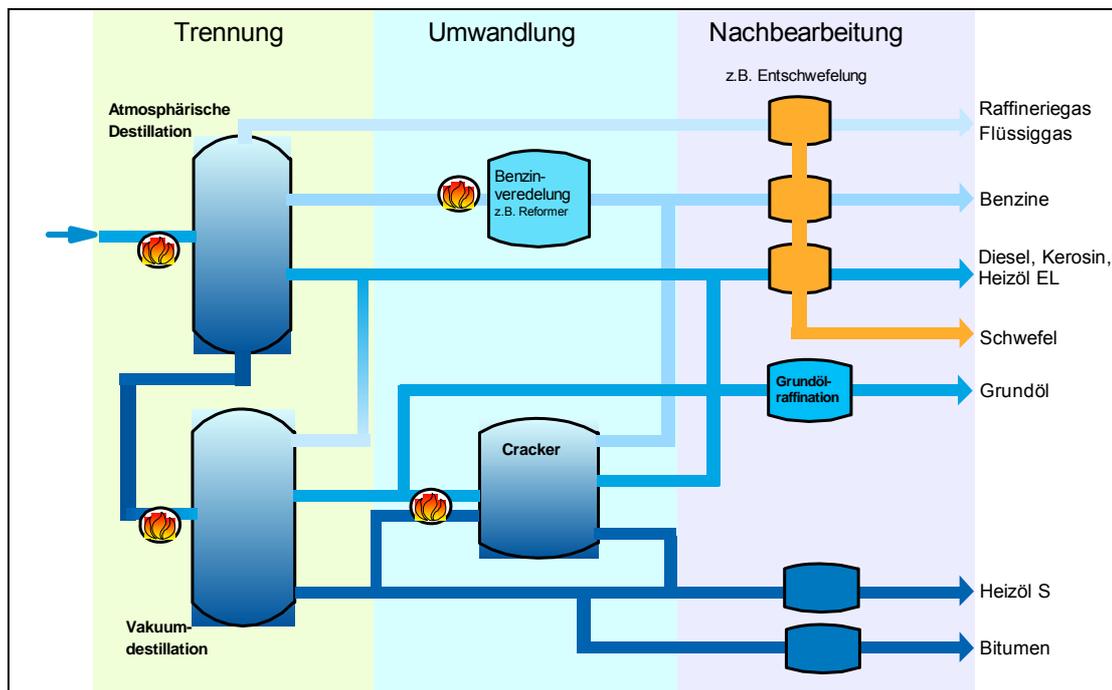
Mit „Mineralölverarbeitende Industrie“ wird der Sektor bezeichnet, der aus Mineralöl Kraftstoffe, Brennstoffe und diverse weitere Produkte wie Schmierstoffe und Bitumen sowie Feedstock für die petrochemische Industrie erzeugt. Die Mineralölverarbeitende Industrie erzeugt durch Raffination, Umwandlung und Komponentenzumischung die mineralölstämmigen Kraftstoffe für Otto- und Diesel-Motoren, Heizöle für

Haushalte und Industrie sowie Naphtha für die petrochemische und Kunststoff erzeugende Industrie.

Nach BMWA lag der Umsatz der Mineralölbranche inklusive Steuern im Jahr 2003 bei 78,5 Milliarden EURO. Der Input an Rohöl betrug 2004 insgesamt 110 Mio. t. Die Zahl an Beschäftigten liegt bei 20.000. Im Jahr 2004 erzielte die Branche ein Rekordergebnis von 19 EURO pro Tonne Mineralölprodukt.

Der Input besteht nahezu ausschließlich aus Rohöl. Dabei handelt es sich um ein hauptsächlich aus Kohlenwasserstoffverbindungen bestehendes Gemisch mit kurzen, langen, verzweigten, unverzweigten, aliphatischen und aromatischen Komponenten. Als Nebenelemente sind Schwefel, Stickstoff, Sauerstoff sowie verschiedene Schwermetalle enthalten. Die Rohölqualitäten schwanken sehr stark nach Herkunft. Die Ausgangsqualität hat großen Einfluss auf die Ausbeuten an Produkten bzw. auf den Verarbeitungsaufwand. Begehrt sind die „leichteren“, schwefelärmeren Öle, wie sie z. B. im Bereich Nordsee gewonnen werden. Schwere Öle erfordern bei annähernd ähnlicher Produktausbeute einen deutlich höheren Aufwand durch Umwandlung (Cracken) wie auch z. B. für Entschwefelung.

Abbildung 4.10 Schematischer Aufbau einer Raffinerie



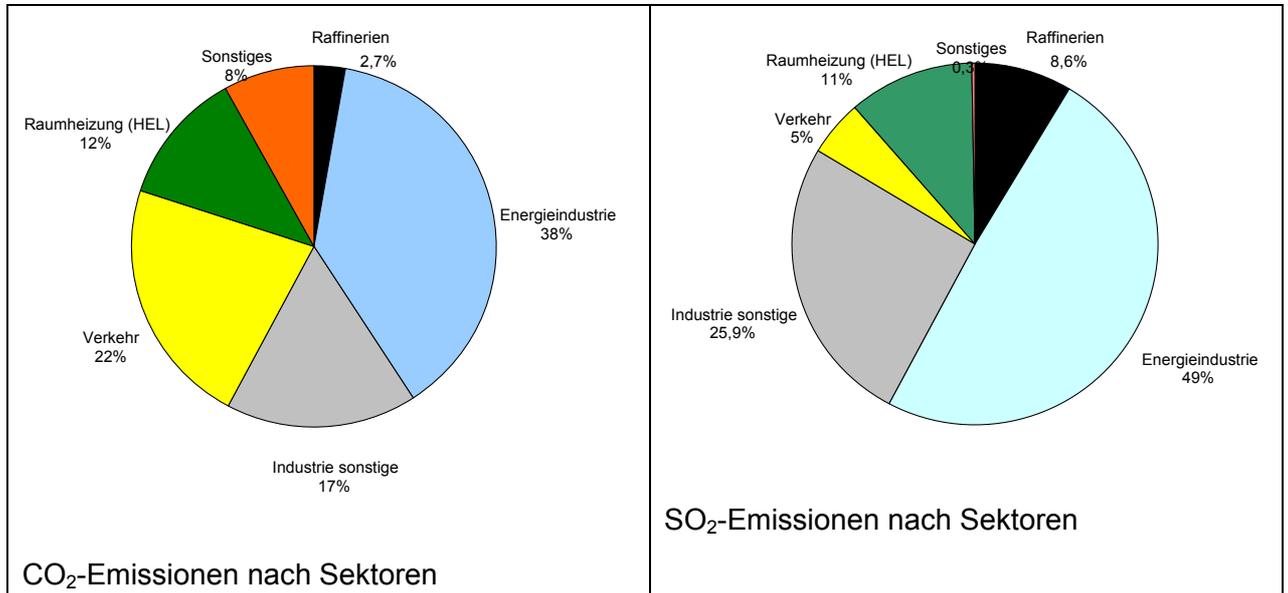
Einzelne Raffinerien beziehen Zwischenprodukte von anderen Raffinerien. Für die Endfertigung von Kraftstoffen werden als Additive in zunehmendem Maße auch Feedstocks anderer Herkunft eingesetzt. Dabei handelt es sich um petrochemische Stoffe wie MTBE oder zunehmend auch Komponenten wie so genannte GTL (gas to liquid) oder biogene Stoffe (Rapsdiesel). Durch diese Entwicklung wird teilweise

auch auf eine tendenzielle „Verschlechterung“ der Rohölqualitäten eingegangen, da sich durch die synthetischen Komponenten Qualitäten gezielter formulieren lassen.

Von der Branche der Mineralölverarbeitenden Industrie grenzt sich in der Produktionskette aufwärts (Upstream) der Sektor der Mineralölförderung ab. Downstream können Abgrenzungen in Richtung Petrochemie aufgeführt werden, die häufig im fließenden Übergang bestehen, da auf Raffinerien u. a. auch gezielte Vorprodukte wie z. B. Aromaten (Benzol, Toluol, Xylol) raffiniert oder synthetische Produkte wie MTBE selbst hergestellt werden. Die Mineralölverarbeitung ist zum einen mit der Förderung verflochten, die von Unternehmen innerhalb der Konzernstruktur betrieben wird. Die Preisbildung für den Rohölbezug der Raffinerieunternehmen in Deutschland wird praktisch ausschließlich über den Rohölmarkt in Rotterdam bestimmt. Die Vermarktung der Kraftstoffe und Brennstoffe erfolgt, sieht man von Tankstellenpachtbetrieben und mittelständischen Heizölhändlern ab, von den Mineralölkonzernen selbst bis zum Endverbraucher. Das Produkt Naphtha wird an die Petrochemie verkauft – die sich z. T. auch in der Hand von Mineralölkonzernen bzw. in Joint Ventures mit Chemieunternehmen befindet.

Die Mehrzahl der Raffinerieanlagen in Deutschland ist in ihrer baulichen Grundstruktur bis zu 40 Jahre alt. In den vergangenen Jahrzehnten wurden durch Erneuerungen, Ertüchtigungen und Nachrüstungen Fortschritte im spezifischen Energieverbrauch wie auch in den Emissionen erzielt. Zwischen nachgebesserten Altanlagen und völlig neu errichteten Anlagen (Leuna 2000, z. T. PCK Schwedt) sind jedoch erhebliche Diskrepanzen zu erkennen. Nach der Sachbilanz Mineralölprodukte [Patyk 2001] lag im Jahr 1999 der spezifische CO<sub>2</sub>-Ausstoß für 1 TJ Mineralölprodukt im Mittel bei 5,56 t, wobei sich dieser Wert je nach Art des Produkts zwischen 8,5 (Ottokraftstoff) und 2,65 t (Naphtha) erstrecken kann. Welchen Anteil die Mineralölverarbeitung an den Gesamtemissionen in Deutschland einnimmt, zeigt Abbildung 4.11 [Fehrenbach 2004]. Dabei stellt sich heraus, dass die Raffinerien vom gesamten Industriesektor 5 % der CO<sub>2</sub>-Emissionen und ca. 12 % der SO<sub>2</sub>-Emissionen einnehmen. Durch die Feuerungsanlagen tragen die Raffinerien außerdem zu NO<sub>x</sub>-Emissionen bei, ebenso über Tanks, Umschlag und zahlreiche diffuse Quellen zu VOC-Emissionen. In beiden Fällen ist der Beitrag zur Gesamtemission in Deutschland jedoch deutlich niedriger als bei den Beispielen CO<sub>2</sub> und SO<sub>2</sub>.

Abbildung 4.11 Prozentuale Beiträge der CO<sub>2</sub>- und SO<sub>2</sub>-Emissionen der Raffinerien in Deutschland im Vergleich zu den übrigen Sektoren [Fehrenbach 2004]



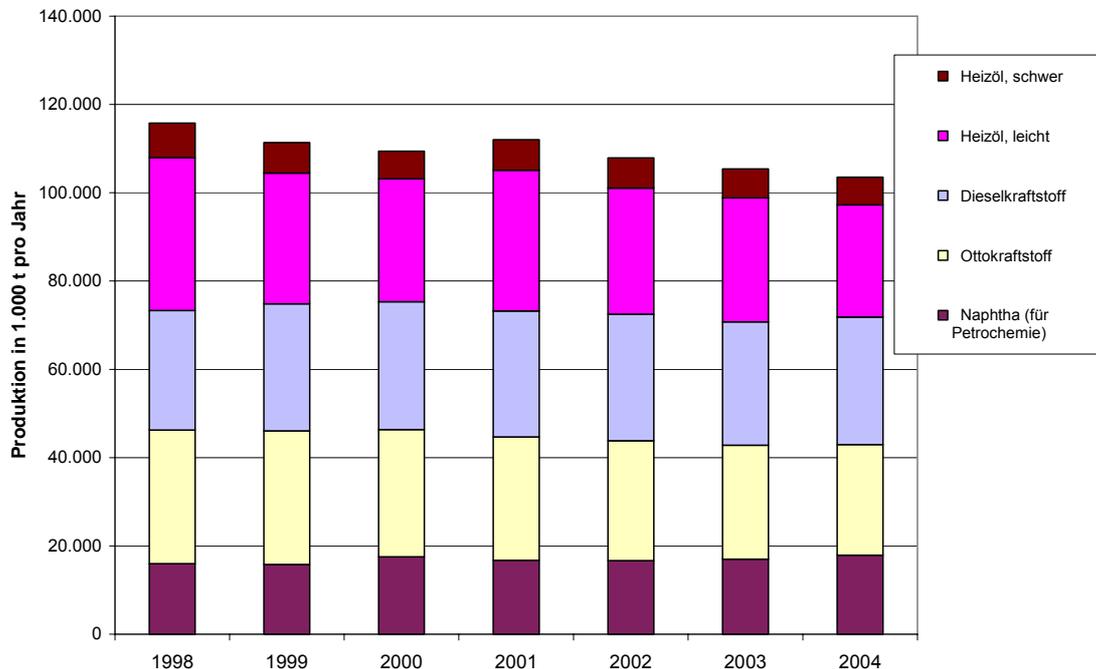
Neben den luftseitigen Emissionen führen Raffinerien auch zu Abwasseremissionen. Hier wird vor allem Stickstoffverbindungen eine besondere Bedeutung zugemessen.

#### 4.2.2.2 Dynamik und Trends

Die Hauptprodukte stellen nach wie vor Otto- und Dieselmotorkraftstoff sowie leichtes Heizöl dar. Wie Abbildung 4.12 zeigt, hat der Absatz von Ottokraftstoff wie auch von leichtem Heizöl in den letzten sieben Jahren kontinuierlich abgenommen, während der Absatz von Dieselmotorkraftstoff im Bereich um die 28 Mio. t/Jahr relativ konstant geblieben, tendenziell sogar leicht angestiegen ist.

Der Absatz von Naphtha (Rohbenzin) an die petrochemische und damit auch die Kunststoff erzeugende Industrie ist in der Tendenz von um die 16 auf 18 Mio. t angestiegen.

Abbildung 4.12 Entwicklung des Produktausstoßes der Mineralölwirtschaft [MWV 2004]



Es kann erwartet werden, dass sich der Trend zu höheren Anteilen Dieselkraftstoffen sowie Naphtha in den nächsten Jahren fortsetzen wird. Kraft- und Brennstoffe sind das herausragende energetische Massengut in der Industriegesellschaft. Naphtha stellt den zentralen Grundstoff der Petrochemie und Kunststoffindustrie dar und wird dies bleiben, solange Mineralöl als Rohstoff zur Verfügung steht.

Als erfolgreich sind insbesondere die jüngsten Maßnahmen zur Verminderung von z. B. Schwefel in den Kraft- und Brennstoffen anzusehen. Zwar sind die Emissionen an den Anlagen selbst damit leicht angestiegen, die Gesamtemission dank der Minderung im Produkt jedoch weit deutlicher zurückgegangen.

#### 4.2.2.3 Potenziale

Am Gesamtenergieverbrauch in Deutschland nimmt der Sektor der Mineralölindustrie (Verbrauch und Verlust zur Verarbeitung, nicht Feedstock der Produkte) mit 320 PJ/a etwas über 2 % ein. Von den Treibhausgasemissionen ist mit einem Anteil zwischen 2 und 3 %, bei den SO<sub>2</sub>-Emissionen sogar von knapp 9 % auszugehen.

Der Bestand der Anlagentechnik in Deutschland entstammt in vielen Kernelementen noch den 60er Jahren, wobei sukzessive in Einzelkomponenten Erneuerungen und damit auch Optimierungen erreicht worden sind. Dennoch sind die theoretisch möglichen Potenziale an Effizienzsteigerung und Emissionsminderung bei weitem nicht ausgeschöpft. Die größten Energieeinspar- und damit auch CO<sub>2</sub>-Minderungspotenziale liegen in den Prozessfeuerungs- und den Kesselanlagen, die zusammen um die 70 % des Gesamtverbrauchs der Raffinerien ausmachen. Ältere

Anlagen weisen thermische Wirkungsgrade im Bereich zwischen 80 und 85 % auf. Bei neuen Techniken mit optimierter Wärmeführung sind Werte bis zu 93 % möglich. Dies ist an den wenigen Neuanlagen bereits umgesetzt. Überschlägig sind 5 bis 10 Prozentpunkte Minderung des Gesamtenergieverbrauchs (16–32 PJ/a)<sup>34</sup> auf diesem Wege theoretisch erreichbar. Weitere Minderung kann z. B. durch gekoppelte Strom- und Dampferzeugung erzielt werden [BAT Mineral Oil 2003].

Weitaus höhere Potenziale liegen derzeit noch bei der SO<sub>2</sub>-Minderung vor. Dazu wäre eine vollständige Erneuerung der Raffinerieanlagen nicht zwingend erforderlich, sondern die Nachrüstung entsprechender Abgasreinigungsanlagen oder eine noch weitergehende Reduktion des schweren Heizöls als Raffineriebrennstoff. Während die kohlebefeuernten Großkraftwerke durch die flächendeckende Umsetzung der 13. BImSchV bereits in den 90er Jahren eine erhebliche Reduktion erzielen konnten, sind die Raffinerief Feuerungsanlagen als Altanlagen, als Anlagen von häufig kleinerer Dimension (unter 50 MW oder 50 bis 300 MW) oder als Spezialanlagen (katalytischer Cracker, Claus-Anlagen) von schärferen Grenzwerten wenig betroffen.

Mit einer bei Kraftwerken üblichen „End-of-pipe-Lösung“ könnten die SO<sub>2</sub>-Emissionen fallweise um bis zu 90 % gesenkt werden. Hochgerechnet auf den Anlagenpark, wäre damit eine Minderung von 50 % (ca. 25.000 t/a) realisierbar. Dies käme um 5 % der gesamten SO<sub>2</sub>-Emissionen in Deutschland gleich. Dieses Ziel kann durch Minderung des schwefelreichen schweren Heizöls als Brennstoff weiter unterstützt werden. Der Anlagenbestand ist in vielen Kernelementen vergleichsweise alt und hat die theoretisch möglichen Potenziale an Effizienzsteigerung und Emissionsminderung bei weitem nicht ausgeschöpft. Durch Anforderungen an die Produktqualitäten (schwefelfreie Kraftstoffe, Aromatengehalt) wurden Innovationen in den letzten 5 bis 10 Jahren vorzugsweise in diese nachbearbeitenden Schritte investiert.

Es ist festzustellen, dass die bestehenden Anlagen grundsätzlich ihre Kapazitäten hinsichtlich Energieeffizienz ausschöpfen, um Verluste eigener Produkte – und damit Kosten – minimal zu gestalten. Neuanlagen weisen dagegen jedoch ein erheblich höheres Effizienzpotenzial auf.

#### 4.2.2.4 Handlungsoptionen

Handlungsoptionen im Bereich der Mineralölverarbeitung bestehen in erster Linie hinsichtlich der Reduzierung der beträchtlichen Schwefeldioxidemissionen durch Umsetzung von End-of-pipe-Lösungen, wie sie bei Kraftwerken bereits realisiert wurden. Weiterhin bestehen Handlungsoptionen in Richtung energetische Modernisierung der überwiegend älteren Anlagen mit der Orientierung an den effizienteren Neuanlagen.

---

<sup>34</sup> Dies entspricht ca. 1,2 bis 2,4 Mio. t/a CO<sub>2</sub>-Äquivalenten.

## 4.2.3 Übersicht Kunststoffherstellung und -konsum in Deutschland

### 4.2.3.1 Daten und Fakten

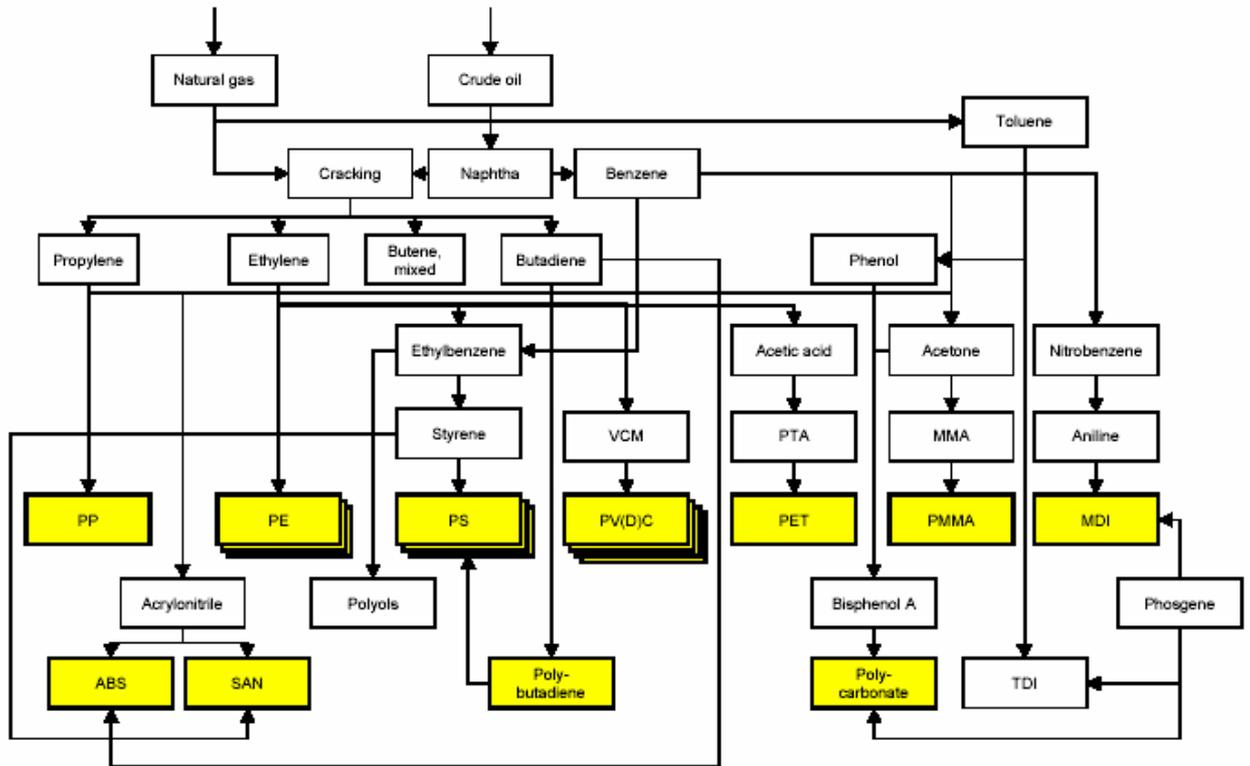
Eines der Hauptprodukte aus dem Raffineriebereich – Naphtha – stellt das wichtigste Rohmaterial für die Kunststoffherstellung dar. Je nach Herkunft des Rohöls kann dessen Zusammensetzung stark variieren, die Naphtha-Fraktion kann anteilig zwischen 5 und 15 % liegen. Nachfolgende Tabelle 4.12 zeigt die Zusammensetzung am Beispiel von Rohöl aus Kuwait. Neben Naphtha wird auch Erdgas als Rohstoff für die Kunststoffherzeugung eingesetzt, v. a. in den USA, aber auch in Nordeuropa.

Tabelle 4.12 Fraktionen der Erdölaufarbeitung nach [Ecoinvent 2004]

Fraction	Boiling range [°C]	Mass fraction
Gases	<15°	2%
Petroleum (fuel)	15° - 95°	6%
Naphtha	95° - 175°	12%
Kerosene	175° - 232°	9%
Light oils/diesel	232° - 343°	17%
Heavy oil and paraffins	343° - 525°	24%
Bitumen (residues)	>525°	30%

Die Weiteraufbereitung von Naphtha erfolgt über den Cracking-Prozess. Aus diesem werden die wesentlichen monomeren Grundbausteine für Kunststoffe gewonnen (vgl. Abbildung 4.13).

Abbildung 4.13 Stammbaum der Kunststoffherzeugung, ausgehend von Erdgas und Rohöl nach [Ecoinvent 2004]



Im Mittel von 17 der 50 westeuropäischen Cracker (Stand 1999) finden sich die in Tabelle 4.13 gelisteten Hauptfraktionen als Produkte des Cracking-Prozesses. Ausgehend von den daraus erzeugten Grundstoffen werden die verschiedenen Kunststoffarten im Wesentlichen durch verschiedene Polymerisationsprozesse gewonnen.

Tabelle 4.13 Produktionsausstoß der Cracker in Europa, Quelle: [PlasticsEurope 2005] (ecoprofile ethylene)

Product	Output/Mt	%
Ethylene	7.78	42.1
Propylene	3.63	19.6
Butenes (mixed)	1.52	8.2
Butadiene	0.98	5.3
Hydrogen	0.22	1.2
Pyrolysis gasoline	4.37	23.6
Total	18.5	100.0

Die Bedeutung von Kunststoff ist in den letzten Dekaden in Deutschland sowie weltweit erheblich angestiegen. Etwa 80 % der heute produzierten Kunststoffe sind Thermoplaste. Thermoplaste verfestigen sich bei der Abkühlung oder erweichen bei Erwärmung, ohne ihre chemische Struktur zu verändern. Somit sind unbeschränkte Formveränderungen möglich. Von den Thermoplasten werden Duroplaste unterschieden, die sich über eine chemische Vernetzungsreaktion erhärten und bei Erwärmung chemisch zersetzen. Des Weiteren werden Kunststoffe üblicherweise in die folgenden Gruppen unterschieden:

- Standard-Kunststoffe (commodity plastics): Polyvinylchlorid (PVC), Polyethylen (HDPE: high density, LDPE: low density, LLDPE very low density), isotatisches Polypropylen (PP), Standard Polystyrol (PS)
- Technische Kunststoffe (engineering plastics): Polyethylenterephthalat (PET), Polybutylenterephthalat (PBT), Polyamide (PA) (aliphatisch, amorph, aromatisch), Polycarbonat (PC), Polyoxymethylen (POM), Polymethylmethacrylat (PMMA), modifizierte Polystyrole wie Styrolacrylnitril (SAN) und Acrylnitrilbutadien-Styrol (ABS)
- Hochleistungskunststoffe (high-performance plastics): Liquid crystalline polymers (LCPs), Polyetheretherketone (PEEK), verschiedene Polysulfone, Polyimide etc.
- Funktionskunststoffe (functional or specialty plastics)

Die Kunststoffindustrie lässt sich in die Bereiche Kunststoffherzeugung, Kunststoffverarbeitung und Kunststoffverwerter untergliedern.

Kunststoffherzeuger sind Rohstoffherzeuger, die ihre Kunststoffprodukte als Formmassen (z. B. Pulver, Granulat, pastöse Ausgangsstoffe) an die weiterverarbeitende Industrie vermarkten.

Kunststoffverarbeiter verarbeiten die Primärware (oder Rezyklate) der Kunststoffherzeuger weiter zu Produkten für den Einsatz in den verschiedensten Wirtschaftsbereichen wie z. B. Verpackungen, Bau, Fahrzeuge etc.

Kunststoffverwerter beziehen Altkunststoffe und bereiten diese entweder zu Zwischenprodukten für die weitere Verwertung auf (Agglomerat, Mahlgut, Regranulat) oder verarbeiten die Altkunststoffe direkt zu Endprodukten.

Folgende Daten und Fakten zur aktuellen Situation in Deutschland sind hervorzuheben [VKE/PlasticsEurope 2005]:

- Deutsche Produktion (2004): Kunststoffe gesamt 17,5 Mio. t (+4,2 % gegenüber Vorjahr) (entspricht 7,8 % der Weltproduktion und 33 % der Produktion in Westeuropa)
- Technische Thermoplaste ca. 1 Mio. t
- PUR ca. 1 Mio. t

- Kunststoffe für Nichtwerkstoff-Anwendungen wie z. B. Polymere zur Herstellung von Klebstoffen, Lacken, Leimen, Harzen und Fasern ca. 6 Mio. t
- Hauptmenge zur Erzeugung von Standardkunststoffen ca. 8 Mio. t
- Kunststoffverbrauch in Deutschland (2004) [PlasticsEurope 2005]: Unter Berücksichtigung der Export- (11,79 Mio. t) und Importbewegungen (6,97 Mio. t) ergibt sich ein Inlandsverbrauch von 12,68 Mio. t.
- Haupteinsatzgebiete sind Verpackungen und Bau (Einsatzbereiche s. u.)
- Beschäftigung 2004 [PlasticsEurope 2005]: Die Zahl der Beschäftigten in der Kunststoffindustrie ist im Zeitraum 1995 bis 2003 leicht rückläufig. Im Jahr 2004 waren insgesamt rund 378.000 Personen im Bereich Kunststoffindustrie beschäftigt (1995 noch etwa 420.000), davon 52.000 in der Kunststoffherzeugung, 280.000 in der Kunststoffverarbeitung und 46.000 im Maschinenbau. In Tabelle 4.14 ist eine Übersicht der hauptsächlichen Hersteller in Deutschland und ihrer Produkte aufgeführt.

Tabelle 4.14 Hauptsächliche Hersteller von Kunststoffen in Deutschland, Quelle: [VKE/PlasticsEurope 2005]

### Main Plastics Producers in Germany 2003

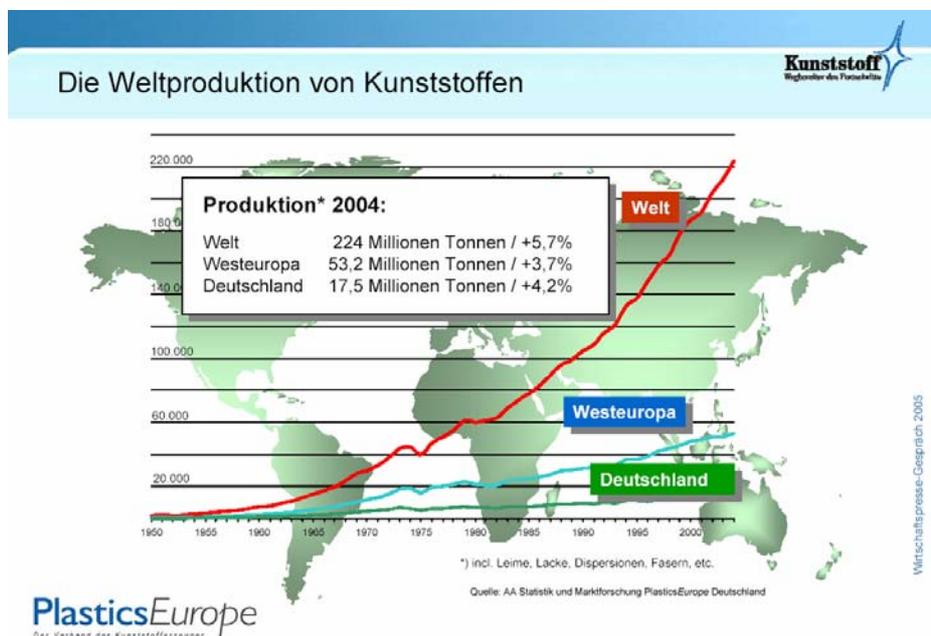
	PE-LD/ LLD	PE-HD/ MD	PP	PS	EPS	PVC	ABS, ASA, SAN	PMMA	PA	PET	Sonst. Thermoplaste	PUR	Sonstige Kunststoffe
Atofina													
Bakelite													
Barlo													
Basell													
BASF													
Bayer													
Borealis													
Degussa													
Deutsche BP													
Domo													
Dow													
DuPont													
Dyneon													
EMS-Chemie													
EVC													
EXXON Mobil													
Kosa													
Kraton													
Polimeri													
Raschig													
Resolution													
Rütgers													
Sabir													
Solvit													
Ticona													
Vestolit													
Vinnolit													

Wf-Daten 01-2005

### 4.2.3.2 Dynamik und Trends

Zur Entwicklung in der Vergangenheit sind folgende Informationen wichtig: Die Produktion von Kunststoffen hat seit 1950 in Deutschland so wie auch weltweit kontinuierlich zugenommen (vgl. Abbildung 4.14). Nach dem Volumen betrachtet hat die weltweite Kunststoffproduktion die Stahlproduktion überholt. In Deutschland waren in den letzten Jahren von der Steigerung v. a. die Werkstoffe betroffen, zudem wuchs der Exportüberhang an. Der Produktionszuwachs basierte damit hauptsächlich auf einer verstärkten Auslandsnachfrage.

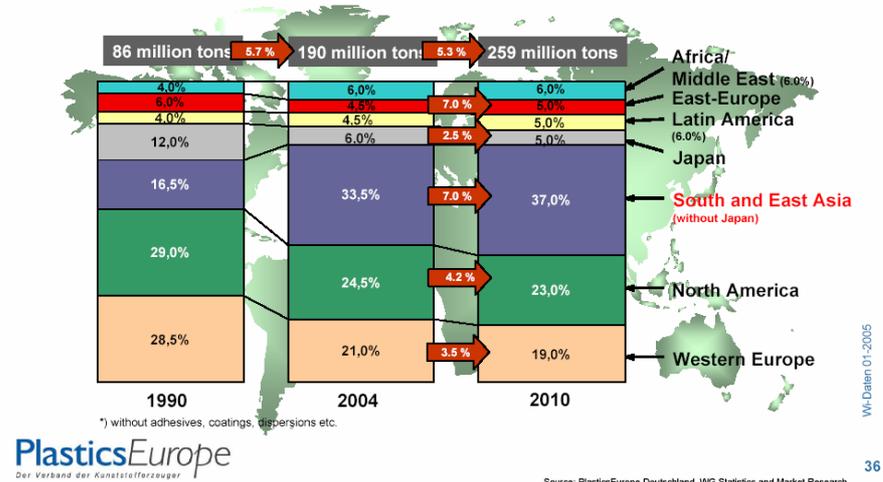
Abbildung 4.14 Die Weltproduktion von Kunststoffen [PlasticsEurope 2004]



Hinsichtlich der prognostizierten Entwicklung (vgl. Abbildung 4.15) ist auch künftig in Deutschland mit einer steigenden Kunststoffproduktion zu rechnen, insbesondere im Hinblick auf den zu erwartenden weiter steigenden weltweiten Konsum von Kunststoffen.

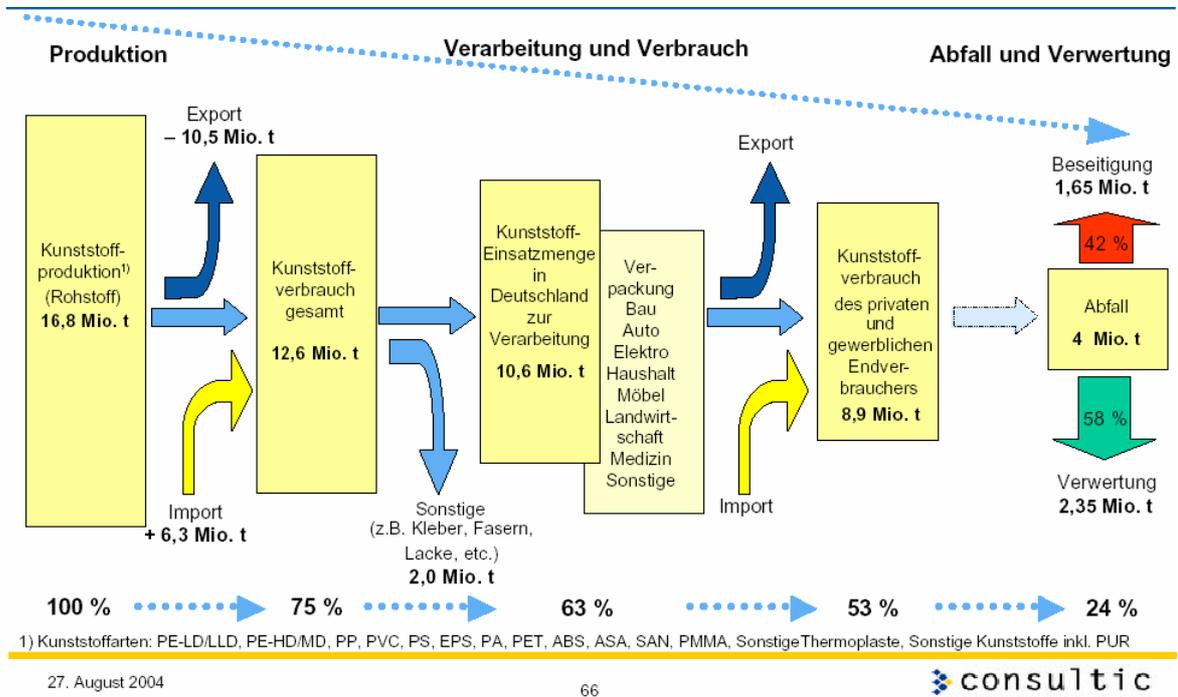
Abbildung 4.15 Verbrauch von Kunststoffen in 1990, 2004 und eine Vorausschau für 2010 [VKE/PlasticsEurope 2005]

**Consumption of Plastic Materials\* - Forecast 2010**  
by consumer regions in percent and growth p.a.



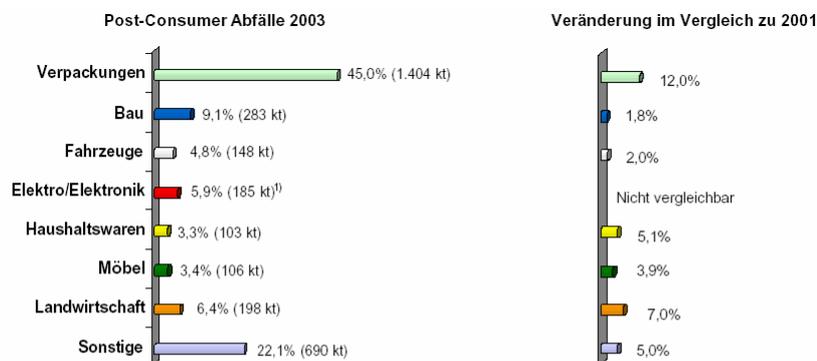
Zur aktuellen Situation bezüglich Altkunststoffe und Kunststoffrecycling ist Folgendes festzuhalten: Ausgehend von einer Polymerproduktion von 16,8 Mio. t über einen Verbrauch von 10,6 Mio. t zur Herstellung von Kunststoffprodukten sowie einem um Im- und Export bereinigten Inlandsverbrauch von 8,9 Mio. t, ergab sich im Jahr 2003 ein Abfallaufkommen von etwa 4 Mio. t, das zu 58,4 % verwertet und zu 41,6 % beseitigt wurde (siehe Abbildung 4.16).

Abbildung 4.16 Stoffstromschema für Produktion, Verarbeitung und Verbrauch sowie Abfall und Verwertung [consultic 2004]



Bei den Kunststoffabfällen handelt es sich überwiegend um Post-Consumer-Abfälle (ca. 3,1 Mio. t bzw. 77,8 %; davon etwa 55 % aus privaten Haushalten und 45 % von gewerblichen Endverbrauchern), 0,9 Mio. t entfallen auf Produktions- und Verarbeitungsabfälle (20 % Kunststoffverarbeiter und 2,2 % -erzeuger). Die Verwertungsquote bei den Post-Consumer-Abfällen liegt bei 49,6 %, im Bereich der Produktions- und Verarbeitungsabfälle bei annähernd 90 %. Die Herkunft der Post-Consumer-Abfälle ist in Abbildung 4.17 für das Jahr 2003 nach Sektoren und Veränderungen gegenüber 2001 in Prozent aufgeführt.

Abbildung 4.17 Herkunft der Post-Consumer-Abfälle [consultic 2004]



Analog zur Produktion und Verbrauch sind die stärksten Zuwächse im Bereich Verpackungen und Landwirtschaft erkennbar. Die Studie zeigt auch auf, dass die Abfallzusammensetzung im Wesentlichen durch die Gebrauchsdauer von Kunststoffprodukten geprägt wird. Kunststoffprodukte mit einer kurzen Gebrauchsdauer, wie z.B. Verpackungen, finden sich sofort im Abfallstrom wieder, während Produkte mit einer sehr langen Lebensdauer – wie z.B. Produkte im Baubereich mit einer Lebensdauer von zum Teil über 80 Jahren – nur zu geringen Teilen im Abfallstrom wieder identifizierbar sind.

1) Vertiefte Untersuchungsmethodik mit detaillierten Berechnungen bzgl. der Kunststoffanteile einzelner E+E Produkte (ursprüngliche Quellen bzgl. Kunststoffanteile bei E+E Produkten lagen etwas zu hoch).

### Abfallentsorgung

Die 2,34 Mio. t verwertete Kunststoffabfälle im Jahr 2003 wurden überwiegend stofflich verwertet (1,75 Mio. t), davon 1,35 Mio. t werkstofflich und 0,4 Mio. t rohstofflich (vgl. Abbildung 4.18). Die verbleibenden 0,59 Mio. t wurden energetisch verwertet (zu ca. 64 % über MVA und MHKW, die restlichen knapp 36 % in Feuerungsanlagen, v. a. Zement- und Kraftwerken, teilweise nach Aufbereitung und Sortierung). Die 1,67 Mio. t im Jahr 2003 beseitigten Kunststoffabfälle wurden zu knapp 53 % deponiert, der Rest in MVA verbrannt.

### Entwicklung in der Vergangenheit

Die Kunststoffabfallmengen sind insgesamt angestiegen (von 1994 bis 2003 um insgesamt 43 % bzw. 3,6 % pro Jahr), wobei der Anstieg fast ausschließlich durch die Post-Consumer-Abfälle bedingt wurde. Die Produktions- und Verarbeitungsabfälle sind demgegenüber trotz gestiegener Produktionsmenge nur marginal angestiegen, bedingt durch optimierte Prozessabläufe bei den Erzeugern sowie verstärkte Inlandsverwertung bei den Verarbeitern. Deutlich gestiegen sind auch die Verwertungsmengen (um 67 %), während die beseitigte Menge lediglich um knapp 19 % anstieg.

Abbildung 4.18 Abfallanfall und Verwertung von Kunststoffen [consultic 2004]

**10 Jahresvergleich - Übersicht**

	1994 in kt	1997 in kt	1999 in kt	2001 in kt	2003 in kt
<b>Abfall Gesamt</b>	2.800	3.240	3.570	3.850	4.005
▪ <b>Post-Consumer</b>	1.950	2.285	2.610	2.930	3.115
▪ <b>Prod.-Verarbeiter</b>	850	955	960	920	890
<b>Verwertung</b>	1.400	1.850	2.090	2.250	2.340
▪ <b>Werkstofflich</b>	1.250	1.270	1.360	1.405	1.350
▪ <b>Rohstofflich</b>	50	380	330	295	400
▪ <b>Energetisch</b>	100 <sup>1)</sup>	200	400	550	590
<b>Beseitigung</b>	1.400	1.390	1.480	1.600	1.665

1) geschätzt

27. August 2004

59



Prognostizierte Entwicklung

Künftig ist aufgrund der zu erwartenden steigenden Produktionsmenge auch eine Steigerung der Abfallmengen zu erwarten. Mit Umsetzung der Abfallablagerungsverordnung kommt eine direkte Deponierung der Abfälle nicht mehr in Frage. Bedingt durch damit verbundene steigende Beseitigungspreise ist auch mit einem vermehrten Anstieg der anteilig verwerteten Mengen zu rechnen. Eine gesteigerte getrennte Erfassung und Verwertung von Kunststoffabfällen aus dem Post-Consumer-Bereich ist auch durch die Umsetzung des Elektro- und Elektronikgerätesetzes (ElektroG) sowie der Altfahrzeug-Verordnung zu erwarten.

Volkswirtschaftliche Bedeutung

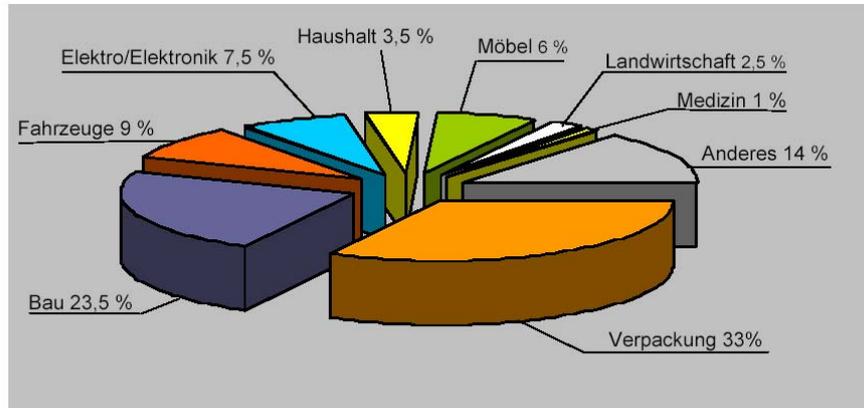
Von einer deutschlandweiten Industrieproduktion von 1.071 Mrd. Euro im Jahr 2004 nahm die Kunststoffindustrie 6,4 % ein [PlasticsEurope 2005].

Import und Export

Deutschland ist derzeit mit 7,8 % an der weltweiten Kunststoffproduktion beteiligt und ist damit eines der Hauptherstellungsländer (Nordamerika 26 %, Asien (ohne Japan) 29 %, Japan 6,5 %, Benelux 5 %, Frankreich 3 %, Osteuropa 5,5 %, Afrika + Mittlerer Osten 5,5 %). Deutschland ist wichtiger Nettoexporteur von Kunststoff.

Die Kunststoffverwendung in Deutschland nach Sektoren im Jahr 2003 ist in den beiden folgenden Abbildungen 4.19 und 4.20 aufgeführt.

Abbildung 4.19 Kunststoffverwendung in Deutschland nach Sektoren 2003 [PlasticsEurope 2004]

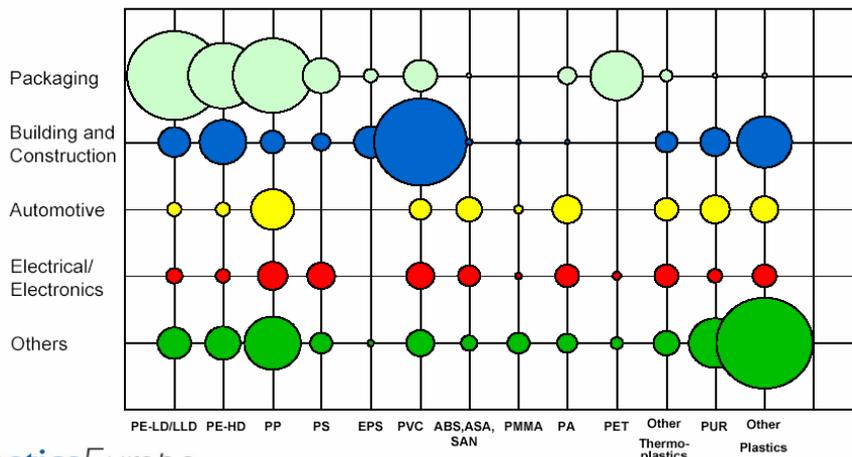


Wirtschaftspresse-Gespräch 2005

PlasticsEurope  
Der Verband der Kunststoffherzeuger

Abbildung 4.20 Kunststoffverwendung in Deutschland nach Kunststoffart und Sektoren 2003 [VKE/PlasticsEurope 2005]

**Plastics Consumption**  
by types of plastic and fields of use in Germany 2003



W-Daten 01-2005

PlasticsEurope  
Der Verband der Kunststoffherzeuger

Source: Consultic, PlasticsEurope Deutschland

26

Ökologische Kennziffern: Daten zu Umweltkriterien

In der Prozesskette der Kunststoffherstellung, beginnend mit der Rohölexploration und Aufarbeitung in der Raffinerie, stellen Raffinerie- und Cracking-Prozess die umweltrelevanten Prozessschritte der Kunststoffherstellung dar. Die resultierenden Umweltwirkungen sind abhängig von der Allokationsmethode für den Rohstoff

Naphtha sowie auf die Produkte des Cracking-Prozesses. Für die Polymerisation der unterschiedlichen Kunststoffarten kommen verschiedene Techniken zur Anwendung, darunter stellt sich die Hochdruckpolymerisation von LDPE als sehr energieintensiv dar (vgl. Tabelle 4.15).

Tabelle 4.15 Umweltwirkungen der Kunststoffherzeugung

	Treibhauseffekt	Versauerung	KEA gesamt	nichterneuenerbar KEA	Mineralien nichte	(Metall)Erze
<b>Emissionsfaktoren Bereitstellung</b>						
	kg CO <sub>2</sub> -Äq/kg	kg SO <sub>2</sub> -Äq/kg	MJ/kg	MJ/kg	kg/kg	kg/kg
Ethylen (KEA total)	1,3494	0,0039	65,96	65,81	0,0009	8,3646E-07
Propylen	1,3852	0,004	67,38	67,22	0,000689414	8,2514E-07
HDPE Granulat	1,865	0,006394738	76,71	75,87	0,000668929	5,0365E-06
LDPE Granulat	2,030	0,007742912	78,08	76,75	0,001352543	1,9007E-05
PET amorph	3,196	0,015372688	80,75	80,21	0,002443896	2,1515E-06
<b>Gesamtemissionen Produktion Deutschland 2004</b>						
	t CO <sub>2</sub> -Äq/a	t SO <sub>2</sub> -Äq/a	GJ/a	GJ/a	t/a	t/a
Ethylen	2.618	7,47	127.969	127.665	1,758	0,002
Propylen	2.493	7,05	121.283	120.994	1,241	0,001
HDPE Granulat	2.480	8,51	102.030	100.901	0,890	0,007
LDPE Granulat	3.268	12,47	125.706	123.571	2,178	0,031
PET amorph	1.374	6,61	34.723	34.491	1,051	0,001

Die Umweltwirkungen der Abfallentsorgung sind gegenüber der Produktion untergeordnet. Bei einer Verwertung wird in der Regel eine Nettoentlastung erzielt. Hauptaufwendungen bestehen im Energiebedarf für die Sortierung und Aufbereitung zu Regranulat oder Formkunststoff. Insofern ein Recycling zu Regranulat stattfindet, liegt das Substitutionspotenzial je nach Reinheitsgrad, Qualität und Einsatzgebiet zwischen 70 und 100 % im Vergleich zu Primärmaterialien.

#### 4.2.3.3 Potenziale

Die deutsche Kunststoffindustrie nimmt mit einem Produktionsvolumen von 17,5 Mio. t im Jahr 2004 (Weltmarktanteil 7,8 %) und mit einer aktuellen Steigerungsrate von 4,2 % gegenüber dem Vorjahr eine relevante Position unter den Wirtschaftssektoren ein. Weiterhin wird auch in Zukunft von steigenden Produktionsmengen ausgegangen. Die Kunststoffindustrie ist gleichzeitig als Abnehmer des Zwischenprodukts Naphtha einer der wichtigsten Kunden der Mineralölwirtschaft. Hohe ökologische Potenziale im Bereich Kunststoffe bestehen auf der Produktionsseite vor allem in der vorgelagerten Mineralölverarbeitung (vgl. oben). Bei den Kunststoffen selbst ist die Erschließung noch erheblicher weiterer Recyclingpotenziale (auf bis zu 80 % der anfallenden Mengen, vorläufige Schätzung Öko-Institut) aktuell und in den kommenden Jahren zentrale Herausforderung. So betrug der Verwertungsanteil (werkstoffliche, rohstoffliche und energetische Verwertung) bezogen auf die angefallene Menge bei Kunststoffen lediglich 58,4 % im Jahr 2003. Hierbei ist zu betonen, dass der Inlandsverbrauch im Jahr 2003 mit 8,9 Mio. t das gesamte Abfallaufkommen an Kunststoffen im gleichen Jahr mit rund 4 Mio. t deutlich übertroffen hat. Dies bedeutet, dass auch bei den Kunststoffen ein Lageraufbau in

der Technosphäre (in Gebäuden, Fahrzeugen, Möbeln, Elektronikprodukten etc.) stattfindet und damit zukünftig mit deutlich steigenden Anfallsmengen und damit wachsenden Verwertungspotenzialen gerechnet werden muss. Das heißt, dass ein Anstieg der Verwertungsquote auf 80 % nach heutigen Anfallsmengen gut 1 Mio. t/a zusätzlich verwerte Kunststoffe bedeutet, jedoch in einer langfristigen Perspektive (langjähriger erheblicher Lageraufbau, der wiederum eines Tages zu deutlich steigenden Anfallsmengen führen muss) bis zu 5 Mio. t/a zusätzliche Verwertungsmengen.

#### **4.2.3.4 Handlungsoptionen**

Die zentrale Handlungsoption für die nächsten Jahre ist die deutliche Steigerung der realen Verwertungsmengen für Kunststoffe. Welche Art der Verwertung dabei verfolgt wird (werkstofflich oder energetisch), hängt von den einzelnen Kunststoffen, ihren Einsatzgebieten, der realisierten bzw. realisierbaren Logistik und nicht zuletzt von den entsprechenden Abnehmern ab. Die Mobilisierung und ökologisch möglichst vorteilhafte Verwertung der Kunststoffe aus den mittel- und langlebigen Anwendungen (vgl. Abschnitt zu Wohngebäuden) ist eine Zukunftsaufgabe und wird zudem durch eine Reihe von zentralen gesetzlichen Regelungen (Verbot der Ablagerung von entsprechenden unbehandelten Abfällen seit Juni 2005) und deren Folgen (gestiegene Attraktivität der Materialseparierung und Verwertung durch Verteuerung der Entsorgung) wesentlich unterstützt. Von besonderer Bedeutung für optimale Verwertungserfolge ist nicht zuletzt der sensible Umgang mit Problemstoffen, die in Teilen der Altkunststoffmengen (z. B. Schwermetalle) vorkommen, und ihre umweltgerechte Separierung und Ausschleusung aus den Materialkreisläufen.

#### **4.2.4 Wichtige bestehende Regelungen**

Bei der Darstellung der wichtigen bestehenden Regelungen ist zwischen Vorgaben für die Anlagen, die vorwiegend Fragen des Emissions- und Immissionsschutzes betreffen, und den Vorgaben für die Produkte zu unterscheiden. Die Anlagen zur Destillation oder Raffination oder sonstigen Weiterverarbeitung von Erdöl oder Erdölzerzeugnissen in Mineralöl- oder Schmierstoffraffinerien unterliegen dem Treibhausgas- und Emissionshandelsgesetz. Die Selbstverpflichtungen in der chemischen Industrie sind sehr zahlreich, allerdings zum Teil so speziell, dass sich keine Synergieeffekte für die hier betrachteten Stoffflüsse ergeben.

Für alle derzeit üblichen Kraftstoffe (Ottokraftstoffe, Diesel, Biodiesel, Flüssiggas und Erdgas) im Automobilbereich existieren Vorgaben zur Qualität des Kraftstoffs (nach DIN). Bestimmte Schadstoffe werden für diese Kraftstoffe durch Verbote oder Mindestgehalte geregelt (Blei, Chlor- und Bromverbindungen, Schwefelgehalt). Für den Konsum von Erdgas sind emissionsschutzrechtliche Vorschriften anwendbar.

#### 4.2.4.1 Treibhausgas- und Emissionshandelsgesetz (TEHG)<sup>35</sup>

Die folgenden Anlagen des Materialflusssystems unterliegen hinsichtlich CO<sub>2</sub> dem TEHG:

- Anlagen zur Destillation oder Raffination oder sonstigen Weiterverarbeitung von Erdöl oder Erdölzerzeugnissen in Mineralöl- oder Schmierstoffraffinerien.

#### 4.2.4.2 BImSchG (13. BImSchV, 17. BImSchV, TA Luft 2002)

Für die Genehmigung von Großfeuerungsanlagen (sowohl als Großfeuerungsanlagen in Raffineriekraftwerken als auch als Unterfeuerung) ist das BImSchG<sup>36</sup>, insbesondere die 13. BImSchV<sup>37</sup> und – sofern Abfälle mitverbrannt werden – die 17. BImSchV<sup>38</sup>, zu beachten. Ziel der 13. BImSchV ist die Begrenzung von Schadstoffemissionen in die Luft bei der Errichtung, der Beschaffenheit und dem Betrieb von Feuerungsanlagen und Gasturbinenanlagen sowie Gasturbinenanlagen zum Antrieb von Arbeitsmaschinen mit einer Feuerungswärmeleistung von 50 Megawatt<sup>39</sup> oder mehr für den Einsatz fester, flüssiger oder gasförmiger Brennstoffe. Bei der Genehmigung von Großfeuerungsanlagen ist insbesondere die Genehmigung mit anlagenübergreifenden Anforderungen (auch „Glocke“ genannt) problematisch. Bei Feuerungsanlagen mit Mischfeuerung in einer Raffinerie, in der Destillations- und Konversionsrückstände zum Eigenverbrauch eingesetzt werden, ergibt sich der zulässige Emissionsgrenzwert regelmäßig für die Feuerungsanlage in Abhängigkeit von den eingesetzten Brennstoffen (siehe § 8 Abs. 3, Satz 1 der 13. BImSchV). Abweichend von dieser Regelung kann die Genehmigungsbehörde aber auch für diese Anlagen auf Antrag bei Schwefeldioxid und Schwefeltrioxid, angegeben als Schwefeldioxid, einen Emissionsgrenzwert von 600 mg/m<sup>3</sup> für den Tagesmittelwert und von 1.200 mg/m<sup>3</sup> für den Halbstundenmittelwert als über die

---

<sup>35</sup> Gesetz über den Handel mit Berechtigungen zur Emission von Treibhausgasen (Treibhausgas-Emissionshandelsgesetz – TEHG) vom 8. Juli 2004, BGBl. I S. 1578; zuletzt geändert durch Art. 2 des Gesetzes vom 22. September 2005, BGBl. I, Nr. 61, S. 2826.

<sup>36</sup> Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz – BImSchG) vom 26. September 2002, BGBl. I S. 3830, zuletzt geändert durch Art. 1 des Gesetzes vom 25. Juni 2005, BGBl. I, Nr. 39, S. 1865.

<sup>37</sup> Dreizehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Großfeuerungs- und Gasturbinenanlagen – 13. BImSchV) vom 20. Juli 2004, BGBl. I, S. 1717; zuletzt geändert am 15. November 2004, BGBl. I, S. 2847.

<sup>38</sup> Siebzehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über die Verbrennung und die Mitverbrennung von Abfällen – 17. BImSchV) vom 14. August 2003, BGBl. I, S. 1633.

<sup>39</sup> Anlagen mit weniger als 50 MW Feuerungswärmeleistung fallen in den Regelungsbe- reich der Technischen Anleitung Luft 2002 (TA Luft). Für Gasturbinen mit nachgeschalte- tem zusatzbefeuernden Abhitzeessel sehen weder die 13. BImSchV noch die TA Luft be- sondere Regelungen vor.

Abgasvolumenströme gewichteten Durchschnittswert über alle Prozessfeuerungsanlagen, ungeachtet des verwendeten Brennstoffs, zulassen.

Großfeuerungsanlagen, die Abfälle mit verbrennen, fallen gänzlich in den Anwendungsbereich der 17. BImSchV. Die Verordnung gilt für die Errichtung, die Beschaffenheit und den Betrieb dieser Anlagen, wenn darin z. B. feste, flüssige oder in Behältern gefasste gasförmige Abfälle oder feste, flüssige oder gasförmige Stoffe, die bei der Pyrolyse oder Vergasung von Abfällen entstehen, verbrannt werden.

#### **4.2.4.3 Chemikaliengesetz (ChemG) und Chemikalien-Verbotsverordnung (ChemVerbotsV)**

Zum Schutz des Menschen oder der Umwelt vor schädlichen Einwirkungen gefährlicher Stoffe und zur Vorsorge kann die Bundesregierung Herstellungs-, Verkehrs- und Verwendungsverbote bzw. -beschränkungen erlassen sowie Herstellungsverfahren- oder Verwendungsverfahrenverbote bzw. -beschränkungen bestimmen (§ 17 Abs. 1 Nr. 1 bis 3 Chemikaliengesetz – ChemG<sup>40</sup>). Um eine solche Verordnung nach § 17 Abs. 1 ChemG handelt es sich bei der Chemikalien-Verbotsverordnung. Für das In-Verkehr-Bringen von bestimmten Stoffen und Zubereitungen sowie Stoffen, Zubereitungen und Erzeugnissen, die diese freisetzen können oder enthalten, bestimmt § 1 der Chemikalien-Verbotsverordnung Verbote und Ausnahmen. Im Anhang zur Chemikalien-Verbotsverordnung sind die jeweiligen Stoffe oder Zubereitungen unterteilt in Abschnitte aufgelistet:

- Spalte 1 enthält die Stoffe und Zubereitungen,
- Spalte 2 enthält die Verbote für diese Stoffe und Zubereitungen,
- Spalte 3 enthält die Ausnahme von den Verboten.

#### **4.2.4.4 Selbstverpflichtungen der chemischen Industrie<sup>41</sup>**

Die Selbstverpflichtungen in der chemischen Industrie sind sehr zahlreich und werden im Folgenden aufgelistet. Sie sind aber zum Teil so speziell, dass sie nicht alle im Detail dargestellt werden können.

##### **- Klimaschutz**

Die chemische Industrie hatte sich in ihrer Selbstverpflichtungserklärung von 1996 verpflichtet, die energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen und den spezifischen Energieverbrauch von 1990 bis zum Jahr 2005 um jeweils 30 % zu reduzieren. Nach Angaben des VCI hat die chemische Industrie die Ziele der Selbstverpflichtung bereits 1999 aufgrund der besonderen Maßnahmen der Unternehmen erfüllt.

Mit der neuen Selbstverpflichtungserklärung der chemischen Industrie vom November 2000 verpflichtete sich diese,

---

<sup>40</sup> Gesetz zum Schutz vor gefährlichen Stoffen (Chemikaliengesetz - ChemG), in der Fassung der Bekanntmachung vom 20.06.2002, BGBl. I S. 2076,

<sup>41</sup> Eine Liste aller Selbstverpflichtungen der chemischen Industrie ist unter [www.vci.de](http://www.vci.de) zu finden.

- die im Kyoto-Protokoll enthaltenen und für die chemische Industrie relevanten Treibhausgase (energiebedingte CO<sub>2</sub>-Emissionen und N<sub>2</sub>O) in CO<sub>2</sub>-Äquivalenten von 1990 bis zum Jahr 2012 um 45–50 % zu senken. Dies entspricht einer absoluten Reduktion von 91,2 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äquivalenten im Jahre 1990 auf 50 bis 46 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äquivalente im Jahre 2012.
- die Energieeffizienz weiter zu verbessern. Der spezifische Energieverbrauch soll im gleichen Zeitraum um 35–40 % reduziert werden.
- in dem erweiterten Zeitraum einen jährlichen Bericht über die Entwicklung des spezifischen Energieverbrauchs, der energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen und der Emissionen von Lachgas (N<sub>2</sub>O) dem Rheinisch-Westfälischen-Institut für Wirtschaftsforschung zu übermitteln.

- **Selbstverpflichtung – freiwillige Kennzeichnung von Kunststoffprodukten**

Ein freiwilliges Kennzeichnungssystem für Verpackungsmaterialien der Richtlinie 94/62 wird durch die Entscheidung der Kommission über die Identifizierung von Verpackungsmaterial 97/129/EG eingeführt.<sup>42</sup> Die Kommissionsentscheidung sieht eine Kennzeichnung von Verpackungsmaterial durch Buchstabenabkürzungen und Nummern vor. Die Verwendung der Kennzeichnung ist zwar zunächst freiwillig, kann aber später verpflichtend festgelegt werden.

- **Freiwillige Selbstverpflichtung der PVC-Industrie**

Hinsichtlich des Werkstoffes PVC existiert eine europaweite freiwillige Selbstverpflichtung der PVC-Industrie aus dem Jahr 2000. Die Selbstverpflichtung der PVC-Industrie zur nachhaltigen Entwicklung ist ein auf 10 Jahre angelegtes Programm, das eine Halbzeitbewertung der Ziele im Jahr 2005 und eine Festlegung neuer Ziele im Jahr 2010 unter Berücksichtigung des technischen Fortschritts und der Erweiterung der EU beinhaltet. Bestandteil des Programms ist darüber hinaus auch ein strikter Überwachungsprozess hinsichtlich seiner Umsetzung in Form von zertifizierten Jahresberichten. Probleme bereitet im Post-Consumer-Bereich die Aussortierung/Trennung der PVC-Abfälle. Die Verpflichtung beinhaltet die folgenden Vorgaben:

---

<sup>42</sup> Entscheidung der Kommission 97/129/EG vom 28. Januar 1997 zur Festlegung eines Kennzeichnungssystems für Verpackungsmaterialien gemäß der Richtlinie 94/62/EG des Europäischen Parlaments und des Rates über Verpackungen und Verpackungsabfälle, ABI. Nr. L 50 vom 20.02.1997, S. 28.

- Einhaltung der ECVM-Charta in Bezug auf Emissionsgrenzwerte bei der PVC-Herstellung,
- Plan für eine vollständige Substitution von Blei-Stabilisatoren bis 2015 zusätzlich zu der seit März 2001 geltenden Substitution von Cadmium-Stabilisatoren,
- die Verwertung von 200.000 Tonnen "Nach-Gebrauch PVC-Abfällen" im Jahr 2010. Dieses Ziel kommt zu den 1999 beschlossenen Verwertungsmengen für "Nach-Gebrauch-Abfälle" sowie zur etwaigen Verwertung von "Nach-Gebrauch-Abfällen" gemäß den Erfordernissen der Umsetzung der EU-Richtlinien über Verpackungsabfälle, Altautos und Elektro- und Elektronikaltgeräte für den Zeitraum nach 1999 hinzu.
- Verwertung von 50 % der erfassbaren verfügbaren PVC-Abfälle von Fensterprofilen, Rohren, Armaturen und Dachfolien ab 2005 sowie von Fußbodenbelägen ab 2008,
- ein Forschungs- und Entwicklungsprogramm über neue Verwertungs- und Rückgewinnungstechnologien einschließlich der rohstofflichen Verwertung und der lösemittelbasierten Technologien,
- Partnerschaft mit den Kommunen innerhalb der "Association of Communes and Regions for Recycling (ACRR)" mit dem Ziel der Förderung von besten Praktiken sowie von lokalen Pilotmaßnahmen auf dem Gebiet der Verwertung.

#### 4.2.4.5 Elektro- und Elektronikgerätegesetz

Da Elektro- und Elektronikgeräte einen großen Kunststoffanteil enthalten, soll hier auf dieses Gesetz eingegangen werden. Durch das Gesetz über das In-Verkehr-Bringen, die Rücknahme und die umweltverträgliche Entsorgung von Elektro- und Elektronikgeräten (Elektro- und Elektronikgerätegesetz – ElektroG)<sup>43</sup> wird eine Mindestquote für getrennte Sammlung von Altgeräten vorgeschrieben. Bis zum 31. Dezember 2006 sollen durchschnittlich mindestens vier Kilogramm Altgeräte aus privaten Haushalten pro Einwohner pro Jahr getrennt gesammelt werden.

In der Abhängigkeit von Gerätekategorien sind in § 12 Verwertungsquoten für Altgeräte vorgegeben, z. B. muss bei Altgeräten der Kategorien 1 und 10 der Anteil der Verwertung mindestens 80 Prozent des durchschnittlichen Gewichts je Gerät betragen und der Anteil der Wiederverwendung und der stofflichen Verwertung bei Bauteilen, Werkstoffen und Stoffen mindestens 75 Prozent des durchschnittlichen Gewichts je Gerät. Besondere Vorgaben zum Recycling von Kunststoff sind in dem Gesetz nicht geregelt. In Anhang III wird zur Gefahrenabwehr die selektive Behandlung von Werkstoffen und Bauteilen von Elektro- und Elektronik-Altgeräten geregelt.

---

<sup>43</sup> Vom 16. März 2005, BGBl. S. 762.

So müssen aus den Altgeräten Kunststoffe, die bromierte Flammschutzmittel enthalten, entfernt werden.

#### **4.2.4.6 Gewerbeabfallverordnung<sup>44</sup>**

Wesentliches Ziel der Gewerbeabfallverordnung, die schwerpunktmäßig die Verwertung und Beseitigung von gewerblichen Siedlungsabfällen sowie Bau- und Abbruchabfällen regelt, ist die Trennung von Abfallfraktionen, um eine höhere stoffliche oder energetische Verwertung zu erreichen. Eine wichtige Abfallfraktion bilden dabei auch Kunststoffe. Weitere Ausführungen zur Gewerbeabfallverordnung befinden sich in den rechtlichen Regelungen zum Materialflusssystem „Steine/Erden-Zement-Beton-Wohngebäudekonsum“.

#### **4.2.4.7 Verpackungsverordnung<sup>45</sup>**

Die Verpackungsverordnung schreibt für die stoffliche Verwertung von Kunststoffen aus Verpackungsabfällen eine Mindestzielvorgabe von 22,5 Materialgewichtsprozent bis zum 31.12.2008 vor. Weitere Ausführungen zur Verpackungsverordnung befinden sich in den rechtlichen Regelungen zum Materialflusssystem „Biomasse-Holz-Papier- und Möbelkonsum“.

#### **4.2.4.8 Brennstoffkonsum**

##### **4.2.4.8.1 Benzinbleigesetz<sup>46</sup>**

Das Benzinbleigesetz enthält ein Inverkehrbringungsverbot für Ottokraftstoffe mit einem bestimmten Gehalt an Bleiverbindungen und anderen an Stelle von Blei zugesetzten Metallverbindungen.

##### **4.2.4.8.2 Die 3. BImSchV<sup>47</sup>**

Die 3. BImSchV enthält Vorgaben zum Schwefelgehalt von leichtem und schwerem Heizöl, der als Brennstoff und für Dieselkraftstoff zum Betrieb von Dieselmotoren verwendet wird. Bislang darf leichtes Heizöl und Gasöl für den Seeverkehr gewerbsmäßig oder im Rahmen wirtschaftlicher Unternehmungen anderen nur über-

---

<sup>44</sup> Verordnung über die Entsorgung von gewerblichen Siedlungsabfällen und von bestimmten Bau- und Abbruchabfällen (Gewerbeabfallverordnung – GewAbfV) vom 19. Juni 2002, BGBl. I S. 1938, zuletzt geändert durch Art. 2 des Gesetzes vom 25. Juli 2005, BGBl. I, Nr. 46, S. 2252.

<sup>45</sup> Verordnung über die Vermeidung und Verwertung von Verpackungsabfällen (Verpackungsverordnung – VerpackV) vom 21. August 1998, BGBl. I S. 2379, zuletzt geändert durch Art. 1 des Gesetzes vom 24. Mai 2005, BGBl. I, Nr. 29, S. 1407.

<sup>46</sup> Gesetz zur Verminderung von Luftverunreinigungen durch Bleiverbindungen in Ottokraftstoffen für Kraftfahrzeugmotore (Benzinbleigesetz – BzBIG) vom 05. August 1971 (BGBl. I S. 2795), zuletzt geändert am 25. November 2003 (BGBl. I, S. 2308).

<sup>47</sup> Dritte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über den Schwefelgehalt bestimmter flüssiger Kraft- oder Brennstoffe 3. BImSchV) vom 24. Juni 2002, BGBl. I, S. 2243.

lassen werden, wenn ein Gehalt an Schwefelverbindungen, berechnet als Schwefel, von 0,20 Massenhundertteilen, nicht überschritten wird. Ab dem 1. Januar 2008 dürfen 0,10 Massenhundertteile nicht überschritten werden (§ 3 Abs. 1 der 3. BImSchV).

Seit dem 1. Januar 2003 darf schweres Heizöl gewerbsmäßig oder im Rahmen wirtschaftlicher Unternehmungen anderen nur überlassen werden, wenn 1,00 Massenhundertteile, berechnet als Schwefel, nicht überschritten werden. Beim Einsatz von schwerem Heizöl in industriellen Feuerungsanlagen dürfen höhere Schwefelgehalte zugelassen werden, soweit das Heizöl in Übereinstimmung mit den Anforderungen der Verordnung über Großfeuerungsanlagen oder der Ersten Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (TA Luft) in Verbrennungsanlagen eingesetzt werden darf und ausschließlich für den Einsatz in diesen Anlagen bestimmt ist (§ 3 Abs. 2 der 3. BImSchV). Dieselkraftstoff darf seit dem 1. Januar 2005 gewerbsmäßig oder im Rahmen wirtschaftlicher Unternehmungen anderen nur überlassen werden, wenn der Gehalt an Schwefelverbindungen, berechnet als Schwefel, 50 mg/kg nicht überschreitet (§ 3 Abs. 3 der 3. BImSchV).

#### 4.2.4.8.3 Schiffskraftstoffe

Im internationalen Marpol-Abkommen zur Verhütung der Meeresverschmutzung durch Schiffe werden in Anhang VI Grenzwerte für Luftschadstoffe festgelegt; Deutschland hat Anhang VI des Internationalen Abkommens ratifiziert. Dazu gehören NO<sub>x</sub>-Standards für Schiffsmotoren und Kontrollgebiete für SO<sub>x</sub>-Emissionen (Baltische See, Nordsee und der Englische Kanal). Seit August 2005 gilt die EG-Richtlinie 2005/33/EC<sup>48</sup>, die u. a. vorsieht, dass die Mitgliedstaaten ab dem 11.08.2006 den Grenzwert für den Schwefelgehalt bei Schiffsdiesel für Passagierschiffe auf 1,5 % beschränken.

#### 4.2.4.8.4 Die 10. BImSchV<sup>49</sup>

Die 10. BImSchV schreibt die Anforderungen für Ottokraftstoffe, Diesel, Biodiesel, Flüssiggas und Erdgas vor, damit diese an den Verbraucher veräußert werden dürfen. Die Kraftstoffe müssen dazu bestimmten DIN-Vorgaben genügen. Ab dem 1.1.2009 darf Ottokraftstoff und Diesel einen Schwefelgehalt von 10 mg/kg nicht überschreiten.

---

<sup>48</sup> Richtlinie 2005/33/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 6. Juli 2005 zur Änderung der Richtlinie 1999/32/EG hinsichtlich des Schwefelgehalts von Schiffskraftstoffen, ABl. Nr. L 191 vom 22.07.2005, S. 59.

<sup>49</sup> Zehnte Verordnung zu Durchführung des Bundes- Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über die Beschaffenheit und die Auszeichnung der Qualitäten von Kraftstoffen – 10. BImSchV) vom 24. Juni 2004 (BGBl. I, S. 1342).

#### 4.2.4.8.5 Die 19. BImSchV<sup>50</sup>

Die 19. BImSchV gilt für Kraftstoffe zum Betrieb von Kraftfahrzeugen sowie für Chlor- und Bromverbindungen als Zusatz zu Kraftstoffen zum Betrieb von Kraftfahrzeugen. Sie regelt, dass Kraftstoffe gewerbsmäßig oder im Rahmen wirtschaftlicher Unternehmungen nur in den Verkehr gebracht werden dürfen, wenn sie keine Chlor- oder Bromverbindungen als Kraftstoffzusatz enthalten.

#### 4.2.4.8.6 Die 20. BImSchV<sup>51</sup>

Die 20. BImSchV beabsichtigt die Begrenzung der Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen beim Umfüllen und Lagern von Ottokraftstoffen. Dazu werden Bau- und Betriebsanforderungen u. a. an große Tanklager (Durchsatz von 25.000 t) geregelt, wie z. B. Dämpferückgewinnungsanlagen für die Rückgewinnung von Ottokraftstoff aus Dämpfen oder eine Einrichtung für die energetische Verwertung von Dämpfen, insbesondere in einem Gasmotor.

#### 4.2.4.8.7 Die 21. BImSchV<sup>52</sup>

Die 21. BImSchV gilt für die Errichtung, die Beschaffenheit und den Betrieb von Tankstellen, soweit Kraftstoffbehälter von Kraftfahrzeugen mit Ottokraftstoffen betankt werden und die Tankstellen einer Genehmigung nach § 4 des Bundes-Immissionsschutzgesetzes nicht bedürfen. Ziel der Regelung ist es Tankstellen so zu errichten und zu betreiben, dass die beim Betanken von Fahrzeugen mit Ottokraftstoff im Fahrzeugtank verdrängten Kraftstoffdämpfe nach dem Stand der Technik mittels eines Gasrückführungssystems erfasst und dem Lagertank der Tankstelle zugeführt werden. Zur Überprüfung von Ausfällen der Gasrückführung wird vom Mineralölwirtschaftsverband e. V. seit 2000 im Rahmen einer Selbstverpflichtung die Einführung eines „Schnelltesters“ an Tankstellen geregelt sowie die Dokumentation der Mängelbeseitigung.

#### 4.2.4.8.8 Feuerungsverordnung und 1. BImSchV (Vorgaben für Heizöl)

Die Verordnung über Feuerungsanlagen, Wärme- und Brennstoffversorgungsanlagen (Feuerungsverordnung – FeuV)<sup>53</sup> regelt Vorgaben zur Lagerung von Heizöl.

---

<sup>50</sup> Neunzehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes, Verordnung über Chlor- und Bromverbindungen als Kraftstoffzusatz (19. BImSchV) vom 17. Januar 1992 (BGBl. I, S. 75).

<sup>51</sup> Zwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung zur Begrenzung der Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen beim Umfüllen und Lagern von Ottokraftstoffen – 20. BImSchV) vom 27. Mai 1998 (BGBl. I, S. 1174); zuletzt geändert am 24. Juni 2002 (BGBl. I, S. 2249).

<sup>52</sup> Einundzwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes, Verordnung zur Begrenzung der Kohlenwasserstoffemissionen bei der Betankung von Kraftfahrzeugen (21. BImSchV) vom 7. Oktober 1992 (BGBl. I, S. 1730); zuletzt geändert am 6. Mai 2002 (BGBl. I, S. 1566).

<sup>53</sup> Vom 6. März 1998, GVBl., S. 112, geändert am 19. Juli 2005, GVBl., S. 310.

Daneben finden sich immissionsschutzrechtliche Regelungen in der 1. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen – 1. BImSchV). Danach darf in Kleinfeuerungsanlagen im Sinne der 1. BImSchV nur Heizöl EL nach DIN 51603-1, Ausgabe März 1998, verbrannt werden.

#### **4.2.5 Zusammenfassung der Handlungsoptionen für das Materialflusssystem**

Für das Materialflusssystem Erdöl/Erdgas-Erdölverarbeitung-Kraftstoffkonsum sind nach den Untersuchungen des Projekts zur Erschließung weiterer deutlicher Umweltentlastungspotenziale die folgenden Empfehlungen besonders hervorzuheben:

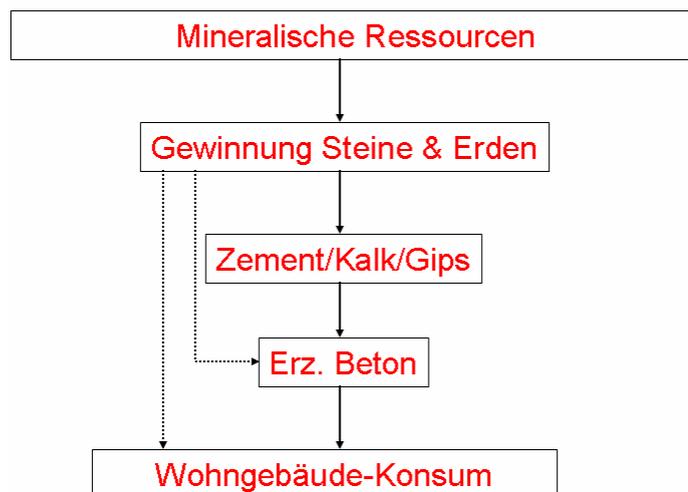
- Die energetische Ertüchtigung des überwiegend älteren Anlagenparks in den deutschen Raffinerien (Vorbild: realisierte Energieeffizienz von Neuanlagen).
- Die Reduzierung der immer noch beträchtlichen Schwefeldioxidemissionen in den deutschen Raffinerien durch konsequente Umsetzung von End-of-pipe-Lösungen, wie sie bei Kraftwerken bereits realisiert wurden.
- Die deutliche Steigerung der realen Verwertungsmengen für Kunststoffe ist für die nächsten Jahre eine wichtige Handlungsoption. Dabei sollte die Mobilisierung und ökologisch möglichst vorteilhafte Verwertung der Kunststoffe aus den mittel- und langlebigen Anwendungen in den Mittelpunkt rücken (hoher und weiterhin zunehmender Lageraufbau in der Technosphäre). Die rechtlichen Rahmenbedingungen bieten hierfür eine gute Grundlage; allerdings sind Maßnahmen notwendig, um die separate Erfassung bereits beim Rückbau von Gebäuden zu optimieren und mit Schadstoffen (z. B. Schwermetalle) kontaminierte Teilströme bei Bedarf aus den Materialkreisläufen auszuschleusen.

## 4.3 Steine/Erden-Zement-Beton-Wohngebäudekonsum

### 4.3.1 Überblick Materialflusssystem: Hauptroute

Das Materialflusssystem Steine&Erden-Zement-Beton-Wohngebäude (vgl. Abbildung 4.21) umfasst auf der Produktionsseite im Kern die wichtige Grundstoffproduktion der Zementherstellung und den sich direkt anschließenden Hauptabnehmerbereich der Betonindustrie. Auf der Nachfrageseite nimmt der Wohngebäudebereich trotz der Rückgänge der Neubauaktivitäten seit Mitte der neunziger Jahre weiterhin eine führende Rolle ein. Der Wohngebäudesektor ist weiterhin ausgesprochen relevant für die Produkte anderer Industriebereiche wie die Kunststoffindustrie, die Glasindustrie, die Ziegelindustrie etc.

Abbildung 4.21 Materialflusssystem-Hauptroute: Steine&Erden-Zement-Beton-Wohngebäude



### 4.3.2 Übersicht Zementindustrie in Deutschland

#### 4.3.2.1 Daten und Fakten

Die Zementindustrie ist in Deutschland – wie in allen Industrieländern – eine der wesentlichen Schlüsselindustrien im Bereich der Grundstoffproduktion und gemeinsam mit der Betonindustrie der wichtigste Abnehmer von mineralischen Rohstoffen. Daher wird in den folgenden Ausführungen zu Recht entsprechend intensiv auf die Zementproduktion in Deutschland eingegangen. Im nächsten Abschnitt folgen dann Informationen über die Betonindustrie, die mit Abstand wichtigste Abnehmerin der Zementindustrie.

Die Zementindustrie kennzeichnet sich nach eigener Darstellung durch die folgenden Merkmale ([www.bdzement.de](http://www.bdzement.de)): „Die Zementindustrie ist sehr kapitalintensiv. Investitionsprojekte amortisieren sich daher nur langfristig und können nur dann realisiert werden, wenn die Rohstoffversorgung nachhaltig gesichert ist. Die Zementindustrie ist standortgebunden, das heißt, sie ist auf Rohstofflagerstätten in unmittelbarer Nähe ihrer Werke angebunden und setzt ihre Produkte aufgrund der hohen Transportkostenintensitäten vor allem in regionalen Märkten ab. Die verbrauchernahe Produktion ist nicht nur mit ökonomischen, sondern auch mit ökologischen Vorteilen (Vermeidung von Transporten) verbunden. Die Zementindustrie ist rohstoff- und energieintensiv. Für die Unternehmen ist daher die Schonung der Ressourcen und die Steigerung der Energieeffizienz schon alleine aus betriebswirtschaftlichen Gründen ein wichtiges Handlungsfeld.“

Im Jahr 2004 produzierten in Deutschland 23 Unternehmen in 59 Werken etwa 32 Mio. t Zement [BDZ 2005]. Der Bundesverband der Deutschen Zementindustrie e. V. (BDZ) hebt hervor, dass in den letzten Jahren trotz der schlechten Baukonjunktur und der zunehmenden Internationalisierung die Zementindustrie kontinuierlich in Deutschland investiert hat. Die Branche verweist darauf, dass sich zwischen 1995 und 2003 die Bruttoanlageinvestitionen auf insgesamt 2,1 Mrd. Euro summiert haben – bei einem Jahresumsatz von durchschnittlich 2,4 Mrd. Euro. Weiterhin wird hervorgehoben, dass rund 20 % Anteil bei Neuinvestitionen auf Umweltschutzmaßnahmen entfallen ([www.bdzement.de](http://www.bdzement.de)). Im Jahr 2001 lag die Zahl der Mitarbeiter in der deutschen Zementindustrie bei ca. 11.000 bei einem Jahresumsatz (ohne Mehrwertsteuer) von 2,41 Mrd. Euro.

49 % der Zementproduktion gehen in die Transportbetonindustrie. Weitere Abnehmer sind die Hersteller von Betonbauteilen mit 25 % Anteil. Schließlich spielt der Absatz von Zement als Sackware mit 10 % Anteil eine Rolle [VDZ 2005a]. Im Jahr 2001 wurden in Deutschland etwa 36 % des Zements im Tiefbau verwendet, 35 % entfielen auf den Wohnungsbau und gut 28 % auf den Nichtwohnbau. Die deutsche Zementindustrie ist eng mit der Betonindustrie verflochten. Die Informationszentrum Beton GmbH (IZB) ist eine Tochtergesellschaft des Bundesverbandes der Deutschen Zementindustrie (BDZ). Der BDZ wiederum ist Mitglied der Vereinigung der europäischen Zementhersteller (CEMBUREAU).

Wesentlicher Materialinput für die Herstellung von Zement ist fein gemahlener Portlandzementklinker vermischt mit Calciumsulfat (natürlicher Gips, Anhydrit oder REA-Gips), darüber hinaus kann Zement als wesentliche Bestandteile Hüttensand, Flugasche, natürliche Puzzolane (wie z. B. Trass), Ölschieferabbrand oder Kalkstein enthalten [VDZ 2005a]. Das Rohstoffgemisch für den Zementklinker wird in einem Drehrohfen (in Deutschland heute überwiegend nach dem Trockenverfahren in Drehröhfen mit Zyklonvorwärmer, nur wenige Öfen mit Rostvorwärmer) bei einer Temperatur von rund 1.450 °C bis zum Sintern erhitzt. Der gebrannte Klinker wird anschließend in Zementmühlen unter Einsatz von Calciumsulfat und ggf. weiteren Hauptbestandteilen zu Zement gemahlen. Da Zement ein transportkostenintensives

Massengut ist, wird es fast ausschließlich zu lokalen Absatzmärkten geliefert. In Tabelle 4.16 ist der Rohstoffeinsatz der Zementindustrie im Detail aufgeführt.

Tabelle 4.16 Rohstoffeinsatz der Deutschen Zementindustrie 2004 [VDZ 2005a]

<b>Gruppe</b>	<b>Rohstoff</b>	<b>Einsatz 2004 in 1000 t</b>
Ca	Kalkstein/Mergel/Kreide	41.045
Ca	Kalkschlämme aus der Trink- und Abwasseraufbereitung, Kalkhydrat, Porenbetongranulat, Calciumfluorid	101
Si	Sand	1.334
Si	Gießereialsand	151
Si-Al	Ton	1.298
Si-Al	Bentonit/Kaolinit	49
Si-Al	Rückstände aus Kohleaufbereitung	3
Fe	Eisenerz	134
Fe	Sonstige Einsatzstoffe aus der Eisen- und Stahlindustrie, wie Kiesabbrand, verunreinigtes Erz, Eisenoxid/Flugasche-Gemisch, Stahlwerksstäube, Walzzunder	93
Si-Al-Ca	Hüttensand	5.110
Si-Al-Ca	Flugasche	378
Si-Al-Ca	Ölschiefer	164
Si-Al-Ca	Trass	34
Si-Al-Ca	Sonstige, wie Papierreststoffe, Aschen aus Verbrennungsprozessen, mineralische Reststoffe, ölverunreinigte Böden	170
S	Natürlicher Gips	569
S	Natürlicher Anhydrit	541
S	REA-Gips	428
Al	Einsatzstoffe aus der Metallindustrie wie Aufbereitungsrückstände von Salzschlacken, Aluminiumhydroxid	60
<b>Summe</b>		<b>51.662</b>

Der Rohstoffeinsatz pro Tonne Zement (Gesamtproduktion 2004: 32 Mio. t Zement) beträgt demnach 1,61 t. Bei rund 6,5 Mio. t der eingesetzten Rohstoffe (12,6 % des Rohstoffeinsatzes) handelt es sich jedoch um Sekundärrohstoffe aus unterschiedli-

chen Anfallsquellen. Es werden im Jahr 2004 rund 14,2 Mio. t rohstoffbedingte CO<sub>2</sub>-Emissionen freigesetzt.

Die Bauwirtschaft verwertet bereits das Aufkommen an Flugaschen (ca. 4 Mio. t/a) zu 100 %. Die Flugasche wird entweder im Zementwerk mit anderen Zementarten verschnitten oder im Betonwerk als Zusatzmittel zugemischt. Wichtig ist weiterhin die Verwertung von Hüttensand. Die Schlacke aus Hochöfen wird traditionell in der Zementindustrie eingesetzt (vgl. Tabelle oben: > 5 Mio. t 2004). Die Primärenergieeinsparung in der deutschen Zementindustrie durch den Einsatz von Hüttensand wird auf rund 7 % veranschlagt [ISI 2004].

Der Anteil des Produktionsfaktors Energie liegt für die deutsche Zementindustrie bei 26 % der Bruttowertschöpfung, daher rührt ein hoher Anreiz zur Energieeinsparung ([www.bdzement.de](http://www.bdzement.de)). Der spezifische Brennstoffenergieeinsatz in der deutschen Zementindustrie betrug im Jahr 2004 2,943 kJ/kg Zement; der elektrische Energieeinsatz belief sich im gleichen Jahr auf 101,8 kWh/t Zement. Pro Tonne Zement wurden im Jahr 2004 CO<sub>2</sub>-Emissionen von 0,675 t verzeichnet (davon 0,162 t thermisch bedingt, 0,070 t elektrisch bedingt, 0,443 t rohstoffbedingt), 60 % der gesamten CO<sub>2</sub>-Emissionen der Zementindustrie sind rohstoffbedingt [BDZ 2005]; dies ist ein besonderes Merkmal dieser Branche.

#### 4.3.2.2 Dynamik und Trends

In der Tabelle 4.17 sind die jüngsten Trends bezüglich Produktion, Absatz, Export, Import hinsichtlich der deutschen Zementindustrie aufgeführt.

Tabelle 4.17 Produktion, Absatz und Export der deutschen Zementindustrie 2004 [BDZ 2005], [VDZ 2005b]

	2002 (1.000 t)	2003 (1.000 t)	2004 (1.000 t)
Klinkerproduktion	23.954	25.233	26.281
Zementabsatz (inkl. Klinkerexport)	31.247	33.410	33.439
davon Inlandabsatz	27.377	28.747	27.497
davon Export inkl. Klinker	3.870	4.663	5.942
Zementimport	1.544	1.184	1.347
Inlandsverbrauch	28.921	29.931	28.844

In den Jahren davor wurden für den Inlandsabsatz die folgenden Zahlen gemeldet, 1999: 33.776 Mio. t, 2000: 31.985 Mio. t, 2001: 28.034 Mio. t ([www.bdzement.de](http://www.bdzement.de)). Es zeigt sich, dass sich nach dem Rückgang zwischen 1999 und 2001 der Inlandsabsatz angesichts der schlechten Baukonjunktur in diesen Jahren bemerkenswert stabil entwickelt hat.

Der Inlandsverbrauch<sup>54</sup> (nicht zu verwechseln mit Inlandsabsatz bzw. Inlandsversand) ist zwischen 1994 und 2001 von 41,2 Mio. t auf 31,1 Mio. t gesunken (weiterer Rückgang bis 2004 auf 28,8 Mio. t). Der Import ging in der gleichen Zeit von 6,9 Mio. t auf 2,3 Mio. t zurück (vgl. Tabelle oben: weiterer Rückgang des Imports bis 2004). Es kann das Fazit gezogen werden, dass die deutsche Zementindustrie sich trotz deutlich zurückgegangenen Inlandsverbrauchs (rückläufige Baukonjunktur im Wohnungsbau etc.) im Markt behauptet hat (vgl. Daten zur Klinkerproduktion sowie zum Zementabsatz inkl. Klinkerexport). In diesem Zusammenhang gingen einerseits die Importmengen an Zement nach Deutschland in den letzten Jahren stark zurück, andererseits wurde der Export aus Deutschland forciert.

Der spezifische Stromverbrauch für die Zementproduktion in Deutschland weist einen Anstieg (1970 ca. 92 kWh/t Zement) bis Mitte der 80er Jahre bis auf rund 110 kWh/t Zement auf. Die Ursache hierfür lag in höheren Produkthanforderungen und Anstrengungen im technischen Umweltschutz. In den nachfolgenden Jahren konnte, bedingt durch Innovationen wie verbesserte Mahltechnik, wieder ein Rückgang auf 101,8 kWh/t Zement bis zum Jahr 2004 verzeichnet werden.

Der spezifische Brennstoffeinsatz in der deutschen Zementindustrie konnte seit 1950 bis heute gut halbiert werden (seit Anfang der neunziger Jahre nur noch geringe Veränderungen). Ein herausragender Trend war in den letzten Jahren der verstärkte Einsatz von Sekundärbrennstoffen. Innerhalb von zehn Jahren wuchs deren Anteil um mehr als das Vierfache. In Tabelle 4.18 ist der anteilige Brennstoffeinsatz der deutschen Zementindustrie in den Jahren 1994 und 2004 aufgeführt.

Tabelle 4.18 Brennstoffeinsatz in der deutschen Zementindustrie 1994 und 2004, nach [VDZ 1996], [VDZ 2005b]

<b>Brennstoff</b>	<b>Anteil in % 1994</b>	<b>Anteil in % 2004</b>
Steinkohle	48,4	16,4
Braunkohle	31,6	33,3
Petrolkoks	1,9	4,0
Heizöl S/EL	0,5	2,9
Erdgas u. andere Gase	5,6	0,5
Sonstige fossile Brennstoffe	1,9	0,7
Sekundärbrennstoffe	10,1	42,2

Insgesamt betrug der Brennstoffeinsatz 1994 103,0 Mio. GJ/a und im Jahr 2004 95,3 Mio. GJ/a.

<sup>54</sup> Inlandsverbrauch = Inlandsversand bzw. Inlandsabsatz + Import.

Letztlich hängt die Produktionsentwicklung von Zement direkt mit der Entwicklung der Baukonjunktur zusammen. Mittel- bis langfristig (bis ca. 2025) ist nicht von einem nennenswerten Produktionsanstieg in der Deutschen Zementindustrie auszugehen. Angesichts der Tatsache, dass die Anlageinvestitionen in dieser Branche langfristiger Natur sind und Zement als Schlüsselbaustoff in allen Bereichen des Bauwesens benötigt wird (und damit Schwankungen in Teilsegmenten wie dem Wohnungsbau nicht vollständig unterliegt), ist eine Stagnation bzgl. der Größenordnung der Produktion zu erwarten – nicht jedoch ein dramatischer Produktionsrückgang. Eine wesentliche Verlagerung von Produktionskapazitäten ist nicht zu erwarten, da die Nähe zu den Rohstofflagerstätten und regionalen Absatzmärkten ausgesprochen wichtig ist.

Die Zementindustrie wird auch in Zukunft eine zentrale Bedeutung als eine wesentliche Senke für die Aufnahme diverser Sekundärrohstoffe sowie von Sekundär-brennstoffen einnehmen.

#### 4.3.2.3 Potenziale

Als wichtige energieintensive Grundstoffbranche waren und sind für die deutsche Zementindustrie der spezifische Energieeinsatz und die damit verbundenen CO<sub>2</sub>-Emissionen ein wichtiges Thema. Die Selbstverpflichtung der deutschen Zementindustrie (vom 9. Nov. 2000) sieht bis zum Zeitraum 2008/2012 eine Minderung der energiebedingten (brennstoffbedingt und elektrisch bedingt) spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen um 28 %, bezogen auf das Jahr 1990, vor. Seit 01.01.2005 ist darüber hinaus das Emissionshandelssystem installiert: Alle Unternehmen in Deutschland, die Klinker produzieren, sind davon betroffen (Achtung: ohne elektrisch bedingte CO<sub>2</sub>-Emissionen, aber mit geogenen = rohstoffbedingten Emissionen).

Ungeachtet der Tatsache, dass für weitere Maßnahmen zur Reduzierung des spezifischen Brennstoffeinsatzes und des spezifischen Einsatzes an elektrischer Energie technische Grenzen absehbar sind,<sup>55</sup> kann der Minderungszielwert der Selbstverpflichtungserklärung für CO<sub>2</sub> von 28 % (ca. 2 Mio. t/a CO<sub>2</sub>) als Potenzial festgehalten werden. Eine wichtige Rolle ist dabei u. a. dem zukünftigen Anteil von Sekundärbrennstoffen biogenen Ursprungs (Altholz etc.) beizumessen. Es muss betont werden, dass aufgrund der großen Bedeutung der Branche bereits wenige Prozentpunkte Emissionsminderung einen wichtigen Beitrag zu den nationalen Klimaschutzzielen leisten.

Ein weiteres wichtiges Potenzial in der Zementindustrie ist durch die erforderliche Nachrüstung von älteren Anlagen bzgl. der Emissionen von Stickoxiden gegeben. Zum aktuellen TA-Luft-Grenzwert von 500 mg NO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> wird von der Branche selbst ausgeführt: *„... im Jahr 2004 überstiegen die Emissionen mehrerer Anlagen die heute in der TA Luft für Zementwerke vorgesehenen Emissionswerte. Die Betriebsge-*

---

<sup>55</sup> Vgl. [BAT Cement 2001]: Einsatz elektrischer Energie in EU: 90–130 kWh/t Zement (vgl. aktueller Wert in Deutschland von 101 kWh/t).

*nehmigungen für diese Werke beruhen noch auf höheren NO<sub>x</sub>-Grenzwerten. Einige dieser Anlagen sind bzw. werden in den nächsten Jahren stillgelegt, weitere werden mit einer Anlage zur NO<sub>x</sub>-Minderung nachgerüstet.“* (BDZ 2005) Die Arbeiten zum BAT auf europäischer Ebene nennen Emissionskonzentrationen für Stickoxide von 200 bis 500 mg NO<sub>x</sub>/m<sup>3</sup> (als NO<sub>2</sub>). Es wird dabei nicht zuletzt auf die SNCR-Technik (selective non-catalytic reduction) verwiesen [BAT Cement 2001]. In 2004 wurden in Deutschland 32 Anlagen mit SNCR-Technik betrieben. Vorsichtig geschätzt, kann für Deutschland von einem Minderungspotenzial von 10 bis 20 % (d. h. minus 4.000 bis 8.000 t/a)<sup>56</sup> für die Stickoxidemissionen (gegenüber 2004) durch die Nachrüstung der Altanlagen ausgegangen werden.

#### **4.3.2.4 Handlungsoptionen**

Als Handlungsoption ist zunächst die zeitnahe Verfolgung der Umrüstung von Altanlagen auf moderne Minderungssysteme hinsichtlich der Stickoxidemissionen zu nennen. Hier sind entsprechende technische Lösungen (SNCR-Technik) vorhanden und werden durch den europäischen BAT-Prozess untermauert [BAT Cement 2001]. Weiterhin ist eine wichtige Handlungsoption die weitere Erhöhung der Energieeffizienz und die weitere Forcierung des Einsatzes von geeigneten Sekundärbrennstoffen (vgl. auch Kapitel 6 zum weiteren Untersuchungsbedarf bzgl. der Zementindustrie).

### **4.3.3 Übersicht Betonindustrie in Deutschland**

#### **4.3.3.1 Daten und Fakten**

Die beiden wesentlichen Hauptproduktgruppen der Betonindustrie sind Betonfertigteile und Transportbeton. In der Tabelle 4.19 ist eine Übersicht über die Produkte im Jahr 1997 angegeben [ISI 2004]:

---

<sup>56</sup> Das Minderungspotenzial entspricht ca. 0,25 bis 0,5 % der deutschen Gesamtemissionen.

Tabelle 4.19 Produktgruppen der Betonindustrie

Produktgruppe	Produktion in Mio. t	Produktion in Mio. m <sup>3</sup>
Mauersteine aus Leichtbeton	1,28	0,80
Mauersteine aus Normalbeton	16,40	7,10
Konstruktive Fertigteile	4,25	1,85
Andere Fertigteile	4,89	2,13
Garagen und andere Fertigteile	1,30	0,57
Wandbauteile	2,75	1,20
Dachtafeln	5,83	2,53
Dachsteine	3,30	1,43
Schornsteinformstücke	0,40	0,17
Fertigteile für Garten- und Landschaftsbau	1,45	0,63
Gehwegplatten und Pflastersteine	21,50	9,34
Betonrohre	3,45	1,50
Transportbeton	112,60	49,00
<b>Summe</b>	<b>179,40</b>	<b>78,25</b>

Die Produktion von Beton- und Betonprodukten folgt den Konjunkturverläufen der Bauwirtschaft. Jährlich werden in Deutschland etwa 80 Mio. m<sup>3</sup> Betonprodukte hergestellt. Nach [ISI 2004] sind signifikante Trends im Hoch- und Tiefbau, die bezüglich Beton zu massiven Materialsubstitutionen führen würden, nicht erkennbar. Beton ist in allen Sektoren des Bauwesens vertreten. Allerdings liegt im Wohnungsbau die Domäne stark bei Decken und Stürzen. Im Bereich der Nichtwohngebäude (vor allem Bürogebäude o. Ä.) hat Beton einen hohen Anteil auch bei tragenden Wänden, d. h. im Bereich der Nichtwohngebäude dominiert Beton gegenüber den klassischen Mauerwerksmaterialien wie Ziegel etc. Der Transportbeton für den Ortbetonbau macht rund 60 % der Betonprodukte aus. Auf Betonfertigteile, Pflastersteine und Mauersteine aus Beton entfallen jeweils rund 10 %.

Als wesentlicher Materialinput für die Herstellung von Beton sind Zement, Zuschlagstoffe, Wasser, Betonzusatzstoffe (Zementersatzstoffe, Pigmente etc.) und Betonzusatzmittel zu nennen. Die Endfestigkeit des Betons wird durch die Zementmenge und -qualität eingestellt. Typischerweise liegt der Zementgehalt von Beton bei 280–350 kg/m<sup>3</sup> verdichtetem Beton, er muss für Stahlbeton-Außenbauteile nach DIN 1045 mindestens 300 kg/m<sup>3</sup> betragen. Die inerten Zuschlagstoffe dienen als Füller und beeinflussen die physikalischen Eigenschaften des Festbetons. Üblicherweise werden Sand und Kies als Zuschlagstoffe eingesetzt, wobei abhängig

vom konkreten Einsatzzweck definierte Sieblinien einzuhalten sind. Sand ist hier für die feinen Fraktionen 0/2 mm Material der Wahl, während die gröberen Fraktionen 2/4, 4/8 und darüber durch Kies gestellt werden. Betonzusatzmittel (max. 50 g/kg Zement) werden zur Einstellung der Frischbetonkonsistenz, zur Steuerung der Aushärtungsgeschwindigkeit und anderer Betoneigenschaften verwendet [ISI 2004].

#### 4.3.3.2 Dynamik und Trends

Ähnlich wie die Zementproduktion kann die zukünftige Betonproduktion nur abgeschätzt werden. Sie folgt den Zyklen der Baukonjunktur. Eine Stagnation des jährlichen Produktionsniveaus bei rund 80 Mio. m<sup>3</sup> ist mittel- bis langfristig das wahrscheinlichste Szenario.

Eine wichtige Frage unter dem Gesichtspunkt der Ressourcenschonung ist die zukünftige Entwicklung des Anfalls von Betonabbruch. Dieser spielt als Verwertungsmaterial aus Bauabfällen eine sehr wichtige Rolle. Aus den Daten der Arbeitsgemeinschaft Kreislaufwirtschaftsträger Bau e. V. [KWTB 2001] schätzt das Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung ISI für 1998 ein Aufkommen von insgesamt 30 Mio. t Betonabbruch (inkl. Betonplatten aus Straßenaufbruch). Für Betonabbruch existieren eine ganze Reihe von klassischen Verwertungswegen [Kohler et al. 2001]:

Ungebundene RC-Mineralstoffgemische<sup>57</sup>

- Trageschicht unter Straßendecken aus Asphalt,
- Trageschicht unter Straßendecken aus Beton,
- Frostschuttschicht unter Pflaster,
- Schottertrageschicht unter Pflaster,
- Bettungsmaterial für Pflaster,
- Füllmaterial für Dammbau, Rampenbau und sonstigen Erdbau.

Hydraulisch gebundener RC-Beton

- Hydraulisch gebundene Tragschicht unter Pflaster,
- Zuschlag für Sauberkeitsschichten unter Fundamenten,
- Zuschlag in Rückenstützbeton für Bord-, Pflaster und Rinnersteine,
- Zuschlag in Unterbeton für die Hohlraumverfüllung.

Nach Modellrechnungen von [Görg 2002] sollte die zeitliche Entwicklung der Betonabbruchmengen, ohne Straßenaufbruch, ab 1994 stark ansteigen und zwar bis 2020 auf ca. 90 Mio. t ausgehend von 12 Mio. t im Jahr 1994. Das Modell benutzt eine statistische Verteilung der Gebäudestandzeiten. Den Modellrechnungen liegt die einfache Überlegung zu Grunde, dass die erheblichen Betonmengen, die in den Wirtschaftswunderjahren in Deutschland verbaut wurden, gemäß einer definierten mittleren Lebensdauer durch Abriss der Gebäude aus der Technosphäre entnommen und damit für die Recyclingkreisläufe zugänglich werden. Die Monitoring-Berichte der Arbeitsgemeinschaft Kreislaufwirtschaftsträger Bau e. V. [KWTB 2001,

<sup>57</sup> RC = Abkürzung für Recyclingbaustoffe.

KWTB 2003] können eine solchen Trend jedoch bislang nicht bestätigen. Das Gesamtaufkommen von Bauschutt weist bislang kaum einen Anstieg auf (Anmerkung: Davon ist Betonabbruch nur ein Teil.).

Nach Einschätzung des Öko-Instituts, beruhend auf eigener Arbeit [Öko-Institut 2004b], wird die tatsächliche Lebensdauer von Gebäuden allgemein unterschätzt. Dies gilt umso mehr, wenn reale Marktmechanismen nicht betrachtet werden (vgl. unten Kapitel zum Wohngebäudekonsum); d. h. die Motivation eines Rückbaus besteht vor allem dann, wenn auf der Fläche ein Neubau errichtet werden soll. Im Falle einer schleppenden oder nicht vorhandenen Nachfrage (der Leerstand von Büroimmobilien übersteigt in vielen Städten weit 10 %) kann jahrzehntelanger Leerstand die „Lebensdauer“ des Gebäudes bis zum Abriss noch weit verlängern. Daher ist die prognostizierte Betonabbruchwelle zumindest bis 2020 mit Vorsicht zu betrachten. Nichtsdestotrotz ist es mit das Verdienst von Görg, die Diskussion auf das Lager Technosphäre (in diesem Fall speziell auf die wichtige Betonfraktion im Hochbau) gelenkt zu haben. Offen ist lediglich, wann und mit welcher Steigerungsrate die in immenser Menge verbauten Betonmaterialien in die Recyclingkreisläufe gelangen werden.

#### **4.3.3.3 Potenziale**

Klassische Verwertungswege für Beton im Tiefbaubereich werden bereits seit Jahren beschränkt. Rund 70 % der anfallenden Baurestmassen werden bislang einer Verwertung zugeführt [KWTB 2003]. Betonabbruch zählt dabei eher zu den günstig zu verwertenden Fraktionen. Zusätzliche Potenziale zur Schonung von mineralischen Rohstoffen durch Betonrecycling sind einerseits durch ein in Zukunft steigendes Aufkommen zu erwarten (vgl. auch Abschnitt zum Wohngebäudekonsum), andererseits durch die Forcierung von relativ neuen Möglichkeiten des hochwertigen Betonrecyclings im Hochbau.

Diese junge, innovative Entwicklung ist die Wiederverwertung von geeignetem und geeignet aufbereitetem Betonbruch als Betonzuschlag, der Kieszuschlag aus natürlichen Lagerstätten ersetzt [Öko-Institut 2004b, ISI 2004]. Bereits 1996 sind 1,6 Mio. t Recyclingbeton als Betonzuschlag genutzt worden [BV Baustoffe 2000]. Bekannte Beispiele sind das Hundertwasserhaus in Darmstadt (Waldspirale) und ein Bürogebäude der Bauverein AG (ebenfalls in Darmstadt). Seit 1998 existiert eine neu geschaffene Richtlinie des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton „Beton mit rezykliertem Zuschlag“. Ein Einsatz von rezykliertem Zuschlag in Beton ist in beschränktem Umfang (z. B. Betonsplitt und Betonbrechsand > 2 mm in Innenbauteilen bis B25) und unter gewissen Voraussetzungen zulässig: Eine Voraussetzung ist, dass „die Herkunft des Altbetons bekannt ist und durch einen Gutachter die Einstufung des Zuschlagsmaterials in eine unbedenkliche Alkaliempfindlichkeitsklasse zweifelsfrei festgestellt wurde“.

Auf der Basis der Richtlinie geht eine Studie von Schmidt Consult Heidelberg von einem technischen Aufnahmepotenzial der Betonindustrie für Recyclingbeton als

Betonzuschlag von 26 Mio. t und einer tatsächlichen Nutzung im Jahre 2010 von max. 16 Mio. t aus [BV Baustoffe 2000]. Legt man den niedrigeren der beiden Werte zu Grunde und setzt ihn in das Verhältnis zur ungefähren jährlichen Gesamtproduktion für Beton in Deutschland (ca. 80 Mio. m<sup>3</sup>, d. h. ca. 180 Mio. t), so lässt sich ein Einsparpotenzial an Rohstoffen (Kies) in der Größenordnung von 10 % abschätzen. Fraunhofer [ISI 2004] errechnet für das Brechen und Verwerten von Betonbruch eine Primärenergieeinsparung von 13,57 MJ/t gegenüber der Deponierung (Saldo aus zusätzlichem Aufwand für Betonbrechen und Gutschrift für Einsatz von Armierungsstahl im Elektroofen).

Für das hochwertige Betonrecycling ist vor allem der Abbruch größerer Gebäude mit hohem Stahlbetonanteil (wenig Störstoffe wie Gips, Mörtel etc.) interessant. Der Stock vor allem in Nichtwohngebäuden ist dabei ein immenses Materiallager (vgl. Kapitel: Exkurs Nichtwohngebäude).

#### **4.3.3.4 Handlungsoptionen**

Als konkrete Handlungsoption im Bereich der Betonindustrie ist die Förderung des hochwertigen Recyclings von Betonabbruch, der durch selektiven Rückbau von Wohn- aber vor allem auch von Nichtwohngebäuden gewonnen werden kann, zu nennen. Wichtige Elemente sind dabei die Vorbildfunktion bei Bauvorhaben der öffentlichen Hand durch Einsatz von Recyclingbeton, der Abbau von Hemmnissen wie Maßnahmen zur Vermeidung der Kontamination der Betonrezyklate durch Stör- und Schadstoffe beim Rückbau z. B. durch Gips, Mineralfasern etc. (vgl. Kapitel zu Wohngebäudekonsum) und die Förderung der notwendigen Logistik.<sup>58</sup> Notwendig sind darüber hinaus genauere Informationen über die mittel- bis langfristig anfallenden Betonmengen aus der Technosphäre (vgl. Kapitel zu Wohngebäudekonsum bzw. Exkurs zu Nichtwohngebäuden).

### **4.3.4 Übersicht Wohngebäudekonsum in Deutschland**

#### **4.3.4.1 Daten und Fakten**

Trotz drastischer Rückgänge des Wohnungsbauvolumens in den letzten Jahren (siehe unten) stellt der Wohnungsbau im Jahr 2004 mit einem veranschlagten Volumen von 41,36 Mrd. Euro in Deutschland einen herausragenden ökonomischen Sektor dar. Er übertrifft damit weiterhin deutlich den Bereich der Nichtwohngebäude, der in Deutschland im Jahr 2004 auf insgesamt 25,68 Mrd. Euro veranschlagte Kosten kommt.<sup>59</sup>

---

<sup>58</sup> In Büttelborn bei Darmstadt hat ein Transportbetonhersteller direkt neben einer Bauschuttzubereitungsanlage eine Betonmischanlage aufgebaut. Die qualitativ besten Fraktionen aus der Bauschuttzubereitungsanlage können somit ohne zusätzlichen Transportaufwand direkt vor Ort als Betonzuschlag eingesetzt werden.

<sup>59</sup> Die Zahlen schließen jeweils Baumaßnahmen an bestehenden Gebäuden (die zu neuen Wohnungen bzw. Erweiterung von Nutzflächen führen) sowie die Umsatzsteuer mit ein.

Das Statistische Bundesamt<sup>60</sup> liefert für den Bereich der Wohngebäude folgende wichtige Definitionen: „Wohngebäude sind Gebäude, die mindestens zur Hälfte (gemessen an der Gesamtnutzfläche) Wohnzwecken dienen. Ferien-, Sommer- und Wochenendhäuser mit einer Mindestgröße von 50 m<sup>2</sup> Wohnfläche rechnen ebenfalls dazu. Die Wohnfläche von Wohnungen (entsprechend der II. Berechnungsverordnung) ist die Summe der anrechenbaren Grundflächen der Räume, die ausschließlich zu einer Wohnung gehören. Die Wohneinheiten (WE) werden in Wohnungen und in sonstige Wohneinheiten unterschieden. Eine Wohnung besteht aus einem oder mehreren Räumen, die die Führung eines Haushalts ermöglichen, darunter stets eine Küche oder ein Raum mit fest installierter Kochgelegenheit. Sonstige Wohneinheiten sind alle übrigen Wohneinheiten ohne Küche oder Kochnische. Zu ihnen zählen vor allem einzelne oder zusammenhängende Räume in Wohnheimen für die ständige wohnliche Unterbringung der Heimbewohner.“

Allerdings betrug der Anteil der sonstigen Wohneinheiten (WE) an den gesamten WE im Neubau lediglich 1,57 % im Jahr 2004 und spielt daher nur eine untergeordnete Rolle. Einen „Graubereich“ stellen Wohnungen in Nichtwohngebäuden dar. Sie werden in der Bautätigkeitsstatistik separat ausgewiesen (Anteil am Neubau von Wohnungen in Deutschland 2004: lediglich 1,70 %). In der Wohnungsbestandstatistik werden Wohnungen in Wohn- und Nichtwohngebäuden gesamt erfasst. Nicht mitgezählt werden in der Bestandstatistik Wohnungen in Wohnheimen.

Hinsichtlich der wirtschaftliche Verflechtung kann hervorgehoben werden, dass der Import nur bei Baustoffen (und Energieträgern zu ihrer Herstellung) eine gewisse Rolle spielt; dennoch kommen immer noch deutlich über 90 % der Baustoffe aus inländischen oder gar oft regionalen Quellen (Sand, Kies). Aufgrund ihres geringen spezifischen Werts (je Tonne) spielen Transportkosten relativ eine große Bedeutung, so dass Transporte von Massenbaustoffen über längerer Strecken (Ausnahmen am ehesten Binnenschiffe) in der Regel wirtschaftlich nicht attraktiv sind. Wichtige vorgelagerte Sektoren sind die Zementindustrie, Betonindustrie, Ziegelindustrie (und damit allgemein die Gewinnung Steine und Erden) die Stahlindustrie, die Holzwirtschaft und auch die Kunststoffindustrie sowie viele weitere Wirtschaftssektoren.

Der Wohngebäudebereich ist hinsichtlich seiner Relevanz für Material- und Energieströme vergleichbar gut untersucht. Die folgenden ausgewählten Daten und Fakten sind der Arbeit „Nachhaltiges Bauen und Wohnen in Deutschland“<sup>61</sup> entnommen und beziehen sich auf das Jahr 2000. Unabhängig von der Tatsache, dass allein die

---

<sup>60</sup> Statistisches Bundesamt, Fachserie 5, Reihe 1, Bautätigkeit und Wohnungen, jährliche Ausgabe.

<sup>61</sup> Vgl. [Öko-Institut 2004b]. In dieser Arbeit für das Umweltbundesamt ist das Bedürfnisfeld Bauen und Wohnen auf die möglichen zukünftigen Entwicklungen der Materialströme hin intensiv untersucht worden.

Beheizung der Wohngebäude einen erheblichen Anteil an den nationalen Treibhausgasemissionen hat (180 Mio. t CO<sub>2</sub> inkl. Vorketten, davon ca. 97 % inländische Emissionen), ist der Bereich Wohngebäude unzweifelhaft aus ökologischer Sicht im Sinne der Ressourceninanspruchnahme, der Emission von Treibhausgasen für den Neubau und die Instandhaltung und anderer Kriterien von überragender Bedeutung. So konnten für das Jahr 2000 rund 33 Mio. t CO<sub>2</sub> Emissionen allein für den Neubau und die Instandhaltung/Modernisierung der Wohngebäude errechnet werden. Die wesentlichen Beiträge sind dabei vor allem mit der Herstellung von Massenbaustoffen wie Zement/Beton, Ziegeln, Kalksandstein, Porenbeton, Stahl etc. verbunden. Für den Bau und die Instandhaltung der Wohngebäude sind für 2000 rund 150 Mio. t mineralische Rohstoffe zu veranschlagen (ohne zusätzliche Aufwendungen der benötigten Infrastruktur wie Wohnstraßen).

Demgegenüber stand im gleichen Jahr ein Bauschuttanfall von rund 33 Mio. t aus dem Bereich Wohngebäude<sup>62</sup>; davon entfielen lediglich rund 5 Mio. t auf Abriss, aber 28 Mio. t auf Instandhaltung bzw. Modernisierung etc.<sup>63</sup> Dies bedeutet, dass sich im Jahr 2000 das Verhältnis Materialinput zu Materialoutput für den Wohngebäudebereich auf rund 5 zu 1 belief. Schließlich soll an dieser Stelle der wesentliche Beitrag des Bereichs Wohnen zur täglichen Flächeninanspruchnahme von ca. 31 ha/d (Nettowohnbauland und Verkehrserschließungsfläche) Erwähnung finden [Öko-Institut 2004b].

Erheblich schwieriger zu quantifizieren sind die zahlreichen Problemstoffe, die sich – obgleich vielfach seit Jahren in der Neuanwendung verboten – weiterhin im Gebäudebestand befinden und auch zukünftig noch Probleme für die Baustoffkreisläufe darstellen. Bereits 1998 hat sich die Enquete-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt“ [Enquete 1998] mit den Problemstoffen im Baustoffkreislauf befasst. Folgende Problembereiche wurden damals exemplarisch genannt:

- Arsen (gemischter Bauschutt),
- Asbest (Asbestzement, Asbeststäube, Spritzasbest, asbesthaltige Materialien),
- Cadmium (gemischter Bauschutt),
- Chlor (organisch gebunden),
- Chrom (Chromat) (Zement),
- Lindan (Altholz),
- Polychlorierte Biphenyle (PCB), (Fugenmasse/dauerelastische Dichtungsmasse),
- Pentachlorphenol (PCP) (Altholz, Bautenschutz).

---

<sup>62</sup> Die Daten stehen im vernünftigen Verhältnis zu Literaturangaben für den Gesamtanfall von Bauschutt (incl. Nichtwohngebäude!) von gut 50 Mio. t/a (Daten für 1998) [van Norden 2002].

<sup>63</sup> Bauschutt durch Neubauaktivitäten wurde in dieser Berechnung vernachlässigt. In der Baupraxis – vor allem im eher kleinteiligen Wohnungsbau – werden Bauschuttreste beim Neubau z. T. mit Baustellenabfällen entsorgt.

Wie bereits erwähnt, sind Quantifizierungen in diesem Bereich schwierig und Daten nur rudimentär vorhanden. Einer Publikation des Umweltbundesamts aus dem Jahr 1999 sind folgende Zahlen entnommen, die einen Einblick in die Dimension des Problems bieten [UBA 1999]. So betrug der PVC-Input in die Baubranche im Jahr 1997 rund 883.000 t. Nach Schätzungen des UBA wurden in den letzten 15 Jahren (vor 1999) mehr als 5.000 t Cadmium für Stabilisatoren verwendet; vor allem für Fenster, Rollläden und andere PVC-Hartprofile für den Einsatz im Außenbereich. Der typische Cadmiumgehalt wird zwischen 0,5 und 2,5 g/kg angegeben. Weiterhin wird in der gleichen Arbeit ausgeführt, dass insgesamt Bleimengen von 100.000 t bis 300.000 t in der Technosphäre gespeichert sind (unterschiedliche Zahlenangaben von vke bzw. LGA Bayern). Die Haupteinsatzgebiete für Bleistabilisatoren in PVC sind Rohre, Fensterprofile, Bauprofile und Kabelmassen. Der typische Bleigehalt in PVC-Produkten liegt zwischen 0,5 und 3 Massenprozent [UBA 1999].

Auch wenn die erwähnten Daten nicht allein den Wohngebäudebereich betreffen, so muss dennoch davon ausgegangen werden, dass aufgrund der sehr langen Lebensdauer der Wohngebäude ein nennenswertes Inventar an Problemstoffen im Materiallager Wohngebäudebestand weiterhin vorhanden ist.

#### 4.3.4.2 Dynamik und Trends

Aus der nachfolgenden Tabelle wird ersichtlich, dass in den alten Bundesländern (ABL) der Wohnungsbestand (saldiert, d. h. bereinigt um Abgang = Abriss + Umwidmung) zwischen 1994 und 2004 von 28,41 Mio. auf 31,65 Mio. Einheiten gestiegen ist, dies entspricht einer Steigerung um 11,4 % oder 3,24 Mio. Einheiten. Die Wohnfläche nahm in dieser Zeit von 2,47 Mrd. m<sup>2</sup> auf 2,81 Mrd. m<sup>2</sup> zu, dies entspricht einer Steigerung von 13,85 % [StBA 1994–2004a].

Tabelle 4.20 Wohnungen und Wohnfläche im Wohnungsbestand ABL von 1994 bis 2004

<b>Wohnungsbestand ABL (jeweils 31.12.)</b>		
Jahr	Wohnungen in Mio.	Wohnfläche in Mrd. m <sup>2</sup>
1994	28,41	2,47
1995	28,90	2,51
1996	29,30	2,55
1997	29,69	2,59
1998	30,05	2,63
1999	30,41	2,66
2000	30,73	2,70
2001	30,99	2,73
2002	31,21	2,76
2003	31,43	2,78
2004	31,65	2,81

In den neuen Bundesländern (NBL) nahm zwischen 1994 und 2004 die Anzahl der Wohnungen um 0,752 Mio. Einheiten oder 10,8 % zu. Die Wohnfläche nahm in der gleichen Zeit um 74,40 Mio. m<sup>2</sup> oder 15,4 % zu [StBA 1994–2004a].

Tabelle 4.21 Wohnungen und Wohnfläche im Wohnungsbestand NBL von 1994 bis 2004

<b>Wohnungsbestand NBL (jeweils 31.12.)</b>		
Jahr	Wohnungen in Mio.	Wohnfläche in Mrd. m <sup>2</sup>
1994	6,96	0,48
1995	7,06	0,49
1996	7,19	0,50
1997	7,36	0,52
1998	7,48	0,53
1999	7,58	0,54
2000	7,65	0,55
2001	7,70	0,55
2002	7,71	0,55
2003	7,71	0,56
2004	7,71	0,56

Insgesamt nahm in Deutschland zwischen 1994 und 2004 der Bestand an Wohnungen um 3,99 Mio. Einheiten (netto) oder 11,3 % zu. Die Wohnfläche nahm in der gleichen Zeit um 416,04 Mio. m<sup>2</sup> oder 14,1 % zu. Der prozentual stärkere Anstieg der Wohnfläche (die Einheit Wohnfläche ist zur Abschätzung bzw. Berechnung von Materialströmen aussagekräftiger) im Vergleich zur Anzahl Wohnungen ist auf die Tatsache zurückzuführen, dass neu gebaute Wohnungen (höherer Anteil in 1- bis 2-Familienhäusern etc.) im Durchschnitt erheblich größer sind als jene, die bislang abgerissen werden [StBA 1994–2004a].

Tabelle 4.22 Wohnungen und Wohnfläche im Wohnungsbestand in Gesamtdeutschland von 1994 bis 2004

<b>Wohnungsbestand D (jeweils 31.12.)</b>		
Jahr	Wohnungen in Mio.	Wohnfläche in Mrd. m <sup>2</sup>
1994	35,37	2,95
1995	35,95	3,01
1996	36,49	3,05
1997	37,05	3,11
1998	37,53	3,15
1999	37,98	3,20
2000	38,38	3,25
2001	38,68	3,28
2002	38,92	3,31
2003	39,14	3,34
2004	39,36	3,37

Wie in der nachfolgenden Tabelle ersichtlich ist, sind die Fertigstellungen von neuen Wohnungen zwischen 1994 und 2003 aufgrund der Sättigung vieler regionaler Märkte von 505.179 Einheiten auf 226.267 Einheiten gesunken. Der leichte Anstieg auf 238.290 Einheiten 2004 darf noch nicht als Trendwende nach oben interpretiert werden. Allerdings wird vielfach davon ausgegangen, dass die Talsohle des Woh-

nungsbaus nahezu erreicht ist. Der Rückgang der Fertigstellungen an Wohnungen war zwischen 1994 und 2004 mit ca. 53 % erheblich stärker als jener der neu geschaffenen Wohnfläche mit 38 %. Dies liegt daran, dass der Rückgang der Fertigstellungen überproportional die (im Schnitt) kleineren Wohnungen in Mehrfamilienhäusern betraf [StBA 1994–2004b].

Tabelle 4.23 Wohnungen und Wohnfläche im Wohnungsneubau in ABL von 1994 bis 2004

<b>Wohnungsneubau ABL*</b>		
Jahr	Wohnungen (1000)	Wohnfläche in Mio. m <sup>2</sup>
1994	505	46,4
1995	499	44,9
1996	416	38,6
1997	400	39,0
1998	372	38,0
1999	370	39,3
2000	337	37,3
2001	268	30,8
2002	241	28,3
2003	226	27,0
2004	238	28,8
Inkl. Baumaßnahmen an bestehenden Gebäuden		

Der Wohnungsneubau in den NBL war in den 90er Jahren zunächst durch einen rasanten Anstieg der jährlichen Zahlen bis 1997 geprägt. Dem folgte durch starke Marktsättigungstendenzen, die demographische Entwicklung und den damit zusammenhängenden starken Anstieg der Wohnungsleerstände (vgl. unten) ein dramatischer Abschwung bis 2004. Der Rückgang der jährlichen Zahlen beträgt zwischen 1997 und 2004 für die Wohnungen rund 78 % (!), während der Rückgang bei der jährlich fertig gestellten Wohnfläche im gleichen Zeitraum 68 % betrug. Dies erklärt sich ebenfalls durch einen deutlich überproportionalen Rückgang der Fertigstellungen von Mehrfamilienhäusern [StBA 1994–2004b].

Tabelle 4.24 Wohnungen und Wohnfläche im Wohnungsneubau in NBL von 1994 bis 2004

<b>Wohnungsneubau NBL*</b>		
Jahr	Wohnungen (1000)	Wohnfläche in Mio. m <sup>2</sup>
1994	68	6,2
1995	104	9,1
1996	143	11,9
1997	178	14,5
1998	128	11,3
1999	103	9,7
2000	86	8,5
2001	58	6,1
2002	49	5,3
2003	42	4,7
2004	40	4,7
Inkl. Baumaßnahmen an bestehenden Gebäuden		

In der nachfolgenden Tabelle ist der Wohnungsneubau in Deutschland insgesamt aufgeführt. Zwischen der Spitze im Jahre 1995 (602.757) und 2004 (278.008) ist ein Rückgang von 54 % zu verzeichnen. Der Rückgang der jährlich neu geschaffenen Wohnfläche beträgt im gleichen Zeitraum 32 % [StBA 1994–2004b].

Tabelle 4.25 Wohnungen und Wohnfläche im Wohnungsneubau in Gesamtdeutschland von 1994 bis 2004

<b>Wohnungsneubau D*</b>		
Jahr	Wohnungen (1000)	Wohnfläche in Mio. m <sup>2</sup>
1994	573	52,7
1995	603	54,0
1996	559	50,5
1997	578	53,5
1998	501	49,3
1999	473	49,0
2000	423	45,8
2001	326	36,9
2002	290	33,7
2003	268	31,8
2004	278	33,5
Inkl. Baumaßnahmen an bestehenden Gebäuden		

Die Dynamik des Abrisses von Wohnungen ist aus Ressourcengesichtspunkten von großem Interesse, da auf diesem Weg nennenswerte Materialströme aus der Technosphäre freigesetzt werden, die das Potenzial haben, zumindest zum Teil durch Recycling die Inanspruchnahme neuer Ressourcen zu vermindern. Aus der nachfolgenden Tabelle wird deutlich, dass sich in den ABL sowohl die Wohnungsabgänge insgesamt (inkl. Umwidmungen) als auch der Abriss von Wohnungen zwischen 1994 und 2004 ausgesprochen stabil verhalten. Ein eindeutiger Trend ist nicht erkennbar [StBA 1994–2004b].

Tabelle 4.26 Abriss von Wohnungen und Wohnfläche in ABL von 1994 bis 2004

<b>Wohnungsabriss ABL</b>				
Jahr	Summe Abgang Wohnungen*	davon Summe Abriss Wohnungen**	Summe Abriss Wohnfläche in 1000m <sup>2</sup> **	Abriss Wohnfläche in m <sup>2</sup> /Wohnung
1994	15.368	14.043	1.221	87
1995	15.029	13.632	1.185	87
1996	14.120	12.710	1.069	84
1997	14.950	13.360	1.132	85
1998	14.955	13.449	1.139	85
1999	14.540	13.265	1.086	82
2000	14.979	13.631	1.156	85
2001	15.132	13.604	1.123	83
2002	16.256	14.765	1.171	79
2003	14.607	13.504	1.128	84
2004	16.812	15.479	1.258	81
	* inkl. Abgang von Gebäudeteilen			
	** eigene Berechnung ÖI nach Daten StBA			

Im Gegensatz zu den ABL ist in den NBL in den Jahren 1994 bis 2004 eine dynamische Entwicklung festzustellen. Sowohl beim Abriss von Wohnungen als auch von Wohnfläche ist ein fast ununterbrochener Anstieg der Zahlen festzustellen. Die entscheidende Beschleunigung trat nach 2000 ein, nachdem die „Leerstandskommission“ (Pfeiffer 2000) ihren Bericht für die NBL vorgelegt hatte und die Bundesregierung das „Stadtumbau-Ost-Programm“ startete, das den qualifizierten Rückbau überschüssiger Wohnungsbestände mit Prämien unterstützt. Diesen entscheidenden Effekt kann man auch an der Änderung der Altersverteilung des Abgangs erkennen. So entfielen 1994 in den NBL lediglich 3,2 % des Abgangs auf Wohngebäude, die ab 1970 errichtet wurden. Im Jahr 2004 entfielen auf die Gebäudeklasse nach 1970 bereits 62,5 % des gesamten Abgangs in den NBL. Daran lässt sich eindeutig der Schwerpunkt der Abrissaktivitäten bei den Plattenbaumehrfamilienhäusern erkennen, die in der Zeit der DDR in großer Zahl errichtet wurden. Damit ist auch der stark gesunkene Durchschnittswert der Wohnfläche je abgerissene Wohnung in den NBL zwischen 1994 und 2004 zu erklären [StBA 1994–2004b].

Tabelle 4.27 Abriss von Wohnungen und Wohnfläche in NBL von 1994 bis 2004

<b>Wohnungsabriss NBL</b>				
Jahr	Summe Abgang Wohnungen*	davon Summe Abriss Wohnungen**	Summe Abriss Wohnfläche in 1000m2**	Abriss Wohnfläche in m2/Wohnung
1994	6.984	5.377	405	75
1995	6.904	5.727	416	73
1996	7.923	6.993	496	71
1997	7.846	6.949	484	70
1998	10.130	8.828	566	64
1999	10.309	9.123	602	66
2000	9.985	8.803	586	67
2001	17.133	16.025	1.005	63
2002	33.934	32.993	1.946	59
2003	41.658	40.695	2.463	61
2004	43.234	42.452	2.534	60
	* inkl. Abgang von Gebäudeteilen			
	** eigene Berechnung ÖI nach Daten StBA			

Die in der nachfolgenden Tabelle aufgeführten Daten zum Wohnungsabgang bzw. -abriss geben die Entwicklung für Deutschland insgesamt wieder. Wie oben geschildert, finden die dynamischen Entwicklungen ab 2000 in erster Linie in den NBL statt, mit massiver bewusster Einflussnahme des Staates [StBA 1994–2004b].

Tabelle 4.28 Abriss von Wohnungen und Wohnfläche in Deutschland von 1994 bis 2004

<b>Wohnungsabriss D</b>				
Jahr	Summe Abgang Wohnungen*	davon Summe Abriss Wohnungen**	Summe Abriss Wohnfläche in 1000m2**	Abriss Wohnfläche in m2/Wohnung
1994	22.352	19.420	1.626	84
1995	21.933	19.359	1.601	83
1996	22.043	19.704	1.565	79
1997	22.796	20.309	1.617	80
1998	25.085	22.277	1.705	77
1999	24.849	22.389	1.687	75
2000	24.964	22.434	1.742	78
2001	32.265	29.630	2.128	72
2002	50.190	47.758	3.117	65
2003	56.265	54.199	3.591	66
2004	60.046	57.931	3.792	65
	* inkl. Abgang von Gebäudeteilen			
	** eigene Berechnung ÖI nach Daten StBA			

Die zukünftigen Potenziale zur Ressourcenschonung liegen vor allem in dem sehr großen Stock (Materiallager) des deutschen Wohnungsbestandes.<sup>64</sup> Er betrug für das Jahr 2000 rund 10,5 Mrd. t. Davon sind rund 9,6 Mrd. t mineralische Baustoffe (Beton, Ziegel, Kalksandstein Putze, Mörtel etc.), rund 220 Mio. t Holz, fast 100 Mio. t Metalle (ganz überwiegend Stahl; Kupferleitungen und Kupferrohre etc. sind in der Zahl nicht berücksichtigt) und 6,8 Mio. t Dämmstoffe. Nach Szenario-rechnungen des Öko-Instituts mit dem Modell BASiS-2 wird das Materiallager des Wohngebäudebestandes bis zum Jahr 2025 noch weiter drastisch anwachsen und zwar um über 19 % auf 12,6 Mrd. t. Das Szenario stützt sich dabei für den Neubau

<sup>64</sup> Die aufgeführten Daten zu den Materialien des Wohnungsbestandes wurden mit dem Modell BASiS-2 errechnet [Öko-Institut 2004b].

auf eine Wohnungsprognose der BBR. Ab 2006 geht das Szenario von Abrisszahlen in D gesamt von 110.000 Wohnungen/a aus. Dies liegt mehr als doppelt so hoch wie der bislang tatsächlich erreichte Wert für das Jahr 2004. Dennoch ist selbst im Jahr 2025 der Materialinput in den Gebäudebestand rund doppelt so hoch wie der Materialoutput durch Rückbau. Das heißt, das Verhältnis ändert sich zwischen dem Jahr 2000 (5 : 1) und 2025 (2 : 1) deutlich, von einem „steady state“ kann jedoch in absehbarer Zeit keine Rede sein.

Überproportional wird der Anstieg der Dämmstoffe im Stock sein, da durch die verschärften wärmetechnischen Standards (EnEv 2002) sowie Nachdämmungen im Bestand die Bedeutung der Baustoffgruppe Dämmstoffe stark zunimmt. Bis 2025 werden nach konservativem Szenario zusätzlich rund 725 Mio. m<sup>3</sup> Dämmstoffe, die ein Gesamtgewicht in einer Größenordnung von mehr als 20 Mio. t aufweisen, Teil des Wohnungsbestandes. Dies wird für die nachfolgende Sanierung oder den Rückbau der Gebäude wichtige Auswirkungen auf die Abfallwirtschaft haben. In diesem Zusammenhang ist die Problematik der bis zum Jahr 2000 erfolgten überwiegenden Verwendung von Dämmstoffen aus dem Bereich der künstlichen Mineralfasern (KMF) mit hohem Kanzerogenitätsindex, d. h. Dämmstoffen, die nicht dem Standard KI 40-KMF entsprachen, von Bedeutung. Hier ist in den nächsten Jahrzehnten ein hohes Risikopotenzial im Falle unangemessener Abbruchverfahren (Abrissbirne etc.) beim Gebäuderückbau zu besorgen.

Von besonderer Bedeutung ist in diesem Zusammenhang, dass der Stock des Wohngebäudebestandes trotz deutlich gestiegener Abrisszahlen gegenüber dem Basisjahr 2000 weiter deutlich anwächst – trotz z. T. hoher Leerstände und stagnierender Bevölkerung. Die oben aufgeführten Zahlen des Statistischen Bundesamts für den Wohnungsbestand bis 2004 zeigen ebenfalls ein ständiges Wachstum der Wohnungen und der Wohnfläche und damit des Materiallagers „Wohngebäudebestand“.<sup>65</sup>

Der Leerstand an Wohnungen hat in den letzten 10 bis 12 Jahren in Deutschland erheblich zugenommen. Dies betrifft vor allem – aber keineswegs ausschließlich – die NBL. Die Ursachen des regional sehr unterschiedlichen Leerstandsniveaus sind vielfältig: Wirtschaftlicher Niedergang und damit Abwanderung junger und mobiler Bevölkerungsteile, generelle demographische Entwicklung (Sterbeüberschuss in vielen Regionen), aber auch z. T. vergleichsweise hohe Neubauraten in der Region tragen zur Erhöhung des Leerstandsniveaus bei. So wurde das Leerstandsniveau vieler Städte in den NBL nicht nur durch Abwanderung in die ABL erhöht, sondern auch durch einen – u. a. durch Eigenheimzulage geförderten – Bauboom von 1- bis 2-Familienhäusern im direkten Umland.

Zum Verständnis muss erwähnt werden, dass in der Wohnungswirtschaft nach allgemeiner Auffassung ein Anteil von 3 % Leerstand am gesamten Wohnungsbe-

---

<sup>65</sup> Hinweis: Die Daten des Statistischen Bundesamts gehen scharf bis auf die Ebene der Bundesländer und zeigen interessante Details!

stand als notwendig angesehen wird. Diese Leerraumreserve soll Umzüge erleichtern und Modernisierungen und größere Renovierungen ermöglichen [StBA 2000]. Inzwischen ist das Leerstandsniveau erheblich über die 3 %-Marke angewachsen. Nach [StBA 2000] wuchs in den ABL die Leerstandsquote zwischen 1993 und 1998 von 804.100 Wohnungen (2,9 %) auf 1.795.200 Wohnungen (6,0 %), d. h. die Quote hat sich binnen 5 Jahren verdoppelt. In den Jahren darauf haben sich die jährlichen Neubauzahlen verringert, dennoch verbleibt ein deutlich positiver Saldo beim Wohnungsbestand. Allerdings muss gleichzeitig beachtet werden, dass die durchschnittliche Haushaltsgröße (Bewohner/Haushalt) aus demographischen und sonstigen Gründen (allein stehende Seniorenhaushalte, Singles etc.) weiter sinkt und daher selbst bei gleich bleibender Bevölkerung die Zahl der Haushalte weiter steigt. Eigentliche Brisanz gewinnt die Zahl von 1998 von 6,0 % aus der Tatsache, dass sie für die ABL nur einen Durchschnittswert darstellt. Regionen mit Wohnungsknappheit (z. B. München) bzw. dynamischer Bevölkerungs-, Haushalts- und Wirtschaftsentwicklung, wie z. B. weite Teile Baden-Württembergs, stehen im Kontrast zu Regionen, die unter unbewältigtem Strukturwandel, Arbeitslosigkeit, Abwanderung und Überalterung der Bevölkerung leiden, wie z. B. viele Ruhrgebietsstädte.

Dramatische Ausmaße nahm jedoch die Leerstandsquote in den NBL an. Von 1993 stieg sie mit 417.500 Wohnungen (6,2 %) über 1995 mit 456.300 Wohnungen (6,8 %) bis 1998 auf 917.600 (13,2 %) an. Seitdem ist der Anstieg des Leerstandes verlangsamt worden, ohne dass eine Trendumkehr erreicht worden wäre. Das IÖR gibt als aktuelle Größenordnung 1.100.000 leer stehende Wohnungen für die NBL an [IÖR 2005]. Nach den Arbeiten einer Bund-Länder-Kommission unter Leitung des BMVBW [Pfeiffer 2000] wurde vor allem für die NBL ein gezieltes Rückbauprogramm „Stadtumbau Ost“ initiiert. Dieses soll nicht zuletzt durch physische Entnahme von mehreren hunderttausend leer stehenden Wohnungen die Wohnungsgesellschaften in den NBL vor dem finanziellen Zusammenbruch bewahren und generell die Wohnungsmärkte in den NBL stabilisieren helfen. Eng verbunden mit diesen Zielen sind umfangreiche städtebauliche Aufwertungen durch den Rückbau. An den Abrisszahlen in den NBL ab 2000 sind die ersten Effekte des Programms ersichtlich.

In den ABL gibt es ein vergleichbares Programm „Stadtumbau West“, allerdings aufgrund des unterschiedlichen Problemdrucks in erheblich geringerer Ausprägung als in den NBL. Das IÖR hebt in seiner Publikation „Stadtumbau und Leerstandsentwicklung aus ökologischer Sicht“ [IÖR 2005] auf den Zusammenhang zwischen Leerstandsentwicklung und Rohstoffintensität ab. Zum einen kann massiver Leerstand zu unnützem Energieverbrauch aufgrund der indirekten Mitheizung leer stehender Wohnungen (bzw. der Grundheizung zur Vermeidung fataler Bauschäden wie Rohrbrüche etc.) führen. Auf der anderen Seite werden die für den Bau der Wohngebäude notwendigen Rohstoffe nicht optimal genutzt. Werden im Extremfall ggf. in der Nähe neue Wohngebäude errichtet – ohne Nutzung z. B. durch Umbau/Zusammenlegung leer stehender Wohnungen, wirkt sich dies weiter negativ auf die Rohstoffproduktivität aus.

*„Leerstand führt in Wohngebieten zu einer unnützen „Vergeudung“ von Baumaterialien. Werden Gebäude, Leitungssysteme und Straßen nicht ihrer Auslegung entsprechend genutzt, steigt die Rohstoffintensität pro Quadratmeter genutzter Wohnfläche. Besonders sensibel auf diesen Effekt reagieren Wohngebiete mit niedriger städtebaulicher Dichte.“ [IÖR 2005]*

Zusammenfassend kann zu den Dynamiken und Trends im Wohngebäudebereich gesagt werden, dass – ohne entscheidende Veränderungen – weiterhin ein sehr großer Bedarf an Rohstoffen und Energie benötigt werden wird. Dazu wird das Materiallager im Wohngebäudebestand noch weiter deutlich anwachsen. Die Dynamiken müssen sowohl im Zusammenhang mit der engen Verknüpfung zu anderen Umweltproblemfeldern (Flächeninanspruchnahme etc.) gesehen werden als auch mit der sehr engen Verknüpfung zur sozialen und ökonomischen Dimension (soziale und ökonomische Herausforderungen verstärkten Leerstandes etc.). Insgesamt ist wahrscheinlich, dass der jährliche Wohnungsneubau im Trend stagniert, der Abriss tendenziell etwas steigen wird und der Wohnungsbestand insgesamt deutlich anwächst. Weiterhin ist mittel- bis langfristig mit allmählich steigenden Bauschuttmengen zu rechnen, die in der Tendenz zunehmend Probleme durch Störstoffe (z. B. schwermetallhaltige Kunststoffe) ausweisen könnten.

#### **4.3.4.3 Potenziale**

Für den Bereich der Wohngebäude bestehen mittel- und langfristig unzweifelhaft erhebliche Umweltentlastungspotenziale in Deutschland. Dies betrifft auf der einen Seite den Bereich des Neubaus und der Versorgung der Wohngebäude mit Heizenergie. Auf der anderen Seite sollte der Bedeutung des immer noch anwachsenden großen Materiallagers des Gebäudebestandes als Sekundärrohstoffquelle erheblich mehr Aufmerksamkeit gewidmet werden. Schließlich sind zukünftige Effizienzgewinne in Produktionsprozessen durch verstärkten Einsatz von Sekundärrohstoffen (z. B. Beton, Stahl) nur realisierbar, wenn die entsprechenden Materiallager aus der Technosphäre aktiviert werden können. Der Wohngebäudebestand stellt eine wichtige Fraktion dieses Materiallagers dar.

Die folgenden Ergebnisse von Potenzialrechnungen wurden mit dem Modell BA-SiS-2 durchgeführt und stellen die Differenz zwischen dem Referenzszenario und einem Nachhaltigkeitsszenario zwischen den Jahren 2000 und 2025 dar. Die Szenarioannahmen wurden mit einem Fachbeirat (Vertreter aus Bundes- und Landesministerien, Wissenschaft, Umweltverbänden etc.) zuvor sorgfältig abgestimmt. Alle unterstellten technischen Maßnahmen (z. B. Passivhäuser im Neubau, Nachdämmung im Bestand etc.) sind heute bereits am Markt etabliert.<sup>66</sup> Hervorzuheben ist, dass auch nach dem Nachhaltigkeitsszenario die Wohnfläche pro Kopf noch weiter deutlich zunimmt (auf 46,8 m<sup>2</sup> im Jahr 2025 ausgehend von 39,8 m<sup>2</sup> im Jahr 2000). Dies ist unter anderem durch die demographischen Entwicklungen (Reduzierung

---

<sup>66</sup> Die Details bzgl. der Szenarioannahmen finden sich ausführlich in [Öko-Institut 2004b].

der Haushaltsgröße = Bewohner je Haushalt) und die weiter auseinander laufenden regionalen Wohnungsmärkte bestimmt. Folgende Potenziale können für den Wohngebäudebereich hervorgehoben werden:

- Reduzierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen um 52 % (ca. 110 Mio. t/a)<sup>67</sup> bis 2025 (gegenüber 2000),
- Reduzierung der Inanspruchnahme mineralischer Rohstoffe von 150 Mio. t im Jahr (2000) auf rund 70 Mio. t bis 2025 (nur Gebäude),
- Reduzierung des Flächenverbrauchs bis 2025 von 31 ha/d auf 5 ha/d Siedlungs- und Verkehrsfläche trotz deutlicher Zunahme der Wohnfläche,
- verstärkte Nutzung des ansonsten dauerhaft ungenutzten Materiallagers (durch Anstieg Leerstand),
- Minimierung der Freisetzung von Problemstoffen (z. B. Schwermetalle, künstliche mineralische Fasern: KMF<sup>68</sup>) beim Umbau und Rückbau.

#### 4.3.4.4 Handlungsoptionen

Folgende Handlungsoptionen im Bereich Wohngebäude zur Schonung von Ressourcen und Vermeidung der Freisetzung von Problemstoffen können benannt werden:

- verstärkte Aufwertung der Wohnungsbestände (Verlängerung der Gebäudelebensdauer und Verringerung des erheblichen Bedarfs an Heizenergie im Gebäudebestand), Zusammenlegung von Wohnungen, Beschränkung des Neubauvolumens auf Bedarf,
- forcierte Erschließung der Innenentwicklungspotenziale (z. B. Brachflächen), angemessene Nachverdichtung,
- Identifizierung von Dauerleerstand und Mobilisierung der Materialien durch gezielten und selektiven Rückbau,
- umweltgerechte Entsorgung von Problemstoffen in gestiegenen bzw. zukünftig tendenziell steigenden Abbruchmengen: Umgang mit dem „Dämmstoffberg“,

---

<sup>67</sup> Das Minderungspotenzial entspricht ca. 13 % der deutschen Gesamtemissionen.

<sup>68</sup> Nach Angaben des Umweltbundesamts bezieht sich die Problematik auf die vor Mai 2000 verbauten KMF-Massen, die über Sanierungs- und Abbrucharbeiten nun die Abfallwirtschaft erreicht. Der Neueinsatz ist über das chemikalienrechtliche Verbot des Herstellens, Verwendens und In-Verkehr-Bringens zufrieden stellend geregelt. Verstöße dagegen können auch über eine weitere rechtliche Regelung nicht unterbunden werden. Das Augenmerk ist daher auf den zurzeit und in den nächsten Jahren stattfindenden Lagerabbau zu richten. Der Bundesratsbeschluss stammt noch aus dem Jahr 1999, die Veröffentlichung und damit das In-Kraft-Treten erfolgten jedoch erst im Mai 2000. Vor 2000 wurde der absolut größte Marktanteil durch kanzerogene KMF gedeckt und nur ein geringer Anteil durch so genannte KI 40-KMF. Heutige Dämmstoffe dagegen, die in den Verkehr gebracht werden, halten sowohl WHO-Kriterien als auch KI-40-Kriterien ein und zeigen keine Anzeichen von „übermäßiger Kanzerogenität“.

Ausschleusung von Problem- und Störstoffen aus den Materialkreisläufen und deren sichere und schadlose Entsorgung.<sup>69</sup>

Die Aufwertung der Gebäudebestände war und ist wichtiger Gegenstand der Politik von Bund (z. B. Programme der Kreditanstalt für Wiederaufbau), Ländern und Gemeinden. Die Handlungsoption des gezielten Rückbaus dauerhaft leer stehender Wohngebäude ist insbesondere in den NBL durch das Stadtumbauprogramm Ost, aber auch in den ABL „Stadtumbau West“ angegangen worden. Letztlich dürfen jedoch auch die (finanziellen) Grenzen derartiger Aktivitäten des Staates nicht unterschätzt werden.

Eine weitere essentielle und zentrale Handlungsoption ist in der Forcierung und qualitativen Verbesserung des selektiven Rückbaus zu sehen. Bei zukünftig – wenn auch langsam – steigenden Abrissmengen sollte eine optimierte Materialseparierung bereits beim Rückbau selbst sichergestellt werden, da die zahlreichen Problemstoffe für erhebliche größere Baumaterialmengen das Recycling erheblich stören bzw. verhindern können (Gips, Dämmstoffe etc.). Die Potenziale des Materiallagers im Gebäudebestand können zukünftig nur durch bessere Rückbaupraktiken optimal erschlossen werden.

#### **4.3.5 Exkurs zu Nichtwohngebäuden in Deutschland**

Nichtwohngebäude waren nicht Gegenstand dieses Projekts von Öko-Institut und IFEU-Institut. Aufgrund der zukünftigen Bedeutung dieses Bereichs für eine nachhaltige Stoffstrom- und Ressourcenpolitik soll hier dennoch kurz auf den Bereich der Nichtwohngebäude eingegangen werden. Zunächst ist festzuhalten, dass vom Statistischen Bundesamt zwar die Bautätigkeitsaktivitäten (Neubau, Abgang etc.) jährlich erfasst werden [StBA 1994–2004b], nicht jedoch, wie im Falle der Wohngebäude, die Bestandsentwicklung. Darüber hinaus sind Informationen zur Materialzusammensetzung der verschiedenen Arten der Nichtwohngebäude in wesentlich geringerer Dichte vorhanden. Aus folgenden Gründen sollten die Informationsdefizite hinsichtlich der Nichtwohngebäude in naher Zukunft ausgeglichen werden.

- Nichtwohngebäude weisen oft große Anteile für die Recyclingwirtschaft interessanter Materialfraktionen auf (Stahl, Aluminium, Kupfer, Beton etc.).
- Die Lebensdauer (zumindest die Dauer der Nutzung) ist geringer als im Falle der Wohngebäude.
- Auch im Falle der Nichtwohngebäude dürfte das Materiallager des Bestandes noch erheblich anwachsen.

---

<sup>69</sup> Die Problematik wird verschärft durch die Tatsache, dass auch nach dem Jahr 2000 ein illegaler Einbau von nicht mehr zugelassenen Dämmstoffen nicht vollständig ausgeschlossen werden kann. Weiterhin ist im Falle von Abbruch- und Sanierungsmaßnahmen das (meist weit zurückliegende) Einbaudatum der Dämmstoffe nicht bekannt oder zumindest unsicher.

Letzteres kann aus den bislang verfügbaren Informationen geschlossen werden. Der Materialstock der Nichtwohngebäude dürfte in Deutschland weiter wachsen. Zwar lag der Abgang bei Nichtwohngebäuden bzgl. Wohn- und Nutzfläche im Jahr 2004 mit 9.889.000 m<sup>2</sup> absolut deutlich höher als bei Wohngebäuden (4.336.000 m<sup>2</sup>). Aber die Baufertigstellungen bei den Nichtwohngebäuden überwiegen mit rund 24.269.000 m<sup>2</sup> den Abgang um ca. den Faktor 2,5. Dies ist angesichts der Tatsache, dass in Deutschland ein immer schärferer Verdrängungswettbewerb, z. B. im Bürogebäudebereich, herrscht, bemerkenswert. Neu errichtete Bürogebäude sorgen in vielen Städten für hohe Leerstände in Gebäudeklassen der 60er und 70er Jahre. Baumärkte und Einkaufszentrum auf der „Grünen Wiese“ konkurrieren mit den Verkaufsflächen der Innenstädte etc.

Da auf Dauer ein Faktor 2,5 : 1 in Deutschland im Bereich der Nichtwohngebäude aufgrund der nicht vorhandenen Märkte nicht vorstellbar ist, ist ein verstärkter Rückbau aus dem Bereich der Nichtwohngebäude in den nächsten Jahren wahrscheinlich oder sollte zumindest durch die Politik forciert werden.<sup>70</sup>

Um optimal auf die zukünftig zu erwartenden Materialströme aus dem Teilbereich Nichtwohngebäude der Technosphäre vorbereitet zu sein bzw. deren notwendige Aktivierung entsprechend zu flankieren, ist eine erheblich bessere Datenbasis in diesem Bereich notwendig. Dies schließt detaillierte Kenntnisse über den aktuellen Gebäudebestand ebenso ein wie fundierte Experteneinschätzungen über die zeitliche Dynamik und das Ausmaß der Aktivierung durch Rückbau. Nicht zuletzt sollten auch die Hemmnisse hinsichtlich der nachhaltigen Aktivierung für wichtige Kreisläufe der Sekundärmaterialien identifiziert und Vorschläge zu ihrer Überwindung entwickelt werden.

#### 4.3.6 Wichtige bestehende Regelungen

Auf europäischer Ebene werden Anstrengungen unternommen, das Recycling bestimmter Abfallfraktionen stärker in den Blick zu nehmen. So beinhaltet das 6. EU-Umweltaktionsprogramm (UAP) als eines der Hauptziele die Förderung des Recyclings von Bau- und Abbruchabfällen. Unter dem Titel „Eine thematische Strategie für Abfallvermeidung und -recycling“ legte die EU-Kommission am 21.12.2005 ihr Konzept für eine Weiterentwicklung der Abfallvermeidung und -entsorgung vor.<sup>71</sup> Diese thematische Strategie ist eine von sieben im 6. UAP vorgesehenen Umweltstrategien und basiert auf den bestehenden Rechtsvorschriften und einer umfassenden Konsultation der Betroffenen. Die grundlegenden Ziele der derzeitigen EU-Abfallpolitik (Abfallvermeidung und Förderung von Wiederverwendung, Recycling und Verwertung zur Milderung der Umweltauswirkungen) gelten auch weiterhin und

---

<sup>70</sup> Die nicht nachhaltige Alternative wäre ein weiterer Anstieg der Leerstände mit unabsehbaren sozialen (Geister-Innenstädte) und ökonomischen Folgen (unausgelastete städtische Infrastruktur, dramatisches Absinken von Büro- und Ladenmieten etc.).

<sup>71</sup> KOM (2005) 666 endgültig.

werden durch die Strategie gestützt. Das langfristige Ziel besteht darin, die EU zu einer Gesellschaft mit Kreislaufwirtschaft weiterzuentwickeln, welche die Vermeidung von Abfällen zum Ziel hat und Abfälle als Ressourcen nutzt. Um dieses Ziel zu erreichen, wird die Modernisierung des bestehenden rechtlichen Rahmens vorgeschlagen (Einführung von Lebenszyklusanalysen in den politischen Prozess; Klärstellung, Vereinfachung und Straffung des EU-Abfallrechts). Die Strategie empfiehlt hier eine Kombination von Maßnahmen:

- Neuer Nachdruck auf vollständiger Umsetzung bestehender Rechtsvorschriften,
- Vereinfachung und Modernisierung bestehender Rechtsvorschriften,
- Einführung der Vorstellung des Lebenszyklus in die Abfallpolitik.

Zur Identifikation der wichtigsten Regelungen auf nationaler Ebene muss innerhalb des Materialflusssystems ebenfalls zwischen der Produktion (Herstellung der Bauprodukte) und dem Konsum (wesentlicher Anfall der Bauabfälle bei Wohngebäuden) unterschieden werden. Im Produktionsbereich sind vor allem einzelne Selbstverpflichtungen und DIN-Normen zu nennen. Im Konsumbereich (Wohngebäude) beeinflussen insbesondere die Gewerbeabfallverordnung (GewAbfV) und die Selbstverpflichtungserklärung der ARGE Kreislaufwirtschaftsträger Bau (KWTB) aus dem Jahr 1996 die Materialströme.

#### **4.3.6.1 Produktionsbereich: Wichtige Regelungen für die Zement- und Betonherstellung**

##### **4.3.6.1.1 Treibhausgas- und Emissionshandelsgesetz<sup>72</sup>**

Nach dem im vergangenen Jahr in Kraft getretenen Treibhausgas- und Emissionshandelsgesetz (TEHG) bedarf die Freisetzung von Treibhausgasen (z. B. CO<sub>2</sub>, gesamte Auflistung der Treibhausgase siehe § 3 Abs. 2 TEHG) durch eine Tätigkeit im Sinne des TEHG einer Emissionsgenehmigung. Die Herstellung von Zementklinker in Anlagen mit einer Produktionsleistung von mehr als 500 t je Tag in Drehrohöfen und mehr als 50 t je Tag in anderen Öfen gilt als Tätigkeit im Sinne des TEHG. Dieser Bereich der Zementproduktion benötigt also eine Berechtigung zum Ausstoß von Emissionen (Zertifikat). Durch diese Zertifikate wird die Menge des Emissionsausstoßes bei der Zementklinker-Produktion staatlich reguliert.

##### **4.3.6.1.2 Abfallverbrennungsanlagen-Verordnung (17. BImSchV)<sup>73</sup>**

Darüber hinaus ist die 17. BImSchV für Anlagen zur Zementklinker- bzw. Zementproduktion einschlägig, da zur Herstellung dieser Produkte fossile Brennstoffe oder

---

<sup>72</sup> Gesetz vom 8.7.2004, BGBl. I, S. 1578.

<sup>73</sup> Verordnung vom 23.11.1990, BGBl. I, S. 2545; neu bekannt gemacht am 14.8.2003, BGBl. I, S. 1633.

geeignete Abfälle als Sekundärbrennstoffe eingesetzt werden, die als Mitverbrennungsstoffe der immissionsschutzrechtlichen Überwachung unterliegen. Das hat insbesondere zur Folge, dass bei der Zementproduktion Emissionsgrenzwerte einzuhalten sind, die von der 17. BImSchV vorgegeben werden (§ 5a Abs. 2, Anhang II, Nr. II.1 der 17. BImSchV).

#### 4.3.6.1.3 Selbstverpflichtung der Deutschen Zementindustrie zur CO<sub>2</sub>-Verminderung

Im Jahre 1995 hat sich die deutsche Zementindustrie an der "Erklärung der Deutschen Wirtschaft zur Klimavorsorge" unter der Federführung des Bundesverbandes der Deutschen Industrie e. V. beteiligt. Im Jahr 1996 – nach Gesprächen mit der Bundesregierung – hat die deutsche Zementindustrie ihre Branchenverpflichtung dann gemeinsam mit anderen beteiligten Verbänden dahingehend konkretisiert, dass der spezifische Brennstoffenergieverbrauch von 1987 bis 2005 um 20 % vermindert werden soll. Dies entspricht einer Verringerung des spezifischen Brennstoffeinsatzes für die Zementherstellung von 3.510 kJ/kg Zement im Jahr 1987 auf 2.800 kJ/kg Zement im Jahr 2005, wobei der wesentliche Anteil der Verminderung durch den verstärkten Einsatz von Zementen mit mehreren Hauptbestandteilen erbracht wird.

Durch das Kyoto-Protokoll wurden im Jahr 1997 erstmals internationale quantitative Minderungsverpflichtungen für die Unterzeichnerstaaten festgelegt. Diese Zusagen beruhen auf dem Basisjahr 1990 und einem Zielzeitraum von 2008 bis 2012. Vor diesem Hintergrund hat die deutsche Wirtschaft im Oktober 2000 nach Verhandlungen mit der Bundesregierung ihre Selbstverpflichtung erweitert und fortgeschrieben. Die deutsche Wirtschaft hat nunmehr zugesagt, ihre spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen von 1990 bis 2005 um 28 % sowie die Emissionen an Treibhausgasen bis 2012 um 35 % zu verringern. In dieser schriftlichen Vereinbarung haben sich die Einzelverbände bereit erklärt, ihre Einzelverpflichtungen ebenfalls bis zum Ende des Jahres 2000 zu aktualisieren.

Bezogen auf das Basisjahr 1990 will nun also auch die deutsche Zementindustrie bis zum Zielzeitraum der Jahre 2008/2012 ihre spezifischen energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen um 28 % verringern.

#### 4.3.6.1.4 DIN-Norm 1045 für die Betonherstellung<sup>74</sup>

DIN-Normen stellen aus juristischer Sicht keine unmittelbar bindenden Rechtsvorschriften, sondern bloße Empfehlungen dar (BGH, BauR 1994, 531). Die Empfehlungen werden auch nicht vom Gesetzgeber, sondern von einem privaten Ausschuss (Normenausschuss Bauwesen beim Deutschen Institut für Normung e. V.) erarbeitet und veröffentlicht. Gleichwohl handelt es sich bei den Regeln der DIN-Normen um Bestimmungen, die den Stand der Technik und die anerkannten Regeln

---

<sup>74</sup> Stand 06/2002, Nds. MBI. 2004, S. 193, 194.

der Technik wiedergeben und somit unbestimmte Rechtsbegriffe konkretisieren. Dadurch werden die DIN-Normen maßgeblich für die zivilrechtlichen Standards (z. B. Mangelfreiheit eines Gebäudes) und für die Konkretisierung bauordnungsrechtlicher Vorgaben. Da die DIN-Vorschriften auch die Standards für die Herstellung von Bauprodukten (z. B. Beton oder Zement) empfehlen und deshalb Einfluss auf die Zusammensetzung und Verwendung einzelner Stoffe nehmen, erlangen sie eine Bedeutung als technische Ausgangsregelung, die einen bestimmten Stofffluss initiiert.

Die Reihe DIN 1045 „Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton“ besteht aus vier Teilen:

- Bemessung und Konstruktion (DIN 1045-1),
- Beton: Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität (DIN 1045-2),
- Bauausführung (DIN 1045-3),
- ergänzende Regeln für die Herstellung und Konformität von Fertigteilen (DIN 1045-4).

In der DIN-Vorschrift sind alle Erläuterungen enthalten, die den technischen Bereich von der Herstellung bis zur Verwendung des Betons umfassen. Diese Erläuterungen beinhalten Themenkomplexe wie die stoffliche Zusammensetzung, die Qualitätskontrolle sowie die Anlieferung und Verarbeitung des Betons. Es erfolgte inzwischen eine redaktionelle Überarbeitung und Anpassung an die europäische Normung, insbesondere wurden die Empfehlungen der europäischen Norm EN 206-1 in die DIN 1045 aufgenommen. So sind nun erweiterte Regelungen für die Anwendung von Ausgangsstoffen für Beton und eine stärkere Trennung der Verantwortlichkeiten von Hersteller und Verwender des Betons enthalten. Für die Herstellung und Verwendung von Recyclingbeton sind die Erläuterungen in DIN 1045-2 maßgebend. Dort sind diejenigen Zusatzstoffe aufgeführt, die für eine Herstellung von Beton verwendet werden dürfen (beispielsweise Steinkohlen-Flugasche und Silikate).

Darüber hinaus hat der Deutsche Ausschuss für Stahlbeton eine Richtlinie ausgearbeitet, die in Ergänzung der DIN 1045 die Verwendung von Rezyklaten zur Betonherstellung empfiehlt. Die Richtlinie „zur Regelung der Verwertung von aufbereiteten Abbruchmaterialien für die Herstellung von Beton nach DIN 1045“ enthält Erläuterungen, die den Einsatz von Rezyklaten auch zur Herstellung von höherwertigem Beton ermöglichen. Bisher war diese Herstellung nur aufgrund von Einzelzulassungen möglich (z. B. das Verwaltungsgebäude der Umweltstiftung in Osnabrück oder das Hundertwasser-Haus in Darmstadt).

### 4.3.6.2 Konsumbereich: Wohngebäude

#### 4.3.6.2.1 Selbstverpflichtung der ARGE Kreislaufwirtschaftsträger Bau

Aus dem Jahr 1996 datiert eine Selbstverpflichtung der Arbeitsgemeinschaft Kreislaufwirtschaftsträger Bau (ARGE KWTB), die mit dem Bundesumweltministerium vereinbart wurde und der „umweltgerechten Verwertung von Bauabfällen“ dienen soll. Schwerpunktmaßiges Ziel der Vereinbarung ist die Förderung der Kreislaufwirtschaft und des Recyclings am Bau sowie die Halbierung der auf Deponien abgelagerten Mengen bis zum Jahr 2005. Im Einzelnen verpflichten sich die in der ARGE KWTB zusammengeschlossenen Verbände zur Reduzierung der Ablagerung von verwertbaren Bauabfällen auf die Hälfte, bezogen auf das Bauvolumen, gegenüber dem Stand von 1995. Die Selbstverpflichtungserklärung gilt noch bis einschließlich 2005.

#### 4.3.6.2.2 Gewerbeabfallverordnung<sup>75</sup> und LAGA-Vollzugshinweise<sup>76</sup> zur Gewerbeabfallverordnung

Die Verordnung regelt schwerpunktmäßig die Verwertung und Beseitigung von gewerblichen Siedlungsabfällen sowie Bau- und Abbruchabfällen. Die Systematik der Verordnung verfolgt dementsprechend eine Zweiteilung; die für die gewerblichen Siedlungsabfälle geltenden Grundsätze werden ebenfalls für die systematisch gesondert aufgeführten und explizit hervorgehobenen Bau- und Abbruchabfälle angewandt. Die Bau- und Abbruchabfälle wiederum werden unterschieden in getrennt anfallende und gemischt anfallende Abfälle.

Wesentliches Ziel der Gewerbeabfallverordnung (GewAbfV) ist die Trennung von Abfallfraktionen (bei Bau- und Abbruchabfällen vier Fraktionen: metallische Abfälle, Glas, Kunststoffe und Beton), um eine höhere stoffliche oder energetische Verwertung zu erreichen.

Besonderes Augenmerk ist auf zwei Aspekte zu richten: den Ansatz der Verordnung in Bezug auf die Verwertungsquoten sowie die speziellen Regelungen für Bau- und Abbruchabfälle. Die Verwertungsquoten gelten für die Verwertung der Abfälle in Vorbehandlungsanlagen. Dort kommen jedoch nicht alle anfallenden (und verwertbaren) Abfälle an; folglich muss die Frage aufgeworfen werden, ob das Instrument der Verwertungsquote die volle Wirkung entfaltet. Der zeitliche Bereich vom Anfall der Abfälle (Abriss eines Hauses) bis zum Transport in eine Vorbehandlungsanlage, also derjenige Zeitraum, in dem die Auswahl, Trennung und Sammlung eines recyclingfähigen Bau- oder Abrissabfalls erfolgt, wird eher durch die Selbstverpflichtungserklärung der KWTB erfasst. Insofern stellt sich die Frage, ob die GewAbfV nur durch eine zusätzliche, von der Zielrichtung her zeitlich vorverlagerte Selbstver-

---

<sup>75</sup> Verordnung über die Entsorgung von gewerblichen Siedlungsabfällen und von bestimmten Bau- und Abbruchabfällen vom 19.6.2002, BGBl. I, S. 1938.

<sup>76</sup> Vollzugshinweise der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) zur Gewerbeabfallverordnung, beschlossen am 26.3.2003.

pflichtungserklärung die vom Gesetzgeber beabsichtigte Wirkung erzielt. Die beteiligte Bauindustrie hat die in der Selbstverpflichtungserklärung auferlegten Recyclingquoten bisher erfüllt. Das Instrument funktioniert demnach, eine gesetzliche Regelung (die in der GewAbfV anzusiedeln wäre) ist zunächst nicht zwingend erforderlich.

Auf der anderen Seite sind die in der GewAbfV bereits bestehenden Vorgaben für Bau- und Abbruchabfälle eingehender zu betrachten. In der Auflistung der erfassten Baustoffe (z. B. Kunststoff, Glas, Beton) sind beispielsweise Materialien wie Dämmstoffe oder hochwertige Baustoffe (Beton aus dem Hochbau) nicht enthalten. Bei Dämmstoffen besteht allerdings ein Vorbehalt wegen zu starker Verschmutzung, denn verschmutzte (meist mit anderen Baustoffen vermischte) Dämmstoffe können nur bedingt verwertet werden. Das Problem der Vermischung stellt sich in der Praxis jedoch gerade bei den Dämmstoffen. In den LAGA-Vollzugshinweisen sind die Dämmstoffe deshalb auch explizit bei den gemischten Abfällen erwähnt. Wegen der fehlenden Auflistung in der GewAbfV wird aber auch das bedingt bestehende Potenzial bei der Verwertung von Dämmstoffen beim Rückbau nicht ausgeschöpft. Holz wiederum fällt nicht unter das Regime der GewAbfV, sondern wird von der Altholzverordnung<sup>77</sup> (AltholzV) erfasst; diese teilt die Holzabfälle aus dem Baubereich in verschiedene Altholzkategorien ein (siehe Anhang III der AltholzV). Je nach Kategorie stellen sich dann die Anforderungen an eine Vorbehandlung zur Wiederverwertung.

Die bereits erwähnten Vollzugshinweise der LAGA konkretisieren die GewAbfV in Bezug auf die wesentlichen Regelungen. Dabei sind zum Teil Informationen enthalten, die nicht in die Verordnung aufgenommen werden konnten, da sie den Wortlaut überfrachtet hätten oder lediglich Hintergrundinformationen darstellen. Es wird erläutert, dass die vier genannten Abfallfraktionen Metall, Glas, Kunststoffe und Beton vor allem bei folgenden Maßnahmen anfallen:

- Neubaumaßnahmen (insbesondere Hochbau),
- Sanierungs-, Modernisierungs- und Renovierungsmaßnahmen,
- Abbruchmaßnahmen, bei denen einzelne Bauteile bzw. Baumaterialien getrennt ausgebaut werden (selektiver Rückbau).

Im Fall der Abbruchmaßnahmen wird seitens der LAGA darauf hingewiesen, dass ein selektiver Rückbau gegebenenfalls landesrechtlich vorgegeben sei. Landesrechtliche Regelungen konnten jedoch bisher nicht identifiziert werden.

Daneben gehen die Vollzugshinweise auch auf die gemischten Abfälle ein und beschreiben in knapper Form die Entstehungssituation und die Art der anfallenden Abfallgemische, um dadurch die Handlungsfelder für die vollziehende Behörde deutlicher zu machen. Danach entstehen gemischte Bau- und Abbruchabfälle vor allem dort, wo kein selektiver Rückbau betrieben wird. In den meisten Fällen bestehen

---

<sup>77</sup> Verordnung vom 15.8.2002, BGBl. I, S. 3302.

diese Arten von Abfällen aus mineralischen Bauabfallfraktionen sowie darüber hinaus aus Bitumengemischen, Dämmmaterial oder Baustoffen auf Gipsbasis.

### **4.3.7 Zusammenfassung der Handlungsoptionen für das Materialflusssystem**

Für das Materialflusssystem Steine&Erden-Zement-Beton-Wohngebäude sind nach den Untersuchungen des Projekts zur Erschließung weiterer deutlicher Umweltentlastungspotenziale die folgenden Punkte besonders hervorzuheben:

- Im Bereich der Zementherstellung ist die weitere Erhöhung der Energieeffizienz im Anlagenbestand und des Einsatzes von Sekundärbrennstoffen (Realisierung der freiwilligen Selbstverpflichtung, d. h. Minderung der spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen um 28 % zwischen 1990 und 2008–2012) relevant.
- Im Bereich der Zementindustrie ist weiterhin die zeitnahe Verfolgung der Umrüstung von Altanlagen auf moderne Minderungssysteme hinsichtlich der Stickoxidemissionen hervorzuheben. Weitere Untersuchungen sind hinsichtlich des Austrags von Spurenelementen zu empfehlen.
- Im Bereich der Betonherstellung ist die Förderung des hochwertigen Recyclings von Betonabbruch durch die öffentliche Hand sehr wichtig. Konsequente Maßnahmen zur Optimierung des selektiven Rückbaus von Gebäuden und logistische Maßnahmen sind hier entscheidend.
- Die verstärkte Aufwertung der Wohnungsbestände ist eine zentrale Nachhaltigkeitsaufgabe für die nächsten Jahrzehnte. Die Vereinbarungen der Bundesregierung tragen hierzu Rechnung und sollten konsequent in der Praxis realisiert werden.
- Die umfassende Identifizierung von Dauerleerstand und die Mobilisierung der Materialien durch gezielten Rückbau ist eine neue und für die nächste Zukunft eminent wichtige Aufgabe.
- Die umweltgerechte Entsorgung von Problemstoffen in zukünftig tendenziell steigenden Abbruchmengen ist eine wesentliche Herausforderung der Umweltpolitik. Zur Vermeidung von Risiken und der Kontamination wichtiger großer Sekundärmaterialströme ist eine Optimierung der Materialseparierung bereits beim Rückbau essentiell.

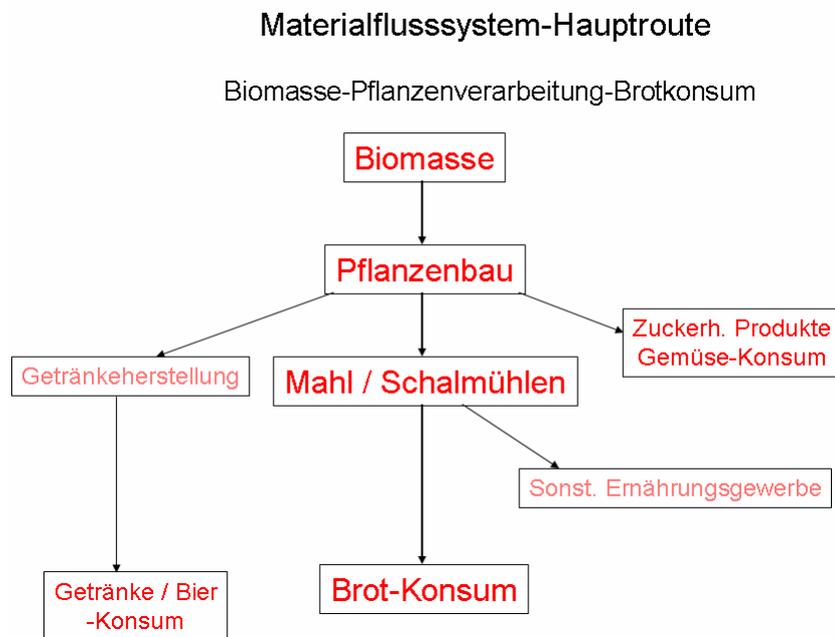
## **4.4 Biomasse-Pflanzenbau**

### **4.4.1 Überblick Materialflusssystem: Hauptroute**

Das in Abbildung 4.22 aufgeführte Materialflusssystem umfasst auf der Anbieterseite den Teil der Landwirtschaft, der für die Versorgung mit Lebensmitteln auf Pflanzenbasis zuständig ist. Die Produktion von Fleisch und anderen Produkten tierischer Herkunft (Milch etc.) wird im Abschnitt 4.5 näher betrachtet.

Abbildung 4.22 Materialflusssystem-Hauptroute:  
Brotkonsum

Biomasse-Pflanzenverarbeitung-



## 4.4.2 Übersicht Pflanzenbau in Deutschland

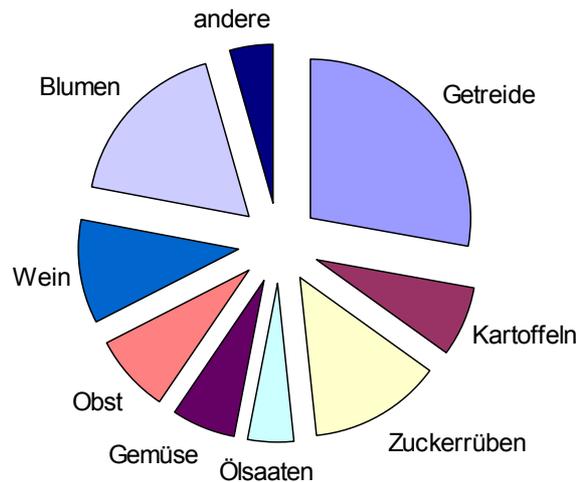
### 4.4.2.1 Daten und Fakten

Mit dem Stoffstrom „Pflanzenanbau“ wird der Teil der Landwirtschaft betrachtet, der sich der Gewinnung von pflanzlichen Nahrungsmitteln und Futtermitteln widmet. Die wichtigsten Pflanzenbauprodukte umfassen Getreide, Kartoffeln, Hülsenfrüchte, Zuckerrüben und Ölsaaten. Daneben sind Spezialerzeugnisse wie Baumschulen und Gartenbauprodukte (Blumen etc.), Obst, Tabak, Hopfen und Wein zu nennen, die aber hier nicht weiter betrachtet werden sollen. Weiterhin soll die gemischte Weideviehhaltung, also die Nutzung von Grünflächen (Gras, Heu) sowie der Futteranbau, nicht einbezogen werden.

### Ökonomische Kennziffern: v. a. Umsatz und Beschäftigung

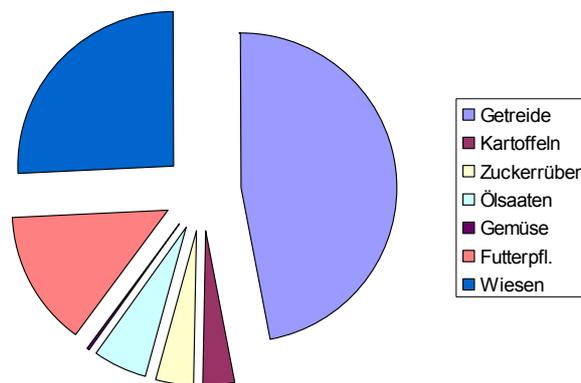
Der Produktionswert des Pflanzenbaus beträgt 2000 insgesamt ca. 18 Mrd. €. Der größte Beitrag (vgl. Abbildung 4.23) wird vom Getreideanbau sowie vom Gartenbau/Blumenzucht inklusive der Baumschulenerzeugnisse geliefert [Agrar 2005].

Abbildung 4.23 Anteile der Produkte des Pflanzenbaus am Produktionswert



Hingegen zeigt die Verteilung der Anbaufläche (vgl. Abbildung 4.24) die Dominanz der Getreidekulturen, gefolgt von den Futterpflanzen und Grünwiesen, die allerdings in den Produktionswert nicht einfließen, da sie intern zur Tierhaltung genutzt werden.

Abbildung 4.24 Anteil der Produkte des Pflanzenbaus an der Ackerfläche



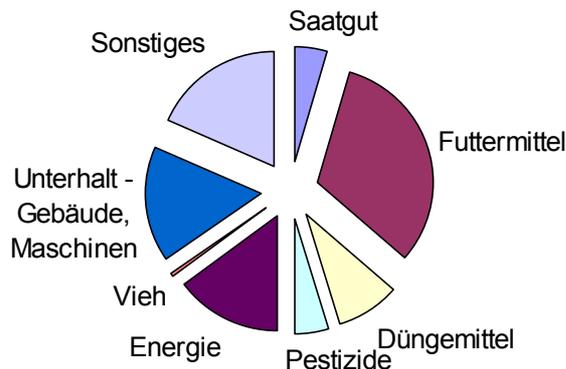
Insgesamt werden ca. 600.000 landwirtschaftliche Betriebe verzeichnet, die insgesamt 1,2 Mio. Arbeitskräfte ausweisen. Außer Betriebsinhabern und Familienangehörigen ist der Bedarf an „familienfremden“ Arbeitskräften in den 90iger Jahren

deutlich von ca. 400.000 auf 150.000 gefallen. Der Abbau ist nahezu ausschließlich den neuen Bundesländern zuzuordnen.

### Wirtschaftliche Verflechtung

Die Landwirtschaft bezieht Vorleistungen anderer Wirtschaftsbereiche von insgesamt 16 Mrd. €. Der größte Anteil (vgl. Abbildung 4.25) besteht aus Futtermitteln sowie Unterhalt für Gebäude und Maschinen [Agrar 2005].

Abbildung 4.25 Anteile der anderen Wirtschaftsbereiche an den Vorleistungen



### Ökologische Kennziffern: Daten zu Umweltkriterien

Innerhalb der OECD bzw. der EU wird ein Satz von Umweltindikatoren bearbeitet, der den Umweltzustand wie die Umweltbelastung durch die Landwirtschaft [Agrar 2001] abbilden soll. Die Indikatoren sollen dabei folgende 11 Themenbereiche abbilden (vorläufig):

1. sozio-kulturelle Aspekte (Landnutzungsänderung, Bevölkerungswachstum),
2. Betriebsführung (Management Nährstoffe, Bewässerung, Pestizide),
3. Nährstoffeinsatz,
4. Pestizidverbrauch,
5. Wasserverbrauch,
6. Änderung der Flächennutzung (Stilllegung, Versiegelung),
7. Bodenqualität,
8. treibhauswirksame Gase,
9. biologische Vielfalt,
10. natürliche und naturnahe Flächen,
11. Landschaft (Typisierung & Bewertung).

Bewachsene Flächen speichern und geben Kohlenstoff bzw. Stickstoff ab. Durch Eintrag von Düngemittel und die Bearbeitung der landwirtschaftlichen Flächen wer-

den im Vergleich hierzu vermehrt Lachgas und Methan emittiert. So werden für den Landbau Emissionen von 40 Mio. t/a an CO<sub>2</sub> und 0,1 Mio. t/a N<sub>2</sub>O für 2004 ausgewiesen. Diffuse Quellen wie der Abtransport (Auswaschung) von Bodenbestandteilen führen zu ca. 50 % der Gewässerbelastung an Nitraten sowie zu Phosphat- und Schwermetallbelastungen [Böhm 2000]. Eine eindeutige Zuteilung des Pflanzenbaus bzw. der Tierhaltung zur Gesamtemission der Landwirtschaft ist nicht möglich. Die mineralische Düngung stagniert auf hohem Niveau. Für Phosphat ist allerdings von 1991 bis 1995 eine Reduktion um 50 % zu beobachten [Agrar 2005].

#### **4.4.2.2 Dynamik und Trends**

Der Ertrag der konventionellen Landwirtschaft je Fläche hat stetig zugenommen. Die Prognose der OECD/FAO kommt zu dem Schluss, dass die Ertragssteigerung auch in Westeuropa noch nicht abgeschlossen ist. So wird eine stetige Steigerung von ca. 1 % per annum angenommen. Grund für die Steigerung ist die Einführung ertragreicherer Sorten sowie die Bearbeitungstechnologie. Der spezifische Hektarertrag wird zusätzlich dadurch erhöht, dass ertragsarme Standorte aus der Produktion genommen werden. Gemindert wird dieser Trend durch eine Zunahme des ökologischen Landbaus, welcher der Ertragssteigerung entgegenwirkt.

Wird eine solche Ertragssteigerung unterstellt, werden zukünftig Flächen frei, die zu Naturschutzzwecken oder anderweitiger Biomassenutzung (NaWaRo's, Kraftstoffe) zur Verfügung stehen. Es ist ein Anstieg der Fläche für energetische Biomassenutzung von 0,5 Mio. ha (1995) auf ca. 1 Mio. ha in 2004 zu beobachten. Es ist davon auszugehen, dass der Trend durch den Anstieg der Öl- und Gaspreise weiter gestützt wird. Bei den Treibhausgasemissionen ist ein abnehmender Trend zu beobachten. So reduzierten sich die Emissionen von 1990 bis 2000 um 16 %.

#### **4.4.2.3 Potenziale**

Ungeklärt sind die umweltrelevanten Potenziale, die sich aus der Umstrukturierung der EU Landwirtschaftspolitik (CAP) ergeben werden. Da Förderungen („green box“) an ökologisches Betriebsmanagement gekoppelt sind, können hierdurch verbesserte ökologische Rahmenbedingungen erwartet werden. Die Ertragssteigerung in der Landwirtschaft und die damit verbundene Freisetzung von landwirtschaftlicher Fläche zur Nahrungsmittelproduktion lässt sich nur grob abschätzen. Nach [Fritsche 2004] kann mit bis zu ca. 30 % der Fläche im Jahr 2030 (dies entspricht einer Flächenfreisetzung um ca. 5,73 Mio. ha) gerechnet werden. Diese Flächenfreisetzung kann nahezu alle ökologischen Auswirkungen der Landwirtschaft beeinflussen, sei es Emissionen, Nährstoffhaushalt oder Biodiversität. Welche Auswirkungen in welchem Maß reduziert werden können, hängt von der weiteren Nutzung der frei werdenden Flächen ab.

#### 4.4.2.4 Handlungsoptionen

Die weitergehende Verwendung der frei werdenden Flächen sollte intensiv begleitet werden. Für diese Flächen sind verschiedene Nutzungen möglich. Ihre jeweilige Eignung zum ökologischen Landbau bzw. zu Extensivierung, Energiepflanzenanbau oder zum Anbau von (stofflich genutzten) nachwachsenden Rohstoffen (NaWaRos) sowie ihre Eignung als Flächen zum Naturschutz muss geprüft und gegeneinander abgewogen werden. Die Begleitung sollte in enger Abstimmung mit den zu erwartenden Änderungen in der EU-Landwirtschaftspolitik erfolgen. Im Zusammenhang mit der Strukturänderung in der Tierhaltung ist ein besonderes Augenmerk auf die regionale Verteilung des Wirtschaftsdüngers zu richten (siehe nächstes Kapitel).

#### 4.4.3 Wichtige bestehende Regelungen

In Bezug auf die Biomasse-Materialflusssysteme ist zunächst ebenfalls auf das Sechste Europäische Umweltaktionsprogramm zu verweisen. Denn eines der Ziele des 6. UAP ist es, die Böden vor Erosion und Verunreinigungen zu schützen. Um diesem Ziel gerecht zu werden, veröffentlichte die Kommission eine Mitteilung<sup>78</sup>, die den Weg für die Entwicklung einer Bodenschutzstrategie skizzieren soll. Diese Strategie ist eine derjenigen sieben thematischen Strategien des 6. UAP, die bereits an anderer Stelle im Zusammenhang mit der Strategie zu Abfallvermeidung und -recycling erwähnt wurden.

Sofern die einzelnen Komponenten der Bodenschutzstrategie in legislative Veränderungen münden, werden insbesondere diejenigen nationalen Regelungen betroffen sein, die einen Bezug zur landwirtschaftlichen Bodennutzung aufweisen. Insofern wird an dieser Stelle auf diese Regelungen (Düngemittelverordnung, Klärschlammverordnung, Bioabfallverordnung) eingegangen werden. Den Regelungen ist gemeinsam, dass sie insbesondere durch Grenzwertbestimmungen Einfluss darauf nehmen, welcher Anteil an Belastungsstoffen in den Boden gelangt.

##### 4.4.3.1 Europäische Bodenschutzstrategie

Die EU-Kommission beabsichtigt, die Bodenschutzstrategie im Jahr 2006 vorzulegen. Die Kommissionsmitteilung von 2002 führt die Hauptgefahren für die Böden in der EU auf: Erosion, Rückgang des Gehalts an organischer Substanz, Bodenkontamination, Bodenversiegelung (aufgrund des Baus von Häusern, Straßen und anderen Infrastruktureinrichtungen), Bodenverdichtung (infolge des Einsatzes schwerer Maschinen, von Überweidung und sportlichen Aktivitäten), Rückgang der biologischen Vielfalt im Boden, Versalzung (übermäßige Anreicherung von löslichen Natrium-, Magnesium- und Kalziumsalzen im Boden) sowie Überschwemmungen und Erdbeben. Einige Prozesse haben sich in den vergangenen Jahrzehnten weiter verstärkt, deshalb sind die wirtschaftlichen Folgen und die für die Sanierung gefährdeter Böden anfallenden Kosten beträchtlich.

---

<sup>78</sup> Mitteilung der Kommission vom 16.4.2002, Kom (2002) 179 endg.

Die Strategie soll sich auf die Grundsätze Vorsorge, vorausschauendes Handeln und Umwelthaftung stützen und auf folgenden Elementen aufbauen: vorhandene Initiativen im Umweltbereich, bessere Einbeziehung des Bodenschutzes in andere Politikbereiche, Bodenüberwachung und Entwicklung neuer Maßnahmen auf der Grundlage der Überwachungsergebnisse.

#### **4.4.3.2 Gemeinsame Agrarpolitik der EG**

Im Rahmen der Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP) sollen die ökologische Landwirtschaft, der Schutz der Terrassenkultur, die sicherere Verwendung von Pestiziden, die Verwendung zertifizierter Komposte, die Forstwirtschaft, die Aufforstung und andere für den Bodenschutz relevante Maßnahmen gefördert werden. Mit der Reform der GAP beabsichtigt die Kommission, die Beihilfen für die Entwicklung des ländlichen Raums und den Bodenschutz zu erhöhen. Was die Bodenüberwachung angeht, werden von der Kommission Rechtsvorschriften für ein gemeinschaftliches Informations- und Überwachungssystem für Gefahren für den Boden ins Auge gefasst. Diese Überwachung wird die Grundlage für künftige legislative Initiativen zugunsten des Bodenschutzes bilden und zur Anpassung und Überprüfung der entsprechenden Politiken beitragen.

#### **4.4.3.3 Düngemittelverordnung<sup>79</sup> und Düngeverordnung<sup>80</sup> (auf der Grundlage des Düngemittelgesetzes<sup>81</sup>)**

Die landwirtschaftlich genutzten Flächen geben unter anderem Kohlenstoff und Stickstoff ab. Durch den Eintrag von Düngemitteln bei der Bearbeitung dieser Flächen werden z. B. zusätzliche Mengen an Methan und Distickstoffoxid emittiert. Hintergrund für die Düngemittelgesetzgebung ist die Steigerung des landwirtschaftlichen Ertrags bei gleichzeitigem Schutz der Fruchtbarkeit des Bodens sowie der Gesundheit von Mensch und Nutztieren. Das Düngemittelgesetz teilt zunächst die dem Boden zuzuführenden Stoffe in Düngemittel, Wirtschaftsdünger, Sekundärrohstoffdünger, Bodenhilfsstoffe, Kultursubstrate und Pflanzenhilfsmittel ein. Das Gesetz legt fest, dass speziell die Düngemittel nur dann gewerbsmäßig in Verkehr gebracht werden dürfen, wenn sie den in der Düngemittelverordnung (DüngemittelVO) zugelassenen Düngemitteltypen entsprechen. Darüber hinaus ist das Düngemittelgesetz Grundlage für die Düngeverordnung (DüV), die die Anforderungen an die gute fachliche Praxis und das Vermindern stofflicher Risiken bei der Anwendung von Düngemitteln regelt.

Die Verordnung baut auf den Klassifizierungen des Düngemittelgesetzes auf und regelt im Detail diejenigen Anforderungen, die an die im Düngemittelgesetz genannten Stoffe gestellt werden müssen. Dabei wird vom Gesetzgeber in erster Linie Ein-

<sup>79</sup> Verordnung vom 26.11.2003, BGBl. I, S. 2373; geändert durch Verordnung vom 3.11.2004, BGBl. I, S. 2767.

<sup>80</sup> Verordnung vom 10.1.2006, BGBl. I, S. 30.

<sup>81</sup> Gesetz vom 15.11.1977, BGBl. I, S. 2134.

fluss auf die Zusammensetzung der Düngemittel (danach erfolgt auch die Einteilung in Düngemitteltypen) und der weiteren nicht als Düngemittel deklarierten Stoffe genommen. So dürfen keine anderen als in der DüngemittelVO genannten organischen Ausgangsstoffe und mineralischen Produktionsrückstände verwendet werden. Darüber hinaus sind ebenfalls die Grenzwerte festgelegt, die von den Düngemitteln und Nichtdüngemitteln sowie ihren jeweiligen Ausgangsstoffen einzuhalten sind.

In der Düngeverordnung werden Regelungen getroffen, die sich auf die Anwendung der Düngemittel beziehen. So ist vor der Aufbringung wesentlicher Nährstoffmengen (Stickstoff, Phosphat) der Düngebedarf einer Kultur sachgerecht festzustellen. Die Düngebedarfsermittlung ist dabei am Gleichgewicht zwischen voraussichtlichem Nährstoffbedarf und Nährstoffversorgung auszurichten. Einerseits werden in der DüV Vorgaben geregelt, die eine Einschränkung der Düngemittelanwendung dort gewährleisten sollen, wo die Gefahr einer stofflichen Belastung des Bodens besteht. Hierbei handelt es sich um Mengenbeschränkungen, zeitliche Beschränkungen der Düngemittelaufbringung sowie die Festlegung von Ermittlungspflichten. Andererseits werden neben den Anwendungsbeschränkungen auch Anwendungsverbote von der Verordnung festgelegt. Diese knüpfen insbesondere an die bestehenden Grenzwerte an, die in Anlage 2, Tabelle 1, der Düngemittelverordnung geregelt sind. Letztendlich stellt die DüV damit ein Rechtsinstrument dar, das der Vermeidung von Überdüngungen dienen und stoffliche Belastungen vermindern soll.

#### **4.4.3.4 Klärschlammverordnung<sup>82</sup>**

Die Klärschlammverordnung (AbfKlärV) regelt die Voraussetzungen, unter denen Klärschlamm aus Abwasserbehandlungsanlagen auf landwirtschaftlich oder gärtnerisch genutzte Böden aufgebracht werden kann. Auch hier gilt als oberster Grundsatz, dass durch das Aufbringen das Wohl der Allgemeinheit nicht beeinträchtigt werden darf. Da die Schlämme Schwermetalle enthalten, sind sie vor dem Aufbringen auf die genannten Böden auf ihren Gehalt an Nickel, Chrom, Cadmium, Kupfer, Quecksilber und Zink zu untersuchen. Sofern die in der AbfKlärV festgelegten Grenzwerte überschritten werden, knüpft sich daran die Rechtsfolge eines Aufbringungsverbotes. Vor dem Aufbringen von Klärschlämmen ist auch der betroffene Boden auf seinen pH-Wert sowie seinen Gehalt an pflanzenverfügbarem Phosphat, Kalium und Magnesium zu untersuchen. Je nach pH-Zielwert bestimmt sich dann die Geeignetheit des Bodens als Aufbringungsfläche.

Die Klärschlammaufbringung stellt zunächst eine nicht direkt von der Landwirtschaft ausgehende Belastung des Bodens dar, da die Belastungsstoffe anderer Herkunft sind (private Haushalte, Gewerbe) und von außen in das Materialflusssystem eingeführt werden. Gleichwohl gelangen die nach Aufbringung der Schlämme zugeführ-

---

<sup>82</sup> Verordnung vom 15.4.1992, BGBl. I, S. 912; zuletzt geändert durch Verordnung vom 26.11.2003, BGBl. I, S. 2373.

ten Stoffe in den Boden und sollten in die Gesamtbetrachtung aufgenommen werden.

#### **4.4.3.5 Bioabfallverordnung<sup>83</sup>**

Für die ordnungsgemäße und schadlose Verwertung von Bioabfällen (Abfälle tierischer oder pflanzlicher Herkunft) im Bereich der Landwirtschaft wurde die Bioabfallverordnung (BioAbfV) erlassen. Diese regelt die Voraussetzungen für die Aufbringung von Bioabfällen (Abfälle tierischer oder pflanzlicher Herkunft zur Verwertung) auf landwirtschaftlich genutzte Böden. Dabei ist die vorherige Behandlung dieser Abfälle gesetzlich vorgeschrieben, unter gleichzeitiger Angabe des genauen Ablaufs einer Vorbehandlung. In Bezug auf das Instrumentarium zur Schadstoffvorsorge sind Parallelen zur Klärschlammverordnung zu ziehen. Auch in der Bioabfallverordnung sind Grenzwerte für Schwermetalle festgelegt, die nicht überschritten werden dürfen, wenn der Bioabfall auf eine landwirtschaftlich genutzte Fläche aufgebracht werden soll. Ebenso wie bei der Klärschlammaufbringung ist auch vor der Aufbringung von Bioabfällen eine Bodenuntersuchung auf Schwermetallgehalt und pH-Wert vorzunehmen. Sollte für eine Aufbringungsfläche bereits eine gültige Bodenuntersuchung im Sinne der AbfKlärV vorliegen, so kann diese sogar bei der Bioabfallaufbringung herangezogen werden (§ 9 Abs. 2 S. 3 BioAbfV).

Charakteristisch für den landwirtschaftlichen Rohstoffkreislauf ist, dass der Bioabfall als Düngemittel erneut auf die genutzten Böden aufgebracht wird. Der biotische Abfall ersetzt also den Dünger, nicht aber die weiteren zur Erzeugung von Pflanzen notwendigen Ressourcen wie beispielsweise Wasser. Eingespart wird das ansonsten notwendigerweise industriell hergestellte Düngemittel, dessen Herstellung wiederum einen gewissen Rohstoffeinsatz voraussetzt. Dieser Rohstoffeinsatz würde wegfallen, insbesondere die relativ hohen Energiekosten zur Herstellung bestimmter Ausgangsstoffe (z. B. Stickstoff).

#### **4.4.4 Zusammenfassung der Handlungsoptionen für das Materialflusssystem**

Für das Materialflusssystem Biomasse-Pflanzenbau ist nach den Untersuchungen des Projekts zur Erschließung weiterer deutlicher Umweltentlastungspotenziale der folgende Punkt<sup>84</sup> besonders hervorzuheben:

- Für die in den nächsten Jahren durch die Produktivitätssteigerungen der Landwirtschaft in erheblichem Ausmaß frei werdenden Flächen sollten proaktive

---

<sup>83</sup> Verordnung vom 21.9.1998, BGBl. I, S. 2955; zuletzt geändert durch Verordnung vom 26.11.2003, BGBl. I, S. 2373.

<sup>84</sup> Weitere wichtige Handlungsoptionen, die den Komplex Landwirtschaft betreffen, finden sich im Kap. 4.5.4 zum Materialflusssystem Biomasse-Tierfutter-Tierhaltung-Fleischkonsum.

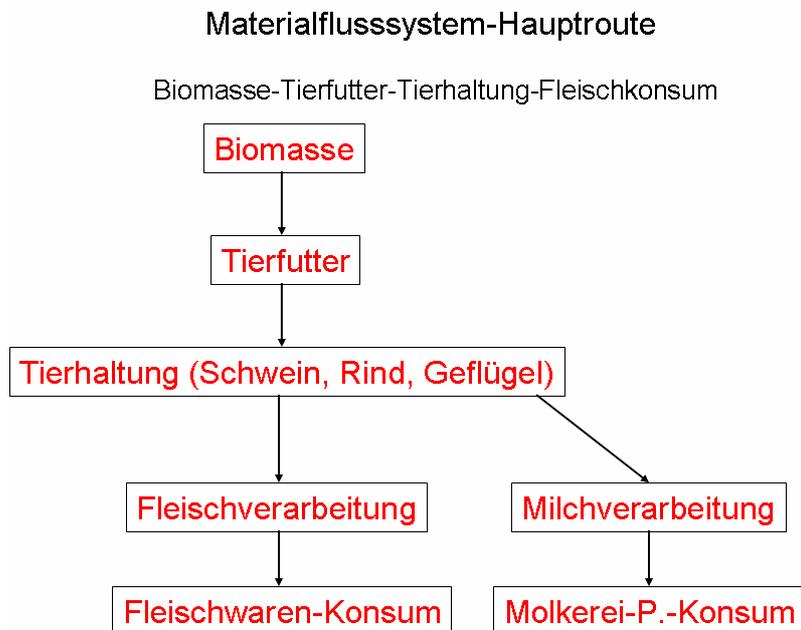
Strategien für die zukünftige Nutzung (Naturschutzflächen, ökologischer Landbau, Energiepflanzenanbau etc.) entwickelt werden.

## 4.5 Biomasse-Tierhaltung

### 4.5.1 Überblick Materialflusssystem: Hauptroute

Mit dem Materialflusssystem (vgl. Abbildung 4.26) wird der Teil der Landwirtschaft betrachtet, der sich der Aufzucht und Haltung von Nutztieren (Fleischerzeugung, Molkereiprodukte) widmet.

Abbildung 4.26 Materialflusssystem-Hauptroute: Biomasse-Tierfutter-Tierhaltung-Fleischkonsum



### 4.5.2 Übersicht Tierhaltung Deutschland

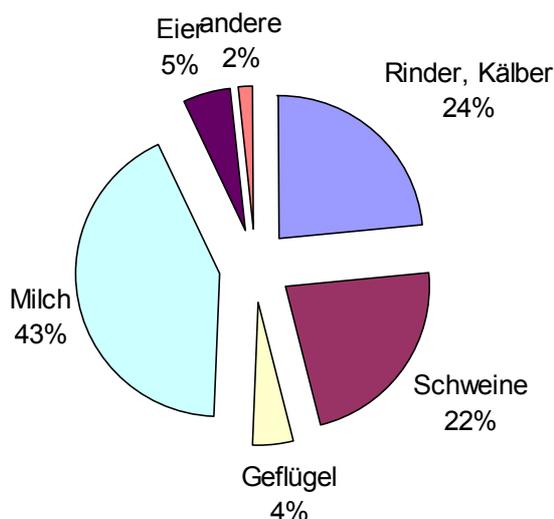
#### 4.5.2.1 Daten und Fakten

Die Nutztierhaltung umfasst die Haltung von Rindern (Milchviehhaltung, Zucht von Rindern, Rindermast), Haltung von Schweinen und Haltung von Geflügel. Weiterhin beinhaltet dieser Bereich die Haltung von Schafen und Ziegen sowie die Haltung von Pferden und Eseln. Auf die beiden letzten Bereiche wird aufgrund der geringen Bedeutung in Deutschland nicht weiter eingegangen. Der Bereich umfasst die eigentliche Haltung wie die gemischte Weideviehhaltung, also die Nutzung von Grünflächen (Gras, Heu) sowie den Futteranbau.

### Ökonomische Kennziffern: v. a. Umsatz und Beschäftigung

Der Produktionswert der tierischen Erzeugnisse beträgt 2000 insgesamt ca. 19 Mrd. € und ist in den 90iger Jahren nahezu konstant geblieben [Agrar 2005]. Der größte Beitrag wird von der Milchwirtschaft und der Rinderzucht geliefert. Weiterhin sind die Schweinezucht sowie Eier und Geflügel von Bedeutung (vgl. Abbildung 4.27).

Abbildung 4.27 Produktionswert der tierischen Produkte



Die Tierhaltung umfasst insgesamt ca. 16 Mio. Rinder und Kälber (davon 5,3 Mio. Milchvieh), 26 Mio. Schweine (inkl. Ferkel) sowie 38,7 Mio. Legehennen und ca. 41 Mio. Masthähne und -hühner inkl. Gänse und Enten. Die meisten Milchviehbetriebe finden sich in der Größenklasse von 10–20 ha (33.000), jedoch sind auch größere Betriebe mit 20–30 ha (27.100) oder 30–50 ha (27.400) tätig. Mit 50 ha und mehr sind nur 17.700 Betriebe verzeichnet. Die Fläche der Schweinemastbetriebe ist hingegen deutlich kleiner. Die meisten Betriebe finden sich in der Größenklasse von unter 2 ha (3.900). 80 % aller Betriebe verfügen über eine Fläche von weniger als 20 ha.

Insgesamt werden 25 % der Betriebe als Milchviehbetriebe aber nur 2,5 % als Schweinebetriebe eingestuft. Die deutliche Mehrzahl der Betriebe ist in Westdeutschland angesiedelt. Nach Viehbestand ergibt sich hingegen eine annähernde Gleichverteilung. In den neuen Bundesländern ist die Viehhaltung auf Großbetriebe konzentriert.

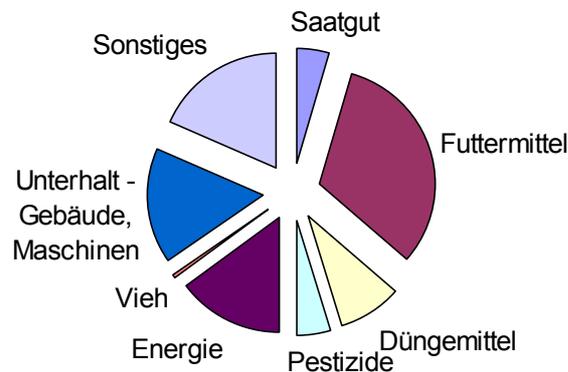
Während die Mehrzahl der Betriebe (75 %) Dauergrünland bewirtschaftet, beträgt der Anteil des Dauergrünlandes an der Gesamtfläche ca. 30 %. Insgesamt werden ca. 600.000 landwirtschaftliche Betriebe verzeichnet, die insgesamt 1,2 Mill. Arbeitskräfte ausweisen. Außer Betriebsinhabern und Familienangehörigen ist der Bedarf an „familienfremden“ Arbeitskräften in den 90iger Jahren deutlich von ca.

400.000 auf 150.000 gefallen. Der Abbau ist nahezu ausschließlich den neuen Bundesländern zuzuordnen.

### Wirtschaftliche Verflechtung

Die Landwirtschaft bezieht Vorleistungen anderer Wirtschaftsbereiche (vgl. Abbildung 4.28) von insgesamt 16 Mrd. €. Der größte Anteil besteht aus Futtermitteln sowie Unterhalt für Gebäude und Maschinen.

Abbildung 4.28 Vorleistungen anderer Wirtschaftsbereiche für die Landwirtschaft [Agrar 2005]



### Ökologische Kennziffern: Daten zu Umweltkriterien

Für traditionelle Rinder und Milchbetriebe ist zurzeit noch eine Nutzung der landwirtschaftlichen Fläche als Futterquelle üblich. Hierbei ist insbesondere an die Grünlandnutzung und dem Anbau von Futterpflanzen zu denken. Weiterhin wird landwirtschaftliche Fläche zur Aufbringung von Wirtschaftsdünger benötigt. Wirtschaftsdünger (Gülle u. Ä.) ist ein Abfallprodukt der Tierhaltung. Wirtschaftsdünger wird eventuell nach Lagerung bzw. Nutzung zur Biogasherstellung auf landwirtschaftliche Flächen aufgebracht und substituiert dort konventionellen Dünger.

Die Tierhaltung verursacht direkte Emissionen an Methan und Lachgas, insbesondere in der Rinderzucht und Milchwirtschaft. Die Emissionen betragen aus der Tierhaltung 1,28 Mio. t/a Methan sowie 1,3 Mio. t/a Methan und 9,8 Mio. t CO<sub>2</sub>-eq/a Lachgas aus dem Wirtschaftsdüngermanagement [NIR 2005].

Weiterhin wurden im Jahr 2002 ca. 590 kt/a Ammoniakemissionen bilanziert, die hauptsächlich aus der Tierhaltung stammen. Insbesondere stellen die Emissionen aus der Massentierhaltung hier ein zusätzliches lokales Problem dar. Diffuse Quellen wie der Abtransport (Auswaschung) von Bodenbestandteilen führen zu ca. 50 % der Gewässerbelastung an Nitraten sowie zu Phosphat- und Schwermetallbelastungen. Eine eindeutige Zuteilung der Tierhaltung zur Gesamtemission der Landwirtschaft ist nicht möglich.

#### 4.5.2.2 Dynamik und Trends

Unter dem Gesichtspunkt der konventionellen Tierhaltung bestimmt der Einsatz von Futtermitteln die Effizienz. Hierzu zählt z. B. eine Erhöhung der Milchleistung je Milchkuh bzw. der Fleischleistung. Die Erhöhung wird durch hochwertige Futtermittel (Soja) sowie ergänzende Futtermittel (Proteine, Phosphate) begleitet. Hierbei substituieren Ackerfutter sowie importierte Futtermittel die Futtermittel aus Dauergrünland (Heu).

Die Treibhausgasemissionen haben sich von 1990 bis 2002 deutlich reduziert. So konnten die Methanemissionen von 3,24 Mio. t/a in 1990 auf 2,6 Mio. t/a reduziert werden. Ebenfalls reduzierten sich die Lachgasemissionen von 14,4 Mio. t CO<sub>2</sub>-eq/a in 1990 auf 9,8 Mio. t CO<sub>2</sub>-eq/a in 2002. Deutlich zugenommen hat die Produktion von Biogas durch die Vergärung von Wirtschaftsdünger (Gülle). Hauptquelle hierfür sind zu 70 % Rinder, zu 22 % Schweine und zu 8 % Geflügel.

#### 4.5.2.3 Potenziale

Durch die Verlagerung der Futtermittelerzeugung auf proteinhaltige Futtermittel wird ein Rückgang der Nutzung von Grünlandflächen abgeschätzt. Insgesamt wird eine Freisetzung von 0,46 Mio. ha in 2010 und 1,1 Mio. ha in 2030 abgeschätzt. Berücksichtigt man einen weiteren Flächenverbrauch (Siedlung, Infrastruktur, Gewerbe) sowie eine Umsetzung bestehender Naturschutzziele, so stehen insgesamt zusätzliche Grünlandflächen von 0,3 Mio. ha in 2010 und 0,86 Mio. ha in 2030 zur Verfügung [Fritsche 2004]. Zusätzlich wird durch die damit verbundene Massentierhaltung der Anfall von Wirtschaftsdünger lokal konzentriert. Gleichzeitig wird durch den Wegfall des lokalen Futtermittelanbaus der Nährstoffkreislauf unterbrochen.

Die Biogaserzeugung ist ein weiter wachsender Bereich. Es steht insgesamt ein Potenzial von 80–90 PJ/a zur Verfügung. Als positiver Nebeneffekt ist die Reduzierung von Ammoniak anzuführen. Durch Erhöhung der Qualität des Managements der Wirtschaftsdünger ist insgesamt von einer Reduktion der Emission auszugehen. Als treibende Kraft ist hier die EU-Vorgabe (Cross Compliance) anzusehen, die Ausgleichszahlungen an das Management (gute Praxis) binden. Für die Ammoniakemissionen besteht als nationale Zielvorgabe im Rahmen der UN-ECE/EG-Richtlinie eine Reduktion von 590 kt/a auf 500 kt/a bis zum Jahr 2010. Die Vorgabe soll durch integrierte Maßnahmen erreicht werden [Agrar 2005].

Nach [Eurich-Menden 2004] sind der Tierhaltung 457 kt/a zuzuordnen. Von den Gesamtemissionen verursacht die Rinderhaltung 52 % und die Schweinehaltung 22 %. In seiner Untersuchung unterschiedlicher Gülleapplikationsmanagement kommt Eurich-Menden zu dem Ergebnis, dass durch Änderung eine Reduktion von 20 bis 30 % der Ammoniakemissionen (ca. 90.000 bis 140.000 t/a)<sup>85</sup> erzielt werden kann. Der optimale Zeitpunkt der Gülleausbringung sowie die unverzügliche Einar-

---

<sup>85</sup> Das Minderungspotenzial entspricht 15 bis 24 % der gesamten nationalen Ammoniakemissionen.

beitung stellen dabei die kostengünstigsten Methoden dar. Weiterhin strebt die Bundesregierung in ihrer Nachhaltigkeitsstrategie eine Reduzierung des Stickstoffüberschusses auf landwirtschaftlich genutzten Flächen von 114 auf 80 kg/ha bis zum Jahr 2010 (ausgehend von 1996–2000) an [Bundesreg. 2002]. Dies entspricht einer jährlichen Minderung um rund 650.000 t Stickstoff.

Für die Treibhausgasemissionen besteht nach dem agrarpolitischen Bericht der Bundesregierung als Ziel für die gesamte Landwirtschaft (Pflanzenbau und Tierhaltung) die Reduktion von 81 Mio. t/a im Jahr 2002 auf 79 Mio. t/a im Jahr 2010 [Agrar 2005].

#### **4.5.2.4 Handlungsoptionen**

Als zentrales zukünftiges Handlungsfeld ist die Spezialisierung der Milchviehhaltung identifiziert worden. Durch Ertragssteigerung wird die traditionelle Mischwirtschaft von Milchviehhaltung und Pflanzenbau (Grünland) tendenziell durch spezialisierte, allein auf die Milchviehhaltung ausgerichtete Betriebe abgelöst. Es bedarf eines intensiven Monitorings, um Fehlentwicklungen im Wirtschaftsdüngerkreislauf frühzeitig zu erkennen. Eine Handlungsoption in diesem Bereich ist die Verbesserung der regionalen Verteilung der Gülle, um lokale Lastspitzen auf landwirtschaftlichen Flächen und damit verbundene Umweltprobleme zu minimieren. Weiterhin ist die optimierte Ausbringung (und Bewirtschaftung) der Gülle (Zeitpunkt und Art der Einarbeitung auf den Flächen) für die Reduzierung von Ammoniakemissionen sehr relevant. Verbunden damit ist die Freisetzung von Grünlandflächen. Hier sollten Konzepte entwickelt werden, um diese Flächen in eine sinnvolle Nutzung oder Umwidmung zu überführen. Schließlich ist die Minderung des Düngemittleinsatzes eine zentrale Aufgabe zur Erzielung der geforderten Reduzierung des Stickstoffüberschusses auf den landwirtschaftlichen Flächen.

#### **4.5.3 Wichtige bestehende Regelungen**

Auch in der Tierhaltung nimmt der Boden und entsprechend die Bodennutzung eine wesentliche Rolle bei der Betrachtung des Materialflusses ein. Denn die zur Verfügung stehende landwirtschaftliche Fläche wird insbesondere auch als Futterquelle genutzt (Grünland, Anbau von Futterpflanzen, Aufbringung von Wirtschaftsdünger wie z. B. Gülle, Jauche oder Stallmist). Deshalb sind auch hier – ebenso wie beim Pflanzenbau – diejenigen Regelungen von vorwiegendem Interesse, die den erwähnten Bezug zur landwirtschaftlichen Bodennutzung aufweisen. Aus diesem Grund wird auf die Ausführungen zur europäischen Bodenschutzstrategie sowie zu den nationalen Regelungen der Düngemittel-, Dünge-, Klärschlamm- sowie Bioabfallverordnung im Kapitel 4.4 verwiesen.

#### **4.5.4 Zusammenfassung der Handlungsoptionen für das Materialflusssystem**

Für das Materialflusssystem Biomasse-Tierhaltung sind nach den Untersuchungen des Projekts zur Erschließung weiterer deutlicher Umweltentlastungspotenziale die folgenden Empfehlungen besonders hervorzuheben:

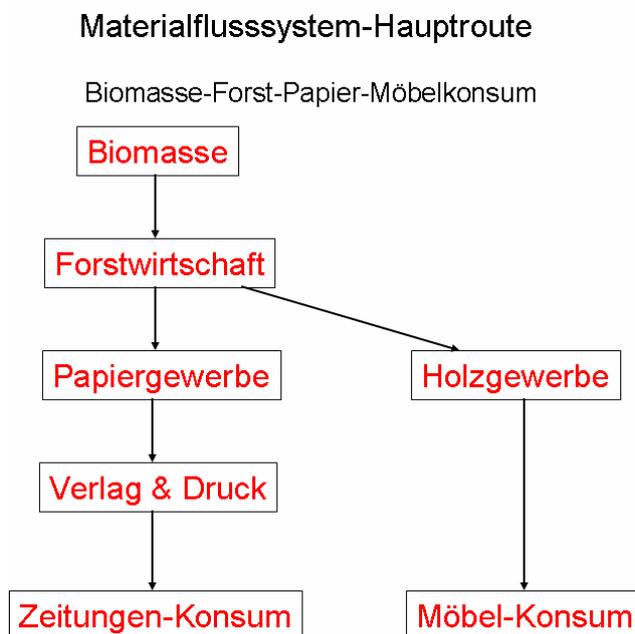
- Fehlentwicklungen durch die Spezialisierung der Milchviehhaltung und die Verdrängung der traditionellen Mischwirtschaft von Milchviehhaltung und Pflanzenbau (Grünland) ist im Wirtschaftsdüngerkreislauf (verstärkter Stickstoffimport durch importierte Hochleistungsfuttermittel) entgegenzusteuern. Der konsequenten Reduzierung des Düngemiteleinsatzes und der Optimierung der Ausbringung zur Reduzierung des Stickstoffüberschusses kommt somit eine zentrale Bedeutung zu. Weiterhin ist in diesem Zusammenhang die verbesserte regionale Verteilung des anfallenden Wirtschaftsdüngers (Gülle) von Bedeutung.
- Die verbesserte Ausbringung und Bewirtschaftung von Gülle ist als entscheidender Baustein zur Reduzierung von Emissionen (Treibhausgase, Ammoniak) mit Nachdruck zu fordern und zu fördern.

### **4.6 Biomasse-Forst-Papier-Möbelkonsum**

#### **4.6.1 Überblick Materialflusssystem: Hauptroute**

Das dritte Materialflusssystem mit biotischem Charakter geht von dem nachwachsenden Rohstoff Holz aus und umfasst die Herstellung und den Konsum von Papier und Möbeln (vgl. Abbildung 4.29).

Abbildung 4.29 Materialflusssystem Hauptroute: Biomasse-Forst-Papier-Möbelkonsum



## 4.6.2 Übersicht Papierherstellung- und -verbrauch in Deutschland

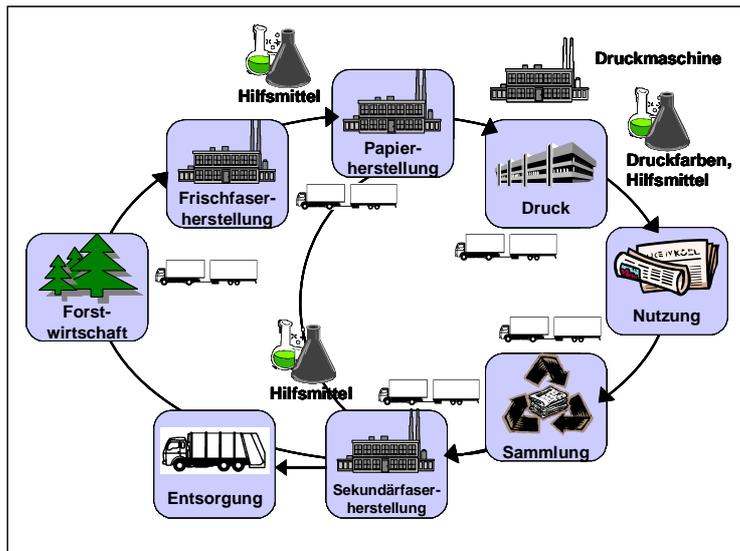
### 4.6.2.1 Daten und Fakten

Der Stoffstrom „Papierherstellung und -verbrauch“ (vgl. Abbildung 4.30) umfasst den Sektor der Herstellung von Papierrohstoffen wie Holzstoff, Zellstoff und Altpapier sowie die daraus produzierten gebrauchsfertigen Papierprodukte und Kartonagen. Die Papierindustrie im Ganzen betrachtet beginnt mit der Gewinnung der Papierrohstoffe Holzstoff, Zellstoff und Altpapierstoff (Deinking Pulp) aus den Rohstoffen Holz und eingesammeltes Altpapier (textile Rohstoffe spielen keine Rolle). Als Füllmaterial und Strichmaterial werden mineralische Rohstoffe wie z. B. Kalk und Kaolin benötigt. Aus den genannten Rohstoffen wird Papier, Karton und Pappe hauptsächlich zur Verwendung in Druckerzeugnissen, Verpackungen und Hygieneprodukten hergestellt. Die Papierindustrie gliedert sich strukturell gesehen in die Herstellung von Massenprodukten und die Herstellung von Spezialprodukten, so dass neben großen Produktionseinheiten auch eine mittelständische Struktur in Deutschland erhalten geblieben ist.

Holz als Rohstoff stammt in Deutschland vor allem aus Durchforstungs- und Sägerestholz, aus dem vorwiegend Holzstoff und Sulfitzellstoff hergestellt wird. In den nordischen Ländern wird Forstwirtschaft zu einem großen Teil zur Herstellung von Zellstoff betrieben. In Deutschland wurde vor einigen Jahren wieder ein Zellstoffwerk für Sulfatzellstoff in Betrieb genommen. Der überwiegende Teil des in Deutschland verarbeiteten Sulfatzellstoffs wird jedoch aus Nordeuropa und Amerika eingeführt.

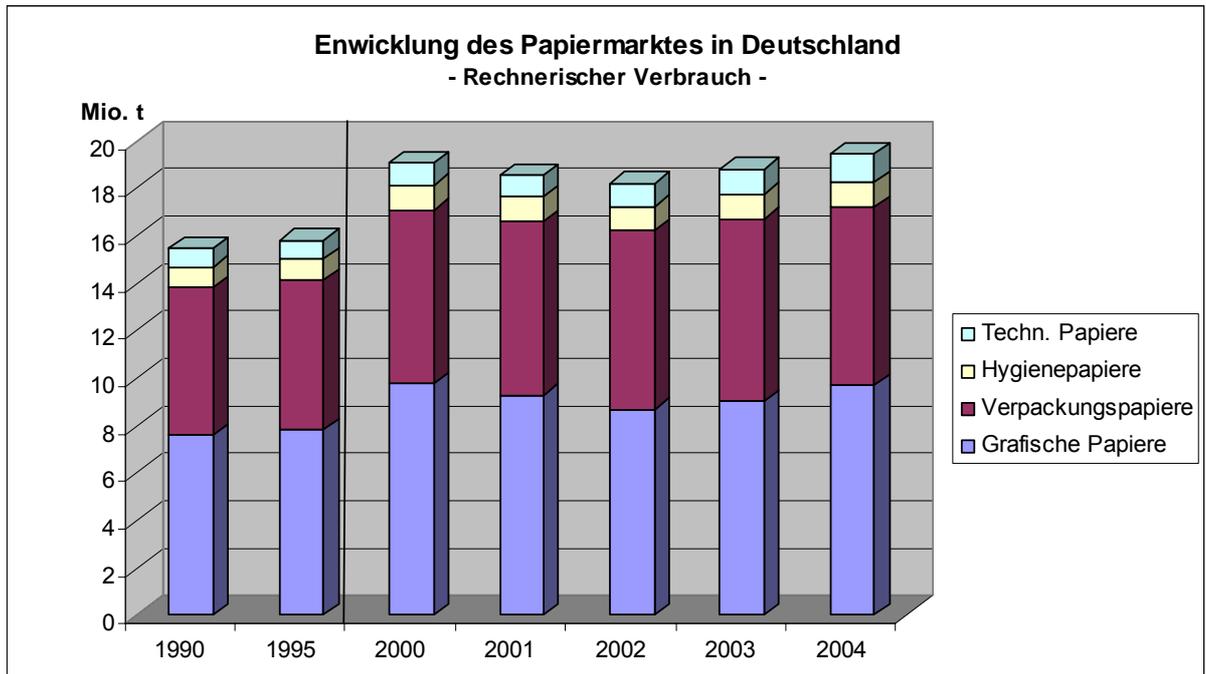
Altpapier hat in Deutschland eine große Bedeutung als Papierrohstoff und über die Hälfte des in der deutschen Papierindustrie verwendeten Fasermaterials wird aus Altpapier gewonnen. In Deutschland hergestellte Rohpapiere für Kartonagen einerseits und Zeitungsdruckpapiere andererseits entstehen quasi ausschließlich aus Altpapier.

Abbildung 4.30 Stoffstrom Papier (vereinfachte Darstellung)



Bei der Erzeugung und dem Verbrauch der Endprodukte dominieren die Papiere für graphische Anwendungen wie Zeitungen, Magazine, Kataloge, Büro- und Administrationspapiere. Einen fast ebenso großen Anteil stellen Verpackungspapiere, Kartonagen und Pappe dar, die als Pack- und Wellpappen, Maschinenkarton, Wickelpappe, Verpackungspapier und Etikettenpapier Verwendung finden. Hygienepapiere umfassen Toilettenpapier, Papierhandtücher, Wischtücher etc. Schließlich gibt es den Bereich der Papiere und Pappen für technische und spezielle Verwendungszwecke (z. B. Tapeten etc.). Herstellung, Verbrauch und Entsorgung von Papierrohstoffen und Papieren, Kartonagen und Pappe ist ein in sich geschlossener Stoffstrom mit relativ geringen Verbindungen zu anderen Sektoren. In der Abbildung 4.31 ist die Entwicklung des Papiermarktes in Deutschland von 1990 bis zum Jahr 2004 zu sehen [VDP 2005].

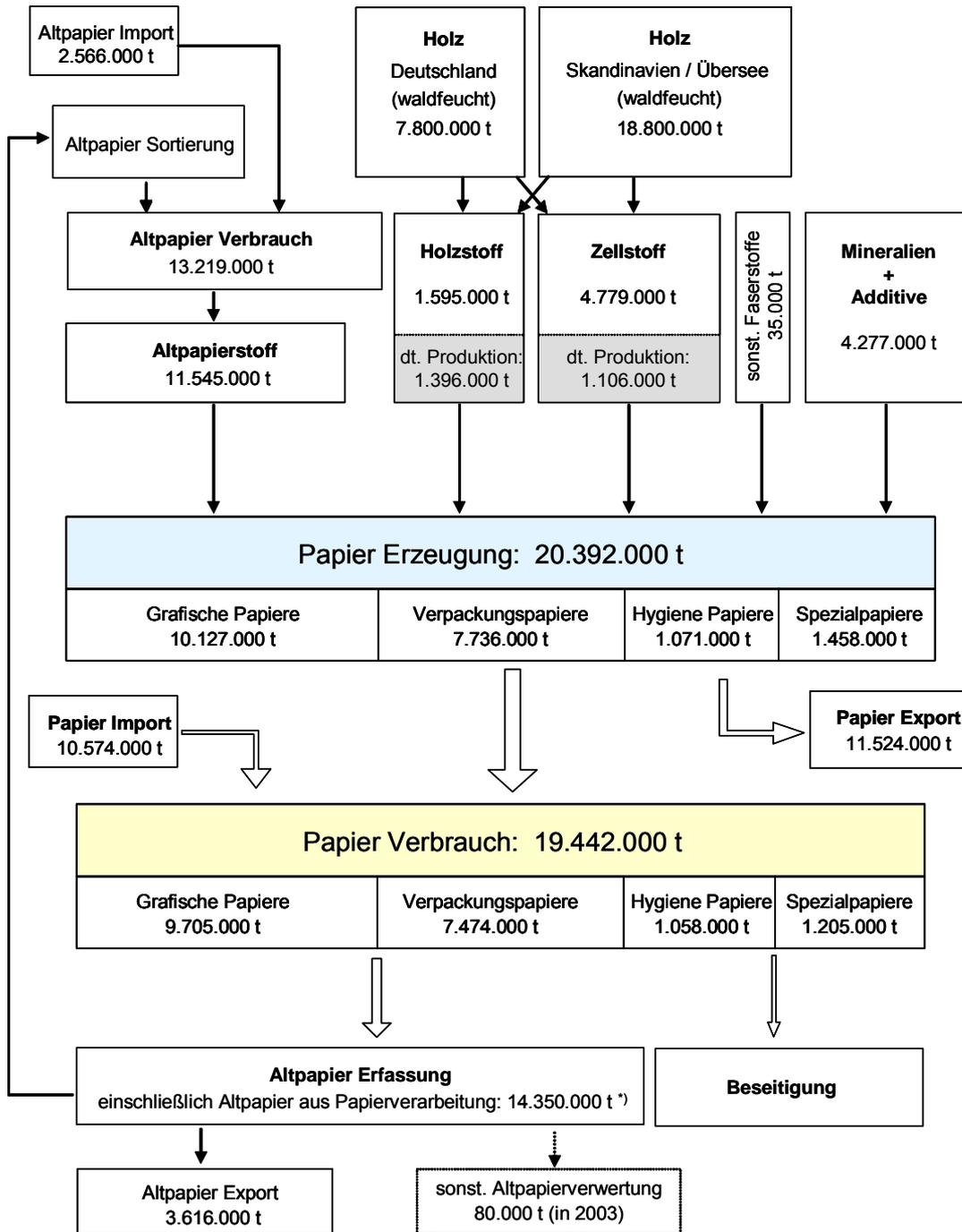
Abbildung 4.31 Papiermarkt Deutschland von 1990 bis 2004



Eine Darstellung der Stoffströme im Papiermarkt für das Jahr 2004 folgt auf der nächsten Seite mit Abbildung 4.32. Die Darstellung basiert auf Daten und Informationen des VDP [VDP 2005]. Das Stoffstrombild macht deutlich, dass Deutschland mit 20,4 Millionen Tonnen ein bedeutender Papierproduzent ist und fast soviel Papier verbraucht (nämlich 19,4 Millionen Tonnen), wie es produziert. Dennoch ist die Verknüpfung mit anderen Ländern durch Export und Import enorm. Lediglich 2,5 Millionen Tonnen primärer Holzstoff und Zellstoff werden in Deutschland produziert, während fast 4 Millionen Tonnen Primärrohstoffe vor allem aus Nordeuropa und Übersee (USA, Kanada etc.) importiert werden.

Damit wird auch deutlich, dass der Altpapiereinsatz in Deutschland ein hohes Niveau erreicht hat. 14,5 Millionen Tonnen erfasstes Altpapier führen zu einem Altpapierverbrauch in der Papierindustrie von 13,2 Millionen Tonnen. Bezieht man den Einsatz von Altpapierstoff (nach Abzug von Herstellungsverlusten aus dem Altpapierverbrauch) auf die gesamte eingesetzte Fasermenge, so ergibt sich daraus ein Altpapieranteil von 64 %. Auch die Verknüpfung bei fertigen Papierprodukten ist bei einem Export von 11,5 Millionen Tonnen und einem Import von 10,6 Millionen Tonnen bezogen auf den Verbrauch sehr groß.

Abbildung 4.32 Stoffflussschema der Papierherstellung



ifeu 2005

\* Schätzung für 2004 unter Annahme, dass Altpapierverwertung außerhalb der Papierindustrie dem Vorjahr entspricht

### Ökonomische Kennziffern: v. a. Umsatz und Beschäftigung

Laut dem Papier-Kompass 2005 des Verbandes Deutscher Papierfabriken lag der Umsatz der deutschen Zellstoff- und Papierindustrie im Jahr 2004 bei 12,6 Milliarden EURO. Das entspricht einem Anteil des Umsatzes an der Gesamtindustrie von etwa 0,9 %. Insgesamt waren 2004 etwa 45.000 Menschen in der Papier- und Zellstoffindustrie beschäftigt.

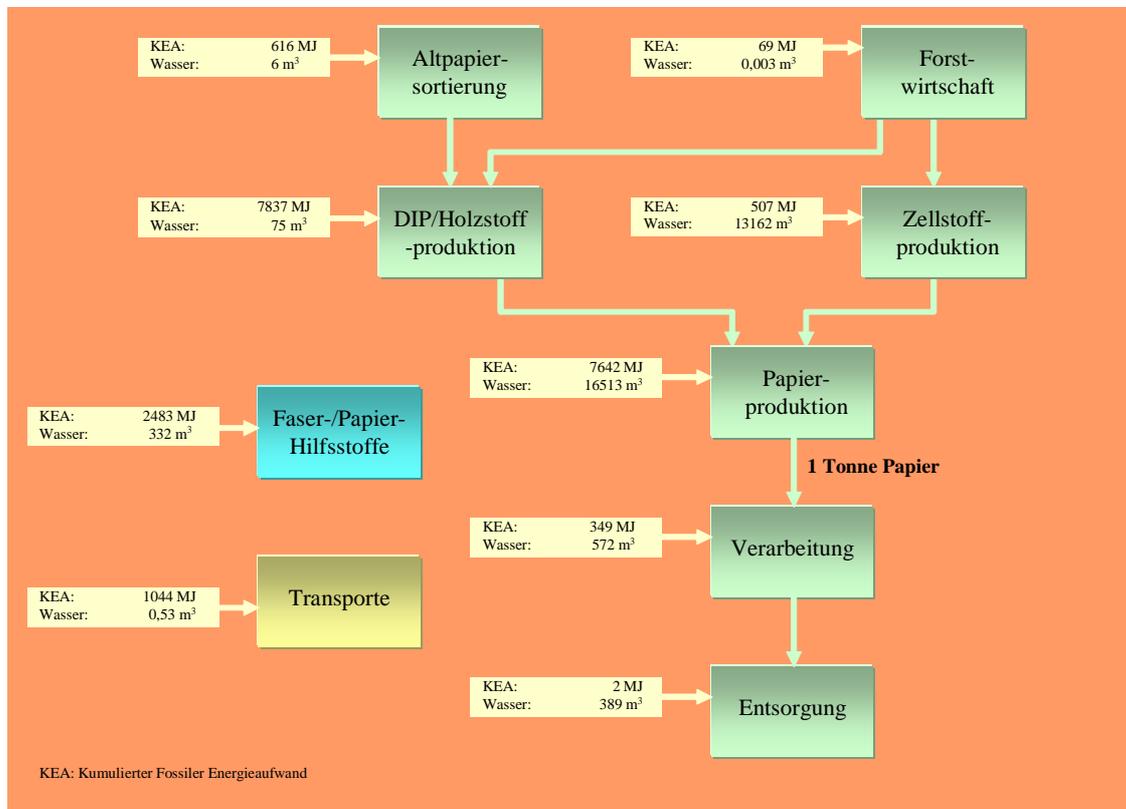
### Wirtschaftliche Verflechtung

Die Zellstoff- und Papierindustrie ist mittlerweile von wenigen Firmen, die weltweit operieren, dominiert. Im europäischen Raum kommen diese Firmen aus den nordischen Ländern (z. B. Stora-Enso, SCA, Assi Domän, Norske Skog etc.). Die nordischen Papierkonzerne haben alle großen deutschen Papierunternehmen aufgekauft, so dass eine nationale Industrie lediglich im größeren bis kleineren mittelständischen Bereich existiert. Die Massenprodukte werden fast ausschließlich von multinationalen Konzernen hergestellt, während die Spezialpapiere von kleineren Unternehmen hergestellt und vermarktet werden. Fast alle großen Papierunternehmen in den nordischen Ländern sind auch große Waldbesitzer oder sie haben langfristige Verträge mit genossenschaftlich organisierten Waldbesitzern in Norwegen, Schweden und Finnland. Zunehmend sind diese Unternehmen auch in den angrenzenden östlichen Ländern, vor allem Russland, präsent. Da die großen Papierunternehmen auch in die Produktion von Papierprodukten aus Altpapier investiert haben, vor allem in Deutschland, ist eine wirtschaftlich motivierte Konfrontation zwischen dem Einsatz von Primär- und Sekundärrohstoffen (Altpapier) nicht mehr gegeben.

### Ökologische Kennziffern: Daten zu Umweltkriterien

Die Herstellung von Papier verursachte in der Vergangenheit viele, zum Teil deutlich sichtbare Umweltschäden. Zu scharfer Kritik an der Papierproduktion führte vor allem die Freisetzung chlororganischer Verbindungen aus der Chlorbleiche über die Abwässer der Zellstofffabriken. Auch der hohe Wasser- und Energiebedarf bei der Produktion sowie der Holzverbrauch für Frischfaserpapiere wurden und werden teilweise noch kritisiert. Am Beispiel des kumulierten Energieaufwandes und des Wasserverbrauchs am Beispiel der Produktion einer Tonne graphischen Papiers (im Mittel) werden die wesentlichen Beiträge dargestellt (vgl. Abbildung 4.33).

Abbildung 4.33 Kumulierter fossiler Energieaufwand (KEA) und Wasserverbrauch für die Produktion einer Tonne graphischen Papiers



#### 4.6.2.2 Dynamik und Trends

Beim Energieverbrauch konnten in Europa hohe Einsparpotenziale ausgeschöpft werden. Auch der Wasserverbrauch reduzierte sich deutlich durch Maßnahmen der Kreislaufführung. In Europa gingen die chlororganischen Emissionen vor allem durch den Verzicht auf elementares Chlor (ECF – elementary chlorine free), aber auch durch die Umstellung der Zellstoffbleiche auf total chlorfreie Verfahren (TCF – total chlorine free) in den 1990er Jahren stark zurück. Nach aktuellem Kenntnisstand unterscheiden sich Abwässer aus der ECF-Bleiche und der TCF-Bleiche hinsichtlich ihres Problempotenzials nicht messbar, sofern die Verfahrensschritte „verlängerte Kochung“, „Sauerstoff-Delignifizierung“ und „Biologische Abwasserreinigungsstufe“ nach dem Stand der Technik implementiert sind. Der Fall liegt anders bei Produktionsstandorten z. B. in Asien und in Amerika, deren Betrieb häufig nicht nach dem Stand der Technik erfolgt und nach wie vor mit zum Teil hohen Umweltbelastungen verbunden ist [IFP 2002], [IFEU 2003].

Dennoch ist insbesondere der Energieverbrauch bei der Herstellung von Holzstoff als hoch zu bezeichnen, da das Zermahlen des Holzes sehr energieintensiv ist. Daneben sind sowohl bei der Holzstoffherstellung, Zellstoffherstellung als auch bei der Altpapieraufbereitung die Abwasseremissionen zu beachten, da hier die Reduk-

tion der Abwassermenge mit einer höheren Schadstoffkonzentration im Abwasser einhergehen kann.

Bei der Holzstoffherstellung und der Altpapieraufbereitung ist die Bleiche ohne Chlor Stand der Technik. Die Bleiche erfolgt hier mithilfe von Peroxiden, bei deren Verwendung jedoch die Zugabe von Komplexbildnern erforderlich ist. Diese können wiederum ein Problem bei der Abwasserbehandlung in Kläranlagen darstellen. Wurden zu Beginn der 1990er Jahre überwiegend noch ökotoxikologisch hochwirksame Komplexbildner eingesetzt, so sind diese mittlerweile durch unbedenklichere Verbindungen ersetzt worden.

#### **4.6.2.3 Potenziale**

Das Innovationspotenzial ist in der Papierindustrie, als einer alten und traditionsreichen Industrie, in Deutschland und Nordeuropa schon weitgehend ausgeschöpft. Verfahrensalternativen bei der Zellstoff- und Papierherstellung wurden vorgeschlagen und in Pilotvorhaben ausprobiert, konnten sich aber aus den verschiedensten Gründen (Umgang mit gefährlichen Stoffen, Qualitätsprobleme, Verlagerung von Umweltproblemen etc.) nicht durchsetzen. Verfahren, die weiter Abwasser reduzieren und sogar vollständig in geschlossenem Kreislauf fahren, existieren, sind aber im internationalen Vergleich als sehr kostenintensiv zu bezeichnen und bislang überwiegend auf solche Standorte begrenzt, bei denen die Betriebsgenehmigung aus Standortgründen höchste Anforderungen an den Grundwasserschutz stellt.

In der Abwägung der technologischen Potenziale und der verwendeten Technik, insbesondere außerhalb Europas, wäre eher darauf zu achten, dass importierter Zellstoff (ca. 4,8 Mio. t in 2004) und Papier (ca. 10,6 Mio. t in 2004) mit akzeptablen und in Europa üblichen Umweltstandards hergestellt worden ist.

Die Altpapiereinsatzquote ist zumindest in Deutschland hoch, kann aber nur durch ausreichende Zufuhr von Primärfasern auf diesem Niveau gehalten werden. Energieintensiv hergestellte holzhaltige Papiere sollten noch weiter durch Altpapier ersetzt werden. Eine quantitative Potenzialabschätzung ist allerdings kaum möglich, da Qualitätsaspekte und Kundenwünsche zu berücksichtigen sind.

Bereiche, in denen Innovationspotenziale, insbesondere zur Verbesserung der Umweltsituation, noch ansetzen können, sind:

- Holzherkunft und Art der Waldbewirtschaftung. Holz und damit dem Waldbau als zentraler Rohstoffquelle sollte hinsichtlich der Qualität der Flächennutzung (Biodiversität, Naturschutz – Zertifizierung) vor allem in osteuropäischen, aber auch in fernöstlichen Ländern eine entsprechende Beachtung geschenkt werden.
- Einsatz von Chemikalien, Wasserverbrauch/Abwasserbelastung. Dem Einsatz von Chemikalien und deren Verbleib (Emissionen ins Wasser und evtl. Verbleib im Produkt) sollte Beachtung geschenkt werden. Hier sind ggf. die Erkenntnisse durch REACH von großer Bedeutung.

- **Energieeinsparung.** Der Energieverbrauch bei einzelnen Papiersorten, insbesondere dem TMP, ist vergleichsweise hoch und benötigt mit mechanischer Energie eine hochwertige Energieform. Weitere Reduzierungen durch verfahrenstechnische Mittel und weiteren Ersatz durch Altpapier sind hier angezeigt.
- **Abfall und Rezyklierbarkeit.** Die Einsatzquote von Altpapier gilt in Deutschland für einige Produktgruppen als ausgeschöpft. Es gilt den erreichten Einsatz von Altpapier auf hohem Niveau zu stabilisieren. Der Einsatz von neuen Hilfsmitteln und Druckfarben darf die Recyclingfähigkeit nicht beeinträchtigen.

Die deutsche Forstwirtschaft verfügt zwar rechnerisch über genügend Ressourcen, um einen höheren Bedarf von Zellstoffwerken zu decken. Das hierfür benötigte Industrieholz fällt bei der notwendigen Durchforstung der Wälder an. Zurzeit besteht aber seitens der Zellstoffindustrie keine Nachfrage bzw. die Preise für Industrieholz sind für die deutsche Forstwirtschaft nicht kostendeckend.

#### **4.6.2.4 Handlungsoptionen**

Für die Papier- und Zellstoffherstellung in Deutschland und Nordeuropa sind keine bedeutenden Minderungspotenziale bezüglich wichtiger Umweltparameter auszumachen. Das gilt nicht für die Papier- und Zellstoffherstellung außerhalb Europas. Da hierzu keine direkten Eingriffsmöglichkeiten bestehen, kann nur über das Konsumentenverhalten darauf Einfluss genommen werden.

Die Herstellung und Verwendung von Produkten aus Altpapier ist mit einem deutlich geringeren Energieverbrauch und den damit einhergehenden Emissionen verbunden. Doch ist gerade der Ersatz von holzhaltigen Papieren durch Altpapier aufgrund der hohen Recyclingquote einerseits und der gewünschten Qualität der Produkte (z. B. Reißfestigkeit, Weißegrad) andererseits in einem Grenzbereich angelangt und könnte nur mit Akzeptanz der gewerblichen Kunden und Verbraucher weiter gesteigert werden.

Bei einem Einsatz von ca. 12 Mio. t an Altpapier im Vergleich zu einer Produktion bzw. einem Verbrauch von 18 Mio. t bzw. 18,5 Mio. t in der Summe aller Papierarten (Zahlen für 2002), ist insbesondere darauf zu achten, diese hohe Einsatzquote zu sichern. Die mögliche Verwendung von wasserlöslichen Druckfarben und anderen Einsatz- und Hilfsstoffen in der Papierkette könnte die Recyclingfähigkeit beeinträchtigen und damit den Altpapiereinsatz reduzieren. Oder die wieder gestiegenen Ansprüche an den Weißegrad eines Papiers drängen entweder den Altpapiereinsatz zurück oder führen zu einer verstärkten Bleiche von altpapierhaltigen Produkten, was wiederum mit vermehrten Umweltlasten verbunden ist.

Daneben gibt es einzelne Themenfelder wie die Emissionen von Komplexbildnern oder anderen sehr spezifischen Schadstoffen aus der Papierherstellung im Abwasser, denen im Sinne einer Stoffstrompolitik Beachtung geschenkt werden sollte. Sie sind jedoch nicht ohne weiteres quantitativ und qualitativ zu bewerten und bedürfen vertiefender Untersuchung im Einzelfall.

Eine wesentliche Bedeutung im Bereich der Papierherstellung hat die Herkunft des eigentlichen Rohstoffes Holz. Der in Deutschland verwendeten Menge an Papier entsprechen ungefähr 50 Mio. t an Holz-Frischmasse. Damit ist die Papierindustrie ein wichtiger Verwender des Rohstoffes Holz. Die Art der Bewirtschaftung des Waldes in Deutschland und noch viel mehr in den Wäldern der Holzherkunft für deutsches Papier ist ein umweltbezogenes wichtiges Thema, das allerdings nur schwer quantifizierbar ist. Hier sei nicht zuletzt auf Holz aus zertifizierten Beständen, z. B. mit dem FSC-Label, hingewiesen (allerdings gibt es auch FSC-Labels für Plantagenholz). Die Steigerung des Anteils des Holzeinsatzes aus zertifizierten Beständen stellt ein wichtiges **Potenzial** (Erhalt der Biodiversität etc.) für die Zukunft dar.<sup>86</sup>

In der Gesamtheit sind die **Handlungsoptionen** für den Bereich Papier zumindest momentan stark auf der Konsumentenseite angesiedelt, sowohl bei gewerblichen Kunden als auch beim Verbraucher selbst.<sup>87</sup> Eine gesteuerte Nachfragepolitik könnte die umweltseitig positiv erkannten Entwicklungen wie naturnahe Holzwirtschaft, hoher Altpapiereinsatz und emissionsarme Produktion eindeutig stärken. Das Umweltlabel „Blauer Engel“, das für die Aufrechterhaltung des Einsatzes von Recyclingfasern eine wichtige Rolle spielt, könnte entsprechend den oben aufgeführten Erkenntnissen bzgl. Frischfasern weiterentwickelt werden. Durch die Berücksichtigung der Anforderungen des FSC-Labels bzgl. Frischfasern nähme der Blaue Engel sowohl für Papier aus Primärfasern als auch aus Sekundärfasern eine wichtige Rolle ein.<sup>88</sup>

### 4.6.3 Übersicht Möbelkonsum in Deutschland

#### 4.6.3.1 Daten und Fakten

Wesentliche Produktionsabläufe bei der Herstellung von Möbeln aus Holz sind unter anderem das Trocknen, Zuschneiden und Hobeln, Zusammenbauen, Streichen oder Polieren von Holz. Bei der Montage von Polstermöbeln werden Klebstoffe angewendet, sowohl lösliche Klebstoffe als auch Polymere (hot-melt). Ein weiteres Merkmal ist die aufwendige Oberflächenbehandlung mit Beize, Färbemittel und Polituren.

#### Ökonomische Kennziffern

Die Möbelbranche gehört zu den eher mittelgroßen Branchen in Deutschland, mit ca. 170.000 Beschäftigten (vgl. Abbildungen 4.34, 4.35, 4.36) [Sietz 2001]. Regional

---

<sup>86</sup> Probleme gab es hier in den Sägewerken: Die Papierproduktion nimmt viele Sägereste auf, die angeblich noch nicht in FSC oder anderen Zertifizierungen getrennt werden können. FSC hat deshalb seine Chain of Custody novelliert.

<sup>87</sup> So kann der Absatz von Recyclingpapieren (z. B. im Hygienebereich, aber auch bei Schulheften) noch gesteigert werden.

<sup>88</sup> Details und die Möglichkeiten der klaren Kommunikation einer entsprechenden Weiterentwicklung des Blauen Engels bedürfen zunächst noch vertiefender und sorgfältiger Abstimmung mit den beteiligten Fachleuten des UBA.

kann ihr jedoch eine gewisse Bedeutung zukommen (z. B. in der Region Schwarzwald oder Ostwestfalen) [Sietz 2001]. Der Auslandsumsatz der deutschen Möbelbranche ist gering und beträgt ca. 15 %.

Abbildung 4.34 Umsatz der deutschen Möbelindustrie in Mio. DM [Sietz 2001]

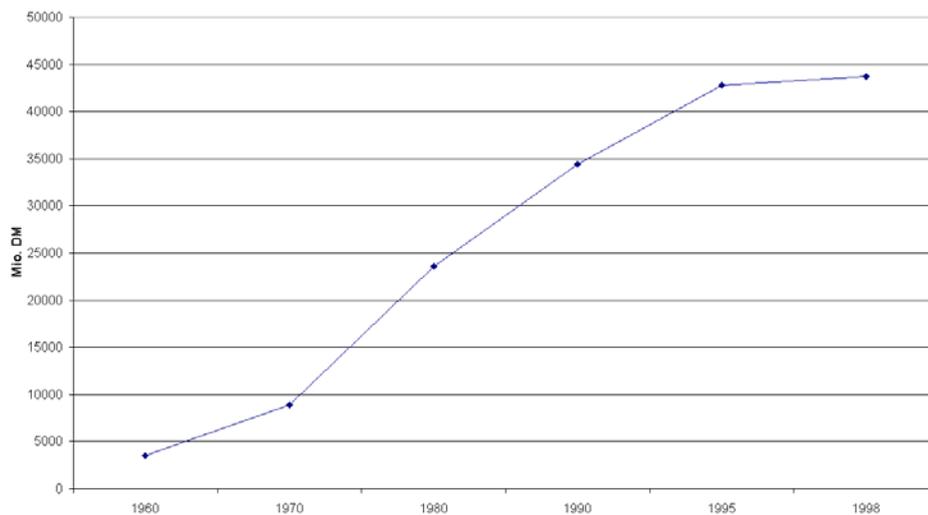


Abbildung 4.35 Beschäftigte der deutschen Möbelindustrie [Sietz 2001]

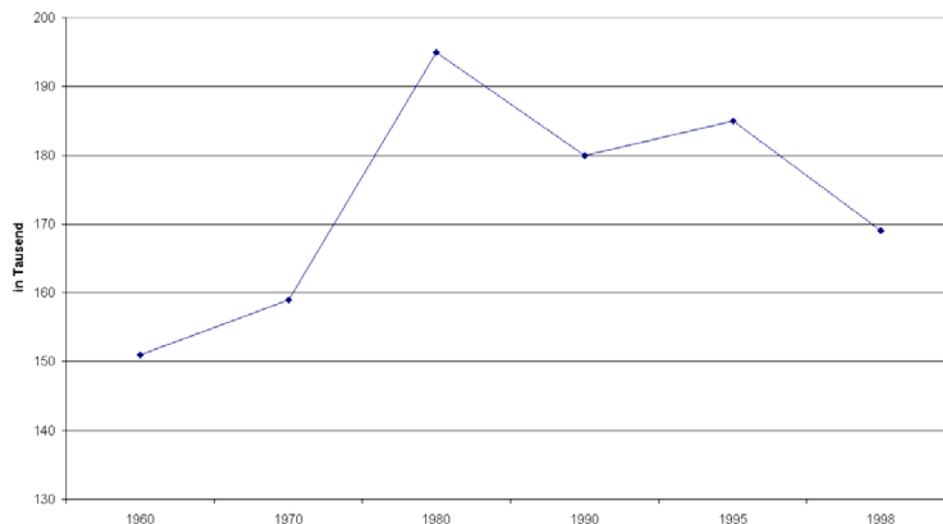
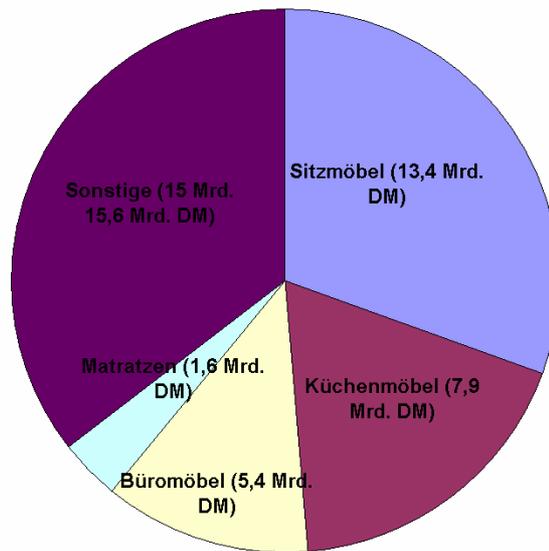


Abbildung 4.36 Umsatz der deutschen Möbelindustrie nach Produktgruppen [Sietz 2001]



2004 hat jeder Bundesbürger im Durchschnitt 360 € für Möbel investiert, womit die Pro-Kopf-Ausgaben zum ersten Mal seit dem Jahr 2000 wieder angestiegen sind. Im Europa liegt Deutschland damit zusammen mit Österreich und Schweden an der Spitze der Ausgaben für den Möbelkonsum. Die Importe stiegen von 1992—1999 um 48 %. Wichtigste Importländer sind Osteuropa (2,1 Mrd. €), Italien (1,6 Mrd. €) und Dänemark (0,6 Mrd. €).

#### Wirtschaftliche Verflechtung

Der Verbrauch von Holzhalbwaren in der deutschen Möbelindustrie nach Holzprodukten ist in Tabelle 4.29 dargestellt [Mantau 2005]. Die Möbelindustrie ist ein bedeutender Abnehmer von Platten und Furnieren.

Tabelle 4.29 Holzverbrauch der Möbelindustrie in Deutschland

	Absolut in Mio. m <sup>3</sup>	% des Holzverbrauches im Möbelbereich	% an allen Halbwaren aus Holz anderer Verwendungsbereiche
Schnittholz	2,362	20,6	10,3
Furnier- und Sperrholz	0,440	3,8	35,9
Platten	8,647	75,5	74,3
Insgesamt	11,449	100,0	32,0

Von den bezogenen Halbwaren verbleiben 66,4 % in Möbelprodukten aus Holz gespeichert, 33,6 % fallen als Reste an [Mantau 2005] und müssen entsorgt werden. Der Input entspricht 6,47 Mio. t/a lufttrockenem Holz. In den Möbeln verbleiben demnach 4,3 Mio. t/a (lutro).

Ökologische Kennziffern: Daten zur Umweltkriterien

In der Tabelle 4.30 sind beispielhaft Materialzusammensetzungen aufgeführt. Es zeigt die verschiedenen eingesetzten Hauptmaterialien auf, ihren Input und die Verarbeitungsverluste.

Tabelle 4.30 Beispiel für Materialinput und -output bei Polstermöbeln [Sietz 2001]

	Modell Conseta der Firma COR		Modell Barca der Firma COR		Modell combio <sup>+</sup> der Firma Gepa- de*		Modell Troja der Firma Gepade	
	Input	Output Fertig- möbel	Input	Output Fertig- möbel	Input	Output Fertig- möbel	Input	Output Fertig- möbel
Elektrische Energie	16,26 kWh	-	21,77 kWh	-	13,75 kWh	-	6,69 kWh	-
Energieverbrauch bei der Vorproduktion der Holzprodukte	25,24 kWh	-	11,14 kWh	-	11,9 kWh	-	15,12 kWh	-
Holzwerkstoffe	54,30 kg	37,18 kg	31,40 kg	29,78 kg	46,21 kg	30,43 kg	18,1 kg	24,9 kg
Schaumstoffe	20,85 kg	20,85 kg	17,34 kg	17,34 kg	5,7 kg	4,56 kg	6,0 kg	6,0 kg
Stoff	9,55 kg	7,21 kg	8,90 kg	6,68 kg	12,43 kg	8,56 kg	8,99 kg	6,55 kg
Stahl	2,64 kg	2,64 kg	0,41 kg	0,41 kg	0,67 kg	0,67 kg	4,6 kg	4,6 kg
Kunststoff PE	1,31 kg	1,31 kg	0,06 kg	0,06 kg				
Klebstoff	0,31 kg	0,31 kg	0,05 kg	0,05 kg	0,1 kg	0,1 kg	0,2 kg	0,2 kg
Lack- und Hilfsmittel			1,50 kg	0,75 kg	0,2 kg	0,15 kg		
Kunststoff-Folie	0,90 kg	0,90 kg	1,67 kg	1,67 kg	0,13 kg	0,13 kg	0,13 kg	0,13 kg
Aluminium			0,07 kg	0,07 kg				
Daunenfedern							2,0 kg	2,0 kg
Pappe							3,08 kg	2,8 kg

Für die zurzeit entsorgten Möbel ist deren Zusammensetzung in der Tabelle 4.31 aufgeführt. Holz stellt mit 60 % den Hauptanteil.

Tabelle 4.31 Abfallfraktionen von Möbeln [UEA 2005]

Holz	60,0 %
Metall	11,9 %
Kunststoff	5,9 %
Beschläge	5,4 %
PU-Schäume	4,0 %
Stoffe/Textilien	3,4 %
Glas	2,0 %
Gummi	0,7 %
Sonstiges	6,7 %

Die durchschnittliche Lebensdauer von Möbeln beträgt ca. 10–12 Jahre. Es wird geschätzt, dass 2,3 Mio. t/a Möbel in Deutschland entsorgt werden müssen. Das entspricht ca. 6 % des Restmülls [UEA 2005]. Der Bereich des Möbelkonsums ist unter Gesichtspunkten der Materialströme und der damit verbundenen Umweltbelastungen nicht von überragender Bedeutung. Für die Möbelproduktion in Deutschland werden aktuell 9,6 Mio. m<sup>3</sup> an Holzfertigwaren (dies entspricht 6,5 Mio. t lufttrocken) eingesetzt. Bezogen auf die Gewichtsmenge bleiben 66,4 % in Möbelprodukten aus Holz gespeichert, die restlichen 33,6 % fallen als Reststoffe an. Hinzu kommen weitere Materialien wie Metalle. Für die EU werden als jährliche Anfallmengen 4,6 Mio. t Holz, 0,9 Mio. t. Metall, 0,45 Mio. t. Kunststoffe sowie weitere 0,3 Mio. t PUR-Schäume als Hauptfraktionen aus Altmöbeln genannt.

#### 4.6.3.2 Dynamik und Trends

Innerhalb der EU ist Deutschland mit Italien der größte Möbelproduzent. Während in Deutschland die Beschäftigtenzahl zurückgeht, wächst sie in den neuen Mitgliedsstaaten. Seit 1998 findet zudem ein starkes Importwachstum statt, welches in 2003 15 % des Wertes, aber 24 % der Menge in der EU abdeckt. Hauptexportland ist dabei China.

Da Möbel aus hochwertigen Hölzern bestehen, besteht sowohl am Recycling als auch an einer Nutzung des Altholzes Interesse. Nach einer empirischen Befragung von Möbelherstellern haben 7 % der Hersteller bereits alte Möbel zurückgenommen, 12 % denken über eine Rücknahme konkret nach oder planen sie mittelfristig. Die Möbelerücknahme spielt aber insgesamt nur eine geringe Rolle [Mantau 2005]. Eine Studie im Land Sachsen-Anhalt ergab, dass von den Möbeln im Sperrmüll 42 % Kasten/Küchenmöbel, 32 % Polstermöbel und 26 % Gestellmöbel (v. a. Tische und Stühle ohne Polster) sind [WKI 2003].

### 4.6.3.3 Potenziale

Grundsätzlich lassen sich bei der Produktgestaltung von Möbeln Umweltentlastungspotenziale durch eine Reduzierung der eingesetzten Materialien sowie durch Substitution von besonders belastenden Werkstoffen (Lösemittel, Klebstoffe) durch weniger umweltbelastende Materialien erreichen. Weiterhin kann auch gerade bei dem langlebigen Konsumgut Möbel durch eine Verlängerung der Lebensdauer eine Umweltentlastung erzielt werden. So können Qualitätsmöbel eine Lebensdauer von über 25 Jahren erreichen. Aus den relativ groben Erhebungen kann für Deutschland abgeleitet werden, dass die Haushalte deutlich mehr Möbel kaufen (mit 60 % Holz ca. 7,1 Mio. t/a), als sie entsorgen (2,3 Mio. t/a). Insgesamt würde sich nach dieser Rechnung ein Aufbau des Lagers von ca. 4,8 Mio. t/a ergeben.

Die Möbelindustrie ist ein großer Holzverbraucher, insbesondere auch an hochwertigen Hölzern. Die Möbelindustrie kann daher durch den Einkauf von zertifiziertem Holz Signale in Richtung der Forstwirtschaft aussenden und so die nachhaltige Forstwirtschaft unterstützen.

### 4.6.3.4 Handlungsoptionen

Für das Produkt Möbel ergeben sich Handlungsoptionen in zwei Richtungen. Zum einen bestehen die Möbel aus dem erneuerbaren Rohstoff Holz, der aus zertifizierten Beständen zur Verfügung gestellt werden kann. Zum anderen sind bei der Oberflächenbehandlung und Verbindungstechnik hohe Anforderungen an die angewendeten Chemikalien (z. B. Lösemittel, Kleber) zu stellen. Beide Prozesse können durch Gütesiegel unterstützt werden. Die Möbelindustrie ist auf europäischer Ebene in diesem Sinne initiativ.

Die Zahlen für Deutschland lassen die Schätzung zu, dass das jährliche Lager an Möbeln im Wohn- und Bürogebäudebereich in Deutschland allein jährlich um gut 3 bis 5 Mio. t wächst. Diese Einschätzung ist gut vereinbar mit der weiterhin deutlich wachsenden Wohnfläche in Deutschland, die nicht zuletzt (zusammen mit den Nebenflächen) die Aufnahmeräume für Möbel in der Technosphäre darstellt. Damit zeigt sich mittel- und langfristig ebenfalls ein steigendes Potenzial aus dem Materiallager „Altmöbel“ im Sinne einer nachhaltigen Ressourcenschutzpolitik. Die Handlungsoption ist hier in einer verstärkt auf Materialseparation und nachfolgende Verwertung (stoffliche oder energetische Altholzverwertung, Metall- und Kunststoffverwertung etc.) setzenden Behandlung von Altmöbeln zu suchen. Einige Gebietskörperschaften trennen aufgrund der gesetzlichen Rahmenbedingungen (TA Siedlungsabfall etc.) und der hohen Entsorgungskosten den anfallenden Sperrmüll (und damit auch die Altmöbel) bereits weitgehend. Eine Handlungsoption ist die flächendeckende Trennung, um das zukünftig steigende Potenzial an Sekundärrohstoffen aus Altmöbeln noch besser verwerten zu können.

#### 4.6.4 Wichtige bestehende Regelungen

Materialflussbezogene Regelungen in Form von stofflichen Verwertungsquoten finden sich in diesem Materialflusssystem nur bei Verpackungsabfällen aus Papier, Karton und Holz (siehe die Verpackungsverordnung). Die weiteren für diesen Materialfluss relevanten Regelungen (Altholzverordnung, Bioabfallverordnung) dienen der Abwehr von Gefahren für Mensch, Umwelt oder Tiere, enthalten aber keine materialflussrelevanten Ansatzpunkte. Eine Selbstverpflichtung mit Bezug zu dem Materialflusssystem findet sich nur für die Rücknahme und Verwertung gebrauchter graphischer Papiere der „Arbeitsgemeinschaft graphische Papiere“.

##### 4.6.4.1 Treibhausgas- und Emissionshandelsgesetz (TEHG)

Die folgenden Anlagen im Materialflusssystem unterliegen hinsichtlich CO<sub>2</sub> dem TEHG:

- Anlagen zur Gewinnung von Zellstoff aus Holz, Stroh oder ähnlichen Faserstoffen,
- Anlagen zur Herstellung von Papier, Karton oder Pappe mit einer Produktionsleistung von mehr als 20 Tonnen je Tag.

##### 4.6.4.2 Gewerbeabfallverordnung<sup>89</sup>

Wesentliches Ziel der Gewerbeabfallverordnung, die schwerpunktmäßig die Verwertung und Beseitigung von gewerblichen Siedlungsabfällen sowie Bau- und Abbruchabfällen regelt, ist die Trennung von Abfallfraktionen, um eine höhere stoffliche oder energetische Verwertung zu erreichen. Zu den Gruppen, die nach der Gewerbeabfallverordnung getrennt gesammelt werden sollen, zählen Papier und Pappe, Glas, Kunststoffe und Metalle, aber nicht Holz. So dürfen Erzeuger und Besitzer von gewerblichen Siedlungsabfällen gem. § 4 Gewerbeabfallverordnung einem zur Vorbehandlung bestimmten Gemisch gewerblicher Siedlungsabfälle Holz als Abfall zuführen: Weitere Ausführungen zur Gewerbeabfallverordnung befinden sich in den rechtlichen Regelungen zum Materialflusssystem „Steine/Erden-Zement-Beton-Wohngebäudekonsum“.

##### 4.6.4.3 Altholzverordnung<sup>90</sup>

Nach der Altholzverordnung ist Altholz in verschiedene Kategorien eingeteilt, wobei Altholz, das Sonderabfall ist, wegen seiner Schadstoffbelastung in die höchste Kategorie „A IV“ einzustufen ist. Nach der AltholzV kommt weder der stofflichen (§ 4 Abs. 3 KrW -/AbfG) noch der energetischen (§ 4 Abs. 4 KrW -/AbfG) Verwertung ein Vorrang zu, da es bei Altholz als nachwachsendem Rohstoff keine eindeutigen Vor-

---

<sup>89</sup> Verordnung über die Entsorgung von gewerblichen Siedlungsabfällen und von bestimmten Bau- und Abbruchabfällen (Gewerbeabfallverordnung – GewAbfV) vom 19. Juni 2002, BGBl. I S. 1938, zuletzt geändert durch Art. 2 des Gesetzes vom 25. Juli 2005, BGBl. I, Nr. 46, S. 2252.

<sup>90</sup> Verordnung über Anforderungen an die Verwertung und Beseitigung von Altholz (Altholzverordnung – AltholzV) vom 15. August 2002, BGBl. I S. 3302.

oder Nachteile für die eine oder andere Verwertungsart gibt. Der Abfallbesitzer hat die Wahl zwischen stofflicher und energetischer Verwertung, wobei aber für die energetische Verwertung beim Heizwert, dem Feuerwirkungsgrad, der entstehenden Wärme und dem weiter anfallenden Abfall bestimmte Voraussetzungen erfüllt sein müssen (§ 6 Abs. 2 KrW-/AbfG). Altholz der Kategorie „A IV“ darf stofflich nur verwertet werden, um Synthesegas zur weiteren chemischen Nutzung zu gewinnen oder um Aktivkohle herzustellen, § 3 Abs. 1 i. V. m. Anhang I AltholzV. Altholz, das nicht verwertet wird, ist zum Zwecke der Beseitigung einer thermischen Behandlungsanlage zuzuführen, § 9 AltholzV. Hierfür kommen Anlagen zur Verbrennung, Pyrolyse und Vergasung in Betracht.

#### **4.6.4.4 Verpackungsverordnung<sup>91</sup>**

Die Verpackungsverordnung trifft Regelungen für alle im Geltungsbereich des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes in Verkehr gebrachten Verpackungen unabhängig von den Materialien, aus denen sie bestehen (§ 2 Verpackungsverordnung).

Die folgenden allgemeinen Vorgaben an die Herstellung und den Vertrieb von Verpackungen sind nach der Verpackungsverordnung einzuhalten (§ 12 Verpackungsverordnung):

- Verpackungsvolumen und -masse sind auf das Mindestmaß zu begrenzen, das zur Erhaltung der erforderlichen Sicherheit und Hygiene des verpackten Produkts und zu dessen Akzeptanz für den Verbraucher angemessen ist.
- Die Wiederverwendung oder Verwertung muss möglich sein und die Umweltauswirkungen bei der Verwertung und Beseitigung von Verpackungsabfällen müssen auf ein Mindestmaß beschränkt sein.
- Schädliche und gefährliche Stoffe und Materialien müssen bei der Beseitigung von Verpackungen oder Verpackungsbestandteilen in Emissionen, Asche oder Sickerwasser auf ein Mindestmaß beschränkt sein.

Nach einer langen Diskussion über eine Revision der Richtlinie von 1994 über Verpackungen und Verpackungsabfälle ist seit Februar 2004 deren Novellierung durch die Richtlinie 2004/12/EG<sup>92</sup> in Kraft. Die Änderungen wurden in Deutschland im Januar 2006 umgesetzt. Die Richtlinie stellt erhöhte Anforderungen und zu erreichende Zielquoten bei der Verwertung von Verpackungsabfall. So wird die Mindestmenge der stofflichen Verwertung von Verpackungsabfällen in den Mitgliedstaaten von 25 auf 55 % erhöht. Diese Quote muss bis Ende 2008 erreicht sein. Im Regulationssystem der Richtlinie hat die Vermeidung von Verpackungsabfall erste Priorität.

---

<sup>91</sup> Verordnung über die Vermeidung und Verwertung von Verpackungsabfällen (Verpackungsverordnung – VerpackV) vom 21. August 1998, BGBl. I, S. 2379, zuletzt geändert durch BGBl. I vom 6. Januar 2006, S. 2.

<sup>92</sup> Richtlinie 2004/12/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 11.02.2004 zur Änderungen der Richtlinie 94/62/EG über Verpackungen und Verpackungsabfälle, ABl. Nr. L 47/26 vom 18.02.2004.

Weitere Hauptprinzipien sind die Wiederverwendung von Verpackungen, die stoffliche Verwertung und die anderen Formen der Verwertung der Verpackungsabfälle sowie als Folge daraus eine Verringerung der Abfälle, die einer endgültigen Beseitigung zuzuführen sind. Zur Verwirklichung des Verwertungsziels werden in Art. 6 Quoten für die Verwertung von Verpackungsabfällen festgelegt, die bis zum Jahr 2008 erhöht wurden. Zudem ist die Einrichtung von Rücknahme-, Sammel- und Verwertungssystemen vorgesehen. Besonders überwachungsbedürftige Abfälle im Bereich der Verpackungsabfälle entstehen hauptsächlich durch die Kontamination der Verpackung mit den darin transportierten besonders überwachungsbedürftigen Abfällen. Maßgeblicher Faktor für die Reduktion bei den Abfallströmen werden deshalb nicht die Quoten für die Verwertung von Verpackungsabfällen sein, sondern die Entsorgungskosten für solche Verpackungen, die zu entsorgen sind und nicht mehr recycelt werden können.

Nach der novellierten Richtlinie 2004/12/EG gelten für die stoffliche Verwertung einzelner Stoffgruppen die folgenden Mindestzielvorgaben:

Tabelle 4.32 Mindestzielvorgaben für die stoffliche Verwertung einzelner Stoffgruppen, aus Verpackungsabfällen bis 31.12.2008

<b>Material</b>	<b>Gewichtsprozent</b>
Papier und Karton	60 %
Holz	15 %

Eine Pflicht zur Kennzeichnung von Verpackungsmaterial ist nach der Verpackungsverordnung nicht vorgesehen. Nach § 14 können Verpackungen zur Identifizierung des Materials mit den in Anhang IV der Verpackungsverordnung festgelegten Nummern und Abkürzungen gekennzeichnet werden.

#### **4.6.4.5 Bioabfallverordnung<sup>93</sup>**

Bioabfälle nach der Bioabfallverordnung sind Abfälle tierischer oder pflanzlicher Herkunft zur Verwertung, die durch Mikroorganismen, bodenbürtige Lebewesen oder Enzyme abgebaut werden können; hierzu gehören insbesondere die in Anhang 1 Nr. 1 genannten Abfälle; Bodenmaterial ohne wesentliche Anteile an Bioabfällen gehört nicht zu den Bioabfällen; Pflanzenreste, die auf forst- oder landwirtschaftlich genutzten Flächen anfallen und auf diesen Flächen verbleiben, sind keine Bioabfälle;

Anhang I der Verordnung enthält die grundsätzlich geeigneten Bioabfälle, die auf Flächen verwertet werden können, sowie grundsätzlich als mineralische Zuschlagstoffe geeignet sind. Als Bioabfälle aus der Forstwirtschaft enthält Anhang I der Ver-

<sup>93</sup> Verordnung über die Verwertung von Bioabfällen auf landwirtschaftlich, forstwirtschaftlich und gärtnerisch genutzten Böden vom 21. September 1998, BGBl I 1998, 2955; zuletzt geändert am 26.11.2003, BGBl. I, 2373.

ordnung Rinden, Holz, Holzreste mit dem AVV-Schlüssel 02 01 07. Rinde, naturbelassenes Holz oder naturbelassene Holzreste dürfen nach entsprechender Zerkleinerung im Rahmen einer Kompostierung auch solchen Bioabfällen als Zuschlagstoffe zugegeben werden, die auf Dauergrünlandflächen aufgebracht werden.

Die Bioabfallverordnung enthält verbindliche Qualitätsanforderungen an die Behandlung von Bioabfällen, die in Anhang I der Bioabfallverordnung aufgelistet sind. Die Bioabfallverordnung beschränkt und verbietet die Aufbringung von Bioabfällen auf Nutzböden im Erwerbsanbau. So schreibt sie vor, dass Bioabfälle vor der Aufbringung einer Behandlung zuzuführen sind, die sicherstellt, dass Gesundheitsbeeinträchtigungen für Mensch oder Tier durch Krankheitserreger verhindert werden. Keine Anwendung findet die Verordnung bei der Aufbringung auf Haus-, Nutz- und Kleingärten, Flächen des Landschaftsbaus und der Rekultivierung. Auch die Eigenverwertung in landwirtschaftlichen Betrieben und in solchen des Garten- und Landschaftsbaus unterliegt nicht den Anforderungen der BioAbfV.

#### **4.6.4.6 Selbstverpflichtung der Arbeitsgemeinschaft Graphische Papiere für eine Rücknahme und Verwertung gebrauchter graphischer Papiere (AGRAPA)**

Die Selbstverpflichtung von 1994 (und 2001 erneuert) enthält folgende Regelungen:

- Einhaltung einer Quote für die stoffliche Verwertung graphischer Altpapiere von 80 % +/- 3 %,
- Einsatz recyclingfreundlicher Faserstoffe, Papierhilfsmittel und Füllstoffe,
- Förderung des Vertriebes altpapierhaltigen Papiers mittels Ausweitung bzw. Diversifizierung des Angebots,
- Unterstützung von Forschung und Entwicklung recyclingfreundlicher Materialkombinationen, Endprodukte und Produktionsabläufe,
- Beratung der öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger bzgl. einer kostengünstigen und qualitätssicheren Altpapierfassung.

#### **4.6.4.7 Möbelkonsum**

Gebrauchte Möbel, die von Privathaushalten entsorgt werden, zählen zum Siedlungsabfall. Für Siedlungsabfälle privater Haushalte (§ 13 Abs. 1 KrW-/ AbfG) und für Abfälle zur Beseitigung aus anderen Herkunftsbereichen, z. B. Gewerbeabfälle, soweit sie nicht in eigenen Anlagen beseitigt werden, besteht eine Überlassungspflicht gegenüber dem öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger. Die öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger führen dazu regelmäßig eigene Sperrmüllsammlungen durch und holen den Sperrmüll bei den Überlassungspflichtigen ab.

Anknüpfend an die gesetzlichen Vorgaben des KrW-/AbfG zum Vorrang der Verwertung ist in der Altholzverordnung eine verwertungsbezogene Getrennthaltungspflicht vorgeschrieben (§ 9 AltholzV), jedoch ist bezüglich Möbeln ein striktes Getrennthaltungsgebot für einzelne Fraktionen nicht vorgeschrieben, d. h. auch nicht für Holz.

#### **4.6.5 Zusammenfassung der Handlungsoptionen für das Materialflusssystem**

Für das Materialflusssystem Forst-Papier-Möbelkonsum sind nach den Untersuchungen des Projekts zur Erschließung weiterer deutlicher Umweltentlastungspotenziale die folgenden Empfehlungen besonders hervorzuheben:

- Der Bedeutung des eigentlichen Rohstoffes Holz für die Papierherstellung (ungefähr 50 Mio. t/a an Holz-Frischmasse) sollte deutlich mehr in den Mittelpunkt gestellt werden. Holz aus zertifizierten Beständen mit dem FSC-Label sollte daher eine verstärkte Förderung zum Einsatz für die Papierindustrie (und Möbeldustrie) erfahren.
- Das stetig anwachsende Materiallager auch im Möbelbereich sollte in Zukunft optimiert erschlossen werden. Durch bessere Erfassung und Materialseparierung nach Ablauf der Lebensdauer sind im Hinblick auf hochwertige stoffliche und energetische Nutzungen noch Umweltentlastungspotenziale erschließbar.

### **5 Übersicht zu Potenzialen und Handlungsoptionen**

Durch die in diesem Projekt gewählte Vorgehensweise zur Vorauswahl besonders relevanter Materialströme über den dualen Blick „Sektoren bzw. produzierte Güter“ und „Konsumgüter“ konnten rasch und effizient relevante Materialien identifiziert werden (vgl. Abschnitt 3). Die nachfolgende tiefer gehende Untersuchung der selektierten Posten im Kontext ihrer Materialflusssysteme zeigt beträchtliche zusätzliche Potenziale zur Ressourcenschonung, zur Minderung von Emissionen und Abfällen, zur Reduzierung von Treibhausgasen und zur Adressierung von Risiken (Schadstoffe z. B. in den erheblichen Materiallagern von Gebäudebeständen) auf. Wichtige Handlungsoptionen zu den einzelnen Materialflusssystemen (z. B. Eisen-erz-Stahl-Fahrzeugbau-PKW-Konsum) finden sich jeweils am Ende der entsprechenden Unterabschnitte in Kapitel 4.

In Tabelle 5.1 sind die wichtigsten Potenziale und Handlungsoptionen zusammengefasst. Die Angaben sind in Kapitel 4 dieses Endberichts näher beschrieben bzw. hergeleitet. Dazu finden sich dort weitere Daten, Details und die herangezogenen Quellen. Die dargestellten Potenziale dienen in erster Linie dazu, einen Eindruck von der Größenordnung der Potenziale und des jeweiligen Schwerpunkts (z. B. Schwefeldioxidemissionen) zu erhalten. Einerseits handelt es sich in der Regel zunächst um rein technische Potenziale, d. h. sie stellen für die genannten Zeiträume in der Regel anzustrebende Maximalgrößen dar. Andererseits bedarf es für die Konkretisierung der z. T. geschätzten Potenziale sowie der Handlungsoptionen vertiefender Untersuchungen für ausgewählte Schwerpunkte (siehe Kap. 6).

Tabelle 5.1 Übersicht Potenziale und Handlungsoptionen

Bereich	Potenzial	Handlungsoption
Stahlherstellung	<b>Reduktion Primärenergieverbrauch: 17 bzw. 27% (128 bzw. 204 PJ/a entspricht ca. 10 – 15 Mio. t/a CO<sub>2</sub>-Äquivalente) zwischen 2000 und 2030</b> , untere bzw. obere Variante (Erhöhung Elektrostahlanteil von 28,7% auf 33% bzw. 45%)	Energieeinsparung durch Innovationen bei Elektrostahl- und Oxygenstahlherstellung, zusätzlich Erhöhung des Anteils der Elektrostahlproduktion durch forcierte Altschrotterfassung und -verwertung (Rückbau von Gebäuden etc.)
Stahlherstellung	<b>Vermeidung der Deponierung von bis zu 350.000 t/a Gichtgasschlamm</b> , Verwertung vor allem von Eisen-, Blei-, und Zinkanteilen	Schaffung geeigneter und ausreichender Verwertungskapazitäten für Gichtgasschlämme
Fahrzeugbau	<b>Minderung Fahrzeuggewicht: bis 40% (ca. 3,4 Mio. t/a); damit Reduktion Primärenergieverbrauch: bis 40% (318 PJ/a entspricht ca. 18 Mio. t/a CO<sub>2</sub>-Äquivalente)</b> , zusätzlich Einsparung erheblicher Treibstoffmengen	Fortgesetzte Forschung und Entwicklung von leichteren Bauteilen und Fahrzeugkonstruktionen sowie entsprechende Realisierung
Mineralölindustrie	<b>Minderung Gesamtenergieverbrauch: ca. 5 – 10% (16 – 32 PJ/a entspricht ca. 1,2 – 2,4 Mio. t/a CO<sub>2</sub>-Äquivalente)</b>	Umfassende Ertüchtigung der vielen Altanlagen
Mineralölindustrie	<b>Minderung Schwefeldioxidemissionen: ca. 50% (ca. 25.000 t/a)</b>	Anlagenertüchtigung nach Vorbild Kraftwerkentschwefelung
Kunststoffindustrie	<b>Steigerung Verwertung der anfallenden Kunststoffabfälle von 58,4% bis auf 80% (mind. 1 Mio. t/a, durch Dynamik langfristig 5 Mio. t/a zusätzlich)</b> , Basisjahr 2003: langfristig bis 2020, incl. energetischer Verwertung	Erhöhung der Verwertungsquoten vor allem aus mittel- und langlebigen Produkten (Fahrzeuge, Elektronikgeräte, Bauanwendungen): Minimierung Deponierung, bessere Erfassung etc.
Zementindustrie	<b>Minderung der spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen: 28% (ca. 2 Mio. t/a)</b> zwischen 1990 und 2008-2012 nach Selbstverpflichtung	Realisierung der Selbstverpflichtung durch weitere Optimierung der Energieeffizienz (Mahltechnik etc.) und verstärkten Einsatz von Sekundärbrennstoffen biogenen Ursprungs
Zementindustrie	<b>Minderung der NO<sub>x</sub>-Emissionen: 10 – 20% (ca. 4.000 – 8.000 t/a)</b> mittelfristig gegenüber 2004	Ausstattung der verbliebenen Altanlagen mit SNCR-Technik (selective non-catalytic reduction)
Betonherstellung	<b>Rohstoffeinsparung: bis 10% (bis 16 Mio. t/a)</b> ab ca. 2010	Förderung und stärkere Etablierung von Betonrecycling in hochwer-

		tigen Anwendungen (Zuschlag für Neubeton)
Wohngebäude	<b>Reduzierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen: ca. 52% (ca. 110 Mio. t/a)</b> zwischen 2000 und 2025	Forcierte Sanierung des vielfach energetisch suboptimalen Wohngebäudebestandes (Hauptoption)
Wohngebäude	<b>Reduzierung Bedarf mineralischer Rohstoffe: ca. 50% (ca. 80 Mio. t/a)</b> zwischen 2000 und 2025	Verlängerung der Gebäudelebensdauer durch umfassende Sanierungen, Zusammenlegungen von Wohnungen, Verringerung von Leerständen, Beschränkung Neubauvolumen auf Bedarf, Forcierter selektiver Rückbau von ungenutzten Gebäuden
Wohngebäude	<b>Reduzierung Flächeninanspruchnahme: von 31 ha/Tag auf 5 ha/Tag,</b> Nettobau- und Erschließungsflächen	Forcierte Erschließung der Innenentwicklungspotenziale (z.B. Brachflächen), angemessene Nachverdichtung
Wohngebäude	<b>Minimierung der Freisetzung von Problemstoffen (z.B. Schwermetalle, mineralische Fasern) bei Umbau und Rückbau</b>	Forcierung und qualitative Verbesserung des selektiven Rückbaus und der getrennten Erfassung und Verwertung, Ausschleusung von Problem- und Störstoffen aus den Materialkreisläufen und deren sichere und schadlose Entsorgung
Pflanzenbau, Tierhaltung	<b>Reduzierung Stickstoffüberschuss: um 30% (ca. 650.000 t/a; von 114 auf 80 kg/ha)</b> bis 2010 ausgehend von 1996-2000	Minderung des Düngemitelesatzes und Optimierung der Ausbringung
Tierhaltung	<b>Reduzierung der Ammoniakemissionen: 20 – 30% (ca. 90.000 bis 140.000 t/a)</b>	Optimierung des Gülleapplikationsmanagements (vor allem Zeitpunkt und Art der Einarbeitung)
Papierherstellung	<b>Deutliche Steigerung des Holzeinsatzes aus zertifizierten Beständen und (konsumseitig) steigende Verwendung umweltfreundlicher Papier,</b> Wichtiger Beitrag zur Biodiversität	Stärkere Verwendung von Holz aus naturnahem Anbau (FSC-Zertifikat) und Weiterentwicklung und Propagierung des Blauen Engel für Papier
Möbelkonsum	<b>Optimierte stoffliche und energetische Verwertung von Altmöbeln</b> Rohstoffpotenzial wächst in Zukunft durch Lageraufbau in Technosphäre (genauere Informationen und Daten bedürfen vertiefender Untersuchung)	Forcierte Separierung vor allem von Metallen (stoffliche Verwertung) und Holz (stoffliche Verwertung oder energetische Verwertung in Anlagen mit hohem Wirkungsgrad) aus Sperrmüll

## 6 Weiterer Untersuchungsbedarf und relevante Datenlücken

Durch dieses Projekt konnten mit Hilfe eines Materialstromansatzes besonders relevante Materialströme und die damit zusammenhängenden Produktionsprozesse, produzierten Güter bzw. Konsumgüter zeitnah und effizient identifiziert werden. Durch die auf diesem Weg erfolgte Prioritätensetzung ist eine wichtige Voraussetzung für eine Fortentwicklung der Kreislaufwirtschaft zu einer nachhaltigen Stoffstrom- und Ressourcenpolitik in Deutschland geschaffen worden. Da für die halbjährige Arbeit aus Kapazitätsgründen ausschließlich auf vorhandene Daten und Quellen zurückgegriffen werden sollte, ist die eigene Erhebung von Primärdaten (z. B. durch Interviews mit Fachleuten, Expertenworkshops etc.) weiteren vertiefenden Untersuchungen vorbehalten. Aus dem Projekt resultiert einerseits vertiefender Untersuchungsbedarf bezüglich der Erschließung wichtiger aufgezeigter Potenziale. Andererseits konnten auch einige relevante Daten- und Informationslücken identifiziert werden, die kurzfristig (d. h. in den nächsten ein bis zwei Jahren) geschlossen werden sollten.

### 6.1 Untersuchungsbedarf zur Erschließung relevanter Potenziale

Generell hat die Arbeit in mehreren Bereichen aufgezeigt, dass aus den wachsenden Materiallagern der Technosphäre zukünftig große Potenziale im Sinne der Ressourcenschonung und Energieeinsparung erschlossen werden können. Es wäre interessant, bestehende Regelungen auch allgemeiner Art, wie z. B. im Steuerrecht dahingehend zu untersuchen, ob es Regelungen gibt, die einen großen positiven (z. B. LKW-Maut) oder negativen Einfluss (z. B. hohe steuerliche Belastung des Faktors Arbeit im Vergleich zum Faktor Ressourcen) auf ein nachhaltiges Materialmanagement haben und welches Ausmaß hierzu jeweils von Experten eingeschätzt wird.

#### 6.1.1 Materialflusssystem Eisenerz-Stahl-Fahrzeugbau-PKW-Konsum

Für den Bereich der Stahlindustrie sind vertiefende Untersuchungen hinsichtlich der notwendigen Bedingungen für eine nachhaltige Erhöhung der Energieeffizienz sowie der Ressourcenschonung durch Stärkung des Altschrotteinsatzes in der Stahlindustrie (Elektrostahlroute) wichtig, um das große Umweltentlastungspotenzial zu realisieren (vgl. Kap. 4). Im Bereich der Stahlindustrie wäre daher eine umfassende und detaillierte Potenzialermittlung in allen – überwiegend mittel- bis langlebigen – Anwendungsbereichen (Altfahrzeuge, Wohngebäude, Nichtwohngebäude, Schieneninfrastruktur, Maschinen etc.) sehr wichtig, um bzgl. der Entwicklung des Altschrottpotenzials zu besser detaillierten Szenarien bzw. Prognosen zu gelangen. Diese für staatliche und privatwirtschaftliche Akteure gleichermaßen wichtigen Informationen sind wiederum essentielle Voraussetzung hinsichtlich der Konkretisierung der notwendigen Rahmenbedingungen für eine optimale Steigerung des Sekundärrohstoffeinsatzes in der Zukunft.

Im Fahrzeugbau ist die Untersuchung der bisherigen und zukünftig zu erwartenden Effekte durch die Entwicklung und den Einsatz Gewicht sparender Bauteile (Treibstoffeinsparung) eine Aufgabe von dauerhafter Relevanz. Gegenläufige Effekte (Steigerung des Fahrzeuggewichts durch größere, leistungsstärkere PKW sowie neue „Extras“, die z. T.

anderen Zielen (z. B. Erhöhung der Sicherheit) dienen, sind hier zu berücksichtigen. Lebenszyklusanalysen, die u. a. geeignet sind, ggf. kontraproduktive Entwicklungen (z. B. Einsatz extrem energieaufwendig herzustellender Bauteile) frühzeitig aufzuzeigen, sind hierfür heranzuziehen. Im Bereich der Altfahrzeuge sollten kurzfristig die Ergebnisse bzgl. des Monitorings zu den Verwertungsquoten (Frühjahr 2006) ausgewertet und die Entwicklung bzgl. der Fortschritte bei den Verwertungsverfahren zur Behandlung der Shredderleichtfraktion (z. B. VWSicon) zeitnah verfolgt werden.

### **6.1.2 Materialflusssystem Erdöl/Erdgas-Erdölverarbeitung-Kraftstoffkonsum**

Auf der Seite der Produktionsprozesse in diesem Materialflusssystem sind vor allem vertiefende Untersuchungen bzgl. der technischen Möglichkeiten und geeigneten Maßnahmen zur deutlichen Reduzierung der Schwefeldioxidemissionen in der Mineralölverarbeitung notwendig. Hinsichtlich der Forcierung der Kunststoffverwertung vor allem aus mittel- und langlebigen (z. B. Elektronikanwendungen) und langlebigen Anwendungen (Hoch- und Tiefbau, Fahrzeuge etc.) ist – vergleichbar mit Stahl – eine genauere Kenntnis des Kunststoffinventars in den Materiallagern notwendig. Neben den Informationen zu Mengen stehen Fragen des Inventars von Problemstoffen (z. B. Schwermetalle) und des optimalen selektiven Rückbaus im Vordergrund (vgl. Anmerkungen zum Untersuchungsbedarf im Bereich Wohngebäude).

### **6.1.3 Materialflusssystem Steine&Erden-Zement-Beton-Wohngebäude**

Für den Bereich der Zementindustrie ist ein detaillierter aktueller Überblick über die technischen Möglichkeiten und geeigneten Maßnahmen zur deutlichen Reduzierung der Staub- und Stickoxidemissionen (Ertüchtigung von Altanlagen etc.) für vertiefende Untersuchungen von Interesse.<sup>94</sup> Eine explizite Untersuchung des aktuellen ökologischen Standes der Deutschen Zementindustrie vor dem Hintergrund des BAT (Dez. 2001) und der Selbstverpflichtung der Deutschen Zementindustrie sowie im Hinblick auf Erschließung noch weiterer Potenziale wäre ein wichtiger eigener Forschungsgegenstand. Neben Maßnahmen zur Reduzierung des Energieverbrauchs und der CO<sub>2</sub>-Emissionen (u. a. max. Potenzial von Sekundärbrennstoffen) sollten Detailuntersuchungen hinsichtlich der Minimierung des Austrags von Spurenelementen (Einfluss des Spektrums an Brennstoffen bzw. Sekundärbrennstoffen etc.) im Mittelpunkt eines Statusberichts stehen.

Untersuchungsbedarf besteht weiterhin vor allem hinsichtlich geeigneter Maßnahmen und Initiativen zur entscheidenden Verbesserung bei der Praxis des Rückbaus von Gebäuden, da hier die gegenwärtigen Rahmenbedingungen nicht ausreichend sind. Nicht zuletzt aufgrund zahlreicher im Materiallager enthaltener Problemstoffe (z. B. Asbest, Schwermetalle) bzw. Störstoffe (z. B. Gips bzgl. Betonrecycling, Dämmstoffe aus Fasermaterial etc.), die das erfolgreiche hochwertige Recycling in der Praxis erschweren oder gar verhindern, sollten Wege für eine aus ökologischer Sicht optimale Materialtrennung durch selektiven Rückbau gefunden werden, die Aspekten der Praxistauglichkeit (Aufwand, Kos-

<sup>94</sup> Hinsichtlich der angesprochenen Themen bzgl. der Zementindustrie hat das Umweltbundesamt bereits entsprechende Untersuchungen vorgesehen.

ten, Bagatellgrenzen etc.) gleichermaßen Rechnung trägt. Eine entsprechende Untersuchung sollte ergebnisoffen alle denkbaren Kategorien von Maßnahmen (Anpassung des Ordnungsrechts, kommunikative Maßnahmen, freiwillige Maßnahmen wie Selbstverpflichtung von Verbänden etc.) im Hinblick auf ihre Effizienz und Praxisnähe zur zukünftigen verbesserten Erschließung der Potenziale umfassen.

Weiterhin ist hinsichtlich von möglichen Maßnahmen zur zukünftig besseren Aktivierung des Materiallagers aus dauerhaft ungenutzten Gebäuden (Dauerleerstände bei Bürogebäuden, Fabrikhallen, Wohnblöcken etc.) eine Untersuchung zu bestehenden Hemmnissen sehr wichtig, incl. der Entwicklung von konkreten Vorschlägen zu ihrer Überwindung. In diesem Zusammenhang ist nicht zuletzt der umfassende Komplex der Subventionen und steuerlichen Rahmenbedingungen zu nennen. Die gegenwärtige im Hinblick auf Wirkungen bzgl. Ressourcenschonung kontraproduktive Ausgestaltung der Grunderwerbssteuer ist hier als ein wichtiges Beispiel zu nennen. Daher sollte in vertiefenden Untersuchungen geprüft werden, ob bestehende Ausgestaltungen von Regelungen (wie z. B. bzgl. der Grunderwerbssteuer) die Aktivierung des Materiallagers aus dem Bestand unterstützt oder etwa konterkariert.

Denn das Haupthemmnis der fehlenden Materialaktivierung aus den Beständen durch Rückbau ist nicht zuletzt ökonomischer Natur. Beim Vergleich der Abrisszahlen und der Gründe für den Abriss zwischen den ABL und den NBL wird deutlich, dass bei den wenigen Abrissaktivitäten im Westen meist ein triftiger ökonomischer Grund vorliegt (Neubau von Wohn- oder Nichtwohngebäuden).<sup>95</sup>

#### **6.1.4 Materialflusssysteme Biomasse-Pflanzenverarbeitung-Brotkonsum sowie Biomasse-Tierfutter-Tierhaltung-Fleischkonsum**

Im Bereich der Landwirtschaft bedarf es in erster Linie umfassender Untersuchungen hinsichtlich der Frage, in welcher Weise mit den Flächenfreisetzungen, die in den nächsten zwanzig Jahren durch die Produktivitätssteigerungen der Landwirtschaft zu erwarten sind, im Sinne der Nachhaltigkeit optimal umzugehen ist (z. B. Flächen für Naturschutz, für stoffliche oder energetische Nutzung von Biomasse). Weiterhin sind Untersuchungen dazu wichtig, auf welche Weise, mit welchen Mitteln und mit welchen Erfolgsaussichten die weiterhin hohen Ammoniakemissionen aus dem Bereich der Landwirtschaft deutlich reduziert werden können. Diese Untersuchung sollte ein breites Spektrum von möglichen Optionen (z. B. technische Emissionsminderungen in der Massentierhaltung, Art und Weise der Gülleaufbringung etc.) umfassen.

---

<sup>95</sup> In den NBL dominiert durch die Subvention des Rückbaus die Schaffung von Frei- und Verkehrsflächen; 2004: ABL gesamt: Abriss 1.324.000 m<sup>2</sup> Wohn- und Nutzfläche gesamt, davon 237.000 m<sup>2</sup> (17,9 %) für Schaffung von Verkehrs- und Freiflächen, Rest Neuerrichtung Wohn- bzw. Nichtwohngebäude; NBL: 2004 gesamt: 2.713.000 m<sup>2</sup>, davon 1.754.000 m<sup>2</sup> (65 %) für Schaffung von Verkehrs- und Freiflächen, Rest Neuerrichtung von Wohn- bzw. Nichtwohngebäuden.

### **6.1.5 Materialflusssystem Biomasse-Forst-Papier-Möbelkonsum**

Für eine verbesserte Erschließung der Potenziale des Materiallagers aus Altmöbeln ist eine Untersuchung hinsichtlich der besten bzw. effizientesten Praxis in Deutschland Ziel führend. Da Altmöbel in der Regel über den Sperrmüll oder kommunale Bauhöfe entsorgt werden und hier die Details in der Praxis von Gebietskörperschaft zu Gebietskörperschaft unterschiedlich sind, ist eine Eruiierung von Best-Practice-Strategien interessant (z. B. optimale Erfassung- und Verwertungsergebnisse für Metallanteile, Holzanteile etc.). Die nachfolgende deutschlandweite Kommunikation entsprechender Erkenntnisse zu vorbildlichen Verwertungsstrategien im Bereich Altmöbel/Sperrmüll ist auch angesichts zumindest regional feststellbarer Engpässe bei den Entsorgungskapazitäten (Stichwort: Zwischenlager) von Bedeutung.

## **6.2 Schließung wichtiger Datenlücken**

Im Zusammenhang mit der Frage von Datenlücken ist unbedingt auf den aus Ressourcengesichtspunkten sehr interessanten Bereich des Materiallagers der Nichtwohngebäude (hohe Anteile an Metallen, Beton etc.) hinzuweisen. Hier ist – im Vergleich mit den Wohngebäuden – ein erheblich geringerer Kenntnisstand hinsichtlich der materialscharfen Quantitäten und ihrer möglichen Mobilisierungszeiträume und -raten festzustellen. Es wird daher empfohlen, diese eminenten Datenlücken durch eine eigene vertiefende Untersuchung zu schließen (vgl. hierzu Kap. 4.3.5 „Exkurs zu Nichtwohngebäuden in Deutschland“).

Erhebliche Datenlücken wurden ebenfalls im Bereich der Elektro- und Elektronikprodukte und der damit verbundenen Ressourcenpotenziale festgestellt. Hier wäre ebenfalls ein deutlich besserer Wissenstand für eine Einschätzung der Potenziale und der Handlungsoptionen wünschenswert. Aufgrund der besonderen Komplexität und Dynamik in diesem Bereich (rasche Veränderung von Modellen und technologischen Eigenschaften der Produkte, Vielfalt z. T. „exotischer“, jedoch aus Ressourcengesichtspunkten wichtiger Metalle etc.) wird hier der Untersuchungsaufwand – vorbehaltlich einer notwendigen detaillierten Beschreibung – im Vergleich zur oben genannten Schließung der Datenlücken bzgl. der Nichtwohngebäude als umfassender eingeschätzt.

## Anhang 1: Literatur

- Agrar 2000 „Indikatoren für die Integration von Umweltbelangen in die Gemeinsame Agrarpolitik“, Mitteilung der Kommission, Kom (2000) 20, endgültig.
- Agrar 2005 Agrarpolitischer Bericht der Bundesregierung 2005, BMVEL, Berlin 2005.
- Altmann 2002 M. Altmann et al.: Vergleich verschiedener Antriebskonzepte im Individualverkehr im Hinblick auf Energie- und Kraftstoffeinsparung, Studie im Auftrag des Bayerischen Staatsministeriums für Landesentwicklung und Umweltfragen, L-B-Systemtechnik GmbH (LBST), Ottobrunn LBST 2002.
- BAT Cement 2001 IPPC: Reference Document on Best Available Techniques in the Cement and Lime Manufacturing Industries, EIPPC; Sevilla (Dec. 2001).
- BAT Mineral Oil 2003 Reference Document: on Best Available Techniques for Mineral Oil and Gas Refineries; EIPPC; Sevilla 2003.
- BAT Steel 2001 Reference Document: on Best Available Techniques on the Production of Iron and Steel; EIPPC; Sevilla (Dec. 2001).
- BDSV 2004 Beschäftigte, Umsatz und Investitionen, BDSV: [http://www.bdsv.de/branche/b\\_fakten.php](http://www.bdsv.de/branche/b_fakten.php).
- BDZ 2002 Nachhaltigkeit und Zementindustrie, Kurzfassung, Bundesverband der Deutschen Zementindustrie 2002.
- BDZ 2005 Zahlen und Daten 2004-2005, Bundesverband der Deutschen Zementindustrie e.V., Düsseldorf 2005.
- Bilitewski 2005 Bilitewski; Müll und Abfall, 6/2005.
- Böhm 2000 Böhm et al. „Emissionsinventar Wasser für die Bundesrepublik Deutschland“, UBA Forschungsberichte 296 21 524/01, UBA-Texte 53/00.
- Bundesreg. 2002 Perspektiven für Deutschland – Unsere Strategie für eine nachhaltige Entwicklung, Bundesregierung, April 2002.
- BV Baustoffe 2000 Der Bedarf an mineralischen Baustoffen, Bundesverband Baustoffe – Steine und Erden, Frankfurt/Main 2000.
- DIW 2002 „Fahrleistung und Kraftstoffverbrauch im Straßenverkehr“, DIW-Wochenbericht 51–52/2002 (Seite 881), Berlin, 19. Dezember 2002.
- consultic 2004 Consultic Marketing & Industrieberatung: Produktions- und Verbrauchsdaten für Kunststoffe in Deutschland unter Einbeziehung der Verwertung 2003. Ausgearbeitet für PlasticsEurope Deutschland. August 2004.

- Ecoinvent 2004 Ecoinvent Report No 1: Data v1.1, Düsseldorf, June 2004, Part II: Plastics: Hischier R. (2004) Life Cycle Inventories of Packagings and Graphical Papers. ecoinvent-Report No. 11, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, 2004.
- Enquete 2001 AG Energiebilanzen/ Enquete-Kommission „Nachhaltige Energienutzung“.
- Eurich-Menden 2004 Eurich-Menden et.al. „Technische Minderungspotenziale zur Ammoniakemissionsminderung auf Betriebsebene“, KTBL, Darmstadt 2004.
- Fehrenbach 2004 Fehrenbach, Giegrich, Neuhoff; „Auswirkungen der neuen Kraft- und Brennstoffqualitäten auf die Abwasser- und Abgasreinigungstechniken der Mineralölraffinerien“; Forschungsvorhaben des UBA; FKZ 202 43 371; Berlin, Heidelberg 2004.
- Fritsche 2004 Fritsche et al. „Stoffstromanalyse zur nachhaltigen energetischen Nutzung von Biomasse“, Öko-Institut e.V., Darmstadt 2004, ISBN 3-934490-20-4.
- Görg 2002 Görg, H., „Trägerische Ruhe. Mineralische Abbruchmassen und Bodenaushub erfordern eine differenzierte Betrachtungsweise des Gesetzgebers“, Müllmagazin 1/2002.
- IAI 2000 Stoffstrommanagement Papier, Instrumentenentwicklung, Handlungsfelder, Defizitanalyse, IAI, Bochum, 2000.
- IFEU 2003 Detzel, A.: Kritische Begutachtung der INFOR-Studie „ECF-/TCF-Zellstoffe“. Gutachten des IFEU-Instituts, Heidelberg, im Auftrag des Verbands der deutschen Papierindustrie (VDP), 2003. Unveröffentlicht.
- IFP 2002 Hamm, U. und Göttching, L.: Vergleich der aquatischen Umweltbelastung bei der Erzeugung von ECF- und TEC-Sulfatzellstoffen. INFOR-Projekt. Studie des Instituts für Papierfabrikation (IFP), Darmstadt, im Auftrag des Verbands der deutschen Papierindustrie (VDP), 2002. Unveröffentlicht.
- IÖR 2005 Deilmann, C.; Gruhler, K.; Böhm, R.: Stadtumbau und Leerstandsentwicklung aus ökologischer Sicht, Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung e. V., oekom Verlag, München 2005.
- IPAI 2000 International Primary Aluminium Institute (IPAI), „Aluminium Application and Society – Paper I: Automotive“, IPAI May 2000.
- ISI 2001 Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung, Systematisierung der Potenziale und Optionen, Endbericht an die Enquete-Kommission „Nachhaltige Energieversorgung unter den Bedingungen der Globalisierung und Liberalisierung“, 2001.
- ISI 2004 Jochem, E. et al., „Werkstoffeffizienz – Einsparpotenziale bei Herstellung und Verwendung energieintensiver Grundstoffe“, Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung ISI, Förderung durch BMWA (FKZ 0327313A), 2004.

- Jochem 2004 Werkeffizienz – Einsparpotenziale und Verwendungen energieintensiver Grundstoffe, Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung 2004.
- Kohler 2001 Kohler, G., „Recyclingprodukte und neue Einsatzgebiete (2001).
- KWTB 2001 Monitoring-Berichte Bauabfälle, (1996 u. 1998), ARGE Kreislaufwirtschaftsträger Bau, Berlin, Düsseldorf, Duisburg, 20.03.2000 bzw. 30.11.2001.
- KWTB 2003 3. Monitoring-Bericht Bauabfälle (Erhebung 2000), Teil 1 Nachhaltige Bauwirtschaft, Teil 2 Statistische Daten, ARGE Kreislaufwirtschaftsträger Bau, Berlin, Düsseldorf, Duisburg, 31.10.2003.
- LIRECAR 2002 Schmidt, Life Cycle Assessment of Lightweight and End-of-Life Scenarios for Generic Compact Class Passenger Vehicles, Int J LCA 2002, 405–416.
- Mantau 2005 Mantau/Bilitewski, Stoffstrommodell Holz, Studie im Auftrag des Verbands Deutscher Papierfabriken, 2005, [http://www.vdp-online.de/pdf/Stoffstrommodell\\_Holz\\_LF.pdf](http://www.vdp-online.de/pdf/Stoffstrommodell_Holz_LF.pdf).
- MB 2005 Mercedes-Benz: Umweltzertifikat S-Klasse, 2005.
- Moll 2005 S. Moll et al. Iron & Steel – A Material System Analysis, European Topic Centre on Waste and Material Flows, 2<sup>nd</sup> draft, unpublished May 2005.
- MWV 2004 Jahresbericht des Mineralölwirtschaftsverbands (MWV), „Mineralöl in Zahlen“, 2004.
- NIR 2005 Deutsches Treibhausgasinventar 1990–2003, Nationaler Inventarbericht Deutschland, UBA-Texte 20/05, Umweltbundesamt Dessau 2005.
- Öko-Institut 2004a Buchert, M.; Dehoust, G.; Hermann, A.; Jenseit, W.; Schüler, D.; Schulze, F.: Literatur- und Datenrecherche zur Schaffung von Grundlagen für eine Fortentwicklung der Kreislaufwirtschaftspolitik zu einer nachhaltigen Stoffstrom- und Ressourcenpolitik, FKZ 904 31 356. im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Bonn 2004.
- Öko-Institut 2004b Buchert, M.; Fritsche, U.; Jenseit, W.; Rausch, L.: Nachhaltiges Bauen und Wohnen in Deutschland, Öko-Institut in Koop. mit IÖR Dresden und TU Dresden, Umweltbundesamt (Hrsg.), UBA-Text 01/2004.
- ÖWAV 2003 Die Anwendung der Stoffflussanalyse in der Abfallwirtschaft, ÖWAV-Regelblatt 514, Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband, Wien 2003.
- Patyk 2001 Patyk, A.: Sachbilanz im Bereich Mineralölverarbeitung und Verteilung; Studie (interner Bericht) des IFEU-Instituts im Auftrag der DGMK (Deutsche Wissenschaftliche Gesellschaft für Erdöl, Erdgas und Kohle) e.V., Hamburg, Heidelberg 2001.

- PlasticsEurope 2004 Homepage PlasticsEurope Deutschland Download: Kunststoffherzeugung in Deutschland 2004; 10 Graphiken veröffentlicht am 11.05.2005: [http://www.vke.de/download/pdf/050511\\_Grafiken\\_WPG.pdf?PHPSESSID=5e0b823351c1d795c852061cd4c5df95](http://www.vke.de/download/pdf/050511_Grafiken_WPG.pdf?PHPSESSID=5e0b823351c1d795c852061cd4c5df95).
- PlasticsEurope 2005 Boustead, I.: Eco-Profiles of the European Plastics Industry: Ethylene. Report for PlasticsEurope. March 2005.
- PGM 2005 Buchert, M.; Hagelüken, C.; Stahl, H.: Stoffströme der Platingruppenmetalle, Umicore AG & Co. KG, Öko-Institut, gefördert vom BMBF, GDMB Medienverlag, Clausthal-Zellerfeld 2005, ISBN 3-935797-20-6.
- SOEP 2004 Sozial-ökonomischer Panel des DIW, Berlin, Auswertung 2004.
- StBA 1994–2004a Bautätigkeit und Wohnungen. Fachserie 5, Reihe 3: Bestand an Wohnungen 1995-2005. Stuttgart: Metzler-Poeschel Verlag.
- StBA 1994–2004b Bautätigkeit und Wohnungen. Fachserie 5, Reihe 1: Bautätigkeit 1995–2005. Stuttgart: Metzler-Poeschel Verlag.
- StBA 2000 50 Jahre Wohnen in Deutschland – Ergebnisse aus Gebäude- und Wohnungszählung. Stichproben, Mikrozensus-Ergänzungserhebungen und Bautätigkeitsstatistiken. Stuttgart: Metzler-Poeschel Verlag.
- Stahl 2005 Stahlzentrum, <http://www.stahl-online.de>.
- UBA 1999 Steinhäuser, K. G.: Handlungsfelder und Kriterien für eine vorsorgende nachhaltige Stoffpolitik am Beispiel PVC, Umweltbundesamt (Hrsg.), Beiträge zur nachhaltigen Entwicklung 1, Erich Schmidt Verlag, Berlin 1999.
- UEA 2005 European Furniture Manufacturers Federation (UEA) und Europäische Kommission zum Abfall aus Altmöbeln und ihrer Behandlung, <http://www.ueanet.com/furniturewaste/>.
- VDA 2004 Verband der Deutschen Automobilindustrie: [www.vda.de](http://www.vda.de).
- Van Norden 2002 Van Norden, H.: Entsorgung von Sekundärabfällen der Baustoffaufbereitung, RWTH Aachen, im Auftrag des Umweltbundesamts (UFO-PLAN-Nr. 201 35 323), Berlin 2002.
- VDI 1996 VDI-Gesellschaft: Ganzheitliche Betrachtungen im Automobilbau, 1996.
- VDP 2005 VDP (Verband Deutscher Papierfabriken) Veröffentlichungen: Papier 2005 – ein Leistungsbericht, VDP 2005.
- VDZ 1996 Beton: Hart im Nehmen, Stark in der Leistung, Fair zur Umwelt, Verein Deutscher Zementwerke e. V, Düsseldorf 1996.
- VDZ 2005a Umweltdaten der Deutschen Zementindustrie 2004, Verein Deutscher Zementwerke e. V, Düsseldorf 2005.
- VDZ 2005b Verminderung der CO<sub>2</sub>-Emission, Umfrage zum Monitoring-Bericht 2004, Verein Deutscher Zementwerke e. V, Düsseldorf 2005.

- VKE/PlasticsEurope 2005 PlasticsEurope Deutschland, Arbeitsausschuss Statistik und Marktforschung: Plastics Business Data and Charts. Status: 2005-04-12. Webversion.
- VW 2005 S. Krinke, B. Bossdorf-Zimmer, D. Goldmann; „Ökobilanz Altfahrzeug-Recycling“, Langfassung, Volkswagen AG, 2005.
- WKI 2003 T. Gruber, „Möbelrecycling“, Fraunhofer-WKI, <http://www.wki.fhg.de/projekte/wki-2-9.html>.

## Anhang 2: Mitglieder der Steuerungsgruppe

Herr Olaf Bandt	BUND
Frau Christiane Böttcher-Tiedemann	Umweltbundesamt, FG III 2.2 (Vertretung Frau Dr. Karcher)
Prof. Dr. Paul H. Brunner	TU Wien, Institut für Wassergüte, Ressourcenmanagement und Abfallwirtschaft
Herr Hermann Keßler	Umweltbundesamt, FG III 3.2
Frau Susann Krause	Umweltbundesamt, FG III 3.2 (Vertretung Herr Keßler)
Herr Stephan Moll	Wuppertal Institut
Prof. Dr. Arnim von Gleich	Universität Bremen, FG Technikgestaltung und Technologieentwicklung, FB Produktionstechnik
Dr. Silke Karcher	Umweltbundesamt, FG III 2.2
Prof. em. Dr. Dr. h. c. Udo E. Simonis	Wissenschaftszentrum Berlin
Herr Mark Vallenthin	Umweltbundesamt, FG III 2.2 (Vertretung Frau Dr. Karcher)

## Anhang 3: Übersicht besonders relevanter Daten für die Vorauswahl

Produzierte Güter	Treibhausgase	Versauerung	KEA-gesamt	KEA-fossil	Rohstoff- mineralisch	Rohstoff- metallisch	Rohstoff- biotisch
	<i>1000 t CO2- Äqui</i>	<i>1000 t SO2- Äqui</i>	<i>TJ</i>	<i>TJ</i>	<i>1000 t</i>	<i>1000 t</i>	<i>1000 t</i>
<i>Erz. Roheisen/Stahl</i>	60.678	190	808.263	693.046	14.336	40.666	0
<i>Rohre</i>	5.746	33	102.796	96.581	2.056	4.534	0
<i>Erste Bearbeitung Eisen &amp; Stahl</i>	8.882	52	172.239	162.311	2.962	7.412	0
<i>Fahrzeugbau</i>	84.187	385	1.484.548	1.445.855	13.832	40.289	0
<i>Kokerei/Mineralöl</i>	71.852	483	838.526	829.739	1.377	1.012	0
<i>Erdöl / Erdgas</i>	1.966	2	0	0	248	78	0
<i>Kunststoffwaren</i>	10.272	37	408.237	402.503	5	2	0
<i>Gewebe aus Chemiefasern</i>	471	2	11.911	11.831	0	0	0
<i>Gummiwaren</i>	3.545	13	101.211	97.860	156	22	0
<i>Gew. Steine und Erden</i>	5.052	26	75.581	70.483	445.718	15	0
<i>Naturstein</i>	61	0	833	809	5.053	0	0
<i>Zement/Kalk/Gips</i>	46.715	81	236.361	228.721	76.153	26	0
<i>Erz. Beton</i>	32.192	67	184.657	178.467	190.203	46	0
<i>Ziegel und andere Baukeramik</i>	2.967	7	40.643	30.330	20.240	6	0
<i>Pflanzenbau</i>	7.996	38	56.364	50.496	811	10	0
<i>Mahl- u. Schalmühlen</i>	3.213	15	26.977	25.801	299	7	7.725

<b>Sonst. Ernährungsgewerbe</b>	21.531	88	235.023	234.656	745	38	99.800
<b>Obst/Gemüse/Öle/Fette</b>	19.541	66	300.366	280.915	338	53	17.340
<b>Getränkeherstellung</b>	10.131	26	139.223	133.491	382	25	7.004
<b>Tierhaltung</b>	66.215	505	353.226	336.347	4.016	164	201.346
<b>Fleischverarbeitung</b>	37.883	471	259.302	243.901	4.983	49	75.377
<b>Milchverarbeitung</b>	28.991	220	157.735	150.221	1.745	72	87.275
<b>Forstwirtschaft</b>	738	5	8.954	8.666	159	2	27.985
<b>Holzgewerbe</b>	7.352	35	300.152	191.063	256	49	46.181
<b>Papiergewerbe</b>	22.534	37	402.693	330.646	604	62	26.325
<b>Verlag &amp; Druck</b>	9.864	16	176.272	144.735	265	27	11.523
<b>Möbel</b>	639	4	23.234	21.668	5	1	802
<b>Kohlenbergbau Torfgewinnung</b>	2.758	7	23.895	23.859	36	12	0
<b>NE-Metalle</b>	11.930	62	162.303	113.349	595	4.877	0
<b>Glas</b>	2.670	14	52.380	45.956	2.829	16	1
<b>Keramik</b>	176	0	2.406	1.795	1.198	0	0
<b>sonst. Mineralerz.</b>	2.011	11	91.488	90.980	15.119	23	0

Datenzusammenstellung: Öko-Institut, IFEU-Institut Heidelberg

Konsumgüter	Treibhaus- gase	Versauerung	KEA-gesamt	KEA-fossil	Rohstoff- mineralisch	Rohstoff- metallisch	Rohstoff- bio- tisch
	1000 t CO2- Äqui	1000 t SO2-Äqui	TJ	TJ	1000 t	1000 t	1000 t
<b>Kraftfahrzeuge</b>	18.232	83	321.501	313.121	2.996	8.725	0
<b>PKW-Kraftstoffe</b>	36.160	243	421.995	417.572	693	509	0
<b>Heizöl</b>	11.749	85	128.821	126.243	375	204	0
<b>Gas</b>	9.262	22	121.400	119.711	458	232	0
<b>Wohngebäude</b>	35.300	99	295.450	273.505	150.000	2.349	4.600
<b>Instandhaltung HH</b>	648	3	25.417	16.322	29	4	5.194
<b>Brot</b>	13.925	43	171.242	163.916	681	38	14.975
<b>Gemüse</b>	1.292	7	8.959	8.936	225	2	16.131
<b>Getränke</b>	13.716	47	210.667	197.082	236	37	12.111
<b>Zuckerhalt. Produkte</b>	12.547	103	67.441	67.162	3.878	0	23.123
<b>Bier</b>	1.873	5	25.738	24.678	71	5	1.295
<b>Obst</b>	2.741	23	34.897	34.840	74	7	4.908
<b>Fleischwaren</b>	22.944	318	129.704	121.748	3.388	25	51.880
<b>Molkereiprodukte</b>	15.235	122	56.758	55.464	1.522	15	56.751
<b>Möbel</b>	3.366	23	122.430	114.175	28	6	4.226

<b>Zeitungen</b>	4.333	7	77.430	63.577	116	12	5.062
<b>Feste Brennstoffe</b>	2.821	6	26.788	26.476	33	5	0
<b>Gartenerzeugnisse</b>	476	1	2.885	2.773	3.817	1	0
<b>Gebrauchsgegenstände</b>	7.769	28	183.889	174.078	850	1.785	0

Datenzusammenstellung: Öko-Institut, IFEU-Institut Heidelberg