

Beitrag der Abfallwirtschaft zur nachhaltigen Entwicklung in Deutschland

Teilbericht Siedlungsabfälle

**UFO-Plan-Vorhaben, FKZ 203 92 309
des Umweltbundesamtes**

Heidelberg, April 2005

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Zielsetzung und Aufgabenstellung	1
1.2	Beziehung Nachhaltigkeit und Abfallwirtschaft	3
1.3	Rechtliche Rahmenbedingungen	4
2	Datengrundlage zu Abfallaufkommen und -verbleib	9
2.1	Verfügbare Datenquellen	9
2.2	Abfallaufkommen – Siedlungsabfall	12
2.2.1	Abfallaufkommen 1990	12
2.2.2	Abfallaufkommen 2001	13
2.2.3	Abfallaufkommen 2002	19
2.2.4	Abfallaufkommen 2005	23
2.2.5	Abfallaufkommen im Vergleich nach Jahren und Datenquelle	25
2.3	Abfallverbleib – Siedlungsabfall	27
2.3.1	Abfallverbleib 1990	28
2.3.2	Abfallverbleib 2001	29
2.3.3	Abfallverbleib 2002	34
2.3.4	Abfallverbleib 2005	37
2.3.5	Gesamtschau Abfallverbleib für die Jahre 1990, 2001 und Szenario 2005 (in der Stoffstromanalyse verwendete Daten)	40
3	Untersuchungsmethode	43
3.1	Das Stoffstrommodell	43
3.1.1	Allgemeine Grundlagen der Stoffstrommodellierung	43
3.1.2	Wesentliche Prozesse des Stoffstrommodells	47
3.1.3	Abfallzusammensetzung im Modell	63
3.2	Methode der Wirkungsabschätzung zur Aufbereitung der Ergebnisse	66
3.2.1	Beanspruchung von Rohstoffen	67
3.2.2	Klimaänderung / Treibhauseffekt	69
3.2.3	Versauerung	70
3.2.4	Überdüngung von Böden und Gewässern	71
3.2.5	Toxische Schädigung von Menschen durch kanzerogene Luftschadstoffe	72
3.2.6	Toxische Schädigung von Menschen durch Feinstaub (PM10)	74
4	Ergebnisse – Abfälle aus Haushaltungen	76
4.1	Fossile Ressourcen	77
4.2	Mineralische Ressourcen	79
4.3	Treibhauseffekt	81
4.4	Versauerung	83
4.5	Überdüngung von Böden und Gewässern	85
4.6	Beeinträchtigung der menschlichen Gesundheit	88
4.7	Zusammenfassung der Ergebnisse - Der Beitrag der Abfallwirtschaft zum Umweltschutz	91

5	Ergebnisse der Einzeljahre bei Einbeziehung hausmüllähnlicher Gewerbeabfälle	95
5.1	Vergleich der Ergebnisse mit/ohne hausmüllähnliche Gewerbeabfälle im Jahr 1990	95
5.2	Vergleich der Ergebnisse mit/ohne hausmüllähnliche Gewerbeabfälle im Jahr 2001	99
5.3	Vergleich der Ergebnisse mit/ohne hausmüllähnliche Gewerbeabfälle im Szenario 2005 (Basisjahr 2001)	102
6	Literatur	106

ANHANG

Anhang 1	Entwicklung der rechtlichen Rahmenbedingungen (inkl. Freiwillige Selbstverpflichtungen) und deren Einfluss auf Abfallaufkommen und Entsorgung	115
Anhang 2	Ergebnisse für den ökologischen Vergleich 1990-2002-2005 sowie Vergleich der Ergebnisse mit/ohne hausmüllähnliche Gewerbeabfälle im Jahr 2002	133
Anhang 3	Gegenüberstellung der Sekundärabfälle des Stoffstrommodells zu Angaben nach [LAGA 2004]	140

Abbildungsverzeichnis

Abb. 2-1	Schema der modellierten Stoffströme für LVP im Jahr 2001	32
Abb. 3-1	Allgemeines Schema der Entsorgungswege der Abfälle aus Haushalten	45
Abb. 3-2	Ausschnitt aus dem Stoffstrommodell für Abfälle aus Haushaltungen (Bilanzjahr 2001) erstellt mit der Software Umberto®	46
Abb. 3-3	Teilmodell einer Müllverbrennungsanlage sowie Rechenvorschriften für den Rostfeuerungskessel mit der Software Umberto®	52
Abb. 4-1	Ergebnisse für die Beanspruchung fossiler Ressourcen	78
Abb. 4-2	Ergebnisse für die Beanspruchung mineralischer Ressourcen für Eisen bzw. Eisenerz und Phosphaterz	80
Abb. 4-3	Ergebnisse für die Wirkungskategorie Treibhauseffekt	82
Abb. 4-4	Ergebnisse für die Wirkungskategorie Versauerung	84
Abb. 4-5	Ergebnisse für die Wirkungskategorie Überdüngung von Böden	86
Abb. 4-6	Ergebnisse für die Wirkungskategorie Überdüngung von Gewässern	87
Abb. 4-7	Ergebnisse für die Wirkungskategorie Krebsrisiko (Humantoxizität)	88
Abb. 4-8	Ergebnisse für die Wirkungskategorie PM10-Risiko (Humantoxizität)	90
Abb. 4-9	Nettoergebnisse der abfallwirtschaftlichen Entwicklung 1990, 2001 und 2005 für die neun untersuchten Indikatoren ausgedrückt in Einwohnerdurchschnittswerten (EDW)	93
Abb. 5-1	Ergebnisse der Wirkungskategorien Beanspruchung von Ressourcen, Treibhauseffekt und Versauerung mit und ohne hausmüllähnliche Gewerbeabfälle	97
Abb. 5-2	Ergebnisse der Wirkungskategorien Überdüngung von Böden und Gewässern und Humantoxizität mit und ohne hausmüllähnliche Gewerbeabfälle	98
Abb. 5-3	Ergebnisse der Wirkungskategorien Beanspruchung von Ressourcen, Treibhauseffekt und Versauerung mit und ohne hausmüllähnliche Gewerbeabfälle	100
Abb. 5-4	Ergebnisse der Wirkungskategorien Überdüngung von Böden und Gewässern und Humantoxizität mit und ohne hausmüllähnliche Gewerbeabfälle	101
Abb. 5-5	Ergebnisse der Wirkungskategorien Beanspruchung von Ressourcen, Treibhauseffekt und Versauerung mit und ohne hausmüllähnliche Gewerbeabfälle	104
Abb. 5-6	Ergebnisse der Wirkungskategorien Überdüngung von Böden und Gewässern und Humantoxizität mit und ohne hausmüllähnliche Gewerbeabfälle	105

Abbildungen im Anhang

Abb. 0-1	Ergebnisse der Wirkungskategorien Beanspruchung fossiler Ressourcen, Treibhauseffekt und Versauerung für den Vergleich 1990 - 2002 - 2005 (Basis 2002)	134
Abb. 0-2	Ergebnisse der Wirkungskategorien Beanspruchung von Ressourcen, Treibhauseffekt und Versauerung mit und ohne hausmüllähnliche Gewerbeabfälle	138
Abb. 0-3	Ergebnisse der Wirkungskategorien Überdüngung von Böden und Gewässern und Humantoxizität mit und ohne hausmüllähnliche Gewerbeabfälle	139

Tabellenverzeichnis

Tab. 2-1	Unterteilung des EAK 200 301 in drei "Kunstschlüssel" (achtstellige Schlüssel, die in der Abfallstatistik in Klammern geführt werden)	11
Tab. 2-2	Abfallaufkommen nach Tabelle 1 und 2 [StBA 1994]	13
Tab. 2-3	Angelieferte Abfallmengen nach Tabelle 4.1 [StBA 1994]	13
Tab. 2-4	Abfallaufkommen in Tonnen gemäß Statistik zur Abfallwirtschaft [BMU 2001] im Vergleich zu Abfallmengen nach Tabelle 1.1 und 3.1 [StBA 2003] für das Jahr 2001	16
Tab. 2-5	Abfallaufkommen in Tonnen gemäß Statistik zur Abfallwirtschaft [BMU 2001] im Vergleich zu Abfallaufkommen gemäß LAGA [2003] für 2001	17
Tab. 2-6	Abfallaufkommen in Tonnen aus Abfallbilanzen 2002 der Bundesländer	22
Tab. 2-7	Abfallaufkommen in Tonnen gemäß LAGA [2003] und [2004] für die Jahre 2001 und 2005.....	23
Tab. 2-8	Abfallaufkommen in Tonnen im Vergleich der Jahre und Datenquellen	25
Tab. 2-9	Abfallverbleib 1990: An Entsorgungsanlagen angelieferte Mengen "Hausmüll, hausmüllähnliche Gewerbeabfälle, Sperrmüll, Straßenkehricht, Marktabfälle (nicht gesondert angeliefert)" [StBA 1994].....	28
Tab. 2-10	Abfallverbleib 1990: An Entsorgungsanlagen angelieferte Mengen in Tonnen nach Tabelle 4.1 und 2.3 [StBA 1994]	29
Tab. 2-11	Abfallverbleib 2001 gemäß Statistik zur Abfallwirtschaft [BMU 2001]	30
Tab. 2-12	Für die Stoffstrombilanzierung abgeleitetes Primärabfallaufkommen 2001 und Verbleib der trockenen Wertstoffe nach Sortierung	31
Tab. 2-13	Fraktionen aus Sortieranlagen nach Sortierung nach Tabelle 3.1 [StBA 2003] für das Jahr 2001	31
Tab. 2-14	Im Jahr 2001 in MBAn behandelte Mengen [StBA 2004].....	33
Tab. 2-15	Abfallverbleib der Restabfälle und organischen Abfälle gemäß Abfallbilanzen der Bundesländer im Jahr 2002.....	35
Tab. 2-16	Verbleib Hausmüll, Sperrmüll, hausmüllähnliche Gewerbeabfälle im Szenario 2005	39
Tab. 2-17	Verbleib der Abfälle aus Haushaltungen in Sortier- und Verwertungsanlagen sowie MBAn	40
Tab. 2-18	Verbleib der Abfälle aus Haushaltungen zur thermischen Verwertung und Behandlung	41
Tab. 2-19	Verbleib der Abfälle aus Haushaltungen zur Ablagerung	41
Tab. 3-1	Grundsätzliche Prozessschritte bei der Entsorgung von Abfällen.....	44
Tab. 3-2	Emissionsfaktoren von Müllverbrennungsanlagen.....	51
Tab. 3-3	Anteilige Behandlung von organischen Abfällen im Jahr 2001 [StBA 2004].....	55
Tab. 3-4	Verbleib der produzierten Komposte in den Jahren 1990 und 2001	56
Tab. 3-5	Energieträgermix der Nettostromerzeugung im Jahr 2001	60

Tab. 3-6	Äquivalenzprozesse der LVP-Verwertung und Datenherkünfte	62
Tab. 3-7	Schwermetallbelastung des Hausmülls nach bundesweiten Sortieranaysen Mitte der 80er Jahre.....	63
Tab. 3-8	Rechenwerte der Hausmüllzusammensetzung für das Jahr 2001 sowie Bandbreiten der Literatur.....	64
Tab. 3-9	Mittlere verwendete Werte für Papierschlämme und Sekundärbrennstoffe.....	65
Tab. 3-10	Untersuchte Wirkungskategorien, Indikatoren und berücksichtigte Sachbilanzparameter.....	67
Tab. 3-11	Fossile Energieressourcen und deren Energiegehalt	69
Tab. 3-12	Treibhauspotenzial der betrachteten Stoffe.....	69
Tab. 3-13	Versauerungspotenzial der betrachteten Stoffe.....	70
Tab. 3-14	Eutrophierungspotenzial der betrachteten Stoffe.....	72
Tab. 3-15	Krebsrisikopotenzial der relevanten Luftschadstoffe	73
Tab. 3-16	PM10-Risikopotenzial der hierzu betrachteten Luftschadstoffe	75
Tab. 4-1	Nettoergebnisse der abfallwirtschaftlichen Entwicklung 1990, 2001 und 2005 in Absolutzahlen sowie Gesamtfracht in Deutschland und Belastung durch einen Einwohner (2001: 82.537.000 Einwohner)	92

Abkürzungsverzeichnis / Glossar

AGRAPA	Arbeitsgemeinschaft Graphische Papiere (Zusammenschluss von Verbänden und Organisationen der Papierherstellenden Industrie, der Papierimporteure, des Papiergroßhandels, der Druckindustrie sowie der Verleger)
Äq.	Äquivalente
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
DIN	Deutsches Institut für Normung
DKR	Deutsche Gesellschaft für Kunststoff-Recycling
DSD	Duales System Deutschland
EAK	Europäischer Abfallkatalog
EDW	Einwohnerdurchschnittswerte
EN	Europäische Norm
FKN	Flüssigkeitskartons
HMG	Hausmüllähnliche Gewerbeabfälle
ISO	International Organization for Standardization
KEA	Kumulierter Energieaufwand
KWTB e.V.	Kreislaufwirtschaftsträger Bau (eingetragener Verein der Verbände des Baugewerbes, der Architekten und Ingenieure, der Abbruchunternehmen und Baustoffaufbereiter)
LAGA	Länderarbeitsgemeinschaft Abfall
LVP	Leichtverpackungen
MBA	Mechanisch-Biologische Behandlungsanlage
MKS	Mischkunststoffe
MVA	Müllverbrennungsanlage
ng	Nanogramm (= 0,000000001 Gramm)
Nm ³	Normkubikmeter
NMVOC	Non Methane Volatile Organic Compounds (Leichtflüchtige organische Kohlenstoffverbindungen ohne Methan)
PCDD/PCDF	Polychlorierte Dibenzodioxine bzw. Dibenzofurane
PE-HD	Polyethylen high density (PE hoher Dichte)
PE-LD	Polyethylen low density (PE niedriger Dichte)
PET	Polyethylenterephthalat
PJ	Peta-Joule (1 PJ = 10 ¹⁵ J)

PM10	Particulate Matter, Schwebstaub mit einem aerodynamischen Durchmesser < 10 µm
PO	Polyolefine
PPK	Papier, Pappe, Kartonagen
StBA	Statistisches Bundesamt
SVZ	Sekundär-Rohstoff Verwertungszentrum (Schwarze Pumpe)
TASi	Technische Anleitung Siedlungsabfall
TE	Toxizitätsäquivalente
UBA	Umweltbundesamt
VOC	Volatile Organic Compounds (Leichtflüchtige organische Kohlenstoffverbindungen)

1 Einleitung

1.1 Zielsetzung und Aufgabenstellung

Auf der Konferenz für Umwelt und Entwicklung der Vereinten Nationen 1992 in Rio de Janeiro wurde ein internationaler Handlungsrahmen zur Förderung des Leitbildes einer nachhaltigen Entwicklung geschaffen. Auch die Bundesrepublik Deutschland hat den Dokumenten des Gipfels von Rio de Janeiro zugestimmt und im Jahr 2002 mit der Veröffentlichung der „Perspektiven für Deutschland“ [Die Bundesregierung 2002] die Politik einer nachhaltigen Entwicklung konkretisiert.

Das Leitbild beinhaltet u. a. die „nachhaltige Nutzung der natürlichen Ressourcen sicherzustellen“, wie es in der Agenda 21 formuliert wurde. Gerade die Abfallwirtschaft stellt einen Schlüsselbereich beim Umgang mit natürlichen Ressourcen dar, da sie den Umgang sowohl mit Materialien als auch mit potenziell umweltgefährdenden Stoffen in unserer Gesellschaft wesentlich mitbestimmt. Dabei wird der Begriff der natürlichen Ressourcen nicht nur für Rohstoffe aller Art verwendet sondern auch für die Senkenfunktion von Emissionen und die Aufrechterhaltung ökologisch-biogeochemischer Systeme.

Die Verabschiedung des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes (KrW-/AbfG) im Jahre 1994 hat die Verantwortung für eine nachhaltige Entwicklung in Deutschland konsequent aufgegriffen, in dem das Schließen von Stoffkreisläufen, die Produktverantwortung von Produzenten und die Beachtung von hohen Umweltstandards bei der Beseitigung aufgegriffen wurden. Das Ziel des Gesetzes verpflichtet sich nach § 1 KrW-/AbfG im übertragenen Sinn dem Leitbild der nachhaltigen Entwicklung:

- Zweck des Gesetzes ist die Förderung der Kreislaufwirtschaft zur Schonung der natürlichen Ressourcen und die Sicherung der umweltverträglichen Beseitigung von Abfällen.

Dabei konkretisiert der Gesetzgeber in § 4 (1) KrW-/AbfG die Grundsätze der Kreislaufwirtschaft:

- Abfälle sind
 1. in erster Linie zu vermeiden, insbesondere durch die Verminderung ihrer Menge und Schädlichkeit,
 2. in zweiter Linie
 - a) stofflich zu verwerten oder
 - b) zur Gewinnung von Energie zu nutzen (energetische Verwertung).

Weiterhin bezieht sich das Gesetz bei der Bewertung von Verwertung und Beseitigung auf weitere Kriterien, die in das Leitbild einer nachhaltigen Entwicklung passen (§ 5,5):

- Zu berücksichtigen sind die zu erwartenden Emissionen, das Ziel der Schonung der natürlichen Ressourcen, die einzusetzende oder zu gewinnende Energie und die Anreicherung von Schadstoffen in Erzeugnissen, Abfällen zur Verwertung oder daraus gewonnenen Erzeugnissen.

Um der Aufgabe gerecht zu werden, die Auswirkungen der derzeit praktizierten abfallwirtschaftlichen Maßnahmen darstellen zu können (Status-Quo-Analyse), soll ein Blick in die Vergangenheit vorgenommen werden. Bei allen bisher vorgenommenen Arbeiten zur Abschätzung abfallwirtschaftlicher Maßnahmen war ein Streitpunkt, gegen welchen Maßstab der Erfolg oder Misserfolg dieser Maßnahmen bewertet werden sollte. Hypothetische Annahmen wie vollständige Deponierung, vollständige Verbrennung o. ä. sind unreal, ziehen oft weitere Annahmen nach sich und bleiben umstritten.

Deshalb wird hier so vorgegangen, den heute erreichten Stand abfallwirtschaftlicher Maßnahmen mit einem Bezugspunkt der Vergangenheit zu vergleichen. Dazu wurde das erste Jahr des vereinten Deutschlands 1990 als geeigneter Ausgangspunkt gewählt.

Die Datenlage und Kenntnisse zu einer vergangenen Situation erscheinen ausreichend, um einen Vergleich mit dem heutigen Status zu erlauben und die Auswirkungen von abfallwirtschaftlichen Maßnahmen wie etwa der Verpackungsverordnung, der 17. Bundesimmissionsschutzverordnung, der TA Siedlungsabfall oder freiwilligen Vereinbarungen wie mit der Arbeitsgemeinschaft Grafische Papiere (Agrapa) abbilden zu können.

Ein Ausblick in die Zukunft wird angeschlossen. In einem Szenario 2005 wird die vollständige Umsetzung der Abfallablagerungsverordnung [AbfAbIV] zu Grunde gelegt, wonach ab dem 01. Juni 2005 keine unvorbehandelten Siedlungsabfälle mehr abgelagert werden dürfen.

Erfahrungsgemäß ist die Eingrenzung des Systems „Abfallwirtschaft“ nicht ganz trivial, da es immer Definitionsprobleme bei der Bestimmung des Begriffs Abfall gab. Die vorliegende Untersuchung beschränkt sich auf Siedlungsabfälle. Hierunter werden grundsätzlich alle Abfälle verstanden, die typischerweise im Bereich von Siedlungen anfallen.

Zu den mengenmäßig wesentlichen Abfällen daraus gehören:

- Hausmüll
- Sperrmüll
- Abfälle aus der Biotonne
- Altpapier, Altglas, Leichtverpackungen
- Hausmüllähnliche Gewerbeabfälle
- Garten- und Parkabfälle (einschl. Friedhofsabfälle) (GPF)
- Altholz

Hinsichtlich der Verpackungen wurden nur die Verpackungsabfälle betrachtet, die typischerweise in Haushalten anfallen, die so genannten Verkaufsverpackungen. Transport- und Umverpackungen, die eher im betrieblichen Bereich angesiedelt sind, wurden nicht mit betrachtet. Des Weiteren wurden vereinbarungsgemäß folgende ebenfalls mengenrelevante Abfallfraktionen, die auch unter Siedlungsabfällen aufgeführt werden, nicht mit betrachtet:

- Fäkalschlamm bzw. Klärschlamm (sowie sonstige Abfälle aus dem Kläranlagenbetrieb wie Rechengut, Sandfangrückstände, Abfälle aus der Kanalreinigung)
- Getrennt gesammelte Metalle, Schrott

- Boden und Steine sowie andere nicht biologisch abbaubare GPF
- Straßenkehricht und Marktabfälle

Die Abfallarten werden so aufgeteilt, dass sie für die Auswertungen der abfallwirtschaftlichen Maßnahmen geeignet sind. Beispielsweise werden die Verpackungen im Hausmüll getrennt betrachtet, um die Auswirkungen der Verpackungsverordnung beurteilen zu können. Die exakte Unterteilung bestimmt sich aus den im ersten Arbeitsschritt als wesentlich identifizierten abfallwirtschaftlichen Maßnahmen und den damit verbundenen Abfallströmen. Grundsätzlich gilt, dass die angestrebte Differenzierung durch die vorhandene Datenlage unterstützt sein muss. Die Recherche von Datenquellen und Auswahl der Datenbasis sind in Kapitel 2 beschrieben.

1.2 Beziehung Nachhaltigkeit und Abfallwirtschaft

Die Befriedigung von menschlichen Bedürfnissen ist unweigerlich mit der Gewinnung und Verarbeitung von Ressourcen, Stoffen und Materialien verbunden, die einen Nutzen hervorbringen. Nach dem Ende einer beabsichtigten Nutzung stehen die Produkte und Materialien in Form von Abfällen wieder zur Verfügung und können erneut als Rohstoffe eingesetzt werden. Der Umgang mit Ressourcen ist somit ein wesentlicher Bestandteil einer Strategie für Nachhaltige Entwicklung.

Im Sinne der Zielsetzung einer Nachhaltigen Entwicklung hat schon der 12. Deutsche Bundestag im Jahr 1994 in der Enquete-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt“ grundlegende Regeln für den Umgang mit Stoffen formuliert [Enquete-Kommission 1994]. Diese so genannten Managementregeln wurden in das Leitbild einer Nachhaltigen Entwicklung der Bundesregierung übernommen [Die Bundesregierung 2002]:

- Erneuerbare Naturgüter (wie z.B. Holz oder Fischbestände) dürfen auf Dauer nur im Rahmen ihrer Fähigkeit zur Regeneration genutzt werden.
- Nicht erneuerbare Naturgüter (wie z.B. Mineralien oder fossile Energieträger) dürfen auf Dauer nur in dem Umfang genutzt werden, wie ihre Funktionen durch andere Materialien oder durch andere Energieträger ersetzt werden können.
- Die Freisetzung von Stoffen oder Energie darf auf Dauer nicht größer sein als die Anpassungsfähigkeit der Ökosysteme – z.B. des Klimas, der Wälder und der Ozeane.

Die o.a. Managementregeln zum Umgang mit Materialströmen im Rahmen einer Nachhaltigen Entwicklung gebieten sowohl einen sparsamen Umgang mit Ressourcen, als auch die Minimierung der Freisetzung von Schadstoffen in die Umwelt. Dem trägt das „Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Beseitigung von Abfällen (KrW-/AbfG)“ vom September 1994 für den Bereich der Abfallwirtschaft Rechnung.

Dort heißt es:

§ 1 Zweck des Gesetzes

Zweck des Gesetzes ist die Förderung der Kreislaufwirtschaft zur Schonung der natürlichen Ressourcen und die Sicherung der umweltverträglichen Beseitigung von Abfällen.

Das Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz konkretisiert den Auftrag im Sinne einer Nachhaltigen Entwicklung in seinen Grundsätzen:

§ 4 Grundsätze der Kreislaufwirtschaft

(1) Abfälle sind

1. in erster Linie zu vermeiden, insbesondere durch die Verminderung ihrer Menge und Schädlichkeit,
2. in zweiter Linie
 - a) stofflich zu verwerten oder
 - b) zur Gewinnung von Energie zu nutzen (energetische Verwertung).

Die Umsetzung dieses Auftrages hat sich seit der Verabschiedung des KrW-/AbfG in einer Reihe von Verordnungen, Verwaltungsvorschriften und freiwilligen Selbstverpflichtungen der beteiligten Akteure konkretisiert, die im folgenden Kapitel beschrieben werden.

Mit der Festlegung der Randbedingungen in diesen Rechtsnormen seit Beginn der 90er Jahre wurde eine Grundlage geschaffen, die Abfallströme im Sinne einer Nachhaltigen Entwicklung zu lenken. Die sprachliche Erweiterung des Begriffes „Abfallwirtschaft“ zu „Kreislauf- und Abfallwirtschaft“ unterstreicht diese Absicht.

Nach den Jahren der Umsetzung vieler dieser Vorhaben in die Praxis stellt sich die Frage, welchen Beitrag die Abfallwirtschaft in diesem Zusammenhang für eine Nachhaltige Entwicklung in Deutschland bereits geleistet hat und noch leisten kann.

1.3 Rechtliche Rahmenbedingungen

Die Abfallpolitik und damit die Abfallwirtschaft haben sich in den letzten 30 Jahren grundlegend verändert. Der Beginn der geordneten Abfallwirtschaft geht bis in die 70er Jahre zurück. Mit dem ersten Abfallbeseitigungsgesetz aus dem Jahr 1972 wurden die ungeordneten und unkontrollierten Abkipfstellen für häusliche und gewerbliche Abfälle geschlossen und durch zentrale geordnete und kontrollierte Deponien ersetzt.

Mit den rasch zunehmenden Abfallmengen wuchsen die Probleme der Entsorgung, insbesondere geeignete Standorte für Deponien oder für Verbrennungsanlagen zu finden. Angeschoben durch die zum Teil heftigen öffentlichen Diskussionen in den 80er Jahren wurde der Abfallwirtschaft mit dem Abfallgesetz von 1986 eine neue Richtung gegeben. Mit neuen Schwerpunkten für die Vermeidung und Verwertung von Abfällen wurden auch strengere Anforderungen an die Beseitigung von Abfällen gestellt. Die neue Kreislaufwirtschaft verschärfte die Anforderungen der Abfallbehandlungshierarchie mit dem Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz von 1996, das zudem klare Akzen-

te in Richtung Produktverantwortung setzte und mit seinem untergesetzlichen Regelwerk Vorgaben zur Überwachung der Anforderungen lieferte.

Nachfolgend wird kurz auf die wesentlichen gesetzlichen Regelungen und sonstigen Vereinbarungen wie z. B. Selbstverpflichtungen der Wirtschaft, die Einfluss auf die Entwicklung des Abfallaufkommens und die umweltverträgliche Abfallbehandlung hatten, eingegangen. Eine umfassende Auflistung von Rechtsnormen und Vereinbarungen findet sich in Anhang 1.

Eine der ersten rechtlichen Regelungen, die erlassen wurden, um dem "Müllnotstand" entgegenzuwirken war die **Verpackungsverordnung von 1991**. Mit ihr wurde - zumindest juristisch - eine Trendwende eingeleitet weg von der "Wegwerfgesellschaft" hin zu einer Verwertungsgesellschaft. Sie schrieb die Rücknahmepflicht für Verpackungen über gestufte Erfassungsquoten fest und verpflichtete Hersteller, Abfüller und Vertreiber von Verpackungen zur Mitwirkung bei der Entsorgung dieser. Zur Erfüllung dieser Produktverantwortung wurde für die Erfassung und Verwertung von Verkaufsverpackungen "**Der Grüne Punkt - Duales System Deutschland AG**", die DSD AG, konstituiert. Die getrennte Erfassung von Verkaufsverpackungen führte nicht nur zu einer deutlichen Reduzierung der Restmüllmenge (Verpackungen aus Haushaltungen machten ca. 1/3 der Müllmenge und etwa 50% des Müllvolumens aus), sondern es konnte auch der Verbrauch von Verkaufsverpackungen um rd. 15% reduziert werden [Schnurer 2002]. Mit der **Novelle der Verpackungsverordnung von 1998** [VerpackV] wurde diese eingeleitete positive Entwicklung fortgeführt. Verwertungsquoten wurden verschärft und zudem das Problem der "Trittbrettfahrer" gelöst, da nunmehr auch Hersteller und Vertreiber, die sich nicht am DSD-System beteiligen, die Erfüllung von Verwertungsquoten nachweisen müssen. Im Jahr 2003 wurden durch das DSD-System Verwertungsquoten erzielt, die deutlich über den vorgeschriebenen Quoten liegen (z.B. 97% gegenüber den geforderten 60% bei Kunststoffverpackungen¹).

Der **aktuell vorliegende Entwurf zur erneuten Novellierung der Verpackungsverordnung** (vom Bundestag verabschiedet am 4. Juli 2004, vom Bundesrat zugestimmt im Oktober 2004) zielt auf eine qualitative Optimierung ab. Damit soll das nach der geltenden Verpackungsverordnung seit dem 1. Jan. 2003 in einzelnen Getränkebereichen eingetretene Pflichtpfand für Einweg-Getränkeverpackungen vereinfacht werden. Die Pfandpflicht soll künftig für alle Einweg-Verpackungen gelten, Ausnahmen sollen nur für ökologisch vorteilhafte Einweg-Getränkeverpackungen sowie für Wein, Spirituosen und bestimmte diätetische Lebensmittel möglich sein.

Ebenfalls deutliche Erfolge hinsichtlich einer Steigerung der Verwertungsquoten wurden über die **Freiwillige Selbstvereinbarung der Arbeitsgemeinschaft Graphische Papiere (AGRAPA) von 1994** für die Rücknahme und Verwertung graphischer Altpapiere, die mit der Verpackungsverordnung noch nicht erfasst waren, erzielt. Diese Vorwegnahme einer drohenden Verordnung beinhaltete eine Steigerung der stofflichen Verwertung in mehreren Stufen bis 60% ab dem Jahr 2000. Die reale Entwicklung der Verwertungsquote hat dieses gesetzte Ziel mit einem Anstieg auf 80% von 1994 bis 2000 weit übertroffen. Angesichts dieser positiven Entwicklung **bekräftigte die AGRAPA im September 2001 ihre Selbstverpflichtung** und sicherte außerdem zu, die Verwertungsquote dauerhaft auf dem erreichten Niveau von 80% ($\pm 3\%$) zu halten.

¹ <http://www.gruenerpunkt.de/Mengenstrom.97+B6Jkw9.0.html>

Die aus rechtlicher Sicht wesentlichste Grundlage für den Wechsel der reinen Abfallwirtschaft hin zur Kreislaufwirtschaft wurde mit dem **Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (KrW-/AbfG) von 1996** geschaffen, dessen Zweck in der Förderung der Kreislaufwirtschaft sowie der Schonung natürlicher Ressourcen besteht. Das KrW-/AbfG schreibt eine klare Hierarchie der Abfallbehandlung vor. Danach sind Abfälle vorrangig zu vermeiden (Festlegung der Produktverantwortung von Herstellern), ist dies nicht möglich, sind Abfälle stofflich oder energetisch zu verwerten (Abfälle zur Verwertung) und erst dann umweltverträglich zu beseitigen (Abfälle zur Beseitigung). Vorrang hat dabei die umweltverträglichere Entsorgungsart; zu berücksichtigen sind dafür neben dem Ziel der Schonung der natürlichen Ressourcen, die zu erwartenden Emissionen, die einzusetzende oder zu gewinnende Energie und die Anreicherung von Schadstoffen in Erzeugnissen, Abfällen zur Verwertung oder daraus gewonnenen Erzeugnissen. Des Weiteren ist eine hochwertige Verwertung anzustreben. Diese Vorgaben des KrW-/AbfG lösten u. a. eine Reihe von Untersuchungen und Forschungsvorhaben zur Ermittlung der umweltverträglicheren Entsorgungsart der verschiedensten Abfallarten aus, deren Ergebnisse zum Teil auch in rechtliche Regelungen Eingang fanden, v. a. aber Grundlage für abfallpolitische Entscheidungen lieferten.

Eine der wesentlichsten Voraussetzungen für eine schadlose umweltverträgliche Beseitigung von Abfällen wurde mit der **Technischen Anleitung Siedlungsabfall (TASi) von 1993** geschaffen. In ihr wurden, neben Anforderungen an den Deponiestandort, -aufbau und -betrieb, insbesondere Anforderungen an die Beschaffenheit der abzulagernden Abfälle gestellt. Vor allem letzteres gewährleistet eine langfristig sichere und für nachfolgende Generationen gerechte Beseitigung, da nach einer aus Rücksicht auf Betreiber eingeräumten Übergangsfrist von 12 Jahren, ab Juni 2005 keine unvorbehandelten biologisch abbaubaren Abfälle mehr abgelagert werden dürfen. Abfälle müssen demnach vor Ablagerung inertisiert, stabilisiert oder mineralisiert werden. So werden biologische Zersetzungsprozesse, aus denen Luft- und Wasserschadstoffe freigesetzt würden, nahezu ausgeschlossen.

Nachteilige Reaktion aus dieser Regelung war, dass einige Deponiebetreiber versuchten, Deponierestvolumina möglichst noch vor Ablauf der Frist vollständig zu verfüllen, die Deponierung wurde zu Dumpingpreisen angeboten. Als negative Folge daraus kam es zur Unterbeschickung von Müllverbrennungsanlagen und zur "Scheinverwertung" v. a. von Gewerbeabfällen. Müllverbrennungsanlagen mussten gemäß 17. BImSchV (s. u.) spätestens ab 1996 über eine aufwendige Rauchgasreinigung verfügen. Die dafür notwendigen Investitionen machten es unmöglich mit den Beseitigungspreisen der Deponien zu konkurrieren. Manche Gewerbeabfallerzeuger nutzten den Umstand, dass der Abfallbegriff im KrW-/AbfG nicht eindeutig definiert ist. Es wurden Abfälle zur Verwertung deklariert, die allerdings nur zum Schein über eine Sortieranlage liefen, um nach Sortierung - die häufig nur aus einer Umlagerung mit Schaufelbagger bestand - zum größten Teil billig abgelagert zu werden. Insbesondere um dieser Scheinverwertung einen Riegel vorzuschieben, wurde 2002 die Gewerbeabfallverordnung verabschiedet (Getrennthaltegebot von Abfällen zur Verwertung bzw. Nachweispflicht einer Verwertungsquote von mindestens 85% nach Sortierung von Abfallgemischen).

Auch wurde versucht Ausnahmegenehmigungen zu erreichen, die eine Ablagerung von Siedlungsabfällen über die durch die TASi gesetzte Frist hinaus erlaubten, was auch teilweise in einigen Bundesländern gelang. Klarheit schaffte hier der Erlass der **Abfallablagerungsverordnung (AbfAbIV) von 2001**. Durch die Verordnung wurden die Regelungen der TASi - die als Verwaltungsvorschrift in erster Linie nur für Verwaltungen bindend ist - allgemein rechtsverbindlich und bisher auf Grundlage der TASi

erteilte Ausnahmegenehmigungen wurden unmittelbar durch die Verordnung beendet. Damit müssen biologisch abbaubare Abfälle definitiv ab dem 1. Juni 2005 vor ihrer Ablagerung vorbehandelt werden. Mit der AbfAbIV wurde jedoch auch die Ablagerung von Siedlungsabfällen um die Möglichkeit erweitert, neben der thermischen Vorbehandlung vor Ablagerung eine mechanisch-biologische Vorbehandlung durchzuführen.

Das Verbot der Ablagerung unvorbehandelter, biologisch abbaubarer Abfälle war auch Anreiz dazu, organische Abfälle möglichst separat zu erfassen. Seit 1990 kam es zu einem deutlichen Anstieg der getrennt gesammelten Menge an Bioabfall aus Haushalten. Auch stieg der Anteil der Eigenkompostierung, die in vielen Bundesländern als ein Instrument der Abfallvermeidung gefördert wird. Insgesamt hat damit die getrennte Erfassung und Verwertung von Bioabfällen deutlich zur Reduzierung der Restabfallmengen beigetragen. Entsprechend der Mengensteigerung hat sich in Deutschland auch die Entsorgungslandschaft für Bioabfälle maßgeblich verändert. Neben der Weiterentwicklung der klassischen Kompostierung entstand in Deutschland eine ausgereifte Vergärungstechnik. Und während zu Beginn der getrennten Erfassung von Bioabfällen und der daraus resultierenden Produktion von Komposten, diese zunächst noch auf keine große Akzeptanz auf dem Markt stießen (Komposte wurden zumeist kostenfrei abgegeben), gelangen heute nennenswerte Anteile an Qualitätskomposten in hochwertige Anwendungen. Dies sowie grundsätzlich die umweltverträgliche Anwendung von Komposten auch bei der Ausbringung auf Feldern, ist mitunter der **Bioabfallverordnung von 1998** zu danken. Danach müssen Bioabfallkomposte bestimmte Anforderungen an Hygiene und Schadstoffgehalte einhalten. Zudem ist die Aufbringung auf Böden, die bereits stärker durch Schadstoffe belastet sind, nicht zulässig.

Neben der TASI hat der Erlass der **17. BImSchV im Jahr 1990** wesentlich zur Gewährleistung einer schadlosen Beseitigung beigetragen. Mit ihr wurden scharfe Emissionsgrenzwerte erlassen, insbesondere für Dioxine ($0,1 \text{ ng/Nm}^3$), deren Emissionen in der Bevölkerung zu großen Akzeptanzproblemen bezüglich Müllverbrennungsanlagen geführt hatten. Der Emissionsgrenzwert galt unmittelbar für alle neuen Müllverbrennungsanlagen und verlangte die filtertechnische Aufrüstung aller bestehenden MVA bis zum 1.12.1996. Des Weiteren wurden die Emissionen von Schwermetallen schärfer begrenzt (z. B. für Quecksilber auf $0,05 \text{ mg/m}^3$) und auch für die Luftschadstoffe Stickoxide (NO_x), Schwefeloxide (SO_x), Fluor- und Chlorwasserstoff, organische Kohlenstoffe, Kohlenmonoxid und Staub wurden Emissionsgrenzwerte neu formuliert (z. B. Halbstundenmittelwert für NO_x : 400 mg/m^3 , für SO_x : 200 mg/m^3). Die in der Rauchgasreinigung zurückgehaltenen Schadstoffe (v. a. Schwermetalle) reichern sich in den Filterstäuben an. Für diese müssen geeignete Entsorgungswege vorhanden sein. In Deutschland ist dies die unterirdische Lagerung solcher Filterstäube in Salzbergwerken, was praktisch einen Ausschluss aus der Biosphäre gewährleistet.

Zeitgleich mit der 17. BImSchV wurden das Bundes-Immissionsschutzgesetz und das Abfallgesetz (AbfG) geändert und der "Anlagenzwang" aufgehoben, womit explizit die Legalisierung der Mitverbrennung gewerblicher Abfälle in industriellen Feuerungsanlagen erfolgte. Zudem wurde mit der 17. BImSchV die Mitverbrennung von Abfällen in Industrieanlagen über die „Mischungsregelung“ genormt (§ 5 (3)), um auch hier Mindestanforderungen an Emissionsstandards zu setzen. Mit zunehmender Bedeutung der Mitverbrennung von Abfällen und zur Umsetzung der entsprechenden EU Richtlinie (2000/76/EG) erfolgte mit der **Novellierung der 17. BImSchV im Jahr 2003** eine Verschärfung dieser Regelung. Die bisher festgelegten "Mischgrenzwerte" werden so weit wie möglich durch "feste Grenzwerte" ersetzt. Ab einer bestimmten Menge an mit zu

verbrennenden Abfällen gelten danach insbesondere für die Schadstoffe, denen hinsichtlich der Gesundheitsgefährdung hohe Relevanz zukommt, die gleichen Anforderungen an maximal zulässige Emissionen wie für Müllverbrennungsanlagen.

Jüngste rechtliche Regelungen wie die **Altholzverordnung (AltholzV) von 2003** und das **derzeit im Referentenentwurf vorliegende Elektro- und Elektronikgerätegesetz (ElektroG)** stellen weitere wichtige Bausteine zur nachhaltigen Fortentwicklung der Kreislaufwirtschaft dar. Durch beide Normen ist eine weitere Reduzierung des Restabfallaufkommens durch Förderung einer getrennten Erfassung und Verwertung insbesondere in der Fraktion Sperrmüll zu erwarten.

Die Altholzverordnung gibt Regelungen zur schadlosen stofflichen und energetischen Verwertung von Altholz vor und bestimmt die thermische Beseitigung, wenn Altholz nicht verwertet werden kann. Die Deponierung wird ausgeschlossen.

Ziel des ElektroG ist es, die Entsorgung von Elektro- und Elektronikgeräten ökologisch zu optimieren und das Prinzip der Produktverantwortung zu konkretisieren. Um möglichst große Mengen an Elektroschrott in den Wirtschaftskreislauf zurückzuführen, sollen Verbraucher ihre Altgeräte ab Mitte 2005 getrennt sammeln und kostenlos an den Handel zurückgeben dürfen. Für eine Optimierung der schadlosen Verwertung sollen bestimmte gefährliche Stoffe in elektrischen und elektronischen Geräten verboten werden. Mit einer Verabschiedung des Gesetzes ist Ende 2004 zu rechnen.

Neben den Siedlungsabfällen nehmen Bauschuttabfälle einen quantitativ bedeutenden Anteil am Gesamtabfallaufkommen in Deutschland ein. Um auch hier eine Verringerung der Bauabfallmenge durch Recycling und damit eine Entlastung der Deponien sowie Verminderung des mineralischen Ressourcenverbrauchs zu erreichen, hat sich die Arbeitsgemeinschaft **Kreislaufwirtschaftsträger Bau (KWTB) e.V. im November 1996 durch Freiwillige Selbstverpflichtung** gegenüber der Bundesregierung verpflichtet, die Menge der abgelagerten, verwertbaren Bauabfälle bis 2005 zu halbieren (gegenüber dem Basisjahr 1995) und einen jährlichen Monitoring-Bericht mit Angaben zu Aufkommen und Verbleib vorzulegen. Im KWTB e.V. haben sich Verbände des Baugewerbes, der Architekten und Ingenieure, der Abbruchunternehmen und Baustoffaufbereiter zusammengeschlossen. Um diese Selbstverpflichtung, die einer zu erreichenden Verwertungsquote von etwa 64% entspricht, umzusetzen, sollen Bauabfälle möglichst frühzeitig auf den Baustellen in Wertstofffraktionen getrennt werden. Für einen möglichst hohen Verwertungsgrad und einen möglichst gleichwertigen Einsatzzweck der so getrennt erfassten Wertstoffe sollen innovative Abbruch- und Aufbereitungstechniken entwickelt werden. Die bisherige Entwicklung liegt mit einer bereits im Jahr 1998 erzielten Verwertungsquote von knapp 72% deutlich über den Erwartungen. Sie entspricht bereits jetzt einem europäischen Ziel, das erst für das Jahr 2010 angestrebt wird. Voraussetzung für den Erhalt des gegenwärtigen Standes oder für eine Steigerung der Recyclingmengen sind allerdings klare Rahmenbedingungen, welche die Herstellung qualitativ hochwertiger Recycling-Baustoffe gewährleisten sowie deren Anerkennung als Produkt auf dem Markt. Nach Empfehlung des Sachverständigenrates für Umwelt (Umweltgutachten 1998) sollten entsprechende Rahmenbedingungen durch den Staat vorgegeben werden, ohne dabei durch überzogene Anforderungen Verwertungsmöglichkeiten einzuschränken. Insgesamt ist trotz Selbstverordnung ein Verordnungsentwurf notwendig, da z. B. nachteilig zu bewerten ist, dass die im Hauptverband der Deutschen Bauindustrie organisierten Bauunternehmen nicht in der Selbstverpflichtung einbezogen sind.

2 Datengrundlage zu Abfallaufkommen und -verbleib

Die Recherche des Abfallaufkommens und -verbleibs bildet das Grundgerüst für die in dieser Untersuchung durchzuführende Stoffstromanalyse. Für Deutschland existieren hierzu verschiedene Datenquellen, die unterschiedliche Erhebungsmethoden verfolgen. Die wesentliche Unterscheidung besteht dabei darin, an welcher Stelle Abfallmengen und -verbleib abgefragt werden. Zum einen gibt es die Primärerhebung, bei der die Abfallmengen quasi am Anfallort ermittelt werden (berichtet durch die Abfallsammler), zum anderen werden Daten zum Aufkommen und Verbleib bei den belieferten Behandlungsanlagen abgefragt. Die verfügbaren Datenquellen und die daraus getroffene Auswahl werden im Folgenden beschrieben.

2.1 Verfügbare Datenquellen

Zur Ermittlung des Abfallaufkommens stehen grundsätzlich zwei verschiedene Quellen zur Verfügung. Zum einen ist dies die Datensammlung des Statistischen Bundesamtes (StBA) bzw. der Statistischen Landesämter, die auf Basis des Umweltstatistikgesetzes (UStatG) erhoben wird. Zum anderen erstellen die Bundesländer Abfallbilanzen basierend auf den nach § 20 (3) KrW-/AbfG von den öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträgern jährlich zu erstellenden Abfallbilanzen. Ergänzend besteht die Möglichkeit für das Aufkommen von Verpackungsabfällen Informationen des Dualen Systems hinzuzuziehen, die im Rahmen des Mengenstromnachweises ermittelt werden.

Die verschiedenen Datenquellen wurden hinsichtlich ihrer Eignung als Datengrundlage für das Forschungsvorhaben geprüft. Ursprünglich wurde angestrebt, möglichst aktuelle Daten für den Status-Quo zu verwenden und möglichst die gleiche Datenquelle für den Vergleich heranzuziehen. Die aktuellsten Daten standen mit den Abfallbilanzen der Bundesländer zur Verfügung, die Anfang 2004 vollständig für das Jahr 2002 vorlagen. Zu diesem Zeitpunkt lagen aus der Fachserie 19, Reihe 1 "Abfallentsorgung" des StBA erst die Daten für das Jahr 2000 vor². Umgekehrt liefert die Abfallstatistik des StBA für das Jahr 1990 [StBA 1994] die umfassendere Datenbasis. Da für die öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger die Erhebungspflicht erst gemäß Vorgaben des KrW-/AbfG beginnend mit dem 1. April 1998 besteht, wurden in den Bundesländern entsprechende Daten im Jahr 1990 uneinheitlicher erhoben.

Aufgrund dieser Datenlage wurde entschieden, für 1990 auf die Daten des StBA und für 2002 auf die Abfallbilanzen der Länder zurückzugreifen. Einschränkung hinsichtlich der Vergleichbarkeit dieser verschiedenen Datenquellen ist, dass die danach bereitgestellten Daten unterschiedlich erhoben werden: Die Zahlen zum Abfallaufkommen der Länder werden von den öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträgern aus der Abfallsammlung, die entweder in Eigenregie oder über beauftragte Dritte durchgeführt wird, ermittelt (Primärabfallaufkommenserhebung). Demgegenüber werden die Zahlen, die die Datenbasis für die Abfallstatistik des StBA bilden, mittels Erhebungsbögen³ bei den

² veröffentlicht im Juli 2003; Zahlen für 2002 werden voraussichtlich Ende 2004 verfügbar

³ Ausgewählte Erhebungsvordrucke finden sich im Anhang der Fachserie 19, Reihe 1; im Bereich der öffentlichen Entsorgungswirtschaft sind dies Fragebögen für Deponien, Abfallverbrennungsanlagen, Chemisch-Physikalische Behandlungsanlagen, Kompostierungsanlagen, Sortieranlagen und ein allgemeiner Vordruck für sonstige Anlagen.

beliefernten Anlagen der Entsorgungswirtschaft abgefragt. Da insbesondere Abfälle aus gewerblichen Betrieben, wenn als Abfälle zur Verwertung deklariert, nicht andienungspflichtig sind und damit außerhalb der öffentlich-rechtlichen Entsorgung anfallen, ist zu vermuten, dass durch die Abfrage bei den Entsorgungsanlagen höhere Abfallmengen recherchiert werden. Dieser Nachteil stellt sich jedoch nicht für Abfälle aus Haushaltungen (Hausmüll, Sperrmüll, Bioabfälle⁴), die im Focus dieses Forschungsvorhabens stehen, diese liegen innerhalb der öffentlich-rechtlichen Entsorgung.

Daneben zeigte sich, dass der vermeintliche Vorteil, durch Heranziehen der Abfallstatistiken des StBA von 1990 und 2000 eine übereinstimmende Berichtsstruktur zu erhalten, nur eingeschränkt Bestand hat, da durch die Novellierung des UStatG von 1994 [UStatG 1994] beginnend mit dem Berichtsjahr 1996 die Systematik der Erhebung geändert bzw. ein anderer Schwerpunkt in der Berichterstattung zur Abfallstatistik verfolgt wurde. Der Schwerpunkt der Erhebung liegt nunmehr nicht mehr beim Abfallaufkommen, sondern auf der Entsorgung und Verwertung von Abfällen. Damit folgt das UStatG den Definitionen und Zielen des KrW-/AbfG.

Um diesem neuen Schwerpunkt gerecht zu werden, wurden zum einen die bisher getrennt geführten Erhebungen der Fachserie 19 "Statistik der öffentlichen Abfallbeseitigung" (alt: Reihe 1.1) und "Statistik des Abfallaufkommens und der Abfallbeseitigung im Produzierenden Gewerbe" (alt: Reihe 1.2) in der Reihe 1 "Abfallentsorgung" zusammengefasst. Diese Zusammenführung hat jedoch nur einen geringen Einfluss auf den Bereich Siedlungsabfallaufkommen. Die Berichterstattung der öffentlichen Abfallbeseitigung findet sich in der neuen Abfallstatistik weitgehend wieder. Der wesentliche Unterschied liegt vor allem darin, dass das Abfallaufkommen und seine Herkunft im Vergleich zu früher nur noch über die an die Entsorgungsanlagen angelieferten Abfälle abgeschätzt werden kann. Daten zur Abfalleinsammlung werden zwar nach § 3 (2) UStatG weiterhin erhoben, allerdings zurzeit nur noch 4-jährig und sie werden nur teilweise veröffentlicht.

Des Weiteren ergibt sich die eingeschränkte Vergleichbarkeit der nach StBA berichteten Daten v. a. daraus, dass seit 1990 die Nomenklatur zur Bezeichnung der Abfallarten verschiedentlich geändert wurde. Die 1990 noch berichteten, über die öffentliche Müllabfuhr eingesammelten Mengen an Hausmüll, Sperrmüll und - auch separat ausgewiesenen - hausmüllähnlichen Gewerbeabfällen, finden sich bei den Angaben der befragten Entsorgungsanlagen überwiegend nur in Summe wieder, da die Erhebungsbögen die Abfallarten gemäß dem seit 1999 bis inkl. dem Berichtsjahr 2001 anzuwendenden Europäischen Abfallkatalog (EAK)⁵ abfragen. Der EAK berücksichtigt die Ein-

⁴ Daten zu Verpackungsabfällen konnten durch Informationen des DSD verifiziert werden.

⁵ Der Europäische Abfallkatalog (EAK) wurde 1993 als Folge der Vorschriften der Abfallrahmenrichtlinie neu geschaffen und mit der EAK-Verordnung vom 13.09.1996 in nationales Recht umgewandelt (in Kraft 7.10.96). Der EAK löste den bis dahin verwendeten LAGA-Abfallartenkatalog ab. In der Abfallstatistik des StBA wurde der EAK ab dem Berichtsjahr 1999 erstmals eingeführt und das Berechnungsschema für die Erstellung des Gesamtaufkommens für diesen überarbeitet und angepasst.

zelfractionen Hausmüll, Sperrmüll und hausmüllähnliche Gewerbeabfälle nicht mehr, anstatt dessen sind diese im EAK Schlüssel 200 301 "Gemischte Siedlungsabfälle" zusammengefasst. Durch das StBA wurde zwar auf diesen Informationsverlust reagiert und es wurden so genannte „Kunstschlüssel“ eingeführt, die eine Untergliederung ermöglichen, jedoch sind die Entsorgungsanlagen nicht verpflichtet, die entsprechenden Abfallmengen aufgeschlüsselt anzugeben, so dass eine nennenswerte Position an "Gemischten Siedlungsabfällen" entsteht, die eigentlich nicht weiter differenziert und eindeutig den Unterfraktionen zugeordnet werden kann. Zur Veranschaulichung finden sich die vom StBA eingeführten "Kunstschlüssel" in nachfolgender Tabelle.

Tab. 2-1 Unterteilung des EAK 200 301 in drei "Kunstschlüssel"
(achtstellige Schlüssel, die in der Abfallstatistik in Klammern geführt werden)

EAK	
2003	Andere Siedlungsabfälle; davon:
200301	Gemischte Siedlungsabfälle
(20030101)	Hausmüll, hausmüllähnliche Gewerbeabfälle, Sperrmüll, über die öffentliche Müllabfuhr eingesammelt
(20030102)	Hausmüllähnliche Gewerbeabfälle, nicht über die öffentliche Müllabfuhr eingesammelt (ohne Hausmüll und Sperrmüll)
(20030103)	Sperrmüll, getrennt eingesammelt (ohne Hausmüll)

Nach Abwägung der sich aus den vorangegangenen Erläuterungen ergebenden Vor- und Nachteile wurde für das Forschungsvorhaben zunächst entschieden, auf verschiedene Datenquellen zuzugreifen: Zur Abbildung des Status-Quo wurden die Abfallbilanzen der Bundesländer für 2002 ausgewertet, für das Jahr 1990 die Statistik der öffentlichen Abfallbeseitigung des StBA [1994].

Im weiteren Projektverlauf wurde jedoch vor dem ursprünglichen Projektabschluss die Fachserie 19, Reihe 1 (FS 19, R 1) des StBA für das Jahr 2001 [StBA 2003] veröffentlicht. Diese bildet die Grundlage für die jährlich durch das BMU veröffentlichte Statistik der Abfallwirtschaft, in der die Daten der FS 19, R 1 vom StBA weiter aufbereitet sind. Mit der gegebenen Verfügbarkeit dieser Daten für 2001 [BMU 2001] wurde beschlossen diese als Basis für den Status-Quo zu verwenden.

Im vorliegenden Gesamtbericht werden vor allem die Ergebnisse der Stoffstrombilanzierung ausführlich vorgestellt, die auf den Zahlen des StBA 1990 und den aktuellen Zahlen der Statistik zur Abfallwirtschaft des BMU von 2001 basieren. Da zum Zeitpunkt des Wechsels der Datenbasis bereits die Auswertungen für den Vergleich mit den Zah-

Der EAK wiederum wurde durch die Verordnung über das Europäische Abfallverzeichnis (Abfallverzeichnisverordnung, AVV, vom 10.12.2001, in Kraft seit 01.01.2002) mit der "Liste der gefährlichen Abfälle" (HWL von 1994 bzw. Bestimmungsverordnung für besonders überwachungsbedürftige Abfälle v. 10.9.96, in Kraft 7.10.96) zusammengeführt. Das mit dem neuen Abfallverzeichnis neue schrittweise Vorgehen bei der Zuordnung macht die Einstufung eines Abfalls eindeutiger als bisher, hat aber im Umkehrschluss zur Folge, dass es wiederum zu veränderten Zuordnungen gegenüber vorher kommen kann. Die veränderte Zuordnung betrifft allerdings in erster Linie Abfälle, die neu als "gefährlich" hoch gestuft wurden und/oder Abfälle aus dem Produzierenden Gewerbe. In den Abfallbilanzen ist die neue Abfallbezeichnung nach AVV erstmals für das Jahr 2002 zu verwenden, betrifft also die hier durchgeführte Untersuchung nicht.

len auf Basis der Abfallbilanzen der Länder von 2002 erfolgt waren, wird auch auf diese eingegangen - ausführlich hinsichtlich Abfallaufkommen und -verbleib, aber nur orientierend hinsichtlich der Ergebnisse der vergleichenden Stoffstromanalyse. Die vollständigen Ergebnisse des ökologischen Vergleichs 1990 - 2002 - 2005 finden sich im Anhang 2. Die Gegenüberstellung der unterschiedlichen Datenquellen zum Abfallaufkommen und -verbleib soll hier lediglich als Hintergrundinformation für das Problem der Erhebung von Abfallzahlen dienen. Insbesondere kann hierdurch veranschaulicht werden mit welchen Problemen sich Abfallprognosen auseinanderzusetzen haben.

2.2 Abfallaufkommen – Siedlungsabfall

2.2.1 Abfallaufkommen 1990

Als Datengrundlage für das Abfallaufkommen 1990 werden die Erhebungen der Fachserie 19, Reihe 1.1 "Statistik der öffentlichen Abfallbeseitigung" des StBA [1994] herangezogen. Im Jahr 1990 wurden die berichteten Siedlungsabfälle noch mit statistik-eigenen Bezeichnungen versehen. Der Schwerpunkt der Erhebung lag auf dem Abfallaufkommen und der Abfallsammlung. Entsprechend bezieht sich ein Großteil der Angaben auf die verschiedenen Sammelverfahren, die entsorgten Gemeinden und deren Bevölkerung sowie den Anschlussgrad der Bevölkerung an Entsorgungsanlagen (Tabelle 1 [StBA 1994]).

Des Weiteren finden sich in dieser Tabelle 1 [StBA 1994] Angaben zu über die öffentliche Müllabfuhr eingesammelten Mengen an Hausmüll, hausmüllähnlichen Gewerbeabfällen und Sperrmüll (S. 14 und S. 28/29 [StBA 1994]). Allerdings für Haus- und Sperrmüll nur als Summenwert, lediglich die über die öffentliche Müllabfuhr eingesammelten hausmüllähnlichen Gewerbeabfälle werden auch gesondert ausgewiesen.

Zur Einordnung der Begriffe „Hausmüll“, „hausmüllähnliche Gewerbeabfälle“ und „Sperrmüll“ sind nachfolgend die Definitionen gemäß StBA [1994] aufgeführt:

- Hausmüll sind die in den privaten Haushaltungen anfallenden festen Abfälle.
- Hausmüllähnliche Gewerbeabfälle sind diejenigen Abfälle aus Gewerbebetrieben, die aufgrund ihres Umfangs und ihrer Beschaffenheit zusammen mit dem Hausmüll beseitigt werden können.
- Sperrmüll ist Abfall (aus privaten Haushaltungen), der wegen seiner Sperrigkeit nicht in die bei der Müllabfuhr üblichen Behälter passt.

Danach kann davon ausgegangen werden, dass die wesentlichen Mengen Sperrmüll nicht mit der o. g. gemeinsamen Haus- und Sperrmüllfraktion abgefahren, sondern getrennt erfasst wurden. Abgesehen von den genannten Abfallarten wird in StBA [1994] auch über Aufkommen und Verbleib von getrennt gesammelten verwertbaren Abfällen berichtet (Tabelle 2, S. 31 und S. 40/41 [StBA 1994]). Im Zusammenhang mit diesem Forschungsvorhaben sind hier die Angaben zu "Altpapier", "Altglas" und "kompostierbaren organischen Abfällen" relevant. In der nachfolgenden **Tab. 2-2** finden sich die 1990 nach Tabelle 1 und 2 [StBA 1994] berichteten Abfallmengen.

Tab. 2-2 Abfallaufkommen nach Tabelle 1 und 2 [StBA 1994]

Abfallart	Menge in t
Über die öffentliche Müllabfuhr eingesammelte Mengen an Hausmüll, hausmüllähnlichen Gewerbeabfällen und Sperrmüll ("Graue Tonne")	30.460.853
darunter gesondert bei Gewerbebetrieben eingesammelte/abgefahrene hausmüllähnliche Gewerbeabfälle	3.940.963
Altpapier	1.604.758
Altglas	1.314.393
Kompostierbare organische Abfälle	1.264.315

Anmerkung: Getrennsammlung verwertbarer Abfälle (Altpapier, Altglas, kompostierbare org. Abfälle)
Zahlen ohne Sachsen

Über die in **Tab. 2-2** genannten, über die "Graue Tonne" gesammelten Abfälle hinaus sind des Weiteren die Abfallmengen zu berücksichtigen, die sich aus der getrennten Erfassung von Sperrmüll und hausmüllähnlichen Gewerbeabfällen ergeben. Auskünfte zu diesen können aus der Abfallstatistik über Angaben zum Aufkommen und -verbleib der Abfälle entnommen werden. Die entsprechenden Daten sind in Tabelle 4.1⁶ (S. 79 [StBA 1994]) für Deutschland aufgelistet. Ebenfalls in dieser Tabelle finden sich Angaben über nicht gesondert angelieferten⁷ Hausmüll, Sperrmüll und hausmüllähnlichen Gewerbeabfall wieder, hier aber nur als Summenwert zusätzlich mit Marktabfällen und Straßenkehrriecht (Position 1 der Tabelle 4.1 [StBA 1994]). Des Weiteren sind in Tabelle 4.1 [StBA 1994] ebenfalls kompostierbare organische Abfälle aufgelistet, allerdings mit einer zu Tabelle 2 [StBA 1994] abweichenden Menge. Es wird angenommen, dass in der genannten höheren Zahl auch Garten- und Parkabfälle der Kommunen enthalten sind, insofern wird für das Abfallaufkommen in dieser Studie der Wert aus Tabelle 4.1 [StBA 1994] zugrunde gelegt. Die Angaben zu angelieferten Mengen der oben genannten Siedlungsabfälle nach Tabelle 4.1 [StBA 1994] sind in **Tab. 2-3** aufgeführt.

Tab. 2-3 Angelieferte Abfallmengen nach Tabelle 4.1 [StBA 1994]

Abfallart	Menge in t
Hausmüll, hausmüllähnliche Gewerbeabfälle, Sperrmüll, Straßenkehrriecht, Marktabfälle (nicht gesondert angeliefert)	33.806.553
hausmüllähnliche Gewerbeabfälle (gesondert angeliefert)	15.238.458
Sperrmüll (gesondert angeliefert)	3.426.692
Kompostierbare organische Abfälle (z.B. aus Biotonne, Grünabfälle) (gesondert angeliefert)	1.982.306

2.2.2 Abfallaufkommen 2001

Als Datengrundlage für das Abfallaufkommen im Jahr 2001 wird die Statistik zur Abfallwirtschaft des BMU [2001] herangezogen. Diese wird vom StBA für das BMU erstellt; in ihr werden die Daten der FS 19, R 1 weiter aufbereitet:

In der FS 19, R 1 [StBA 2003] wird das Abfallaufkommen separat in verschiedenen Kapiteln berichtet. Hinsichtlich Abfällen aus Haushaltungen sind die wichtigsten Kapitel:

⁶ 4.1 "Angelieferte Abfallmengen und Art der Anlagen nach Ländern und Abfallarten"

⁷ d. h. in der Regel im Rahmen der öffentlichen Müllabfuhr eingesammelt

- Herkunft und Verbleib der Abfälle in Anlagen der Entsorgungswirtschaft (Tabellen 1 und 2),
- in Sortieranlagen der Entsorgungswirtschaft eingesetzte Abfallmengen und deren Verbleib (Tabelle 3.1),
- Aufkommen und Verbleib betrieblicher Abfälle (inkl. innerbetrieblicher Behandlung, Tabellen 10 bis 13).

Zudem erfolgt die Berichterstattung getrennt nach Abfallarten gemäß EAK, so wie sie nach den Erhebungsbögen ausgewertet werden.

Die Aggregationen, die für die Statistik zur Abfallwirtschaft des BMU durchgeführt werden, wurden den Verfassern freundlicherweise in einem Arbeitsgespräch beim StBA erläutert⁸. Diese dürfen im Detail jedoch aus Gründen des Datenschutzes nicht wiedergegeben werden. Nachfolgend werden insofern nur allgemein die wesentlichen Umstrukturierungen und Umrechnungen beschrieben:

Zu den nach Tabelle 1 [StBA 2003] berichteten Siedlungsabfällen werden die aus Betrieben anfallenden (Tabelle 11 [StBA 2003]) hinzuaddiert, ebenso die in Sortieranlagen eingesetzten Siedlungsabfallmengen (Tabelle 3.1 [StBA 2003]).

Um eine Doppelbilanzierung zu vermeiden wird von der jeweiligen angelieferten bzw. eingesetzten Abfallmenge insgesamt der Teil abgezogen, der von Anlagen auf dem eigenen Gelände übernommen wurde, sowie der Anteil, der nach Sortierung (gemäß Tabelle 3.1 [StBA 2003]) an Anlagen zur Beseitigung abgegeben wird (letzterer ist als Input bei diesen Anlagen enthalten).

Ein weiterer wesentlicher Aspekt ist die vollständige Auflösung des Abfallschlüssels EAK 200 301 "gemischte Siedlungsabfälle". Die darunter gemeldete Abfallmenge wird vollständig auf die drei untergeordneten Kunstschlüssel (s. **Tab. 2-1**) nach einem definierten Verteilungsschlüssel⁹ aufgeteilt.

Insgesamt unterscheiden sich die so aufbereiteten Abfallzahlen der Statistik zur Abfallwirtschaft des BMU hinsichtlich einzelner Abfallfraktionen deutlich von den ursprünglich nach Abfallherkunft in Tabelle 1.1 [StBA 2003] aufgeführten. Die in dieser Tabelle genannten Mengen machen bei den Abfallfraktionen Hausmüll, Sperrmüll, hausmüllähnliche Siedlungsabfälle sowie kompostierbare Abfälle zwar den Hauptanteil des Abfallaufkommens aus, dürfen aber nicht mit dem tatsächlichen Gesamtaufkommen verwechselt werden. Leider wird in der FS 19, R 1 nicht deutlich gemacht, dass mit der Angabe in Tabelle 1.1 [StBA 2003]: "Herkunft der Abfälle in Anlagen der Entsorgungswirtschaft nach Abfallgruppen und ausgewählten Abfallarten" nicht alle Entsorgungsanlagen gemeint sind, sondern die Angaben in Tabelle 3 [StBA 2003]: "Sortieranlagen/Zerlegeeinrichtungen in der Entsorgungswirtschaft" als nicht darin enthalten zu verstehen sind.

Für eine bessere Nachvollziehbarkeit des Übergangs von den Angaben in [StBA 2003] zu den Zahlen der Statistik zur Abfallwirtschaft [BMU 2001] sind in **Tab. 2-4** die Daten der Statistik zur Abfallwirtschaft des BMU den Angaben zum Abfallaufkommen nach

⁸ Persönliche Mitteilung im Arbeitsgespräch am 4. Mai. 04, Zweigstellen Bonn StBA

⁹ Die Verteilung berechnet sich nach den Anteilen der bekannten (in Erhebungsbögen direkt angegebenen) Abfallmengen für die drei Kunstschlüssel.

Tabelle 1.1 [StBA 2003] sowie nach Tabelle 3.1 [StBA 2003] "Sortieranlagen" gegenübergestellt (bei "Zerlegeeinrichtungen" handelt es sich ausschließlich um Anlagen, die Elektroschrott demontieren, die an dieser Stelle folglich nicht relevant sind). Zur eindeutigen Nachvollziehbarkeit der Angaben wurde in **Tab. 2-4** die jeweilige Originalabfallbezeichnung beibehalten.

Hausmüll, Sperrmüll und hausmüllähnliche Gewerbeabfälle

Entsprechend den vorangegangenen Erläuterungen zur Aufbereitung der Zahlen nach FS 19, R 1 des StBA zur Statistik zur Abfallwirtschaft des BMU, ist die Summenbildung der Mengen aus Tabelle 1.1 und 3.1 [StBA 2003] nur ein erster Schritt. So ergibt sich hinsichtlich der Abfallfraktionen Haus-, Sperrmüll und hausmüllähnliche Gewerbeabfälle der Abstand zu den Zahlen der Statistik zur Abfallwirtschaft des BMU wesentlich auch durch die Auflösung des Abfallschlüssels EAK 200 301. Dies gilt insbesondere hinsichtlich der Fraktion "Hausmüll, hausmüllähnliche Gewerbeabfälle über die öffentliche Müllabfuhr eingesammelt". Von den 2001 berichteten 5.734.000 t gemischte Siedlungsabfälle (EAK 200 301) werden gemäß dem Verteilungssplit der drei Unterfraktionen im Jahr 2001 knapp 64% dieser Fraktion bzw. dem Kunstschlüssel (200 301 01) zugeordnet, was zu über 90% den Unterschied zwischen der Zahl in der Statistik zur Abfallwirtschaft [BMU 2001] und der Angabe nach Tabelle 1.1 [StBA 2003] von insgesamt etwa 4 Mio. t ausmacht. Der verbleibende Unterschied bei dieser Fraktion ergibt sich v. a. durch Addition der an Sortieranlagen angelieferten Menge (Tabelle 3.1 [StBA 2003]). Das Aufkommen dieser Abfallart aus betrieblicher Herkunft ist von untergeordneter Bedeutung.

Die übrige Restmenge der gemischten Siedlungsabfälle geht rechnerisch zu knapp 26% an die nicht über die öffentliche Müllabfuhr eingesammelten hausmüllähnlichen Gewerbeabfälle (200 301 02) und zu rund 10% an den getrennt eingesammelten Sperrmüll (200 301 03). Auch für diese beiden Fraktionen spielt das Aufkommen aus betrieblicher Herkunft nur eine untergeordnete Rolle. Bei den separat erfassten hausmüllähnlichen Gewerbeabfällen ergibt sich der Unterschied von etwa 4,1 Mio. t zwischen der Zahl der Statistik zur Abfallwirtschaft [BMU 2001] und der Angabe in Tabelle 1.1 [StBA 2003] zunächst aus dem genannten 26% Anteil der gemischten Siedlungsabfälle (ca. 1,5 Mio. t) und des Weiteren aus der nach Tabelle 3.1 [StBA 2003] an Sortieranlagen angelieferten Menge (rd. 1,74 Mio. t, von denen nach der Aufbereitungslogik für die Statistik zur Abfallwirtschaft des BMU ca. 430.000 t wieder abgerechnet werden¹⁰). Die restliche Fehlmenge muss sich aus den in der Fußnote zu **Tab. 2-4** genannten anderen Siedlungsabfällen (Abfälle aus Schredderanlagen oder mechanisch-biologischer Vorbehandlung) ergeben.

¹⁰ Wie erläutert, werden von den eingesetzten Mengen die Abfallmengen abgezogen, die nach Sortierung als Abfall zur Beseitigung anfallen, da diese wiederum als Inputmengen bei Deponien und MVAs auftauchen. Bei den Sortieranlagen nach Tabelle 3.1 [StBA 2003] ist hier nur ein Summenwert für die gesamt eingesetzten gemischt erfassten Abfälle aus der Erhebung bekannt. Der prozentuale Anteil (2.529.000 t zur Abfallbeseitigung von 10.146.500 t eingesetzten Abfällen = 24,92% im Jahr 2001) wird auf alle Unterfraktionen übertragen.

Tab. 2-4 Abfallaufkommen in Tonnen gemäß Statistik zur Abfallwirtschaft [BMU 2001] im Vergleich zu Abfallmengen nach Tabelle 1.1 und 3.1 [StBA 2003] für das Jahr 2001

Abfall	(Mengen in Tonnen)	Bundesbilanz	StBA Tab.1.1	StBA Tab.3.1
Gemischte Siedlungsabfälle (EAK 200 301)		-	5.734.000	
Hausmüll, hausmüllähnliche Gewerbeabfälle, Sperrmüll über die öffentliche Müllabfuhr eingesammelt (EAK 200 301 01)			12.465.700	546.000
Hausmüll, hausmüllähnliche Gewerbeabfälle über die öffentliche Müllabfuhr eingesammelt	16.466.000			
Hausmüllähnliche Gewerbeabfälle nicht über die öffentliche Müllabfuhr eingesammelt (ohne Haus- und Sperrmüll) (EAK 200 301 02)			3.977.600	1.739.400
Hausmüllähnliche Gewerbeabfälle nicht über die öffentliche Müllabfuhr eingesammelt (ohne Haus- und Sperrmüll)	8.109.000 ¹⁾			
Sperrmüll, getrennt eingesammelt (ohne Hausmüll) (EAK 200 301 03)			1.736.900	650.000
Sperrmüll	2.676.000			
Organische, kompostierbare Küchenabfälle, getrennt gesammelte Fraktionen (einschließlich Frittieröl, und Küchenabfälle aus Kantinen), kompostierbare Abfälle aus der Biotonne (EAK 200 108)			3.793.500	-
Kompostierbare Abfälle aus der Biotonne	3.753.000			
Kompostierbare Garten- und Parkabfälle (einschl. Friedhofsabfälle) (EAK 200 201)			3.927.500	-
Garten- und Parkabfälle	4.239.000			
Papier, Karton aus Depotcontainern und anderen Sammelsystemen für Altpapiergemische von privaten Endverbrauchern (Haushaltungen und vergleichbaren Anfallstellen)				6.268.900
Papier, Pappe, Karton (EAK 150 101)				377.800
Papier und Pappe, Altakten (EAK 200 101)			167.200	
Papier, Pappe, Kartonagen (PPK)	7.550.000			
Glasabfälle aus Depotcontainern und anderen Sammelsystemen für Glasabfälle von privaten Endverbrauchern (Haushaltungen und vergleichbaren Anfallstellen)				2.032.300
Glas (EAK 200 102)			10.600	
Glas	3.152.000			
Leichtstofffraktionen aus dem Gelben System und ähnlichen Sammelsystemen für gemischte Verpackungsabfälle von privaten Endverbrauchern (Haushaltungen und vergleichbaren Anfallstellen)				2.237.800
Kunststoffe (EAK 150 102)				27.800
Kunststoffkleinteile (EAK 200 103)			31.800	
Andere Kunststoffe (EAK 200 106)			20.100	
Leichtverpackungen (inkl. Kunststoffe)	1.870.000			

1) inkl. anderer Siedlungsabfälle (Abfälle an Schredderanlagen, Abfälle aus mechanisch-biologischer Vorbehandlung etc.) Zahlenwert unbekannt

Aus diesen Erläuterungen wird deutlich, dass insbesondere hinsichtlich dieser drei Abfallfraktionen in der Umrechnung Unsicherheiten bestehen, da nicht alle nötigen Angaben explizit bekannt sind und daher Annahmen getroffen werden müssen. Vergleicht man die Zahlen der Statistik zur Abfallwirtschaft des BMU mit den Zahlen zum Abfallaufkommen, die auf Bundesländerebene durch die öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger erhoben wurden, so zeigen sich insbesondere bei diesen Fraktionen Unterschiede, die, abgesehen von den verschiedenen Erhebungsmethoden (beim Abfallerzeuger eingesammelte Mengen vs. an Anlagen angelieferte Mengen), durch eben jene Annahmen bedingt sein können.

In **Tab. 2-5** sind die ermittelten Zahlen der Statistik zur Abfallwirtschaft des BMU für das Jahr 2001 den entsprechenden Angaben der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall [LAGA 2003] gegenübergestellt. Die nach LAGA [2003] angegebene Menge für Abfälle aus der Grauen Tonne (Restabfälle aus privaten Haushalten und dem Kleingewerbe) mit Sperrmüll liegt um annähernd 2 Mio. t unter der Zahl der Statistik zur Abfallwirtschaft [BMU 2001]. Die Vermutung liegt nahe, dass dieser Unterschied aus einer Überschätzung des bei der Statistik zur Abfallwirtschaft des BMU dem Haus- und Geschäftsmüll (Graue Tonne) zugerechneten Anteils an "gemischten Siedlungsabfällen" herrührt. Denn insbesondere bei dieser Fraktion ist davon auszugehen, dass über die Ermittlung der gesammelten Abfallmengen durch die öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger der Bundesländer alle entsprechenden Abfälle aus Haushalten und Kleingewerbe erfasst werden, da diese vollständig in der Entsorgungsverantwortung der öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger liegen.

Tab. 2-5 Abfallaufkommen in Tonnen gemäß Statistik zur Abfallwirtschaft [BMU 2001] im Vergleich zu Abfallaufkommen gemäß LAGA [2003] für 2001

Abfall (Mengen in Tonnen)	Statistik zur Abfallwirtschaft [BMU 2001]	LAGA [2003]
Graue Tonne mit Sperrmüll	19.142.000 ¹⁾	17.321.015
Hausmüllähnliche Gewerbeabfälle	8.109.000	4.953.785

1) Summe aus "Hausmüll, hausmüllähnliche Gewerbeabfälle über die öffentliche Müllabfuhr eingesammelt" (16.466.000 t) und "Sperrmüll" (2.676.000 t)

Anders sieht dies bei den hausmüllähnlichen Gewerbeabfällen aus. Hier ist durchaus denkbar, dass über die Erhebung zum Primärabfallaufkommen durch die öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger wesentliche Mengenströme der Erfassung entgehen. Werden diese z. B. als Abfälle zur Verwertung deklariert, dann aber indirekt dennoch an Anlagen der Entsorgungswirtschaft angeliefert, so werden sie nicht von den öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträgern wohl aber durch die Erhebung der Statistischen Landesämter erfasst. Der aus **Tab. 2-5** ersichtliche Unterschied von rund 3 Mio. t könnte sich daraus durchaus plausibel erklären.

Unter der Annahme, dass in den Zahlen der Statistik zur Abfallwirtschaft des BMU das Aufkommen an Haus- und Geschäftsmüll durch die Art der Auflösung der gemischten Siedlungsabfälle um die o. g. 2 Mio. t überschätzt ist und diese Menge wahrscheinlich eher den hausmüllähnlichen Gewerbeabfällen zuzuordnen ist, würde sich der Abstand zwischen dem Aufkommen an hausmüllähnlichen Gewerbeabfällen nach der Statistik

zur Abfallwirtschaft des BMU gegenüber den Angaben nach LAGA [2003] auf 5 Mio. t erhöhen. In weiterer Konsequenz müsste dann für diese Menge angenommen werden, dass sie, da nicht bei den öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträgern angedient, als Abfall zur Verwertung entsorgt wurde.

Getrennt erfasste trockene und kompostierbare Wertstoffe

Hinsichtlich der kompostierbaren Abfälle ergeben sich nur geringe Unterschiede zwischen den Zahlen der Statistik zur Abfallwirtschaft des BMU und den Angaben nach Tabelle 1.1 [StBA 2003], dagegen bei den trockenen Wertstoffen wiederum deutlichere, auch unter Berücksichtigung der Mengen nach Tabelle 3.1 [StBA 2003] unter der die Hauptmengen der trockenen Wertstoffe Glas, Papier und Leichtverpackungen erfasst sind.

Für die Wertstofffraktion Papier, Pappe, Kartonagen (PPK) ergibt sich der Unterschied aus zwei Gründen. Zunächst fallen hier, im Gegensatz zu den anderen Abfallfraktionen, auch erhebliche Anteile aus dem betrieblichen Bereich an. Insgesamt wird nach Tabelle 10.1 [StBA 2003] das Primäraufkommen an Verpackungen (EAK 1501) betrieblicher Herkunft mit 407.600 t beziffert, von denen etwa 300.000 t den PPK-Verkaufsverpackungen zugeordnet werden. Die restliche Menge ergibt sich ebenfalls durch Addition von an anderer Stelle in [StBA 2003] unter dem Abfallschlüssel EAK 1501 berichteten Verkaufsverpackungen, so z. B. für die PPK-Verpackungen in Tabelle 1.1 [StBA 2003] unter EAK 150 101 (Papier, Pappe, Karton) 377.800 t. Analoges gilt für die Wertstofffraktion Glas, allerdings stammen die additiven Mengen kaum aus dem betrieblichen Herkunftsbereich.

Die Leichtstofffraktion wird demgegenüber als solche nicht an anderen Stellen in [StBA 2003] berichtet. Hier werden vielmehr berichtete Mengen an Kunststoffabfällen addiert wie z. B. die in **Tab. 2-4** aufgeführten Mengen der Tabelle 1.1 [StBA 2003]. Insgesamt handelt es sich dabei nur um vergleichsweise geringe zuaddierte Mengen. Da umgekehrt auch hier wieder zur Vermeidung einer Doppelbilanzierung¹¹ bei den Angaben nach Tabelle 3.1 [StBA 2003] die nach Sortierung anfallenden Abfälle zur Beseitigung abgezogen werden, ergibt sich für die Leichtverpackungen in der Zahl der Statistik zur Abfallwirtschaft [BMU 2001] eine geringere Menge gegenüber der Ausgangsmenge nach Tabelle 3.1 [StBA 2003]. Zwar gilt auch für PPK- und Glasabfälle, dass vom Gesamtaufkommen die Mengen an Sortierresten und Fehlwürfen zur Beseitigung subtrahiert werden, allerdings fallen diese gegenüber den Leichtverpackungen anteilig deutlich geringer aus, so dass sie im Endergebnis der Zahl der Statistik zur Abfallwirtschaft [BMU 2001] nicht augenfällig werden. Bei den Leichtverpackungen hingegen beläuft sich die Menge an Sortierresten und Fehlwürfen, die zur Beseitigung anfallen im Jahr 2001 auf rund 450.000 t (Tabelle 3.1 [StBA 2003], was ca. 20% der Inputmenge in Sortieranlagen entspricht.

¹¹ Diese Menge werden von Deponien und MVAs als Inputmenge gemeldet, allerdings dann unter einem anderen Abfallschlüssel - denkbar ist eine Meldung unter EAK 200 301 "gemischte Siedlungsabfälle" oder unter hausmüllähnlichen Gewerbeabfälle, da es sich um Abfälle aus Sortieranlagen handelt.

Zahlen der Statistik zur Abfallwirtschaft des BMU für 2001 und Abfallstatistik 1990 des StBA

Insgesamt dürfte damit deutlich geworden sein, dass sich die Zahlen der Statistik zur Abfallwirtschaft des BMU nicht selbsterklärend aus den Zahlen der FS 19, R 1 des StBA [2004] ergeben. In der vorliegenden Untersuchung werden für die Stoffstrombilanzierung aus folgenden Gründen dennoch die Zahlen der Statistik zur Abfallwirtschaft [BMU 2001] den Zahlen für 1990 der FS 19, R 1.1 [StBA 1994] gegenübergestellt: Zum einen wurden im Jahr 1990 noch keine Statistiken zur Abfallwirtschaft für das BMU erstellt. Zum anderen war die damalige Abfallstatistik des StBA wie zuvor erläutert auch noch anders aufgebaut als die Aktuelle: 1990 wurden noch die eingesammelten Siedlungsabfallmengen erhoben und zudem wurde noch nicht nach EAK-Schlüssel berichtet (also auch keine Abfallart "gemischte Siedlungsabfälle" als Summenwert für Haus-, Sperrmüll und hausmüllähnliche Gewerbeabfälle). Damit erübrigt sich auch eine Aggregation der FS 19, R 1.1 [StBA 1994] zu einer Statistik zur Abfallwirtschaft des BMU (das Aufkommen von Siedlungsabfällen betrieblicher Herkunft nach FS 19, R 1.2 ist für die Fraktion "Graue Tonne mit Sperrmüll" von untergeordneter Bedeutung).

2.2.3 Abfallaufkommen 2002

Als Datenbasis für das Abfallaufkommen im Jahr 2002 wurden die Abfallbilanzen der Bundesländer herangezogen. Zur Ermittlung des Gesamtabfallaufkommens in Deutschland wurden alle Abfallbilanzen der 16 Bundesländer ausgewertet, teilweise waren diese bereits als veröffentlichte Berichte erhältlich, teilweise wurden freundlicherweise vorab Tabellen zum Abfallaufkommen zur Verfügung gestellt. Schwierigkeiten ergaben sich bei der Auswertung v. a. dadurch, dass es keine genormte Vorgehensweise zur Erhebung der Abfallzahlen hinsichtlich einer einheitlichen Fraktionsbezeichnung und folglich auch nicht in Bezug auf genaue Definitionen der Abfallfraktionen gibt. Zwar orientieren sich die Bundesländer in vielen Fällen bei ihrer Zuordnung an den Bezeichnungen gemäß EAK-Abfallschlüssel, dennoch ergeben sich Abweichungen in der Berichterstattung.

So wird z. B. in der Berliner Abfallbilanz unter Hausmüll der gesamte in privaten Haushalten anfallende Müll verstanden, also inkl. der getrennt erfassten Wertstoffe (Glas, PPK, LVP, Bioabfall, Alttextilien). Da dies im Allgemeinen nicht üblich ist und somit keine Vergleichbarkeit mit anderen Statistiken möglich ist, wurden als Hausmüll nur die für Berlin genannten Anteile zur Beseitigung gerechnet.

Sowohl in Berlin als auch in Brandenburg, Hamburg und Sachsen-Anhalt werden dagegen die Mengen Geschäftsmüll getrennt vom Hausmüll ausgewiesen (Brandenburg und Hamburg geben hierzu an, dass es sich um hochgerechnete bzw. geschätzte Mengen handelt). Üblicherweise ist es den öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträgern nicht möglich zwischen Hausmüll und Geschäftsmüll, die beide über die Graue Tonne erfasst werden, zu unterscheiden, so dass in der Regel hierfür in den Bilanzen ein Summenwert angegeben wird. Für die Auswertung wurde entsprechend eine Fraktion "Hausmüll (inkl. Geschäftsmüll)" definiert, die beide Abfallarten umfasst. Mit Ausnahme des Landes Sachsen-Anhalt war hier eine eindeutige Zuordnung möglich. Die von Sachsen-Anhalt zur Verfügung gestellte Tabelle zum Abfallaufkommen weist hausmüllähnliche Gewerbeabfälle als Summe des über die Graue Tonne erfassten "Ge-

schäftsmülls" (als HMG I bezeichnet) und des getrennt erfassten hausmüllähnlichen Gewerbeabfalls (als HMG II bezeichnet) aus. Der sich daraus im Gesamtaufkommen ergebende Fehler dürfte aber vergleichsweise gering sein.

Auch Angaben zur Sperrmüllmenge sind weitgehend eindeutig nachvollziehbar. Als Schwierigkeit erwies sich hier allerdings die Abgrenzung der Wertstofffraktion Altholz. Altholz wird nur von einem Teil der Bundesländer separat angegeben, bei diesen ist nicht oder nur unvollständig nachvollziehbar, ob der ausgewiesene Wert in der Sperrmüllmenge enthalten ist oder heraus gerechnet wurde. Eine korrekte Abgrenzung ist demnach nicht möglich, die jeweils genannten Zahlen wurden übernommen wie gemeldet. Dadurch ist allerdings eine Doppelzählung und Überschätzung der Gesamtabfallmengen nicht auszuschließen. Die Fraktion Altholz selbst ist jedoch eher unterschätzt, da sechs der 16 Bundesländer Altholz nicht separat ausgewiesen haben (bzw. Hessen nur in Summe mit Metallen).

Allgemein gilt, dass nur bei manchen Bundesländern die Zusammensetzung der Sperrmüllfraktion angegeben ist, insofern wurde darauf verzichtet hier eine detaillierte Zusammensetzung für die Gesamtmenge abzuleiten. Als Besonderheit wurde für das Bundesland Sachsen angegeben, dass die Sperrmüllmenge im Jahr 2002 aufgrund des Hochwassers im August 2002 vergleichsweise hoch war. Um hier eine konsistente Zeitreihe zu bewahren, wurden diese Sperrmüllmengen vom Land Sachsen nicht in der Bilanz mit ausgewiesen.

Das Abfallaufkommen an hausmüllähnlichen Gewerbeabfällen ist ebenfalls weitgehend eindeutig nachvollziehbar. Bis auf das oben genannte Beispiel von Sachsen-Anhalt dürfte es sich dabei in der Regel um nicht mit der Müllabfuhr gesammelte hausmüllähnliche Gewerbeabfälle handeln. Problematisch bei dieser Fraktion könnte sein, dass möglicher Weise auch Sekundärabfälle enthalten sind, ohne dass dies angegeben ist. Explizit erwähnt wird dies für Thüringen, dort werden z. B. Sortierreste aus MBAn den hausmüllähnlichen Gewerbeabfällen zugerechnet. Der Anteil der Sortierreste ist in der thüringischen Abfallbilanz separat ausgewiesen und wurde für die Ermittlung des Gesamtaufkommens abgezogen, um eine Doppelbilanzierung zu vermeiden. Dem Bericht zur hessischen Abfallbilanz ist zu entnehmen, dass die knapp 706.000 t hausmüllähnliche Gewerbeabfälle neben produktionsspezifischen Abfällen auch Markt- und Baustellenabfälle, Kehrriecht und Sortierreste enthalten. Da dieser Anteil jedoch nicht quantitativ ausgewiesen ist, konnte hier das tatsächliche Primärabfallaufkommen nicht entsprechend korrigiert werden. Für das Land Bremen fehlen Angaben zum Aufkommen an hausmüllähnlichen Gewerbeabfällen vollständig.

Etwas weniger eindeutig ist die Berichterstattung bei den kompostierbaren Abfällen. Die Fraktion "Bioabfall" ist in allen Bilanzen aufgeführt, daneben teilweise zudem eine Fraktion "Grün-" oder "Gartenabfälle" oder "Garten- und Parkabfälle". Dabei ist nicht immer eindeutig, ob in der Bioabfallfraktion auch Grüngut enthalten ist oder ausschließlich Küchenabfälle. Hier wurde so vorgegangen, dass die organischen Abfälle möglichst nach Herkunft zugeordnet wurden: War eine Fraktion "Grünabfälle aus Haushalten" genannt, so wurde diese der Fraktion "Bioabfall" zugeordnet, ansonsten wurde Grüngut unter Garten-, Park- und Friedhofsabfälle zusammengefasst.

Die Bundesländer Hessen, Mecklenburg-Vorpommern, Niedersachsen und Saarland geben einzig eine Zahl zu einer Fraktion "Bioabfall" an. In der Beschreibung für Hessen

und Mecklenburg-Vorpommern wird dazu erläutert, dass es sich um organische Küchenabfälle und Grüngut aus Garten und Parks handelt. Da sich aus der Aufteilung bei anderen Bundesländern nicht eindeutig ablesen lässt, ob organische Abfälle mehrheitlich aus Haushalten oder aus dem kommunalen Bereich anfallen bzw. sich geschweige denn ein allgemeingültiger mittlerer Aufteilungssplit ableiten ließe, wurde hier vereinfacht die Konvention getroffen, diese Mengen vollständig der Fraktion Garten, Park und Friedhofsabfälle (GPF) zuzuordnen.

Mit diesen getroffenen Zuordnungsregeln, ist anzunehmen, dass die errechneten Gesamtmengen an Bioabfall und GPF von den tatsächlichen Mengen abweichen. Es ist davon auszugehen, dass diese Abweichung nur einen geringen Einfluss auf die Ergebnisse der Untersuchung hat, da die Unterschiede zwischen der Erfassung von Bioabfällen und GPF kaum ins Gewicht fallen und die Verwertung der beiden Fraktionen sich nicht signifikant unterscheidet.

Sehr unterschiedlich sind die Angaben zu den trockenen Wertstoffen Glas, PPK und LVP. Für Glas und PPK ist nur manchmal angegeben, ob sie über die öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger gesammelt oder über das DSD erfasst wurden. Des Weiteren wird teilweise keine konkrete Angabe zur Fraktion Leichtverpackungen gemacht, sondern es werden Einzelfraktionen aufgelistet wie Kunststoffe, Metalle, Flüssigkeitskartons, für die zudem nur selten angegeben ist, dass sie den Leichtverpackungen zuzuordnen sind und über das DSD erfasst wurden.

Die schließlich berechneten Gesamtmengen an Verpackungsabfällen, wurden zur Plausibilitätsprüfung mit verfügbaren DSD Zahlen für das Jahr 2002 verglichen. Es zeigte sich trotz der Interpretationsschwierigkeiten und obwohl für das Land Brandenburg keine Angaben für Glas und Leichtverpackungen gegeben waren, eine sehr gute Übereinstimmung der ermittelten Werte. Die Gesamtmenge Glas erreicht den DSD-Wert zu 99%, die Menge LVP zu 93%. Für PPK aus der DSD-Sortierung waren die Angaben der Bundesländer uneinheitlich. Da auch die Länder diesen Anteil gemäß der Konvention berechnen, dass 25% der Sammelmenge PPK dem DSD zuzuordnen sind, wurde analog der Anteil PPK aus dem gesamt ermittelten Aufkommen für Papier berechnet. Dieser Wert liegt um 4% höher als der entsprechende DSD-Wert. Für die Stoffstrombilanzierung wurde mit den nach Bundesländern ermittelten Zahlen gerechnet, lediglich für LVP wurde ersatzweise die von DSD ausgewiesene Menge von 2.381.330 t angesetzt, da hier – im Gegensatz zu den Abfallbilanzen der Länder – auch eine Unterteilung in die Unterfraktionen vorliegt. Die insgesamt aus den Abfallbilanzen der Länder abgeleiteten Abfallmengen sind in **Tab. 2-6** dargestellt.

Eine gesamte Plausibilitätsprüfung der ermittelten Daten ist nur im Vergleich mit vorangegangenen Berichtsjahren möglich (parallel existiert noch keine andere Statistik für das Jahr 2002). Für die Fraktion Hausmüll (inkl. Geschäftsmüll) in Summe mit der Sperrmüllfraktion (17.484.428 t) ergibt sich eine sehr gute Übereinstimmung mit der nach LAGA [2003] für 2001 angegebenen Menge für "Graue Tonne und Sperrmüll" (17.321.015 t, s. a. **Tab. 2-5**). Das ermittelte Abfallaufkommen für hausmüllähnliche Gewerbeabfälle liegt allerdings um gut 1 Mio. t niedriger als die nach LAGA [2003] angegebene Zahl für 2001 von 4.953.785 t. Dies würde sich auch nicht ändern, wenn für Bremen eine Mengenangabe vorläge. Eventuell ist der Unterschied auf die bereits genannte Doppelbilanzierung zurückzuführen, die bei einer Einbeziehung von Sekundärabfällen in die Menge hausmüllähnlicher Gewerbeabfälle auftritt. Möglich sind aller-

dings auch Unterschiede im Primärabfallaufkommen von 2001 nach 2002 oder eine weitere Verschiebung hin zu einer Entsorgung außerhalb der Erfassung durch die öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger. Schon an dieser Stelle wird deutlich, dass Aussagen zur Abfallfraktion der hausmüllähnlichen Gewerbeabfälle mit Unsicherheiten verbunden sind. Auf diesen Umstand wird später genauer eingegangen.

Tab. 2-6 Abfallaufkommen in Tonnen aus Abfallbilanzen 2002 der Bundesländer

Abfall (Mengen in Tonnen)	BW	BY	BE	BB	HB	HH
Hausmüll (inkl. Geschäftsmüll)	1.358.100	1.851.560	929.000	512.000	138.945	566.300
Sperrmüll	267.400	226.274	103.000	129.000	30.542	87.900
Hausmüllähnliche Gewerbeabfälle	365.300	322.536	113.000	50.000	-	13.800
Altholz	132.000	-	24.459	-	-	47.400
Bioabfall	437.200	1.450.944	53.772	9.000	22.908	39.800
GPF	850.600	250.192	36.000	74.000	29.535	85.200
Papier (Gesamtaufkommen)	851.000	974.585	211.969	142.000	53.006	372.200
Glas (Gesamtaufkommen)	327.000	388.684	85.098	-	19.374	43.900
Leichtverpackungen	175.000	233.207	92.029	-	20.963	40.400

Abfall (Mengen in Tonnen)	HE	MP	NI	NW	RP	SL
Hausmüll (inkl. Geschäftsmüll)	1.173.963	347.724	1.317.366	3.528.214	643.106	229.777
Sperrmüll	163.015	80.060	378.700	670.732	199.986	38.371
Hausmüllähnliche Gewerbeabfälle	705.959	38.893	323.300	1.013.248	147.590	40.227
Altholz		3.865	43.534	58.898	48.614	
Bioabfall				1.069.260	505.936	
GPF	721.186	62.212	1.237.353	758.805	15.488	56.800
Papier (Gesamtaufkommen)	478.608	130.042	586.142	1.225.919	299.123	72.373
Glas (Gesamtaufkommen)	171.497	60.465	263.711	485.644	123.291	31.105
Leichtverpackungen	162.532	63.252	340.670	583.211	69.913	26.663

Abfall (Mengen in Tonnen)	SN	ST	SH	TH	Summe
Hausmüll (inkl. Geschäftsmüll)	632.193	481.537	556.462	341.000	14.607.247
Sperrmüll	134.594	123.880	136.726	107.000	2.877.180
Hausmüllähnliche Gewerbeabfälle	287.262	100.431	123.224	171.000	3.815.770
Altholz		5.400	20.220	1.000	385.390
Bioabfall	211.066	112.983	190.328	137.000	4.240.197
GPF	9.460	46.170	94.037	9.000	4.336.038
Papier (Gesamtaufkommen)	316.689	185.192	211.932	176.616	6.287.396
Glas (Gesamtaufkommen)	142.810	79.891	98.353	75.840	2.396.663
Leichtverpackungen	157.221	87.431	97.997	71.000	2.221.489

Quellen: s. Literaturverzeichnis "Abfallbilanzen der Bundesländer"

2.2.4 Abfallaufkommen 2005

Als Datengrundlage für das im Jahr 2005 zu erwartende Abfallaufkommen wurde die Prognose der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall [LAGA 2004] herangezogen. In [LAGA 2003] wird berichtet, dass die LAGA auf der 58. Umweltministerkonferenz damit beauftragt wurde, über Maßnahmen zu berichten, die die Länder ergriffen haben, um die Vorgaben der Abfallablagerungsverordnung gegenüber den Deponiebetreibern, die zur Zeit noch unvorbehandelte Abfälle ablagern, durchzusetzen. Ferner sollte geprüft werden, inwieweit zusätzliche Behandlungskapazitäten geschaffen werden müssen. Mit der 2. Fortschreibung des daraus resultierenden Berichtes der LAGA an die Umweltministerkonferenz liegen prognostizierte Daten zum Aufkommen von Abfällen zur Beseitigung sowie verfügbaren Kapazitäten im Jahr 2005 umfassend vor. Die LAGA hatte hierzu die Angaben der Bundesländer zusammengefasst, nur in einigen Fällen waren keine definitiven Angaben zu den in 2005 verfügbaren Kapazitäten möglich.

In **Tab. 2-7** sind die für 2005 prognostizierte Mengen [LAGA 2004] den ebenfalls durch die LAGA [2003] berichteten Abfallmengen für 2001 gegenübergestellt. In beiden Fällen wurden ausschließlich im Rahmen der öffentlich-rechtlichen Entsorgung anfallende Abfälle zur Beseitigung ermittelt, da für diese das Erkenntnisinteresse besteht, inwiefern im Jahr 2005 die Entsorgungssicherheit gewährleistet ist. Dies umfasst die Restabfälle aus privaten Haushalten einschließlich der Restabfälle aus dem Kleingewerbe (Geschäftsmüll) sowie den Sperrmüll (= Graue Tonne mit Sperrmüll), des Weiteren der Anteil an hausmüllähnlichen Gewerbeabfällen zur Beseitigung, der den öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträgern überlassen wird. Aus den genannten Zahlen ergibt sich eine Minderung von knapp 6% für Abfälle aus der Grauen Tonne mit Sperrmüll, die Minderung für hausmüllähnliche Gewerbeabfälle zur Beseitigung beträgt 16%.

Tab. 2-7 Abfallaufkommen in Tonnen gemäß LAGA [2003] und [2004] für die Jahre 2001 und 2005

Abfall (Mengen in Tonnen)	2001	2005
Graue Tonne mit Sperrmüll	17.321.015	16.310.470
Hausmüllähnliche Gewerbeabfälle	4.953.785	4.160.940 ^{*)}

^{*)} Die Mengenangaben für hausmüllähnliche Gewerbeabfälle sind aufgrund erheblicher Prognoseunsicherheiten nur wenig belastbar. Auch enthalten die Mengenangaben für Berlin, Hamburg und Thüringen auch Siebreste/Störstoffe aus Behandlungsanlagen. Bei Brandenburg ist der Geschäftsmüll dem Gewerbeabfall zur Beseitigung zugeordnet.

Bei der Prognose der Menge hausmüllähnlicher Gewerbeabfälle bestehen allerdings erhebliche Unsicherheiten. Wie schon in den Zahlen zum Abfallaufkommen 2001 und 2002 gezeigt werden konnte, weichen bereits die Angaben der erhobenen Mengen je nach Datenquelle deutlich voneinander ab. Ursachen hierfür sind unterschiedliche Erhebungs- und Berechnungsmethoden sowie die Schwierigkeit, den Anteil hausmüllähnlicher Gewerbeabfälle einzugrenzen, der einer so genannten „Scheinverwertung“

zugeführt wird¹². Hier ist zu erwarten, dass durch die 2003 in Kraft getretene Gewerbeabfallverordnung bereits kurzfristig eine Verbesserung eintritt. Des Weiteren schwierig einschätzbar sind die Konsequenzen aus der EuGH Entscheidung vom 13.02.03 (Bedingungen für das Vorliegen einer energetischen Verwertung) auf das künftige Aufkommen an hausmüllähnlichen Gewerbeabfällen zur Beseitigung.

Ebenfalls u. a. aus letzterem Grund ist auch das künftige Aufkommen an hausmüllähnlichen Gewerbeabfällen zur Verwertung nicht exakt zu ermitteln. Zudem unterliegen diese Abfälle nicht der Andienungspflicht, und es gibt daher, sofern sie nicht über eine Anlage der öffentlichen Entsorgungswirtschaft registriert werden, keine Handhabe, hier zu einer Einschätzung über das reale Aufkommen zu gelangen. Nach Hochrechnungen der PROGNOSE AG (Branchenreport Entsorgungswirtschaft 2003) kann für das Jahr 2006 noch eine Menge von ca. 5 Mio. t hausmüllähnlichen Gewerbeabfällen zur Verwertung angenommen werden.

In der Prognose nach LAGA [2004] werden zusätzlich zu den genannten Restabfällen zur Beseitigung auch Angaben über die voraussichtlich anfallenden Abfallmengen aus Behandlungsanlagen (Sekundärabfälle) gemacht. Diese werden auf rund 3,7 Mio. t geschätzt. Damit ergibt sich insgesamt eine im Jahr 2005 zu entsorgende Abfallmenge von 24.127.750 t. Diese Menge liegt in ähnlicher Größenordnung wie Zahlen anderer veröffentlichter Prognosen zum Abfallaufkommen 2005¹³. Entsprechend dem Ziel die im Jahr 2005 voraussichtlich anfallende Abfallmenge zur Beseitigung einzuschätzen, enthält [LAGA 2004] keine quantitativen Angaben zur Entwicklung des Primäraufkommens an Abfällen zur Verwertung wie kompostierbare Abfälle und Glas, Papier, LVP.

Für die separate Erfassung von Papier, Glas und Verpackungen aus Haushalten wird bis 2005 keine Steigerungsmöglichkeit gesehen. Das bestehende System der getrennten Erfassung durch die öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger und v. a. das DSD ist als bereits sehr umfassend anzusehen. Ebenfalls wird für die getrennte Bioabfallsammlung nicht von einer möglichen Steigerung der getrennt erfassten Mengen ausgegangen. Zwar existiert hier in verschiedenen Regionen und Bundesländern noch ein deutliches Potenzial, allerdings bestehen hier aufgrund der seit einiger Zeit erfolgenden Diskussion um schärfere Grenzwerte für Komposte Unsicherheiten hinsichtlich dessen Absatzmöglichkeiten, so dass hier die öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger eher eine abwartende Position einnehmen. Für die Stoffstrommodellierung wurden insofern hier die Mengenangaben des Basisjahres zum Status Quo direkt übernommen, d. h. für das Szenario 2005 wurden die Mengen der Statistik zur Abfallwirtschaft [BMU 2001] zugrunde gelegt.

¹² Nach eigener Einschätzung belief sich der Anteil der hausmüllähnlichen Gewerbeabfälle zur Verwertung, die nur oberflächlich sortiert und größtenteils deponiert wurden (Scheinverwertung) im Jahr 2001 auf etwa 3 Mio. t (s. Kap. 2.2.2). Diese Menge könnte sowohl im Zuge der Gewerbeabfallverordnung als auch mit Umsetzung der Abfallablagerungsverordnung ab Juni 2005 zusätzlich zur Beseitigung anstehen. Allerdings kann diese Menge anteilig auch im ermittelten Aufkommen an Sekundärabfällen aus Sortieranlagen (ca. 1,29 Mio. t nach [LAGA 2004]) bereits enthalten sind.

¹³ Z.B. PROGNOSE AG, Branchenreport Entsorgungswirtschaft 2003: 29,5 Mio. t; Thomé-Kozmiansky in: Müll und Abfall 8/2003: 23,8 Mio. t. Weitere Prognosen liegen ebenfalls innerhalb diesem Bandbreitenbereich.

2.2.5 Abfallaufkommen im Vergleich nach Jahren und Datenquelle

Im Folgenden werden – ausgehend von den zuvor beschriebenen Daten zum Abfallaufkommen der verschiedenen Jahre – diejenigen einander gegenübergestellt, die für die Stoffstrombilanzierung herangezogen wurden. Die Fraktion "Hausmüll (inkl. Geschäftsmüll)" wurde darin als Bezeichnung gewählt für Hausmüll, Geschäftsmüll und hausmüllähnliche Gewerbeabfälle, die über die öffentliche Müllabfuhr gemeinsam eingesammelt wurden und entspricht damit den über die "Graue Tonne" eingesammelten Abfällen. Unter "Bioabfall und Parkabfälle" sind die Bioabfälle aus der Biotonne sowie die Garten-, Park- und Friedhofsabfälle (GPF) zusammengefasst, diese Fraktion entspricht der Bezeichnung für 1990 [StBA 1994] "kompostierbare organische Abfälle" (hier Wert gem. **Tab. 2-3**). Mit "hausmüllähnliche Gewerbeabfälle" sind die nicht über die öffentliche Müllabfuhr eingesammelten hausmüllähnlichen Gewerbeabfälle gemeint.

Tab. 2-8 Abfallaufkommen in Tonnen im Vergleich der Jahre und Datenquellen

Abfallart	1990	2001	2002	2005
(Mengen in Tonnen)	StBA	BMU	Bundesländer	LAGA
Hausmüll (inkl. Geschäftsmüll)	30.460.853	16.466.000	14.607.247	
Sperrmüll (separat gesammelt)	3.426.692	2.676.000	2.877.180	
Graue Tonne mit Sperrmüll				16.310.470
Summe Haus- und Sperrmüll	33.887.545	19.142.000	17.484.427	16.310.470
Bioabfall und Parkabfälle	1.982.306	7.992.000	8.576.235	
Altpapier	1.604.758	7.550.000	6.287.396	
Altglas	1.314.393	3.152.000	2.396.663	
Leichtverpackungen	0	1.870.000	2.221.489	
Summe Abfälle zur Verwertung	4.901.457	20.564.000	19.481.783	
Summe Haushaltsabfälle	38.789.002	39.706.000	36.966.210	
Hausmüllähnliche Gewerbeabfälle	15.238.458	8.109.000	3.815.770	4.160.940
Summe Siedlungsabfälle	54.027.460	47.815.000	40.781.980	

In der Gesamtschau der Zahlen zum Abfallaufkommen wird sehr eindrücklich vermittelt wie sich die Abfallwirtschaft in den 90er Jahren von einer Beseitigungswirtschaft zu einer Kreislaufwirtschaft gewandelt hat: Während 1990 von den insgesamt 38,8 Mio. t Abfällen aus Haushaltungen knapp 5 Mio. t getrennt erfasst und einer Verwertung zugeführt wurden, hat sich diese Menge der getrennt erfassten Abfälle bis zum Jahre 2001 bzw. 2002 in etwa vervierfacht, während die Gesamtmenge an Haushaltsabfällen ungefähr gleich geblieben (2001¹⁴) bzw. leicht zurückgegangen ist (2002).

Für die weitere Entwicklung des Aufkommens an Haushaltsabfällen bis zum Jahr 2005 können anhand [LAGA 2004] nur Aussagen für die "Graue Tonne mit Sperrmüll" gemacht werden. Die für 2005 ermittelten rd. 16,3 Mio. t sind entsprechend der Annahme, dass diese Fraktion in der Statistik zur Abfallwirtschaft [BMU 2001] evtl. bis zu 2 Mio. t hausmüllähnliche Gewerbeabfälle enthält (s. Fußnote 14), nicht unmittelbar mit dem Aufkommen für 2001 vergleichbar. In Kapitel 2.2.4 wurde die Zahl für 2005 dem ebenfalls von der LAGA für 2001 [LAGA 2003] ermittelten Aufkommen gegenüberge-

¹⁴ Bezüglich der Fraktion "Hausmüll inkl. Geschäftsmüll" von 16,5 Mio. t im Jahr 2001 ist zu vermuten, dass hierin bis zu 2 Mio. t hausmüllähnlicher Gewerbeabfälle enthalten sind, s. Kap. 2.2.2

stellt. Mit dieser Menge für die "Graue Tonne mit Sperrmüll" von 17.321.015 t - die ähnlich hoch liegt wie die aus den Abfallbilanzen der Bundesländer für 2002 ermittelte Zahl - ist von einer weiteren Verringerung des Aufkommens dieser Abfallfraktion von knapp 6% auszugehen. Würde man die entsprechende Zahl der Statistik zur Abfallwirtschaft [BMU 2001] mit der Prognose nach LAGA [2004] vergleichen, würde sich eine scheinbar höhere Minderung des Abfallaufkommens ergeben. Dieser Umstand hat jedoch keinen signifikanten Einfluss auf die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung. Für die Abfälle zur Verwertung wird zwischen den Jahren 2001 und 2005 von einem unveränderten Aufkommen ausgegangen.

Streng genommen ist auch ein direkter Vergleich zwischen den Abfallzahlen für 1990 [StBA 1994], den Zahlen der Statistik zur Abfallwirtschaft [BMU 2001] und den Zahlen für 2002 der Abfallbilanzen der Länder, nur eingeschränkt möglich. Hierauf wurde bereits in Kapitel 2.2.2 genauer eingegangen. Dort wurde auch erläutert, dass die Unterschiede zwischen der Primärabfallerhebung durch die öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger und der Erhebung durch die statistischen Landesämter bei den belieferten Anlagen hinsichtlich der hier besonders interessierenden Abfälle aus Haushaltungen vermutlich gering sind.

Der Jahresvergleich der als „hausmüllähnliche Gewerbeabfälle“ ausgewiesenen Mengen verdeutlicht die in dieser Abfallfraktion auftretenden Datenunsicherheiten. Wie bereits zuvor an verschiedenen Stellen erläutert, sind die Erhebung und die Prognose der tatsächlichen Abfallmengen an hausmüllähnlichen Gewerbeabfällen mit deutlichen Unsicherheiten verbunden, die vor allem dadurch zu erklären sind, dass hausmüllähnliche Gewerbeabfälle nur teilweise in die Entsorgungshoheit der öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger fallen. Werden sie als Abfälle zur Verwertung entsorgt, so werden die entsprechenden Zahlen im Primärabfallaufkommen nicht erfasst und damit auch nicht in den Abfallbilanzen der Länder. In der Erhebung der Statistischen Landesämter werden hausmüllähnliche Gewerbeabfälle zur Verwertung nur dann erfasst, wenn sie zunächst an Anlagen der Entsorgungswirtschaft wie z. B. Sortieranlagen angeliefert werden (sie erscheinen in keiner Abfallstatistik, wenn sie direkt verwertet oder direkt exportiert werden).

In den Abfallbilanzen der Bundesländer können die an Sortieranlagen verbrachten Mengen anteilig indirekt enthalten sein, wenn die Länder Angaben zu Sortierresten aus Sortieranlagen machen können. Allerdings lässt sich hier in keiner Weise einschätzen, ob es sich dabei um Abfallmengen handelt, die bereits im Primärabfallaufkommen enthalten waren (wenn als Abfälle zur Beseitigung in die öffentlich-rechtliche Entsorgung übergeben) oder nicht. Auch lässt sich der Anteil an hausmüllähnlichen Gewerbeabfällen an der gesamten Sortierrestmenge, die ja auch aus anderen sortierten Abfallfraktionen resultiert, nicht nachvollziehen.

Entsprechend unterschiedlich sind die in **Tab. 2-8** angegebenen Mengen an hausmüllähnlichen Gewerbeabfällen und entsprechend wenig belastbar der Vergleich bzw. Aussagen zu deren Mengenentwicklung. Es kommt erschwerend hinzu, dass die für das Jahr 1990 [StBA 1994] berichtete Menge gegenüber anderen Berichtsjahren vergleichsweise hoch ausfällt und den Anschein einer starken Minderung gegenüber den Folgejahren erweckt. Ein direkter Vergleich ist hier mit dem Berichtsjahr 1993 möglich, in dem das Aufkommen an hausmüllähnlichen Gewerbeabfällen mit 7.839.000 t angegeben wird. Nach Auskunft des Statistischen Bundesamtes (s. Fußnote 8) wurde im

Jahr 1990 einmalig eine Primärerhebung für hausmüllähnliche Gewerbeabfälle durchgeführt. Damit handelt es sich bei den 1990 berichteten 15,2 Mio. t hausmüllähnlichen Gewerbeabfällen vermutlich um das reale Gesamtaufkommen. Für die Jahre 2001, 2002 und 2005 ist dieses dagegen mit hoher Wahrscheinlichkeit unterschätzt, in welchem Ausmaß ist allerdings nicht quantifizierbar.

Aufgrund der großen Unsicherheiten bei den Mengendaten zu hausmüllähnlichen Gewerbeabfällen wurden diese aus der vergleichenden Stoffstromanalyse "1990 vs. 2001 vs. Szenario 2005" ausgenommen; die Untersuchung ist somit auf Abfälle aus Haushaltungen beschränkt. Dennoch bleibt der Beitrag der hausmüllähnlichen Gewerbeabfälle nicht unberücksichtigt. Innerhalb der einzelnen Jahre wird dieser errechnet und die Ergebnisse für ein Jahr mit und ohne hausmüllähnliche Gewerbeabfälle ausgewertet und dargestellt (s. Kap. 5).

Zusammenfassend lässt sich zur Entwicklung des Abfallaufkommens festhalten:

- Mit einem seit 1990 in etwa gleich gebliebenen Aufkommen an Abfällen aus Haushaltungen gegenüber einem Wirtschaftswachstum von 15% (Bruttoinlandsprodukt zwischen 1992 und 2001 in Preisen von 1995), ist eine klare Entkopplung des Abfallaufkommens vom Wirtschaftswachstum gelungen. Die Tendenz verweist sogar eher auf einen gegenläufigen Effekt hin zu einer Minderung des Abfallaufkommens.
- Mit einer Steigerung der getrennten Erfassung von ca. 13% im Jahr 1990 auf etwa 52% im Jahr 2001 bzw. 53% für das Jahr 2002 vermittelt sich sehr eindrücklich die Entwicklung der Abfallwirtschaft von einer Beseitigungswirtschaft hin zu einer Kreislaufwirtschaft.
- Für hausmüllähnliche Gewerbeabfälle sind das erhobene und prognostizierte Abfallaufkommen und v. a. Aussagen über die Mengenentwicklung mit erheblichen Unsicherheiten verbunden. Abhilfe bzw. Klarheit, wenigstens über das reale Aufkommen der Mengen zur Beseitigung, dürfte hier die Gewerbeabfallverordnung schaffen.

2.3 Abfallverbleib – Siedlungsabfall

Zum Abfallverbleib liefern die für das Abfallaufkommen ausgewerteten Datenquellen Hinweise. Teilweise mussten die Originaldaten zum Abfallaufkommen für die Stoffstrombilanzierung umgerechnet werden, z. B. im Falle der Zahlen der Statistik zur Abfallwirtschaft [BMU 2001], für die Sortierreste und Fehlwürfe zur Beseitigung vom ursprünglichen Abfallaufkommen abgezogen wurden, um eine Doppelbilanzierung zu vermeiden. Für die Stoffstrombilanzierung ist es jedoch unumgänglich, vom tatsächlichen Primärabfallaufkommen auszugehen. Nur so können die Aufwendungen für die Gesamtmasse aus Sammlung, Sortierung etc. ermittelt werden. Da umgekehrt anzunehmen ist, dass die Sortierreste und Fehlwürfe zur Beseitigung am ehesten von Deponien und MVA als "hausmüllähnliche Gewerbeabfälle" den Statistischen Landesämtern berichtet wurden und diese gemäß vorangegangener Erläuterung aus der vergleichenden Bilanzierung ausgenommen sind, kommt es in der sich anschließenden Stoff-

strombilanzierung auch nicht zu einer ungewollten Doppelrechnung. Im Folgenden werden neben dem ermittelten Abfallverbleib auch die vorgenommenen Umrechnungen erläutert.

2.3.1 Abfallverbleib 1990

Daten zum Abfallverbleib im Jahr 1990 finden sich in der Abfallstatistik Tabelle 4.1 (S. 79) [StBA 1994], für Altpapier und Altglas in Tabelle 2.3 (S. 40/41) [StBA 1994]. In Tabelle 4.1 [StBA 1994] ist allerdings nicht der Verbleib für die Abfälle aus der "Grauen Tonne" allein aufgeführt, sondern nur als Summe mit Straßenkehrsicht und Marktabfällen. Die entsprechenden Angaben zum Verbleib dieser Gesamtfraktion in Entsorgungsanlagen sind in **Tab. 2-9** - sowohl absolut als auch prozentual - aufgeführt.

Tab. 2-9 Abfallverbleib 1990: An Entsorgungsanlagen angelieferte Mengen "Hausmüll, hausmüllähnliche Gewerbeabfälle, Sperrmüll, Straßenkehrsicht, Marktabfälle (nicht gesondert angeliefert)" [StBA 1994]

Anlagenart	Abfallmenge in Tonnen	Anteil in %
Deponien	26.635.334	78,8
Abfallverbrennungsanlagen	5.982.009	17,7
Kompostierungsanlagen	353.980	1,0
Sonstige Anlagen ¹⁾	835.230	2,5
Summe	33.806.553	100

1) z. B. Chemisch-Physikalische Behandlungsanlagen, Sortier- oder Recyclinganlagen
Die ebenfalls in Tabelle 4.1 [StBA 1994] aufgelisteten Mengen zu Umladestationen und Sammelstellen für Gewerbeabfälle sind bereits in den o. g. Mengenangaben der Behandlungsanlagen enthalten.

Der Anteil der Fraktionen Straßenkehrsicht und Marktabfälle an der Gesamtmenge von rd. 33,8 Mio. t beläuft sich auf 3.345.700 t (s. **Tab. 2-2** und **Tab. 2-3**), also auf etwa 10%. Es wurde davon ausgegangen, dass aufgrund der Abfalleigenschaften, die an Kompostierungsanlagen angelieferte Abfallmenge aus dieser Menge stammt. Da des Weiteren für die an sonstige Anlagen angelieferte Menge nicht bekannt ist, um welche Anlagen es sich hierbei konkret handelt, wurde für den Abfallverbleib der über "Graue Tonne" erfassten Abfälle (30.460.853 t) vereinfacht davon ausgegangen, dass diese vollständig beseitigt wurden. Als Split wurde die prozentuale Mengengverteilung zwischen Abfallverbrennungsanlagen und Deponien angesetzt (18,3% zu 81,7%). Daraus ergibt sich die 1990 verbrannte Menge aus Grauer Tonne zu 5.586.510 t, die deponierte Menge entsprechend zu 24.878.343 t.

Einfacher ist die Zuordnung des Verbleibs der weiteren Abfallfraktionen Sperrmüll, hausmüllähnliche Gewerbeabfälle und kompostierbare organische Abfälle, da diese explizit in der Tabelle 4.1 [StBA 1994] genannt sind. Auch für die Wertstofffraktionen Altpapier und Altglas finden sich in [StBA 1994] in Tabelle 2.3 (S. 40/41) Angaben zum Verbleib. Danach werden Altpapier und Altglas über Behandlungsanlagen bzw. über den Altstoffhandel oder weiterverarbeitende Betriebe verwertet. Separat aufgeführt unter "Lager" sind die Mengen Altpapier und Altglas die im Jahr 1990 auf eigenes Lager, ins Ausland oder auf Zwischenlager gingen. Da diese Mengen nicht zuordenbar sind bzw. nicht im Jahr 1990 entsorgt wurden und sie zudem nur einen geringen Men-

genanteil ausmachen, wurden sie in der Stoffstrombilanzierung nicht berücksichtigt. Insgesamt ist der Verbleib der genannten Abfallfraktionen in **Tab. 2-10** dargestellt.

Tab. 2-10 Abfallverbleib 1990: An Entsorgungsanlagen angelieferte Mengen in Tonnen nach Tabelle 4.1 und 2.3 [StBA 1994]

Abfall (Mengen in Tonnen)	Verwertung	MVA	Deponie	Lager
Sperrmüll (separat gesammelt)	107.205	366.863	2.952.624	-
Kompostierbare organische Abfälle	1.005.790	28.208	948.308	
Hausmüllähnliche Gewerbeabfälle	312.271	1.789.968	13.136.219	
Altpapier	1.506.243	7.732	7.500	83.283
Altglas	1.267.103	957	9.007	37.326

Für Sperrmüll und hausmüllähnliche Gewerbeabfälle, die an sonstige Anlagen (Sortieranlagen, Recyclinganlagen) angeliefert wurden, ist die konkrete Art der Verwertung nicht bekannt. Hier wurde vereinfachend angenommen, dass es sich um enthaltene Altholzanteile handelt, die stofflich über Spanplattenindustrie verwertet werden.

2.3.2 Abfallverbleib 2001

Die Aufbereitung der Daten der FS 19, R 1 [StBA 2003] zur Statistik zur Abfallwirtschaft des BMU [BMU 2001] beinhaltet auch die Aufbereitung dieser Daten zum Verbleib der Abfälle. Methodengemäß wird hierbei stets der Letztverbleib der Abfälle ausgewiesen, d. h. die Abfallmengen zur Beseitigung (Deponie, Verbrennung) umfassen sowohl direkt angelieferte Siedlungsabfälle als auch Siedlungsabfälle, die als Sekundärabfälle nach einer Abfallbehandlung anfallen, wie z. B. nach Sortieranlagen oder mechanisch-biologischen Behandlungsanlagen (MBA). Entsprechend tauchen in der Statistik zur Abfallwirtschaft des BMU diese Erst- oder Zwischenbehandlungsanlagen beim Verbleib nicht mehr auf.

Der über die Statistik zur Abfallwirtschaft des BMU angegebene Verbleib der Siedlungsabfälle im Jahr 2001 ist in **Tab. 2-11** dargestellt. Unter "Verwertung" sind die stoffliche und die thermische Verwertung zusammengefasst; die stoffliche Verwertung nimmt dabei den Hauptanteil ein (thermische Verwertung in allen Fällen <0,5%).

Die Zahlen der Statistik zur Abfallwirtschaft des BMU können nicht direkt für eine Stoffstromanalyse verwendet werden. Hierfür ist es notwendig, auf das Primärabfallaufkommen zurückzugreifen und für eine korrekte Modellierung des jeweiligen Entsorgungsweges, angefangen von der Sammlung der Abfälle mit Müllfahrzeugen oder Lkw, auch alle Zwischenbehandlungsschritte vor dem eigentlichen Letztverbleib abzubilden.

Das bedeutet, dass für Abfälle aus der Grauen Tonne sowie für Sperrmüll und hausmüllähnliche Gewerbeabfälle auch die Mengen bekannt sein müssen, die zunächst in mechanisch-biologische Behandlungsanlagen oder in Sortieranlagen verbracht werden. Letzteres gilt gleichermaßen für die trockenen Wertstoffe, die ebenfalls zunächst in Sortieranlagen behandelt werden. Die kompostierbaren Abfälle einschließlich der Garten- und Parkabfälle sind hiervon nicht betroffen, da deren Verbleib direkt aus den Angaben der Statistik zur Abfallwirtschaft des BMU übernommen werden kann.

Tab. 2-11 Abfallverbleib 2001 gemäß Statistik zur Abfallwirtschaft [BMU 2001]

Abfall (Mengen in Tonnen)	Verwertung	MVA	Deponie	Behandlung
Hausmüll, hausmüllähnliche Gewerbeabfälle über die öffentliche Müllabfuhr eingesammelt ("Graue Tonne")	1.438.000	8.084.000	6.945.000	-
Sperrmüll (separat gesammelt)	662.000	927.000	1.086.000	-
Kompostierbare Abfälle (Biotonne)	3.748.000	3.000	1.000	-
Garten- und Parkabfälle	3.856.000	28.000	354.000	-
PPK	7.530.000	18.000	2.000	-
Glas	3.142.000	0	10.000	-
Leichtverpackungen	1.833.000	15.000	23.000	-
Hausmüllähnliche Gewerbeabfälle	1.794.000	1.904.000	4.408.000	3.000

Anmerkung: Die Behandlung ist in der Bundesbilanz der Beseitigung zugeordnet, konkrete Angaben zur Art dieser Behandlung sind nicht bekannt. Ebenso wenig existieren Informationen zur konkreten Art der stofflichen Verwertung.

Anpassungen Verbleib der trockenen Wertstoffe (LVP, PPK und Glas)

Insbesondere für die Sortierung der Leichtverpackungen gibt Tabelle 3.1 [StBA 2003] ausführlich Auskunft. Daraus sind nicht nur die Mengen an Sortierresten und Fehlwürfen zur Beseitigung ablesbar, die für die Statistik zur Abfallwirtschaft des BMU aus dem Abfallaufkommen heraus gerechnet wurden, sondern auch der Anteil an Sortierresten zur Verwertung sowie die Aufteilung der LVP-Fraktion in ihre Wertstoff-Sortierfraktionen (Weißblech, NE-Metalle, Kunststoffe und Verbunde). Die Anteile an Sortierresten zur Beseitigung finden sich in Tabelle 3.1 [StBA 2003] auch für alle anderen Wertstoff- bzw. Abfallfraktionen, die über Sortieranlagen behandelt wurden. Für diese sind die anteiligen Mengen gegenüber denen bei LVP jedoch von untergeordneter Bedeutung. Dennoch wurden sie für die Stoffstrombilanzierung bei den Wertstoffen Altpapier und Altglas zum berichteten Abfallaufkommen hinzuaddiert und im Stoffstrommodell nach der Sortierung entsprechend einer Beseitigung in MVAn und Deponien zugeordnet.

Aus der Abfallstatistik ist an dieser Stelle nicht konkret bekannt, zu welchen Anteilen die Sortierreste und Fehlwürfe zur Beseitigung deponiert oder verbrannt werden. Insgesamt gilt für die Erhebung der Statistischen Landesämter, dass die Sortieranlagen oder sonstigen Zwischenbehandlungsanlagen ihren Output nur nach den Kriterien "zur Verwertung" und "zur Beseitigung" nicht aber unterteilt nach der Art der Beseitigung angeben. Hier werden vom Statistischen Bundesamt Annahmen getroffen. Für die Stoffstrombilanzierung wurde hierfür die Aufteilung nach eigenen Annahmen modelliert. Dazu wurde der Beseitigungssplit für die Fraktion "Graue Tonne mit Sperrmüll" verwendet, der sich derzeit etwa zu 50% Verbrennung und 50% Deponierung ergibt (dieser Split hat auch unter Einbeziehung der hausmüllähnlichen Gewerbeabfälle in etwa Bestand, womit die wesentlichen zur Beseitigung anfallenden Siedlungsabfälle abgedeckt wären).

Zum besseren Verständnis für die anschließend durchgeführte Stoffstrommodellierung, sind in **Tab. 2-12** die Umrechnungen für die trockenen Wertstoffe aufgeführt. Hierzu werden zu den nach der Statistik zur Abfallwirtschaft des BMU gemeldeten Aufkommen die Sortierreste und Fehlwürfe zur Beseitigung addiert und somit das ursprüngliche Primäraufkommen berechnet. Im Verbleib nach der Sortierung gehen die addierten

Mengen zu 50% zur MVA und zu 50% auf Deponien. Eine Ausnahme bilden die Glasabfälle für die die Verbrennung ausgeschlossen wird.

Durch die Addition der Sortierreste zur Beseitigung kommt es bei der Stoffstromanalyse nicht zu einer Doppelbilanzierung, da hierbei die hausmüllähnlichen Gewerbeabfälle aus den in Kapitel 2.2.5 zusammenfassend genannten Gründen nicht berücksichtigt werden. Andernfalls müssten die entsprechenden Mengen von dem in der Statistik zur Abfallwirtschaft des BMU berichteten Aufkommen dieser Fraktion umgekehrt abgezogen werden.

Tab. 2-12 Für die Stoffstrombilanzierung abgeleitetes Primärabfallaufkommen 2001 und Verbleib der trockenen Wertstoffe nach Sortierung (Werte gerundet)

Abfall (Mengen in Tonnen)	Aufkommen	Verwertung	MVA	Deponie
PPK	7.550.000	7.530.000	18.000	2.000
Sortierreste zur Beseitigung	50.000		25.000	25.000
Primäraufkommen PPK	7.600.000	7.530.000	43.000	27.000
Glas	3.152.000	3.142.000	0	10.000
Sortierreste zur Beseitigung	19.600		0	19.600
Primäraufkommen Glas	3.171.600	3.142.000	0	29.600
Leichtverpackungen	1.870.000	1.833.000	15.000	23.000
Sortierreste zur Beseitigung	449.000		224.500	224.500
Primäraufkommen LVP	2.319.000	1.833.000	239.500	247.500

Wie oben dargestellt, findet sich in der Abfallstatistik Tabelle 3.1 [StBA 2003] eine Untergliederung der Wertstofffraktion LVP in die Teilfraktionen NE-Metalle, Weißblech, Verbunde und Kunststoffe. Diese wurde für die Stoffstrombilanzierung angesetzt. Danach unterteilt sich die in Tab. 2-12 angegebene Menge zum Primäraufkommen LVP von 2.319.000 t, wie in Tab. 2-13 dargestellt wird. Die angegebene Menge für Sortierreste und Fehlwürfe beinhaltet sowohl die Sortierreste zur Beseitigung als auch die Sortierreste zur Verwertung. Für die Stoffstrombilanzierung wurde zu dieser Menge noch die in der Statistik zur Abfallwirtschaft des BMU angegebene Menge der LVP zur Beseitigung (38.000 t, s. Tab. 2-11) hinzuaddiert, so dass sich die Gesamtmenge an Sortierresten und Fehlwürfen zur Beseitigung und Verwertung zu 929.000 t ergibt.

Tab. 2-13 Fraktionen aus Sortieranlagen nach Sortierung nach Tabelle 3.1 [StBA 2003] für das Jahr 2001 (Werte gerundet)

Abfallart (Mengen in Tonnen)	Outputmenge
Weißblech (EAK 31010301)	350.000
NE-Metalle (EAK 31010302)	60.000
Kunststoffe (EAK 31010303)	596.000
Pappe/Papier (EAK 31010304)	170.000
Verbunde (EAK 31010305)	157.000
Glas (EAK 31010306)	30.000
Sortierreste und Fehlwürfe (EAK 31010307 und 31010309)	891.000

Des Weiteren ist in den aufbereiteten Zahlen der Statistik zur Abfallwirtschaft des BMU das Aufkommen an LVP inklusive der Nicht-Verpackungen aus Kunststoff errechnet. Die entsprechende Menge wurde für den Verbleib aus der Differenz des berechneten Primäraufkommens und der nach der Abfallstatistik Tabelle 3.1 [StBA 2003] gemeldeten Inputmenge ermittelt. Damit ergibt sich insgesamt für die Fraktion der Kunststoffabfälle eine im Jahr 2001 angefallene Menge von 626.000 t, die in der Stoffstrombilanzierung berücksichtigt wurde.

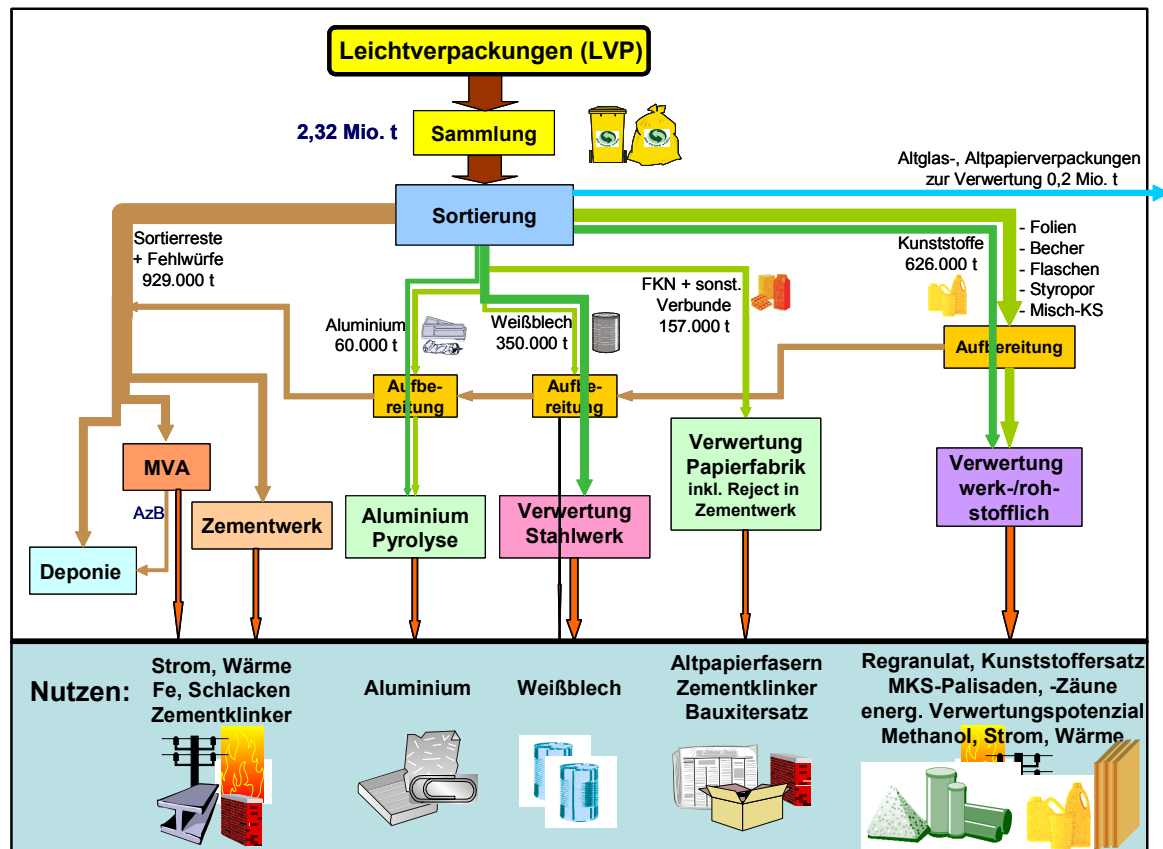


Abb. 2-1 Schema der modellierten Stoffströme für LVP im Jahr 2001

Die in **Tab. 2-13** ausgewiesenen Fraktionen Pappe/Papier und Glas gehören im eigentlichen Sinne nicht zur LVP-Fraktion, wurden aber bei der Sammlung mit dieser erfasst. In der Stoffstrombilanzierung wird der Verwertungsweg für jede der Wertstofffraktionen (LVP, PPK und Glas) separat modelliert. Im Bilanzmodell wird folglich die entsprechende Menge (gesamt ca. 200.000 t) nach Sortierung den Verwertungspfaden für PPK bzw. Glas zugeordnet. Die insgesamt daraus modellierten Stoffströme für die Wertstofffraktion LVP sind in **Abb. 2-1** ersichtlich. Diese beinhaltet den vollständigen Verwertungsweg inkl. der erzeugten Nutzen aus der LVP-Verwertung.

Anpassungen Verbleib Abfälle Graue Tonne, Sperrmüll und hausmüllähnliche Gewerbeabfälle

Ähnlich wie bei den trockenen Wertstofffraktionen war es für die Stoffstrombilanzierung erforderlich, auch die Abfälle aus der Grauen Tonne, den Sperrmüll und (für die Betrachtung der Einzeljahre) die hausmüllähnlichen Gewerbeabfälle in ihrem Verbleib anzupassen, um im Unterschied zur Statistik zur Abfallwirtschaft des BMU auch die anteilige Behandlung über MBAn berücksichtigen zu können. Der jeweilige Anteil, der im Jahr 2001 in MBAn behandelt wurde, ist nicht aus der FS 19, R 1 [StBA 2003] zu entnehmen. Hierzu wurden die entsprechenden Daten freundlicherweise vom StBA gesondert aufbereitet und für das Forschungsvorhaben zur Verfügung gestellt. Die danach mitgeteilten Inputmengen in MBAn im Jahr 2001 sind in **Tab. 2-14** aufgeführt. Die ebenfalls mitgeteilten Outputmengen geben die Inputmengen nur zum Teil wieder, zudem handelt es sich dabei um Einzelwerte, die aus Datenschutzgründen vertraulich zu behandeln sind.

Für die Stoffstrombilanzierung der MBAn ist auch hier wiederum eine vollständige Input-Output-Bilanz notwendig, für welche die in [StBA 2003] genannten Daten keine ausreichende Grundlage bieten. Insofern wurde auch hier auf eigene Daten zu Massenbilanzen für eine mittlere MBA 2001 in Deutschland zurückgegriffen. Auf die jeweils im Stoffstrommodell verwendeten Einzelprozesse wird in Kapitel 3.1 genauer eingegangen.

Tab. 2-14 Im Jahr 2001 in MBAn behandelte Mengen [StBA 2004]

Abfallart (Mengen in Tonnen)	Input
Hausmüll, hausmüllähnliche Gewerbeabfälle über die öffentliche Müllabfuhr eingesammelt ("Graue Tonne")	752.167
Sperrmüll (separat gesammelt)	95.669
Hausmüllähnliche Gewerbeabfälle	80.067
Summe Input MBA 2001	927.903

Um eine Doppelbilanzierung zu vermeiden, wurde für den Verbleib der Abfallfraktionen Hausmüll inkl. Geschäftsmüll ("Graue Tonne"), Sperrmüll und hausmüllähnliche Gewerbeabfälle (für die Einzeljahrbetrachtung) vereinfacht so vorgegangen, dass die Inputmengen der MBAn von den nach der Statistik zur Abfallwirtschaft des BMU gemeldeten Mengen zur Verwertung abgezogen wurden. Die nach der Statistik zur Abfallwirtschaft des BMU berichteten Mengen zur Beseitigung wurden direkt für die Stoffstrommodellierung übernommen. Bei den verbleibenden Mengen zur Verwertung ist lediglich bekannt, dass diese fast ausschließlich stofflich erfolgt (s. o.), nicht jedoch die konkrete Art der Verwertung. Hier wurde analog dem Vorgehen für das Bilanzjahr 1990 vereinfachend angenommen, dass es sich bei den Fraktionen Sperrmüll und hausmüllähnliche Gewerbeabfälle wahrscheinlich um enthaltene Altholzanteile handelt, die stofflich über Spanplattenindustrie verwertet werden. Für die Abfälle aus der Grauen Tonne wurde der Versuch einer Annahme zu einer stofflichen Verwertung unterlassen, die geringe Menge (4% des Gesamtaufkommens) wurde vernachlässigt.

2.3.3 Abfallverbleib 2002

Der Verbleib der Abfälle im Jahr 2002 wurde, ebenso wie ihr Aufkommen, aus den Angaben der Abfallbilanzen der Bundesländer abgeleitet. Im Allgemeinen ist der Abfallverbleib in den Bilanzen der Bundesländer gut dokumentiert, dies gilt insbesondere für den Verbleib der Abfälle Hausmüll inkl. Geschäftsmüll (Graue Tonne), Sperrmüll, haumüllähnliche Gewerbeabfälle und organische Abfälle (Bioabfall aus Biotonne und Garten-, Park- und Friedhofsabfälle). Im Idealfall wird der Verbleib für diese Abfälle nach stofflicher, biologischer und sonstiger Verwertung, Verbringung zur MBA sowie zur Beseitigung durch Deponierung und Verbrennung differenziert.

Verbleib Hausmüll inkl. Geschäftsmüll, Sperrmüll, haumüllähnliche Gewerbeabfälle und organische Abfälle

Für getrennt erfasste organische Abfälle wurde grundsätzlich davon ausgegangen, dass diese Abfälle biologischen Behandlungsanlagen zugeführt werden. Die Angaben zu Beseitigung bzw. Verbringung zur MBA wurden direkt aus den Angaben der Abfallbilanzen der Länder übernommen.

Bei den Restabfällen Hausmüll inkl. Geschäftsmüll, Sperrmüll und haumüllähnliche Gewerbeabfälle enthielten die Abfallbilanzen der Länder nicht in allen Fällen ausführliche Angaben zum Verbleib. So wird in einigen Bundesländern der beseitigte Anteil einer konkreten Abfallfraktion nicht differenziert nach den Mengen angegeben, die deponiert oder verbrannt werden. Manche dieser Bundesländer machen aber Angaben zum Beseitigungssplit für die gesamten Siedlungsabfälle. In diesen Fällen wurde der Gesamtsplit auf die Einzelfractionen übertragen. Dies gilt für Berlin, Rheinland-Pfalz und Niedersachsen. Auch in den Abfallbilanzen der Bundesländer Mecklenburg-Vorpommern und Sachsen-Anhalt ist der konkrete Verbleib der Abfälle zur Beseitigung nicht genannt. Hier wurde die Art der Beseitigung auf Grund der verfügbaren Kapazitäten geschätzt. Beide Bundesländer verfügten im Jahr 2002 ausschließlich über Depo-nien für die Abfallbeseitigung, entsprechend wurde vereinfacht angenommen, dass die Abfälle zur Beseitigung vollständig deponiert wurden¹⁵.

Neben den Mengen zur Beseitigung wurden teilweise auch für die Restabfälle Mengen genannt, die einer Verwertung zugeführt wurden. Diese wurde jedoch nur allgemein als stoffliche, energetische oder sonstige Verwertung bezeichnet, über die konkrete Art der Verwertung finden sich i.d.R. keine Auskünfte. Eine Ausnahme bildet das Land Hesse, hier wird zu den zur stofflichen und energetischen Verwertung ausgewiesenen Mengen indirekt eine Erklärung abgegeben: Bei der gesamt gemeldeten Menge des Abfallverbleibs ergibt sich gegenüber dem Abfallaufkommen eine Fehlmenge. Dazu wird erläutert, dass sich diese aus Massenverlusten einer mechanisch-biologischen Behandlung ergibt. Aus dieser Angabe wurde gefolgert, dass es sich bei den Mengen zur stofflichen und energetischen Verwertung um Outputmengen von MBAn handelt. Da für die Stoffstrombilanzierung aber zunächst das Primärabfallaufkommen maßgeblich ist, wurde zu den Mengen aus stofflicher und energetischer Verwertung die Differenzmenge aus den Massenverlusten addiert und diese Gesamtmenge einer Behandlung über MBAn zugeordnet.

¹⁵ Ob möglicher Weise Kooperationen mit anderen Bundesländern bestanden, wurde nicht geprüft.

Bei den Angaben weiterer Bundesländer, die Restabfälle zur stofflichen oder sonstigen Verwertung auswiesen, fanden sich keine entsprechenden Hinweise, die Aufschluss über die Art der Verwertung gegeben hätten. Hier wurden abfallspezifische Annahmen getroffen. Für die Abfallfraktion Hausmüll inkl. Geschäftsmüll weisen die Länder Nordrhein-Westfalen, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen kleine Abfallmengen zur sonstigen Verwertung aus. Insgesamt berechnet sich diese Abfallmenge zu 46.324 t. Hier kann z. B. angenommen werden, dass in NRW die entsprechende Menge über das Zementwerk Erwitte verwertet wurde und für Sachsen käme eine Verwertung über das SVZ Schwarze Pumpe in Frage. Da es sich allerdings in Relation zum Gesamtaufkommen um eine sehr geringe Menge handelt (0,3%), wurde diese in der Bilanzierung vernachlässigt.

Auch bei Sperrmüll und hausmüllähnlichen Gewerbeabfällen werden Mengen zur stofflichen und sonstigen Verwertung ausgewiesen. Bei Sperrmüll machen zehn der 16 Bundesländer entsprechende Angaben. Bei beiden Fraktionen handelt es sich um größere Mengen (bei Sperrmüll 14,5% des Gesamtaufkommens, bei hausmüllähnlichen Gewerbeabfällen um 6%). Da, wie oben erwähnt, konkrete Angaben über die Art der Verwertung bei keinem Bundesland gemacht wurden (und diese wahrscheinlich im Einzelnen auch nicht bekannt ist), diese Mengen aber nicht vernachlässigt werden sollten, wurde hier eine Konvention getroffen. Es wurde angenommen, dass es sich bei diesen Abfällen zur stofflichen Verwertung um holzige Bestandteile der Abfallfraktionen handelt, für diese wurde analog den Modellierungen für 1990 und 2001 angenommen, dass sie stofflich in der Spanplattenindustrie verwertet werden.

Der insgesamt aus den Abfallbilanzen der Bundesländer ermittelte Verbleib der Abfälle ist der nachfolgenden Tabelle zu entnehmen. Darin ist neben dem Verbleib der Abfälle nochmals das Gesamtaufkommen wiedergegeben. In Summe des Verbleibs gegenüber dem Aufkommen berechnen sich kleine Differenzen. Diese ergeben sich zum einen aus sehr geringen vom Bundesland Bayern gemeldeten Mengen, die 2002 zwischengelagert wurden (618 t Hausmüll und 80 t hausmüllähnliche Gewerbeabfälle), zum anderen sind die Differenzmengen durch Bilanzdifferenzen bedingt, die so bereits in den Originalbilanzen der Länder enthalten waren und bei denen es sich üblicherweise um Rundungsfehler handeln dürfte.

Tab. 2-15 Abfallverbleib der Restabfälle und organischen Abfälle gemäß Abfallbilanzen der Bundesländer im Jahr 2002

Abfallart (Mengen in Tonnen)	Aufkommen	Verwertung	MVA	Deponie	MBA
Hausmüll inkl. Geschäftsmüll	14.607.247	46.324	7.519.424	6.435.774	604.007
Sperrmüll	2.877.180	420.572	1.073.589	1.316.652	68.368
Hausmüllähnliche Gewerbeabfälle	3.815.770	232.517	1.083.423	2.307.246	192.316
Bioabfall	4.240.197	4.169.226	12.155	53.658	5.159
GPF	4.336.038	4.250.381	38.393	46.264	-

GPF: Garten-, Park- und Friedhofsabfälle

Verbleib Altholz

Im Unterschied zu den Abfallstatistiken für 1990 und 2001 sind in den Abfallbilanzen der Bundesländer auch Altholzmengen separat ausgewiesen. Dies ist allerdings nicht bei allen Bundesländern der Fall und es ist auch nicht immer eindeutig nachvollziehbar

ob der als Altholz separat ausgewiesene Wert zudem auch in der Sperrmüllmenge enthalten ist. Hier wurden, wie bereits zum Abfallaufkommen erwähnt, die Zahlen übernommen wie gemeldet, eine Doppelzählung ist somit nicht auszuschließen; allerdings wäre umgekehrt bei Nichtberücksichtigung dieser Mengen auch eine Unterschätzung möglich. Die insgesamt separat ausgewiesene Altholzmenge beträgt 385.390 t. Das bundesweite Gesamtaufkommen an Altholz wird nach verschiedenen Quellen mit etwa 8 Mio. Tonnen angegeben. Die Aufteilung dieser Gesamtmenge wird je nach Quelle etwas unterschiedlich benannt:

Nach einem Artikel über "Aufkommen und Verwertungswege von Altholz in Deutschland" (in: Müll u. Abfall 5/99) sind von der Gesamthalholzmenge etwa

- 5 Mio. t Bau- und Abbruchholz
- 1,6 Mio. t Möbel und sonstiges
- 1,2 Mio. t Verpackungsholz

Nach [Marutzky 1999] unterteilt sich das Gesamtaufkommen an Altholz in:

- 4,2 Mio. t Bau- und Abbruchholz
- 2,8 Mio. t holzhaltiges Sperrgut und Altmöbel
- 1 Mio. t Verpackungsholz

Trotz der unterschiedlichen Angaben, dürfte klar sein, dass der Hauptanteil des Altholzes aus dem Bereich der Siedlungsabfälle in den Zahlen zu Sperrmüll und hausmüllähnlichen Gewerbeabfällen enthalten ist und die oben ermittelte separat ausgewiesene Altholzmenge nur einen kleinen Teil wiedergibt. Damit erscheint es gerechtfertigt, für die Mengen des Sperrmülls und der hausmüllähnlichen Gewerbeabfälle, die einer stofflichen Verwertung zugeordnet wurden, anzunehmen, dass es sich dabei vorwiegend um holzige Bestandteile handelt.

Für die separat ausgewiesene Menge Altholz in den Abfallbilanzen der Länder 2002 ist nicht angegeben, auf welche Art das Altholz verwertet wird. Zur Ableitung des jeweiligen Anteils der stofflichen und energetischen Verwertung wurden mittlere Angaben für Deutschland herangezogen. Dem Hintergrundpapier zur Altholzverordnung kann entnommen werden, dass Altholz in Deutschland etwa zu 1/3 deponiert, zu 1/3 stofflich verwertet und zu 1/3 energetisch verwertet wird. Entsprechend wird für die Verwertung des Altholzes zu 50% von einer energetischen Verwertung in Biomasse-Heizkraftwerken und zu 50% von einer stofflichen Verwertung in der Spanplattenindustrie ausgegangen.

Verbleib trockene Wertstoffe (LVP, PPK und Glas)

Für den Verbleib der trockenen Wertstoffe LVP, PPK und Glas wird in den Abfallbilanzen der Bundesländer in der Regel angegeben, dass diese einer stofflichen Verwertung zugeführt werden. Nur vereinzelt sind daneben Mengen ausgewiesen, die zu einer Beseitigung oder zur Zwischenlagerung gingen. Ebenfalls nur vereinzelt sind die anfallenden Mengen an Sortierresten dokumentiert. Insgesamt war es daraus nicht möglich, den weiteren Verwertungsweg der trockenen Wertstoffe vollständig abzubilden. Hier wurden allgemeine Kenntnisse zu der Verwertung von PPK, Glas und LVP hinzugezogen.

Für PPK und Glas wurde der insgesamt in Sortieranlagen abgetrennte Anteil an Abfällen zur Beseitigung auf Basis vorhandener Datensätze des ifeu abgeleitet (14,5% des

Input bei PPK und 2,4% des Input bei Altglas); für deren konkrete weitere Entsorgung wurden die Angaben aus den Bundesländern verwendet. Hinsichtlich der Abfallfraktion LVP ist es aufgrund der Angaben der Bundesländer nicht möglich, eine Unterteilung in die Teilfraktionen abzuleiten. Nur manche Bundesländer machen Angaben zu Teilfraktionen wie Kunststoffen oder Metallen und bei diesen ist nicht immer klar, ob es sich dabei um Verpackungen handelt oder nicht. Insofern wurde zur Untergliederung der LVP-Menge auf verfügbare Angaben der DSD AG zurückgegriffen. Im Jahr 2002 wurden über das DSD-System insgesamt rund 2.380.000 t LVP gesammelt. Mit diesem Wert stimmt der über die Abfallbilanzen der Bundesländer ermittelte Wert, trotz teils gegebener Zuordnungsschwierigkeiten, von 2.221.489 t (s. **Tab. 2-6**) gut überein. Anstatt nun aber die über DSD verfügbare Unterteilung prozentual auf den über die Abfallbilanzen der Länder ermittelten Wert zu übertragen, wurde für die Stoffstrombilanzierung direkt der DSD-Wert verwendet.

2.3.4 Abfallverbleib 2005

Ebenso wie die Daten zum Abfallaufkommen im Jahr 2005 wird für die Feststellung des zukünftigen Abfallverbleibs die Prognose der LAGA [2004] herangezogen. In diesem Bericht der LAGA für die 62. Umweltministerkonferenz werden zwar keine expliziten Angaben zum Abfallverbleib gemacht, allerdings beinhaltet er Prognosen zu den im Jahr 2005 verfügbaren Anlagenkapazitäten. Der LAGA-Bericht bezieht sich, dem eigentlichen Ziel der Prognose entsprechend (Einschätzung der Entsorgungssicherheit im Jahr 2005), ausschließlich auf Abfälle, die zur Beseitigung anfallen. Hinsichtlich der Abfälle zur Verwertung wurden für diese Untersuchung Plausibilitätsüberlegungen angestellt. So ist davon auszugehen, dass sich im Jahr 2005 gegenüber 2001 weder das Aufkommen an separat erfassten organischen Abfällen noch das der getrennt erfassten trockenen Wertstoffe wesentlich ändern wird.

Verbleib Abfälle zur Verwertung

Zu den organischen Abfällen bestehen derzeit Unsicherheiten in der Frage, wie sich die Bioabfallverwertung insgesamt weiter entwickeln wird. In den letzten Jahren waren v. a. Klärschlämme hinsichtlich ihrer Anwendung in der Landwirtschaft im Brennpunkt der abfallpolitischen Diskussion. Diese führte zu grundsätzlichen Überlegungen über die Anwendung von Düngemitteln in der Landwirtschaft, die auch die Kompostanwendung mit einbezog. Eine diskutierte Möglichkeit, hier einheitliche Bewertungskriterien für sämtliche Düngemittel zu schaffen (Qualitätskriterien für die Anwendung in der Landwirtschaft, v. a. Grenzwerte für Schwermetalle), besteht in der Novellierung der Düngemittelverordnung. Gegenwärtig ist diese Diskussion zunächst in den Hintergrund getreten, dennoch bestehen für Entsorger Unsicherheiten über die künftige Entwicklung der Absatzmöglichkeiten für Komposte.

Auch im Bereich der trockenen Wertstoffe, insbesondere bei den Verpackungen, befindet sich der Verwertungsmarkt derzeit in Bewegung. Mit der aus Wettbewerbsgründen festgelegten Vorschrift für das DSD-System, künftig nur noch Verpackungsmengen im System verwerten zu dürfen, für die auch Lizenzen vorliegen, dürften Anstrengungen seitens des DSD zur Steigerung von Erfassungsquoten eingefroren werden, da bereits derzeit manche Fraktionen deutlich über die lizenzierten Mengen hinaus erfasst und verwertet werden (insbesondere PPK-Verpackungen mit einer Verwer-

tungsquote in 2002 von 164% oder Weißblechverpackungen mit einer Verwertungsquote in 2002 von 115%, jeweils bezogen auf die lizenzierten Mengen). Die erfassten Mengen selbst werden durch diese Neuregelung nicht weniger werden, wahrscheinlicher ist eine Direktvermarktung dieser Mengen durch die Betreiber von Sortieranlagen.

Aufgrund dieser Sachverhalte und Annahmen wurde für die Stoffstrombilanzierung zum Aufkommen und Verbleib der Abfälle zur Verwertung (organische Abfälle und trockene Wertstoffe) im Jahr 2005 grundsätzlich von keiner Veränderung gegenüber 2001 ausgegangen. Der Verbleib der Abfälle zur Verwertung wurde aus dem in Kap. 2.3.2 beschriebenen Verbleib für 2001 übernommen. Eine Ausnahme bilden hierbei die 2001 noch deponierten Mengen an organischen Abfällen und Sortierresten aus der Verwertung trockener Wertstoffe. Für das Szenario 2005 wurden nur noch inerte Abfälle einer Deponierung zugeordnet, alle organischen Abfälle und Sortierreste wurden für 2005 der MVA zugerechnet¹⁶. Über die zuvor beschriebenen Abfälle zur Verwertung hinaus wurden im Jahr 2001 auch anteilig Hausmüll, Sperrmüll und hausmüllähnliche Gewerbeabfälle (relevant für die Betrachtung der Einzeljahre) verwertet. Im Sinne einer Gleichbehandlung wurden auch für das Szenario 2005 entsprechende Verwertungsmengen angenommen, die unabhängig vom prognostizierten Aufkommen anstehen. Für Hausmüll wurde auch hier vereinfachend angenommen, dass sich Menge und Art der Verwertung gegenüber 2001 nicht ändern. Angesichts der relativ geringen betroffenen Menge (4%) ist diese Annahme von keiner besonderen Relevanz.

Für die Fraktion Sperrmüll wurde jedoch davon ausgegangen, dass sich die noch im Jahr 2001 stofflich verwertete Menge bis zum Jahr 2005 erhöhen wird. Mit einer entsprechenden Steigerung der Sperrmüllmenge zur Verwertung wurde auch in der Prognose für 2005 gerechnet, diese Menge ist damit nicht mehr in der Summe "Graue Tonne mit Sperrmüll" enthalten. Die hier insgesamt geschätzte Menge an Sperrmüll zur Verwertung im Jahr 2005 wurde mit 1.000.000 t angenommen.

Verbleib Abfälle zur Beseitigung

Zur Ermittlung des Verbleibs von Abfällen zur Beseitigung wurden, wie oben beschrieben, Angaben zur Verfügbarkeit von Entsorgungskapazitäten im Jahr 2005 nach [LAGA 2004] herangezogen. Bei den darin recherchierten Anlagenkapazitäten handelt es sich um Kapazitäten zur Müllverbrennung und zur mechanisch-biologischen Behandlung. Eine Deponierung von Siedlungsabfällen ohne Vorbehandlung ist ab dem 01. Juni 2005 durch die Vorgaben der Abfallablagereungsverordnung ausgeschlossen.

Für die Stoffstrombilanzierung wurden die Angaben nach LAGA [2004] zu gesicherten Anlagenkapazitäten verwendet. Danach werden im Jahr 2005 folgende Kapazitäten zur Abfallbeseitigung zur Verfügung stehen:

Gesamtkapazität der Müllverbrennungsanlagen:	16.813.000 t
Gesamtkapazität der Mechanisch-biologischen Behandlungsanlagen:	5.034.400 t

¹⁶ Für den ursprünglich in diesem Forschungsvorhaben durchgeführten Vergleich mit der abfallwirtschaftlichen Situation im Jahr 2002 galten die analogen Überlegungen, das Szenario 2005 basiert dort auf den Zahlen 2002. Dieser Vergleich ist auszugsweise im Anhang dargestellt.

Nach LAGA [2004] wurden darüber hinaus auch die im Jahr 2005 möglichen Kapazitäten zur Mitverbrennung in Kraftwerken und Zementwerken recherchiert. Insgesamt haben dazu nur 9 der 16 Bundesländer Angaben gemacht. Nach diesen ergeben sich für das Jahr 2005 folgende Daten:

Gesicherte Kapazität zur Mitverbrennung:	1.858.000 t
Geplante Kapazität zur Mitverbrennung:	1.080.400 t

Fragen, inwiefern die insgesamt ermittelten Behandlungskapazitäten im Jahr 2005 zur Gewährleistung einer Entsorgungssicherheit ausreichen, waren nicht Gegenstand dieses Forschungsvorhabens. Ungeachtet der Frage, ob die geschätzten ca. 5 Mio. t Gewerbeabfälle, die derzeit nicht einer Beseitigung zugeführt werden, im Jahr 2005 zur Beseitigung anfallen sowie ungeachtet der Frage, ob über die gesicherten Kapazitäten hinaus auch die geplanten Kapazitäten im Jahr 2005 tatsächlich zur Verfügung stehen, wurden auf Basis der nach LAGA [2004] verfügbaren Daten lediglich plausible Überlegungen zum möglichen Abfallverbleib der Siedlungsabfälle bzw. Abfälle aus Haushaltungen angestellt.

Danach wurde grundsätzlich davon ausgegangen, dass die gesammelten Abfälle aus Haushalten nicht direkt einer Mitverbrennung zugeführt werden. Des Weiteren wurde angenommen, dass die gesicherte Kapazität von MBAn im Jahr 2005 vollständig durch die über die öffentliche Müllabfuhr gesammelten Abfälle "Graue Tonne mit Sperrmüll" ausgeschöpft wird. Die verbleibende Menge geht nach Abzug des Anteils zur Verwertung vollständig in die Müllverbrennung. Die Deponierung unvorbehandelter Abfälle wurde für das Szenario 2005 vollständig ausgeschlossen, es wurde nur noch von einer Deponierung inerte Abfälle ausgegangen. Das hat zur Folge, dass die im Jahr 2001 direkt deponierten organischen Abfälle im Szenario 2005 der Verbrennung zuaddiert wurden, ebenso die im Jahr 2001 deponierten Sortierreste aus der Verwertung von PPK und LVP.

Tab. 2-16 Verbleib Hausmüll, Sperrmüll, hausmüllähnliche Gewerbeabfälle im Szenario 2005

Abfallart (Mengen in Tonnen)	Aufkommen	MVA	MBA	Verwertung
Graue Tonne mit Sperrmüll	16.310.470	9.590.270	5.034.400	685.800
Sperrmüll zur Verwertung				1.000.000
Hausmüllähnliche Gewerbeabfälle	4.160.940	2.366.940	-	1.794.000

Für den Vergleich der Einzeljahre zur Beurteilung des Einflusses der hausmüllähnlichen Gewerbeabfälle, wurde für diese im Jahr 2005 angenommen, dass sie nach Abzug der verwerteten Menge vollständig zur Verbrennung verbracht werden. Den insgesamt angesetzten Verbleib für Hausmüll, Sperrmüll und hausmüllähnliche Gewerbeabfälle zeigt **Tab. 2-16**.

2.3.5 Gesamtschau Abfallverbleib für die Jahre 1990, 2001 und Szenario 2005 (in der Stoffstromanalyse verwendete Daten)

Im Folgenden werden aus den zuvor beschriebenen Daten zum Abfallverbleib der verschiedenen Jahre diejenigen einander gegenübergestellt, an Hand derer die abschließende vergleichende Stoffstromanalyse durchgeführt wurde. Dies sind die Jahre 1990 (basierend auf der Abfallstatistik FS 19, R 1 [StBA 1994], 2001 (basierend auf der Statistik zur Abfallwirtschaft [BMU 2001]) und 2005 (basierend auf den Daten zur Statistik zur Abfallwirtschaft [BMU 2001] sowie den Daten nach [LAGA 2004]). Die betrachteten Abfallfraktionen sind die Abfälle aus Haushaltungen: Hausmüll, Sperrmüll, Bioabfall und GPF, LVP, PPK und Glas. Hausmüllähnliche Gewerbeabfälle wurden von der vergleichenden Stoffstromanalyse ausgenommen (s. Kap. 2.2.5). In den nachfolgenden Tabellen **Tab. 2-17** bis **Tab. 2-19** wird der jeweilige Abfallverbleib, getrennt nach der Art des Verbleibs, dargestellt. Die verschiedenen Abfallfraktionen, die der gleichen Entsorgungsart zugeführt werden, sind darin zusammengefasst.

In **Tab. 2-17** sind alle Abfallmengen aufgeführt, die in die Verwertung bzw. in eine Vor- und Zwischenbehandlung gehen. In den getrennt erfassten Abfällen zur Sortierung/-Verwertung sind die trockenen Wertstoffe LVP, PPK und Glas zusammengefasst, organische Abfälle beinhalten Bioabfall und GPF. Die entsprechenden Zahlen finden sich für 2005 unverändert gegenüber 2001, da wie zuvor erläutert von keiner Veränderung im Abfallaufkommen und dem verwerteten Anteil der Abfälle zur Verwertung ausgegangen wird. Die Summe Haus- und Sperrmüll zur Verwertung 2005 berücksichtigt jedoch einen höheren Anteil Sperrmüll zur Verwertung.

Besonders auffällig sind in der Gegenüberstellung die von 1990 bis 2001 deutlich gestiegenen Mengen der getrennt erfassten und einer Verwertung zugeführten Abfälle. Zudem zeigt sich eine steigende Bedeutung mechanisch-biologischer Behandlungsanlagen von 2001 bis 2005.

Tab. 2-17 Verbleib der Abfälle aus Haushaltungen in Sortier- und Verwertungsanlagen sowie MBAn

Abfälle zur stofflichen Behandlung/Verwertung (Mengen in Tonnen)	1990 StBA	2001 BMU (StBA)	2005 *)
Getrennt erfasste Abfälle zur Sortierung/Verwertung	2.919.151	12.893.516	12.893.516
Organische Abfälle zur biologischen Verwertung	1.005.790	7.604.000	7.604.000
Haus- und Sperrmüll zur Verwertung	107.205	1.252.164	1.685.833
Haus- und Sperrmüll zur MBA	0	847.836	5.034.400

*) Annahme Szenario 2005: Verbleib Abfälle zur Verwertung wie 2001; Abfälle zur MBA abgeleitet nach [LAGA 2004]

In **Tab. 2-18** sind die Abfallmengen aufgeführt und zusammengefasst, die einer thermischen Entsorgung zugeführt werden. Dies sind sowohl die direkt zur Verbrennung in MVAn verbrachten Abfälle aus Haushalten - Hausmüll, Sperrmüll und organische Abfälle - sowie die nach Sortierung bzw. Aufbereitung und Verwertung anfallenden Sortierreste und Sekundärbrennstoffe (SBS), die in MVAn bzw. zur Mitverbrennung gehen. Bei den neben den SBS einer Mitverbrennung zugeführten Sortierresten handelt es sich um Abfälle, die bei der Sortierung und Aufbereitung von PPK und LVP anfallen. Bei der PPK-Verwertung sind dies Schlämme, die im Pulper bzw. Deinkingverfahren

anfallen und einer Mitverbrennung in Kraftwerken zugeordnet werden. Bei der LVP-Verwertung sind dies Sortierreste, die sich ggf. nach einer weiteren Aufbereitung für eine energetische Verwertung eignen und in der Regel in Zementwerken mit verbrannt werden. Daneben entstehen aus der Verwertung von PPK, LVP, organischen Abfällen (Störstoffe), Altglas (Etikette und Verschlüsse) und aus der mechanisch-biologischen Behandlung Sortierreste, die zur Behandlung in MVAn verbracht werden.

Tab. 2-18 Verbleib der Abfälle aus Haushaltungen zur thermischen Verwertung und Behandlung

Abfälle zur thermischen Behandlung/Verwertung (Mengen in Tonnen)	1990 StBA	2001 BMU (StBA)	2005 *)
Sortierreste und SBS in Zement-/Kraftwerk	72.281	1.006.863	1.785.564
Abfälle aus Haushaltungen direkt zur MVA	5.981.581	9.042.000	10.976.237
Sortierreste aus Behandlung/Verwertung zur MVA	142.124	877.191	1.382.715

*) Annahme Szenario 2005: Verbleib Abfälle zur Verwertung wie 2001; Abfälle zur MBA abgeleitet nach [LAGA 2004]
SBS: Sekundärbrennstoffe

In **Tab. 2-19** sind abschließend die Abfälle zur Beseitigung aufgeführt, die einer Deponierung zugeführt werden. Abfälle aus Haushaltungen umfassen wiederum Hausmüll, Sperrmüll und organische Abfälle, Abfälle aus den Wertstofffraktionen LVP, PPK und LVP gelangen erst nach einer Sortierung als Sortierreste zur Deponierung, dabei wird bei Sortierresten aus der Altglasverwertung davon ausgegangen, dass es sich hierbei um inerte Abfälle handelt (z. B. Keramik). Bei den Verbrennungsresten handelt es sich um MVA-Schlacke, um Grobasche aus der Mitverbrennung sowie um Rückstände aus der Rauchgasreinigung, die als Sonderabfälle zur Sonderabfalldeponie gelangen. Der MBA-Rest ist der nach der biologischen Behandlung in der MBA verbleibende Rest, der gemäß den Anforderungen nach TAsi und AbfAbIV deponiert wird.

Tab. 2-19 Verbleib der Abfälle aus Haushaltungen zur Ablagerung

Abfälle zur Deponierung (Mengen in Tonnen)	1990 StBA	2001 BMU (StBA)	2005 *)
Abfälle aus Haushaltungen direkt zur Deponie	28.775.275	8.386.000	0
Sortierreste aus Verwertung zur Deponie	73.744	397.160	63.285
Verbrennungsreste zur Deponie	261.055	332.903	424.314
MBA-Rest zur MBA-Deponie	0	445.114	2.643.060

*) Im Szenario 2005 gelangen nur noch inerte Abfälle und Sonderabfälle zur Deponierung

Besonders auffällig ist hier der sehr deutliche Rückgang der direkt deponierten Abfälle aus Haushaltungen. Von 1990 bis 2001 konnten hier durch die getrennte Erfassung von Wertstoffen wesentliche Reduktionen erzielt werden. Von den danach noch im Hausmüll verbleibenden Anteilen wurden zudem in 2001 höhere Anteile in MVAn behandelt. Im Szenario 2005 werden keine Abfälle aus Haushaltungen mehr direkt abgelagert, da die Ablagerung unvorbehandelter Abfälle ab dem 01.06.2005 unzulässig ist. Reste aus thermischer und mechanisch-biologischer Behandlung werden jedoch weiterhin, auch im Szenario 2005, deponiert werden (inerte Abfälle bzw. Abfälle gemäß den Bestimmungen der AbfAbIV). Mit den 2005 deutlich gesteigerten Mengen, die einer MBA zugeführt werden, erklärt sich auch der deutlich höhere Anfall an MBA-Rest, der zu einer MBA-Deponie gelangt.

Die auf den Verwertungs- und Behandlungswegen anfallenden Sortierreste, die v. a. einer Beseitigung zugeführt werden, können den ebenfalls in LAGA [2004] abgeschätzten Mengen an Sekundärabfällen, die im Jahr 2005 zur Beseitigung anfallen, gegenübergestellt werden. Dieser Vergleich mit den Ergebnissen aus der hier durchgeführten Stoffstrommodellierung ist jedoch nur sinnvoll, wenn in der Verwertung/Behandlung auch die hausmüllähnlichen Gewerbeabfälle einbezogen sind, da die daraus anfallenden Sortierreste einen signifikanten Anteil haben. Die entsprechende Gegenüberstellung der so berechneten Mengen und der Mengen nach LAGA [2004] wird im Anhang 3 beschrieben.

Zusammenfassend lässt sich zur Entwicklung des Abfallverbleibs festhalten:

- Der Anteil der getrennt erfassten und einer Verwertung zugeführten Abfälle ist im Jahr 2001 gegenüber 1990 deutlich angestiegen. Zudem zeigt sich eine steigende Bedeutung mechanisch-biologischer Behandlungsanlagen von 2001 bis 2005.
- Die Menge der direkt einer Deponierung zugeführten Abfälle aus Haushaltungen, hat sich im Jahr 2001 gegenüber 1990 auf weniger als ein Drittel reduziert. Die Differenzmenge konnte entweder getrennt erfasst und verwertet werden oder wurde vermehrt einer Verbrennung über MVA zugeführt. Im Szenario 2005 ist die direkte Deponierung ausgeschlossen, durch die steigende Bedeutung von MBAn steigt die Menge an deponierten MBA-Resten.
- Mit der Steigerung der getrennten Erfassung und Verwertung von Abfällen sowie durch die zunehmende Bedeutung der mechanisch-biologischen Behandlung, steigt auch die Bedeutung der Mitverbrennung von Sortierresten aus der Verwertung bzw. von Sekundärbrennstoffen aus MBAn.

3 Untersuchungsmethode

Die Methode zur Untersuchung des Beitrags der Abfallwirtschaft zur nachhaltigen Entwicklung in Deutschland umfasst die Erstellung von Stoffstrommodellen für die zu untersuchenden Jahre sowie die Analyse und wirkungsbezogene Auswertung der Umweltbeeinträchtigungen, die sich aus den modellierten Stoffströmen berechnen. Die Stoffstrommodellierung erfolgt auf Grundlage der vorangehend beschriebenen Daten zum Abfallaufkommen und -verbleib sowie von Daten zu den Einzelprozessen der Stoffstrommodelle wie Deponierung, Verbrennung oder stoffliche Verwertung einzelner Abfallfraktionen wie z. B. die Aufbereitung von Altpapier in der Papierfabrik.

Nachfolgend werden zunächst die Vorgehensweise der Stoffstrommodellierung sowie einige besonders relevante darin enthaltenen Einzelprozesse beschrieben. Ebenfalls dokumentiert werden die zugrunde gelegten inhaltlichen Zusammensetzungen von Abfallfraktionen, die für einzelne Prozesse eine wesentliche Eingangsgröße darstellen. In Kapitel 3.2 folgt die Erläuterung zur Ermittlung der Umweltbeeinträchtigungen, das Vorgehen zur Wirkungsabschätzung der Ergebnisse. Die Unterschiede der Ergebnisse daraus für die verschiedenen Untersuchungszeiträume zeigen den Erfolg der Abfallwirtschaft beim Umwelt- und Ressourcenschutz.

3.1 Das Stoffstrommodell

3.1.1 Allgemeine Grundlagen der Stoffstrommodellierung

Basierend auf den ermittelten Mengendaten zu Aufkommen und Verbleib von Abfällen in den Jahren 1990 und 2001 sowie auf den entsprechenden Prognosedaten für 2005 wurden Stoffstromanalysen mit Hilfe des Software-Tools Umberto® (www.umberto.de) durchgeführt. Umberto® erlaubt die Modellierung der Stoff- und Energieumwandlungen eines jeden in der Abfallwirtschaft und der Stoffstromwirtschaft vorkommenden Prozesses in der jeweils notwendigen Detaillierungstiefe.

Bei der Erstellung des gesamten Stoffstrommodells für jedes der zu untersuchenden Jahre wurde zunächst für jede zu untersuchende Abfallfraktion deren Entsorgungswege abgebildet (s. z. B. **Abb. 2-1**). Einzelne Prozessschritte sind dabei verschiedenen Abfalltypen gemeinsam, andere wiederum kommen nur für eine bestimmte Abfallart vor. Die wesentlichen Prozessschritte sind in **Tab. 3-1** allgemein beschrieben. Sie gelten im Prinzip in etwa gleichermaßen für die drei untersuchten Jahre, mit der Ausnahme, dass es 1990 weder MBAn gab noch Leichtverpackungen getrennt erfasst wurden, entsprechend traten die damit verbundenen Stoffströme nicht auf.

Der Bilanzraum der Untersuchung beginnt mit der Sammlung des zur Entsorgung anstehenden Abfalls und endet mit seiner Verwertung oder Beseitigung. Die so genannte "Vorkette", das heißt die Herstellung und der Gebrauch der zu Abfall gewordenen Produkte, ist nicht Bestandteil des Bilanzraumes. Diese Beschränkung des Bilanzraumes ist in Ökobilanzen der Abfallwirtschaft allgemein üblich. Eine notwendige Voraussetzung hierfür ist allerdings, dass sich die gesamte Abfallmenge zwischen den betrachte-

ten Zeiträumen nicht wesentlich ändert¹⁷. Wie in Kapitel 2.2.5 gezeigt wurde, trifft dies für die hier betrachteten Abfälle aus Haushalten (Haus- und Sperrmüll, Glas, PPK und LVP sowie organische Abfälle) zu.

Ein wesentlicher Aspekt der Stoffstrommodellierung ergibt sich aus den durch die Entsorgung erzeugten Sekundärrohstoffen und Sekundärprodukten. Der sich aus diesen ergebende Nutzen - das Potenzial, funktionsäquivalente Primärrohstoffe und Primärprodukte zu ersetzen - wird in der Bilanzierung berücksichtigt.

Tab. 3-1 Grundsätzliche Prozessschritte bei der Entsorgung von Abfällen

Sammlung	Über Müllsammelfahrzeuge oder durch separate Transporte (Sperrmüll, GPF) im Bring- oder im Holsystem
Sortierung /-Aufbereitung	Insbesondere die trockenen Wertstoffe gelangen zunächst zu Sortieranlagen; die organischen Abfälle werden vor Behandlung aufbereitet; Haus- und Sperrmüll gelangen anteilig in eine mechanisch-biologische Behandlung, die größeren Mengen gehen allerdings ohne weitere Aufbereitung direkt zur Beseitigung in Deponien oder MVAn
Verwertung	Die aufbereiteten Wertstoffe - Altglas, Altpapier, LVP-Teilfraktionen, biogene Stoffe, aussortiertes Altholz, Sekundärbrennstoffe oder verwertbare Sortier- und Aufbereitungsreste, werden ihren Abfalleigenschaften entsprechend stofflich oder energetisch verwertet; ebenfalls verwertet werden die bei einer Entsorgung in MVAn in der Schlacke anfallenden Metalle nach einer Schlackeaufbereitung
Beseitigung	Zur Beseitigung anfallende Sortier- und Aufbereitungsreste werden wie die direkt zur Beseitigung anstehenden Haus- und Sperrmüllmengen (und teilweise organische Abfälle) in MVAn oder Deponien entsorgt
Nutzen	Sowohl bei den Verwertungsprozessen als auch bei der Beseitigung in MVAn kommt es zur Erzeugung von Sekundärprodukten oder Energie, durch die die Erzeugung entsprechender Produkte bzw. Energien aus Primärrohstoffen vermieden werden kann. Der so erzeugte Nutzen wird über Gutschriften angerechnet, hierzu wurde ein Äquivalenzsystem modelliert
Äquivalenzprozesse	Die durch die Stoffströme der Abfallwirtschaft erzeugten Sekundärprodukte oder Energien substituieren funktionsäquivalent Primärprodukte bzw. konventionell erzeugte Energie. Die Herstellung dieser - z.B. Düngemittel, Neuglas, Neufasern zur Papier- und Pappenherstellung oder nutzbare Energie - wird modelliert

Abb. 3-1 zeigt schematisch die vollständigen Entsorgungswege und damit auch den betrachteten Bilanzraum für die Abfälle aus Haushalten, unterschieden nach den wesentlichen Prozessschritten wie sie in **Tab. 3-1** allgemein beschrieben wurden. Mit Hilfe des Software-Tools Umberto® werden für jeden Einzelprozess alle relevanten Aufwendungen wie Energie- oder Hilfsstoffeinsatz (inkl. Vorketten) sowie alle relevanten zugehörigen Emissionen in Abhängigkeit von den jeweils betrachteten Abfallströmen be-

¹⁷ Bei einem deutlichen Abfallrückgang in Folge von Abfallvermeidung müsste die „Vorkette“ in den Bilanzraum einbezogen werden, da ansonsten die auf Grund der Abfallvermeidung geringere entsorgte Abfallmenge zu geringeren Gutschriften und damit - paradoxer Weise - zu höheren Umweltlasten führen würde.

rechnet. Dies gilt analog auch für die Äquivalenzprozesse, die in **Abb. 3-1** nicht explizit aufgeführt sind. Die Herstellung der substituierten Primärprodukte wird über den dargestellten erzeugten Nutzen bildlich angedeutet.

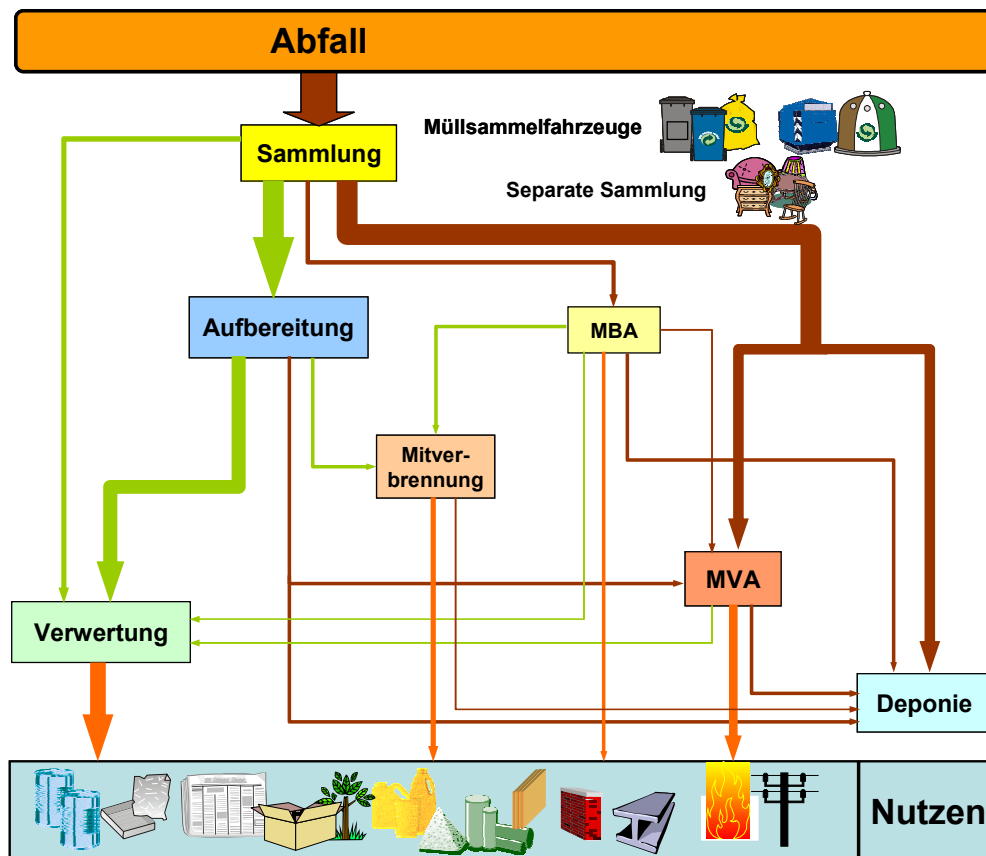


Abb. 3-1 Allgemeines Schema der Entsorgungswege der Abfälle aus Haushalten

Die der Berechnung zugrunde liegenden Prozessdaten stammen zum Teil aus anderen Forschungsvorhaben z. B. zum Umgang mit Verpackungen [ifeu 1993], [ifeu 2001b], zur Verwertung organischer Abfälle [ifeu 2001], oder zur Mitverbrennung [ifeu, lfd. Projekt] oder wurden - insbesondere zur Abbildung des Technikstandes 1990 - aus allgemeinen Datenquellen entnommen (insbesondere Daten zur Umwelt des Umweltbundesamtes [UBA 1990/91], [UBA 1992/93]).

Manche Emissionen bzw. Prozessabläufe hängen von der spezifischen Zusammensetzung des Abfalls ab. In den betroffenen Prozessen - wie z.B. der Müllverbrennung, der Mitverbrennung oder der biologischen Behandlung organischer Abfälle - wurde die Abfallzusammensetzung des zur Behandlung anstehenden Abfallgemischs über die Abfallzusammensetzung der einzelnen zugeführten Abfallfraktionen ermittelt und über deren Massenanteil gewichtet.

Als Beispiel für die in Umberto® umgesetzten Stoffstrommodelle für die untersuchten Jahre zeigt **Abb. 3-2** einen Ausschnitt aus dem für das Jahr 2001 erstellten Modell. Eine Darstellung des Gesamtnetzes wäre auf Grund des Umfangs nicht in lesbarer Form möglich. Die Prozesse sind in Umberto® in so genannten Transitionen (blaue Rechte-

ecke) hinterlegt. Die zu- und abfließenden Stoffströme werden über "Stellen" geleitet. Dabei wird zwischen internen und externen Stoffflüssen unterschieden. Erstere liegen innerhalb des Bilanzraumes und sind reine Verbindungsstellen ("Connection", beige doppelt umrandeter Kreis), letztere bilden in den Bilanzraum ein- ("Input", grüner Kreis) bzw. austretende ("Output", roter Kreis) Stoffströme ab. Stellen und Transitionen sind über Pfeile verknüpft. Das über diese Bausteine erstellte Netzwerk der Prozesse verläuft dabei nicht nur auf einer Ebene, sondern ist hierarchisch strukturiert - auf der Hauptnetzebene können Subnetze (doppelt blau umrandete Rechtecke) definiert werden und auch auf deren Ebene sind wiederum weitere Subnetze definierbar.

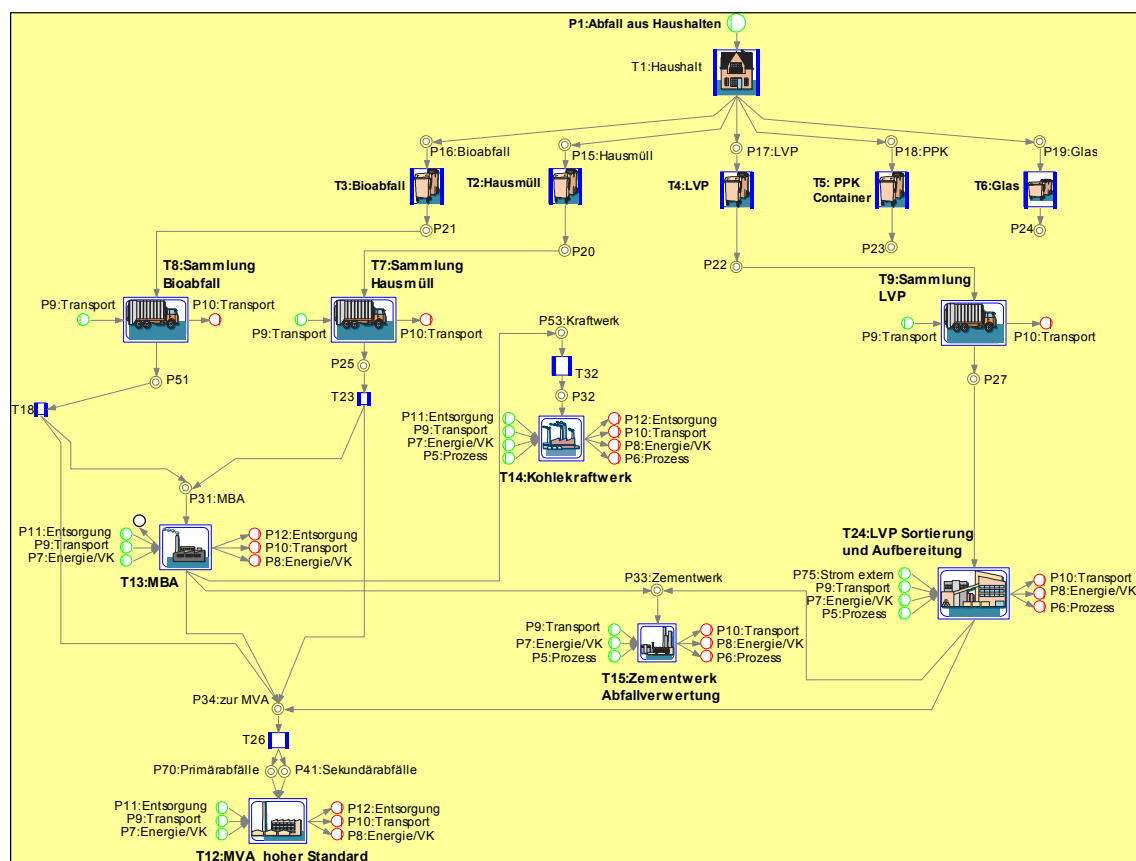


Abb. 3-2 Ausschnitt aus dem Stoffstrommodell für Abfälle aus Haushaltungen (Bilanzjahr 2001) erstellt mit der Software Umberto®

Das erhaltene Netzwerk kann in Umberto® geschlossen ausgewertet werden, aber auch nach einzelnen Teilbereichen. Die Auswertung liefert zunächst die berechneten Umweltbeeinträchtigungen, wie Emissionen, Rohstoff- und Flächenverbräuche (so genannte Sachbilanzergebnisse). Diese werden in der Wirkungsabschätzung (s. Kap. 3.2) zu wirkungsbezogenen Kennzahlen zusammengefasst.

Das beschriebene Vorgehen der Stoffstrommodellierung zur Abbildung der abfallwirtschaftlichen Aktivitäten verdeutlicht die Komplexität der damit verbundenen Stoffströme. Gegenüber dem Stand von 1990 werden dabei nicht nur die Stoffströme der Abfallwirtschaft komplexer, es entstehen auch vielfältigere und hochwertigere Sekundär-

rohstoffe und Sekundärprodukte. Hierin ist ein wesentlicher Beitrag der Abfallwirtschaft zur nachhaltigen Entwicklung in Deutschland zu sehen, wie folgende Beispiele zeigen:

- Jede nicht beseitigte Papierfaser ersetzt eine entsprechende Menge an funktionsgleichem Primärfasermaterial.
- Kunststoffe ersetzen Produkte aus Primärkunststoff oder dienen zur Herstellung von Produkten wie Palisaden oder Zaunstäben und ersetzen damit Beton- und Holzprodukte.
- Die über Bioabfälle dem Boden wieder zurückgeführten Nährstoffe ersetzen eine funktionsäquivalente Menge an Mineraldüngern, die z.B. in Form von Phosphat-erzen als Primärmaterial gewonnen werden müssten.
- Bei der energetischen Verwertung z.B. in Zementwerken oder Kraftwerken werden verschiedene Primärenergieträger ersetzt.

Die Abfallwirtschaft wird zur Stoffstromwirtschaft.

Um den Beitrag der Abfallwirtschaft zur nachhaltigen Entwicklung bestimmen zu können, ist es notwendig, dass

- die Stoffströme aller Abfälle nachvollzogen werden,
- jeder Prozess in der Stoffstromkette, sei es Erfassung, Sortierung, Aufbereitung, Transporte, etc. und der mit ihm verbundene Aufwand berücksichtigt wird,
- die Effekte, die die Verwertung von Abfällen auf die Einsparung von Primärrohstoffen haben, untersucht und einbezogen werden.

3.1.2 Wesentliche Prozesse des Stoffstrommodells

Nachfolgend werden die wichtigsten Prozesse des Stoffstrommodells ausführlicher beschrieben. Dabei wird sowohl auf die jeweiligen Prozesse selbst als auch auf deren unterschiedliche technische Standards der Jahre 1990 und 2001 eingegangen (dies betrifft v. a. Müllverbrennung und Deponien). Des Weiteren wird für die Prozesse, die auch durch die Abfallzusammensetzung bestimmt sind, die zugrunde gelegte Abfallzusammensetzung beschrieben (Kap. 3.1.3).

Grundlegende Informationsquelle für die inhaltliche Zusammensetzung von Abfallfraktionen sind entsprechende Sortieranalysen. Diese liegen in umfassendem Maße für die einzelnen getrennten Abfallfraktionen des Jahres 2001 vor. Für die Vergangenheitssituation konnte auf die "Bundesweiten Hausmüllanalysen" zurückgegriffen werden, die von ARGUS Berlin durchgeführt wurden (s. Kap. 3.1.3). Dabei handelt es sich um umfassende Analysen zur Schwermetallbelastung des Hausmülls. Vorwegnehmend sei hier erwähnt, dass die Auswertung der Daten zur Schwermetallbelastung im Hausmüll der Jahre 2001 und 1990 zu keiner eindeutigen Unterscheidung der Belastungssituation führte und entsprechend hier keine Variation vorgenommen wurde.

3.1.2.1 Transporte

Bei den Transportprozessen ist zwischen Müllsammelfahrzeugen und sonstigen Transporten zu unterscheiden.

Müllsammlung

Die Sammlung der Abfälle aus Haushalten erfolgt in der Regel hauhaltsnah im Holsystem mit Müllfahrzeugen. Dies gilt in jedem Fall für Hausmüll (graue Tonne), Bioabfall und Leichtverpackungen, anteilig auch für Altpapier und Altglas, die aber auch über Container im Bringsystem von Müllfahrzeugen eingesammelt werden. Für separat erfassten Sperrmüll wurde ein gesonderter Transport mit Lkw angesetzt, das Gleiche gilt für kommunale Garten-, Park- und Friedhofsabfälle.

Die Sammeltour mit Müllfahrzeugen unterscheidet sich je nach Abfallart. Die verwendete Datengrundlage [VKS 2002] wird als repräsentativ für das bundesdeutsche Mittel angesehen. Die Art des zu transportierende Abfalls bestimmt auch den durchschnittlichen Fuhrpark, der sich aus verschiedenen Fahrzeuggrößen und -typen zusammensetzt. Bei der Sammlung wird insbesondere das höhere Leergewicht des Müllfahrzeugs berücksichtigt. Die Sammlung erfolgt im Stopp&Go Modus, was wesentlich die Emissionsfaktoren bestimmt. Die berechneten Verbräuche und Emissionen beziehen sich auf das Gewicht des gesammelten Abfalls.

Der Datensatz für die auftretenden Emissionen beruht auf Standardemissionsdaten, die für das Umweltbundesamt Berlin und das Bundesamt für Umweltschutz BUWAL Bern in dem vom ifeu entwickelten Modell TREMOD zusammengestellt, validiert, fortgeschrieben und ausgewertet werden [Knörr et al. 1997, Schmidt et al. 1998, Borken et al. 1999]. Die ursprünglichen Abgasmesswerte stammen vom TÜV Rheinland. Die Emissionsfaktoren der Vorkette stammen ebenfalls aus dem Rechenmodell TREMOD und beziehen sich ebenso wie die direkten Emissionen auf das Jahr 2000. Zur Müllsammlung gehört auch der Transport vom Sammelgebiet zur Entsorgungsanlage, der auf derselben Basis modelliert wurde. Auch die hier auftretenden Entfernungen sind abhängig von der Abfallart und entstammen [VKS 2002].

Transporte, allgemein

Neben den Müllsammeltransporten kommt es zu Transportvorgängen zwischen verschiedenen Behandlungsanlagen und zu Verwertungsanlagen. Hierzu wurden mittlere Transportentfernungen angenommen sowie ein mittlerer Lkw-Typ (unter Berücksichtigung der Kfz-Bestandszusammensetzung). Auch für die Fahranteile wurden mittlere Werte für den Speditions- und Werkverkehr in Deutschland angesetzt (51% Autobahn, 30% Landstraße, 19% Innerortsverkehr). Verbräuche und Emissionen beziehen sich auch hier auf das Gewicht des Transportgutes und werden wiederum auf der Basis des Rechenmodells TREMOD ermittelt.

3.1.2.2 Entsorgungsprozesse: MBA, MVA und Deponie

Mechanisch-biologische Behandlung

Im Jahr 2001 waren in acht der 16 Bundesländer insgesamt etwa 50 MBAn in Betrieb [LAGA 2003], von denen allerdings nicht alle die Anforderungen der 30. BImSchV erfüllten. Bei der Mehrzahl der Anlagen handelte es sich jedoch um solche mit geschlossenem Verfahren; dieser Anlagentyp wurde daher als mittlerer Anlagentyp für die Stoffstrombilanzierung angenommen. Die Stoffstromverteilung bei der mechanisch-biologischen Behandlung sowie der mittlere Energiebedarf wurden aus [Wallmann 1999] übernommen. Daraus sowie aus [ifeu 2000] entstammen auch die angesetzten Daten zu Emissionen im Reingas des Abluftstroms.

Die so abgebildeten Outputströme der MBA unterteilen sich (bezogen auf die Inputmasse) in:

- 3% Störstoffe (gehen zur MVA)
- 2% Fe-Metalle (zur stofflichen Verwertung)
- 20% Leichtstoffe (zur Sekundärbrennstoffaufbereitung)

Die Restmenge nach mechanischer Aufbereitung gelangt in die biologische Behandlung, für die der Rotteverlust 30% beträgt (bezogen auf den Rotteinput). Das Rotteendmaterial ("MBA-Output") wird deponiert.

In der Sekundärbrennstoffaufbereitung wird aus den Leichtstoffen nochmals ein kleinerer Teilstrom Schwerstoffe, Metalle und Störstoffe abgeschieden. Für die aufbereiteten Sekundärbrennstoffe wurde angenommen, dass diese zur Mitverbrennung gehen und zwar zu 50% in Zementwerke und zu 50% in Kraftwerke (exakte Daten über den tatsächlichen Verbleib sind nicht verfügbar).

Im Jahr 1990 existierten noch keine MBAn. In den Jahren 2001 und 2005 gelangten Haus- und Sperrmüll zu einer mechanisch-biologischen Behandlung¹⁸, wobei die Hausmüllmenge deutlich dominiert. Zur Berechnung der Abfall abhängigen Emissionen bzw. der Umwandlungsprozesse wurde entsprechend eine typische Zusammensetzung für Hausmüll angesetzt (s. Kap. 3.1.3).

Müllverbrennung

Die thermische Entsorgung von Abfällen aus Haushalten erfolgt in der Bundesrepublik nahezu ausschließlich in Rostfeuerungsanlagen. Auf diese Technik greifen auch neuere Anlagen zurück. Alternative Verbrennungstechnologien konnten sich in Deutschland nicht durchsetzen. Mit Ablauf dieses Jahres wird auch die letzte derzeit noch betriebene Vergasungsanlage, die Thermoselect-Anlage in Karlsruhe, stillgelegt werden. In der hier durchgeführten Stoffstrombilanzierung wurde nur die Rostfeuerungschnik betrachtet und es wurde für die Jahre 2001 und 2005 von modernen Anlagen hinsichtlich der Rauchgasreinigungstechnik ausgegangen. Im Jahr 1990 waren Müllverbrennungsanlagen vorwiegend nur mit einem Elektrofilter zur Rauchgasreinigung ausgerüstet.

Luftemissionen stellen den Hauptemissionspfad der Müllverbrennung dar. Nebenstoffströme bestehen in den Verbrennungsrückständen und ggf. Rauchgasreinigungspro-

¹⁸ Auch hausmüllähnliche Gewerbeabfälle, die aber aus der vergleichenden Stoffstrombilanzierung ausgeschlossen sind.

dukten. Die Anlagen arbeiten abwasserfrei. Die bei der Müllverbrennung anfallenden Luftemissionen hängen neben der Feuerungstechnik auch von der inhaltlichen Zusammensetzung des zugeführten Abfallgemischs ab. Dieses unterscheidet sich v. a. mengenmäßig in den betrachteten Jahren 1990, 2001 und 2005 wie im Kapitel zum Abfallverbleib dargestellt. Allen drei betrachteten Jahren gemein ist, dass die Abfallfraktion Hausmüll den größten Anteil am Abfallgemisch einnimmt. Entsprechend wurde für die inhaltliche Zusammensetzung die Abfallzusammensetzung für Hausmüll angesetzt (s. Kap. 3.1.3).

Die feuerungsbedingten Emissionsfrachten wie z. B. Staub, Kohlenmonoxid, Stickoxide oder organische Schadstoffe wie Dioxine berechnen sich über den Abgasvolumenstrom und bekannte Orientierungswerte im Reingas, wobei letztere von der nach geschalteten Rauchgasreinigung abhängen. Der Abgasvolumenstrom selbst berechnet sich über die Gas bildenden Inhaltsstoffe. Inputabhängige Emissionen wie Schwefeloxide, Fluor- und Chlorwasserstoff oder Schwermetalle werden grundsätzlich durch den Gehalt der Ausgangsparameter im Abfall bestimmt. Die letztendlich freigesetzten Emissionsfrachten sind jedoch auch wieder abhängig von der Technik der installierten Rauchgasreinigung.

In den Jahren 2001 und 2005 ist die Rauchgasreinigung so ausgelegt, dass die Grenzwerte der 17. BImSchV sicher eingehalten werden, in der Regel liegen die Abgaskonzentrationen sogar deutlich unterhalb der Grenzwerte. In **Tab. 3-2** sind die verwendeten Emissionswerte für 2001 bzw. 2005 den Grenzwerten der 17. BImSchV gegenübergestellt. Die Daten entstammen Literaturangaben sowie dem ifeu zur Verfügung stehende Betriebsdaten verschiedener Anlagen.

Ebenfalls in der Tabelle enthalten sind die für den Stand 1990 verwendeten Abgaswerte. Diese konnten entweder direkt aus der Literatur übernommen werden oder wurden plausibel über den allgemeinen damaligen Stand der Technik abgeleitet. Der angesetzte NO_x-Wert entspricht der damaligen Genehmigungspraxis [ifeu 1988], für CO und Staub wurden die Grenzwerte der TA Luft 1986 verwendet. Für die inputabhängigen Luftschadstoffe SO₂, HCl und HF wurde ein Transferfaktor von 1 für die Berechnung angesetzt, da nach gegebenem Stand der Technik 1990 im Wesentlichen nur eine Abgasreinigung über Elektrofilter erfolgte. Für die ebenfalls inputabhängigen Luftemissionen von Schwermetallen wurden Messwerte nach Elektrofilter verwendet [ifeu 1989]. Für darin nicht angegebene Schwermetalle wie Thallium, Antimon, Kobalt, Mangan und Zinn wurden die Frachten über das bei den anderen Schwermetallen gegebene Verhältnis 1990 zu 2001 angepasst. Der Wert für PCDD/PCDF im Abgas entspricht dem typischen Wert für den damaligen Zeithorizont [ifeu 1989].

Neben den direkten Umweltbeiträgen aus Emissionen ist für die ökologischen Auswirkungen auch die Art und Effizienz der Nutzung der bei der Verbrennung anfallenden Energie zu berücksichtigen. Insgesamt verfolgen MVAs in Deutschland sehr unterschiedliche Energienutzungskonzepte, sie reichen von reiner Stromerzeugung bis zu reiner Prozessdampferzeugung. Als durchschnittliches Mittel wird üblicherweise von einer Nettoenergieerzeugung von 10% Strom und 30% Nutzwärme bezogen auf den Heizwert (Feuerungswärmeleistung) des eingesetzten Abfalls ausgegangen. Diese Wirkungsgrade wurden auch für die hier durchgeführte Stoffstromanalyse angesetzt und zwar gleichermaßen für die betrachteten Jahre. Es ist nicht anzunehmen, dass sich wesentliche Änderungen in der Energieausbeute seit 1990 ergeben haben.

Tab. 3-2 Emissionsfaktoren von Müllverbrennungsanlagen

(in mg/m ³)	Emissionswerte 1990	Emissionswerte 2001 / 2005	Grenzwerte 17.BImSchV
Staub	30	1	10
Kohlenstoff, gesamt	5	1	10
Kohlenmonoxid	100	10	50
Schwefeldioxid (als SO ₂)	690	1,5	50
Chlorwasserstoff	850	1	10
Fluorwasserstoff	73,5	0,1	1
Stickstoffoxide (als NO ₂)	350	60	200
Quecksilber	0,21	0,002	0,03
Cadmium	0,29	0,002	
Thallium	0,0001	0,00005	
Cadmium + Thallium		0,00005	0,05
Antimon	0,003	0,0001	
Arsen	0,05	0,00005	
Blei	4,9	0,01	
Chrom	1,4	0,0001	
Kobalt	0,005	0,0001	
Kupfer	1,3	0,005	
Mangan	0,001	0,00075	
Nickel	1,3	0,0005	
Vanadium	0,0001	0,00005	
Zinn	0,0009	0,0003	
Summe Antimon bis Zinn		0,017	0,5
PCDD/PCDF (ng TE/m ³)	10	0,005	0,1

Die Masse der nach der thermischen Behandlung verbleibenden Verbrennungsrückstände (Schlacken) ergibt sich aus der Abfallzusammensetzung bzw. deren inertem Anteil. Die in der Schlacke enthaltenen Metalle (v. a. Eisen) können nach Aufbereitung verwertet werden. Sowohl die erzeugte Energie in Form von Strom und Nutzwärme als auch verfügbarer Eisenschrott aus der Müllverbrennung wurden als Gutschriften in der Stoffstrombilanzierung verrechnet (s. Äquivalenzprozesse).

Nachfolgende Abbildung zeigt die differenzierte Umsetzung einer in Umberto® modellierten MVA. Danach wird der Rostfeuerungsprozess sowie die nach geschaltete Rauchgasreinigung detailliert abgebildet. Die erzeugte Nettoenergie wird von diesem Teilmodul abgegeben und über Gutschriften verrechnet. Ebenfalls aus der Abbildung ersichtlich ist beispielhaft ein Ausschnitt aus den die Rostfeuerung definierenden Rechenvorschriften.

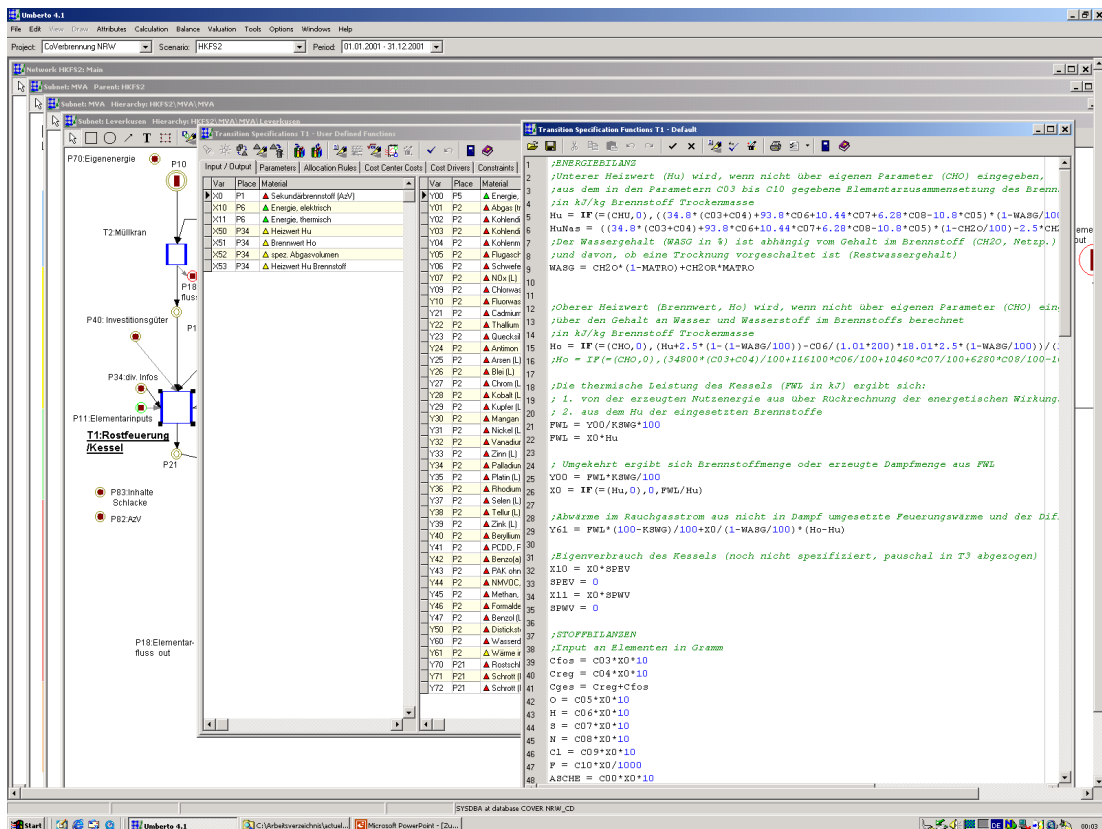
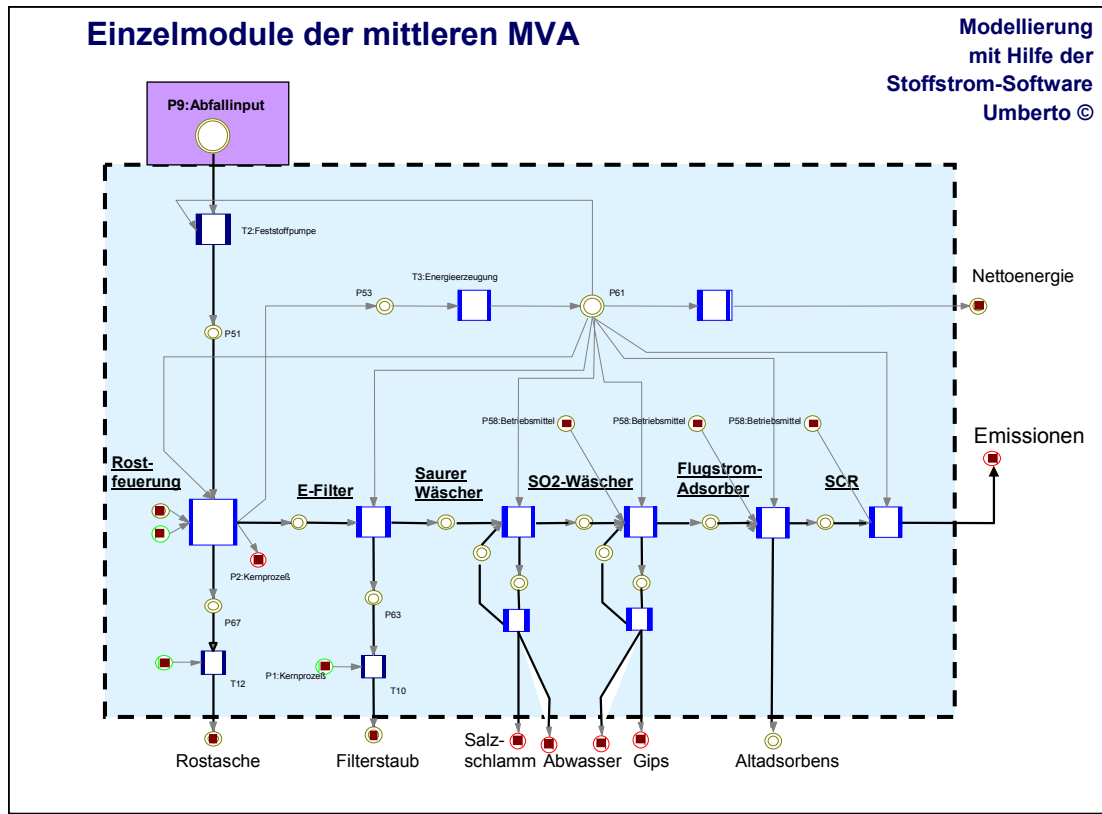


Abb. 3-3 Teilmodell einer Müllverbrennungsanlage sowie Rechenvorschriften für den Rostfeuerungskessel mit der Software Umberto®

Deponien

Auch für die Deponierung wurde der unterschiedliche Stand der Technik im Jahr 1990 gegenüber 2001 berücksichtigt. Datenquelle für den Stand 1990 sind die Daten zur Umwelt 1990/91 und 1992/93 des Umweltbundesamtes. Hierbei wurde beim Stand der Technik zwischen alten und neuen Bundesländern unterschieden. Wegen der wesentlichen Unterschiede wurde für die Modellierung eine getrennte Betrachtung durchgeführt. Die im Jahr 1990 jeweils in den Alten und in den Neuen Bundesländern abgelagerten Mengen wurden [StBA 1994] entnommen. Danach stammten hinsichtlich der mengenmäßig bedeutendsten Abfallfraktion Hausmüll rund 49% der 2001 abgelagerten Mengen aus den Neuen Bundesländern.

Der aktuelle Stand der Technik bei der Deponierung in Deutschland geht im Wesentlichen auf Mitteilungen des Umweltbundesamtes zurück sowie auf Fachinformationen aus den Landesumweltämtern der Bundesländer Baden-Württemberg und Nordrhein-Westfalen. Des Weiteren wurde auch hier zwischen einer Ablagerung auf "Altdeponien" und modernen Deponien gemäß den Anforderungen der TASI unterschieden, entsprechend den Informationen zu abgelagerten Mengen nach [StBA 2003] (diese gelten für das Berichtsjahr 2000; für 2001 erfolgte keine neue Erhebung). Die mengenmäßig bedeutendste Abfallfraktion, Hausmüll, wurde nach diesen Angaben zu rund 67% auf TASI-konformen Deponien abgelagert und zu etwa 33% auf Altdeponien.

Bei der Deponierung von Abfällen ist hinsichtlich der Abfallzusammensetzung v. a. der Anteil an biologisch abbaubarem Kohlenstoff relevant, über diesen berechnet sich die Methanbildung und daraus wiederum die Methanfreisetzung. Sowohl 1990 als auch 2001 wurde anteilig hauptsächlich Hausmüll deponiert (Anteil am gesamt deponierten Abfall über 80%), entsprechend wurde der abbaubare Kohlenstoffgehalt als typischer Gehalt für Hausmüll angesetzt.

Allgemein werden in der modellierten Deponie die Hauptemissionspfade Deponiegas und Sickerwasser sowie die zur Deponierung erforderlichen Betriebsmittel abgebildet. Der dabei zugrunde gelegte Zeithorizont ist mit 50 Jahren angenommen. Dies hat keinerlei Auswirkungen auf die gesamt anfallende Deponiegasmenge, da die Gasbildung nicht über die Ablagerungsdauer abgeschrieben wird, sondern zu 100% auf das Jahr der Ablagerung angelastet wird. Allerdings können mit dem gesetzten Zeithorizont die insgesamt anfallenden Sickerwassermengen und -belastungen unterschätzt werden. So ist durch Aerobisierung eventuell eine Schwermetallmobilisierung nach 35 Jahren möglich. Nach [Heyer/Stegmann 1997] sind neben der CSB-Belastung und Salzauslaugung vor allem Stickstoffemissionen bedeutsam (für letztere wird bis zum Erreichen von Grenzkonzentrationen ein Zeithorizont von 350-800 Jahren angegeben). Nach [BUWAL 1996] sind für den Nachsorgezeitraum 150 Jahre angegeben. Allerdings ist das langfristige Emissionsverhalten wegen fehlender Erfahrungen kaum einschätzbar.

Grundsätzlich ist die anfallende Sickerwassermenge abhängig vom Wassereintrag über den Abfall, vor allem aber von der Niederschlagsmenge. Daneben ergibt sich ein geringfügiger Anteil an Sickerwasser durch den anteilig stattfindenden aeroben Abbau der organischen Substanz. Der Anteil des Sickerwassers am Jahresniederschlag ist abhängig von der anteiligen Oberflächenabdichtung der Deponien über deren Betriebsdauer. Der Anteil des davon gefassten Sickerwassers hängt davon ab inwieweit eine Sickerwasserfassung installiert ist sowie von der vorhandenen Basisabdichtung.

Im Jahre 1990 verfügten die Deponien der Neuen Bundesländer zu 89% über keine Sickerwasserfassung, zu 8% wurde Sickerwasser direkt in Vorfluter eingeleitet. Entsprechend wurde zu 97% keine Sickerwasserfassung für die aus den Neuen Bundesländern abgelagerten Mengen angesetzt. In den Alten Bundesländern verfügten dagegen bereits rund 90% über eine Sickerwasserfassung.

Für den Stand der Technik im Jahr 2001 wurde, wie erwähnt, zwischen Altdeponien und Deponien gemäß Anforderungen der TASI unterschieden. Für erstere, nunmehr eine Mischung aus Deponien der Alten und Neuen Bundesländer, wurde eine Sickerwasserfassung von 85% angenommen, für TASI-konforme Deponien wurde in Abhängigkeit der verschiedenen Basisdichtungssysteme eine 90%ige Sickerwasserfassung unterstellt. In allen Fällen wurde trotz Sickerwasserfassung angenommen, dass 10% des anfallenden Sickerwassers dennoch diffus entweichen. Die Sickerwasserbehandlung erfolgt entweder intern oder - durch Einleitung in die öffentliche Kanalisation - in einer kommunalen Kläranlage. Zu Umfang und Art der internen Behandlung sind derzeit keine aktuellen repräsentativen Daten verfügbar, die gegebene Datenbasis bezieht sich auf den Stand Mitte der 90er Jahre und wurde für 1990 und 2001 gleichermaßen angenommen.

Deponiegas entsteht durch anaeroben Abbau des organischen Materials. Dieses wird durch die besonderen Randbedingungen der Deponierung nur anteilig biologisch abgebaut. Gemäß Literaturangaben, vor allem aber in Anlehnung an den Default-Wert (50-60%) nach [IPCC 1996], wird von einem Abbau des regenerativen Kohlenstoffs von 50% ausgegangen. Dieser Wert gilt im Prinzip unabhängig von der Abfallart für Abfälle, die anteilig auch Lignin enthalten. Die Deponiegasfassung unterscheidet sich wiederum je nach Stand der Technik. Nach den Daten zur Umwelt 1992/93 verfügten in den Neuen Bundesländern zum Stand 1990 lediglich 3% über eine Deponiegasfassung, in den Alten Bundesländern waren dies 62%. Zum Stand 2001 wurde im Mittel für Altdeponien von einer 75%igen Gasfassung ausgegangen, auf TASI-konformen Deponien wird Deponiegas grundsätzlich gefasst. Wiederum in allen Fällen kommt es trotz Deponiegasfassung dennoch zur diffusen Freisetzung von Deponiegas v. a. in der ersten Phase der Deponierung, die in der Berechnung berücksichtigt wurde. 1990 wird danach auf Deponien der Neuen Bundesländer so gut wie kein Deponiegas gefasst, auf Deponien der Alten Bundesländer insgesamt etwa 31% des gesamt entstehenden Gases. Im Jahr 2001 auf den Altdeponien wird insgesamt etwa 38% des entstehenden Deponiegases tatsächlich gefasst, auf TASI-konformen Deponien wird insgesamt eine effektive Gasfassungsrate von 50% erreicht.

Der Methangehalt im Deponiegas ist mit einem für Deutschland typischen Wert von 55 Vol% angesetzt, dieser liegt in der Bandbreite der nach [IPCC 1996] angegebenen Default-Werte (40-60 Vol%). Des Weiteren wird für diffus freigesetztes Methan eine anteilige Methanoxidation berücksichtigt. Wiederum nach [IPCC 1996] wird für geordnete Deponien wie sie im Allgemeinen in Deutschland gegeben sind, eine Methanoxidation von 10% empfohlen. Diese wurde mit Ausnahme der Deponien in den Neuen Bundesländern zum Stand 1990 auch so zugrunde gelegt. Nach Angaben in [StBA 1994] und auch gemäß [UBA 1990/91] wurden 1990 in den Neuen Bundesländern auch relevante Abfallmengen wild bzw. ungeordnet abgelagert. Die betroffene Menge wurde nach [StBA 1994] zu 30% des in den Neuen Bundesländern deponierten Mülls ermittelt. Auch hier den Empfehlungen nach [IPCC 1996] folgend, wurde für diesen

Anteil keine Methanoxidation berücksichtigt, die Methanoxidation insgesamt also für Deponien der Neuen Bundesländer zum Stand 1990 zu 7% berechnet. Während gefasstes Deponiegas zum Stand 1990 noch vermehrt abgefackelt wurde (67%), wurden 2001 nur noch 39% über Fackel geführt, die weiteren Deponiegasmengen wurden v. a. einer motorischen Verbrennung zugeführt, daneben aber auch verfeuert.

3.1.2.3 Verwertung organischer und trockener Wertstoffe

Nachfolgend werden die wesentlichen Randbedingungen der Verwertung von organischen Abfällen sowie der trockenen Wertstoffe Altpapier, Altglas und LVP beschrieben. Die organischen Abfälle werden über eine biologische Behandlung verwertet, die trockenen Wertstoffe nach Sortierung entweder direkt in Papierfabriken, Flaschenherstellung etc. oder nach einer weiteren Aufbereitung (z. B. Mischkunststoffe oder auch Sortierreste zur Verwertung).

Biologische Behandlung

Auch für die biologische Behandlung wurde der jeweilige Technikstandard der Jahre 1990 und 2001 berücksichtigt. Im Jahr 1990 wurden noch vergleichsweise wenige organische Abfälle separat erfasst und einer Verwertung zugeführt. Die Verwertung erfolgte ausschließlich über eine Kompostierung, für die angenommen wurde, dass es sich bei den Anlagen um einfache, offen ausgeführte Kompostwerke handelte.

Zur Abbildung der Art der Verwertung im Jahr 2001 wurden Angaben nach [StBA 2004] herangezogen (diese gelten für das Berichtsjahr 2000, für 2001 erfolgte keine neue Erhebung). Danach werden die in biologischen Behandlungsanlagen eingesetzten Abfallmengen nach kompostierbaren organischen Abfällen (z. B. aus Biotonne, Grünabfälle), Garten- und Parkabfällen und sonstigen nicht näher spezifizierten Abfällen unterschieden. Für die Stoffstrombilanzierung wurde aus diesen Angaben der anteilige Behandlungssplit von Kompostierung und Vergärung, getrennt nach Bioabfällen (inkl. sonstige) und Garten- und Parkabfällen, ermittelt (s. **Tab. 3-3**).

Tab. 3-3 Anteilige Behandlung von organischen Abfällen im Jahr 2001 [StBA 2004]

Art der Bioabfallbehandlungsanlage	Garten- und Parkabfälle	kompostierbare organische Abfälle (inkl. sonstige)
Kompostierungsanlagen	98%	81%
Vergärungsanlagen	2%	19%

(Mittel über alle: 88% Kompostierung, 12% Vergärung)

Die Art der Kompostierung wurde aus Angaben in [Kern et al. 1998] abgeleitet. Im Mittel wurde zu 50% von einer Kompostierung in offenen, überdachten und zu 50% in vollständig geschlossenen Kompostierungsanlagen ausgegangen. Für die Vergärung wurde vereinfacht eine reine Nassvergärung angesetzt. Die Modellierung der Prozesse entspricht dem Vorgehen in dem vom ifeu durchgeführten, von der DBU geförderten Forschungsvorhaben über Bioabfallverwertung [ifeu 2001]. Daraus wurde auch die inhaltliche Zusammensetzung für Bioabfälle übernommen.

Neben der Bioabfallbehandlung ist in der Verwertung organischer Abfälle insbesondere auch die Anwendung der erzeugten Sekundärprodukte von Bedeutung. Für den Stand

1990 wurden hier die Angaben in [StBA 1994] herangezogen. Daraus waren keine Angaben über die Anteile produzierter Frisch- oder Fertigkomposte zu entnehmen, hier wurde eine Verteilung 50 : 50 angenommen. Für deren Vermarktung wurde keine Unterscheidung abgeschätzt. Die besten verfügbaren Informationen über Kompostproduktion und -verbleib im Jahr 2001 liegen aus der Vermarktungsstatistik der Bundesgütegemeinschaft Kompost (BGK) vor. Danach ergibt sich eine Verteilung für die Produktion von Frisch- und Fertigkompost von 34% zu 66%. Der Verbleib der Produkte aus Kompostierung in den Jahren 1990 und 2001 ist nachfolgender Tabelle zu entnehmen.

Tab. 3-4 Verbleib der produzierten Komposte in den Jahren 1990 und 2001

Marktsegment	Kompost 1990	Frischkompost 2001	Fertigkompost 2001
Landwirtschaft	40%	70%	27,5%
Wein- / Obstbau	7%	13%	4,1%
Hobbygartenbau			17,4%
Gartenbau und Kommunen			26,5%
Erwerbsgartenbau		17%	5,2%
Erdenwerke			15,9%
Rekultivierung	53%		3,3%

Für die Produkte aus Vergärung waren über die BGK keine Angaben verfügbar, hier wurden wiederum die Erkenntnisse aus dem Forschungsvorhaben zu Bioabfallverwertung [ifeu 2001] herangezogen. Darin entstammen Angaben zur anteiligen Produktion von Gärrest und kompostiertem Gärrest (50 : 50) einer Umfrage von PlanCoTec (1999), ebenso Angaben zum Verbleib der Vergärungsprodukte. Gärrest gelangt danach v. a. zur Anwendung in der Landwirtschaft (90%) und zu je 5% in den Obstbau und Erwerbsgartenbau. Kompostierte Gärreste gelangen zu knapp 50% in Landwirtschaft und Obstbau, zu etwa 30% v. a. in den Garten- und Landschaftsbau, daneben auch Hobby- und Erwerbsgartenbau, zu etwa 8,5% in Erdenwerke und zu rund 12,5% in die Rekultivierung.

Bei der Kompostanwendung auf Flächen wurde der damit verbundene Schwermetalleintrag und die Zufuhr von Nährstoffen in den Boden berücksichtigt, die zugrunde gelegten Kompostqualitäten entsprechen wiederum Umfrageergebnissen nach PlanCoTec (1999). Ebenfalls berücksichtigt wurde der weitere Abbau der Kompostprodukte nach Anwendung und die damit verbundene Umsetzung von C- und N-Verbindungen in den Komposten, unterschieden nach vollständig stabilisierten Produkten (Fertigkompost und kompostierter Gärrest) und noch nicht vollständig stabilisierten Produkten (Frischkompost, Gärrest) [ifeu 2001].

Je nach Marktsegment sind mit der Kompostanwendung unterschiedliche Nutzen verbunden. Grundsätzlich wurde für Rekultivierungsmaßnahmen kein Nutzen berücksichtigt, da in diesem Einsatzbereich in der Regel keine mit entsprechendem Aufwand hergestellten Primärprodukte ersetzt werden. Für den Einsatz in der Landwirtschaft sowie im Obst- und Weinbau wurde der Düngenutzen durch die Zufuhr von Nährstoffen unter Berücksichtigung der langfristigen Pflanzenverfügbarkeit der Nährstoffe angerechnet. Zusätzlich zum Düngenutzen ergibt sich beim Einsatz im Hobbygartenbau und Garten- und Landschaftsbau auch der Nutzen aus der zugeführten organischen Substanz, substituiert wird hierbei der Einsatz von Rindenhumus und Torf. Im Erwerbsgartenbau und

bei Anwendung über Erdenwerke zur Herstellung von Substraten ersetzt Kompost Torf mit und ohne Zusätze. Über diese Nutzen hinaus kommt es bei der Vergärung von organischen Abfällen zudem zur Erzeugung von Energie durch die Verbrennung des produzierten Biogases im BHKW. Da hierbei üblicherweise die produzierte Wärme über den Eigenbedarf hinaus nicht genutzt werden kann, wird nur der Nutzen aus der Stromeinspeisung ins Netz verrechnet.

Altpapierverwertung

Altpapier gelangt nach Sortierung in der Regel direkt zur Verwertung in Papierfabriken. Dort wird Altpapier unter Einsatz verschiedener Hilfsstoffe und Energie über Pulper (v. a. Karton, Kartonagen) oder Deinking (v. a. grafische Altpapiere) weiter zu Altpapierfasern aufbereitet. Als Abfälle fallen daraus Spuckstoffe und v. a. Papierschlämme an (insgesamt ca. 15% des Inputs). Spuckstoffe werden zur Verbrennung in MVAn verbracht, die Papierschlämme gelangen zur Mitverbrennung in Kraftwerke. Die inhaltliche Zusammensetzung der Papierschlämme wurde aus Angaben des Landesumweltamtes NRW abgeleitet (s. Kap. 3.1.3). Die produzierten Altpapierfasern werden im Papierherstellungsprozess eingesetzt und ersetzen dort funktionsäquivalent Primärzellstoff.

Altglasverwertung

Altglas gelangt zur Scherbenaufbereitung für Behälterglas. Die verwendeten Daten entsprechen dem Stand der Technik Mitte der 90er Jahre in den 26 deutschen Scherbenaufbereitungsanlagen und wurden sowohl für 1990 als auch für 2001 verwendet. Das Altglas wird zerkleinert und durchläuft mehrere maschinelle und händische Sortierschritte. Eine farbliche Sortierung erfolgt nicht. Die Aufbereitung gewährleistet eine fast vollständige Ausscheidung von Fremdstoffen (Etikette, Verschlüsse zur MVA, sowie sonstige Störstoffe wie Keramiken zur Deponie). Die sortierten Glasscherben werden an eine Glashütte abgegeben und ersetzen dort funktionsäquivalent die sonst notwendigen Rohstoffe und Energie für die Primärglasherstellung.

Verwertung Leichtverpackungen

Die Sammlung und Verwertung von Leichtverpackungen ist nur für die Jahre 2001 und für das Szenario 2005 von Bedeutung, da im Jahr 1990 Leichtverpackungen noch nicht separat erfasst wurden. Die der LVP-Verwertung zugrunde gelegten Daten stammen im Wesentlichen aus dem Vorhaben [ifeu 2001b]. Leichtverpackungen werden in Sortieranlagen im Wesentlichen nach den Teilfraktionen Kunststoffe, Aluminium, Weißblech und Verbunde getrennt. Anfallende Sortierreste werden teilweise direkt über MVA oder Deponie entsorgt (s. Abfallverbleib) oder weiter aufbereitet und i.d.R. einer Mitverbrennung im Zementwerk zugeführt.

Die LVP-Teilfraktionen werden teilweise weiter aufbereitet, teilweise gelangen sie direkt in eine für die einzelnen Fraktionen typische Verwertung. So z. B. gehen Verbunde (Flüssigkartons und sonstige Verbundverpackungen auf PPK-Basis) direkt zu einer Verwertung in die Papierfabrik. Dort erfolgt eine Aufbereitung zu Altpapierfasern, die zu 100% funktional geeignet sind, Neufasern aus Primärmaterial zu ersetzen. Bei der Aufbereitung anfallendes Reject gelangt zur Mitverbrennung ins Zementwerk.

Aluminiumhaltige Verpackungen gelangen sowohl zunächst zu einer weiteren Aufbereitung als auch direkt zur Verwertung in die Pyrolyse oder direkt in Aluminiumhütten (letzteres insbesondere bei Verpackungen mit hohen Aluminiumgehalten). Der erzeugte Nutzen ist jeweils die Bereitstellung von Sekundäraluminium, das zu 100% Primäraluminium substituiert. Auch Weißblechverpackungen gelangen gleichermaßen entweder zunächst zu einer weiteren Aufbereitung oder direkt zur Verwertung ins Stahlwerk. Der erzeugte Nutzen besteht in Sekundär-Weißblech, das vollständig Weißblech aus der Primärherstellung ersetzen kann. Sowohl bei der Aluminium- als auch bei der Weißblechverwertung fallen Aufbereitungsreste an, die jeweils zur Hälfte in MVAn und Deponien entsorgt werden.

Der größte Mengenanteil an den sortierten Leichtverpackungen sind Kunststoffverpackungen. Nach der Sortierung liegen entweder nach Verpackungsart (Folien, Becher) oder nach Kunststoffart (PO, PET, PS) sortierte Kunststoffverpackungen vor. Im DSD-System erfolgt die Kunststoffverwertung durch den Garantiegeber DKR. Für jede Kunststoff-Sortierfraktion sind eindeutige Produktspezifikationen vorgegeben, die von den Sortieranlagen erfüllt werden müssen und für die bei Anlieferung bei den Aufbereitungs- bzw. Verwertungsanlagen eine Qualitätskontrolle erfolgt. Die größte Produktfraktion aus der Kunststoffsartierung stellen die Mischkunststoffe (MKS) dar, gefolgt von den Folien. Insgesamt sind die Verwertungswege für Kunststoffverpackungen sehr komplex. Mischkunststoffe gelangen zunächst mehrheitlich zu einer weiteren Aufbereitung, aus der sie anschließend, entsprechend ihrer Eignung, einer rohstofflichen Verwertung (SVZ, Hochofen), einer werkstofflichen oder zu geringeren Anteilen einer energetischen Verwertung zugeführt werden. Anfallende Aufbereitungsreste gelangen zur Entsorgung in MVAn oder auf Deponien. Die weiteren Kunststoffsartierfraktionen werden überwiegend werkstofflich verwertet. Als Sekundärprodukte fallen in erster Linie Regranulate, daneben aber auch Sekundärkunststoffformteile an. Erstere ersetzen funktionsäquivalent Primärkunststoffe wie Polyolefine, PET oder Polystyrol, die Sekundärkunststoffformteile dienen i.d.R. als Ersatz für nicht-materialgleiche Primärprodukte (Holz-, oder Betonpalisaden).

Mitverbrennung

Die Mitverbrennung von Abfällen erfolgt in Kohlekraftwerken und in Zementwerken. Als Einsatzmaterialien kommen sowohl Sekundärbrennstoffe aus der mechanisch-biologischen Aufbereitung v. a. von Hausmüll als auch Sortier- und Aufbereitungsreste aus der Verwertung der trockenen Wertstoffe PPK und LVP in Frage. Im Jahr 1990 spielten nur die Papierschlämme aus der PPK-Aufbereitung hinsichtlich der Mitverbrennung eine kleine Rolle (ca. 72.000 t, s. Abfallverbleib). Die dafür angesetzte Abfallzusammensetzung entspricht der in Kapitel 3.1.3 dargestellten Zusammensetzung für Papierschlämme. Im Jahr 2001 ist auch die Mitverbrennung von Sekundärbrennstoffen und von Sortier- und Aufbereitungsresten aus der LVP-Verwertung relevant. Im Szenario 2005 gilt dies nochmals vermehrt für Sekundärbrennstoffe auf Grund des höheren Anteils an Hausmüll, der über MBA behandelt wird.

Für Papierschlämme und für die Hälfte der Sekundärbrennstoffe wird von einer Mitverbrennung in Kohlekraftwerken ausgegangen. Die mittlere Abfallzusammensetzung ergibt sich aus den jeweiligen Massenanteilen im Jahr 2001 und im Szenario 2005. Dabei zielt die Mitverbrennung auf die unmittelbare Substitution des primären Brennstoffs Kohle, das Substitutionspotenzial wird durch den Heizwert des mit verbrannten

Abfalls bestimmt. Zur Mitverbrennung in Zementwerken gelangen Sortier- und Aufbereitungsreste aus der LVP-Verwertung und wiederum die Hälfte der Sekundärbrennstoffe. Für das Gemisch aus Sortier- und Aufbereitungsresten liegen keine Sortieranalysen vor, als plausible Näherung wurde hier vereinfacht allgemein die Zusammensetzung der Sekundärbrennstoffe angesetzt (s. Kap. 3.1.3). Auch die Mitverbrennung im Zementwerk zielt in erster Linie auf den Nutzen der Substitution von Primärenergieträgern. Die Modellierung in Umberto® stellt die emissionsseitigen Effekte der Abfallverwertung im Klinkerbrennprozess dar. Die berücksichtigten Parameter beschränken sich dabei auf diejenigen, die sich gegenüber einem Einsatz von Primärbrennstoffen verändern. Der Output "Zementklinker" ist eine Funktion des energetischen Potentials des Brennstoffs und berücksichtigt nicht den inputseitigen Bedarf an Rohmaterialien.

3.1.2.4 Äquivalenzprozesse

Bei der Abfallentsorgung, sowohl bei der Verwertung von Abfällen als auch bei der thermischen Behandlung in der Müllverbrennung, entstehen Nutzen durch die Erzeugung von Sekundärprodukten oder Energie. Diese erzeugten Sekundärprodukte oder Energien sind in der Stoffstrombilanzierung zu berücksichtigen, da sie funktionsäquivalent Primärprodukte bzw. konventionell erzeugte Energie substituieren können. Die hierdurch vermiedene Primärherstellung dieser Produkte - z.B. Düngemittel, Neuglas, Neufasern zur Papier- und Pappenherstellung - bzw. der nutzbaren Energien werden im so genannten „Äquivalenzsystem“ über Äquivalenzprozesse modelliert und in der Stoffstrombilanzierung in Form von Gutschriften verrechnet. Nachfolgend werden die wesentlichen Äquivalenzprozesse kurz beschrieben.

Gutschriften aus MVA: Strom-, Wärmeerzeugung und Roheisenherstellung

Durch die Entsorgung von Abfällen über die Müllverbrennung wird, je nach Heizwert der Abfälle, sowohl nutzbare Energie produziert als auch über eine Schlackeaufbereitung Eisenschrott bereitgestellt.

Für die erzeugte Menge nutzbarer elektrischer Energie wird die äquivalente Menge an konventionell erzeugtem Strom gutgeschrieben. Die Strombereitstellung entspricht dabei der durchschnittlichen Stromerzeugung in Deutschland. Der durchschnittliche Strommix in Deutschland ergibt sich dabei z. B. für das Jahr 2001 über den nach Angaben der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (AGE) sowie des Verbands der Elektrizitätswirtschaft (VDEW)¹⁹ abgeleiteten Energieträgermix zur Nettostromerzeugung in Deutschland wie in **Tab. 3-5** dargestellt.

Für die Modellierung der mittleren Stromerzeugung wurde der Beitrag durch Mineralöl wegen der geringen Bedeutung vernachlässigt. Der Beitrag aus der Abfallverbrennung (unter "Sonstiges", Anteil etwa 37%) wurde der Abfallentsorgung zualloziert und stellt damit Energiebereitstellung zum ökologischen "Null-Tarif" dar. Die Beiträge der regenerativen Energieträger Wasser und Wind erfordern in der Vorkette und Erzeugung ausschließlich "KEA, regenerativ" als Input. Die Primärenergienutzungsgrade werden für regenerative Energieträger mit 100% angesetzt. Aufwendungen und Emissionen,

¹⁹ Energieträgereinsatz zur Stromerzeugung AGE (Internet Stand 8. Aug. 2003, Tab. 2.10.1); Bruttostromerzeugung in Deutschland AGE (Internet Stand 5. Feb. 2004); Nettostromerzeugung in Deutschland VDEW (Internet, Stand 15.3.2004)

die sich aus der Bereitstellung der Infrastruktur von Anlagen ergeben würden, sind hier insgesamt wegen ihres untergeordneten Beitrages zu den Gesamtaufwendungen und -emissionen vernachlässigt.

Tab. 3-5 Energieträgermix der Nettostromerzeugung im Jahr 2001

Steinkohle	23,5%
Braunkohle	26,2%
Mineralöl	0,7%
Naturgase	12,0%
Kernenergie	29,7%
Wasser (ohne Pump bzw. regenerativ)	4,4%
Windkraft	1,9%
Sonstiges	1,7%

Zur Verrechnung der erzeugten nutzbaren Wärme wurden die mittleren Verhältnisse in Deutschland nach [Öko-Institut 2002] herangezogen. Danach wird die aus Müllverbrennung erzeugte nutzbare Wärme vorwiegend als Fernwärme (82,6%) und des Weiteren als Prozesswärme (17,4%) genutzt. Die konventionelle Erzeugung von Prozesswärme erfolgt nach [Öko-Institut 2002] zu 4,2% in Braunkohlekesseln, 21,3% in Steinkohlekesseln, 7,5% in Leichtölkesseln, 9,2% in Schwerölkesseln und 57,8% in Gaskesseln. Die erzeugte Fernwärme substituiert v. a. Wärme aus Hausheizungen (88,5%), des Weiteren Fern- und Nahwärme. Das Substitutionspotenzial für die dezentrale Hausfeuerung ist mit einem Wärmeerzeugungssplit von 85% Heizölheizung, 10% Gasheizung und 5% Stromheizung angenommen.

Der verfügbare Eisenschrott aus der Schlackeaufbereitung ersetzt die Primärherstellung von Roheisen im Hochofen. Die Wiedergewinnungsrate für Eisen aus der MVA-Schlacke wurde nach [TÜV Rheinland Berlin Brandenburg 2002] mit 50% angesetzt²⁰.

Gutschriften aus Kompostanwendung: Düngemittelherstellung und Bereitstellung von Torf und Rindenhumus

Die Kompostanwendung erfolgt, wie beschrieben, in unterschiedlichen Marktsegmenten, mit denen jeweils unterschiedliche Nutzen verbunden sind. Im Wesentlichen wird durch die Kompostanwendung die Primärherstellung von mineralischem Dünger, von Torf mit und ohne Zusatz und von Rindenhumus ersetzt.

Der Äquivalenzprozess für Mineraldünger besteht in der Herstellung und Anwendung von Mineraldüngern, die genau den verfügbaren Düngergehalten der eingesetzten Komposte entsprechen. Hierbei handelt es sich um Stickstoff (N), Phosphat (P_2O_5), Kaliumoxid (K_2O), Calciumoxid (CaO) und Magnesiumoxid (MgO). Als Grundvoraussetzung für die Gewährleistung der Substitution wird von einer guten fachlichen Praxis ausgegangen, das heißt, es wird angenommen, dass streng nach Bedarf gedüngt wird. Angerechnet wird damit die gesamte Menge an langfristig verfügbarem Düngestoff. Als Datengrundlage für die Errechnung der substituierten Düngerarten und -mengen dienen zunächst die Daten des StBA [1997]. Aus diesen Unterlagen wird deutlich, dass

²⁰ Im Äquivalenzprozess "Hochofen" anfallende Kuppelprodukte wurden berücksichtigt.

die Phosphat-Düngung in der Bundesrepublik überwiegend in Form von NP und NPK-Dünger erfolgt. Die Bereitstellung der Düngemittel (Rohstoffabbau, Herstellung, Transport bis Ackerrand) wird anhand der durch Patyk und Reinhardt [1997] erarbeiteten Daten modelliert. Als Herkunftsländer des Phosphaterzes wird von Israel (37%), den USA (33%), Marokko (25%) und der GUS (5%) ausgegangen. Die für den Vergleich mit den Sekundärrohstoffdüngern wichtigen Annahmen der Schwermetallbelastung der Düngemittel ist vorrangig aus Angaben von Boysen [1992] abgeleitet.

Der Äquivalenzprozess zur Herstellung von Torf mit und ohne Zusatz (Kultursubstrat) berücksichtigt die Zufuhr organischer Masse durch die Kompostanwendung im Erwerbsgartenbau und bei der Substratherstellung über Erdenwerke. Äquivalente Größe ist die Masse an organischer Substanz. Der Äquivalenzprozess umfasst sowohl den Torfabbau als auch die Anwendung von Torf und dessen langfristige Zersetzung. Für den Abbau von Torf wird der Einsatz leistungsstarker, dieselbetriebener Aggregate angenommen. Die Bearbeitungstiefe beträgt nach Aussagen des Bundesverbandes Torf- und Humuswirtschaft mindestens 1 m. Der nasse, sehr schwere Torf (Frischgewicht 850-900 kg/m³) wird zunächst trocknen gelassen und anschließend zur weiteren Anwendung oder Veredelung transportiert. Ebenfalls nach Angaben des Bundesverbandes Torf- und Humuswirtschaft wird für die Berechnung abgeschätzt, dass 15% des in der Bundesrepublik eingesetzten Torfes importiert wird und zwar im Wesentlichen aus dem Baltikum. Der übrige Anteil besteht aus Inlandstorf aus den Moorkomplexen in Norddeutschland (v. a. Niedersachsen). Abgebaute Torf gelangt sowohl direkt ohne weitere Zusätze auf den Markt als auch zunächst zu einer Weiterverarbeitung zu Substrattorf in deutsche Erdenwerke. Bei der Torfanwendung kommt es zu Abbauprozessen, bei denen organische Substanz vor allem in Kohlendioxid umgesetzt wird. Torf wird auf Grund seiner Speichereigenschaft für CO₂ dabei wie ein fossiler Brennstoff eingestuft, entsprechend handelt es sich bei dem freigesetzten CO₂ um fossiles mit den entsprechenden negativen Umweltwirkungen. De Groot [1999] gibt an, dass 1 kg trockener Torf bei der Anwendung 2 kg CO₂ produziert und folglich 1 kg organische Trockensubstanz im Kompost 2 kg fossiles CO₂ ersetzt.

Der Äquivalenzprozess zur Herstellung von Rindenhumus umfasst die Kompostierung von Rinden und die Anwendung des Rindenhumus. Da Rinden als Abfall bzw. Nebenprodukt in der Forstwirtschaft anfallen, werden die forstwirtschaftlichen Aufwendungen nicht berücksichtigt. Das Material zur Erzeugung von Rindenhumus ist der Biosphäre ausgesetzt und dementsprechend auch mit Schadstoffen belastet, deren Eintrag in Boden bei der Anwendung wird berücksichtigt. Die Kompostierung der Rinden erfolgt nach Zerkleinerung im Freien unter Zusatz von Stickstoff, um den biologischen Abbauprozess zu initiieren. Die Rottedauer beträgt 6 Monate, der Rotteverlust beträgt 50% [Eurich-Menden 1996]. Die durch den Abbau anfallenden Emissionen werden analog dem allgemeinen Kompostierungsprozess modelliert. Für die letztendliche Anwendung des Rindenhumus gelten, ebenfalls analog zu den Annahmen bei der Anwendung von stabilisierten Kompostprodukten, die gleichen Frei- bzw. Umsetzungsraten wie bei der Kompostanwendung.

Gutschriften aus stofflicher Verwertung von Altglas und Altpapier

Bei der Altpapierverwertung werden in der Papierfabrik Altpapierfasern erzeugt, die Neufasern funktionsäquivalent ersetzen. Die Neufasern werden aus Industrieholz erzeugt. Der Äquivalenzprozess umfasst sowohl den eigentlichen Herstellungsprozess als auch die Bereitstellung des benötigten Industrieholzes und somit die damit verbundenen forstwirtschaftlichen Aufwendungen inkl. Transporte.

Altglas wird aufgrund seiner technisch unbegrenzten Recyclingfähigkeit zu 100% mit dem Herstellungsaufwand für Neuware gutgeschrieben. Der entsprechende Äquivalenzprozess umfasst die Gewinnung der Rohstoffe wie Sand, Soda, Kalkstein, Feldspat und Dolomit. Ebenso im Äquivalenzprozess enthalten ist die eigentliche Glasschmelze und die damit verbundenen Energieaufwendungen und Emissionen.

Gutschriften aus der Verwertung von Leichtverpackungen

Die wesentlichen erzeugten Sekundärprodukte aus der LVP-Verwertung sind Weißblech aus Weißblechverpackungen, Aluminium aus aluminiumhaltigen Verpackungen, Zellstoff aus der Verwertung von Flüssigkartons und sonstigen PPK-Verbundverpackungen über die Papierfabrik sowie die Sekundärprodukte aus der werkstofflichen Verwertung der Kunststofffraktionen (Regranulate und Sekundärkunststoffformteile). Des Weiteren entstehen bei der LVP-Verwertung Sekundärprodukte (MKS-Agglomerate) die einer rohstofflichen (SVZ und Hochofen) und zu einem geringen Anteil auch einer energetischen Verwertung zugeführt werden. Aus den bei der Verwertung anfallenden Sortier- und Aufbereitungsresten, die über eine MVA entsorgt werden, fallen als Nutzen Strom und Wärme an. Die erzeugten Regranulate aus der werkstofflichen Verwertung von Kunststoffen ersetzen funktionsäquivalent Primärkunststoffe wie Polyethylene, Polypropylene oder PET. Die erzeugten Sekundärkunststoffformteile ersetzen dagegen nicht-materialgleiche Primärprodukte wie Holz- oder Betonpalisaden.

Tab. 3-6 Äquivalenzprozesse der LVP-Verwertung und Datenherkünfte

Herstellungsprozess	Datenherkunft	Kommentar
Aluminiumbarren, primär	EAA 2000	Der Datensatz beschreibt die durchschnittliche Herstellung von Primäraluminium in Europa Ende der 90er
Fernwärmemix Deutschland	ifeu	Kraftwerksparkmix mit Fernwärmeauskopplung in Deutschland Ende 90er
Neuglas	FVB	Umfrage der Fachvereinigung Behälterglasindustrie 1996 bei 67% der Hohlglasindustrie
Gutschrift Betonpalisade	Industrie / ifeu	Situation Ende der 90er
Gutschrift Holzpalisade	Literatur	Herstellung dampfdruckimprägnierter Holzpalisaden Mitte 90er
Gutschrift Hochofen	Industrie / ifeu	Situation Ende der 90er
Gutschrift Methanol aus SVZ	Literatur	Herstellung von Methanol aus Synthesegas
PET, amorph, PE-HD, PE-LD, PP	APME	Produktion von amorphem PET, PE-HD, PE-LD 2001; Produktion von PP Granulat 2002
Polystyrol (EPS) / (GPPS)	APME	Produktion von expandierbarem Polystyrol Granulat 1994 bzw. von GPPS (= General Purpose Polystyrene)-Granulat 1994
Strom Deutschland	ifeu	Strommix Deutschland 2001
Weißblech aus LD-Stahl IZW	IZW	von Weißblech über die LD-Stahl-Schiene 1994
Zellstoff ECF	Industrie / Literatur	Herstellung von elementar-chlor-frei (ECF) gebleichtem Sulfatzellstoff aus Nadelholz 1995

Bei den Datengrundlagen für die modellierten Äquivalenzprozesse handelt es sich um Originalangaben der Industrieverbände oder Literaturdaten. Eine Übersicht der Datenherkünfte und verwendeten Herstellungsprozesse ist **Tab. 3-6** zu entnehmen.

3.1.3 Abfallzusammensetzung im Modell

3.1.3.1 Hausmüll

Grundlegende Informationsquellen für die inhaltliche Zusammensetzung von Abfallfraktionen sind entsprechende Sortieranalysen. Diese liegen in umfassendem Maße für die einzelnen getrennten Abfallfraktionen des Jahres 2001 vor (Quellen s. **Tab. 3-8**). Für die Vergangenheitssituation kann auf die "Bundesweite Hausmüllanalysen" zurückgegriffen werden, die von ARGUS Berlin durchgeführt wurden (Quellen s. **Tab. 3-7**). Diese umfassende Datensammlung beinhaltet zwar im Wesentlichen Ergebnisse aus Sortieranalysen Mitte der 80er Jahre, ist aber als die am ehesten geeignete Datenquelle zur Bestimmung der inhaltlichen Zusammensetzung der Abfallfraktionen von 1990 anzusehen. Die Ergebnisse der bundesweiten Hausmüllanalysen, die sich insgesamt aus mehreren Untersuchungen bilden, finden sich in [ifeu 1991] zusammengefasst. In diesen Hausmüllanalysen wurde die Schwermetallbelastung des Hausmülls analysiert. Eine Übersicht der gefundenen Ergebnisse ist in **Tab. 3-7** gegeben.

Ein Vergleich der dabei gefundenen Bandbreiten der Schwermetallbelastung für Hausmüll mit der mittleren Hausmüllzusammensetzung im Jahr 2001 (s. **Tab. 3-8**) zeigte, dass in Folge der relativ hohen Bandbreiten keine eindeutige Unterscheidung der Belastungssituation vorgenommen werden kann. Entsprechend wurde die Hausmüllzusammensetzung für alle betrachteten Jahre gleichermaßen angenommen (Rechenwerte in **Tab. 3-8**).

Tab. 3-7 Schwermetallbelastung des Hausmülls nach bundesweiten Sortieranalysen Mitte der 80er Jahre

	Greiner 1983		Greiner 1983		Bidlingmeier 1984		Müsken 1982	
	Wilhelmshaven		bundesweit					
mg/kg	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Cd	3	4	2,3	6,8	0,5	1,8	1,7	50
Hg	0,1	5,4	0,1	2,7			0,3	14
Pb	530	730	110	1.010		1.800	110	370
Cr					10	40	5	2.810
Cu	240	510	180	300	20	70	60	530
Zn	820	2.850	390	740		150	300	1.000

Quellen zitiert in [ifeu 1991, S. 8-1]

Den für das Jahr 2001 abgeleiteten Rechenwerten für die Hausmüllzusammensetzung liegen verschiedene Datenquellen zu Grunde. Sowohl abgeleitete Rechenwerte als auch Vergleichsdatenquellen sind in **Tab. 3-8** dargestellt.

Tab. 3-8 Rechenwerte der Hausmüllzusammensetzung für das Jahr 2001 sowie Bandbreiten der Literatur

		Rechenwerte	Bay LfU [2003]	Rotter et al. [2002]	Scholz [2001]; Wallmann [1999]	
Parameter	Einheit *)				von	bis
Wassergehalt	%	35%	37%	39,7%	15%	35%
Heizwert (roh)	MJ/kg	8,5	8,4		7	15
Kohlenstoff fossil	% tr	12%			12%	
Kohlenstoff regenerativ	% tr	27,7%			23%	
C Gesamt		39,7%	35%	33,3%	28%	40%
Wasserstoff	% tr	4,5%			4,0%	5,0%
Sauerstoff	% tr	20%			16%	22%
Stickstoff	% tr	1,1%	1,35%		0,20%	1,30%
Schwefel	% tr	0,25%	0,28%		0,30%	0,50%
Asche	% tr	33%	29%	36,7%	25%	35%
Chlor	% tr	0,60%	0,62%	0,8%	0,40%	1%
Fluor	% tr	0,05%				
Cd	mg/kg TS	9	9,6	11,5	1	33
Tl	mg/kg TS	0,5				
Hg	mg/kg TS	0,2	0,19	0,17	0,5	11
Sb	mg/kg TS	12				
As	mg/kg TS	3,5				
Pb	mg/kg TS	220	208	279	390	1800
Cr	mg/kg TS	300	326		30	2700
Co	mg/kg TS	4				
Cu	mg/kg TS	350	353		60	2100
Mn	mg/kg TS	250	293			
Ni	mg/kg TS	40	38			
V	mg/kg TS	20				
Sn	mg/kg TS	25	26,5			

*) alle Werte sind bezogen auf Trockenmasse, bis auf Wassergehalt und Heizwert

Bei der Müllverbrennung und der Deponierung ist die Zusammensetzung der Abfälle von Bedeutung für das Ergebnis. Die Abfallfraktion Hausmüll hat den größten Anteil an der Gesamtmenge der diesen Prozessen zugeführten Abfälle (Anteil an den gesamt entsorgten Abfällen aus Haushaltungen >80%). Da für alle anderen gemischten Abfallfraktionen (z.B. Sortierreste) keine Angaben zur Zusammensetzung vorliegen, wurden, mit Ausnahme der Sortierreste aus der Altglasaufbereitung, auch für diese Abfälle die in **Tab. 3-8** dargestellten Werte für Hausmüll übernommen. Der hierdurch verursachte Fehler ist als gering anzusehen.

3.1.3.2 Abfälle zur Mitverbrennung

Auch bei der Mitverbrennung von Abfällen ist die Zusammensetzung des zugeführten Abfalls von Bedeutung. Im Gegensatz zu den Prozessen Müllverbrennung und Deponierung gelangen zur Mitverbrennung jedoch i.d.R. vorbehandelte Abfälle wie Schlämme aus Pulper bzw. Deinking bei der Verwertung von PPK, Sortier- und Aufbereitungsreste aus der Verwertung von LVP sowie Sekundärbrennstoffe aus der Vorbehandlung von Haus- und Sperrmüll über MBAn.

Bei der Prozessbeschreibung der Mitverbrennung wurde erläutert, dass die jeweilige Abfallzusammensetzung in den verschiedenen Jahren über die zugeführte Masse gewichtet berechnet wurde. Ebenfalls erläutert wurde, dass für das heterogene Gemisch der Sortier- und Aufbereitungsreste aus der LVP-Verwertung keine Messanalysen vor-

liegen, für diese wurde plausibel angenommen, dass deren Zusammensetzung ähnlich der von Sekundärbrennstoffen ist. Demzufolge zeigt **Tab. 3-9** die den Berechnungen zugrunde gelegte Abfallzusammensetzung von Papierschlämmen und Sekundärbrennstoffen.

Tab. 3-9 Mittlere verwendete Werte für Papierschlämme und Sekundärbrennstoffe

		Papierschlämme	Sekundärbrennstoffe
TS	%	42%	85%
Heizwert	kJ/kg TS	7.300	23.522
Aschegehalt	% TS	17,0%	11,9%
C fossil	% TS	0,4%	72,0%
C regenerativ	% TS	37,7%	0%
H	% TS	6,4%	13,0%
O	% TS	44,3%	4,0%
Cl	% TS	0,2%	0,7%
S	% TS	0,1%	0,1%
N	% TS	0,9%	1,0%
F	mg/kg TS		59,1
Cd	mg/kg TS	0,43	1,6
Tl	mg/kg TS	0,8	0,4
Hg	mg/kg TS	0,18	0,2
As	mg/kg TS	2,5	1,0
Pb	mg/kg TS	48,8	87,8
Cr	mg/kg TS	29,3	48,5
Cu	mg/kg TS	118,2	94,0
Ni	mg/kg TS	10,9	13,3
Zn	mg/kg TS	281,5	

Papierschlämme: [www.lua.nrw.de/Abfall/Abfallbewertung/Abfalldatenblätter/energetisch verwertbare Stoffgruppen/-Spuckstoffe/Abfalldatenblatt Spuckstoffe und Papierschlämme aus der Papierindustrie.pdf](http://www.lua.nrw.de/Abfall/Abfallbewertung/Abfalldatenblätter/energetisch_verwertbare_Stoffgruppen/-Spuckstoffe/Abfalldatenblatt_Spuckstoffe_und_Papierschlämme_aus_der_Papierindustrie.pdf); aus Medianwerten (1980-1995) abgeleitete mittlere Werte;

Sekundärbrennstoffe: MUNLV/Prognos: Leitfaden zur energetischen Verwertung von Abfällen in Zementwerken, Kalkwerken und Kraftwerken in Nordrhein-Westfalen; Düsseldorf 2003; Medianwerte;
Werte in kursiv: Abschätzungen ifeu

3.2 Methode der Wirkungsabschätzung zur Aufbereitung der Ergebnisse

Zur Beurteilung des Beitrages der Abfallwirtschaft zur nachhaltigen Entwicklung in Deutschland wurde zunächst, wie im vorangegangenen Kapitel beschrieben, die abfallwirtschaftliche Situation in den Jahren 1990 und 2001 sowie eine für das Jahr 2005 prognostizierte Situation mit Hilfe des Software-Tools Umberto® in ein Stoffstrommodell übersetzt. Mit diesem Stoffstrommodell wurden sämtliche Umweltbeeinträchtigungen, wie Emissionen, Rohstoff- und Flächenverbräuche berechnet, die sich aus der Entsorgung der Abfälle aus Haushaltungen in den einzelnen Jahren ergeben. Die auf Grund dieser Berechnung erhaltenen so genannten Sachbilanzergebnisse werden in einem zweiten Schritt, der Wirkungsabschätzung, zu wirkungsbezogenen Kennzahlen zusammengefasst. Hierzu werden die relevanten Sachbilanzergebnisse, je nach ihrer Umweltwirkung, verschiedenen Umweltproblembereichen, so genannten Wirkungskategorien, zugeordnet (Klassifizierung) und die jeweils in der gleichen Wirkungskategorie aufgeführten Sachbilanzergebnisse, mit Wirkungsäquivalenzwerten gewichtet, zusammengefasst (Charakterisierung). Dabei wird ein Stoff in äquivalenten Mengen eines Referenzstoffes, z.B. die Treibhauswirkung des Methans in Wirkungsäquivalenten des Kohlendioxids, ausgedrückt.

Dieses Vorgehen erlaubt es, einen Überblick über die Umweltwirkungen, die sich aus den abfallwirtschaftlichen Aktivitäten ergeben, zu erlangen. Es wurde bereits angesprochen, dass der sehr umfassende Begriff der nachhaltigen Entwicklung auf den Umgang mit Ressourcen, wie im § 1 des KrW-/AbfG dargestellt, beschränkt werden sollte. Der Begriff der natürlichen Ressourcen wurde dabei im Sinne des umfassenden Ressourcenbegriffs nach [UBA 2002] definiert. Dieser umfasst sowohl die Beanspruchung von Rohstoffen und Flächen als auch die Leistungen, die die Natur indirekt für den Menschen erbringt, durch z. B. die Aufnahme von Emissionen (Senkenfunktion).

Dieser Definition folgend wurden die Umweltwirkungsindikatoren ausgewählt, anhand derer der Beitrag der Abfallwirtschaft zur nachhaltigen Entwicklung in Deutschland ermittelt wurde. Für den engeren Ressourcenansatz wurde die Beanspruchung fossiler und ausgewählter mineralischer Ressourcen gewählt. Zur Abbildung der Senkenfunktion der Umwelt wurden die Wirkungskategorien Klimaänderung (Treibhauseffekt), Versauerung, Überdüngung von Böden und Gewässern sowie die Beeinträchtigung der menschlichen Gesundheit (Humantoxizität) gewählt. Die insgesamt ausgewählten Wirkungskategorien und die dazu gehörigen Indikatoren sowie die zu diesen zugeordneten Sachbilanzparameter, sind in **Tab. 3-10** aufgeführt und werden nachfolgend eingehender beschrieben.

Tab. 3-10 Untersuchte Wirkungskategorien, Indikatoren und berücksichtigte Sachbilanzparameter

Wirkungskategorie	Wirkungsindikator	Berücksichtigte Parameter der Sachbilanz
Beanspruchung fossiler Ressourcen	[Kumulierter Energieaufwand (KEA) fossil, in Joule]	Erdöl, Erdgas, Braun-, Steinkohle
Beanspruchung mineralischer Ressourcen	[Massenverbrauch, in kg]	Eisen+Eisenerz, Phosphaterz
Klimaänderung (Treibhauseffekt)	[CO ₂ -Äquivalente]	CO ₂ fossil, CH ₄ , N ₂ O
Versauerung	[SO ₂ -Äquivalente]	SO ₂ , NO _x , NH ₃ , HCl, HF, H ₂ S
Überdüngung von Böden (terrestrische Eutrophierung)	[PO ₄ -Äquivalente]	NH ₃ , NO _x
Überdüngung von Gewässern (aquatische Eutrophierung inkl. Sauerstoffzehrung)	[PO ₄ -Äquivalente]	N-Verb., P-Verb., CSB
Humantoxizität (Krebsrisiko)	[Arsen-Äquivalente]	As, Cd, Cr(VI), Ni, BaP Dioxine, Benzol, PCB
Humantoxizität (PM10-Risiko)	[PM10-Äquivalente]	PM10, SO ₂ , NO _x , NH ₃ , NMVOC

3.2.1 Beanspruchung von Rohstoffen

Der Verbrauch von Ressourcen wird als Beeinträchtigung der Lebensgrundlagen des Menschen angesehen. In allen Überlegungen zu einer dauerhaft umweltgerechten Wirtschaftsweise spielt die Beanspruchung von Ressourcen eine wichtige Rolle. Der Begriff Ressource wird dabei manchmal beschränkt auf erschöpfliche mineralische oder fossile Ressourcen angewendet oder sehr weit interpretiert, indem z. B. genetische Vielfalt, landwirtschaftliche Flächen etc. darin eingeschlossen werden. Wie zuvor beschrieben wird in dieser Studie der Begriff Ressource im Sinne der umfassenden Definition nach [UBA 2002] verstanden. An dieser Stelle wird der Verbrauch von mineralischen und fossilen Ressourcen (Beanspruchung von Rohstoffen) beschrieben.

Für eine Bewertung der Beanspruchung von Rohstoffen innerhalb der Wirkungsabschätzung wird grundsätzlich versucht die „Knappheit“ der Rohstoffe als Kriterium heranzuziehen. Zur Bestimmung der Knappheit werden, bezogen auf eine bestimmte geographische Einheit, im Allgemeinen die Faktoren Verbrauch, eventuelle Neubildung und Reserven in Beziehung gesetzt. Trotz des damit vermeintlich guten methodischen Zugangs zu der Umweltbelastung „Rohstoffbeanspruchung“ werden zukünftig noch einige grundsätzliche Aspekte zu klären sein. Dies betrifft die Definition von Knappheit aber auch die sinnvolle Einteilung der Rohstoffarten.

Hinsichtlich der Knappheit gibt es z. B. für die Ressource Rohöl unterschiedliche Angaben²¹. Der üblicherweise für energetische Ressourcen angegebene Reichweite-Indikator bezieht sich auf globales "sicher gewinnbares" Vorkommen und "gegenwärtigen" Verbrauch. Konservativ nicht einbezogen sind die "voraussichtlich noch förderba-

²¹ Die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), in Deutschland zuständig zur Ermittlung der "Reichweite der Reserven", schätzt die gegenwärtigen Ölvorräte auf 2.000 Gb (1 Gb = 1 Gigabarrel), die US Geological Survey (USGS) dagegen z. B. auf 3.000 Gb.

ren" Ölmengen. Da von diesen letztgenannten Mengen aber immer wieder Mengen zu "sicheren" Reserven werden, wird die Reichweite für Rohöl schon seit mehr als 40 Jahren in der Größenordnung von 40 Jahren angegeben. Problem hinter dieser scheinbaren Bewegungslosigkeit, ist die Abgrenzung zwischen sicheren und "noch zu findenden" Reserven und ebenfalls Problem der Reichweite ist die Abschätzung zur zukünftigen Entwicklung des Verbrauchs.

Die Schwierigkeiten bei der Abgrenzung der Rohstoffarten ergeben sich z. B. dadurch, dass Materialien auch Energieträger sein können und umgekehrt, dass biotische Ressourcen u. U. nicht erneuerbar sind, dass Wasser ein erneuerbarer Stoff und ein erneuerbarer Energieträger sein kann usw.. Dazu kommen Probleme aus der Sachbilanz: Ist der Anbau einer biotischen Ressource ein Teil des Systems, so ist nicht das biologische Material ein Input in das System, sondern die Fläche, auf der es erzeugt wird. Damit ist Fläche die Ressource, die in der Wirkungsabschätzung und Bewertung zu betrachten ist und nicht die Ressource selbst. Vor diesem Hintergrund werden drei Ressourcenkategorien unterschieden:

- Ressource Energie
- Material- bzw. stoffliche Ressource
- Ressource Naturraum

Verschiedene **Energierohstoffe**, wie z. B. Erdöl oder auch Holz, haben die Eigenschaft, sowohl stofflich (sog. feedstock) als auch energetisch verwendbar zu sein. Aufgrund der vielfältigen Umwandlungsprozesse innerhalb eines Lebensweges sind dabei die Abgrenzungen nicht leicht zu setzen. Diese Eigenschaften der Energierohstoffe haben bisher zu dem Vorschlag geführt, die Energieträger als Material darzustellen. Damit wurde es jedoch schwer, nichtmaterielle Energieträger wie Windkraft, Wasserkraft, Gezeitenkraft, Photovoltaik etc. in ein Konzept mit einzubeziehen. Umgekehrt stellen andere Arbeiten sowohl stofflich als auch energetisch einsetzbare Materialien durch deren Energieinhalt dar. Daraus folgt unweigerlich das Problem, dass diese Materialien mit nicht-energetischen Materialien nicht in Beziehung gesetzt werden können. Bei einer Substitution von Glas durch Kunststoff können keine Megajoule mit Kilogramm verglichen werden. Eine Rückübersetzung vom Energieinhalt des Kunststoffs in eine gewichtsbezogene Darstellung wird wieder nötig.

Werden nur fossile Energieträger als knappe Ressource berücksichtigt, so bieten sich verschiedene Ansätze der Wirkungsaggregation an: Zum einen allein auf den allgemeinen Nutzwert der Energieressourcen, nämlich den Heizwert (H_u in kJ) oder Brennwert (H_o) gestützt oder zum anderen auf den Nutzwert unter Berücksichtigung der spezifischen Knappheit der einzelnen Energieträger. Aufgrund der zuvor erwähnten noch bestehenden Schwierigkeiten hinsichtlich Angaben zur Knappheit bzw. statischen Reichweite wurde in der hier durchgeführten Untersuchung die Beanspruchung fossiler Energieträger über deren Energiegehalte erfasst. Danach werden sämtliche beanspruchten fossilen Ressourcen über ihren Energiegehalt aufsummiert und als Summenwert - dem kumulierten Energieaufwand (KEA) - angegeben. **Tab. 3-11** zeigt die dabei zugrunde gelegten Heizwerte der Energieressourcen.

Die Beanspruchung von **stofflichen Ressourcen** kann wiederum nur auf Basis von Einzelparametern diskutiert werden. Abgesehen von einer reinen Massen bezogenen Summation, die allerdings kaum Aussagekraft besitzt, gibt es hier bisher keine ausrei-

chend valide Methode zur Aggregation der Einzelparameter. Analoge Überlegungen wie bei der Beanspruchung fossiler Energieträger wären hier grundsätzlich möglich.

Tab. 3-11 Fossile Energieressourcen und deren Energiegehalt

Rohstoffe in der Lagerstätte / Energieträger	Fossile Energie Hu in kJ/kg
Braunkohle	8.303
Erdgas (roh)	37.781
Erdöl	42.622
Steinkohle	29.809

²⁾ Quelle: [UBA 1995]

3.2.2 Klimaänderung / Treibhauseffekt

Die Wirkungskategorie Klimaänderung (Treibhauseffekt) ist in [IPCC 1996b] bereits eingehend beschrieben worden. Die bisher meist in Ökobilanzen angewandte Aggregationsmethode [CML et al. 1992], [Klöpffer 1995] zur Berechnung des Treibhauspotenzials in Form von CO₂-Äquivalenten wird allgemein anerkannt. Mit dem Intergovernmental Panel of Climate Change (IPCC) besteht zudem ein internationales Fachgremium, das sowohl die Methode als auch die entsprechenden Kennzahlen für jede klimawirksame Substanz errechnet und fortschreibt. Die vom IPCC fortgeschriebenen Berichte sind als wissenschaftliche Grundlage zur Instrumentalisierung des Treibhauseffektes in ihrer jeweils neuesten Fassung heranzuziehen.

Bei der Berechnung von CO₂-Äquivalenten wird die Verweilzeit der Gase in der Troposphäre berücksichtigt, daher stellt sich die Frage, welcher Zeitraum der Klimamodellrechnung für die Zwecke der Ökobilanz verwendet werden soll. Es existieren Modellierungen für 20, 50 und 100 Jahre. Die Modellrechnungen für 20 Jahre beruhen auf der sichersten Prognosebasis (was die Wirkungscharakterisierung von Methan betrifft). Das Umweltbundesamt empfiehlt die Modellierung auf der 100-Jahresbasis, da sie am ehesten die langfristigen Auswirkungen des Treibhauseffektes widerspiegelt. Sie wurde in diesem Projekt verwendet. Nachfolgend werden die in den Berechnungen des Treibhauspotenzials angetroffenen Substanzen mit ihren CO₂-Äquivalenzwerten - ausgedrückt als „Global Warming Potential (GWP)“ aufgelistet.

Tab. 3-12 Treibhauspotenzial der betrachteten Stoffe

Treibhausgas	CO₂-Äquivalente (GWP_i) in kg CO₂-Äq/kg
Kohlendioxid (CO ₂), fossil	1
Methan (CH ₄), fossil	21
Methan (CH ₄), regenerativ	18,25
Distickstoffmonoxid (N ₂ O)	310

Quellen: [CML et al. 1992], [Klöpffer 1995]

Der Beitrag zum Treibhauseffekt wird durch Summenbildung aus dem Produkt der emittierten Masse einzelner treibhausrelevanter Schadstoffe (m_i) und dem jeweiligen GWP (GWP_i) nach der nach stehenden Formel berechnet [CML et al. 1992], [Klöpffer 1995].

$$GWP = \sum_i (m_i \times GWP_i)$$

3.2.3 Versauerung

Versauernd wirkende Luftschadstoffe können durch langfristige hohe Einträge (Deposition) in Böden und Gewässer zu chronischen Wirkungen führen, die den besonderen Charakter von Vegetationsformen derart verändern können, dass es zu einer Verarmung der Artenvielfalt oder zum Aussterben besonderer Flora- und Faunatypen kommt. Die wesentlichen Säure bildende Luftschadstoffe sind Schwefeldioxid, Stickoxide und Ammoniak, die zu Sulfat (SO_4^{2-}), Nitrat (NO_3^-) und Ammonium (NH_4^+) umgesetzt werden. Beim Eintrag von Säuren in Böden werden diese zunächst durch vorhandene Nährkationen wie Calcium, Magnesium oder Kalium neutralisiert. Diese werden selbst gelöst und mit dem Sickerwasser ausgewaschen, es folgt Versauerung. Durch den Verlust dieser Nährstoffe kommt es neben der allmählichen Bodenversauerung auch zu Nährstoffmangel. Darüber hinaus verändert sich mit zunehmender Versauerung auch die Bodenlösung, Schwermetalle die im Boden gepuffert gebunden sind, können ausgewaschen und an das Grundwasser abgegeben werden. Toxisch wirkende Schwermetalle werden damit zu einem Risiko für die menschliche Gesundheit und für Ökosysteme.

Eine Versauerung kann sowohl bei terrestrischen als auch bei aquatischen Systemen eintreten. Verantwortlich ist die Emission Säurebildender Abgase. Die in [CML et al. 1992], [Klöpffer 1995] beschriebene Berechnung von Säurebildungspotenzialen wird als adäquat für Ökobilanzen angesehen. Damit sind insbesondere keine spezifischen Eigenschaften der belasteten Land- und Gewässersysteme vonnöten. Die Messung des Säurebildungspotenzials erfolgt üblicherweise durch Umrechnung auf SO_2 -Äquivalente. Nachfolgend sind die in dieser Studie erfassten Schadstoffe mit ihren Versauerungspotenzialen, engl. Acidification Potential (AP), in Form von SO_2 -Äquivalenten aufgelistet.

Tab. 3-13 Versauerungspotenzial der betrachteten Stoffe

Schadstoff	SO_2 -Äquivalente (AP) in kg SO_2 -Äq/kg
Schwefeldioxid (SO_2)	1
Stickoxide (NO_x als NO_2)	0,7
Chlorwasserstoff (HCl)	0,88
Fluorwasserstoff (HF)	1,6
Ammoniak (NH_3)	1,88
Quellen: [CML et al. 1992], [Klöpffer 1995]	

$$AP = \sum_i (m_i \times AP_i)$$

Der Beitrag zum Versauerungspotenzial wird durch Summenbildung aus dem Produkt der emittierten Menge der einzelnen Schadstoffe und dem jeweiligen AP nach der voran stehenden Formel berechnet.

3.2.4 Überdüngung von Böden und Gewässern

Analog der Versauerung kann auch der langfristige hohe Eintrag von eutrophierend wirkenden Stoffen in Böden und Gewässer zu chronischen Wirkungen führen, die sich nachteilig auf die Artenvielfalt und bedrohte Tier- und Pflanzenarten auswirken. Die Luftschadstoffe, die zu einer Eutrophierung bzw. Überdüngung beitragen, sind Stickoxide und Ammoniak, durch den in ihnen gebundenen Stickstoff. Die Eutrophierung, das Überangebot an Nährstoffen, führt zunächst zu einem stärkeren Pflanzenwachstum, daneben aber auch zu einer Ausbreitung von Stickstoff liebenden Pflanzen und dadurch zu einem Verlust biologischer Vielfalt.

Übersteigt das Stickstoffangebot im Boden den Bedarf von Pflanzen oder Wäldern (Stickstoff-Sättigung), so wird dieses in Form von Nitrat ungenutzt mit dem Sickerwasser ausgetragen oder z.B. als Distickstoffmonoxid (N_2O) wieder an die Atmosphäre abgegeben. Mineralboden kann unverwerteten Stickstoff nicht speichern, entsprechend kann Nitrat ungehindert durchsickern und das Grundwasser belasten. Wieder freigesetztes N_2O wirkt sich Klima belastend aus, die Treibhauswirkung von N_2O ist 310 Mal höher als die von Kohlendioxid.

Die Überdüngung eines Gewässers führt sekundär zu einer Sauerstoffzehrung. Ein übermäßiges Auftreten Sauerstoffzehrender Prozesse kann zu Sauerstoffmangelsituationen im Gewässer führen. Ein Maß für die mögliche Belastung des Sauerstoffhaushalts im Gewässer stellen der Biochemische Sauerstoffbedarf (BSB) und der Chemische Sauerstoffbedarf (CSB) dar.

Eine gemeinsame Betrachtung der Überdüngung von Böden und Gewässern in Form einer Gesamteutrophierung ist nicht befriedigend, da es sich um zwei verschiedene Wirkungsbereiche bzw. Umweltmedien handelt. Insofern wird die Überdüngung von Böden und Gewässern jeweils getrennt ausgewertet und dargestellt.

Zur Berechnung der Nährstoffzufuhr kann derzeit keine bessere Alternative als die Aggregation in Phosphatäquivalenten nach [CML et al. 1992] und [Klöppfer 1995] genannt werden. Nachfolgend sind die wesentlichen vorkommenden verschiedenen Schadstoffe bzw. Nährstoffe mit ihren Eutrophierungspotenzialen, engl. Nutrifcation Potential (NP), wie in Ökobilanzen üblich in Form von Phosphatäquivalenten, aufgelistet. Die Aggregation von Nährstoffen (wie z.B. Ammonium) und CSB kann zu Doppelbewertungen führen, da Ammonium auch bereits im CSB enthalten ist.

Tab. 3-14 Eutrophierungspotenzial der betrachteten Stoffe

Nährsubstanz	PO ₄ ³⁻ -Äquivalente (NP) in kg PO ₄ ³⁻ -Äq/kg
Eutrophierungspotenzial (Boden via Luft)	
Stickoxide (NO _x als NO ₂)	0,13
Ammoniak (NH ₃)	0,346
Eutrophierungspotenzial (Wasser)	
Phosphat	1
P als P ₂ O ₅	1,338
Phosphorverbindungen als P	3,06
Stickstoffverbindungen als N	0,42
Ammonium (NH ₄ ⁺)	0,327
Nitrat (NO ₃ ⁻)	0,095
Nitrit (NO ₂ ⁻)	0,128
Chemischer Sauerstoffbedarf (CSB)	0,022
Quellen: [CML et al. 1992], [Klöpper 1995]	

Unterschieden wurde zwischen dem durch Luftemissionen und dem durch Wassereinleitungen verursachten Eutrophierungspotenzial. Für beide Bereiche getrennt wurde der Beitrag zum Eutrophierungspotenzial durch Summenbildung aus dem Produkt der emittierten Menge der einzelnen Schadstoffe und dem jeweiligen NP nach folgender Formel berechnet:

$$NP = \sum_i (m_i \times NP_i)$$

3.2.5 Toxische Schädigung von Menschen durch kanzerogene Luftschadstoffe

Die in der Sachbilanz erhobenen Daten zu toxischen Emissionen stellen Schadstofffrachten dar. Die Schadstofffrachten werden in einer Ökobilanz nicht in Bezug zu einer konkreten räumlichen Einheit erhoben. Die Sachbilanzdaten sind daher nicht auf eine konkrete Expositions Betrachtung zurückzuführen. Die klassischen Instrumente zur toxikologischen Bewertung, wie z.B. die Risikoanalyse oder die Umweltverträglichkeitsuntersuchung sind bislang nicht unmittelbar innerhalb einer Ökobilanz anwendbar. Mit dem Expositionsmodell „USES“ [CML 2002] wurde in den Niederlanden zwar ein erster Ansatz in diese Richtung entwickelt, allerdings ist die Methode international noch nicht anerkannt.

Für die methodische Vorgehensweise stellt sich grundsätzlich die Frage, ob sich ein Ansatz mit dem Anspruch, die gesamte Breite der Toxikologie belastbar abzudecken, überhaupt realisieren lässt. In der Wirkungsabschätzung zu der Ökobilanz Getränkeverpackungen I [UBA 1995] wurden zur Bewertung der Humantoxizität einzelne Schadstoffe wie Staub, Dieselpartikel, Schwefeldioxid, Benzo(a)pyren, Cadmium und Blei

direkt aus der Sachbilanz ohne weitere Aggregation in der Auswertung herangezogen. Die dort verwendeten Datenkategorien sind auch in der hier erarbeiteten Sachbilanz enthalten und finden Berücksichtigung, soweit ihnen unter dem Gesichtspunkt der ökologischen Bedeutung ein entsprechendes Gewicht zukommt.

Für Schadstoffe mit Wirkungen, die ohne Schwellenkonzentrationen auftreten können, wird in der vorliegenden Untersuchung ein Ansatz zur Wirkungscharakterisierung angewendet, der im Rahmen von Forschungsvorhaben mit vergleichbaren Fragestellungen entwickelt wurde [ifeu 1993]. Insbesondere **kanzerogene Wirkungen**, die von den entsprechenden Stoffen auch bei geringster Konzentration ausgelöst werden können, eignen sich zu einer vereinheitlichten Darstellung. Damit spielt es keine Rolle, in welchem Maße die freigesetzten Stoffe verdünnt werden. Bedingung ist lediglich, dass ein Expositionsweg für den Menschen gegeben ist, was z. B. im Falle der Freisetzung von kanzerogenen Luftschadstoffen grundsätzlich immer der Fall ist. Lediglich bei Freisetzung auf hoher See (z. B. durch Überseetransporte, hier v. a. Nickelemissionen durch Schweröltreibstoff) ist eine Exposition von geringerer Wahrscheinlichkeit, aber auch nicht vollständig auszuschließen.

Eine methodische Vereinfachung für die Aggregation kanzerogener Schadstoffemissionen ist durch die Verfügbarkeit so genannter Einheitsrisikowerte (unit risk) gegeben. Diese Werte werden u. a. durch die US-Umweltbehörde EPA herausgegeben und regelmäßig überarbeitet. Mit ihnen lassen sich einerseits Risiken konkreter Expositionen mit Luftschadstoffen bestimmen oder aber, wie hier vereinfacht, die Vielzahl an kanzerogenen Schadstoffen zu einem summarischen Wert zusammenfassen und somit ähnlich den CO₂- oder SO₂-Äquivalenten auf einen Einzelstoffindex – das Krebsrisikopotenzial (CRP = Carcinogenic Risk Potential) beziehen. Im vorliegenden Fall wird hierzu das Halbmetall Arsen gewählt, da es einerseits zu den erwiesenermaßen Krebs erzeugenden Substanzen zählt und sowohl über den Atemweg wie auch die Nahrungsaufnahme wirksam ist. In der nachfolgenden Tabelle wird für jeden der in der Sachbilanz erhobenen Schadstoffe der Arsenäquivalenzwert aufgeführt. Dabei werden die Einheitsrisikowerte nach [USEPA 1999] zu Grunde gelegt.

Tab. 3-15 Krebsrisikopotenzial der relevanten Luftschadstoffe

Kanzerogen (inhalativ)	Arsen-Äquivalente (CRP) in kg Arsen-Äq./kg
Arsen (As)	1
Cadmium (Cd)	0,42
Chrom als Cr-VI	0,279
Nickel (Ni)	0,056
Benzo(a)pyren (BaP)	20,9
Benzol	0,0019
Dioxine als TE	10.500
PCB (Summe)	0,279

Quelle: [UBA 1995], [USEPA 1999]

Der Beitrag zum Krebsrisikopotenzial wird durch Summenbildung aus dem Produkt der emittierten Menge der einzelnen Schadstoffe und dem jeweiligen CRP nach folgender Formel berechnet:

$$CRP = \sum_i (m_i \times CRP_i)$$

Wie Versauerung und Eutrophierung stellt die Summe emittierter Arsen-Äquivalente ein Wirkungspotenzial ohne direkten lokalen Bezug dar. Ein individuelles Krebsrisiko ist daraus nicht ableitbar. Dies würde ein hochkomplexes Expositionsmodell erfordern. Ebenso kann zurzeit kein Modell vorgeschlagen werden, das die verschiedenen Expositionspfade der kanzerogenen Substanzen nachvollzieht. Damit sind zunächst nur die möglichen Gesundheitsgefahren durch diese Stoffe über den Luftpfad berücksichtigt.

3.2.6 Toxische Schädigung von Menschen durch Feinstaub (PM10)

In letzter Zeit sind insbesondere Feinstäube - PM10, das sind Partikel mit einem aerodynamischen Durchmesser $\leq 10 \mu\text{m}$ - in den Mittelpunkt des Verdachtes geraten, ein besonders hohes Toxizitätspotenzial für Menschen aufzuweisen. In einer Reihe von internationalen Studien wurde der Zusammenhang der Partikelbelastung und der Mortalität bzw. Morbidität erfasst. Im Ergebnis zeigte sich, dass bei Erhöhung der Immissionskonzentration von PM10 die Mortalität infolge von Atemwegs- und Herz-Kreislauf-krankungen stark zunimmt. Neue Studien international anerkannter Organisationen - aktuell der WHO - haben ein hohes Mortalitätsrisiko durch Feinstäube bestätigt. Aus den gleichen Gründen wurde der neue EC-Grenzwert ($20 \mu\text{g PM}_{10}/\text{m}^3$ Außenluft ab 2010) festgelegt [EU 1999]. Auch die novellierte TA Luft [2002] erlaubt nur noch $40 \mu\text{g PM}_{10}/\text{m}^3$ im Jahresmittel.

Die epidemiologische Bewertung des PM10-Risikos erfolgt auf der Basis von Kurz- und Langzeitstudien. Bei Kurzzeitstudien handelt es sich um Zeitreihenstudien, in denen Zusammenhänge zwischen kurzfristigen Veränderungen der Partikelbelastung der Luft, in der Regel von Tag zu Tag, und der Veränderungen der Gesundheit in der betroffenen Bevölkerung im selben Zeitraum untersucht werden. Dabei wurden in vielen Studien übereinstimmend Zusammenhänge zwischen kurzzeitigen Erhöhungen der Partikelbelastung und Beeinträchtigungen der menschlichen Gesundheit festgestellt. Dazu zählen die Zunahme der täglichen Todesfälle, Einweisungen in Krankenhäuser auf Grund von Atemwegs- und Herz-Kreislauf-Erkrankungen sowie weitere Effekte. Unklar ist, inwieweit die Erhöhung der Mortalitäts- und der Morbiditätsrate mit einem „harvesting-effect“ in Verbindung zu bringen ist. Dies würde z. B. dem etwas vorgezogenen Tod von Personen mit schweren Vorerkrankungen und einem ohnehin hohem Mortalitätsrisiko entsprechen. Aus diesem Grund werden diese Studien hier nicht herangezogen.

In Langzeitstudien werden Sterberaten und Beeinträchtigungen der Gesundheit sowie die Luftverschmutzung über einen möglichst langen Zeitraum beobachtet. Dabei wird eine möglichst große Population untersucht. Es zeigte sich in einigen Studien eine Zunahme der Todesfälle durch Atemwegs- sowie Herz-Kreislauf-Erkrankungen. Die Faktoren zum relativen Risiko weisen eine große Bandbreite auf. Zumeist wird in Studien der Zahlenwert der WHO (Update and Revision of WHO Air Quality Guidelines for Eu-

rope, 1998) von 1,043/10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ PM10 verwendet (Bandbreite 1,01/10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ PM10 bis 1,04/10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ PM10).

Die großräumige PM10-Belastung der Außenluft wird durch direkte Staubemissionen und Sekundärpartikel verursacht, die sich aus Vorläufersubstanzen wie NO_2 , SO_2 , NH_3 und NMVOC bilden. So verbindet sich z.B. SO_2 in der Luft mit NH_3 und H_2O zu partikel-förmigem $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. Die Zuordnung erfolgt mit *aerosol formation factors*, die in der Berichterstattung der EU [EEA 2002] angewendet und auch von der WHO als Indikator für die Luftqualität empfohlen werden [WHO 2002]. Die Faktoren wurden aus den Arbeiten von De Leeuw [2002] abgeleitet und werden von diesem als repräsentativ für die Bedingungen in Europa eingestuft. Sie setzen sich zusammen aus dem Anteil der Vorläufersubstanz, der in Aerosolform umgewandelt wird, und aus einem Massenkorrekturfaktor, der die Umwandlung des gasförmigen Schadstoffs in den Aerosolanteil beschreibt ($\text{SO}_2 \rightarrow \text{SO}_4$; $\text{NO}_2 \rightarrow \text{NO}_3$; $\text{NH}_3 \rightarrow \text{NH}_4$). Für PM10 beträgt der Faktor 1. Für NMVOC ist die Zuordnung schwierig und verlangt die Kenntnis der Einzelverbindungen. Der von Heldstab et al. [2003] für die NMVOC-Emissionen in der Schweiz abgeleitete Mittelwert des PM10-Potenzials beträgt 0,012. Der Beitrag zum Potenzial wird durch Summenbildung aus dem Produkt der emittierten Menge der einzelnen Schadstoffe und dem jeweiligen PM10-Potenzial nach folgender Formel berechnet:

$$PM10 = \sum_i (m_i \times PM10_i)$$

Ansonsten gelten die gleichen Einschränkungen und Bedenken wie beim Krebsrisikopotenzial beschrieben. PM10-Äquivalente stellen ein Wirkungspotenzial ohne direkten lokalen Bezug dar. Ein individuelles Mortalitätsrisiko ist daraus nicht ableitbar. Es sind zunächst nur die möglichen Gesundheitsgefahren durch PM10 berücksichtigt.

Tab. 3-16 PM10-Risikopotenzial der hierzu betrachteten Luftschadstoffe

Partikel PM10 und Vorläufersubstanzen	PM10-Äquivalente in kg PM10-Äq./kg
Partikel PM10	1
Partikel aus Deselemissionen	1
Sekundäraerosolbildner	
NO_x (als NO_2)	0,88
SO_2	0,54
NH_3	0,64
NMVOC	0,012

4 Ergebnisse – Abfälle aus Haushaltungen

Für die in Kapitel 3.2 beschrieben ausgewählten Wirkungskategorien mit den insgesamt neun Wirkungsindikatoren wird im Folgenden der Beitrag der Abfallwirtschaft für die Abfälle aus Haushaltungen in Abbildungen dargestellt.

Zur Erläuterung der Abbildungen:

Alle abfallwirtschaftlichen Aktivitäten – von der Erfassung über die Sortierung, Transporte, Aufbereitung bis zur Herstellung eines Sekundärmaterials oder der Beseitigung eines Abfalls – sind mit **Umweltbelastungen** verbunden. Diese werden durch **nach oben gerichtete Balken** repräsentiert. Die farblich unterteilten Abschnitte stellen die Beiträge der einzelnen Teilsysteme und Prozesse zur Verwertung und Behandlung dar.

Die stoffliche und energetische Verwertung von Abfällen führen zu Material- und Energieeinsparungen und in Folge dessen zu **Umweltempfahrungen** an anderer Stelle im Wirtschaftskreislauf. Dieser Einspareffekt wird mit **nach unten gerichteten Balken** abgebildet. Die Balken nach unten bestehen demnach aus den Gutschriften, die sich auf jedes substituierte Material bzw. auf die Energiesubstitution des Verwertungsprozesses beziehen. Die farbliche Gliederung lässt erkennen, welcher Beitrag aus welcher Material- bzw. Energiegutschrift stammt.

Die Umweltbelastungen durch die Aktivitäten der Abfallwirtschaft (nach oben) und die Umweltempfahrungen durch eingesparte Primäraktivitäten (nach unten) können miteinander verrechnet werden. Die Summe ergibt damit ein **Netto-Ergebnis**, das anzeigt, ob die Beiträge der Abfallwirtschaft die Umwelt eher belasten (Netto-Balken nach oben) oder entlasten (Netto-Balken nach unten). Der Netto-Balken steht als einfarbige Säule neben den Abfallwirtschafts- und Gutschriftenbalken und lässt sich auf Grund seines Zustandekommens als Differenz nicht sinnvoll in Sektoren auflösen.

In allen Abbildungen wird gezeigt:

- die Situation von 1990 vor dem In-Kraft-Treten der meisten abfallwirtschaftlichen Maßnahmen
- die Situation von 2001 mit den neuesten als Statistik zur Abfallwirtschaft des BMU verfügbaren aktuellen Abfallzahlen
- die mögliche Situation für 2005 nach Umsetzung der Abfallablagervorschrift

4.1 Fossile Ressourcen

Zur Indizierung der Beanspruchung der fossilen Ressourcen Erdöl, Erdgas und Braun- und Steinkohle dient der kumulierte Energieaufwand (KEA). Dieser beinhaltet die Summe aller beanspruchten fossilen Ressourcen, berechnet über deren Energieinhalt (Heizwert). Der KEA wird in der Ergebnisdarstellung in Petajoule (1 Petajoule = 1 PJ = 10^{15} Joule) angegeben.

Aus den in **Abb. 4-1** dargestellten Ergebnissen fällt zunächst ins Auge, dass abfallwirtschaftliche Aktivitäten bereits im Jahr 1990 zu einer Einsparung fossiler Rohstoffe beigetragen haben, die deren durch die Abfallwirtschaft verursachten Verbrauch deutlich überstieg. Dieser Einspareffekt ist im Jahr 2001 jedoch um ein Vielfaches höher gewesen. Mit dem Szenario 2005 ist eine weitere Steigerung zu erwarten.

Zwar haben die seit 1990 forcierten Maßnahmen der Abfallwirtschaft auch zu einem erhöhten Verbrauch an fossilen Energieträgern geführt, dieser wird aber durch die in stärkeren Maße erfolgten Einsparungen überkompensiert.

Im Jahr 2001 ist es gegenüber 1990 insbesondere bei der Verwertung von Papier und Pappe zu einer Steigerung des Verbrauchs fossiler Ressourcen gekommen. Während 1990 nur rund 1,6 Mio. t PPK getrennt erfasst und verwertet wurden, waren dies im Jahr 2002 rund 7,6 Mio. t. Daneben führte die Einführung der getrennten Erfassung und Verwertung von Leichtverpackungen sowie - in geringerem Umfang - die Verwertung des vermehrt getrennt erfassten Bioabfalls zu einem gestiegenen fossilen Ressourcenverbrauch.

Allerdings ergeben sich genau aus diesen vermehrt unternommenen abfallwirtschaftlichen Anstrengungen der getrennten Erfassung und Verwertung - insbesondere von Papier und Pappe sowie Leichtverpackungen - auch entsprechende Erfolge. Durch die Produktion von Sekundärprodukten werden entsprechende Primärprodukte und deren Herstellung ersetzt und damit der Einsatz fossiler Energieträger eingespart.

Ebenfalls ergeben sich im Jahr 2001 deutliche Beiträge zur Einsparung fossiler Energieträger durch die Kapazitätssteigerungen der Verbrennungsanlagen. Da insbesondere Hausmüll im Jahr 2001 gegenüber 1990 verstärkt einer Müllverbrennung anstatt Deponierung zugeführt wurde, zeigen sich im Ergebnis auch die damit verbundenen Vorteile der Energieerzeugung, durch die wiederum der Einsatz fossiler Energieträger eingespart werden kann. Einen zunehmend wichtigen Beitrag hinsichtlich der Energieerzeugung aus Abfall stellt auch die industrielle Mitverbrennung in Kraftwerken und Zementwerken dar. Nach den Prognosen für 2005 wird sich dieser Beitrag der Energiegewinnung aus Abfall weiter ausweiten.

Die Einsparungen an fossilen Energieträgern sind durch die gesteigerte stoffliche und energetische Verwertung wesentlich stärker angestiegen als die Aufwendungen. So ergibt sich eine höhere Ressourceneinsparung 2001 gegenüber 1990 von etwa 70 PJ. Die Anforderungen des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes nach Ressourcen sparender Wirtschaftsweise können damit eindrücklich belegt werden.

Durch die verstärkte thermische Verwertung nach mechanisch-biologischer Vorbehandlung oder direktem Einsatz in Verbrennungsanlagen setzt sich dieser **Trend auch für die bereits eingeleiteten Maßnahmen für das Jahr 2005 fort. Weitere 30 PJ Einsparung an fossilen Energieträgern sind zu erwarten** (Aufkommen und Verbleib von Abfällen zur Verwertung war als unverändert angenommen worden).

Die Einsparung an fossilen Energieträgern durch die Abfallwirtschaft bei Abfällen aus Haushalten wird im Szenario 2005 damit etwa 100 PJ mehr im Vergleich zu 1990 betragen. Das entspricht rechnerisch dem Verbrauch einer Großstadt mit 700.000 Einwohnern oder nicht ganz 1% des Verbrauchs an fossilen Energieträgern in Deutschland im Jahr 2001.

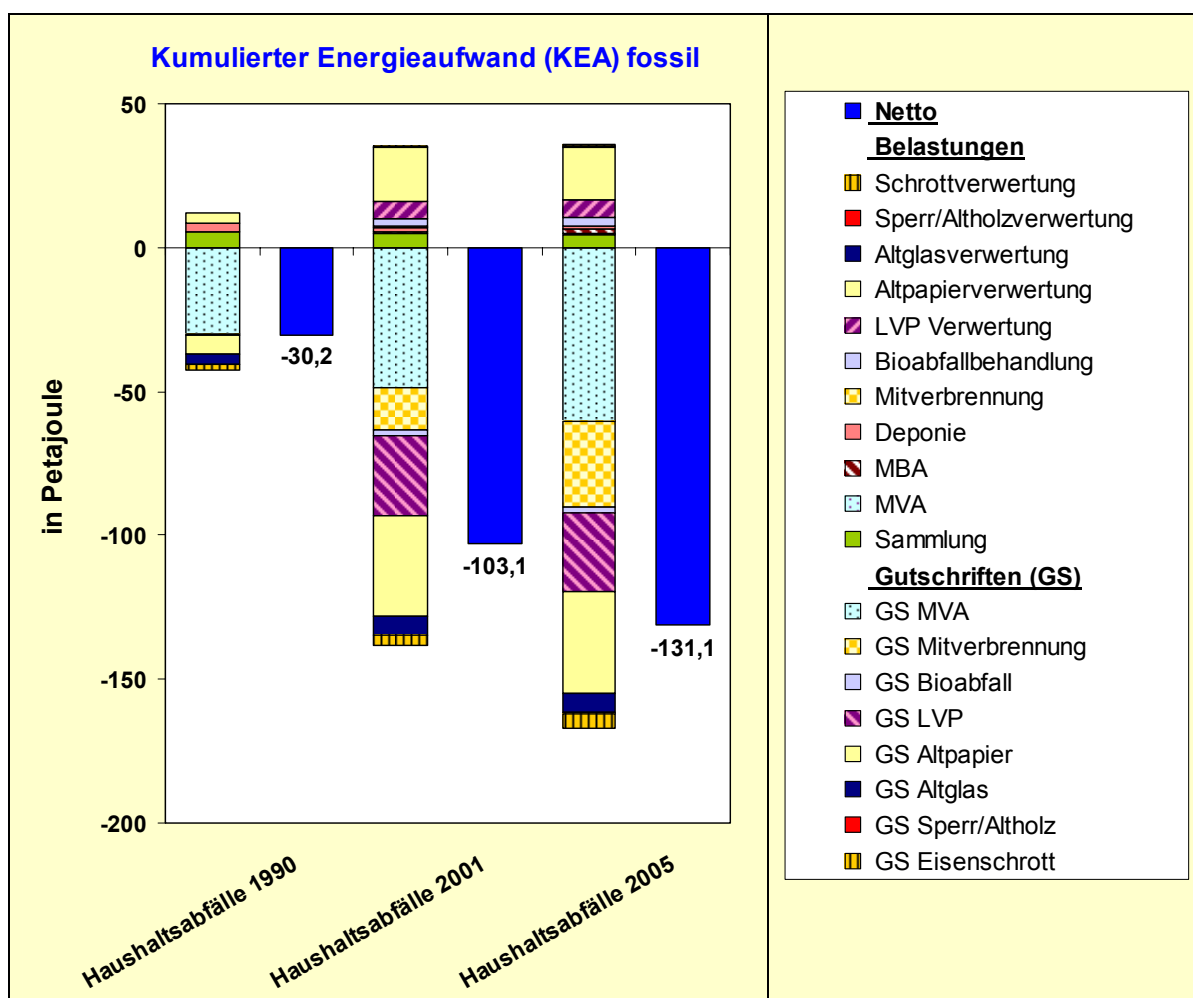


Abb. 4-1 Ergebnisse für die Beanspruchung fossiler Ressourcen

4.2 Mineralische Ressourcen

Die Schonung natürlicher Ressourcen als Hauptziel der Abfallwirtschaft (§ 1 KrW-/AbfG) umfasst neben den Energieressourcen auch mineralische Ressourcen. Im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung sollen zukünftige Generationen die gleichen Chancen haben, auf diese Materialien zugreifen zu können.

Die Beanspruchung mineralischer Ressourcen kann nur auf Basis von Einzelparametern diskutiert werden. Abgesehen von einer reinen Aufsummierung der Massen, die allerdings kaum Aussagekraft besitzt, gibt es hierzu bisher keine valide Methode zur Aggregation der Einzelparameter. Zur Darstellung der Beanspruchung von mineralischen Ressourcen wird hier die Beanspruchung von Eisen und Eisenerz sowie von Phosphaterz als wichtigem Rohstoff für Düngemittel in der Landwirtschaft beispielhaft gezeigt.

Eisen und Eisenerz

Die Einsparungen an Eisen und Eisenerz aus dem Bereich Abfälle aus Haushaltungen konnten von etwa 240.000 t im Jahr 1990 auf über 1,1 Mio. t in 2001 deutlich gesteigert werden. Grund dafür waren hauptsächlich die über die Leichtverpackungen erfassten Weißblechdosen. Im Jahr 2001 waren es rund 350.000 t Weißblechdosen, die einer Verwertung zugeführt werden konnten. Da im Jahr 1990 noch keine Leichtverpackungen separat erfasst wurden, landeten Weißblechdosen noch in großem Maße auf den Deponien.

Weitere Einsparungen an Eisen und Eisenerz wurden im Jahr 2001 durch die erweiterten Verbrennungskapazitäten erzielt. Durch die Aufbereitung der anfallenden Schlacke und die daraus resultierende Wiedergewinnung der enthaltenen Schrottanteile, wurde gegenüber 1990 eine höhere Wiederverwertungsrate von Eisen erreicht. Mit einem verstärkten Einsatz von MBAn im Szenario für 2005 und der relativ gut anwendbaren Eisenmetallabtrennung wird der Anteil an der Eisen- und Stahlverwertung weiter steigen.

Phosphaterz

Phosphat wird in erster Linie als Mineraldünger in der Landwirtschaft und im Landschaftsbau eingesetzt. Durch die Anwendung von Kompost und Gärrückstand in Landwirtschaft, Gartenbau und Landschaftsbau findet eine Substitution von Phosphaterz statt. Obwohl der Phosphatanteil in Komposten nicht sehr hoch ist, führt die Verwendung von Kompost dennoch zu einer Einsparung an Rohphosphat.

Die deutliche Steigerung der Bioabfallverwertung von 1990 bis 2001 hat damit auch zu einer deutlichen Steigerung der Ressourceneinsparung an Phosphaterz geführt. Konnten im Jahr 1990 nur etwa 2.000 t an Phosphaterz eingespart werden, so waren es 2001 bereits über 26.000 t. Da in dem Szenario für 2005 keine Veränderungen der getrennten Erfassung und Verwertung auch für Bioabfall angenommen wurde, bliebe diese Menge konstant.

Aus den Abfällen aus Haushalten wurde 2001 fast fünfmal mehr Eisen- und Eisenerz zurück gewonnen als im Jahr 1990.

Die Bioabfallverwertung im Jahr 2001 hat zu einer zwölf Mal höheren Rückführung des Nährstoffs Phosphat in den biologischen Kreislauf geführt als 1990 und damit zu einer entsprechenden Einsparung an Phosphaterz.

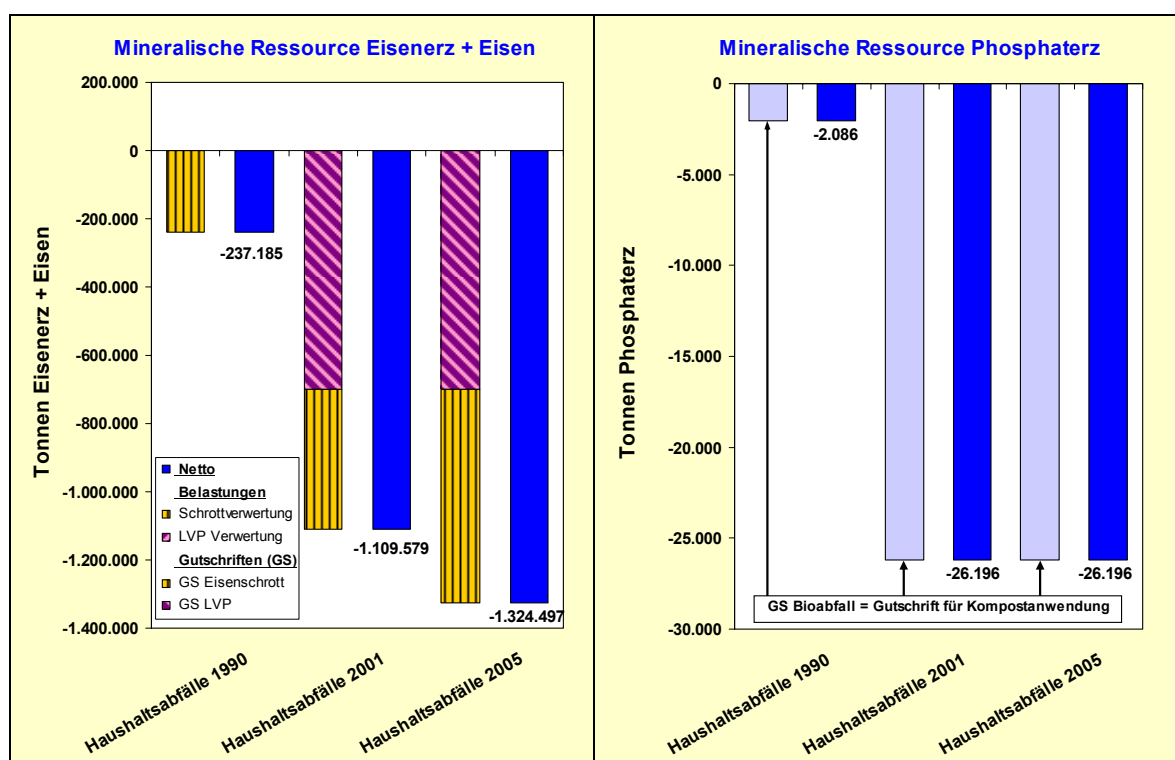


Abb. 4-2 Ergebnisse für die Beanspruchung mineralischer Ressourcen für Eisen bzw. Eisenerz und Phosphaterz²²

²² Erläuterung zu den Systemgrenzen:

Der Rohstoffverbrauch und die Umweltbelastungen durch Investitionsgüter (z.B. Stahl im Anlagenbau) wurden sowohl für das Abfallsystem als auch für die Gutschriften nicht berücksichtigt. Sie sind im Vergleich zu den Zahlen der Abfallbehandlung gering und deshalb in erster Näherung vernachlässigbar.

4.3 Treibhauseffekt

Bei der Betrachtung der Ergebnisse für die Wirkungskategorie Treibhauseffekt fallen die deutlich erreichten Minderungen der Umweltbelastungen von 1990 bis 2001 auf. Die jährlichen Emissionen an treibhauswirksamen Gasen durch die Entsorgung von Abfällen aus Haushaltungen konnten 2001 gegenüber 1990 um 56% reduziert werden. Zusammen mit den vermehrt erreichten Gutschriften ist der Beitrag der Abfallwirtschaft zur Reduktion klimawirksamer Gase zwischen 1990 und heute damit beträchtlich. Eine weitere Reduktion ist auch für 2005 zu erwarten.

Waren im Jahr 1990 netto noch über 25 Mio. t CO₂-Äquivalente als Belastung für die 1990 entsorgten Abfälle aus Haushaltungen zu verzeichnen, so hat die Reduktion um fast diese Menge bis zum Jahr 2001 dazu geführt, dass dieser Teil der Abfallwirtschaft zumindest keine zusätzliche Belastung für den Treibhauseffekt mehr darstellt. Die Entlastungen durch abfallwirtschaftliche Maßnahmen wiegen die Belastungen fast auf.

Dominierender Beitrag der Abfallwirtschaft zum Treibhauseffekt sind die Methangasemissionen aus Deponien. Diese führten 1990 fast ausschließlich zu den gesamten verursachten Umweltbelastungen. Im Jahr 2001 wurden anteilig deutlich weniger Abfälle aus Haushaltungen einer Deponierung zugeführt. Neben der Reduktion der auf Deponien abgelagerten Menge haben aber auch die Verbesserung der technischen Einrichtungen wie Deponieabdeckung und Deponiegasfassung zu einer deutlichen Verminderung dieser Belastungen beigetragen.

Durch die Umsetzung der Abfallablagerungsverordnung wird sich der Beitrag ab dem Jahr 2005 noch einmal deutlich verringern, da kein unvorbehandelter Abfall mehr abgelagert werden darf. Eine Netto-Verminderung um weitere 5 Mio. t CO₂-Äquivalente für die im Szenario für 2005 entsorgte Abfallmenge aus Haushaltungen ist zu erwarten, was dann zu einer Netto-Entlastung durch die Abfallwirtschaft von etwa 4,5 Mio. t führen wird.

Neben der Reduktion der Methanemissionen aus Deponien führt eine Steigerung der Verbrennungskapazitäten zwar zu einem Anstieg der Kohlendioxidemissionen, denen jedoch entsprechend gestiegene Gutschriften durch den Ersatz fossiler Energieträger gegenüber stehen, durch die die Umweltbelastungen aus der Verbrennung mehr als ausgeglichen werden.

Auch zeigen sich im Jahr 2001 Umweltbelastungen aus der stofflichen Verwertung, in etwa gleichermaßen für die Altpapier-, LVP- und Bioabfallverwertung und auch durch die anteilige Mitverbrennung von Abfällen in Kraft- und Zementwerken entstehen entsprechende Kohlendioxidemissionen. Jedoch stehen auch diesen wiederum Gutschriften gegenüber - insbesondere aus der Altpapierverwertung, sowie aus der LVP-Verwertung und der Mitverbrennung. In etwas geringerem Umfang sind auch Gutschriften aus der Altglas- und der Schrottverwertung ersichtlich. Insgesamt werden damit die Umweltbelastungen aus der stofflichen und energetischen Verwertung der Abfälle aus Haushaltungen deutlich ausgeglichen. Dass es dennoch im Jahr 2001 zu einer leichten Netto-Belastung kommt, ist durch die in diesem Jahr noch deponierte Menge bedingt, die keine entsprechenden ausgleichenden Gutschriften mit sich bringt.

Von der pro Jahr in Deutschland entsorgten Menge an Abfällen aus Haushaltungen gehen inzwischen keine zusätzlichen Belastungen mehr für das Klima aus. Im Szenario 2005 ergibt sich auf Grund der Umsetzung der Abfallablagerungsverordnung sogar eine Entlastung des Treibhauseffektes um ca. 4,5 Mio. t CO₂-Äquivalente. Insgesamt ist damit für das Jahr 2005 ein Rückgang der Treibhausgase von etwa 30 Mio. t CO₂-Äquivalente gegeben gegenüber den im Jahr 1990 durch die Abfallentsorgung bedingten Treibhausgasemissionen.

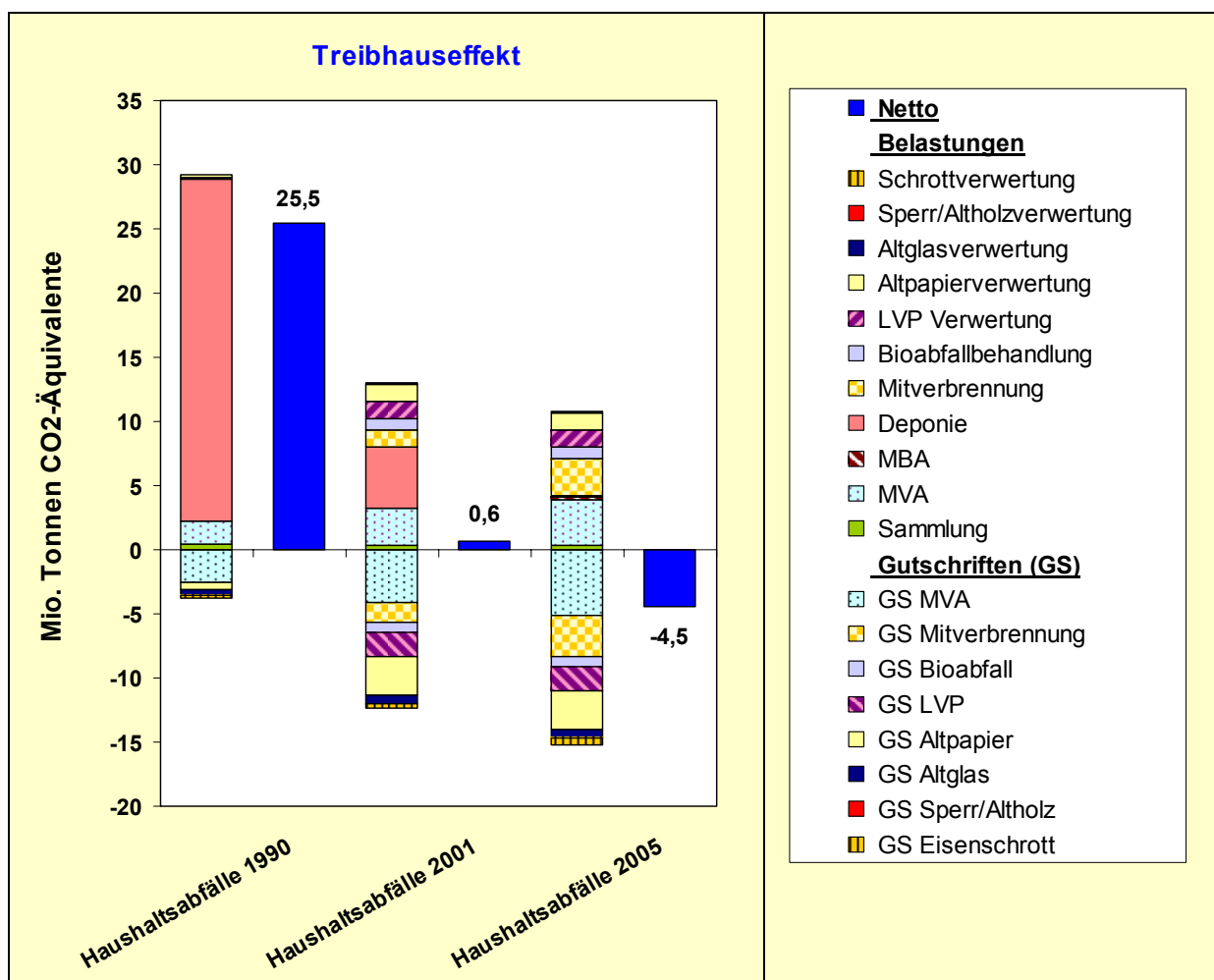


Abb. 4-3 Ergebnisse für die Wirkungskategorie Treibhauseffekt²³

²³ Deponiegasemissionen einer abgelagerten Menge an Abfall entwickeln sich über viele Jahre (ca. 100 Jahre). In der in dieser Untersuchung durchgeführten Berechnung werden alle in Zukunft entstehenden Emissionen einer Deponie auf das jeweilige Ablagerungsjahr des Abfalls bezogen. Es ergibt sich somit eine andere Zahl als bei dem Bericht der Klimagasemissionen pro Jahr, für die alle in der Vergangenheit abgelagerten und heute noch Gas erzeugenden Abfälle herangezogen werden müssen und die neuen Ablagerungen über die noch folgenden Jahre abgeschrieben werden.

4.4 Versauerung

Die wesentlichen Säure bildende Luftschadstoffe sind Schwefeldioxid, Stickoxide und Ammoniak. Der langfristig hohe Eintrag von Säuren in Böden kann durch die Auslösung von Nährstoffen und dem dadurch entstehenden Nährstoffmangel zu irreversiblen Schäden von Ökosystemen bzw. Flora und Fauna führen. Auch werden mit zunehmender Versauerung im Boden adsorbierte Schwermetalle gelöst und ausgewaschen. Toxisch wirkende Schermetalle werden damit zu einem Risiko für die menschliche Gesundheit und für Ökosysteme.

Die Ergebnisse für die Wirkungskategorie Versauerung weisen einen deutlichen Rückgang der Umweltbelastungen von 1990 bis 2001 auf. Im Jahr 1990 trug die Abfallwirtschaft mit über 60.000 t SO₂-Äquivalenten zur Versauerung bei. Diese waren im Wesentlichen durch die Müllverbrennung und die dabei anfallenden Emissionen an Stickoxiden und v. a. Schwefeloxiden verursacht. Da dieser Menge kaum Entlastungen gegenüberstanden, lag die Netto-Belastung bei fast 55.000 t SO₂-Äquivalenten.

Die in Folge der Abfallverbrennungsverordnung (17. BImSchV) eingetretene erhebliche Verbesserung der Emissionsstandards für versauernde Gase hat zu einer deutlichen Reduzierung dieser Umweltbelastung bis zum Jahr 2001 geführt. Die entsprechenden Emissionen (in SO₂-Äquivalenten) allein aus der Müllverbrennung konnten dadurch um 96% gemindert werden.

Dem stehen allerdings im Jahr 2001 stark angestiegene Ammoniakemissionen aus der biologischen Abfallbehandlung gegenüber. Die gegenüber dem Jahr 1990 vermehrt separat erfassten organischen Abfälle, wurden im Jahr 2001 zu 85% kompostiert, etwa die Hälfte hiervon in offenen, einfachen Anlagen, die über keine Einrichtung zur Rückhaltung oder Minderung von Ammoniakemissionen verfügen. Auch bei der Anwendung von erzeugten Komposten auf Flächen, insbesondere nicht vollständig biologisch stabilisierten Komposten (Frischkompost), kommt es zu weiteren biologischen Umsetzungen, die wiederum mit Ammoniakemissionen verbunden sind. Insgesamt dominieren diese Emissionen die Belastungen durch Säurebildner im Jahr 2001.

Bei den anderen abfallwirtschaftlichen Prozessen wurde im Jahr 2001 gegenüber 1990 eine deutliche Reduzierung der Emissionen von Säurebildnern erzielt. Daneben trägt die Abfallverwertung wegen der hierdurch vermiedenen Primärmaterialherstellung zur Emissionsvermeidung bei und führt damit insgesamt zu einer Netto-Entlastung von rd. 4.000 t SO₂-Äquivalenten. Die Gutschriften werden dabei dominiert durch die stoffliche Verwertung, vor allem von Papier und Pappe, aber auch von den Leichtverpackungen. Zu einem geringeren Anteil tragen auch die Verwertung von Bioabfall und Eisenschrott zu den Gutschriften bei. Eine höhere Gutschrift ergibt sich auch aus der thermischen Behandlung, da die Verbrennung von Abfällen auf Grund geringerer Schwefelgehalte und schärferer Abgasgrenzwerte in der Regel zu weniger Emissionen führt als bei fossilen Energieträgern.

Die Prognose für das Jahr 2005 zeigt bei der Versauerung kaum Veränderungen, da die Be- und Entlastungen der stofflichen Verwertung gleich sind und nur die Ausweitung der Verbrennung in Müllverbrennungsanlagen mit guter Abgasreinigung zu höheren Gutschriften aus der Energieerzeugung führt.

Die Ammoniakemissionen aus offenen Anlagen und Anwendungen der biologischen Abfallbehandlung schränken die auf Grund der verschärften Emissionsstandards bei Verbrennungsanlagen erzielten Erfolge ein, sodass sich die Umweltentlastung auf ca. 4.000 t SO₂-Äquivalente jährlich beschränkt. Allerdings ist die Verbesserung von 1990 bis heute durch die Reduktion um fast 60.000 t SO₂-Äquivalenten beträchtlich.

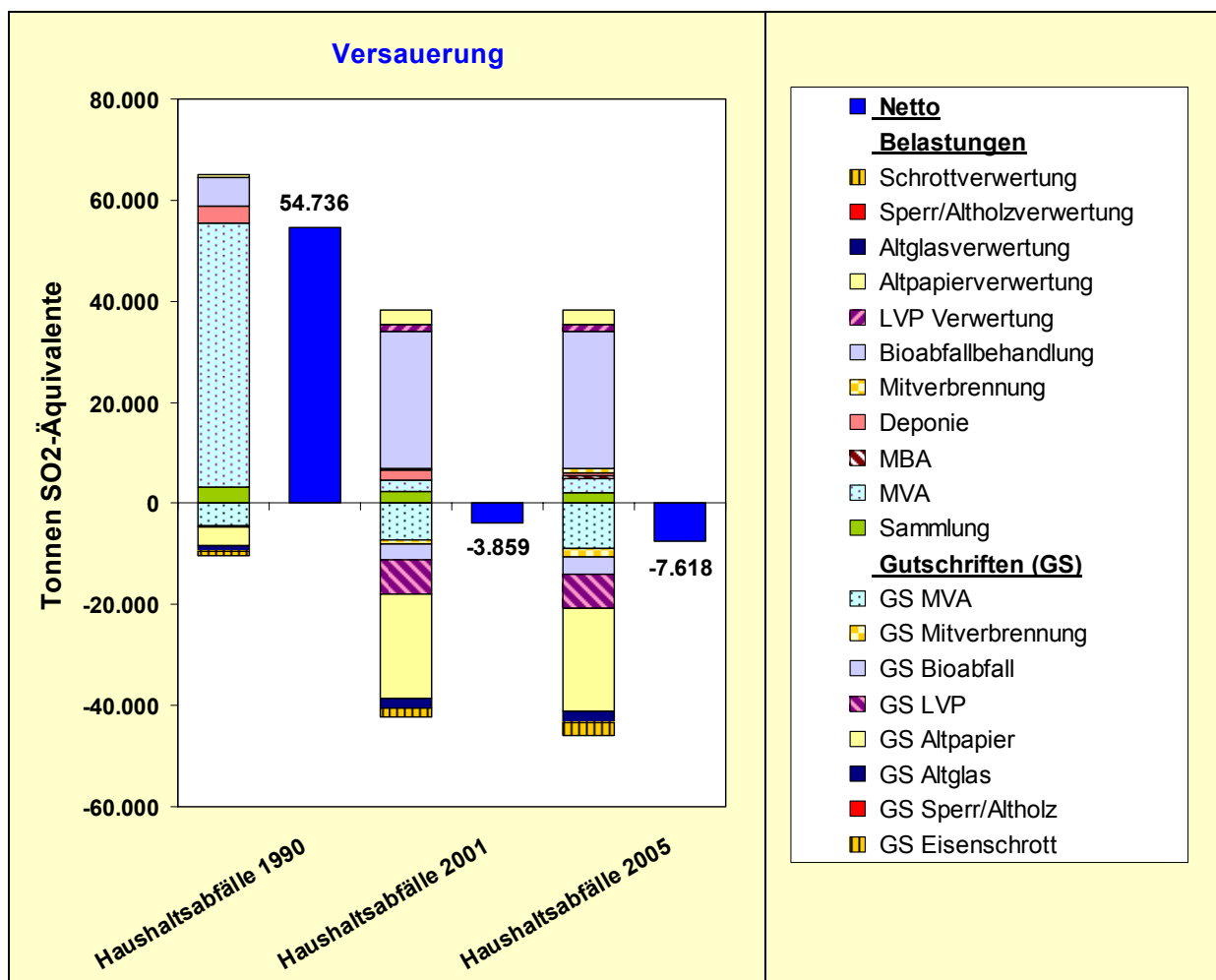


Abb. 4-4 Ergebnisse für die Wirkungskategorie Versauerung

4.5 Überdüngung von Böden und Gewässern

Die Überdüngung, das heißt die über den natürlichen Bedarf hinaus gehende Zufuhr von Nährstoffen, wirkt sich in den Umweltmedien Böden und Gewässern aus. Zu einer Überdüngung von Böden tragen die Luftschadstoffe Stickoxide und Ammoniak bei. Das Überangebot an Nährstoffen führt zunächst zu einem stärkeren Pflanzenwachstum, daneben aber auch zu einer Ausbreitung von Stickstoff liebenden Pflanzen und dadurch zu einem Verlust biologischer Vielfalt. Im Übermaß vorliegender Stickstoff wird zudem entweder in Form von Nitrat ausgewaschen oder z.B. als Distickstoffmonoxid (N_2O) wieder an die Atmosphäre abgegeben. Grundwasserbelastung und eine Erhöhung der Klima verändernden Wirkungen sind die Folge.

Bei der Überdüngung von Gewässern spielen neben Stickstoffverbindungen auch Phosphorverbindungen eine Rolle. Zudem führt die Überdüngung eines Gewässers sekundär zu einer Sauerstoffzehrung, die zu einer Sauerstoffmangelsituationen im Gewässer führen kann. Ein Maß für den Sauerstoffhaushalt im Gewässer stellen der Biochemische Sauerstoffbedarf (BSB) und der Chemische Sauerstoffbedarf (CSB) dar. Die Überdüngung von Böden und Gewässern wird nachfolgend getrennt dargestellt.

Überdüngung von Böden

Die Ergebnisse der Emissionen von Stoffen mit eutrophierender Wirkung auf Böden sind durch ähnliche Hintergründe geprägt, wie sie in Kapitel 4.4 für die Versauerung beschrieben wurden. Im Jahr 1990 waren die Umweltbelastungen auch hier von der Müllverbrennung und den damit verbundenen Stickoxidemissionen dominiert, daneben zeigen sich auch ähnlich hohe Umweltbelastungen durch Ammoniakemissionen aus der Behandlung organischer Abfälle in offenen Anwendungen. Diesen Belastungen standen kaum nennenswerte Gutschriften durch die Verwertung gegenüber.

Da, wie bei der Versauerung beschrieben, die separate Erfassung und Verwertung von organischen Abfällen im Jahr 2001 deutlich zugenommen hat (Vervierfachung der getrennt erfassten Menge) und entsprechend auch die Ammoniakemissionen aus offenen Anwendungen deutlich angestiegen sind, liegen die Umweltbelastungen daraus im Jahr 2001 höher als noch 1990. Die Einführung von Entstickungseinheiten zur Stickoxidminderung bei Müllverbrennungsanlagen verringerte trotz gesteigener Verbrennungskapazitäten zwar, wie im Ergebnis deutlich sichtbar wird, den Einfluss der Verbrennung, dadurch konnten jedoch die erhöhten Emissionen bei der offenen Bioabfallbehandlung nicht kompensiert werden.

Insgesamt hat sich dennoch die durch die Abfallwirtschaft verursachte Gesamtemission von Stoffen, die zu einer Überdüngung von Böden führen, von 1990 bis 2001 kaum verändert, das heißt, die Netto-Belastung hat sich nicht erhöht. Dies geht in erster Linie auf die Gutschriften aus der gesteigerten stofflichen Verwertung insbesondere von Papier und Pappe, daneben auch von Leichtverpackungen zurück. Gerade die Vermeidung der energieintensiven und damit auch mit Stickoxidemissionen verbundenen Herstellung mancher Papiersorten hat dazu einen großen Beitrag geleistet. Ähnliches gilt, wenn auch in etwas geringerem Maß, für die Verwertung von Kunststoffen bei den Leichtverpackungen.

Des Weiteren tragen auch Gutschriften für die Verbrennung zu einer Entlastung bei und auch aus der Bioabfallverwertung sind - wenn auch gegenüber der Belastung geringe - Gutschriften zu verzeichnen.

Die Dominanz der Bioabfallverwertung im Ergebnis der Überdüngung von Böden bleibt auch im Szenario 2005 bestehen. Durch die Maßnahmen der Abfallablagerungsverordnung ergeben sich für das Jahr 2005 kaum Auswirkungen auf die Umweltbelastung. Die Netto-Belastung liegt bei dieser Wirkungskategorie bei etwa 2.000 t PO₄-Äquivalenten.

Die Überdüngung von Böden auf Grund abfallwirtschaftlicher Maßnahmen hat sich insbesondere auf Grund der Behandlung in offenen Anwendungen der zunehmend separat erfassten und verwerteten organischen Abfälle nicht reduzieren lassen.

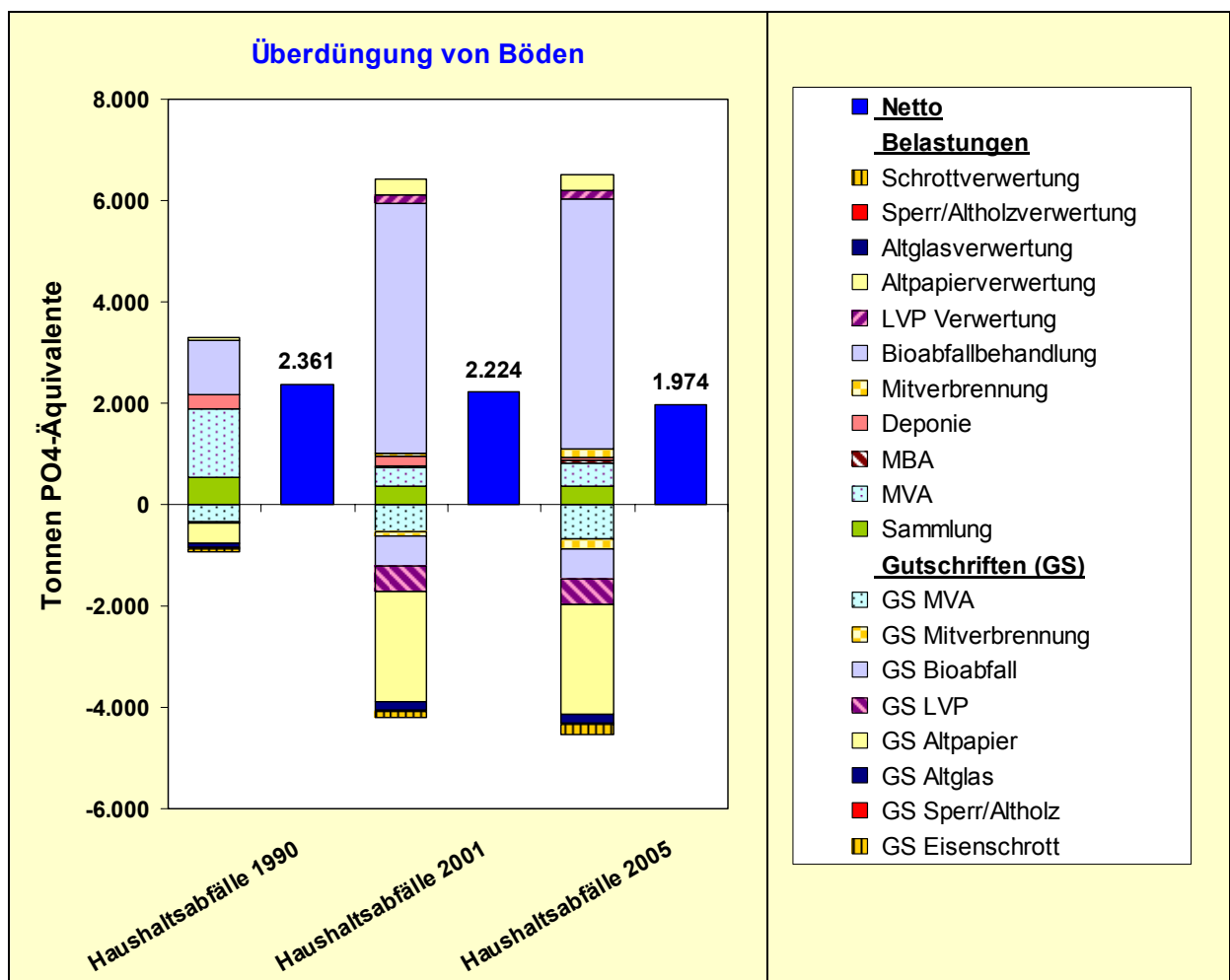


Abb. 4-5 Ergebnisse für die Wirkungskategorie Überdüngung von Böden

Überdüngung von Gewässern

Neben dem Wirkungspfad der Überdüngung von Böden, ist die Belastung von Gewässern durch düngende und Sauerstoff zehrende Substanzen (aquatische Eutrophierung) fast ausschließlich durch die Deponierung und das Altpapierrecycling bestimmt. Die Verringerung der Gewässerbelastung von ca. 17.000 t PO₄-Äquivalenten im Jahr 1990 auf eine Gewässerentlastung von ca. 6.000 t PO₄-Äquivalenten im Jahr 2001 hängt hauptsächlich mit der Reduzierung der abgelagerten Menge an Abfällen aus Haushalten und der verbesserten Deponietechnik (Sickerwasserfassung und -behandlung) zusammen. Die Entlastung von Gewässern durch Primärfaserherstellung durch Papier- und Papperecycling trägt schlussendlich zu einer Gesamtnetto-Entlastung bei. Durch die Unterbindung der Ablagerung unvorbehandelter Abfälle ab dem Jahr 2005 wird sich die eutrophierende Gewässerbelastung weiter leicht verringern.

Die noch 1990 bestehende „Netto-Belastung“ der Gewässer mit eutrophierenden und Sauerstoff zehrenden Stoffen durch die Abfallwirtschaft hat sich insbesondere durch verbesserte Deponietechniken, die Verminderung der Ablagerungsmenge und das Altpapierrecycling bis heute in eine „Netto-Entlastung“ gewandelt. Die erreichte Verminderung beläuft sich auf fast 23.000 t PO₄-Äquivalent.

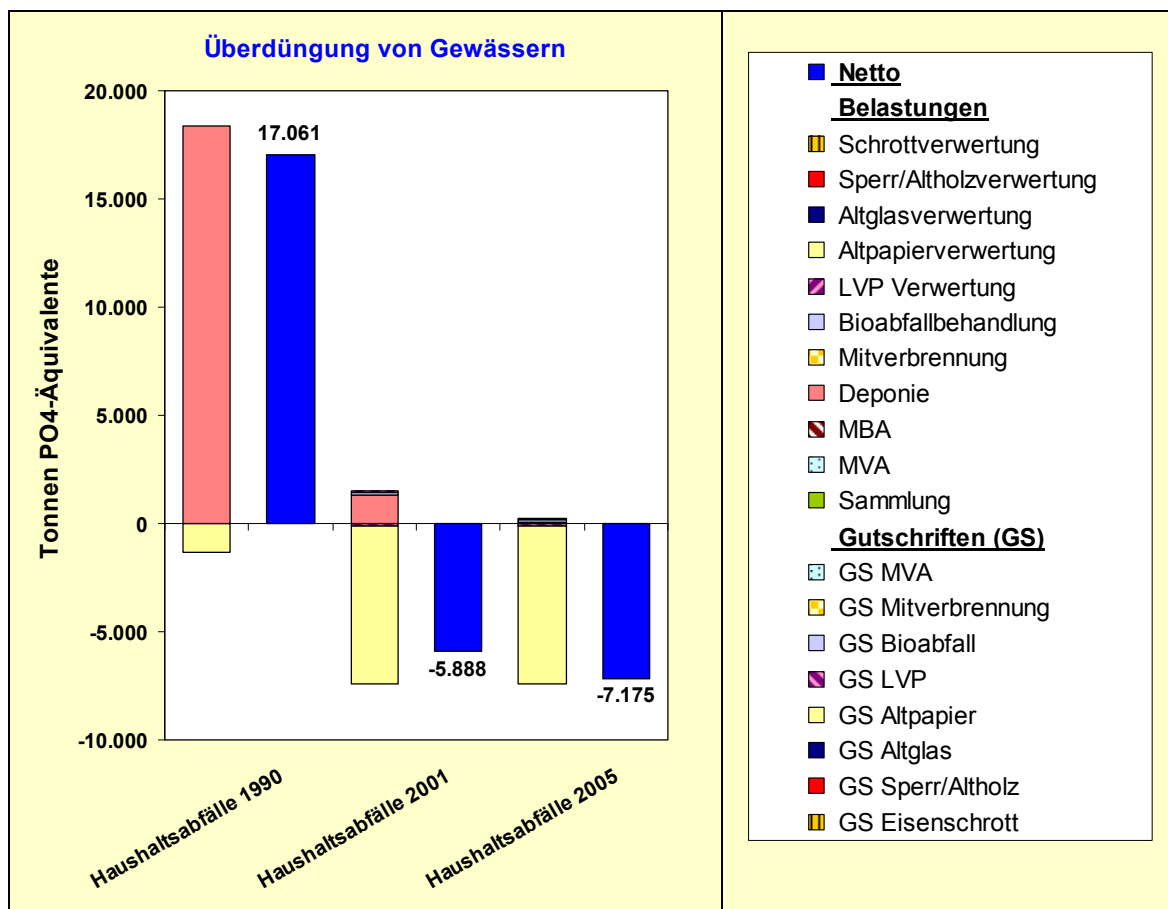


Abb. 4-6 Ergebnisse für die Wirkungskategorie Überdüngung von Gewässern

4.6 Beeinträchtigung der menschlichen Gesundheit

Krebsrisiko

Eine eindrucksvolle Entwicklung zeigt die Reduktion bei der Beeinträchtigung der menschlichen Gesundheit, gemessen am Indikator der Luftemissionen Krebs erzeugender Substanzen. Die deutliche Verbesserung der Emissionsstandards der Abfallverbrennungsanlagen durch die 17. BImSchV und in deren Folge die Reduzierung kanzerogener Luftschadstoffe wie Dioxine und Furane, aber auch von Schwermetallen und anderen Schadstoffen, hat zu einer deutlichen Entlastung geführt. Die noch 1990 gegebene Belastung von 188 t Arsen-Äquivalenten konnte im Jahr 2001 in eine Umweltentlastung von 3 t Arsen-Äquivalente umgewandelt werden.

Die Emissionen Krebs erzeugender Stoffe wurden insbesondere auf Grund der Verschärfung der Emissionsstandards für Abfallverbrennungsanlagen drastisch reduziert.

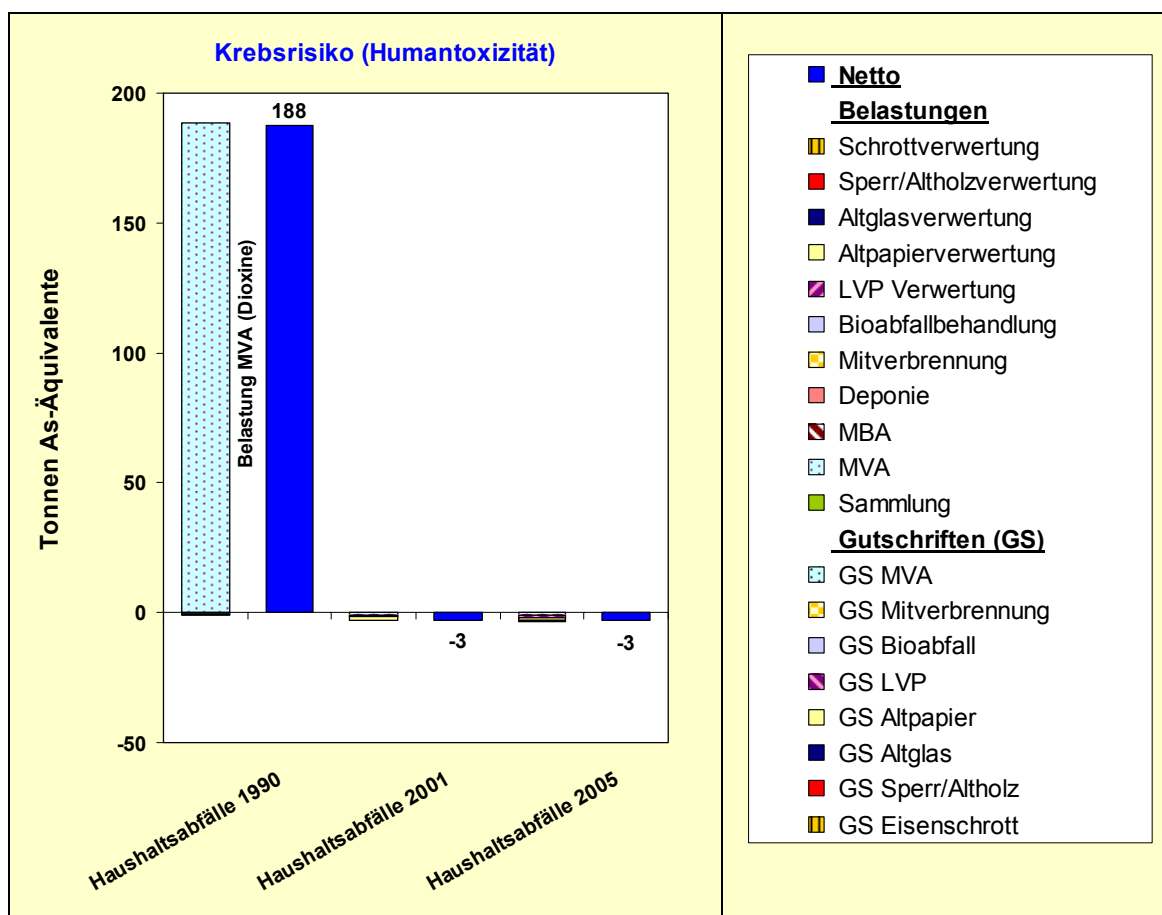


Abb. 4-7 Ergebnisse für die Wirkungskategorie Krebsrisiko (Humantoxizität)

Risiko durch Feinstaubbelastung der Außenluft

Feinstäube mit einem aerodynamischen Durchmesser $< 10 \mu\text{m}$ (PM10) sind zunehmend in den Mittelpunkt des Verdachtes geraten, ein besonders hohes Toxizitätspotenzial für Menschen aufzuweisen. In einer Reihe von internationalen Studien wurde der Zusammenhang der Partikelbelastung und der Mortalität bzw. Morbidität erfasst mit dem Ergebnis, dass bei Erhöhung der Immissionskonzentration von PM10 die Mortalität infolge von Atemwegs- und Herz-Kreislaufkrankungen stark zunimmt. Die großräumige Belastung mit PM10 wird sowohl durch direkte Emissionen von Feinstaub als auch durch Sekundärpartikel bedingt, die sich aus Vorläufersubstanzen bilden. Dazu zählen Stickstoffdioxid, Schwefeldioxid, Ammoniak und NMVOC.

Auch bei der Entwicklung der Luftbelastung durch Feinstäube, PM10, sind deutliche Verbesserungen zwischen 1990 und 2001 zu verzeichnen. Ein Rückgang der Emissionen von Feinstaub und dessen Vorläufersubstanzen um 41.000 t PM10-Äquivalente hat von einer Netto-Belastung im Jahr 1990 durch die Abfallwirtschaft zu einer Netto-Entlastung von fast 25.000 t PM10-Äquivalente im Jahr 2001 geführt. Eine weitere Reduzierung – allerdings in geringerem Umfang – ist für die Maßnahmen zum Jahr 2005 zu erwarten.

Zunächst spielt auch hier die Abfallverbrennungsverordnung (17. BImSchV) eine wichtige Rolle. Die Ausrüstung der Müllverbrennungsanlagen mit entsprechenden Filteranlagen hat zu einer Verringerung der Staubemissionen geführt, aber ebenso trugen weitere Einheiten der Rauchgasreinigung zur Reduktion von Schwefel- und Stickoxidemissionen bei, die in der Atmosphäre Sekundärpartikel bilden.

Feinstaub wird aber auch aus Ammoniakgas als Vorläufersubstanz gebildet, das bei der Bioabfallverwertung entsteht und insbesondere bei offenen Behandlungsanlagen bzw. bei der Anwendung von Komposten auf Feldern ohne eine direkte Einarbeitung oder optimierte Ausbringungstechnik ungehindert in die Atmosphäre freigesetzt wird. Ähnlich wie schon bei der Versauerung und der Überdüngung von Böden trägt hier die Vervierfachung der Bioabfallverwertung in Verbindung mit deren etwa hälftigen Behandlung in offenen Anwendungen zu einer Ausweitung der Belastung mit Feinstäuben bei. Insgesamt überwiegen hier jedoch die erreichten Minderungen bei der Müllverbrennung die gestiegenen Beiträge aus der Bioabfallbehandlung, so dass die Belastung mit Feinstäuben durch die Abfallwirtschaft bereits ohne die Gutschriften im Jahr 2001 etwa ein Viertel unter der Belastung von 1990 liegt.

Dass insgesamt eine deutliche Reduktion des Feinstaub-Risikos verzeichnet werden kann, liegt an der Entlastungswirkung der Gutschriften. Diese geht zurück auf die ausgeweitete stoffliche Verwertung, insbesondere von Altpapier, aber auch von Leichtverpackungen und Altglas. Die mit höheren Emissionen an Feinstaub und Partikel bildenden Gasen verbundene Produktion von Primärmaterialien, konnte durch emissionsärmere Verwertungsprozesse bei der alternativen Herstellung aus Sekundärrohstoffen ersetzt werden.

Ein weiterer Beitrag zu höheren Gutschriften bei Feinstäuben geht auch auf die thermischen Prozesse zurück. So ersetzt die Energieerzeugung in Müllverbrennungsanlagen mit den strengen Grenzwerten der 17. BImSchV eine herkömmliche Energieerzeugung aus Primärbrennstoffen, die weniger strengen Grenzwerten unterliegt. Demnach führt

auch die erhöhte Verbrennungskapazität von Abfällen zwischen 2001 und 2005 zu einer weiteren Reduktion der Feinstaubemissionen unter Berücksichtigung der Gutschriften. Ebenfalls einen Beitrag für die weitere Reduktion ergibt sich aus der im Szenario 2005 steigenden Bedeutung der Mitverbrennung (Sekundärbrennstoffe aus MBAn) bzw. auch der weiteren Schrottverwertung sowohl aus der Abtrennung Eisenmetallhaltiger Stoffe bei der mechanisch-biologischen Aufbereitung als auch aus der Aufbereitung von MVA-Schlacke.

Auch bei den Feinstaubemissionen konnte die noch 1990 bestehende Netto-Belastung in eine deutliche Netto-Entlastung umgewandelt werden.

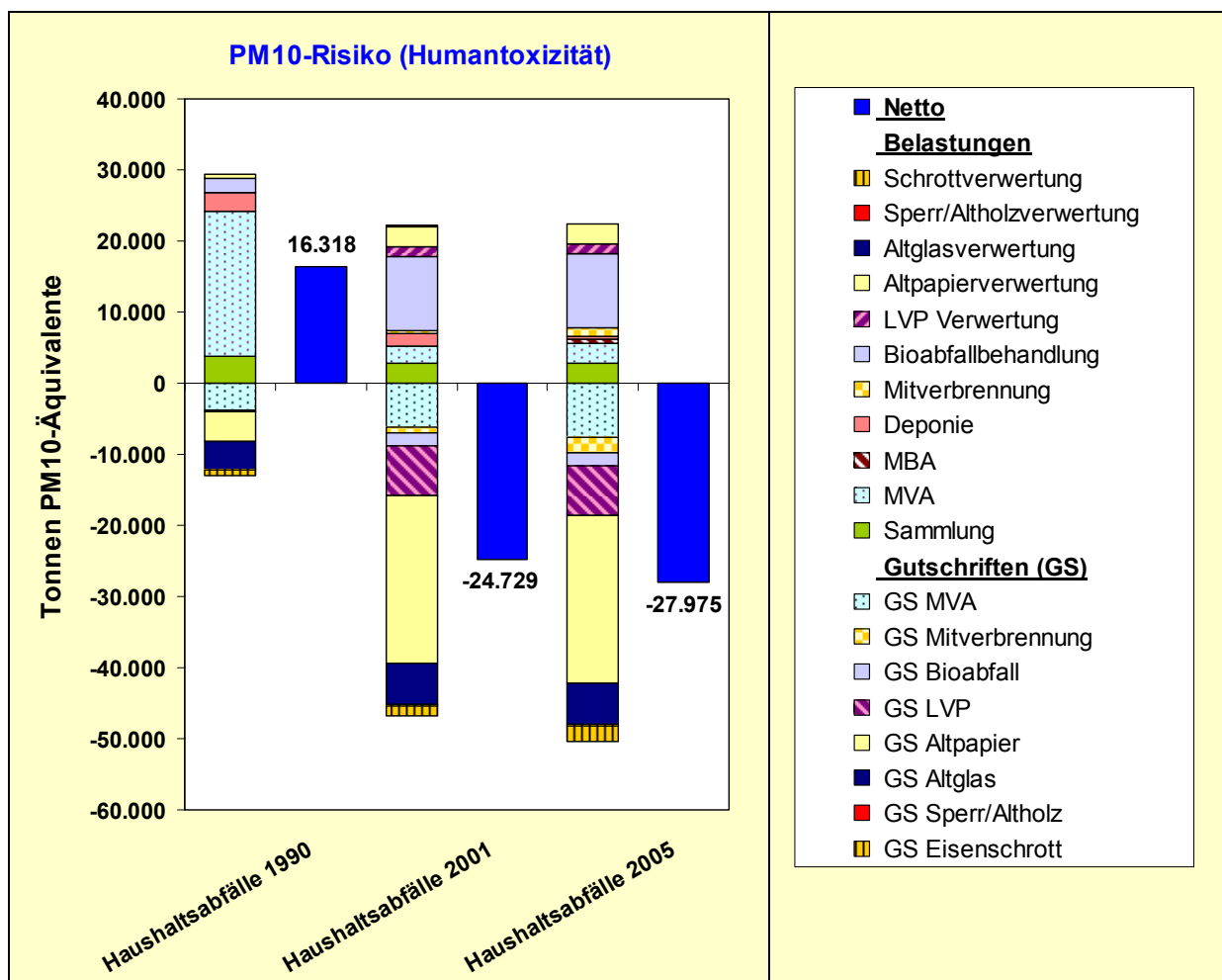


Abb. 4-8 Ergebnisse für die Wirkungskategorie PM10-Risiko (Humantoxizität)

4.7 Zusammenfassung der Ergebnisse - Der Beitrag der Abfallwirtschaft zum Umweltschutz

Zum Abschluss soll der Beitrag der Abfallwirtschaft zur nachhaltigen Entwicklung in Deutschland – beschränkt auf die Abfälle aus Haushaltungen – in einer Gesamtschau verdeutlicht werden. Hierfür werden die so genannten „Nettoergebnisse“, also die Differenzen zwischen den durch die Abfallwirtschaft verursachten Umweltbelastungen und ihrer bewirkten Umweltentlastungen, in **Tab. 4-1** zusammenfassend dargestellt. Positive Werte bedeuten hierbei ein Mehr an Umweltbelastungen, negative Werte weisen auf ein Übergewicht der Entlastungseffekte hin. Dargestellt sind alle Umweltbereiche, die im vorangegangenen Abschnitt näher beschrieben wurden, für die Untersuchungszeiträume 1990, 2001 und 2005.

Um aus diesen Nettoergebnissen der Umweltbe- und -entlastungen rechnerisch zu Beiträgen zum Umweltschutz zu kommen, ist es notwendig, diese der Gesamt-Umweltbelastung Deutschlands gegenüberzustellen. Die für das Jahr 2001 für Deutschland ermittelten Gesamtwerte für jeden der untersuchten Umweltbereiche [Umweltdaten 2002] sind in **Tab. 4-1** enthalten. Zum Beispiel lag der gesamte Verbrauch an fossilen Primärenergieträgern aller Aktivitäten in Deutschland im Jahr 2001 bei ca. 12.000 PJ und die Emissionen an klimarelevanten Gasen betrugen ca. 970 Mio. t CO₂-Äquivalente. Für jeden der Umweltbereiche ist aus dem Vergleich der für die Abfallwirtschaft errechneten Ergebnisse für das Jahr 2001 mit dem jeweiligen Gesamtwert für Deutschland bereits der gegenwärtige Beitrag der Abfallwirtschaft zum Umweltschutz durch die Entsorgung von Abfällen aus Haushaltungen in Deutschland ersichtlich.

Zur besseren Veranschaulichung wird darüber hinaus ein Vergleich zu den im Durchschnitt durch einen Einwohner Deutschlands verursachten Umweltbelastungen hergestellt. Dazu werden zunächst die o. g. Gesamt-Umweltbelastungen durch 82.537.000 (dies ist die Einwohnerzahl in Deutschland im Jahr 2001) geteilt. Man erhält hierdurch die Umweltbelastung, für die ein Einwohner Deutschlands statistisch gesehen „verantwortlich“ ist. Zum Beispiel verursachte jeder Bundesbürger im Jahr 2001 im Durchschnitt einen Verbrauch von 145 GJ Energie aus fossilen Primärenergieträgern (Öl, Gas, Kohle) und Emissionen klimawirksamer Gase von etwa 12 t CO₂-Äquivalenten. Diese Ressourcennutzungen und Umweltbelastungen eines durchschnittlichen Einwohners sind ebenfalls in **Tab. 4-1** dargestellt.

Mit den auf diese Weise für einen durchschnittlichen Einwohner ermittelten Ressourcen- und Belastungszahlen kann nun der Beitrag der Abfallwirtschaft in Deutschland für alle Umweltbereiche einheitlich in so genannten „Einwohnerdurchschnittswerten“ (EDW) ausgedrückt werden.

- Um ein Beispiel zu nennen: Der für das Jahr 2001 für die Einsparung fossiler Ressourcen ermittelte Wert von 103 PJ ist so hoch wie der Rohstoffverbrauch, für den rund 700.000 Einwohner im Durchschnitt „verantwortlich sind“ (700.000 mal 145 GJ ist etwa 103.000.000 GJ oder 103 PJ). Das Ergebnis „700.000 EDW“ bedeutet also in diesem Fall: „Im Jahr 2001 ist die Entlastung des fossilen Ressourcenverbrauchs durch die Abfallwirtschaft so groß wie statistisch ge-

sehen der Ressourcenverbrauch von ca. 700.000 Einwohnern in Deutschland.“
Rechnerisch wird dabei der absolute Beitrag eines Indikators der Abfallwirtschaft durch den jeweiligen spezifischen Einwohnerwert geteilt (in diesem Beispiel: 103 PJ / 145 GJ).

Tab. 4-1 Nettoergebnisse der abfallwirtschaftlichen Entwicklung 1990, 2001 und 2005 in Absolutzahlen sowie Gesamtfracht in Deutschland und Belastung durch einen Einwohner (2001: 82.537.000 Einwohner)

Wirkungskategorie	Nettoergebnisse			Fracht in Deutschland 2001	
	1990	2001	2005	gesamt	je Einwohner
Fossile Ressourcen	-30,2 PJ	-103,1 PJ	-131,1 PJ	12.010 PJ	145,5 GJ
Mineralische Ressource Eisen+Eisenerz	-237.185 t	-1.109.579 t	-1.324.497 t	30.845.000 t	373,7 kg
Mineralische Ressource Phosphaterz	-2.086 t	-26.196 t	-26.196 t	1.728.021 t	20,94 kg
Treibhauseffekt [CO ₂ -Äquivalent]	25,5 Mio. t	0,6 Mio. t	-4,5 Mio. t	970,9 Mio. t	11.763 kg
Versauerung [SO ₂ -Äquivalent]	54.736 t	-3.859 t	-7.618 t	3.348.420 t	40,57 kg
Überdüngung Boden [PO ₄ -Äquivalent]	2.361 t	2.224 t	1.974 t	428.714 t	5,19 kg
Überdüngung Gewässer [PO ₄ -Äquivalent]	17.061 t	-5.888 t	-7.175 t	457.620 t	5,54 kg
Krebsrisiko (Humantoxizität) [As-Äquivalent]	188 t	-3 t	-3 t	473 t	0,006 kg
PM10-Risiko (Humantoxizität) [PM10-Äquivalent]	16.318 t	-24.729 t	-27.975 t	2.523.442 t	30,57 kg

Die Umrechnung in Einwohnerdurchschnittswerte ermöglicht es, die Ergebnisse für die verschiedenen Umweltwirkungsaspekte miteinander zu vergleichen und ihre jeweilige Bedeutung zu erfassen. Um eine mathematisch korrekte Vergleichbarkeit der erzielten Erfolge seit 1990 gewährleisten zu können, wurden auch die Nettoergebnisse für die Jahre 1990 und 2005 auf die gleiche Basis, die statistisch pro Einwohner verbrauchten Ressourcen und verursachten Emissionen im Jahr 2001, bezogen.

Die Ergebnisse aus diesen Berechnungen für alle Jahre und alle untersuchten Umweltwirkungsbereiche – die Nettoergebnisse in Einwohnerdurchschnittswerten – sind in **Abb. 4-9** dargestellt. Ein quantitativer übersichtsartiger Vergleich lässt sich damit anstellen.

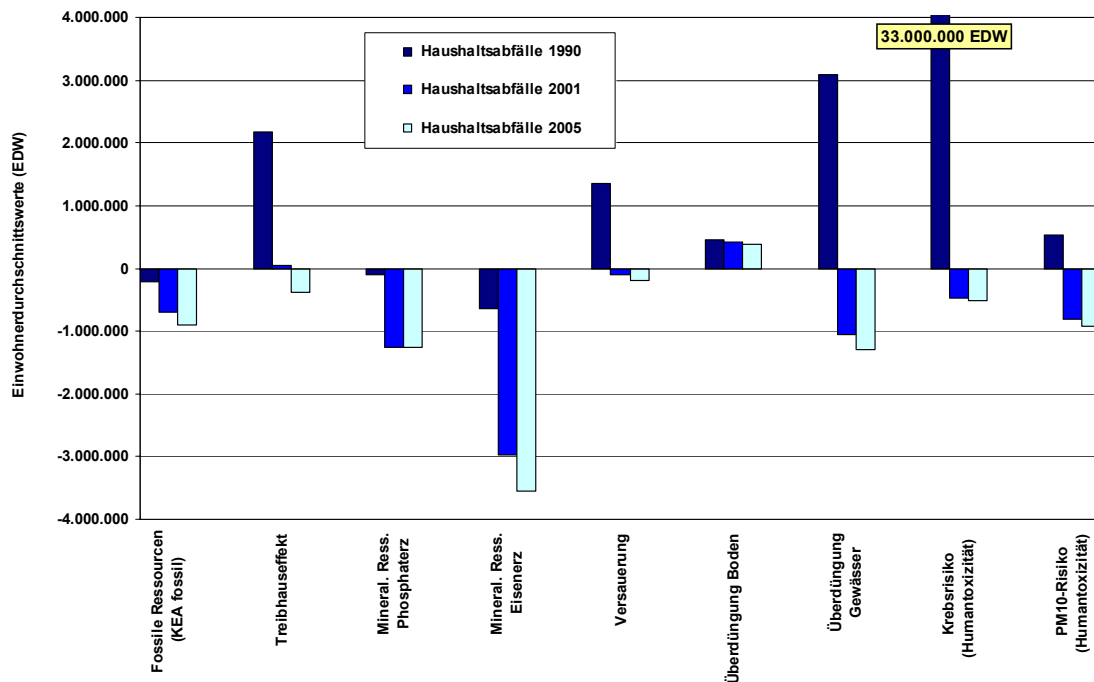


Abb. 4-9 Nettoergebnisse der abfallwirtschaftlichen Entwicklung 1990, 2001 und 2005 für die neun untersuchten Indikatoren ausgedrückt in Einwohnerdurschnittswerten (EDW)

Bei einem Blick auf **Abb. 4-9** lassen sich zusammenfassend folgende Schlüsse ziehen:

- Für das Basisjahr 2001 zeigt sich, dass die Abfallwirtschaft in fast allen Umweltbereichen zu einer Netto-Entlastung führt, das heißt, dass die erwirkten Umweltentlastungen die verursachten Umweltbelastungen zum Teil deutlich übersteigen. Das war nicht immer so: Im Vergleichsjahr 1990 verursachte die Abfallwirtschaft noch erhebliche Umweltbelastungen in der Mehrzahl der untersuchten Bereiche.
- Die für das Jahr 2001 ermittelten Umweltentlastungseffekte liegen – je nach Umweltbereich – in einer Größenordnung von bis zu 3 Mio. EDW, d.h. die Abfallwirtschaft entlastet die Umwelt bis zu einem Maße, wie sie (statistisch gesehen) von bis zu 3 Mio. Bundesbürgern belastet wird. Oder anders ausgedrückt: Die durch die Abfallwirtschaft bewirkten Umweltentlastungseffekte liegen bei bis zu 3,5% der gesamten Umweltbelastungen in Deutschland.
- Mit der Umsetzung der Abfallablagerungsverordnung im Juni 2005 wird die Abfallwirtschaft zu weiteren Umweltentlastungen führen.
- Eine Ausnahme ist im Umweltbereich „Überdüngung von Böden“ festzustellen. Hier berechnet sich nur ein geringer Rückgang der Umweltbelastungen, die etwa auf dem Niveau von 400.000 EDW stagnieren. Ursache hierfür sind v. a. Ammoniakemissionen aus der Behandlung von Bioabfällen in offenen Anwen-

dungen, die der erreichten Stickoxidminderung bei der Abfallverbrennung entgegenwirken.

- Ein Umweltwirkungsaspekt sticht deutlich heraus. Die Emissionen kanzerogener Luftschadstoffe durch die Abfallwirtschaft im Jahr 1990 (v. a. Dioxine) berechnen sich zu etwa 33 Mio. EDW. Die Verschärfung der Emissionsstandards von Anlagen der Abfallbehandlung – vorneweg der Müllverbrennung – hat zu einer Entwicklung geführt, die nun sogar einer Umweltentlastung von etwa 500.000 EDW hinsichtlich des Krebsrisikopotenzials für die Jahre 2001 und 2005 gleichkommt.
- Beim Treibhauseffekt halten sich im Jahre 2001 die Umweltbe- und -entlastungen in etwa die Waage – dies ist gegenüber dem Jahr 1990 eine erhebliche Verbesserung in der Größenordnung von etwa 2 Mio. EDW. Mit der vollständigen Umsetzung der Abfallablagerungsverordnung im Jahre 2005 wird die Abfallwirtschaft auch beim Treibhauseffekt insgesamt zu einer Netto-Umweltentlastung führen. Die Bilanz der durch die Abfallwirtschaft verursachten bzw. vermiedenen Klimagase wird sich damit gegenüber 1990 um 30 Mio. t CO₂-Äquivalente (2,6 Mio. EDW) verringern. Damit leistet die Abfallwirtschaft einen erheblichen Beitrag zum Klimaschutz.
- Die Erfüllung der Anforderung des Kreislaufwirtschaftsgesetzes zur Schonung der natürlichen Ressourcen (§ 1 KrW-/AbfG) wird an Hand der drei Beispiele fossile Ressourcen, Eisen und Eisenerz sowie Phosphaterz eindrücklich bestätigt. Bei fossilen Ressourcen beträgt der Einspareffekt im Jahr 2001 bereits 700.000 EDW und wird sich durch die bereits eingeleiteten Maßnahmen noch auf 900.000 EDW im Jahr 2005 erhöhen. Doch auch die Beispiele mineralischer Ressourcen mit Entlastungen für Eisen und Eisenerz von fast 3 Mio. EDW und Phosphaterz von mehr als 1,2 Mio. EDW verdeutlichen die Größenordnung der Ressourcen schonenden Effekte, die sich mit der Schließung von Stoffkreisläufen – allein schon durch die hier untersuchten Abfälle aus Haushaltungen – erzielen lassen.

Es darf neben dieser quantitativen vergleichenden Betrachtung allerdings nicht vergessen werden, dass die verschiedenen Umweltthemen sich auch qualitativ unterscheiden. So ist der Treibhauseffekt als ein globales, irreversibles Umweltproblem anerkannt, bei dem man, global betrachtet, zudem weit von den gesteckten Umweltzielen entfernt ist. Demgegenüber ist die Überdüngung zumindest von Oberflächengewässern ein lokales Problem, bei dem durch entsprechende Reduktionsmaßnahmen schon große Erfolge erzielt werden konnten.

Die Abfallwirtschaft hat zwischen 1990 und heute einen erheblichen Beitrag zu einer Stärkung einer nachhaltigen Entwicklung und zur Verbesserung der Umweltsituation geleistet. Nahezu alle Indikatoren belegen diese deutliche Verbesserung. Der Trend setzt sich für die bereits beschlossenen aber noch nicht vollständig umgesetzten Maßnahmen für das Jahr 2005 fort.

5 Ergebnisse der Einzeljahre bei Einbeziehung hausmüllähnlicher Gewerbeabfälle

Die Ergebnisse im vorausgegangenen Kapitel 4 sind auf Abfälle aus Haushalten (Haus- und Sperrmüll, organische Abfälle und die trockenen Wertstoffe PPK, Glas und LVP) beschränkt, die hausmüllähnlichen Gewerbeabfälle (HMG) sind hierbei explizit ausgenommen. In Kapitel 2 wurde diese Beschränkung ausführlich begründet. Aufgrund der großen Unsicherheiten bei der Ermittlung der HMG (in Folge der Unkenntnis über den jeweiligen Anteil zur Verwertung), verbietet sich ein Vergleich über die verschiedenen Jahre der gesamten Siedlungsabfälle einschließlich der HMG.

Dennoch soll der Beitrag der HMG nicht unberücksichtigt bleiben. Um ihren Einfluss auf die Gesamtergebnisse aufzuzeigen, wurde für jedes der untersuchten Jahre auch eine Berechnung mit HMG durchgeführt. Diese Ergebnisse werden nachfolgend den Ergebnissen ohne HMG - also den Ergebnissen aus der Entsorgung der Abfälle aus Haushalten wie in Kapitel 4 gezeigt - gegenübergestellt.

Da in diesem Zusammenhang vor allem der Einfluss auf die Gesamtaussage der in Kapitel 4 vorgestellten Ergebnisse beurteilt werden soll, erfolgt die Darstellung der Ergebnisse aus der Berechnung mit und ohne HMG für die Einzeljahre nachfolgend in vereinfachter Form. Auf eine Aufschlüsselung der Umweltbe- und -entlastungen nach Sektoren wird dabei verzichtet. Dargestellt wird dagegen die Summe der Belastungen, die Summe der Entlastungen sowie das aus der Verrechnung von Be- und Entlastungen resultierende Netto-Ergebnis.

Zur Unterscheidung der Ergebnisse mit und ohne HMG werden die Ergebnisse aus der ausschließlichen Entsorgung von Abfällen aus Haushalten in den Abbildungen weiterhin als "Haushaltsabfälle" bezeichnet, die Ergebnisse, die zudem die Entsorgung der HMG beinhalten, werden als "Siedlungsabfälle" benannt.

5.1 Vergleich der Ergebnisse mit/ohne hausmüllähnliche Gewerbeabfälle im Jahr 1990

Im Jahr 1990 belief sich das Abfallaufkommen an HMG gemäß [StBA 1994] auf 15.238.458 t. Damit ergibt sich bei einer Einbeziehung der HMG gegenüber der Menge an Abfällen aus Haushalten von insgesamt 38.789.002 t im Jahr 1990 eine um 39% höhere Gesamtmenge (54.027.460 t Siedlungsabfälle).

Wesentlicher Verbleib für die HMG war im Jahr 1990 zu 86% die Deponierung. Daneben wurden HMG zu 12% verbrannt und zu 2% stofflich verwertet. Entsprechend dem Verbleib der HMG erklären sich auch die in den nachfolgenden Abbildungen gezeigten Ergebnisse für den Vergleich der Entsorgung ohne (Haushaltsabfälle) und mit (Siedlungsabfälle) HMG.

Durch die Berücksichtigung der HMG in der Abfallentsorgung ergibt sich im Jahr 1990 ein um 46% höherer Wert für die deponierte Abfallmenge. Die Umweltauswirkungen der Deponierung sind in den in **Abb. 5-1** und **Abb. 5-2** dargestellten Ergebnissen deutlich sichtbar. Insbesondere die hiermit verbundenen höheren Methanemissionen führen

in der Wirkungskategorie Treibhauseffekt zu höheren Umweltbelastungen (+41%), denen nur in geringem Umfang Entlastungen aus der Verbrennung der HMG und der dadurch erzeugten Energie gegenüberstehen. Insgesamt weist damit die Entsorgung der Abfälle einschließlich HMG eine um 11,3 Mio. t CO₂-Äquivalente höhere Nettobelastung auf als die Entsorgung der Abfälle aus Haushalten allein.

Ähnliches gilt für die Wirkungskategorie Überdüngung von Gewässern. Auch hier führt die vermehrt abgelagerte Abfallmenge zu entsprechend höheren Umweltbelastungen, denen keine Entlastungen gegenüberstehen.

Ebenfalls höhere Umweltbelastungen bei der Berücksichtigung der HMG, die auch im Nettoergebnis in Form von zusätzlichen Belastungen sichtbar werden, zeigen sich in den Wirkungskategorien Humantoxizität (Krebsrisiko und PM10-Risiko), Versauerung und Überdüngung von Böden. Hier ist die höhere Belastung allerdings bedingt durch den Anteil HMG, der verbrannt wird. Gegenüber der alleinigen Betrachtung der Abfälle aus Haushalten erhöht sich die gesamt verbrannte Menge im Jahr 1990 durch das Einbeziehen der HMG um 29%. Die aus der Verbrennung der HMG zusätzlich resultierenden Umweltbelastungen (v. a. durch NO_x, Feinstaub und Dioxine) werden nicht durch entsprechende Gutschriften aus der erzeugten Energie reduziert.

Anders stellen sich die Ergebnisse für die Kategorien fossile und mineralische Ressourcen dar. Im Beispiel der mineralischen Ressource Phosphaterz bleibt das Ergebnis von der Mitbetrachtung der HMG gänzlich unberührt, da dieses allein durch die aus der Verwertung organischer Abfälle resultierenden Kompostanwendung beeinflusst ist (auf die Darstellung der Ergebnisse wurde daher verzichtet). Dagegen zeigt sich in der mineralischen Ressource Eisenerz sowie bei der Beanspruchung fossiler Ressourcen bei Mitbetrachtung der HMG ein besseres Abschneiden im Gesamtergebnis. Hier ergeben sich aus der Verbrennung der HMG vergleichsweise geringe Umweltbelastungen, weshalb die erzielten Entlastungen durch die erzeugte Energie sowie den über die MVA-Schlacke verwertbaren Eisenschrott überwiegen.

Insgesamt lässt sich aus dem Vergleich der Entsorgung im Jahr 1990 mit und ohne Berücksichtigung der HMG feststellen, dass sich die Ergebnisse zwar quantitativ ändern, qualitativ jedoch die Ergebnisaussage erhalten bleibt:

- In allen Wirkungskategorien, die für die Entsorgung der Abfälle aus Haushalten im Nettoergebnis Umweltbelastungen aufwiesen, werden diese durch die Mitbetrachtung der HMG bestätigt, die Umweltbelastungen fallen entsprechend höher aus.
- Alle Wirkungskategorien, die für die Entsorgung der Abfälle aus Haushalten im Nettoergebnis Umweltentlastungen zeigten, zeigen auch bei Mitbetrachtung der HMG weiterhin im Nettoergebnis Umweltentlastungen, die jetzt ebenfalls entsprechend höher ausfallen.
- Die Wirkungskategorien, die nicht von der Mitbetrachtung der HMG betroffen sind, zeigen in Folge dessen auch keine Veränderung im Ergebnis.

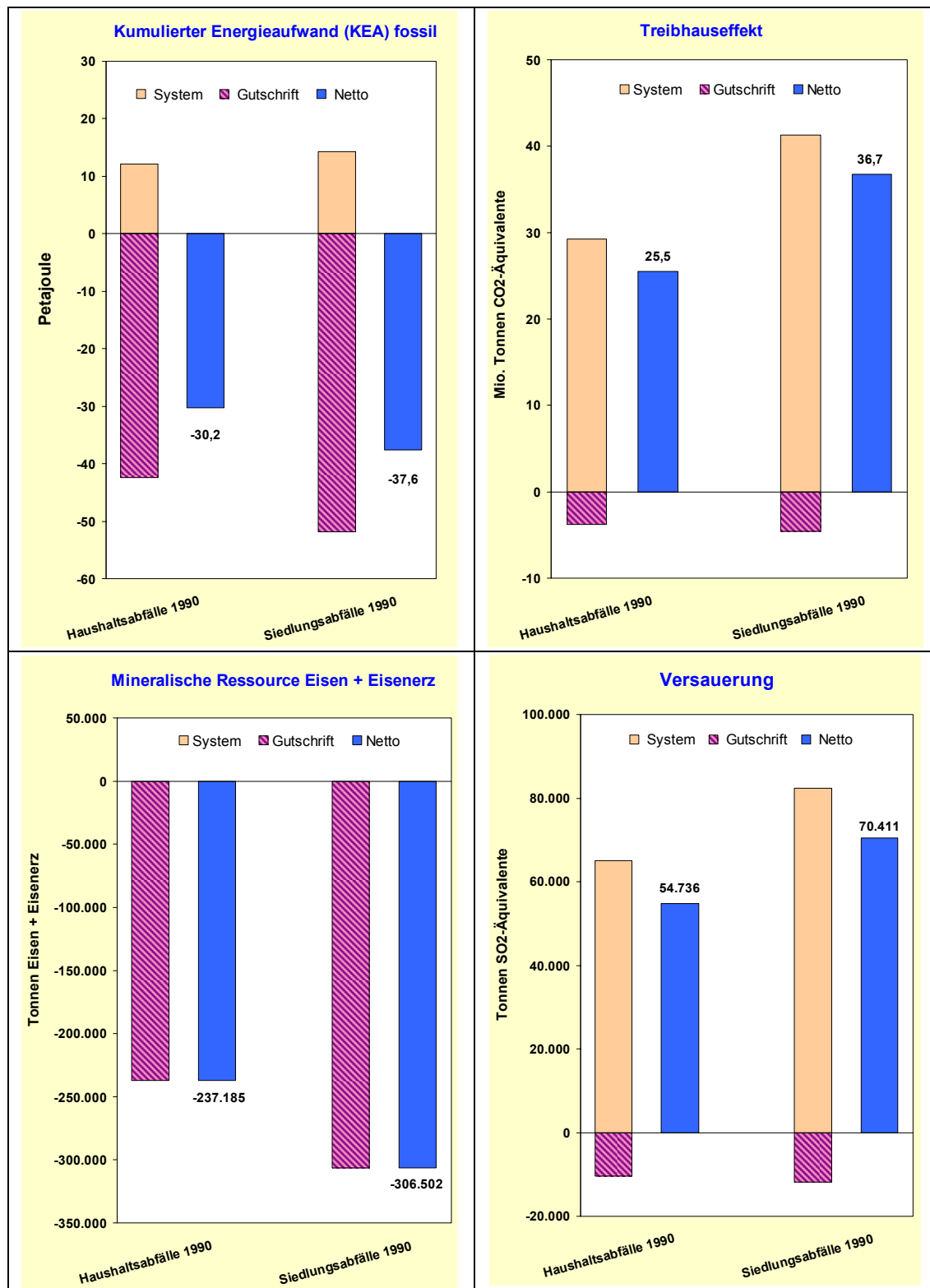


Abb. 5-1 Ergebnisse der Wirkungskategorien Beanspruchung von Ressourcen, Treibhauseffekt und Versauerung mit und ohne hausmüllähnliche Gewerbeabfälle

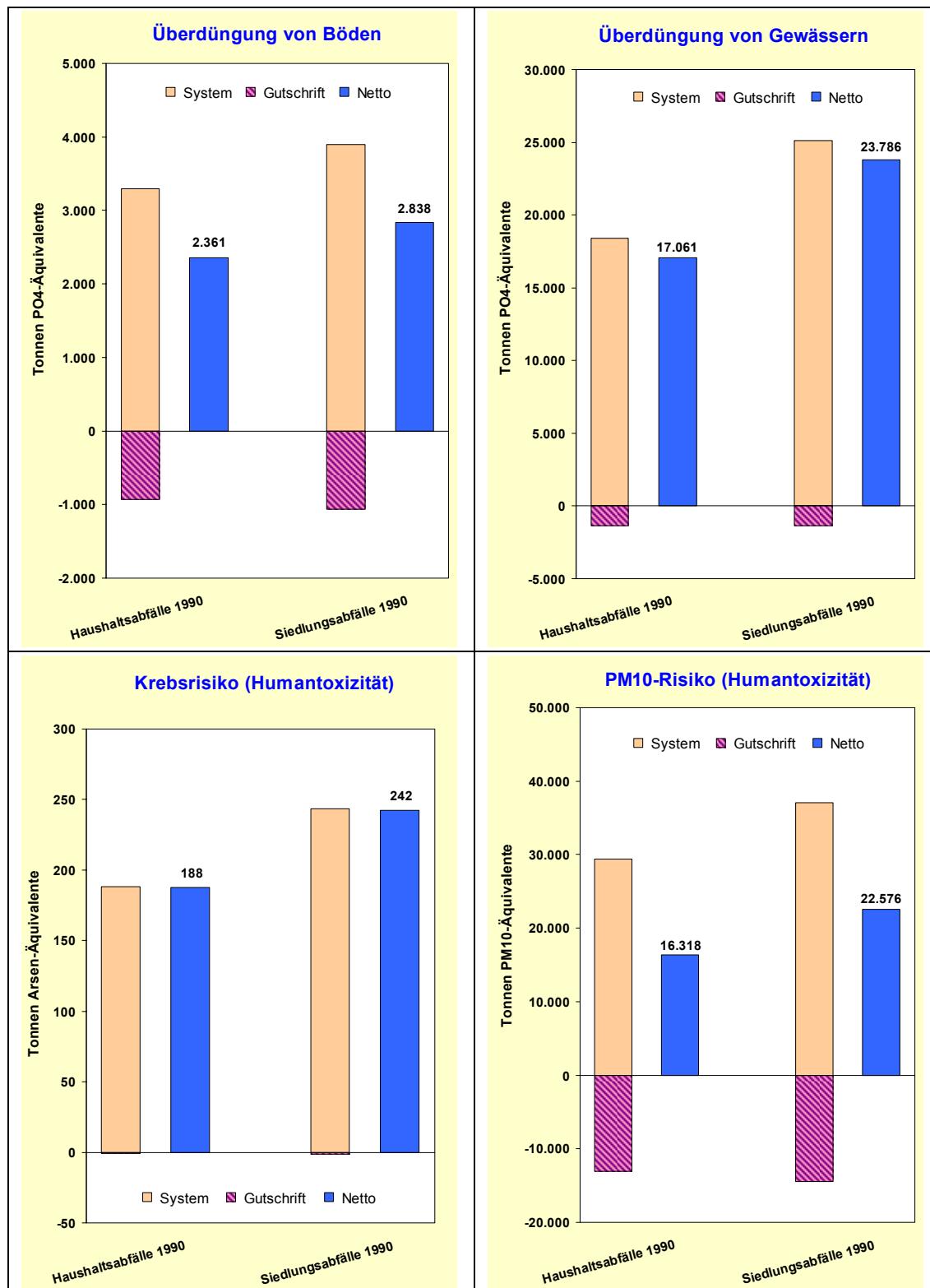


Abb. 5-2 Ergebnisse der Wirkungskategorien Überdüngung von Böden und Gewässern und Humantoxizität mit und ohne hausmüllähnliche Gewerbeabfälle

5.2 Vergleich der Ergebnisse mit/ohne hausmüllähnliche Gewerbeabfälle im Jahr 2001

Gegenüber dem Jahr 1990 ist das für das Jahr 2001 nach der Statistik zur Abfallwirtschaft des BMU berichtete Abfallaufkommen der hausmüllähnlichen Gewerbeabfälle (HMG) mit 8.109.000 t um fast die Hälfte niedriger. Die geringere Zahl darf jedoch nicht als Rückgang im Abfallaufkommen interpretiert werden. Die tatsächliche Entwicklung der HMG lässt sich nicht gesichert abbilden (s. a. die Ausführungen in Kapitel 2). Dies war der Grund, die HMG aus der vergleichenden Stoffstrombilanzierung auszuschließen und deren Einfluss nur innerhalb der einzelnen betrachteten Jahre, wie hier vorgenommen, zu untersuchen.

Durch die Einbeziehung der hausmüllähnlichen Gewerbeabfälle gegenüber der für die ökologische Bewertung betrachteten Menge an Abfällen aus Haushalten von insgesamt 39.706.000 t im Jahr 2001 ergibt sich eine um 20% höhere Gesamtmenge (47.815.000 t Siedlungsabfälle).

Im Jahr 2001 gelangten die HMG nach Angaben der Statistik zur Abfallwirtschaft des BMU zu 54% auf die Deponie, zu 23% wurden sie verbrannt und etwa 22% wurden stofflich verwertet. Für einen kleinen Anteil der verwerteten Menge (4%) wurde eine Behandlung über MBAn gerechnet, für die restliche verwertete Menge eine stoffliche Verwertung von Altholzbestandteilen über Spanplattenindustrie (s. a. Abfallverbleib).

Durch die zusätzliche Berücksichtigung der HMG erhöht sich damit die Menge der insgesamt im Jahr 2001 deponierten Abfälle um 51%, die der insgesamt über MVA verbrannten Menge um 19%. Dass die durch HMG gesteigerte Menge zur Deponierung im Vergleich zum Jahr 1990 prozentual höher ausfällt, ist darauf zurückzuführen, dass 2001 deutlich weniger Haus- und Sperrmüll direkt zu einer Deponierung gelangten (zusammen rd. 8 Mio. t gegenüber noch rd. 27,8 Mio. t im Jahr 1990), wodurch die Bedeutung der deponierten HMG (4,4 Mio. t) anteilig steigt.

Der Vergleich der in **Abb. 5-3** und **Abb. 5-4** dargestellten Ergebnisse mit und ohne HMG ähnelt dem in Kapitel 5.1 beschriebenen Vergleich für 1990, auch wenn sich die Unterschiede nur in etwas geringerem Maße darstellen. So fallen die Umweltbelastungen im Treibhauseffekt durch die HMG "nur" um 23% höher aus.

Bei der Wirkungskategorie Überdüngung von Gewässern ergibt sich im Jahr 2001 - im Gegensatz zum Jahr 1990 - eine Netto-Umweltentlastung, die durch deutlich geringere Umweltbelastungen aus der Deponierung gegenüber 1990 und durch höhere Gutschriften für die Verwertung von Altpapier bedingt ist. Durch die Berücksichtigung der deponierten HMG im Jahr 2001 und die damit verbundenen Umweltbelastungen (45% höher als ohne HMG), vermindert sich diese Netto-Entlastung um weitere 677 t PO₄-Äquivalente. Für alle anderen Wirkungskategorien ist die Deponierung von untergeordneter Bedeutung.

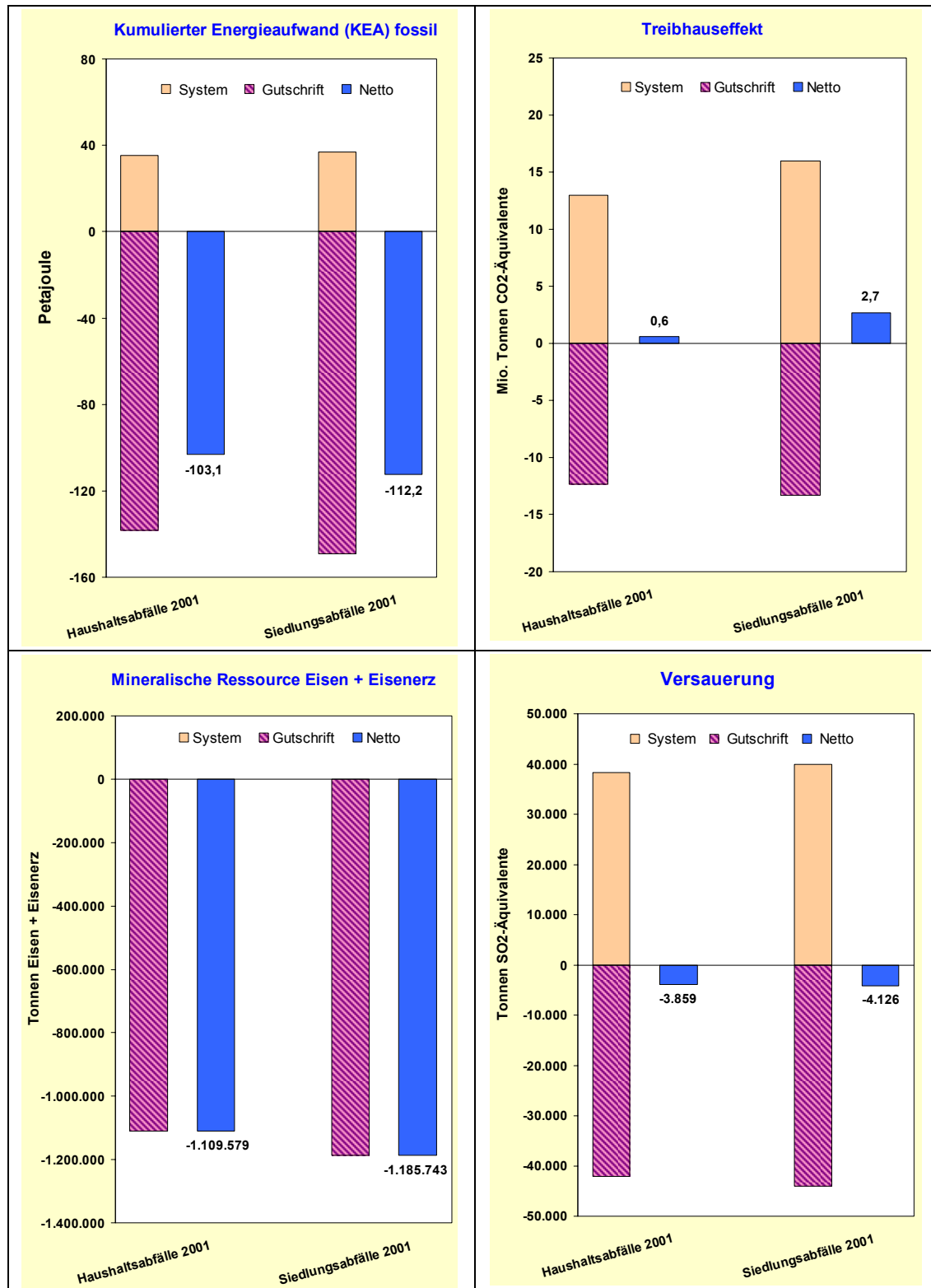


Abb. 5-3 Ergebnisse der Wirkungskategorien Beanspruchung von Ressourcen, Treibhauseffekt und Versauerung mit und ohne hausmüllähnliche Gewerbeabfälle

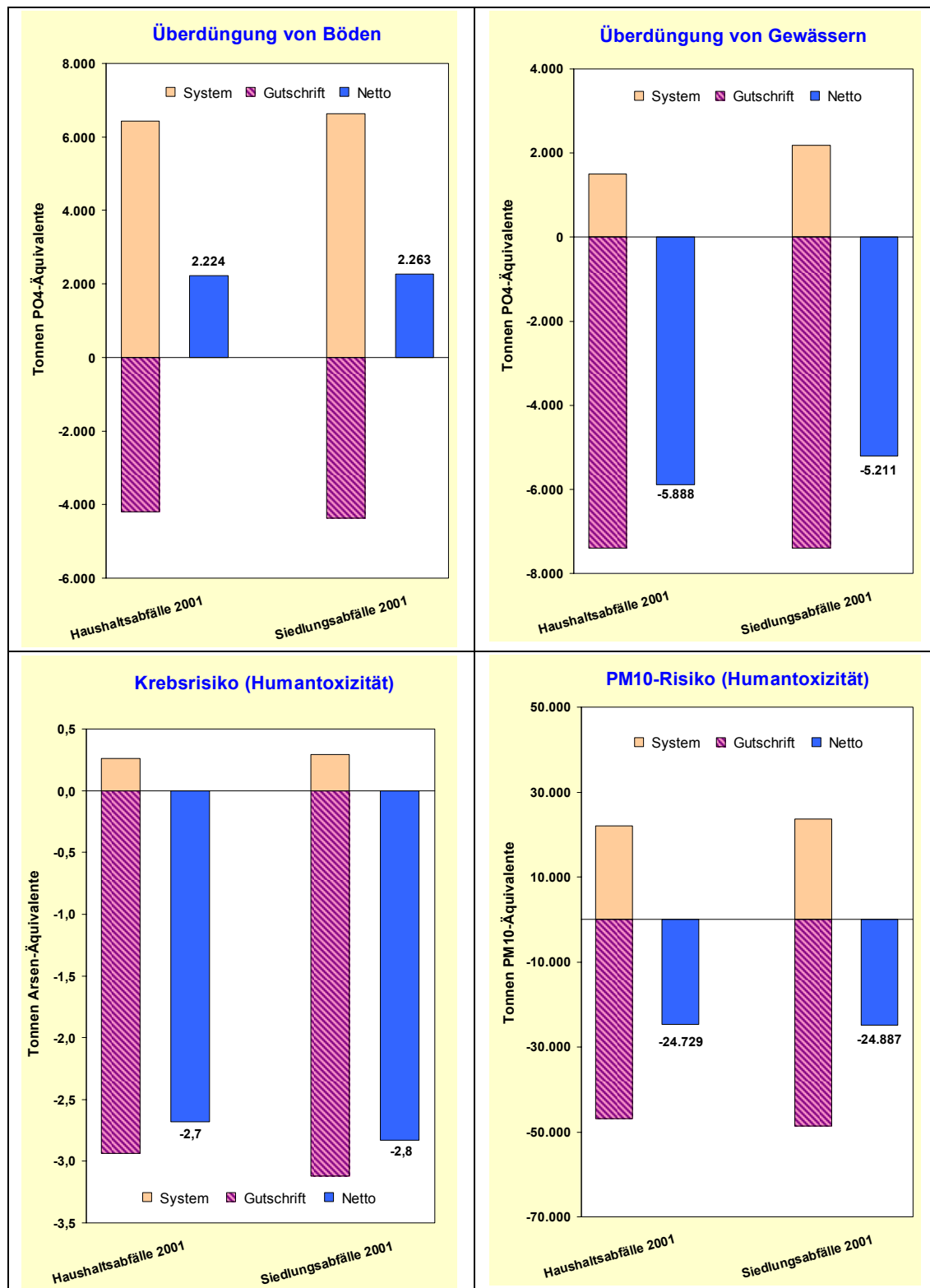


Abb. 5-4 Ergebnisse der Wirkungskategorien Überdüngung von Böden und Gewässern und Humantoxizität mit und ohne hausmüllähnliche Gewerbeabfälle

Weitere Unterschiede aus dem Vergleich Haushaltsabfälle (ohne HMG) - Siedlungsabfälle (mit HMG) ergeben sich über die in der MVA verbrannten HMG. Im Gegensatz zu den im Jahr 1990 gefundenen Ergebnissen ist im Jahr 2001 allerdings kaum ein Einfluss aus der mehr verbrannten Menge ersichtlich, die Nettoergebnisse der Wirkungskategorien unterscheiden sich nur wenig. Dies ist zunächst auf die deutlich verbesserte Anlagentechnik bei MVAn zurückzuführen - eine Mehrverbrennung führt im Jahr 2001 nicht mehr zwangsläufig zu einer Mehrbelastung. Zudem spielen im Jahr 2001 auch die entlastenden Beiträge aus der stofflichen Verwertung eine größere Rolle, so dass die anteilige Bedeutung der mit betrachteten HMG relativ gesehen sich nicht mehr in dem Maße auswirkt wie noch im Vergleich für 1990.

Durch die erzeugte und damit substituierte Energie halten sich in den Wirkungskategorien Versauerung, Überdüngung von Böden und Humantoxizität (Krebs- und PM10-Risiko) Mehrbelastungen und Mehrentlastungen in etwa die Waage. In den Kategorien Versauerung und Humantoxizität überwiegen in der Tendenz sogar die durch die Mehrverbrennung erzielten Entlastungen (hoher Emissionsstandard der MVAs gegenüber der konventionellen Energieerzeugung).

In der Wirkungskategorie Beanspruchung fossiler Ressourcen und bei der mineralischen Ressource Eisenerz entsprechen die Ergebnisse den in Kapitel 5.1 für den Vergleich 1990 dargestellten. Aus der Verbrennung der HMG ergeben sich vergleichsweise geringe Umweltbelastungen, während die erzielten Entlastungen durch die in Abhängigkeit des Heizwerts der HMG erzeugte Energie und den aus der MVA-Schlacke verwerteten Eisenschrott überwiegen.

Für die mineralische Ressource Phosphaterz gilt auch hier, dass diese durch die Mitbetrachtung der HMG nicht berührt ist, da sie allein durch die Kompostanwendung in Folge der Verwertung der organischen Abfälle beeinflusst wird.

Insgesamt lässt sich aus dem Vergleich der Entsorgung im Jahr 2001 mit und ohne Berücksichtigung der HMG feststellen, dass sich die Ergebnisse nur wenig quantitativ ändern, die qualitative Ergebnisaussage bleibt in jedem Fall erhalten.

Dass sich Umweltbe- und -entlastungen durch die Mitberücksichtigung der HMG in etwa die Waage halten, die Nettoergebnisse sich also nur wenig ändern, ist einerseits auf die gestiegene Bedeutung der Verwertung zurückzuführen und andererseits auf die deutlich verbesserte Anlagentechnik bzw. die hohen Emissionsstandards v. a. der Müllverbrennung.

5.3 Vergleich der Ergebnisse mit/ohne hausmüllähnliche Gewerbeabfälle im Szenario 2005 (Basisjahr 2001)

Das Aufkommen hausmüllähnlicher Gewerbeabfälle im Szenario 2005 entspricht der nach [LAGA 2004] prognostizierten Menge von 4.160.940 t und liegt damit nochmals um die Hälfte niedriger als das im Jahr 2001 berichtete Abfallaufkommen an HMG. Auch hier darf die geringere Menge nicht als Minderung im Abfallaufkommen interpretiert werden.

tiert werden (s. Ausführungen in Kapitel 2). Durch die Einbeziehung der hausmüllähnlichen Gewerbeabfälle gegenüber der für die ökologische Bewertung betrachteten Menge an Abfällen aus Haushalten von insgesamt 36.874.470 t im Szenario 2005 ergibt sich eine um 11% höhere Gesamtmenge (41.035.410 t Siedlungsabfälle).

Für die Annahmen zur stofflichen Verwertung wurden, wie in Kap. 2.3.4 beschrieben, die Angaben der Statistik zur Abfallwirtschaft des BMU für 2001 übernommen. Da die Deponierung unvorbehandelter Abfälle ab dem 01.06.2005 ausgeschlossen ist, wird die gesamte zur Beseitigung anfallende Abfallmenge der Müllverbrennung zugeführt. An der Annahme, dass die im Jahr 2005 verfügbaren MBA-Kapazitäten vollständig durch zur Entsorgung anstehende Haus- und Sperrmüllmengen in Anspruch genommen werden, wurde nichts geändert.

Im Szenario 2005 ändert sich damit gegenüber dem Szenario ohne HMG die Menge der deponierten Abfälle ausschließlich um die durch die Mehrverbrennung zusätzlich anfallenden Verbrennungsrückstände, diese erhöhen sich von rund 424.300 t ohne HMG auf etwa 500.000 t mit HMG. Die in MVAn verbrannte Abfallmenge erhöht sich bei Einbeziehung von HMG um 19%.

Aus den in **Abb. 5-5** und **Abb. 5-6** dargestellten Ergebnissen zeigt sich, dass die Mitberücksichtigung der HMG nur Auswirkungen auf Grund der Verbrennung in MVAn aufweist, die stoffliche Verwertung hat keinen sichtbaren Einfluss auf das Ergebnis. Dadurch, dass im Szenario 2005 die direkte Deponierung nicht mehr zugelassen ist und die damit verbundenen Umweltbelastungen entfallen, zeigt sich in den Ergebnissen des Vergleichs mit und ohne HMG noch deutlicher als im entsprechenden Vergleich für das Jahr 2001, dass die Mitbetrachtung der HMG kaum einen Einfluss auf die Nettoergebnisse hat. In der Tendenz weisen diese über alle Wirkungskategorien hinweg gleich bleibende oder sogar leicht bessere Ergebnisse auf.

Wie schon beim Vergleich für das Jahr 2001 macht sich auch hier die verbesserte Anlagentechnik der MVAn bemerkbar. Die strengen Anforderungen der 17. BImSchV, die in der Regel im Praxisbetrieb sogar noch deutlich unterschritten werden, führen zu Umweltbelastungen, die durch die erzielten Umweltentlastungen aus der Erzeugung nutzbarer Energie und damit Substitution konventionell erzeugter Energie ausgeglichen oder gar leicht überkompensiert werden. Hinsichtlich der Beanspruchung der mineralischen Ressource Phosphaterz gilt wie in Kapitel 5.2 beschrieben, dass diese von der Mitbetrachtung der HMG unberührt bleibt.

Insgesamt lässt sich auch aus dem Vergleich der Entsorgung im Szenario 2005 mit und ohne Berücksichtigung der HMG feststellen, dass sich die Ergebnisse nur wenig quantitativ ändern, die qualitative Ergebnisaussage bleibt erhalten.

Die aus der Verbrennung der HMG entstehenden Umweltbelastungen werden durch die mit der Energieerzeugung verbundenen Umweltentlastungen weitgehend ausgeglichen.

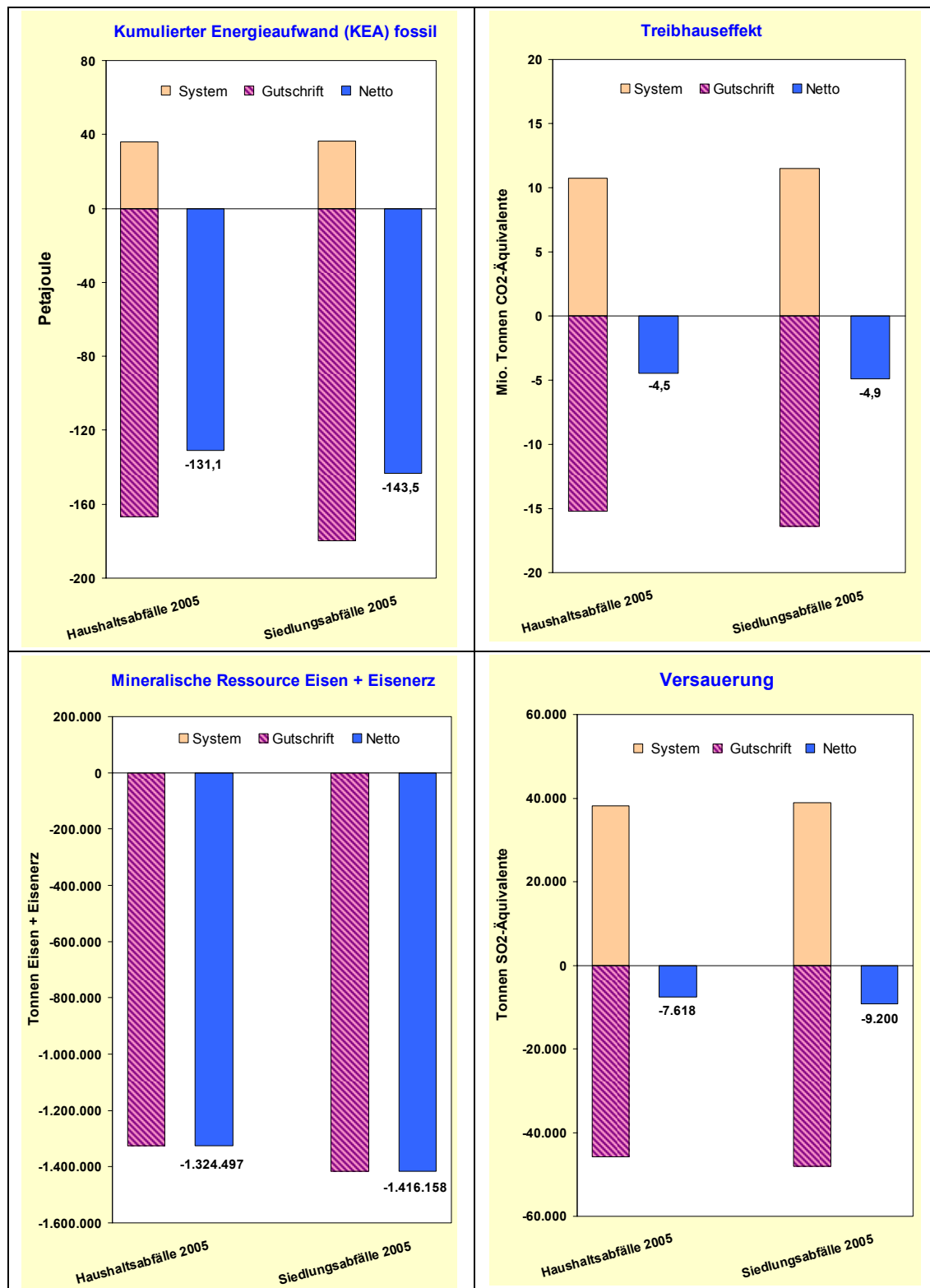


Abb. 5-5 Ergebnisse der Wirkungskategorien Beanspruchung von Ressourcen, Treibhauseffekt und Versauerung mit und ohne hausmüllähnliche Gewerbeabfälle

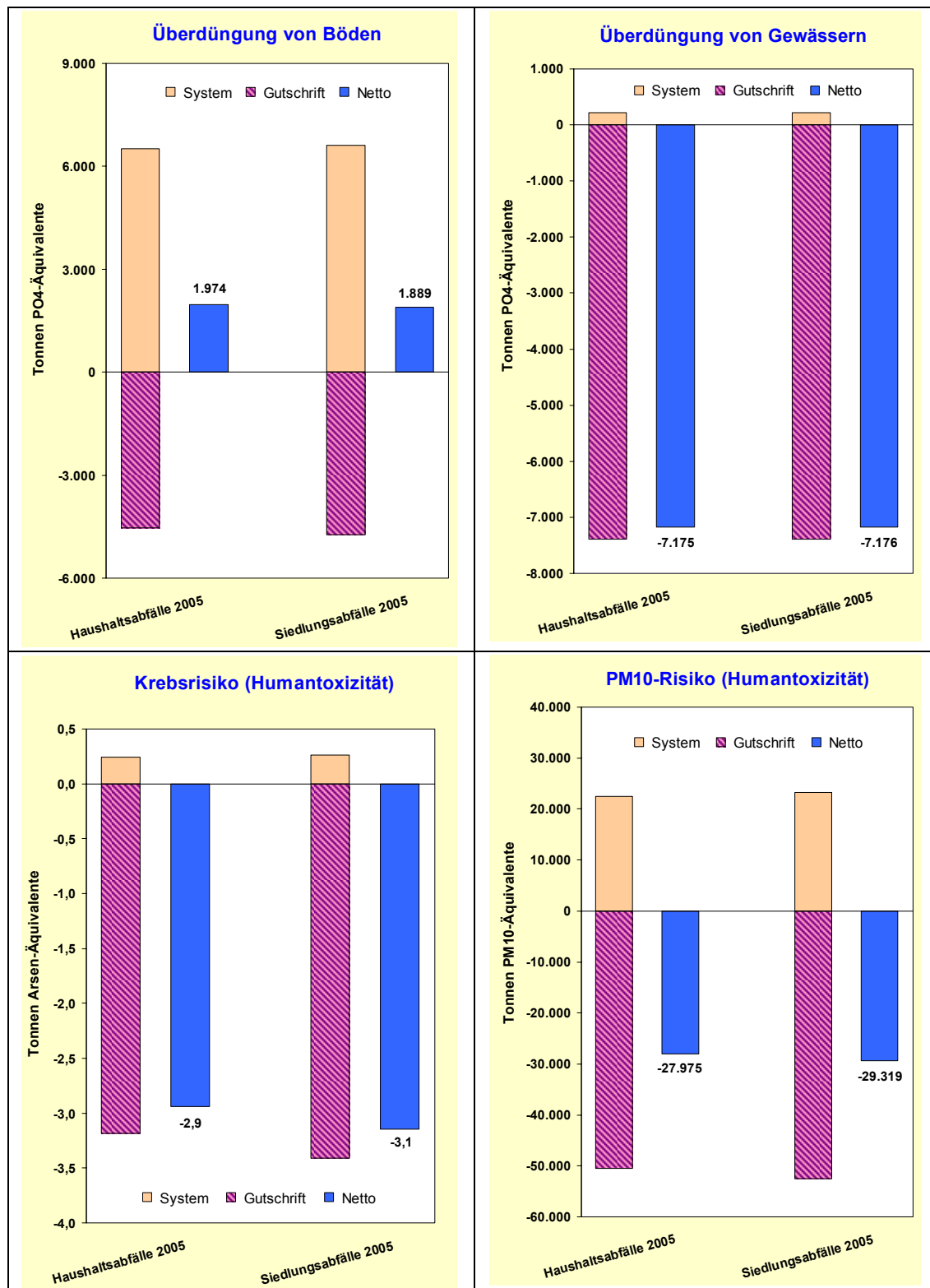


Abb. 5-6 Ergebnisse der Wirkungskategorien Überdüngung von Böden und Gewässern und Humantoxizität mit und ohne hausmüllähnliche Gewerbeabfälle

6 Literatur

- [17. BImSchV]: Verordnung über die Verbrennung und die Mitverbrennung von Abfällen. Siebzehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes in der Fassung der Bekanntmachung vom 14. August 2003 (BGBl. I Nr. 41 vom 19.08.2003 S. 1633)
- [30. BImSchV]: Verordnung über Anlagen zur biologischen Behandlung von Abfällen. Dreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes in der Fassung der Bekanntmachung vom 20. Februar 2001 (BGBl. I Nr. 10 vom 27.02.2001 S. 305).
- [AbfAbIV]: Verordnung über die umweltverträgliche Ablagerung von Siedlungsabfällen (AbfAbIV) vom 20. Februar 2001 (BGBl. I Nr. 10 vom 27.02.2001 S. 305) zuletzt geändert am 24. Juli 2002 durch Artikel 2 der Verordnung über Deponien und Langzeitlager und zur Änderung der Abfallablagerungsverordnung (BGBl. I Nr. 52 vom 29.07.2002 S. 2807).
- [BayLfU 2003]: Bayerisches Landesamt für Umweltschutz (LfU): Zusammensetzung und Schadstoffgehalt von Siedlungsabfällen. Augsburg, 2003.
- [Bidlingmaier 1984]: Bidlingmaier, W., Kranert, M., Schweizer, W.: Untersuchungen über die Schwermetalle im Hausmüll und deren Aufkonzentrierung in bestimmten Fraktionen und Stoffgruppen durch verfahrenstechnische Maßnahmen. Schriftenreihe des Arbeitskreises für die Nutzbarmachung von Siedlungsabfällen (ANS), Heft 5, Wiesbaden 1984.
- [BMU 2001]: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Statistik zur Abfallwirtschaft. Aufkommen, Beseitigung und Verwertung von Abfällen im Jahr 2001. http://www.bmu.de/de/1024/js/download/b_abfallstatistiken/
- [Boysen 1992]: Boysen, P.: Schwermetalle und andere Schadstoffe in Düngemitteln. Literatursauswertung und Analysen, Forschungsprojekt im Auftrag des Umweltbundesamtes Forschungsbericht 10701016, Berlin 1992 (= UBA-Texte 55/92).
- [Borken et al. 1999]: Basisdaten für ökologische Bilanzierungen: Einsatz mobiler Maschinen in Transport, Landwirtschaft und Bergbau. Braunschweig/ Wiesbaden, 1999.
- [BUWAL 1996]: Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (Hrsg.): Ökoinventare für Verpackungen. Bd. II Schriftenreihe Umwelt Nr. 250. Abfälle.
- [CML et al. 1992]: Heijungs, R. et al.: Backgrounds - Environmental Life Cycle Assessment of Products, CML Centre of Environmental Science Leiden University, Dutch Organisation for Applied Scientific Research Apeldoorn (Hg.), B&G Fuels and Raw Materials Bureau Rotterdam, 1992.
- [CML 2002]: Guinée, J. B., Gorée, M., Heijungs, R., Huppes, G., Kleijn, R., Koning, A. d., Oers, L. v., Wegener Sleeswijk, A., Suh, S., Udo de Haes, H. A., Bruijn, H.

- d., Duin, R. v., Huijbregts, M. A. J., Handbook on Life Cycle Assessment - Operational Guide to the ISO Standards. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, 2002.
- [De Groot 1999]: De Groot, M., van Lierop, W.E. (DHV Amersfoort,NL): Environmental efficiency of composting versus anaerobic digestion of separately collected, organic waste. In: ORBIT 1999, S.667-676.
- [De Leeuw 2002]: A set of emission indicators for long-range transboundary air pollution. Environmental Science and Policy, 5, 135-145.
- [Die Bundesregierung 2002]: Perspektiven für Deutschland. Unsere Strategie für eine nachhaltige Entwicklung. S. 40. Bonn 2002.
- [EEA 2002]: European Environmental Agency. Environmental signals 2002. Environmental Assessment Report No. 9. Copenhagen, Denmark.
- [Enquete-Kommission 1994]: Die Industriegesellschaft gestalten; Enquete-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt“ des 12. Deutschen Bundestages (Hrsg.) Economica Verlag, Bonn, 1994.
- [EU 1999]: Richtlinie 1999/30/EG des Rates vom 22. April 1999 über Grenzwerte für Schwefeldioxid, Stickstoffdioxid und Stickstoffoxide, Partikel und Blei in der Luft (1. Tochterrichtlinie).
- [Eurich-Menden 1996]: Eurich-Menden, B., Wegener, H.-R., Hackenberg, S.: Humuswirtschaft in Deutschland – Literaturstudie der Universität Gießen zur vergleichenden Darstellung des Kreislaufs organischer Substanz im Naturhaushalt unter Berücksichtigung des Umfelds in der Industrie-Gesellschaft Deutschlands, Gießen 1996.
- [Greiner 1983]: Greiner, B. et al.: Chemisch-Physikalische Analyse von Hausmüll. Technische Universität Berlin, ARGUS-Arbeitsgruppe Umweltstatistik, Berlin, UBA-Bericht Nr. 10303502.
- [Heyer/Stegmann 1997]: Heyer, K.U., Stegmann, R.: Untersuchungen zum langfristigen Stabilisierungsverlauf von Siedlungsabfalldeponien. In Umweltbundesamt 1997: Projektträger Abfallwirtschaft und Altlastensanierung des BMBF: Verbundvorhaben Deponiekörper.
- [ifeu, lfd. Projekt]: Institut für Energie- und Umweltforschung, ifeu Heidelberg: Ökobilanzierende Untersuchung thermischer Entsorgungsverfahren für brennbare Abfälle. Im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz NRW, Düsseldorf, in Bearbeitung.
- [ifeu 2001b]: Grundlagen für eine ökologisch und ökonomisch sinnvolle Verwertung von Verkaufsverpackungen. Arbeitsgemeinschaft aus HTP, Ingenieures. f. Aufbereitungstechnik und Umweltverfahrenstechnik, Aachen und ifeu Heidelberg. Im Auftrag des Umweltbundesamtes Berlin, 2001.

- [ifeu 2001]: Institut für Energie- und Umweltforschung, ifeu Heidelberg: Untersuchung zur Umweltverträglichkeit von Systemen zur Verwertung von biologisch-organischen Abfällen. Gefördert von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt, Osnabrück (AZ 08848), Dezember 2001.
- [ifeu 2000]: Institut für Energie- und Umweltforschung, ifeu Heidelberg: Ökologischer Vergleich verschiedener Verfahren der Restabfallbehandlung. Im Auftrag der EDG Entsorgung Dortmund GmbH, 2000.
- [ifeu 1997]: Institut für Energie- und Umweltforschung, ifeu Heidelberg: Daten- und Rechenmodell – Energieverbrauch und Schadstoffemissionen des motorisierten Verkehrs in Deutschland 1980 – 2020. Im Auftrag des Umweltbundesamtes. UFOPLAN-Nr. 105 06 057. Berlin, Heidelberg, 1997.
- [ifeu 1993]: Institut für Energie- und Umweltforschung, ifeu Heidelberg: Ökologische Bilanzen der Abfallwirtschaft - Vergleichende Bewertung von Strategien, Verfahren und Maßnahmen der Vermeidung, Verwertung und Entsorgung von Abfällen aus Verbrauchs- und Gebrauchsgütern. Vorstudie Schadstoffaspekte der Verwertung und Behandlung/Ablagerung von Abfällen (Toxizitätsparameter). Im Auftrag des Umweltbundesamtes Berlin, 1993.
- [ifeu 1991]: Institut für Energie- und Umweltforschung, ifeu Heidelberg: Systeme und Anlagen zur stofflichen Verwertung und Schadstoffentfrachtung. Erarbeitung von Grundlagen zum zweiten Abschnitt der Technischen Anleitung Siedlungsabfall. BMU UFO-Plan Forschungsbericht 103 03 315/02. Im Auftrag des Umweltbundesamtes, S. 8-9.
- [ifeu 1989]: Institut für Energie- und Umweltforschung, ifeu Heidelberg: Abfallwirtschaftskonzept für die Stadt Köln. 3.Teil: Vergleichende Umweltverträglichkeitsbetrachtung für Standorte von Abfallbehandlungsanlagen in Köln. Teilbericht: Vorschaltanlage und Müllverbrennungsanlage. Heidelberg 1989.
- [ifeu 1988]: Institut für Energie- und Umweltforschung, ifeu Heidelberg: Beurteilung des Änderungsantrages zur Planfeststellung der MVA Bielefeld-Herford. Heidelberg 1988.
- [IPCC 1996]: Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.
- [IPCC 1996b]: Intergovernmental Panel on Climate Change: Climate Change 1995 - The Science of Climate Change. Houghton, J. T. (Hg), Cambridge University Press, Cambridge 1996.
- [Kern et al. 1998]: Kern, M., Funda, K., Mayer, M.: Stand der biologischen Abfallbehandlung in Deutschland. Teil I: Kompostierung. In: Müll und Abfall 11-98. S. 694-699.
- [Klöpffer 1995]: Methodik der Wirkungsbilanz im Rahmen von Produkt-Ökobilanzen unter Berücksichtigung nicht oder nur schwer quantifizierbarer Umwelt-

Kategorien. Forschungsprojekt im Auftrag des Umweltbundesamtes, Berlin 1995 (=UBA-Texte 23/95).

- [Knörr et al. 1997]: Daten- und Rechenmodell: Energieverbrauch und Schadstoffemissionen des motorisierten Verkehrs in Deutschland 1980-2020. Institut für Energie- und Umweltforschung, ifeu Heidelberg. Im Auftrag des Umweltbundesamtes. Ufoplan Nr. 10506057, Heidelberg 1997.
- [LAGA 2004]: Bericht der LAGA zur 62. Umweltministerkonferenz. Umsetzung der Abfallablagerungsverordnung - 2. Fortschreibung. Stand 25.03.04. Landesamt für Umweltschutz und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz (Hrsg.)
- [LAGA 2003]: Bericht der LAGA zur 60. Umweltministerkonferenz. Umsetzung der Abfallablagerungsverordnung. Entwurf Stand 05.05.03. Landesamt für Umweltschutz und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz (Hrsg.)
- [Marutzky 1999]: Marutzky et al.: Energie aus Holz und anderer Biomasse, 1999
- [Öko-Institut 2002]: Dehoust, G., Gebhardt, P., Gärtner, S. (Öko-Institut): Der Beitrag der thermischen Abfallbehandlung zu Klimaschutz, Luftreinhaltung und Ressourcenschonung. Im Auftrag der Interessengemeinschaft der Betreiber Thermischer Abfallbehandlungsanlagen in Deutschland (ITAD). April 2002
- [Patyk und Reinhardt 1997]: Patyk, A., Reinhardt, G.: Düngemittel - Energie- und Stoffstrombilanzen, Wiesbaden 1997
- [Rotter 2002]: Rotter, S.: Schwermetalle in Haushaltsabfällen. Beiträge zur Abfallwirtschaft. Band 27. TU Dresden, 2002.
- [Schmidt et al. 1998]: Evaluierung gängiger Datenmodelle zur Ermittlung verkehrlicher Umweltbelastungen. In: Umweltinformatik 98. Marburg 1998.
- [Schnurer 2002]: Gastvortrag von Ministerialdirigent Dr. Helmut Schnurer, Bundesumweltministerium: Entwicklung des Abfallrechts in Deutschland zur nachhaltigen Kreislaufwirtschaft. Workshop der Alexander-von-Humboldt-Stiftung im Internationalen Institute for Advanced Studies (IIAS). Kyoto, Japan vom 29.11. - 1.12.2002.
- [Scholz 2001]: Scholz, R., Beckmann, M., Schulenberg, F.: Abfallbehandlung in thermischen Verfahren. Teubner-Reihe Umwelt, Stuttgart/Leipzig/Wiesbaden, 2001.
- [StBA 2004]: Vom Statistischen Bundesamt übermittelte Zahlen, Mai 2004.
- [StBA 2003]: Statistisches Bundesamt: Fachserie 19, Reihe 1. Umwelt, Abfallentsorgung 2001. Wiesbaden, Dezember 2003.
- [StBA 1997]: Statistisches Bundesamt: Produzierendes Gewerbe, Fachserie 4, Reihe 8.2, Düngemittelversorgung, Wirtschaftsjahr 1996/1997, Wiesbaden 1997

- [StBA 1994]: Statistisches Bundesamt: Fachserie 19, Reihe 1.1. Umweltschutz, Öffentliche Abfallbeseitigung 1990. Wiesbaden, 1994.
- [TA Luft 2002]: Erste Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz, Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft, vom 24. Juli 2002.
- [TASi 1993]: Technische Anleitung Siedlungsabfall: Technische Anleitung zur Verwertung, Behandlung und sonstigen Entsorgung von Siedlungsabfällen (Dritte Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz) vom 14. Mai 1993 (BANz. Nr. 99a vom 29.05.1993)
- [TÜV Rheinland Berlin Brandenburg 2002]: Bericht zur Ermittlung der Gesamtweißblechmenge aus Müllverbrennungsanlagen für das Erhebungsjahr 2002. Im Auftrag des Informationszentrum Weißblech e. V., Düsseldorf.
- [UBA Nachhaltige Entwicklung in Deutschland 2002]: Nachhaltige Entwicklung in Deutschland; Die Zukunft dauerhaft umweltgerecht gestalten; Umweltbundesamt; Erich Schmidt Verlag, Berlin, 2002.
- [UBA 2002]: Umweltdaten Deutschland 2002, Umweltbundesamt, Berlin 2002.
- [UBA 1999]: Bewertung in Ökobilanzen. Methode des Umweltbundesamtes zur Normierung von Wirkungsindikatoren, Ordnung (Rangbildung) von Wirkungskategorien und zur Auswertung nach ISO 14042 und 14043, Umweltbundesamt Berlin 1999 (= UBA Texte 92/99).
- [UBA 1995]: Ökobilanz für Getränkeverpackungen, Teil A: Methode zur Berechnung und Bewertung von Ökobilanzen für Verpackungen, Teil B: Vergleichende Untersuchung der durch Verpackungssysteme für Frischmilch und Bier hervorgerufenen Umweltbeeinflussungen, Umweltbundesamt Berlin 1995 (= UBA-Texte 52/95).
- [UBA 1992/93]: Daten zur Umwelt 1992/93, Umweltbundesamt Berlin, Erich Schmidt Verlag.
- [UBA 1990/91]: Daten zur Umwelt 1990/91, Umweltbundesamt Berlin, Erich Schmidt Verlag.
- [USEPA 1999]: Integrated Risk Information System (IRIS), US Environmental Protection Agency, 1999.
- [UStatG 1994]: Gesetz über die Umweltstatistiken (Umweltstatistikgesetz) vom 21. Sept. 1994 (BGBl. I S. 2530), zuletzt geändert durch Artikel 12 des Gesetzes vom 12. Dez. 1997 (BGBl. I S. 3158).
- [VerpackV]: Verordnung über die Vermeidung und Verwertung von Verpackungsabfällen (Verpackungsverordnung, VerpackV) vom 21. August 1998 (BGBl. I 1998, 2379).

[VKS 2002]: Verband Kommunale Abfallwirtschaft und Stadtreinigung e.V. - VKS: Informationsschrift 57, VKS-Betriebsdatenauswertung 2002, Köln.

[Wallmann 1999]: Ökologische Bewertung der mechanisch-biologischen Restabfallbehandlung und der Müllverbrennung auf Basis von Energie- und Schadgasbilanzen, (Schriftenreihe des Arbeitskreises für die Nutzbarmachung von Siedlungsabfällen ANS e.V., Heft 38).

[WHO 2002]: World Health Organization Regional Office for Europe, European Centre for Environment and Health: Environmental health indicator systems - update of methodology sheets. Bonn, Germany.

Abfallbilanzen 2002 der Bundesländer:

- BW: Abfallbilanz 2002. Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg. (auch veröffentlicht im Internet: <http://www.uvm.baden-wuerttemberg.de/uvm> unter: Veröffentlichungen/Publikationsliste/Abfall- und Kreislaufwirtschaft/Abfallbilanz 2002)
- BY: Abfallwirtschaft Hausmüll in Bayern Bilanzen 2002. Bayerisches Landesamt für Umweltschutz. Abfallwirtschaft
<http://www.abfallbilanz.bayern.de>
- BE: Siedlungsabfall 2002. Senat für Stadtentwicklung und Umweltschutz Berlin.
(<http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/abfallwirtschaft/de/siedlungsabfall/>)
- BB: Abfallbilanz 2002. Ministerium für Landwirtschaft, Umweltschutz und Raumordnung (MLUR) Brandenburg. pdf-Datei: **Tab. 18: Abfallbilanz der öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger des Landes Brandenburg 2002**
(http://www.brandenburg.de/land/mlur/a/a_bilan3.htm#2.6)
- HB: Siedlungsabfall (1998 bis 2002). Umweltressort des Bremer Senats, Senator für Bau- und Umwelt.
<http://www.umwelt.bremen.de/buisy/abfall/abfallwirtschaft/Siedlungsabfall.pdf>
- HH: Abfallstatistik 2002. Freie und Hansestadt Hamburg, Umweltbehörde, Amt für Umweltschutz, Abfallwirtschaft.
<http://fhh.hamburg.de/stadt/Aktuell/behoerden/umwelt-gesundheit/umwelt/abfall/download/abfallstatistik/statistik-siedlung-02,property=source.pdf>
- HE: Abfallmengenbilanz des Landes Hessen für das Jahr 2002. Hessisches Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft und Forsten (MULF) und Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie (HLUG).
<http://www.mulf.hessen.de>
- MP: Daten zur Abfallwirtschaft 2002. Materialien zur Umwelt Heft 1/03. Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie (LUNG) Mecklenburg-Vorpommern. Abt. Immissionsschutz, Abfall und Kreislaufwirtschaft.
http://www.lung.mv-regierung.de/index_1024.htm
- NI: Niedersächsische Abfallbilanz 2002 - zugleich Statistischer Bericht Q II/S. Statistische Berichte Niedersachsen. Niedersächsisches Umweltministerium und Niedersächsisches Landesamt für Statistik (NLS).
http://www.mu1.niedersachsen.de/master/0,,C932249_N502961_L20_D0_I598,00.html
- NW: Abfallbilanz Nordrhein-Westfalen für Siedlungsabfälle 2001/2002. Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (MUNLV)
<http://www.munlv.nrw.de>
- RP: Landesabfallbilanz Rheinland-Pfalz 2002. Ministerium für Umwelt und Forsten (MUF).
<http://www.muf.rlp.de>

- SL: Siedlungsabfälle 2002. (im Nov. 2003 übersandte Tabelle in Entwurfs-Fassung)
Ministerium für Umwelt Saarland
http://www.umwelt.saarland.de/1805_11088.htm
- SN: Siedlungsabfallbilanz 2002 des Freistaates Sachsen. Materialien zur Abfallwirtschaft. Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie (LFUG).
- ST: Abfallbilanz 2002. Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt. Abt. 4 Kreislaufwirtschaft / Bodenschutz. (im Okt. 2003 übersandte Tabelle über Gesamtaufkommen und Verbleib).
<http://www.mu.sachsen-anhalt.de/lau/baum.htm>
- SH: Abfallgesamtbilanz 2002. Landesamt für Natur und Umwelt (LANU). (im März 2004 übersandte Tabelle zu Aufkommen und Verbleib)
<http://www.umwelt.schleswig-holstein.de/?lanu>
- TH: Abfallbilanz Thüringen 2002. Thüringer Ministerium für Landwirtschaft, Naturschutz und Umwelt (TMLNU), Freistaat Thüringen.
<http://www.thueringen.de/tmlnu>

Anhang

Anhang 1	Entwicklung der rechtlichen Rahmenbedingungen (inkl. Freiwillige Selbstverpflichtungen) und deren Einfluss auf Abfallaufkommen und Entsorgung	115
Anhang 2	Ergebnisse für den ökologischen Vergleich 1990-2002-2005 sowie Vergleich der Ergebnisse mit/ohne hausmüllähnliche Gewerbeabfälle im Jahr 2002	133
Anhang 3	Gegenüberstellung der Sekundärabfälle des Stoffstrommodells zu Angaben nach [LAGA 2004]	140

Anhang 1 Entwicklung der rechtlichen Rahmenbedingungen (inkl. Freiwillige Selbstverpflichtungen) und deren Einfluss auf Abfallaufkommen und Entsorgung

1986	
Abfallgesetz (AbfG)	Gesetz über die Vermeidung und Entsorgung von Abfällen vom 27. August 1986
Ziel	Neue Schwerpunkte wurden vor allem in Bezug auf die Vermeidung und Verwertung von Abfällen gesetzt. Allerdings gab es noch keinen rechtlich festgeschriebenen Vorrang einer Abfallbehandlungsart. Auch der Begriff Abfall selbst war nur ungenügend präzisiert.
Maßnahmen	Diese Novellierung schrieb noch keine verbindlichen Regelungen und Erfassungsquoten vor. Dennoch wurden im Zuge dieser Gesetzesanpassung die ersten flächendeckenden Altpapiererfassungssysteme auf kommunaler Ebene eingeführt. Diese Entwicklung war vor allem ökonomisch motiviert, durch verschärfte Anforderungen an Deponien und Müllverbrennungsanlagen stiegen die Entsorgungskosten zwischen 1985 und 1995 stark an, je nach Region um Größenordnungen von 100-1000%. Da Hausmüll zu ca. 30Ma% aus Papieren und Pappen besteht, sahen viele Kommunen in der getrennten Erfassung von Altpapier durch Entsorgungsunternehmen (Kosten maximal 100 EUR pro Tonne, z. T. auch deutlich geringer) ein beträchtliches Einsparungspotenzial bei den Müllentsorgungskosten. Durch dieses Altpapierüberangebot kam es in den Jahren 1985 bis 1987 zu einem starken Preisverfall bei Altpapier.
1988	
Selbstverpfl. Batteriehandel	Freiwillige Selbstverpflichtung vom Handel der Batterierücknahme
Ziel	Rücknahme verkaufter, schadstoffhaltiger Batterien zur Eindämmung der Entsorgung über Restmüll
Maßnahmen	Angebot des Handels zur Rücknahme von Batterien
Hintergrund	Trotz der allgemein verbreiteten Kenntnis, dass viele Batterien zum Teil umweltschädliche Stoffe, wie Quecksilber, Cadmium oder Blei enthalten und trotz der Möglichkeit, über den Händler verbrauchte Batterien kostenlos an den Batteriehersteller zurückzugeben, hat die Mehrheit der Verbraucher in der Vergangenheit Altbatterien (ausgenommen Starterbatterien) überwiegend mit dem Hausmüll entsorgt. Mit der freiwilligen Selbstverpflichtung wurde nur rund 1/3 der verkauften Batterien wieder eingesammelt. Die Inhalte der freiwilligen Selbstverpflichtung der deutschen Batterieindustrie waren Grundlage der EG-Batterierichtlinie (91/157/EWG), die mit der am 27.03.1998 bekannt gemachten Batterieverordnung (BattV) in deutsches Recht umgesetzt wurde.
1990	
17. BImSchV	17. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes vom 23.11.1990 (BGBl. I S.2545), berichtigt am 13.12.1990 (BGBl. I S. 2832). Verordnung über Verbrennungsanlagen für Abfälle und ähnliche brennbare Stoffe
Ziel	Vermeidung schädlicher Emissionen in die Luft bei der Verbrennung von Abfällen durch strenge Standards zur Luftreinhaltung.
Maßnahmen	Mit der Verabschiedung der 17. BImSchV wurde der Grenzwert insbesondere

	für Dioxine auf 0,1 Nanogramm pro Kubikmeter Abluft heraufgesetzt (§ 5 Nr. 4). Dieser Wert galt unmittelbar für alle neuen Müllverbrennungsanlagen und verlangte die filtertechnische Aufrüstung aller bestehenden MVA bis zum 1.12.1996. Darüber hinaus wurden auch die Emissionen von Schwermetallen festgeschrieben, für Quecksilber auf 0,05 mg/m³, ebenso für Thallium und Cadmium in Summe und für die weiteren Schwermetalle (Sb, As, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V, Sn) ein Summenwert von 0,5 mg/m³. Auch für die Luftschadstoffe NO_x, SO_x, HF, HCl, TOC, CO und Staub wurden Emissionsgrenzwerte neu formuliert (z.B. Halbstundenmittelwert für NO_x: 400 mg/m³, für SO_x: 200 mg/m³). Zeitgleich wurden BImSchG und AbfG geändert und der "Anlagenzwang" aufgehoben, womit explizit die Legalisierung der Mitverbrennung gewerblicher Abfälle in industriellen Feuerungsanlagen erfolgte. Zudem wurde mit der 17. BImSchV die Mitverbrennung von Abfällen in Industrieanlagen über die „Mischungsregelung“ genormt § 5 (3). Durch Umsetzung der Richtlinie 94/67/EG über die Verbrennung gefährlicher Abfälle musste die Anteilsrechnung zur Bestimmung der Mischgrenzwerte bei Mitverbrennung von besonders überwachungsbedürftigen Abfällen noch mit zwei weiteren prozentualen Begrenzungen versehen werden, da gemäß dieser Richtlinie die Anwendung von Mischgrenzwerten auf ein Spektrum der Feuerungswärmeleistung von 10-40% beschränkt wird.
Hintergrund	Auslöser der drastischen Verschärfung v. a. des Dioxin-Grenzwertes war die Bewältigung gesellschaftlicher Akzeptanzprobleme: die verschwindende Menge von 0,1 ng/m³ soll „objektiv“ und in den Augen der Bevölkerung Sicherheit vor den Risiken der Müllverbrennung garantieren. Die in der Rauchgasreinigung zurückgehaltenen Schadstoffe (v. a. Schwermetalle) reichern sich in den Filterstäuben an. Für diese müssen geeignete Entsorgungswege vorhanden sein. In Deutschland ist dies die unterirdische Lagerung solcher Filterstäube in Salzbergwerken, was praktisch einen Ausschluss aus der Biosphäre gewährleistet.

1991	
TA Abfall	Technische Anleitung Abfall vom 12. März 1991
	Die TA Abfall gilt für besonders überwachungsbedürftige Abfälle (Sonderabfälle). Sie regelt Lagerung, chemisch/physikalische und biologische Behandlung, Verbrennung und Ablagerung von Sonderabfällen.
Sonderabfälle sind nicht Bestandteil des Forschungsvorhabens, die TA Abfall ist hier lediglich der Vollständigkeit halber erwähnt.	
Verpackungsverordnung	Deutsche Verpackungsverordnung vom 12. Juni 1991 (BGBl. I S. 1234) abgelöst durch die neue Verpackungsverordnung am 1. Jan. 1999 (s. u.)
Ziel	Einleitung einer Trendwende hinsichtlich der Reduzierung des Aufkommens von Verpackungsmüll sowie einer Abkehr von der Wegwerfgesellschaft. Entlastung der Kommunen von den Aufgaben der Entsorgung großer Verpackungsmengen (Verpackungen aus Haushaltungen machten etwa die Hälfte des Abfallvolumens und ca. ein Drittel des Abfallgewichts aus). Grundkonzept der Verordnung ist die Inpflichtnahme der Wirtschaft, d. h. der Hersteller, Abfüller und Vertreiber von verpackten Produkten, zur Rücknahme von gebrauchten Verpackungen und Mitwirkung bei deren Entsorgung. Die Verpackungsverordnung legt abfallwirtschaftliche Grundprinzipien fest: Verpackungsabfälle sind in erster Linie zu vermeiden. Sofern sie nicht vermieden werden können, ist der Wiederverwendung und vorrangig der stofflichen Verwertung Vorrang zu geben vor der energetischen Verwertung und der Gemeinwohlverträglichen Beseitigung.

Maßnahmen	Rücknahmepflicht für Transport-, Um- und Verkaufsverpackungen zur stofflichen Verwertung: für Letztvertreiber (Einzelhandel) (§ 6 I VerpackV); Vorvertreiber (Großhandel) und Hersteller (§ 6 II VerpackV); Dispens der Rücknahmepflichten bei Erfassung durch ein "duales System" (§ 6 III VerpackV) (s. u.). Die Verpackungsverordnung legte fest, dass die Erfassungsquote bei Verkaufsverpackungen aus Papier und Pappe anfangs mindestens 30% und ab Juli 1995 mindestens 80% zu betragen habe. Der Vollzug der Verordnung liegt in der Zuständigkeit der Bundesländer.
Folgen	- Einführung von Der Grüne Punkt - Duales System Deutschland AG (DSD AG) für Verkaufsverpackungen. Die DSD AG organisiert seit dem in den Gemeinden die Einsammlung ("gelbe Tonne"), Behandlung und Verwertung von Verkaufsverpackungen. Das System finanziert sich über Lizenzbeiträge von Verpackungsherstellern, Abfüllern und Handelsunternehmen. - Reduzierung des Verbrauchs an Verpackungen um rd. 15% in Deutschland sowie Verwertungsquoten, die über die mit der VerpackV vorgeschriebenen hinausgehen. Die Verpackungsverordnung markierte –zumindest juristisch – die Wende von der Entsorgungs- zur Verwertungsgesellschaft. - Entwicklung neuer Technologien zur Sortierung/Verwertung v. a. von Kunststoffverpackungen, welche auch Vorbild zur Lösung von Sortier- und Aufbereitungsaufgaben in anderen Abfallbereichen wurden (z. B. Altauto, Schrott)

1992	
Klärschlammverordnung (AbfKlärV)	Klärschlammverordnung vom 15. April 1992; zuletzt geändert am 25. April 2002 durch Artikel 2 der Verordnung zur Änderung abfallrechtlicher Nachweisbestimmungen
Klärschlämme sind nicht Bestandteil des Forschungsvorhabens, die AbfKlärV ist hier lediglich der Vollständigkeit halber erwähnt.	

1993	
TA Siedlungsabfall (TASi)	Dritte allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz - Technische Anleitung Siedlungsabfall (TASi) - vom 14. Mai 1993 (in Kraft seit 01. Juni 1993)
Ziel	Oberstes Ziel ist die umweltverträgliche Abfallwirtschaft durch Sicherstellung einer umweltverträglichen, langfristig sicheren und weitestgehend nachsorgefreien Deponierung von Abfällen. Des Weiteren die Reduzierung des Abfallaufkommens und der Versuch einer Rückführung wesentlicher Abfallanteile in den Wirtschaftskreislauf .
Maßnahmen	Anforderungen an den Deponiestandort, Deponieaufbau und -betrieb sowie Anforderungen an die Beschaffenheit der abzulagernden Abfälle (Deponiezuordnungskriterien). Aus der Erkenntnis heraus, dass nach geschaltete technische Maßnahmen wie Barrieren nur begrenzt wirksam und nicht dauerhaft funktionsfähig sein werden, kommt der Beschaffenheit der Abfälle die wichtigste Funktion zu. Entsprechend müssen Abfälle mit biologisch zersetzbaren Bestandteilen wie Hausmüll oder hausmüllähnliche Gewerbeabfälle vor ihrer Ablagerung behandelt, d. h. inertisiert und stabilisiert werden. Organische Bestandteile müssen weitgehend mineralisiert, lösliche Schadstoffe möglichst in stabile unlösliche Stoffe umgewandelt werden. Dazu werden Grenzwerte für Restgehalte an organischen Stoffen (Glühverlust, TOC, Heizwert) sowie Eluate (Auslaugwerte v. a. für Schwermetalle) vorgegeben. Die TASi legte damit ein generelles Deponieverbot für Siedlungsabfälle mit mehr als 5% organischen Bestandteilen ab spätestens 2005 fest.

1994	
Selbstverpfl. AGRAPA	Freiwillige Selbstverpflichtung der AGRAPA für eine Rücknahme und Verwertung gebrauchter graphischer Papiere vom 26. September 1994
Ziel	Steigerung der stofflichen Verwertung graphischer Altpapiere in mehreren Stufen bis 60% ab dem Jahr 2000 . Freiwillige Selbstverpflichtung von Herstellern, Verlegern und Druckindustrie, Importeuren und dem Papiergroßhandel in Deutschland als Vorwegnahme einer drohenden entsprechenden Verordnung.
Maßnahmen	Verleger und Druckindustrie sowie Importeure von Papier und Papierprodukten und der Papiergroßhandel verpflichten sich, in ihrem jeweiligen Tätigkeitsbereich soweit wie möglich auf den Einsatz altpapierhaltiger Produkte/Papiere hinzuwirken. Des Weiteren Verpflichtung zum Einsatz von Fertigungsmaterialien und -hilfsmitteln v. a. Druckfarben, Kleber und Drucktechniken, die eine ordnungsgemäße, schadlose und verarbeitungstechnisch möglichst optimale Verwertung graphischer Papiere nicht behindern; zudem zur Förderung der Forschung und Entwicklung von Maßnahmen zur Verbesserung der Qualität graphischer Altpapiere, sowohl bei der Papiererzeugung, der Erfassung und Sortierung als auch bei der Aufbereitung und Verwertung. Zur Kontrolle der eingegangenen Verpflichtungen wurde der so genannte Altpapier-Rat gegründet. Dieses Gremium steht zum einen als Plattform für Fragen zur Umsetzung der Selbstverpflichtung zur Verfügung. Zum anderen ist es seine Aufgabe, Rechenschaft über die Erfüllung der Verpflichtungen abzulegen, insbesondere dem BMU kalenderjährlich entsprechende prüffähige Unterlagen zur Verfügung zu stellen.
Hintergrund	Die Papierindustrie kam einer drohenden Verordnung für die Produkthaftung von graphischen Papieren, die mit der Verpackungsverordnung noch nicht erfasst waren, durch eine freiwillige Selbstverpflichtung zuvor. Am 14. Oktober 1994 trafen die Arbeitsgemeinschaft Graphische Papiere (AGRAPA) - ein Zusammenschluss von Verbänden und Organisationen der Papierherstellenden Industrie, der Papierimporteure, des Papiergroßhandels, der Druckindustrie sowie der Verleger - und der damalige Bundesumweltminister Töpfer eine Vereinbarung über eine freiwillige Selbstverpflichtung zur Rücknahme und Verwertung gebrauchter graphischer Papiere. Die reale Entwicklung der Verwertungsquote im Zeitraum von 1994 bis 2000 hat die in die Selbstverpflichtung gesetzten Erwartungen deutlich übertroffen. Derzeit liegt die Verwertungsquote über 80%. Unter Berücksichtigung dieser positiven Entwicklung hat die AGRAPA im September 2001 ihre Selbstverpflichtung aus dem Jahr 1994 bekräftigt und sichert außerdem zu, die Verwertungsquote nunmehr dauerhaft auf dem erreichten Niveau von 80% (+/- 3%) zu halten. Zur Erfüllung der Förderung von Forschung und Entwicklung wurde eine Modellversuchsreihe für die getrennte Erfassung grafischer Altpapiere durchgeführt. Im Ergebnis zeigte sich die Akzeptanz der Bevölkerung und es konnten Kostenoptimierungspotenziale für die Erfassung graphischer Altpapiere aufgezeigt werden. Die AGRAPA verpflichtet sich daher, den öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträgern eine umfassende Beratung bezüglich adäquater Sammelsysteme anzubieten zur weiteren kostengünstigen Steigerung der Altpapierverwertung.

1995	
Selbstverpfl. PVC-Industrie	Freiwillige Selbstverpflichtung des Europäischen Verbandes der PVC-Hersteller (ECVM) zur Optimierung der Entsorgung von PVC-Abfällen
Ziel	Schaffung von Entsorgungslösungen für PVC-Abfälle
Maßnahmen	Festlegung von strengen Grenzwerten für eine Reihe von Stoffen, die mit der PVC-Herstellung einhergehen; diese sollten bis 1998 umgesetzt werden. Die Ziele wurden weitgehend, jedoch nicht vollständig erreicht (s. freiwillige Selbstverpflichtung PVC-Industrie 2000)
Selbstverpfl. IT-Geräte	Freiwillige Selbstverpflichtung für IT-Geräte der AG CYCLE (Zusammenschluss von Herstellern und Importeuren unter dem Dach des Verbandes Deutscher Maschinen- und Anlagenbau (VDMA)) im Herbst 1995
Ziel	Rücknahme, Verwertung und Beseitigung gebrauchter IT-Geräte. Vorrang der Wiederverwendung der gebrauchten elektronischen und elektrischen Produkte indem sie so hergestellt werden, dass sie leicht repariert und aufgrund modularer Bauweise leicht zerlegt werden können.
Maßnahmen	Bereitstellung eines Systems, das die kostenlose Rücknahme und Verwertung von IT-Altgeräten garantieren soll.

1996	
Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (KrW-/AbfG)	Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Beseitigung von Abfällen (KrW-/AbfG) vom 27. September 1994 (BGBl. I Nr. 66 vom 06.10.1994 S. 2705) (zuletzt geändert am 25. Januar 2004); in Kraft am 7. Okt. 1996 (mit ergänzendem untergesetzlichen Regelwerk), damit Ablösung des AbfG von 1986
Ziel	Gegenüber dem alten AbfG wird eine klare Hierarchie der Abfallbehandlung vorgeschrieben: Abfälle sind vorrangig zu vermeiden ; sofern das nicht möglich ist, sind ansonsten Abfälle stofflich oder energetisch zu verwerten (Abfälle zur Verwertung); ist auch dies nicht möglich, sind Abfälle umweltverträglich zu beseitigen (Abfälle zur Beseitigung). Mit dem prioritären Vermeidungsgebot wird die Produktverantwortung von Herstellern festgelegt. Ebenfalls neu definiert ist der Abfallbegriff mit der Unterscheidung von Abfällen zur Verwertung und zur Beseitigung. Definierter Zweck des Gesetzes ist die Förderung der Kreislaufwirtschaft zur Schonung der natürlichen Ressourcen durch Effizienzsteigerungen (Abfallvermeidung) und die Sicherung der umweltverträglichen Verwertung und Beseitigung von Abfällen . Vorrang hat dabei die umweltverträglichere Entsorgungsart; zu berücksichtigen sind dabei neben dem Ziel der Schonung der natürlichen Ressourcen, die zu erwartenden Emissionen, die einzusetzende oder zu gewinnende Energie und die Anreicherung von Schadstoffen in Erzeugnissen, Abfällen zur Verwertung oder daraus gewonnenen Erzeugnissen. Des Weiteren ist eine hochwertige Verwertung anzustreben.
Maßnahmen	Die im KrW-/AbfG verankerte Produktverantwortung kann sowohl durch ordnungsrechtliche Maßnahmen (Gesetze, Verordnungen, Verwaltungsvorschriften) als auch durch freiwillige Selbstverpflichtungen der Hersteller und Vertrieber umgesetzt werden. Der Vollzug und die Überwachung des KrW-/AbfG obliegt den einzelnen Bundesländern und den örtlich dafür zuständigen Abfallbehörden in eigener Verantwortung. Der Überwachungsgrad der Abfallentsorgung hängt vom Gefährdungspotenzial der Abfälle ab. Mit der Abfallverzeichnisverordnung (AVV, in Kraft seit 01.01.02,

	ersetzt den Europäischen Abfallkatalog (nach EAK-Verordnung von 1996) und die "Liste der gefährlichen Abfälle" (HWL von 1994 bzw. Bestimmungsverordnung für besonders überwachungsbedürftige Abfälle von 1996)) werden Abfälle in die Kategorien nicht überwachungsbedürftig (z. B. Hausmüll, hausmüllähnliche Gewerbeabfälle), überwachungsbedürftig (z. B. Altreifen oder Schlämme aus betriebseigener Abwasserbehandlung) und besonders überwachungsbedürftig (in der Verordnung mit * gekennzeichnet, z. B. Blei-, Nickel- oder Cadmiumhaltige Batterien, Bremsflüssigkeiten, Druckfarben, Klebstoffe und Kunstharze, Leuchtstoffröhren, Photochemikalien, etc.) eingeteilt. Weitere Detaillierungen zum KrW-/AbfG liefert das weitere untergesetzliche Regelwerk. Neben der AVV sind dies die Bestimmungsverordnung überwachungsbedürftiger Abfälle zur Verwertung (BestüV), die Nachweisverordnung (NachwV), die Transportgenehmigungsverordnung (TgV), die Abfallwirtschaftskonzepte- und -bilanzverordnung (AbfKobiV), die Entsorgungsfachbetriebeverordnung (EfbV) und die Entsorgergemeinschaftenrichtlinie.
Die aufgeführten Verordnungen werden nicht im Detail erläutert, da sie nicht bzw. nur indirekt mit Maßnahmen verbunden sind, die für das in diesem Vorhaben relevante Siedlungsabfallaufkommen relevant sind.	
Maßnahmen	Durchsetzung der Produktverantwortung für große Stoffströme - Freiwillige Selbstverpflichtungen der Industrie: Auf der Grundlage der §§ 23 ff. KrW-/AbfG werden dem Bund Kompetenzen zur Einführung von Regelungen übertragen, die auf eine Gewährleistung der Produktverantwortung des Herstellers auch über die Nutzungsphase hinaus zielen. Damit sollen Anreize in der Wirtschaft geschaffen werden, bereits bei der Produktgestaltung und bei der Organisation des Absatzes die Konsequenzen für die Entsorgung zu beachten. Große Stoffströme werden hiervon jedoch nicht oder nur unzureichend erfasst. Hierdurch werden die Möglichkeiten eines nachhaltigen Abfallmanagements durch einen Übergang zu einer Kreislaufwirtschaft eingeschränkt. Dies gilt z. B. für die Bereiche des Elektronikschrotts, des Bauschutts, der Altfahrzeuge sowie der Verpackungen.
Hintergrund	Eingeleitet unter anderem durch das KrW-/AbfG konnten in Deutschland weltweit die höchsten Verwertungsquoten erzielt werden. Jeweils mehr als die Hälfte aller Siedlungs- und Produktionsabfälle werden bereits jetzt verwertet. Bei einzelnen Abfällen liegen die Recyclingquoten weit höher, wie z. B. bei graphischen Papieren bei 80%. Bei Getränkeverpackungen wird die neu eingeführte Pfandpflicht den Mehrweganteil stabilisieren.
Freiwillige Selbstverpflichtung Bauwirtschaft	Die in der Arbeitsgemeinschaft „Kreislaufwirtschaftsträger Bau (KWTB) e.V.“ zusammengeschlossenen Verbände des Baugewerbes, der Architekten und Ingenieure, der Abbruchunternehmen und der Baustoffaufbereiter haben sich im November 1996 im Rahmen einer Freiwilligen Selbstverpflichtung gegenüber der Bundesregierung verpflichtet, die Menge der abgelagerten, verwertbaren Bauabfälle bis 2005 zu halbieren und einen jährlichen Monitoring-Bericht mit Angaben zu Aufkommen und Verbleib vorzulegen.
Ziel	Umweltgerechte Verwertung von Bauabfällen sowie Verringerung der Bauabfallmenge durch Recycling und Beschränkung der Beseitigung. Die Verpflichtung zur Halbierung der zum Stand 1995 abgelagerten, verwertbaren Bauabfälle bis 2005 entspricht einer jährlichen Entlastung der Deponien um 23 Mio. t Bauabfälle bzw. einer zu erreichenden Verwertungsquote von etwa 64%.
Maßnahmen	Minimierung des Anfalls von Bauabfällen durch eine möglichst frühzeitige Tren-

	nung der Abfallströme in Wertstofffraktionen auf den Baustellen und getrennte Entsorgung dieser. Dafür Entwicklung innovativer Abbruch- und Aufbereitungstechniken, die einen möglichst hohen Verwertungsgrad für einen möglichst gleichwertigen Einsatzzweck im Sinne einer nachhaltigen Bauwirtschaft sicherstellen.
Hintergrund	Die für 1998 erzielte Verwertungsquote von 71,6% liegt deutlich über den Erwartungen. Sie entspricht bereits jetzt einem europäischen Ziel, das erst für das Jahr 2010 angestrebt wird. Ausgehend von den für 1995 verfügbaren Daten fielen in der BRD jährlich ca. 85 Mio. t Bauschutt, Straßenaufbruch und Baustellenabfälle an (ausgenommen Bodenaushub). Davon wurden ca. 31 Mio. t verwertet und 54 Mio. t deponiert. Bei Berücksichtigung von ca. 8 Mio. t schadstoffbelasteter, nicht verwertbarer Bauabfälle, verbleiben ca. 46 Mio. t verwertbare Bauabfälle. In Deutschland werden jährlich 700 bis 800 Mio. t mineralische Baustoffe verbraucht. Der Bestand mineralischer Baurohstoffe im Bauwerksbestand des Hoch- und Tiefbaus beträgt rund 50 Mrd. t und wird bis 2010 auf über 60 Mrd. t anwachsen. Aufgrund der Altersstruktur des Gebäude- und Infrastrukturbestandes wird die jährliche mineralische Abbauabfallmenge (ohne Bodenaushub) bis 2010 von derzeit rund 80 Mio. t auf ca. 100 bis 130 Mio. t ansteigen. Schon 1996 wurden bereits etwa 70% der anfallenden mineralischen Baurestmassen recycelt. Bei einer gleich bleibenden Recyclingquote ließe sich damit bis 2010 die Recycling-Baustoff-Produktion auf etwa 90 Mio. t/a steigern. Voraussetzung für eine Steigerung der Baustoff-Recyclingmengen ist allerdings, dass die Recycling-Baustoff-Industrie durch Eigen- und Fremdüberwachung qualitativ hochwertige Erzeugnisse herstellt und der Staat Rahmenbedingungen vorgibt, ohne durch überzogene Anforderungen Verwertungsmöglichkeiten einzuschränken. Um den gegenwärtigen Stand zu erhalten und nicht zu gefährden, ist ein klares Bekenntnis der Politik zum Vorrang der Ressourcenschonung notwendig. Eine Anerkennung von Recycling-Baustoffen als Produkte ist für deren Akzeptanz im Markt unumgänglich. Inwieweit es auf diese Weise zu einer Entlastung von Deponien und zu einer Durchsetzung aufbereiteter Baustoffe am Markt kommt, bleibt abzuwarten. Negativ zu bewerten ist, dass die im Hauptverband der Deutschen Bauindustrie organisierten Bauunternehmen nicht in die Selbstverpflichtung einbezogen sind. Nach Auffassung des Umweltrates sollte aber auch von diesen großen Unternehmen bekannt sein, wie sie abfallwirtschaftliche Ziele erfüllen und eine größtmögliche Verwertbarkeit der anfallenden Bauabfälle erreichen wollen (Umweltgutachten 1998). Insgesamt muss für den Bausektor trotz der Selbstverpflichtung aber ein „Verordnungsnotstand“ konstatiert werden. Notwendig ist ein Verordnungsentwurf, der dem Gedanken des KrW-/AbfG gerecht wird.

1998	
Novelle Verpackungsverordnung (VerpackV)	Novelle der Verordnung über die Vermeidung und Verwertung von Verpackungsabfällen (VerpackV) vom 21. August 1998; am 1. Januar 1999 in Kraft
Ziel	Sicherung und Fortsetzung der durch die bisherige Verordnung eingetretenen positiven Entwicklung und Umsetzung der EG-Verpackungsrichtlinie.
Maßnahmen	Neu sind folgende Regelungen: - auch Hersteller und Vertreiber, die sich nicht am DSD beteiligen, müssen die Erfüllung von Verwertungsquoten gegenüber den Landesbehörden nachweisen.

	- Ausschreibungspflicht der Entsorgungsleistungen durch DSD. Kosten sind offen zu legen. - die Verwertungsnachweise beziehen sich nur noch auf die Mengen der Verpackungen, für die sich Hersteller oder Vertreiber an einem solchen System beteiligen (lizenzierte Mengen). Die Pflicht zur Abstimmung dualer Systeme mit bestehenden Einrichtungen der öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger wird beibehalten, darf jedoch der Vergabe der Entsorgungsleistungen im Wettbewerb nicht entgegenstehen. - Verpackungen schadstoffhaltiger Waren – beispielsweise von bestimmten Pflanzenschutzmitteln – wurden neu in den Anwendungsbereich der Verordnung aufgenommen. Damit entsprechen die Regelungen dem weiten Anwendungsbereich der EG-Verpackungsrichtlinie. - Ebenfalls in Umsetzung der EG-Verpackungsrichtlinie werden in drei zeitlichen Abstufungen Grenzwerte für die Konzentration von Schwermetallen in Verpackungen und Verpackungsbestandteilen festgelegt. Verpackungen, die diese Werte überschreiten, dürfen nach einer Übergangszeit grundsätzlich nicht mehr in Verkehr gebracht werden. - Vorgaben für ein freiwilliges Kennzeichnungssystem zur Identifizierung der verschiedenen Verpackungsmaterialien sollen Sammlung, Wiederverwendung und -verwertung erleichtern und zugleich zu einer Harmonisierung der Verpackungskennzeichnung in der Europäischen Union beitragen. - Die Verwertungsanforderungen wurden den Grundsätzen des neuen Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes angepasst. Die Quoten für die stoffliche Verwertung von Verkaufsverpackungen werden in der bisherigen anspruchsvollen Höhe weitgehend beibehalten. Durch eine zeitliche Staffelung der Quoten bis 1999 soll dem Aufbau entsprechender Kapazitäten angemessen Rechnung getragen werden. Im Jahresmittel müssen mindestens folgende Mengen an Verpackungen in Masseprozent einer stofflichen Verwertung zugeführt werden: Glas: ab 1.1.1996: 70%; ab 1.1.1999: 75% Weißblech: ab 1.1.1996: 70%; ab 1.1.1999: 70% Aluminium: ab 1.1.1996: 50%; ab 1.1.1999: 60% PPK: ab 1.1.1996: 60%; ab 1.1.1999: 70% Verbunde: ab 1.1.1996: 50%; ab 1.1.1999: 60%
Hintergrund	Am 24.06.98 wurde der langwierige Prozess der Novellierung der Verpackungsverordnung endgültig abgeschlossen. Die Neufassung löst die Verordnung zur Vermeidung von Verpackungsabfällen vom 12.06.91 ab. Sie löst unter anderem das Problem der „Trittbrettfahrer“, fördert den Wettbewerb im Entsorgungsbereich und wird so die bisher erzielten Vermeidungs- und Verwertungserfolge weiter ausbauen. Zugleich wurde die Verordnung an die Vorgaben der EG-Verpackungsrichtlinie 94/62/EG über Verpackungen und Verpackungsabfälle vom 20. Dez. 1994 angepasst. <i>Aktuell zu Getränkeverpackungen:</i> Der Deutsche Bundestag hat am 4. Juli 2003 den von der Bundesregierung vorgelegten Entwurf zur Novellierung der Verpackungsverordnung beschlossen. Damit die neue Verordnung in Kraft treten kann, bedarf es noch der Zustimmung des Bundesrates. Der Bundesrat wird sich mit der Novelle der Verpackungsverordnung im Januar 2004 befassen, bis heute (Stand August 2004) kam es noch nicht zur Verabschiedung. Ziel der Änderungsverordnung ist es, die nach der geltenden Verpackungsverordnung ab 1. Januar 2003 in einzelnen Getränkebereichen eingetretene Pfandpflicht für Einweg-Getränkeverpackungen zu vereinfachen. Die Pfandpflicht soll

	künftig grundsätzlich für alle Einweg Getränkeverpackungen gelten. Ausgenommen werden sollen hiervon ökologisch vorteilhafte Einweg-Getränkeverpackungen sowie Verpackungen von Wein, Spirituosen und bestimmten diätetischen Lebensmitteln.
Bioabfallverordnung (BioAbfV)	Verordnung über die Verwertung von Bioabfällen auf landwirtschaftlich, forstwirtschaftlich und gärtnerisch genutzten Böden (BGBl. I Nr. 65 vom 28.09.1998 S. 2955); zuletzt geändert am 25. April 2002 durch Artikel 3 der Verordnung zur Änderung abfallrechtlicher Nachweisbestimmungen (BGBl. I Nr. 28 vom 30.04.2002 S. 1488)
Ziel	Regelung der Verwertung von Bioabfällen: - strenge Schadstoffgrenzwerte, die bei der Abgabe von Komposten oder anderen Bioabfällen zu beachten sind - Vorgaben zur Hygiene der Bioabfallkomposte und Gärreste. Diese dürfen nicht zur Verbreitung tierischer und pflanzlicher Krankheitserreger beitragen Aufbringungsverbote auf Böden, die bereits stärker durch Schadstoffe belastet sind
Maßnahmen	Bioabfallkomposte (und Gärreste) müssen regelmäßig auf Schadstoffgehalte untersucht werden. Daneben müssen grundsätzlich auch die Aufbringungsflächen bei erstmaliger Aufbringung von Bioabfällen auf Schadstoffgehalte untersucht werden. Eine Aufbringung von Bioabfällen auf vorbelastete Flächen ist nicht zulässig. Lieferanten des Bioabfalls müssen regelmäßig die Untersuchungsergebnisse der zuständigen Behörde vorlegen und ihre Abnehmer benennen.
Hintergrund	Dem Bioabfallaufkommen wird eine besondere Bedeutung im Rahmen der Abfallvermeidung und -verwertung beigemessen. Obwohl in vielen Bundesländern die Eigenkompostierung als ein Instrument der Abfallvermeidung gefördert wird, hat sich das Bioabfallaufkommen in nahezu allen Bundesländern erhöht und damit einen Bundesdurchschnitt von 86,9 kg/E*a gegenüber 81,7 kg/E*a im Erhebungsjahr 1999 erreicht. Bereits mit der Verabschiedung der TAsi wurde teilweise eine getrennte Erfassung von Bioabfällen eingeleitet (da spätestens ab Juni 2005 biologisch abbaubare Abfälle nicht mehr unvorbehandelt abgelagert werden dürfen). 1997 waren in Deutschland bereits mehr als 517 Kompostanlagen unterschiedlicher Ausbaugröße in Betrieb – im Vergleich zu 1990 hat sich die Anlagenzahl mehr als verdreifacht. Die Anlagenkapazität stieg von etwa 1 Mio. t auf über 6 Mio. t. Die hergestellte Menge Kompost lag damit zuletzt bei etwa 2-3 Mio. t. Die jährlichen Wachstumsraten lagen bei rund 30%. Damit hat die getrennte Erfassung von Bioabfällen und deren Verwertung deutlich zur Reduzierung der Restabfallmengen und des zu deponierenden Abfallaufkommens beigetragen.

1998 (2001)	
Batterieverordnung (BattV)	Batterieverordnung vom 27. März 1998 (BGBl. I, S. 658 ff) am 1. Okt. 1998 in Kraft; die mit der Ersten Verordnung zur Änderung der Batterieverordnung vom 26.06.2001 verbundenen Änderungen traten am 01. Sept. 2001 in Kraft, eine spezielle Übergangsregelung für den Versandhandel in §12 am 01. Juli 2002
Ziel	Verringerung des Eintrags von Schadstoffen in Abfälle durch Batterien. Dazu dürfen bestimmte schadstoffhaltige Batterien nicht in Verkehr gebracht werden, gebrauchte Batterien müssen zurückgenommen und entsprechend den Vorschriften des KrW-/AbfG ordnungsgemäß und schadlos verwertet oder nicht verwertbare Batterien gemeinwohlverträglich beseitigt werden und Batterien sollen

	mehrfach verwendbar und technisch langlebig hergestellt werden.
Maßnahmen	Einrichtung eines verbrauchernahen Netzes von Annahmestellen für die Rückgabe gebrauchter Batterien und Einführung eines Pflichtpfandes für Starterbatterien. Die Hersteller von Geräten sind verpflichtet, die Batterien und Akkumulatoren so einzubauen, dass sie mühelos erneuert bzw. entfernt werden können. Pflichten der Vertreiber Der Handel muss alle von ihm vertriebenen Batterien nach Gebrauch vom Verbraucher unentgeltlich zurücknehmen und den Herstellern zur Verwertung oder Beseitigung überlassen. Der Vertreiber hat den Verbraucher über die Rückgabemöglichkeiten zu informieren. Vertreiber von Starterbatterien für Kraftfahrzeuge sind verpflichtet, ein Pfand von 7,50 Euro einschl. Umsatzsteuer vom Endverbraucher zu erheben, wenn dieser beim Kauf der neuen Batterie keine gebrauchte Starterbatterie zurückgibt. Das Pfand ist bei der Rückgabe der Starterbatterie zu erstatten. Schadstoffhaltige Batterien sind nach § 11 zu kennzeichnen. Das Zeichen, eine durchgestrichene Mülltonne, muss auf dem Produkt oder auf der Verpackung gut sichtbar sein. Pflichten der Hersteller Batterien dürfen nur in Verkehr gebracht werden, wenn die Rückgabemöglichkeit durch den Endverbraucher sichergestellt ist. Sicherstellen kann der Hersteller dies, indem er sich entweder an dem gemeinsamen Rücknahmesystem (Stiftung Gemeinsames Rücknahmesystem Batterien, GRS) beteiligt oder ein eigenes flächendeckendes Rücknahmesystem für die von ihm in Verkehr gebrachten Batterien nach § 4 (3) einrichtet. (Hinsichtlich der Anforderungen an die Rücknahme und Entsorgung unterliegt er den gleichen Anforderungen wie das gemeinsame Rücknahmesystem nach § 4 (2)). Die von den Vertreibern oder einem öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger zurückgenommenen Batterien müssen unentgeltlich zurückgenommen und entsprechend den Vorschriften des KrW-/AbfG verwertet bzw. nicht verwertbare Batterien beseitigt werden. Verbot des Inverkehrbringens bestimmter Batterien (insbesondere der gängigsten Batterien wie Alkalimangan und Zink-Kohle-Rundzellen, wenn deren Quecksilbergehalt 0,0005 Ma% übersteigt. Knopfzellen und aus Knopfzellen zusammengesetzte Batterien mit einem Quecksilbergehalt von höchstens 2 Ma% sind von diesem Verbot ausgenommen. Ferner ist verboten, Geräte mit fest eingebauten schadstoffhaltigen Batterien (z. B. Blei- oder Nickel-Cadmium-Akkus) zu verkaufen). Pflichten der Verbraucher Die Verbraucher sind verpflichtet, gebrauchte Batterien an den Handel oder an von den öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträgern eingerichteten Rückgabestellen (z. B. Schadstoffmobile und Recyclinghöfe) zurückzugeben (Verbot eine Batterie in den Hausmüll zu werfen).
Hintergrund	Batterien sind eine der bedeutendsten Produktgruppen für die Schwermetallbelastung im Hausmüll (der Beitrag von Batterien zum gesamten Schwermetalleintrag in den Hausmüll betrug für Zink 10%, für Nickel 67% und für Cadmium 85%). Der Verwertungsanteil der getrennt gesammelten Batterien, der im Jahr 1999 noch bei 19% lag, konnte im Jahr 2000 auf 33%, 2001 auf 54% und 2002 auf 66% gesteigert werden. Mit der Herabsetzung des Quecksilbergehaltes durch die Erste Verordnung zur Änderung der BattV vom 26.06.2001 sind die Verwertungsmöglichkeiten von Altbatterien wesentlich verbessert worden. Entsprechend der Verpflichtung aus § 4 (2) BattV haben die Hersteller und Vertreiber von Batterien das gemeinsame Rücknahmesystem GRS Batterien (Stif-

	tung Gemeinsames Rücknahmesystem Batterien) gegründet. Dieses System sammelt für mehr als 530 Hersteller und Importeure bundesweit bei rund 160.000 Geschäften und den öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträgern alte Batterien ein und sorgt für die Verwertung oder umweltgerechte Beseitigung. Einige Hersteller haben auch von der Möglichkeit Gebrauch gemacht, nach § 4 (3) BattV eigene Rücknahmesysteme einzurichten. Dabei bedienen sie sich in der Regel Drittbeauftragter, d.h. Entsorgungsunternehmen wie z.B. Vfw-REBAT, die für sie Batterien zurücknehmen und die Verwertungspflichten erfüllen.
--	--

2000	
PCB/PCT- Abfall- verordnung (PCBAbfallIV)	Verordnung über die Entsorgung polychlorierter Biphenyle, polychlorierter Terphenyle und halogener Monomethyldiphenylmethane (PCBAbfallIV) vom 26. Juni 2000 (BGBl. I Nr. 28 vom 29.06.2000 S. 932); zuletzt geändert am 16. April 2002 durch Artikel 3 der Verordnung zur Änderung abfallrechtlicher Bestimmungen zur Altöleentsorgung (BGBl. I Nr. 26 vom 26.04.2002 S. 1360)
Ziel	Ausschleusen der noch in Gebrauch befindlichen PCB - deren Produktion und Verkauf seit langem verboten ist - aus dem Wirtschaftskreislauf.
Maßnahmen	Mit dem Inkrafttreten der Verordnung am 30. Juni 2000 müssen Geräte (Transformatoren) mit Flüssigkeiten ab 1 l mit einem PCB-Gehalt von mehr als 50 mg/kg dekontaminiert oder entfernt und beseitigt werden. In Einzelfällen mögliche Ausnahmen dürfen bis längstens Ende 2010 gelten. Andere Abfälle mit einem PCB-Gehalt über 50 mg/kg (wie z. B. Altkabelummantelungen) sind zu beseitigen und dürfen nicht verwertet werden. Erzeugnisse mit PCB als Dielektrikum (Kleinkondensatoren) mit weniger als 100 ml können bis zum Ende ihrer Lebensdauer verwendet werden, bei einem Gehalt von 100 ml bis 1 l befristet bis Ende 2010. Die Beseitigungspflicht für PCB-haltige Abfälle gilt nicht, soweit PCB von Erzeugnissen abgetrennt und einer Beseitigung zugeführt werden. Für die Entsorgung von PCB-haltigen Transformatoren ist die vorherige Entfernung der PCB-haltigen Flüssigkeit und deren getrennte Beseitigung vorgeschrieben. Aus anderen Erzeugnissen, insbesondere Geräten der Informationstechnik und der Bürokommunikation, elektrischen Geräten oder Leuchtstofflampen, sind bei der Entsorgung, soweit technisch möglich und wirtschaftlich zumutbar, PCB-haltige Bauteile zu entfernen und getrennt zu beseitigen. Ebenso sind, soweit technisch möglich und wirtschaftlich zumutbar, beim Entstehen von Bauabfällen vor deren Sortierung PCB-haltige Fraktionen zu entfernen und getrennt zu beseitigen. Ergänzend wird die Verpflichtung zur Einhaltung der einschlägigen Vorschriften betreffend den Brand- und Explosionsschutz geregelt. Enthalten ist auch die Verpflichtung der PCB-Beseitigungsunternehmen, über die beseitigten PCB-Abfälle Buch zu führen und dieses Register den Behörden und der Öffentlichkeit zugänglich zu machen. Schließlich wird die Kennzeichnung PCB-haltiger Transformatoren vorgeschrieben.
Hintergrund	Die Verordnung setzt zusammen mit Änderungen in der Chemikalien-Verbotsverordnung und der Gefahrstoffverordnung die Richtlinie 96/59/EG des Rates vom 16. Sept. 96 über die Beseitigung polychlorierter Biphenyle und polychlorierter Terphenyle (PCB/PCT) vollständig um. Diese Richtlinie dient der Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über die kontrollierte Beseitigung der PCB, die Dekontaminierung oder Beseitigung PCB-haltiger Geräte und/oder die Beseitigung von PCB-Abfall und zielt auf ihre vollständige Beseitigung ab. Hierzu werden PCB, PCB-haltige Geräte und PCB-Abfall defi-

	niert, die der Dekontaminierung und Beseitigung vorausgehenden Schritte bestimmt, die Mindestanforderungen an die Dekontaminierung und Beseitigung selbst vorgegeben sowie festgelegt, wer unter welchen Voraussetzungen mit diesen Stoffen umgehen darf. PCB und PCT sind Bezeichnungen für eine Stoffgruppe von schwer abbaubaren chlorierten aromatischen Verbindungen. Diese Stoffe reichern sich in der Nahrungskette an und können zu erheblichen Gesundheits- und Umweltschäden führen. Aufgrund ihrer günstigen Elektroisolier- und Kühl- sowie ungünstigen Brandeigenschaften, wurden die Stoffe hauptsächlich als Transformatoröle (Askarele) und Hydraulikflüssigkeiten im Bergbau verwendet. Die in der Verordnung erfassten Diphenyle fanden ebenfalls als Hydraulikflüssigkeiten im Bergbau Verwendung. Im Brandfall können aus PCB und PCT toxische chlorierte Dibenzofurane entstehen. In der BRD werden diese Stoffe seit 1983 nicht mehr produziert. Auf internationaler Ebene haben die Minister der Nordseeanrainerländer bei der 3. Internationalen Nordseeschutzkonferenz (INK) im März 1990 Maßnahmen beschlossen, um zu verhindern, dass PCB und gefährliche PCB-Ersatzstoffe in die Meeresumwelt gelangen. Zu diesem Zweck sind Maßnahmen zur möglichst baldigen schrittweisen Einstellung der Verwendung und zur umweltverträglichen Vernichtung aller identifizierbaren PCB zu ergreifen, deren Ziel die völlige Vernichtung ist. Sie können sich auch auf die vorläufige Möglichkeit einer sicheren unterirdischen Ablagerung von Kondensatoren und leeren Transformatoren in tiefen trockenen Felsformationen erstrecken. Dabei ist sicherzustellen, dass der Zeitraum zwischen der Außerdienststellung und der Vernichtung möglichst kurz ist. Mit der Verordnung kommt die BRD auch diesen Verpflichtungen nach.
--	--

2000/2001	
PVC-Industrie	Freiwillige Selbstverpflichtung vom März 2000 der europäischen PVC-Branche, vertreten durch die Europäischen Verbände ECVN, ECPI, ESPA und EUCP zur nachhaltigen Entwicklung beizutragen; ergänzt in einer neuen Fassung durch zusätzlich Punkte im September 2001 (in Deutschland unterstützt durch die Arbeitsgemeinschaft PVC und Umwelt - AgPU)
Ziel	Die freiwillige Verpflichtung basiert auf dem Prinzip des verantwortlichen Handelns (Responsible Care) hinsichtlich der Herstellungs- und Nutzungsphase von PVC-Produkten sowie deren Entsorgung. Ziele im Einzelnen sind: - Reduzierung der Produktion und der Verwendung bestimmter Additive - Festsetzung anspruchsvoller Mengenziele für das Recycling - Beitrag der Industrie zu den Mehrkosten der Müllverbrennung - ein voll funktionsfähiger Finanzierungsmechanismus - Reduzierung des Rohstoff- und Energieverbrauchs, wo ökonomisch und ökologisch erforderlich - Überprüfung von Fortschritten auf jährlicher Basis - Minimierung der Umweltauswirkungen durch Erfüllung der ECVN-Chartas für Suspensions- und Emulsions-Verfahren
Maßnahmen	Verbesserung der Produktionsverfahren und der Produkte; investieren in Technologien, in Emissions- und Abfallminderungsmaßnahmen; Förderung von Abfallerfassung und -verwertung; kontinuierliche Verbesserung des Produktmanagements in sämtlichen Phasen des Lebenszyklus von PVC. Für die einzelnen Zielgruppen sind damit folgende Maßnahmen verbunden: PVC-Verarbeiter:

	Förderung der Substitution von Blei-Stabilisatoren bis 2015; Verständigung bezüglich des Ausstiegs aus der Verwendung von Cadmium; Förderung von Synergien zwischen Produkt-Recycling-Projekten. Aktive Unterstützung des Konzeptes einer integrierten Abfallentsorgung, das auf eine Maximierung der effizienten Nutzung von Rohstoffen und auf die Anwendung der jeweils nachhaltigsten Option am Ende eines Lebenszyklus abzielt. Vinyl 2010 und seine Mitgliedsverbände werden mit allen Interessengruppen bei der Erforschung, Entwicklung und Umsetzung der erforderlichen Technologien zur Erreichung dieses Ziels zusammenarbeiten. Aufgrund der Entwicklung neuer Technologien der werkstofflichen und rohstofflichen Verwertung wird die Gesamtverwertungsmenge für Nachgebrauchs-PVC-Abfälle in Europa nach Schätzungen 200.000 t bis zum Jahr 2010 betragen. Hersteller von Stabilisatoren: Einstellung des Verkaufs von Cadmium-Stabilisatoren in der Europäischen Union bis 2001. Fortsetzung der Zusammenarbeit mit der Europäischen Kommission auf dem Gebiet der gezielten Risikoabschätzungen. Die Vereinigung Europäischer Stabilisatorhersteller (ESPA) hat sich verpflichtet, erste Risikoabschätzungen zu Bleistabilisatoren bis 2004 durchzuführen, jährliche Statistiken über den Stabilisatoreinsatz vorzulegen sowie weiter an der Entwicklung alternativer Stabilisatoren zu arbeiten. Fortsetzung der Erforschung und Entwicklung von alternativen Stabilisatoren als Ersatz für die weit verbreiteten und hocheffektiven Blei-Stabilisatorsysteme im Rahmen der Verpflichtung zur Substituierung von Blei-Stabilisatoren bis 2015. Erstellung jährlicher Statistiken über den Stabilisator-Verbrauch durch die PVC-Verarbeiter.
Erläuterung	Blei aus PVC-Stabilisatoren wird auf Anteile zwischen 1% und 28% am gesamt im kommunalen Abfall befindlichen Blei geschätzt. PVC-Bleistabilisatoren sind nach Batterien und Akkus die bedeutendste industrielle Quelle für die Bleibelastung des Abfalls. Unter dem Druck der Umweltschützer, aber auch durch verbesserte Stabilisatorrezepturen ist der Einsatz von Cadmium für Stabilisatoren in Europa von 600 t pro Jahr (1992) auf 50 t pro Jahr (1998) zurückgegangen. Die Industrie hat sich verpflichtet, die Verwendung von Cadmium-Stabilisatoren ab 2001 einzustellen. Das umfasst nicht die Importe aus Drittländern.

2001	
Abfallablagereungsverordnung (AbfAbIV)	Verordnung über die umweltverträgliche Ablagerung von Siedlungsabfällen (BGBl. I Nr. 10 vom 27.02.2001 S. 305); zuletzt geändert am 24. Juli 2002 durch Artikel 2 der Verordnung über Deponien und Langzeitlager und zur Änderung der Abfallablagereungsverordnung
Ziel	Sicherung, dass auf Deponien nur noch Abfälle abgelagert werden, von denen auch langfristig keine Probleme für Boden, Grundwasser, Luft und Klima ausgehen können. Es soll verhindert werden, dass Hausmüll und hausmüllähnliche Gewerbeabfälle ohne Vorbehandlung deponiert werden, wie dies derzeit immer noch in großem Umfang geschieht.
Maßnahmen	Ab dem 01. Juni 2005 dürfen keine unvorbehandelten biologisch abbaubaren Abfälle mehr abgelagert werden . Darüber hinaus wurden Anforderungen an Deponien festgelegt . Nicht verordnungskonforme Deponien und Deponien, die nicht oder nur mit unverhältnismäßig hohem Aufwand nachgerüstet werden können, sind spätestens 2005 bzw. 2009 stillzulegen.
Hintergrund	Mit der Verordnung wurde die notwendig gewordene Weiterentwicklung der TASI umgesetzt, darüber hinaus wurden mit ihr die Vorgaben der EG-Deponierichtlinie

	für den Bereich Siedlungsabfälle umgesetzt. Zudem wurden die Anforderungen allgemein rechtsverbindlich (Verordnung gegenüber Verwaltungsvorschrift). Die rechtlich stringente Wirkung betrifft insbesondere Deponiezuordnungskriterien und Übergangsfristen. Bisher auf Grundlage der TASI erteilte Ausnahmegenehmigungen werden unmittelbar durch die Verordnung beendet, gleiches gilt für behördliche Genehmigungen aus der Planfeststellung o.ä. Biologisch abbaubare Abfälle müssen somit definitiv ab dem 01. Juni 2005 vor ihrer Ablagerung vorbehandelt werden. Mit der Ablagerungsverordnung wurde jedoch die Ablagerung von Siedlungsabfällen um die Möglichkeit erweitert, neben thermischer Vorbehandlung vor Ablagerung nunmehr auch eine hochwertige mechanisch-biologische Vorbehandlung durchzuführen. Nach jüngsten Prognosen (LAGA, UBA, Prognos, ISAH) sind für das Jahr 2005 etwa 29 Mio. t zu beseitigende Siedlungsabfälle zu erwarten (inkl. ca. 5 Mio. t Gewerbeabfall). Demgegenüber steht eine gesicherte Behandlungskapazität von etwa 23,5 Mio. t (MVA: 16,8 Mio. t; MBA: 5 Mio. t; Mitverbrennung: 1,7 Mio. t). Die insgesamt geplanten und verfügbaren Behandlungskapazitäten werden mit 27,5 Mio. t prognostiziert. Folglich ergibt sich ein Behandlungsdefizit im ungünstigsten Fall von ca. 5,6 Mio. t und bei Umsetzung aller geplanten Kapazitäten immer noch von ca. 1,6 Mio. t. Das sich ankündigende Defizit für 2005 wird v. a. durch schwer kalkulierbare Gewerbeabfallmengen zur Beseitigung verursacht, die heute noch in die so genannte Scheinverwertung gehen. Ein kurzer Entsorgungseingpass ist daher gegenwärtig nicht auszuschließen. Lösungsmöglichkeiten sollten von den betroffenen Bundesländern in Verhandlungen über Mitverbrennungskapazitäten gesucht werden oder in der Überprüfung inwieweit bestehende Kapazitäten kurzfristig erweitert werden können. Übermäßige Exporte von unbehandelten, gemischten Siedlungsabfällen zur Beseitigung in EU-Länder mit derzeit noch niedrigen Entsorgungsstandards dürften nicht zu befürchten sein, da diese der Notifizierungspflicht und der notwendigen Zustimmung durch die Behörde unterliegen.
30. BImSchV	30. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes - Verordnung über Anlagen zur biologischen Behandlung von Abfällen vom 20. Februar 2001 (BGBl. I Nr. 10 vom 27.02.2001 S. 305)
Ziel	Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge aus der mechanisch-biologischen Vorbehandlung von Abfällen zur Ablagerung.
Maßnahmen	Emissionsanforderungen wurden analog denen von MVA festgelegt. Danach sind MBA einzuhausen und müssen Emissionsgrenzwerte einhalten, die eine thermisch-regenerative Abgasreinigung erforderlich machen. Bestehende Altanlagen sind bis 1. März 2006 nachzurüsten oder stillzulegen. Die Emissionsgrenzwerte sind wie folgt: Gesamtstaub Tagesmittel 10 mg/m³, Halbstundenmittel 30 mg/m³ Organische Stoffe (TOC) Tagesmittel 20 mg/m³, Halbstundenmittel 40 mg/m³, Fracht als Monatsmittel 55 g/t Abfallinput Distickstoffoxid Fracht als Monatsmittel 100 g/t Abfallinput Geruchsstoffe 500 GE/m³; Dioxine/Furane (als Summenwert gemäß Anhang zur 17. BImSchV) 0,1 ng/m³
Hintergrund	Da die Ablagerungsverordnung nunmehr auch die mechanisch-biologische Behandlung von Abfällen zulässt, wurden mit der 30. BImSchV für MBA entsprechend strenge Anforderungen wie für MVA festgeschrieben.

2002	
Deponieverordnung (DepV)	Verordnung über Deponien und Langzeitlager (DepV) vom 24. Juli 2002 (BGBl. I Nr. 52 vom 29.07.2002 S. 2807); zuletzt geändert am 26. November 2002 durch Artikel 1 der Verordnung zur Änderung der Verordnung über Deponien und Langzeitlager sowie zur Neubekanntmachung der Nachweisverordnung (BGBl. I Nr. 81 vom 29.11.2002 S. 4417)
Ziel	Sicherstellung, dass auch langfristig keinerlei Beeinträchtigungen von Abfällen auf Deponien für Mensch und Umwelt ausgehen können. Das gilt sowohl für Hausmüll-, als auch besonders für Sonderabfalldéponien.
Maßnahmen	Regelung spezifischer Genehmigungserfordernisse für Deponien , von Voraussetzungen bzw. Anforderungen an Abfälle für die Ablagerung, Abfallannahmeverfahren und Stilllegungsverfahren . Festlegung einer verschuldensunabhängigen zivilrechtlichen Haftung des Betreibers für die durch deponierte Abfälle verursachten Umweltschäden.
Hintergrund	Die am 1. August 2002 in Kraft getretene DepV regelt detaillierte Anforderungen an die Ablagerung und Langzeitlagerung von Abfällen. Damit wurden die Anforderungen der seit 1999 bestehenden EG-Deponie Richtlinie, in deutsches Recht umgesetzt.
Gewerbeabfallverordnung (GewAbfV)	Verordnung über die Entsorgung von gewerblichen Siedlungsabfällen und von bestimmten Bau- und Abbruchabfällen (Gewerbeabfallverordnung - GewAbfV) vom 19. Juni 2002; am 1. Januar 2003 in Kraft
Ziel	Eine möglichst hochwertige und vollständige Verwertung von gewerblichen Abfällen. Bei der Vorbehandlung von Abfallgemischen muss eine Verwertungsquote von mindestens 85 Prozent erzielt werden.
Maßnahmen	Einzelne Abfallfraktionen , wie z.B. Papier und Pappe, Glas, Kunststoffe und Metalle sowie bestimmte Abfallgemische müssen getrennt werden . Alle Gewerbebetriebe müssen grundsätzlich gebührenpflichtige Abfallbehälter der Kommunen für ihren Restmüll nutzen. Dadurch erhalten auch die Kommunen in der Zukunft mehr Planungssicherheit hinsichtlich der Menge des von ihnen zu entsorgenden Abfalls. Das gleiche gilt für die private Entsorgungswirtschaft, die sich nun auf zusätzliche Mengen an stofflich oder energetisch zu verwertende Abfälle einstellen kann.
Hintergrund	Bisher wurden teilweise anspruchsvolle Verwertungswege umgangen und damit moderne ökologische Entsorgungsanlagen nicht ausgelastet. Mit der Gewerbeabfallverordnung soll die bisherige "Scheinverwertung" zukünftig ausgeschlossen werden. D.h. bisher haben einige Abfallerzeuger "zu verwertende" und "zu beseitigende" Abfälle nicht hinreichend getrennt, sondern derartige Gemische insgesamt als "Abfälle zur Verwertung" deklariert. Diese wurden meist einer Sortieranlage zugeführt. Abfälle aus der Sortieranlage erreichen Verwertungsanlagen oft nur zu einem geringen Prozentsatz. Vielmehr wird der größere Teil auf einer Deponie - zumeist weit weg vom Entstehungsort - kostengünstig beseitigt. Um den Gewerbebetrieben die Umsetzung der Gewerbeabfallverordnung in der praktischen Arbeit zu erleichtern, haben die Bundesländer in der LAGA Vollzugshinweise erarbeitet. Das BMU war an diesen Arbeiten beteiligt.
Altölverordnung (AltöIV)	Altölverordnung (AltöIV) in der Fassung der Bekanntmachung vom 16. April 2002 (BGBl. I Nr. 26 vom 26.04.2002 S. 1368)
Altöle sind nicht Bestandteil des Forschungsvorhabens, die AltöIV ist hier lediglich der Vollständigkeit halber erwähnt.	

Altholz-verordnung (AltholzV)	Verordnung über Anforderungen an die Verwertung und Beseitigung von Altholz (AltholzV) vom 15. August 2002 (BGBl. I Nr. 59 vom 23.08.2002 S. 3302); in Kraft am 1. März 2003
Ziel	Sicherstellung, dass die umweltverträgliche Verwertung von Altholz nachhaltig gefördert wird und Schadstoffe aus dem Wirtschaftskreislauf ausgeschleust werden.
Maßnahmen	Zur Gewährleistung einer schadlosen stofflichen Verwertung von Altholz sind die Anforderungen des Anhangs I (Verfahren für die stoffliche Verwertung von Altholz – Regelung welche Verwertungsverfahren für welche Hölzer zugelassen sind) einzuhalten. Die Verordnung erstreckt sich auf alle in der Praxis derzeit gängigen Entsorgungswege von Altholz, wie die Aufbereitung von Altholz zur Herstellung von Holzwerkstoffen, die Herstellung von Aktivkohle oder Industrieholzkohle und Synthesegas sowie die energetische Verwertung von Altholz als Ersatzbrennstoff. Wenn Altholz nicht verwertet werden kann, ist es in thermischen Verfahren zu beseitigen. Die Deponierung wird ausgeschlossen. Zudem werden Pflichten der Erzeuger und Besitzer zur Getrennthaltung von Altholz gestellt, wie z.B. Kennzeichnungspflichten. Kontrolle von Altholz zur energetischen Verwertung mit Anforderungen; Kontrolle von Altholz zur Holzwerkstoffherstellung (§ 6). Zuordnung zu Altholzkategorien u. a. durch Grenzwertregelungen. Als Altholz erfasst die Verordnung Produktionsrückstände aus der Be- und Verarbeitung von Holz und Holzwerkstoffen sowie Altprodukte, wie Holzverpackungen, Paletten, Möbel oder Abbruchholz. Voraussetzung ist dabei, dass es sich um Abfälle handelt.
Hintergrund	Mit der Verordnung beschreitet die BRD Neuland. Bislang existierten bundesweit keine einheitlichen Anforderungen an die Altholzentorgung. Es gab auch keine europäische Regelung. Im Ergebnis gewährleistet die Verordnung einen verbindlichen und bundeseinheitlichen Standard der Altholzentorgung und führt damit auch zu mehr Wettbewerbsgleichheit, insbesondere für die in diesem Bereich vorwiegend tätigen mittelständischen Entsorgungsunternehmen. Sowohl unter ökologischen als auch unter ökonomischen Aspekten stellt die Altholzverordnung einen weiteren, wichtigen Baustein zur nachhaltigen Fortentwicklung der Kreislaufwirtschaft dar.
Altfahrzeug-verordnung (AltfahrzeugV)	Verordnung über die Überlassung, Rücknahme und umweltverträgliche Entsorgung von Altfahrzeugen (BGBl. I Nr. 41 vom 28.06.2002 S. 2214). Sie ergänzt die freiwillige Selbstverpflichtung der Automobilindustrie sowie der maßgeblichen Wirtschaftszweige der Zulieferindustrien, des Autoteilehandels und der Altautoentsorgung vom 21. Februar 1996 gegenüber der früheren Bundesregierung.
Altfahrzeuge sind nicht Bestandteil des Forschungsvorhabens, die AltfahrzeugV ist hier lediglich der Vollständigkeit halber erwähnt.	

2003	
Novelle 17. BImSchV	Novellierung der 17. BImSchV; neu gefasst durch Bekanntmachung vom 14. Aug. 2003 (BGBl. I Nr. 41 vom 19.08.2003 S. 1633); im Oktober 2003 in Kraft
Ziel	Im Wesentlichen Umsetzung der Richtlinie 2000/76/EG des Europäischen Parlaments und des Rates über die Verbrennung von Abfällen vom 4. Dezember 2000. Die Novellierung der 17. BImSchV zielt insgesamt darauf ab, zukünftig bei vielen Fällen der Mitverbrennung von Abfällen auf die so genannte »Anteilsregelung« für Mitverbrennungsanlagen zu verzichten und die bisher für diese Fälle

	festgelegten »Mischgrenzwerte« so weit wie möglich durch »feste Grenzwerte« zu ersetzen.
Maßnahmen	Entscheidende Änderung gegenüber der 17. BImSchV ist die Neuregelung der Mitverbrennung von Abfällen: Für die Mitverbrennung von Abfällen in Industrieanlagen wird gegenüber der alten »Anteilsregelung« ein geänderter Lösungsansatz gewählt. In Abhängigkeit von der Art der Industrieanlage werden jeweils spezifische Emissionsgrenzwerte als besondere Regelungen zur Emissionsbegrenzung von Luftverunreinigungen für Zement- und Kalköfen, Feuerungsanlagen und übrige Industrieanlagen festgelegt. Dabei wird, wie schon in der geltenden 17. BImSchV, der Beitrag der eingesetzten Abfälle an der Feuerungswärmeleistung der jeweiligen Anlage als Differenzierungsparameter herangezogen. Bei der in Anhang II erfolgten Festlegung der Emissionsgrenzwerte für Mitverbrennungsanlagen werden prinzipiell zwei Gruppen von Schadstoffen unterschieden: Für die erste Gruppe, denen hinsichtlich der Gesundheitsgefährdung hohe Relevanz zukommt, werden für alle Abfallverbrennungs- und Mitverbrennungsanlagen die gleichen Anforderungen festgelegt. Als Ausnahme für Anlagen zur Herstellung von Zementen und Kalk kann ein auf 0,05 mg/m³ erhöhter Tagesmittelwert für Quecksilber und seine Verbindungen durch die zuständige Behörde zugelassen werden, wenn der Rohstoff die erhöhten Quecksilberemissionen verursacht (sonst 0,03 mg/m³). Für die weiteren Schadstoffparameter wie Staub, HCl, HF und TOC werden für die Mitverbrennungsanlagen weitgehend Festgrenzwerte vorgeschlagen, die sich eng an den Anforderungen der Monoverbrennungsanlagen orientieren. Für SO_x, NO_x und CO werden im Anhang II neben »festen« Emissionsgrenzwerten auch so genannte »Startwerte« für eine Anteilsrechnung bei den Feuerungsanlagen vorgegeben. Bei der Festlegung dieser Emissionsgrenzwerte in Anhang II, die zum Teil nur für bestimmte Arten von Anlagen gelten, waren der Stand der Technik der Emissionsminderung für diese Anlagen sowie weitere anlagenspezifischen Besonderheiten zu berücksichtigen, weshalb keine absolute Übereinstimmung mit den Werten der Monoabfallverbrennungsanlagen hergestellt werden konnte. Für die speziellen Abfallverbrennungsanlagen, wie Siedlungsabfall-, Klärschlamm- und Sonderabfallverbrennungsanlagen, enthält die Abfallverbrennungsrichtlinie im Wesentlichen die gleichen Grenzwerte für Luft verunreinigende Emissionen wie sie bereits in der geltenden 17. BImSchV festgelegt sind, sodass sich aus den europäischen Vorgaben kein zwingender Änderungsbedarf ergibt und die Bundesregierung auch keine Notwendigkeit für eine weitere Verschärfung der bestehenden Emissionsgrenzwerte gesehen hat. Einschränkend muss allerdings darauf hingewiesen werden, dass eine zusätzliche Begrenzung Krebs erzeugender Stoffe neu aufgenommen wurde. Der neue Summengrenzwert orientiert sich an den entsprechenden Begrenzungen für Krebs erzeugende Stoffe (Klasse I) der neuen TA Luft vom 24.07.2002. Gegenüber der „alten“ Fassung der 17. BImSchV muss nur Benzo(a)pyren zusätzlich unter Berücksichtigung des gleichen Messzeitraums, wie er auch für Dioxine und Furane gilt, gemessen werden. Für die Schwermetalle und ihre Verbindungen ist im einfachsten Fall eine neue Summation der bereits zu messenden Schwermetalle ausreichend.

2004	
Entwurf Elektro-und Elektronik- gerätegesetz (ElektroG)	Gesetz über das Inverkehrbringen, die Rücknahme und die umweltverträgliche Entsorgung von Elektro- und Elektronikgeräten (Elektro- und Elektronikgerätegesetz - ElektroG); derzeit im Referentenentwurf; das Gesetz soll bis Ende 2004 verabschiedet werden
Ziel	Ökologische Optimierung der Entsorgung von Elektro- und Elektronikaltgeräten und Konkretisierung des Prinzips der Produktverantwortung, wie es Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz bereits angelegt ist.
Maßnahmen	Um möglichst große Mengen von Elektroschrott einer umweltfreundlichen Entsorgung zugänglich zu machen, sollen die Verbraucher ihre Altgeräte ab Mitte August 2005 getrennt sammeln. Bei der Erfassung der Altgeräte wird auf den heute bereits weitgehend gut etablierten kommunalen Strukturen aufgebaut. Die Verbraucher sollen ihre Altgeräte kostenlos abgeben können. Alle weiteren Schritte wie Behandlung, Verwertung, Recycling und umweltfreundliche Beseitigung der Altgeräte sind von den Produzenten zu übernehmen.
Hintergrund	Mit dem Elektroschrottgesetz sollen zwei EG-Richtlinien umgesetzt werden: Die Richtlinie 2002/96/EG über Elektro- und Elektronik-Altgeräte (WEEE) und die Richtlinie 2002/95/EG zur Beschränkung der Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe in Elektro- und Elektronikaltgeräten (RoHS). Beide traten am 13. Feb. 2003 in Kraft und müssen bis zum 13. Aug. 2004 in nationales Recht umgesetzt werden. Wesentliche Inhalte der Richtlinien sind: - die getrennte Sammlung, Behandlung und Verwertung von Elektro- und Elektronikaltgeräten sowie die Festlegung von Sammelzielen und Verwertungsquoten - die kostenlose Rückgabemöglichkeit für private Haushalte und Vertreiber - die Übernahme der Produktverantwortung für die Behandlung, Verwertung und umweltgerechte Beseitigung der Geräte durch die Hersteller - das Verbot bestimmter Schwermetalle und bromhaltiger Flammschutzmittel in elektrischen und elektronischen Geräten
Die zu erwartenden Auswirkungen auf das Siedlungsabfallaufkommen lassen sich sinnvoll erst mit Vorlage des abschließenden Gesetzestextes abschätzen; über Elektro- und Elektronikaltgeräte wird ein separater Bericht zu einem späteren Zeitpunkt ergehen.	

Anhang 2 Ergebnisse für den ökologischen Vergleich 1990-2002-2005 sowie Vergleich der Ergebnisse mit/ohne haushaltsähnliche Gewerbeabfälle im Jahr 2002

Anhang 2.1 Ergebnisse für den ökologischen Vergleich 1990-2002-2005

Zu Beginn des Forschungsvorhabens lagen als aktuellste Daten zum Abfallaufkommen und -verbleib zunächst nur die Daten nach den Abfallbilanzen der Bundesländer für das Jahr 2002 vor. Auf Basis dieser wurde auch eine vergleichende ökologische Betrachtung durchgeführt analog der in Kapitel 4 im Hauptbericht beschriebenen. Der Wechsel zur Datenbasis der Bundesbilanzzahlen für das Jahr 2001 erging auf Wunsch erst später als die entsprechenden Daten zur Bundesbilanz vorlagen.

Da die Ergebnisse für den Vergleich 1990 - 2002 - Szenario 2005 vollständig vorliegen, wird im Folgenden auszugsweise kurz auf diese eingegangen, auf eine ausführliche Darstellung wird verzichtet. Zumal vorwegnehmend zu bemerken ist, dass sich die aus den Ergebnissen ergebenden Erkenntnisse hinsichtlich des Beitrags der Abfallwirtschaft zu einer nachhaltigen Entwicklung denen im Kapitel 4 des Hauptberichtes dargestellten entsprechen. Zu kleinen Abweichungen kommt es lediglich in Folge leicht unterschiedlicher Zahlen zum Abfallaufkommen und -verbleib im Jahr 2002 gegenüber dem Jahr 2001.

Die der Bilanzierung zugrunde liegenden Daten, sind in den Kapiteln zum Abfallaufkommen und -verbleib beschrieben. Die Darstellung der Ergebnisse erfolgt analog der Darstellung in Kapitel 4 des Hauptberichtes. Auch hier beziehen sich die Ergebnisse ausschließlich auf die Entsorgung der Abfälle aus Haushalten. Ein Vergleich mit den Ergebnissen, die die Entsorgung haushaltsähnlicher Gewerbeabfälle beinhalten, erfolgt im Anschluss auch, dann aber auch hier entsprechend nur für das Jahr 2002.

Im ökologischen Vergleich der Entsorgung der Abfälle aus Haushalten 1990 - 2002 - Szenario 2005, sind die Ergebnisse für das Jahr 1990 identisch mit den in Kapitel 4 im Hauptbericht gezeigten. Dies gilt nicht für das Szenario 2005. Auch in diesem ökologischen Vergleich wurden für das Jahr 2005 die Werte nach [LAGA 2004] herangezogen und auch sonst wurde analog der Beschreibung für Aufkommen und Verbleib der Abfälle im Jahr 2005 verfahren. Das bedeutet aber hier, dass Wertstoffaufkommen und -verbleib in diesem Szenario 2005 entsprechend dem Abfallaufkommen und Verbleib aus dem Jahr 2002 übernommen wurden. Wie aus den Kapiteln zu Abfallaufkommen und -verbleib ersichtlich ist, sind diese Mengen nicht identisch mit denen des Jahres 2001.

Genau auf Grund dieser unterschiedlichen Zahlen zum Abfallaufkommen und -verbleib errechnen sich für das Jahr 2002 auch etwas andere Zahlen als für das Jahr 2001. Die Unterschiede ergeben sich hierbei im Wesentlichen durch das geringere Aufkommen an Altpapier, die etwas höhere Menge an LVP mit einer auch leicht unterschiedlichen Zusammensetzung sowie ein etwas höheres Aufkommen an organischen Abfällen.

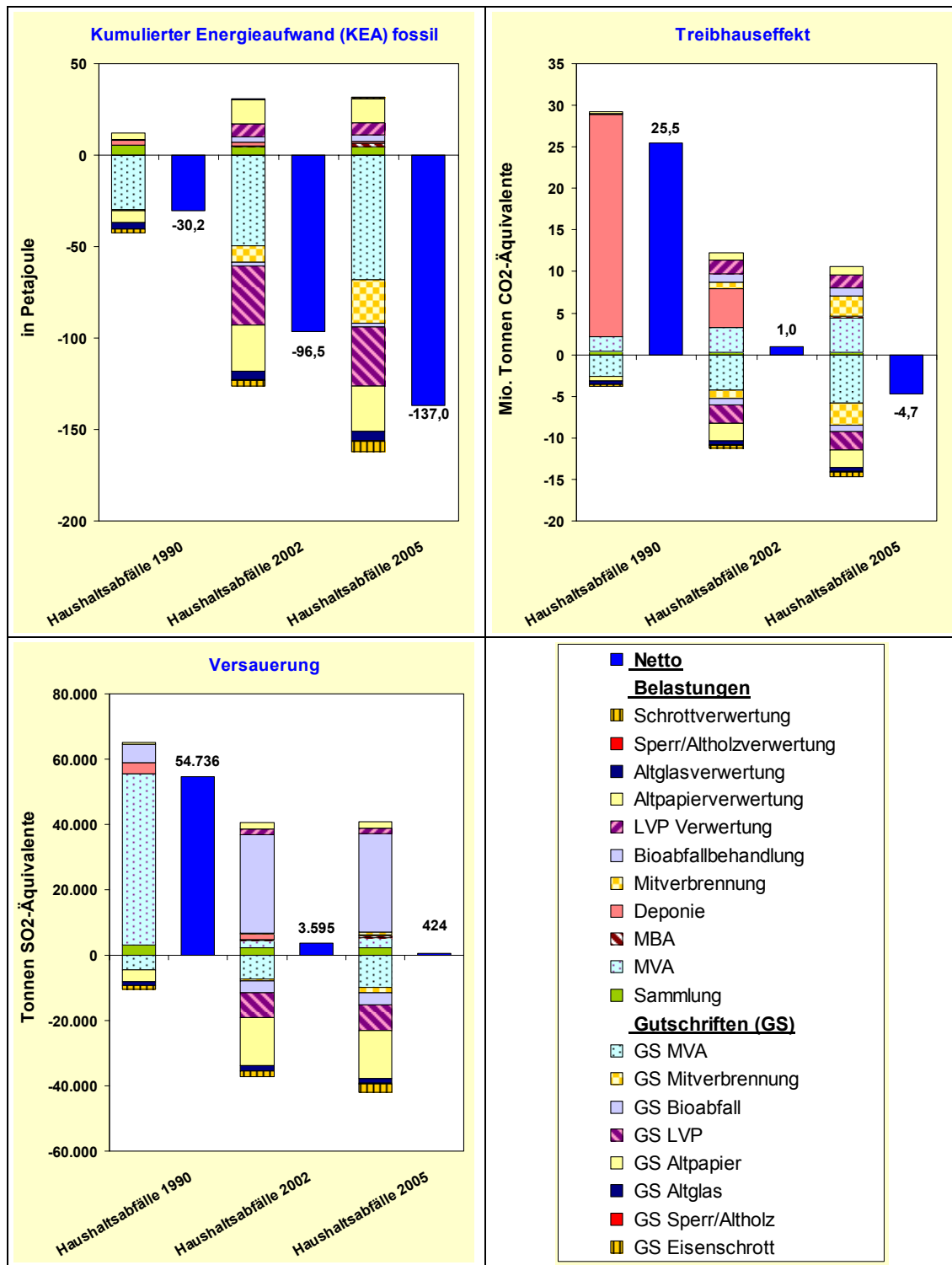


Abb. 0-1 Ergebnisse der Wirkungskategorien Beanspruchung fossiler Ressourcen, Treibhauseffekt und Versauerung für den Vergleich 1990 - 2002 - 2005 (Basis 2002)

In **Abb. 0-1** sind beispielhaft die Ergebnisse des Vergleichs für die Wirkungskategorien Beanspruchung fossiler Ressourcen, Treibhauseffekt und Versauerung dargestellt. Darin zeigt sich im Nettoergebnis des Jahres 2002 in allen drei Kategorien gegenüber den in Kapitel 4 im Hauptbericht dargestellten Ergebnisse netto ein leicht ungünstigeres Abschneiden: Die Nettoentlastung bei der Beanspruchung fossiler Ressourcen fällt etwas geringer aus, die Nettobelastung im Treibhauseffekt etwas höher und bei der Versauerung für die der Vergleich auf Basis der Bundesbilanzzahlen für 2001 eine knappe Nettoentlastung zeigte, ergibt sich hier eine knappe Nettobelastung.

Bei Betrachtung der einzelnen Sektoren wird zunächst deutlich, dass die Teilbeiträge aus diesen insgesamt sehr ähnlich ausfallen wie bei den in Kapitel 4 des Hauptberichtes gezeigten entsprechenden Ergebnissen.

In den Wirkungskategorien Beanspruchung fossiler Ressourcen und Treibhauseffekt ergeben sich leichte Unterschiede in den Bereichen Altpapierverwertung, LVP-Verwertung und Mitverbrennung, die letztendlich auch zu den etwas abweichenden Nettoergebnissen führen. Bei der Altpapierverwertung ergeben sich sowohl etwas niedrigere Umweltbelastungen als auch etwas niedrigere Gutschriften, was auf das im Jahr 2002 gegenüber 2001 um rund 1,3 Mio. t geringere ermittelte Aufkommen zurückzuführen ist. Der Fall liegt umgekehrt bei der LVP-Verwertung, hier ist das Aufkommen an LVP im Jahr 2002 um etwa 260.000 t höher. Die etwas niedrigeren Gutschriften bei der Mitverbrennung ergeben sich aus entsprechend weniger mit verbrannten Sortierresten aus der PPK- und LVP-Aufbereitung. Für das Jahr 2001 waren hier die Angaben nach [StBA 2004] zugrunde gelegt, nach denen ein deutlich höherer Anteil an Sortierresten zur Verwertung anfällt als im Jahr 2002 nach Standardangaben angenommen. Entsprechend gelangen in 2002 mehr Sortierreste in die Verbrennung zur MVA anstatt zur Mitverbrennung in Kraft- und Zementwerke.

In der Wirkungskategorie Versauerung kommt der Einfluss des für das Jahr 2002 gegenüber dem Jahr 2001 um etwa 816.000 t höheren ermittelten Aufkommens an organischen Abfällen zum Tragen. Durch die damit verbundenen Mehrbelastungen insbesondere durch Ammoniakemissionen aus der Behandlung von organischen Abfällen in offenen Anwendungen, gepaart mit der gegenüber 2001 geringeren Altpapiermenge und der entsprechend geringeren Gutschrift für die Altpapierverwertung, ergibt sich für das Jahr 2002 eine knappe Nettobelastung.

Die Ergebnisse der hier nicht dargestellten Wirkungskategorien unterliegen den analogen Einflüssen. Auf die Darstellung dieser wurde hier verzichtet zumal die Einzelergebnisse der nicht dargestellten Wirkungskategorien für das Jahr 2002 auch aus der nachfolgenden Gegenüberstellung der Ergebnisse für das Jahr 2002 mit und ohne hausmüllähnliche Gewerbeabfälle hervorgehen. Die Unterschiede der Nettoergebnisse des Jahres 2002 gegenüber dem Jahr 2001 werden nachfolgend kurz kommentiert:

Für die Wirkungskategorie Beanspruchung mineralischer Ressourcen ergibt sich sowohl für Eisen und Eisenerz als auch für Phosphaterz für das Jahr 2002 eine etwas höhere Nettoentlastung gegenüber dem Jahr 2001. Hinsichtlich Eisen und Eisenerz ist dies durch eine etwas höhere Menge Weißblech in der LVP-Fraktion bedingt (2002: 435.000 t, 2001: 350.000 t), hinsichtlich Phosphaterz durch die höhere Menge an organischen Abfällen, die entsprechend auch zu einer höheren Kompostmenge führt.

Für die Wirkungskategorie Überdüngung von Böden ergibt sich für das Jahr 2002 eine etwas höhere Nettobelastung, die Gründe sind die gleichen wie zur Kategorie Versauerung genannt. Bei der Überdüngung von Gewässern fällt die Nettoentlastung etwas niedriger aus in Folge der geringeren Menge Altpapier und entsprechend geringeren Gut-schrift für die Altpapierverwertung.

In der Wirkungskategorie Krebsrisiko (Humantoxizität) sind die Unterschiede marginal, die Nettoentlastung ist minimal geringer. Hinsichtlich der Wirkungskategorie PM10-Risiko kommt es wiederum zu einem Zusammenspiel aller genannten Faktoren (geringe Menge Altpapier, höhere Menge organische Abfälle, höhere Menge und etwas andere Aufteilung LVP sowie mehr Sortierreste zur MVA anstatt zur Mitverbrennung). Die Nettoentlastung für das Jahr 2002 fällt entsprechend niedriger aus gegenüber der im Jahr 2001.

Insgesamt sind aus den Ergebnissen für den ökologischen Vergleich 1990 - 2002 - Szenario 2005 (Basis 2002) die folgenden wesentlichen Erkenntnisse zu gewinnen:

Auch beim ökologischen Vergleich 1990 - 2002 - 2005 auf Basis der Abfallbilanzen der Bundesländer ergeben sich die gleichen Erkenntnisse hinsichtlich des Beitrags der Abfallwirtschaft zu einer nachhaltigen Entwicklung wie beim ökologischen Vergleich 1990 - 2001 - 2005 auf Basis der Bundesbilanzzahlen (Kapitel 4 Hauptbericht).

In den Gesamtnettoergebnissen der untersuchten Wirkungskategorien kommt es nur zu leichten Unterschieden bedingt durch unterschiedliche Zahlen zum Abfallaufkommen und -verbleib im Jahr 2002 gegenüber dem Jahr 2001. Differenziert betrachtet nach Sektoren sind die Ergebnisse für 2002 denen für 2001 über alle Wirkungskategorien hinweg sehr ähnlich.

Damit ist abschließend festzustellen, dass auch ausgehend von einer anderen Datenbasis zum Abfallaufkommen und -verbleib, der Beitrag der Abfallwirtschaft zu einer Stärkung einer nachhaltigen Entwicklung und Verbesserung der Umweltsituation durch die zwischen 1990 und heute getroffenen Maßnahmen beeindruckend ist. Der Trend setzt sich für die bereits beschlossenen aber noch nicht vollständig umgesetzten Maßnahmen für das Jahr 2005 fort.

Anhang 2.2 Vergleich der Ergebnisse mit/ohne hausmüllähnliche Gewerbeabfälle im Jahr 2002

Im Jahr 2002 beträgt das nach den Abfallbilanzen der Bundesländer ermittelte Abfallaufkommen der hausmüllähnlichen Gewerbeabfälle 3.815.770 t und ist damit wesentlich niedriger als im Jahr 1990. Auch hier gilt wiederum, dass die Zahlen nicht als Abbildung der zeitlichen Entwicklung des Aufkommens missverstanden werden dürfen. Zur Erläuterung des deutlichen Unterschiedes zu den Bundesbilanzzahlen des Jahres 2001 wird auf das Kapitel zum Abfallaufkommen verwiesen, wo dies ausführlich beschrieben ist. Durch die Einbeziehung der hausmüllähnlichen Gewerbeabfälle gegenüber der für die ökologische Bewertung betrachteten Menge an Abfällen aus Haushalten von insgesamt 36.966.210 t im Jahr 2002 ergibt sich eine um 10% höhere Gesamtmenge (40.781.980 t Siedlungsabfälle).

Im Jahr 2002 gelangten die HMG nach Angaben in den Abfallbilanzen der Bundesländer zu etwa 61% auf die Deponie, zu rund 28% wurden sie verbrannt, 5% gingen zu MBAn und 6% wurden stofflich verwertet. Für letzteren Anteil wurde auch hier, in Ermangelung konkreter Angaben, eine stoffliche Verwertung von Altholzbestandteilen über Spanplattenindustrie angenommen. Durch die zusätzliche Berücksichtigung der HMG erhöht sich damit die Menge der insgesamt im Jahr 2002 deponierten Abfälle um 27%, die der insgesamt über MVA verbrannten Menge um 11%. Dass diese Mengen gegenüber dem Vergleich für das Jahr 2001 geringer ausfallen, ist auf das um die Hälfte niedrigere Aufkommen an HMG zurückzuführen, das entsprechend in Relation zu den Abfälle aus Haushalten einen geringeren Einfluss aufweist.

Die Ergebnisse für den Vergleich mit und ohne Berücksichtigung der HMG sind in den nachfolgenden Abbildungen dargestellt. Diese entsprechen im Wesentlichen den für den Vergleich für das Jahr 2001 gefundenen. Auch hier gilt, dass sich durch die Mitbetrachtung der HMG die Nettoergebnisse nur wenig ändern und auch die Aussagen gegenüber dem Vergleich für das Jahr 1990 gelten analog. Auf Grund der geringeren betroffenen Menge an HMG im Jahr 2002 gegenüber 2001 kommt es in der Wirkungskategorie Treibhauseffekt "nur" zu einer 13%igen Erhöhung der Umweltbelastungen. Die Umweltbelastungen in der Kategorie Überdüngung von Böden fallen um 24% höher aus (beides auch hier bedingt durch die zusätzlich deponierte Menge).

Für alle anderen Wirkungskategorien gelten ebenfalls die für das Jahr 2001 gefundenen Erkenntnisse. Damit lässt sich abschließend auch hier die gleiche Schlussfolgerung ziehen:

Insgesamt lässt sich aus dem Vergleich der Entsorgung im Jahr 2002 mit und ohne Berücksichtigung der HMG feststellen, dass sich die Ergebnisse nur wenig quantitativ ändern, die qualitative Ergebnisaussage bleibt in jedem Fall erhalten.

Dass sich Umweltbe- und -entlastungen durch die Mitberücksichtigung der HMG in etwa die Waage halten, die Nettoergebnisse sich also nur wenig ändern, ist einerseits auf die gestiegene Bedeutung der Verwertung zurückzuführen und andererseits auf die deutlich verbesserte Anlagentechnik bzw. die hohen Emissionsstandards v. a. der Müllverbrennung.

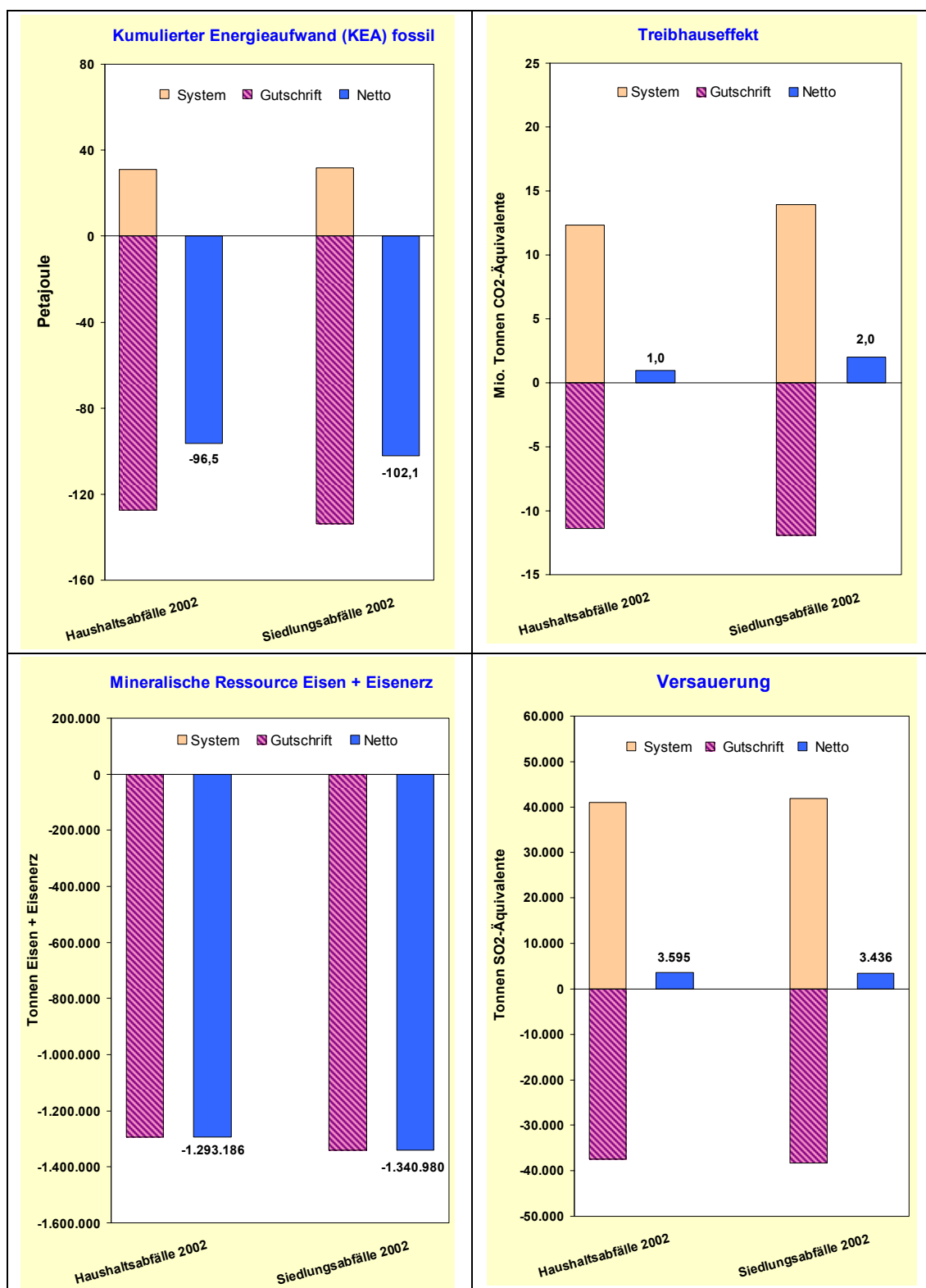


Abb. 0-2 Ergebnisse der Wirkungskategorien Beanspruchung von Ressourcen, Treibhauseffekt und Versauerung mit und ohne haushaltsähnliche Gewerbeabfälle

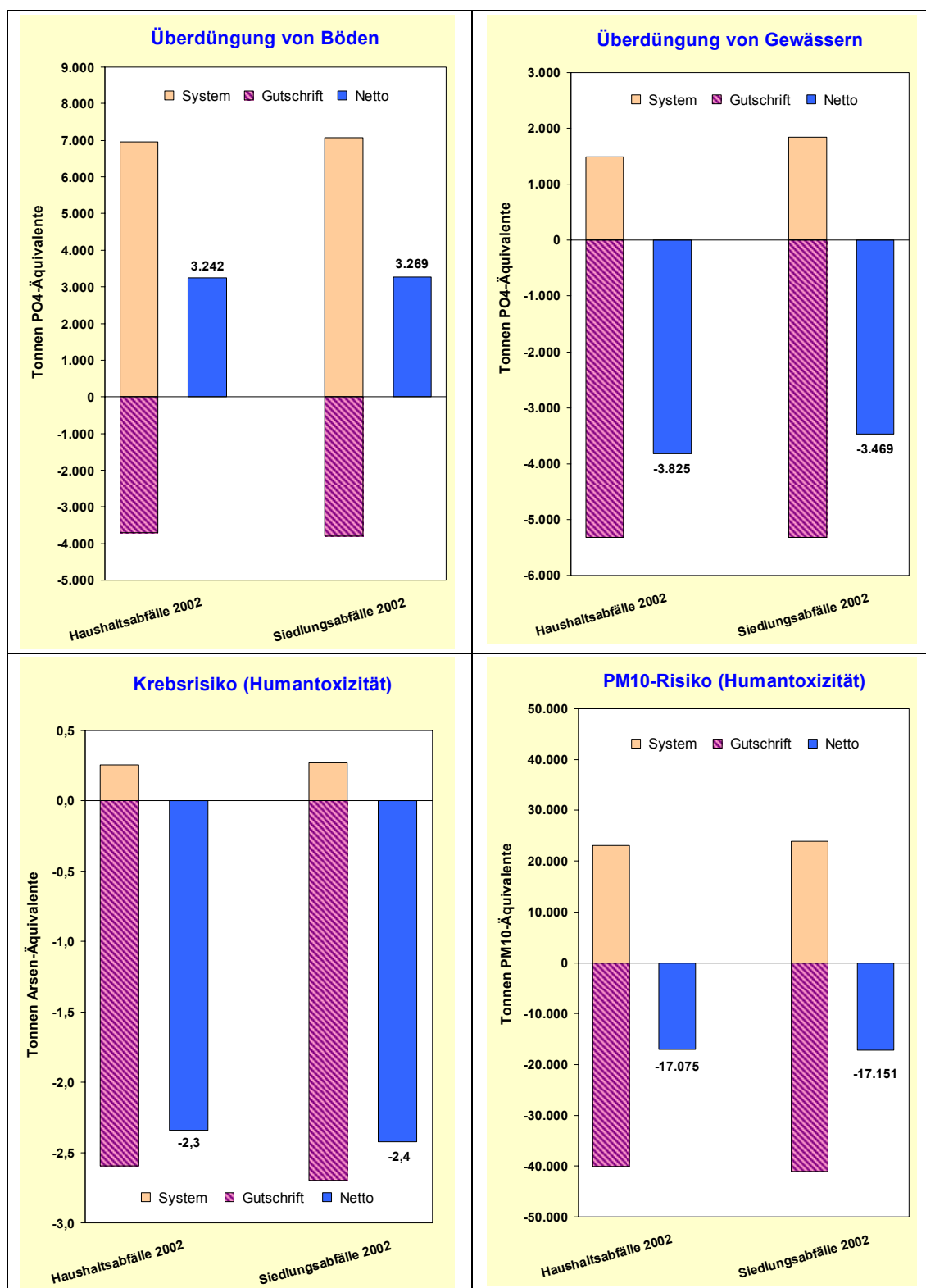


Abb. 0-3 Ergebnisse der Wirkungskategorien Überdüngung von Böden und Gewässern und Humantoxizität mit und ohne hausmüllähnliche Gewerbeabfälle

Anhang 3 Gegenüberstellung der Sekundärabfälle des Stoffstrommodells zu Angaben nach [LAGA 2004]

In [LAGA 2004] wurden über die Restmüllmengen zur Beseitigung hinaus von den Bundesländern auch die voraussichtlich anfallenden Abfallmengen aus Behandlungsanlagen (Sekundärabfälle) abgeschätzt, die letztendlich ebenfalls zur Beseitigung anstehen und für die folglich ebenfalls Kapazitäten vorgehalten werden müssen. Da konkrete Angaben hierzu außer für Sortieranlagen meist nicht vorliegen, wurde für diese Fälle hilfsweise eine pauschale Abschätzung vorgeschlagen, die laut [LAGA 2004] auch von einem großen Teil der Bundesländer in Anspruch genommen wurde. Vorschlag zur Abschätzung war danach für Störstoffe aus Kompostwerken 10% des Anlageninput anzusetzen und für die heizwertreiche Fraktion aus MBAn 40% des Anlageninput. Die insgesamt ermittelte und abgeschätzte Menge an Sekundärabfällen im Jahr 2005 wurde auf rund 3,7 Mio. t Sekundärabfälle prognostiziert. Diese setzen sich zusammen aus:

Störstoffe aus biologischer Behandlung	444.660 t
Sieb- und Sortierreste aus Sortieranlagen	1.292.820 t
Heizwertreiche Restfraktion aus MBAn	1.918.860 t
Summe Sekundärabfälle	3.656.340 t

Die Menge der Sieb- und Sortierreste aus Sortieranlagen enthält allerdings keine Angaben für Berlin, Brandenburg, Hamburg, Hessen, Niedersachsen und Thüringen, da diese Mengen entweder nicht bekannt sind (HE, NI) oder bereits in der Fraktion hausmüllähnliche Gewerbeabfälle enthalten sind. Bei den Störstoffen aus biologischer Behandlung sind die Mengen für Brandenburg und Thüringen nicht enthalten, da ebenfalls bereits in der Fraktion hausmüllähnliche Gewerbeabfälle enthalten. In der Menge der heizwertreichen Fraktion fehlen Angaben für Baden-Württemberg und Berlin, da diese nicht bekannt bzw. nicht quantifizierbar waren.

Insgesamt sind damit diese prognostizierten Mengen nur sehr bedingt belastbar, dennoch werden sie in einem orientierenden Vergleich den über das Stoffstrommodell berechneten Mengen an Sekundärabfällen im Szenario 2005 gegenübergestellt.

Grundsätzlich ergeben sich für die mit dem Stoffstrommodell berechneten Sekundärabfälle zwei wesentliche Unterschiede in Bezug auf die oben erwähnten Abschätzungen zu Störstoffen aus der biologischen Behandlung und zu der heizwertreichen Fraktion aus MBAn. In der Bilanzierung wurde der vor Kompostierung abgetrennte Störstoffanteil mit 5% angenommen, der vor Vergärung über Pulper abgetrennte Anteil mit rund 9%. Für eine mittlere MBA in Deutschland wurde von einer Abtrennung von 20% Leichtstoffen bezogen auf den Anlageninput ausgegangen. Die Sortierreste aus Sortieranlagen ergeben sich im Stoffstrommodell durch Berechnung aus den verschiedenen Verwertungswegen für trockene Wertstoffe und beinhalten auch einen Anteil an Störstoffen aus MBAn (vergleichsweise jedoch gering, s. u.). Eine Auswertung nach den in [LAGA 2004] genannten Stoffgruppen ergibt im Szenario 2005 folgende Zahlen:

Störstoffe aus biologischer Behandlung	411.770 t
Sieb- und Sortierreste aus Sortieranlagen	1.883.396 t
Heizwertreiche Restfraktion aus MBAn	936.398 t
Summe Sekundärabfälle nach Sortierung/Aufbereitung	3.231.564 t

Die gute Übereinstimmung bei den Störstoffen aus biologischer Behandlung ist in Anbetracht der unterschiedlichen Abschätzungsmethode vergleichsweise erstaunlich. Da sich jedoch das Abfallaufkommen für organische Abfälle zwischen Bundesbilanzzahlen und Zahlen aus den Abfallbilanzen der Bundesländer (s. Kapitel zu Abfallaufkommen) nur wenig unterscheidet, mag dies ein Hinweis darauf sein, dass hier tendenziell bei [LAGA 2004] weniger abgeschätzte als vielmehr konkrete Störstoffmengen enthalten sind.

Die über die Stoffstrombilanzierung ermittelte, um ziemlich genau die Hälfte geringere Menge an Sekundärbrennstoffen erklärt sich dagegen aus dem unterschiedlichen Abschätzungsansatz (20% Leichtstoffe anstatt 40%).

Die aus dem Stoffstrommodell ermittelten Sieb- und Sortierreste aus Sortieranlagen beinhalten auch die Sortierreste, die zu einer energetischen Verwertung durch Mitverbrennung gelangen (849.166 t). Ebenso enthalten sind Störstoffe aus MBAn (206.410 t). Letztere sind wahrscheinlich nicht in der Menge nach [LAGA 2004] enthalten (zumindest liegt keine Aussage dazu vor) und für erstere ist es wahrscheinlich, dass diese Menge ebenfalls nicht enthalten ist. Mit dem Ziel des LAGA-Papiers, die zur Beseitigung anstehenden Abfallmengen zu ermitteln, handelt es sich bei der genannten Menge an Sortierresten wohl um den zur Beseitigung anfallenden Anteil. Wird dies berücksichtigt verbleiben aus der Stoffstrombilanzierung 1.034.231 t Sieb- und Sortierreste zur Beseitigung, die wiederum vergleichsweise gut mit der in [LAGA 2004] genannten Menge übereinstimmt.