



Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz
und Reaktorsicherheit

UMWELT

Nr. 10 / 2004



Sonderteil

**Beitrag der Abfallwirtschaft zur nachhaltigen
Entwicklung in Deutschland**

Teil Siedlungsabfälle



DAS HAT ZUKUNFT.

Beitrag der Abfallwirtschaft zur nachhaltigen Entwicklung in Deutschland

Teil Siedlungsabfälle

Im April 2002 hat die Bundesregierung unter dem Titel „Perspektiven für Deutschland“ ihre Strategie für eine nachhaltige Entwicklung verabschiedet. Zwei Jahre sind seitdem vergangen und im Herbst 2004 wird die Bundesregierung mit einem Fortschrittsbericht über das Erreichte erstmals Rechenschaft ablegen. Handlungsfelder wie Klimaschutz und Energie, Verkehr, Landwirtschaft und Globale Verantwortung standen bisher im Vordergrund der Maßnahmen und der Berichterstattung.

Nun geht es darum, den Beitrag der Abfallwirtschaft in Deutschland, die sich seit Beginn der 90er Jahre erheb-

lich gewandelt hat, zu einer nachhaltigen Entwicklung zu bestimmen.

Bundesumweltministerium und Umweltbundesamt haben das IFEU-Institut Heidelberg beauftragt, hierzu eine Untersuchung durchzuführen (UFO Plan Projekt FKZ 203 92 309). Die Ergebnisse der Untersuchung der Siedlungsabfälle in Deutschland liegen nunmehr vor und werden im Folgenden dargestellt. Der ausführliche Endbericht wird in der Reihe UBA-Texte erscheinen.

Die Autoren sind Jürgen Giegrich und Regine Vogt vom IFEU-Institut Heidelberg.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung

1	Abfallwirtschaft und nachhaltige Entwicklung	1
1.1	... zum Kontext	1
1.2	... zum Abfallaufkommen	2
1.3	... zum Abfallverbleib	5
1.4	... zum Rechenmodell	9
2	Ressourcenschutz und Umweltbelastungen	10
3	Der Beitrag der Abfallwirtschaft zur nachhaltigen Entwicklung in den Jahren 1990 bis 2001 mit Ausblick auf das Jahr 2005	13
3.1	Fossile Ressourcen	15
3.2	Mineralische Ressourcen	17
3.3	Treibhauseffekt	19
3.4	Versauerung	21
3.5	Überdüngung von Böden und Gewässern	23
3.6	Beeinträchtigung der menschlichen Gesundheit	27
4	Die Leistung der Abfallwirtschaft in Deutschland	31

Zusammenfassung

Die Abfallwirtschaft in Deutschland hat sich seit Beginn der 90er Jahre erheblich gewandelt. Begleitet vom Erlass des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes und den zugehörigen Rechtsverordnungen stellt der Schritt von der Beseitigungswirtschaft zur Kreislaufwirtschaft einen bedeutenden Paradigmenwechsel dar. Die Abfallwirtschaft wurde zur Stoffstromwirtschaft.

Damit ist es angebracht, den Beitrag der Abfallwirtschaft zur nachhaltigen Entwicklung in Deutschland – auf Grund der in den letzten Jahren erheblich verschärften gesetzlichen Auflagen – zu untersuchen und zu würdigen.

Nachhaltige Entwicklung beinhaltet die Schonung der natürlichen Ressourcen, was nach den Management-

regeln der Enquetekommission „Mensch und Umwelt“ einen sparsamen Umgang mit Rohstoffen und eine Reduktion von Emissionen zur Gewährleistung der Tragfähigkeit unserer Umwelt, z.B. im Klimaschutz, bedeutet.

In einem Vergleich der abfallwirtschaftlichen Situation des ersten gesamtdeutschen Jahres 1990 mit heute und einer Prognose schon eingeleiteter Maßnahmen für 2005 lassen sich die Leistungen der Abfallwirtschaft veranschaulichen. Dazu wurde die Abfallmengenentwicklung analysiert und in einem Stoffstrommodell wurden alle Bewegungen des Siedlungsabfalls der entsprechenden Jahre mit den jeweiligen technischen Anlagen abgebildet und berechnet. Für neun Indikatoren der Schonung natürlicher Ressourcen und Umweltbelastungen wurde eine Bilanz gezogen.

Die Ergebnisse:

- Die Summe der Abfälle aus Haushaltungen (Haus- und Sperrmüll und Abfälle zur Verwertung als Teilmenge des Siedlungsabfalls) ist im langjährigen Vergleich konstant geblieben. Angesichts eines Wirtschaftswachstums von 15 Prozent (1992-2001) ist damit eine Entkopplung des Abfallaufkommens vom Wirtschaftswachstum festzustellen. Innerhalb des Gesamtaufkommens ist zudem eine deutliche Verschiebung der Abfallmengen von der Beseitigung weg und hin zu einer getrennten Erfassung und Verwertung dieser Abfälle zu beobachten. Zieht man von den getrennt erfassten Abfällen zur Verwertung die Sortier- und Behandlungsreste ab, so ergibt sich eine Steigerung der stofflichen Verwertungsquote von 12 Prozent im Jahr 1990 auf über 46 Prozent im Jahr 2001. Bezieht man auch die Verwertung von Haus- und Sperrmüll ein, so wurde insgesamt 2001 eine stoffliche und energetische Verwertungsquote von 53 Prozent von Abfällen aus Haushaltungen erreicht.
- Der Ausstoß der Klimagase wurde deutlich reduziert. Durch die vollständige Umsetzung der Abfallablagerversordnung im Jahr 2005 kommt es allein bei Abfällen aus Haushaltungen zu einer Einsparung von 30 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalent für die vom Abfall des Jahres 2005 ausgehenden Belastungen im Vergleich zu 1990. Das entspricht statistisch gesehen einem Wert, wie ihn etwa 2,5 Millionen Bundesbürger rein rechnerisch

zu verantworten haben. Die im Jahr 2001 entsorgte Menge an Abfällen aus Haushaltungen hatte bereits eine Einsparung von 25 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalent im Vergleich zu 1990 erreicht.

- Auch die Ressourceneinsparung ist beachtlich. Bei den fossilen Energieträgern konnte der Einspareffekt gemessen an deren Energieinhalt von 1990 bis 2001 in der Abfallwirtschaft allein durch Abfälle aus Haushaltungen von 30 Petajoule auf über 100 Petajoule im Jahr gesteigert werden. Es konnte also soviel an Primärrohstoffen eingespart werden, wie ca. 700 000 Einwohner – rechnerisch gesehen – verbrauchen. Der Einspareffekt für Eisenerz liegt jährlich bei über 1 000 000 Tonnen, für Phosphaterz bei über 26 000 Tonnen und entspricht rechnerisch 1,2 Millionen bzw. drei Millionen Einwohnervergleichswerten.
- Umweltentlastungen konnten auch im Hinblick auf die Versauerung, die Überdüngung der Gewässer und die Belastungen der menschlichen Gesundheit durch Feinstaub erzielt werden. Die Versauerung wurde pro Jahr um über 60 000 Tonnen Säureäquivalent, die Überdüngung von Gewässern um 23 000 Tonnen Nährstoffäquivalent und die Feinstaubemissionen um etwa 40 000 Tonnen Feinstaubäquivalent verringert. Das sind Größenordnungen, wie sie statistisch gesehen von 1,5 Millionen, vier Millionen bzw. 1,3 Millionen Einwohnern verursacht werden. Lediglich bei der Überdüngung der Böden stagniert die berechnete Umweltbelastung seit Beginn der 90er Jahre bei etwa 2 000 Tonnen Nährstoffäquivalenten (entspricht etwa 400 000 Einwohnervergleichswerten).
- Die Emissionen krebserzeugender Stoffe aus Müllverbrennungsanlagen – insbesondere Dioxine und Furane – wurden durch die strengen Grenzwerte der 17. Bundesimmissionsschutzverordnung auf weniger als ein Tausendstel von 1990 bis heute verringert und spielen somit praktisch keine Rolle mehr.

Mit diesen Ergebnissen zeigt sich, dass die Abfallwirtschaft einen deutlichen Beitrag zur Stärkung der nachhaltigen Entwicklung und Verbesserung der Umweltsituation durch die zwischen 1990 und heute getroffenen Maßnahmen geleistet hat.

1 Abfallwirtschaft und nachhaltige Entwicklung

1.1 ... zum Kontext

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 Zwölfte 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 [Perspektiven für Deutschland; Unsere Strategie für eine nachhaltige Entwicklung; S. 40; 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 Auftrags hat sich seit seiner Verabschiedung in einer Reihe von Verordnungen, Verwaltungsvorschriften und freiwilligen Selbstverpflichtungen der beteiligten Akteure konkretisiert. Dies sind insbesondere:

- Technische Anleitungen Abfall und Siedlungsabfall
- Abfallablagerungsverordnung
- 17. BImSchV über Verbrennungsanlagen für Abfälle und 30. BImSchV über die umweltverträgliche Ablagerung von Siedlungsabfällen und über biologische Abfallbehandlungsanlagen
- Verpackungsverordnung, Batterieverordnung, Altfahrzeuggesetz und -verordnung
- Freiwillige Selbstverpflichtungen, u.a. zur stofflichen Verwertung von Papier oder Bauabfällen
- Gewerbeabfallverordnung
- Bioabfallverordnung, Klärschlammverordnung
- Altholzverordnung
- Deponieverordnung

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 Namensge-

bung der Abfallwirtschaft hin 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. Ebenso kann abgeschätzt werden, welchen Beitrag durch bereits beschlossene – aber noch nicht vollständig umgesetzte – Maßnahmen noch geleistet werden wird.

1.2 ... zum Abfallaufkommen

Als Ausgangspunkt der Untersuchung wird eine Situation vor der Umsetzung der meisten der oben genannten abfallwirtschaftlichen Maßnahmen herangezogen. Das erste Jahr des vereinten Deutschlands 1990 ist dazu ein guter Ausgangspunkt [StBA 1990]. Verglichen wird dieser Ausgangspunkt mit der derzeitigen Situation. Ausgewertet werden die statistischen Angaben für das Jahr 2001 [StBA 2004] als letzter verfügbarer Stand der bundesstatistischen Erhebung für die Abfallströme in Deutschland.

Ein Ausblick in die Zukunft wird angeschlossen. In einem Szenario 2005 wird die vollständige Umsetzung der Abfallablagerungsverordnung zu Grunde gelegt, wonach ab dem 1. Juni 2005 nur noch die Ablagerung von vorbehandelten Siedlungsabfällen zulässig ist.

Prognosen der Abfallmengen und der verfügbaren Kapazitäten für Abfälle zur Beseitigung liegen für 2005 vor [LAGA 2004] und sind eine gute Grundlage für Abschätzungen. In Tabelle 1 sind die wesentlichen Zahlen für Siedlungsabfälle zu finden.

Während die Mengendaten zu Abfällen aus Haushaltungen in den Statistiken des Bundes und der Länder gut dokumentiert sind, weisen die entsprechenden Angaben zu hausmüllähnlichen Gewerbeabfällen zum Teil große Lücken und Datenunsicherheiten auf. Es ist anzunehmen, dass der in Tabelle 1 (vorletzte Zeile) von 1990 zu 2001 und weiter zu 2005 zu erkennende scheinbare Rückgang der Mengen hausmüllähnlicher Gewerbeabfälle vor allem durch die unzureichende Dokumentation bedingt und nicht auf einen tatsächlichen Rückgang dieser Abfallmengen zurückzuführen ist. Auf Grund der großen Datenunsicherheiten im Bereich der hausmüllähnlichen Gewerbeabfälle werden diese im Folgenden nicht weiter berücksichtigt. Die folgenden Ausführungen beschränken sich somit auf die gut dokumentierten Abfälle aus Haushaltungen.

Die Tabelle 1 vermittelt auf eindrucksvolle Weise, wie sich die Abfallwirtschaft in den 90er Jahren von einer Beseitigungswirtschaft zu einer Kreislaufwirtschaft gewandelt hat: Während 1990 von den insgesamt 38,8 Millionen Tonnen Abfällen aus Haushaltungen knapp fünf Millionen Tonnen getrennt erfasst und einer Verwertung zugeführt wurden, hat sich diese Menge der

Tab. 1: Übersicht über das Abfallaufkommen für Siedlungsabfälle für die Jahre 1990, 2001 und eine Prognose für 2005

Abfallaufkommen (Mengenangaben in Tonnen)	1990 StBA	2001 BMU (StBA) 1)	2005 2)
Hausmüll (Graue Tonne)	30 460 853	16 466 000	16 310 470
Sperrmüll separat eingesammelt	3 426 692	2 676 000	16 310 470
Graue Tonne mit Sperrmüll			16 310 470
Summe Haus- und Sperrmüll	33 887 545	19 142 000	16 310 470
Bioabfall und Parkabfälle	1 982 306	7 992 000	7 992 000
Altpapier	1 604 758	7 550 000	7 550 000
Altglas	1 314 393	3 152 000	3 152 000
Leichtverpackungen	0	1 870 000	1 870 000
Summe Abfälle zur Verwertung	4 901 457	20 564 000	20 564 000
Summe Abfälle aus Haushaltungen	38 789 002	39 706 000	36 874 470
Hausmüllähnliche Gewerbeabfälle	15 238 458	8 109 000	4 160 940
Summe Siedlungsabfälle	54 027 460	47 815 000	41 035 410

1) Mengen für Altglas, Altpapier, LVP sind gesammelte Mengen ohne Sortierreste + Fehlwürfe, die beseitigt werden
2) Annahmen für das Szenario 2005:
Graue Tonne mit Sperrmüll und hausmüllähnliche Gewerbeabfälle sind Daten gemäß [LAGA 2004]
Abfälle zur Verwertung aus 2001 übernommen (Werte und daraus berechnete Werte in kursiv)

Beitrag der Abfallwirtschaft zur nachhaltigen Entwicklung in Deutschland

getrennt erfassten Abfälle im Jahre 2001 – bei einer nur geringfügig angewachsenen Gesamtabfallmenge – mehr als vervierfacht.

Nach LAGA 2004 wird für das Jahr 2005 ein um knapp sechs Prozent geringeres Aufkommen an Haus- und Sperrmüll gegenüber 2001 erwartet. Diese allgemein anerkannten Prognosedaten zum Abfallaufkommen für 2005 basieren auf den Abfallbilanzen der Länder. Für die Bundesstatistik existiert eine solche Prognose nicht. Auf Grund unterschiedlicher Erhebungsverfahren bei der Bundesstatistik und den Abfallbilanzen der Länder sind in Tabelle 1 die Mengendaten für Haus- und Sperrmüll der Jahre 2001 und 2005 nicht unmittelbar miteinander vergleichbar. Die Werte geben eine scheinbar höhere Minderung des Abfallaufkommen wieder, als sie tatsächlich zu erwarten ist. Auf die in dieser Untersuchung ermittelten Ergebnisse hat der Wechsel der Zahlenbasis von 2001 nach 2005 aber keinen signifikanten Einfluss.

Für die Abfälle zur Verwertung wird zwischen den Jahren 2001 und 2005 von einem unveränderten Aufkommen ausgegangen. Auch der Verbleib der getrennt erfassten Abfälle zur Verwertung wird für die Szenarien 2001 und 2005 als gleich angenommen. Zu einer leichten Steigerung der gesamten Verwertungsquote im Szenario 2005 gegenüber 2001 kommt es dennoch, da erwartet wird, dass im Jahr 2005 mehr Altholz aus der Sperrmüllfraktion einer Verwertung zugeführt wird.

Fazit

Die Gesamtmenge an Abfällen aus Haushaltungen (Haus-, Sperrmüll und Abfälle zur Verwertung als Teil-

menge des Siedlungsabfalls) ist im langjährigen Vergleich konstant geblieben. Ob Vermeidungsmaßnahmen die noch Anfang der 90er Jahre erwarteten Steigerungsraten im Haushaltsabfallbereich kompensiert haben oder schlicht weder eine Steigerung noch eine Vermeidung eingetreten ist, lässt sich mithilfe einer reinen Zahlenanalyse nicht sagen.

Angeht es um ein Wirtschaftswachstum von 15 Prozent (Bruttoinlandsprodukt zwischen 1992 und 2001 in Preisen von 1995) ist für die Abfälle aus Haushaltungen eine Entkopplung des Wirtschaftswachstums vom Abfallaufkommen festzustellen.

Nach den Zahlen der Tabelle 1 ergibt sich eine Steigerung der Getrennt-Erfassungsquote von ca. 13 Prozent im Jahr 1990 auf ca. 52 Prozent im Jahr 2001. Zieht man davon die Sortier- und Behandlungsreste ab, so ergibt sich eine Steigerung der stofflichen Verwertungsquote der Abfälle zur Verwertung von 12 Prozent im Jahr 1990 auf über 46 Prozent im Jahr 2001. Wird insgesamt die stoffliche und energetische Verwertung auch von Haus- und Sperrmüll mit betrachtet, wurde 2001 eine Verwertungsquote von 53 Prozent für Abfälle aus Haushaltungen erreicht.

1.3 ... zum Abfallverbleib

Nun sind Zahlen und Fakten zum Abfallaufkommen das Eine. Für die Ermittlung des Beitrags der Abfallwirtschaft zur nachhaltigen Entwicklung ist es jedoch viel wichtiger zu wissen, was mit diesen Abfällen geschieht.

Die Tabellen 2 bis 4 geben eine Auskunft über den Verbleib der Abfälle aus Haushaltungen, wie er sich in

Tab. 2: Verbleib der Abfälle aus Haushaltungen in Sortier- und Verwertungsanlagen sowie mechanisch-biologischen Behandlungsanlagen (MBA)

Abfälle zur stoffl. Behandlung / Verwertung (Mengenangaben in Tonnen)	1990 StBA	2001 BMU (StBA)	2005 *)
getr. erf. Abfälle zur Sortierung / Verwertung	2 919 151	12 893 516	12 893 516
Organische Abfälle zur biol. 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 für Szenario 2005: Verbleib Abfälle zur Verwertung aus 2001 übernommen

Anmerkung: Die getrennt erfassten Abfälle zur Sortierung/Verwertung für 2001 beinhalten abweichend zu Tabelle 1 Sortierreste + Fehlwürfe, die nach Sortierung zur Beseitigung anfallen

Tab. 3: Verbleib der Abfälle aus Haushaltungen in Anlagen zur thermischen Verwertung und Behandlung (SBS = Sekundärbrennstoffe)

Abfälle zur therm. Behandlung / Verwertung (Mengenangaben 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 für Szenario 2005: Verbleib Abfälle zur Verwertung aus 2001 übernommen

den Jahren 1990 und 2001 darstellte sowie wie er für 2005 prognostiziert wird.

In Tabelle 2 sind alle Abfallmengen aufgeführt, die in die Verwertung bzw. in eine Vor- und Zwischenbehandlung gehen. Besonders auffällig sind hierbei 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 (MBA) von 2001 bis 2005.

Auch die Menge der einer thermischen Behandlung oder Verwertung zugeführten Abfälle aus Haushaltungen ist von 1990 bis 2001 stark angestiegen, wie Tabelle 3 verdeutlicht. Thermische Verfahren nehmen darüber hinaus auch Sortier- und Aufbereitungsreste aus der stofflichen Verwertung und der mechanisch-biologischen Behandlung auf.

Die Deponie stellt immer den letzten Schritt in einer Entsorgungskette dar. Die Abfallmengen, die direkt oder aus verschiedenen Verwertungswegen auf die Deponie

gelangen, sind in Tabelle 4 zusammengefasst. Besonders auffällig ist hierbei der Rückgang der direkt deponierten Abfälle aus Haushaltungen. Die Ablagerung unvorbehandelter Abfälle ist ab dem 1. Juni 2005 unzulässig. Dieser Abfallstrom ist daher in dem Szenario 2005, das als eine Prognose der abfallwirtschaftlichen Situation nach dem 1. Juni 2005 zu verstehen ist, nicht mehr aufgeführt. Dagegen werden Reste aus thermischer und mechanisch-biologischer Behandlung auch in Zukunft noch deponiert werden.

Aus den Mengenangaben zum Aufkommen der Haushaltsabfälle einerseits und zu ihrem Verbleib andererseits lässt sich ein komplexes Stoffstrommodell erstellen. Die Abbildungen 1 und 2 sollen ausschnittsweise am Beispiel der Leichtverpackungen und des Hausmülls (Graue Tonne) einen Eindruck darüber vermitteln, welche vielfältigen Beziehungen zwischen verschiedenen Abfallströmen bestehen.

Die Komplexität der Stoffströme ergibt sich aus den verschiedenen getrennt erfassten Abfallfraktionen, den jeweiligen Abfallverwertungs- und -beseitigungsvarian-

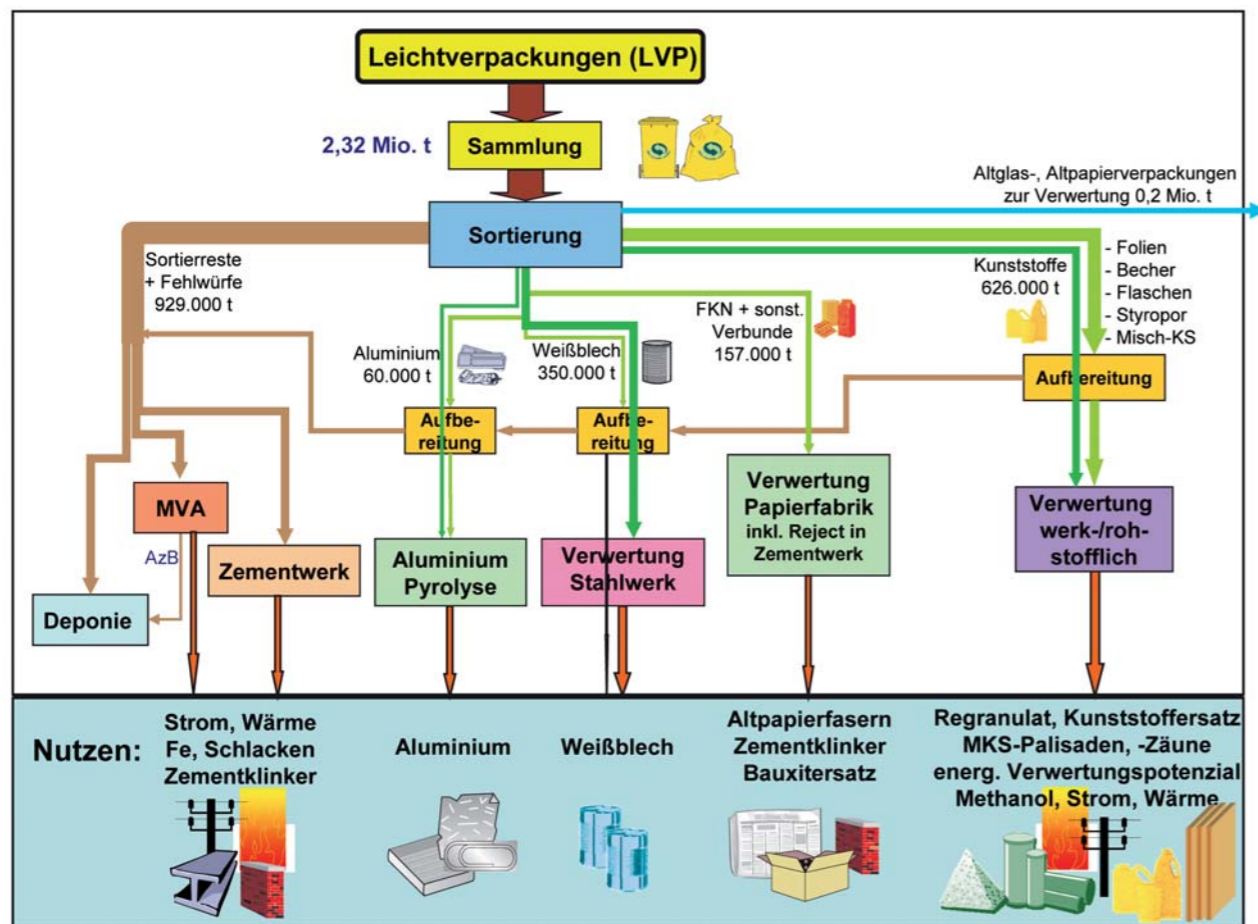
Tab. 4: Verbleib der Abfälle aus Haushaltungen zur Ablagerung

Abfälle zur Deponierung (Mengenangaben 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

Beitrag der Abfallwirtschaft zur nachhaltigen Entwicklung in Deutschland

Abb. 1: Schema der modellierten Stoffströme für „Haushaltsabfälle 2001“ am Beispiel Leichtverpackungen (LVP)



ten sowie den Optionen zur Entsorgung der wiederum aus der Abfallverwertung stammenden Abfälle. So können beispielsweise die getrennt erfassten Abfälle zur Verwertung Fehlwürfe enthalten, die ihrerseits aufbereitet und in eine industrielle Mitverbrennung gegeben werden können. Oder: Bei der Aufbereitung von sortierten Abfällen zur Verwertung entstehen wiederum Abfälle, die beseitigt werden müssen.

Doch nicht nur die Stoffströme der Abfallwirtschaft werden komplexer, es entstehen auch vielfältigere und hochwertigere Sekundärrohstoffe und Sekundärprodukte. Hier ist der Haupteffekt eines Beitrags der Abfallwirtschaft zu einer nachhaltigen Entwicklung in Deutschland zu suchen, wie folgende Beispiele zeigen:

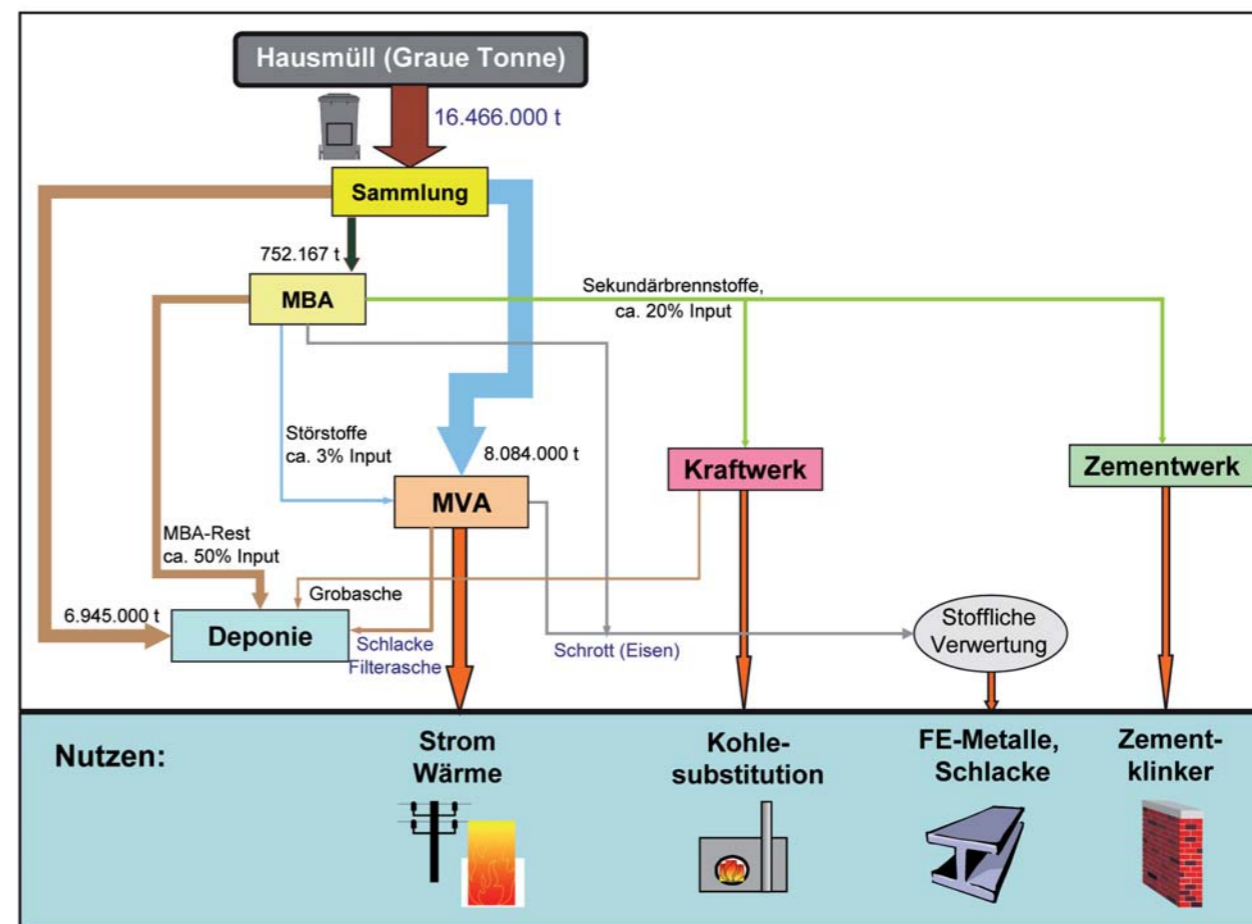
- Jede nicht beseitigte Papierfaser ersetzt eine entsprechende Menge an funktionsgleichem Primärfasermaterial.

- 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 Phosphaterzen als Primärmaterial gewonnen werden müssten.
- Bei der energetischen Verwertung z.B. in Zementwerken oder Kraftwerken werden verschiedene Primärenergieträger ersetzt.

Fazit

Die Abfallwirtschaft wird zur Stoffstromwirtschaft. Um den Beitrag der Abfallwirtschaft zu einer nachhaltigen Entwicklung bestimmen zu können, ist es notwendig, dass

Abb. 2: Schema der modellierten Stoffströme für „Haushaltsabfälle 2001“ am Beispiel Hausmüll (Graue Tonne)



- 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.

1.4 ... zum Rechenmodell

Die Analyse des Beitrags der Abfallwirtschaft zur nachhaltigen Entwicklung in Deutschland ist nur durch die Betrachtung der durch sie verursachten Stoffströme und der sie auslösenden Ressourcenbedarfe sowie Emissionen in die Umwelt erfolgt mit der Stoffstromsoftware UMBERTO (www.umberto.de).

UMBERTO erlaubt die Modellierung der Stoff- und Energieumwandlungen eines jeden in der Abfallwirtschaft und der Stoffstromwirtschaft vorkommenden Prozesses in der jeweils notwendigen Detaillierungstiefe. Das umfasst nicht nur Prozesse wie Erfassung, Transport, Sortierung, Aufbereitung, Verbrennung, Mitverbrennung und Ablagerung, sondern auch die Primärprozesse der Materialherstellung, die von Sekundärprodukten ersetzt werden. Jeder Prozess wird so abgebildet.

Beitrag der Abfallwirtschaft zur nachhaltigen Entwicklung in Deutschland

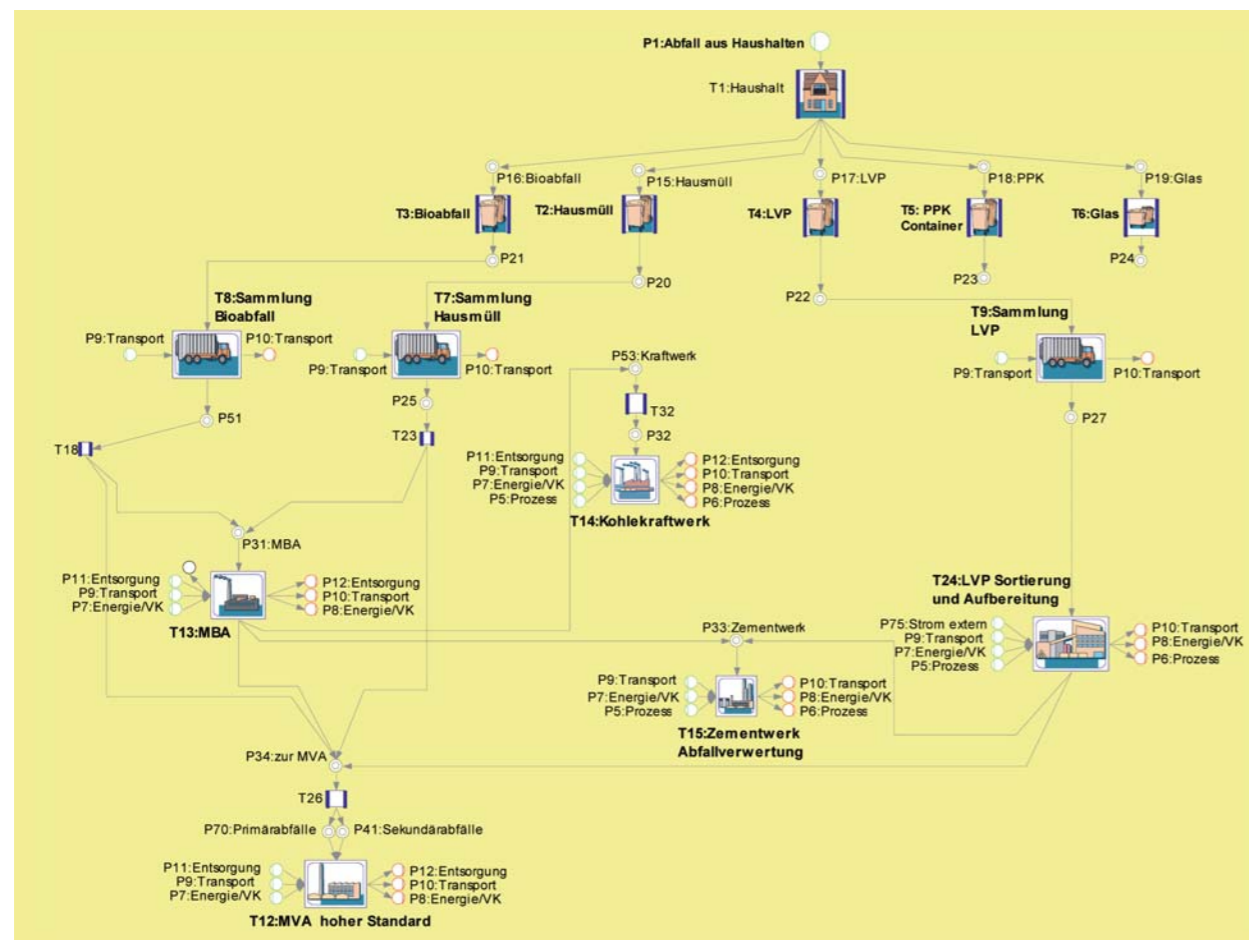
det, dass das Programm dessen jeweiligen Ressourcenbedarf und seine Emissionen an die Umwelt berechnet. Prozesse wie die Müllverbrennung sind gut bekannt und können entsprechend umgesetzt werden. Doch hängen manche Emissionen von der spezifischen Zusammensetzung des Abfalls ab. So muss etwa für die Kohlendioxidemissionen aus Müllverbrennungsanlagen der Anteil an Kohlenstoff – unterteilt nach fossilem und nicht-fossilem Kohlenstoff – in Abhängigkeit von den verbrannten Abfällen bestimmt werden. Die Entwicklung des technischen Stands der Prozesse über die betrachteten Jahre wird dabei berücksichtigt.

Schließlich werden die einzelnen Prozesse entsprechend der Informationen zu Abfallaufkommen und

Abfallverbleib an jeder Stelle des Netzwerks durch Pfeile auf einer grafischen Oberfläche miteinander verknüpft. Im Netzwerk fließen die jeweiligen Abfallmengen und ergeben das Stoffstrommodell (siehe Abbildung 3). Das Netzwerk der Prozesse verläuft dabei nicht nur auf einer Ebene, sondern ist hierarchisch strukturiert.

Für das Stoffstrommodell als Ganzes und für beliebige Teilsysteme können automatisch Input- und Outputbilanzen der Materialverbräuche und der Emissionen an die Umwelt erzeugt, für beliebig viele Parameter untersucht und grafisch dargestellt werden.

Abb. 3: Ausschnitt aus dem Stoffstrommodell für Abfälle aus Haushalten erstellt mit der Software UMBERTO



2 Ressourcenschutz und Umweltbelastungen

- die Themen und Indikatoren

Um den Beitrag der Abfallwirtschaft an der nachhaltigen Entwicklung in Deutschland bestimmen zu können, muss dieser in irgendeiner Form definiert und „messbar“ gemacht werden. Es wurde bereits angesprochen, dass der sehr umfassende Begriff der nachhaltigen Entwicklung auf den Umgang mit Ressourcen, wie im Paragraph 1 des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes dargestellt, beschränkt werden soll.

Natürliche Ressourcen sind definiert als:

Alle Bestandteile der Natur, die für den Menschen direkt einen Nutzen stiften; z.B. fossile Energieträger, erneuerbare nachwachsende Rohstoffe, genetische Ressourcen. Zu den natürlichen Ressourcen zählen auch Leistungen, die die Natur indirekt für den Menschen erbringt; z.B. die Aufnahme von Emissionen (Senkenfunktionen) und die Aufrechterhaltung ökologisch-bio-geochemischer Systeme [UBA Nachhaltige Entwicklung in Deutschland; 2002]

Mit diesem umfassenden Ressourcenbegriff werden einige wichtige Indikatoren ausgewählt.

Als Indikatoren werden für den engeren Ressourcenansatz die endlichen fossilen Energieträger sowie die endlichen mineralischen Ressourcen herangezogen. Für die Senkenfunktionen der Umwelt werden die Bereiche negativer Umweltwirkungen Treibhauseffekt, Versauerung, Überdüngung von Böden und Gewässern sowie Beeinträchtigung der menschlichen Gesundheit ausgewählt.

Im Folgenden werden die ausgewählten Themen, für die eine Bewertung erfolgt, und die dazugehörigen Indikatoren vorgestellt:

1. Fossile Energieressourcen

Fossile Energieträger spielen nach wie vor eine wesentliche Rolle in der Wirtschaftsweise unserer Industriegesellschaft. Sie gelten als endliche Ressource allerdings mit unterschiedlichen Reservemengen je nach Energieträger (Erdöl, Erdgas, Kohle).

Um den Umgang mit fossilen Energieträgern beschreiben zu können, wird als Indikator der kumulierte Energieaufwand herangezogen. Darunter wird die Summe aller Energieaufwendungen der primären Rohstoffe Erdöl, Erdgas und Kohle verstanden. Der Indikator wird in der Einheit Joule gemessen.

2. Mineralische Ressourcen

Neben fossilen Energieträgern sind auch mineralische Ressourcen als endliche Rohstoffe im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung zu schonen. Zukünftige Generationen sollen die gleichen Chancen haben, auf diese Materialien zugreifen zu können.

Aus der Vielfalt mineralischer Ressourcen werden hier beispielhaft zwei Stoffe ausgewählt. Zum Einen handelt es sich um Eisen bzw. Eisenerz und zum Anderen um Phosphaterz als wichtigen Rohstoff für Düngemittel in der Landwirtschaft. Als Indikator wird jeweils die absolute Menge in Tonnen verwendet.

3. Treibhauseffekt

Neben der Ressourcenschonung wird der Klimaschutz als eines der vordringlichsten Umweltprobleme angesehen. Deutschland hat sich im Rahmen des Kyoto-Protokolls verpflichtet, sechs Treibhausgase von 1990 bis 2012 um 21 Prozent zu reduzieren. Neben dem dominierenden Treibhausgas Kohlendioxid (CO₂) spielen im Bereich der Abfallwirtschaft noch Methan (CH₄) und Lachgas (N₂O) eine wichtige Rolle. Als Indikator wird eine dem Kohlendioxid äquivalente Wirkung als Mengenbezug verwendet. Sie wird als Tonne CO₂-Äquivalent angegeben und gemessen.

Wichtig ist es zu erwähnen, dass eine langfristige Einlagerung (größer 100 Jahre) an nicht fossilem Kohlenstoff in Deponien oder Böden zu einer Reduzierung des Treibhauseffekts führt. Die Anrechnung dieser so genannten C-Senke ist nicht über Konventionen geregelt und wird deshalb hier auch nicht berücksichtigt.

Beitrag der Abfallwirtschaft zur nachhaltigen Entwicklung in Deutschland

4. Versauerung

Eine wichtige Umweltwirkung, bei der die Senkenfunktion der Umweltmedien beachtet werden muss, ist die Versauerung der Umweltschutzgüter Boden und Wasser. Die versauernde Wirkung geht dabei in erster Linie von Schwefeldioxid und Stickoxiden aus. Aber auch andere Gase wie Chlorwasserstoff, Fluorwasserstoff, Schwefelwasserstoff und Ammoniak tragen zu der versauernden Wirkung bei. Als Indikator wird die versauernde Wirkung einer äquivalenten Schwefeldioxidmenge herangezogen. Gemessen wird der Indikator als Tonne SO₂-Äquivalent.

5. Überdüngung von Böden und Gewässern

Eine weitere Umweltwirkung von übergeordneter Natur, welche die Senkenfunktion der Umwelt in Anspruch nimmt, ist die Überdüngung von Böden und Gewässern. Nährstoffe oder Vorläufersubstanzen von Nährstoffen werden dabei in die Luft und in Wasserkörper freigesetzt und verändern die natürlichen Gegebenheiten der Ökosysteme. Luftemissionen, die zu einer Überdüngung von Böden führen, sind in erster Linie Stickoxide und Ammoniak. Zur Überdüngung (Eutrophierung) von Wasserkörpern tragen Phosphat- und Stickstoffverbindungen bei, unterstützt durch die Verarmung an Sauerstoff – gemessen am chemischen Sauerstoffbe-

3 Der Beitrag der Abfallwirtschaft zur nachhaltigen Entwicklung in den Jahren 1990 bis 2001 mit Ausblick auf das Jahr 2005

- die Ergebnisse

Für die sechs ausgewählten Themen mit insgesamt neun Indikatoren einer nachhaltigen Entwicklung 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 Besei-

darf. Unterschieden nach beiden Wirkungspfaden wird als Indikator eine äquivalente Phosphatmenge gewählt und als Tonnen PO₄-Äquivalent angegeben.

6. Beeinträchtigung der menschlichen Gesundheit durch krebserzeugende Stoffe und Feinstaub

Schwierig ist die Gesamtsituation bei der Beeinträchtigung der menschlichen Gesundheit zu bewerten. Zu unterschiedlich sind lokale Situationen und mögliche Belastungspfade. Deshalb werden hier zwei Belastungsarten für die menschliche Gesundheit gewählt, die räumlich und zeitlich eher zu einer Gleichverteilung und damit -belastung führen und für die keine Wirkungsschwellen bekannt sind.

Für die krebsauslösende Wirkung von Luftschadstoffen wird als Indikator zum Einen die auf Arsen bezogene Wirkungsstärke von kanzerogenen Stoffen in Tonnen As-Äquivalent (As, Cd, Cr(VI), Ni, BaP, PCB, PCDD/PCDF) verwendet und für Partikel die absolute Menge an Staubpartikeln und Sekundärpartikeln kleiner 10 Mikrometer (PM10) gemessen in Tonnen PM10-Äquivalent. Zur Umrechnung der Verbindungen wie SO₂, NO_x, NMVOC und NH₃ in Sekundärpartikel kommen Angaben der Europäischen Umweltagentur zur Anwendung.

tigung eines Abfalls – sind mit Ressourcenverbrauch und Umweltbelastungen verbunden. Sie werden durch die Balken nach oben repräsentiert. Die farblich hervorgehobenen Abschnitte stellen die Beiträge der einzelnen Teilsysteme und Prozesse zur Verwertung und Behandlung dar.

Die stoffliche und energetische Verwertung von Abfällen führen zu Ressourceneinsparungen und Umweltentlastungen an anderer Stelle im Wirtschaftskreislauf. Dieser Einspareffekt wird mit Balken nach unten abgebildet. Die Balken nach unten bestehen demnach aus den Gutschriften, die sich auf jedes substituierte Mate-

rial bzw. auf die Energiesubstitution des Verwertungsprozesses beziehen. Die farbliche Darstellung lässt erkennen, welcher Beitrag aus welcher Material- bzw. Energiegutschrift stammt.

Die Ressourcen- und Umweltbelastungen durch die Aktivitäten der Abfallwirtschaft (nach oben) und die Ressourcen- und Umweltentlastungen 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 Bundesbilanz verfügbaren aktuellen Abfallzahlen
- die mögliche Situation für 2005 nach Umsetzung der Abfallablagereverordnung

3.1 Fossile Ressourcen

Die seit 1990 forcierten Maßnahmen der Abfallwirtschaft haben zu einem eindeutigen Anstieg des Einsatzes an fossilen Energieträgern geführt. Insbesondere bei der Verwertung von Papier und Pappe, der Leichtverpackungen und des Bioabfalls ist es zu einer Steigerung des Verbrauchs fossiler Ressourcen gekommen.

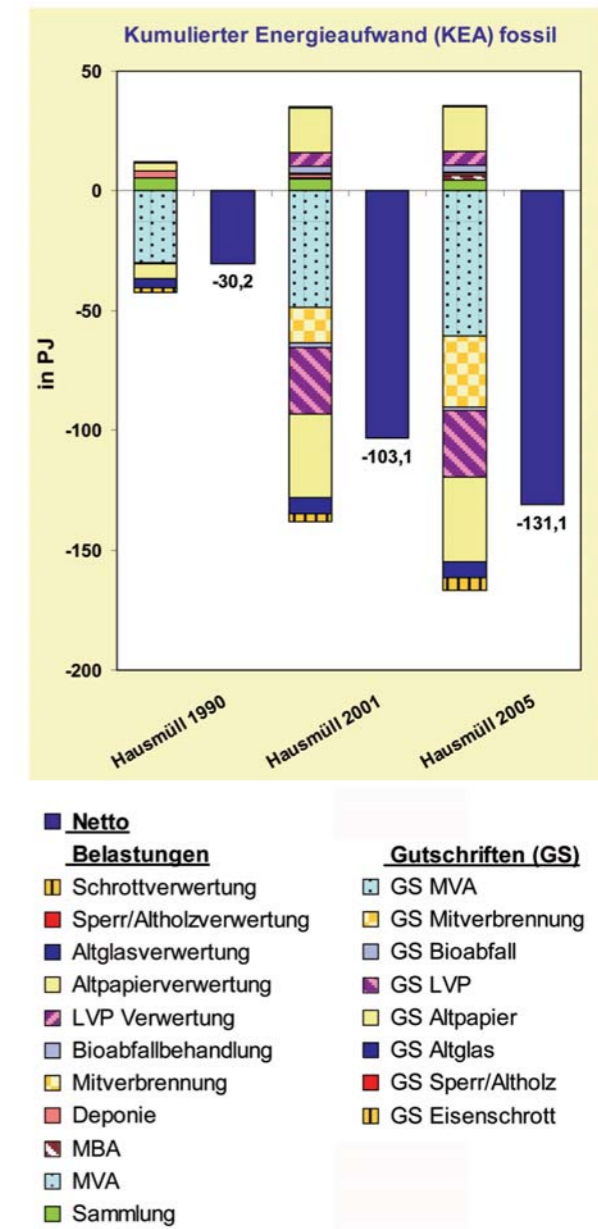
Die Umsetzung der abfallwirtschaftlichen Maßnahmen hat aber auch eindeutig gestiegene Entlastungen zur Folge. Die größten Beiträge zur Einsparung fossiler Energieträger ergeben sich aus der deutlich ausgeweiteten stofflichen Verwertung von Papier, Pappe und Leichtverpackungen, aber auch durch die Kapazitätssteigerungen der Verbrennungsanlagen. Einen zunehmend wichtigen Beitrag stellt die industrielle Mitverbrennung hauptsächlich in Kraftwerken und Zementwerken dar, der sich nach den Prognosen für 2005 weiter ausweiten wird.

Die Einsparungen an fossilen Energieträgern sind durch die gesteigerte stoffliche und energetische Verwertung wesentlich stärker angestiegen als die Aufwendungen. So ergibt sich eine höhere Ressourceneinspa-

rung 2001 gegenüber 1990 von etwa 70 PJ. (1 PJ = 1 Petajoule = 10¹⁵ Joule) Die Anforderungen des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes nach ressourcensparender 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 Ener-

Abb. 4: Ergebnisse für die Beanspruchung fossiler Ressourcen



Beitrag der Abfallwirtschaft zur nachhaltigen Entwicklung in Deutschland

gieträgern 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 Haushaltungen 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 einem Prozent des Verbrauchs an fossilen Energieträgern in Deutschland im Jahr 2001.

3.2 Mineralische Ressourcen

Die Schonung natürlicher Ressourcen (§ 1 KrW-/AbfG) als Hauptziel der Abfallwirtschaft umfasst neben Energieressourcen auch mineralische Ressourcen. Als typische Beispiele aus der Vielfalt mineralischer Ressourcen wurden hier Eisen bzw. Eisenerz und Phosphaterz ausgewählt.

Eisen und Eisenerz

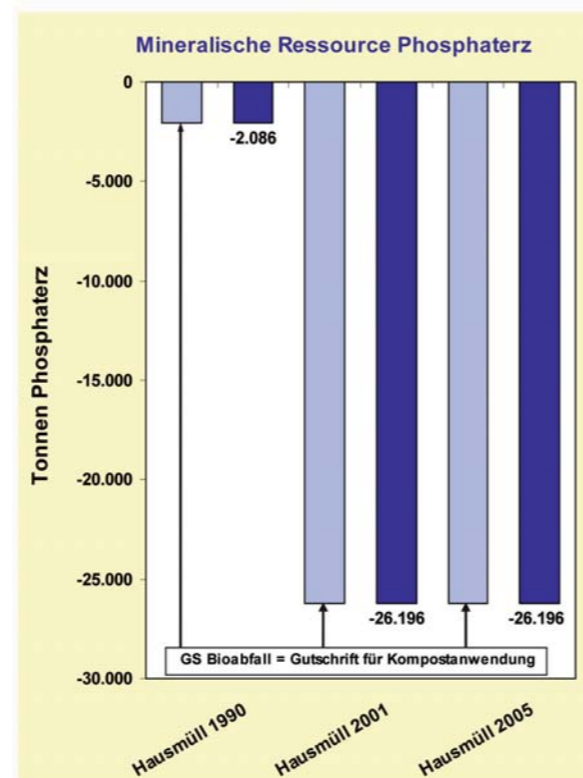
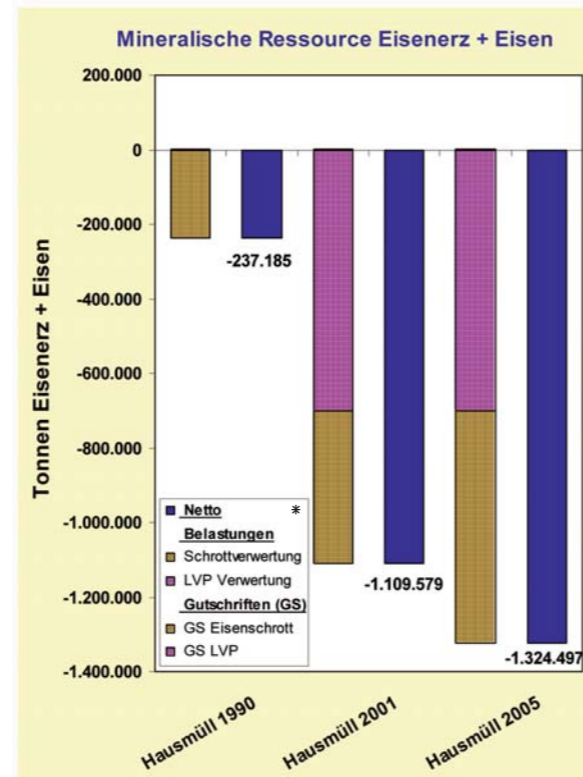
Die Einsparungen an Eisen und Eisenerz aus dem Bereich Abfälle aus Haushaltungen konnten von etwa 240 000 Tonnen im Jahr 1990 auf über 1,1 Millionen Tonnen in 2001 deutlich gesteigert werden. Grund dafür waren hauptsächlich die über die Leichtverpackungen erfassten Weißblechdosen, die im Jahr 1990 in großem Maße noch auf den Deponien gelandet waren. Die ausgeweiteten Verbrennungskapazitäten führen über die Schrottverwertung in der Schlacke ebenso zu einer höheren Wiederverwertungsrate. Mit einem verstärkten Einsatz von MBA 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. Die Substitution von Phosphaterz findet durch die Anwendung von Kompost und Gärrückstand in Landwirtschaft, Gartenbau und Landschaftsbau 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

Abb. 5: Ergebnisse für die Beanspruchung mineralischer Ressourcen für Eisen bzw. Eisenerz und Phosphaterz



* 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.

Steigerung der Ressourceneinsparung an Phosphaterz geführt. Konnten im Jahr 1990 nur etwa 2 000 Tonnen an Phosphaterz eingespart werden, so waren es 2001 bereits über 26000 Tonnen. 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 Haushaltungen wurde 2001 fast fünfmal mehr Eisen- und Eisenerz zurückgewonnen als im Jahr 1990.

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

3.3 Treibhauseffekt

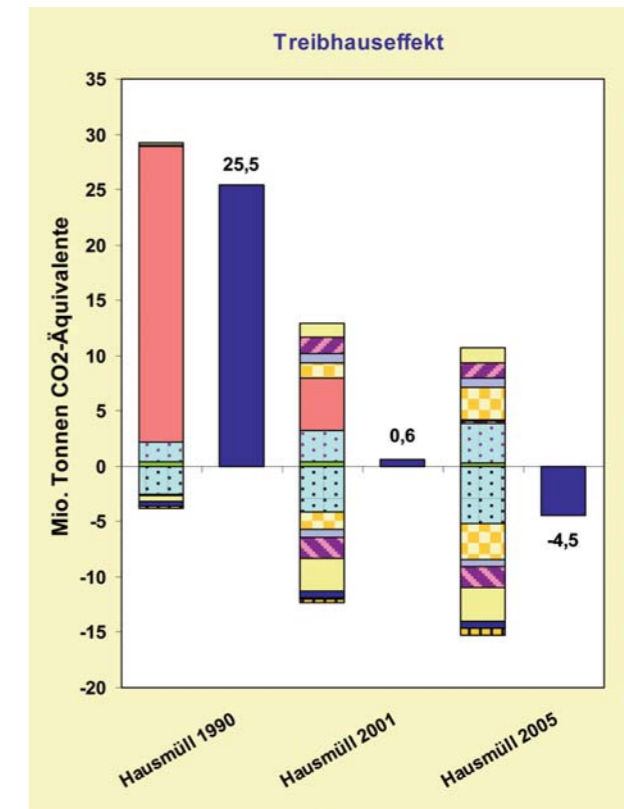
Der Beitrag der Abfallwirtschaft zur Reduktion klimawirksamer Gase zwischen 1990 und heute ist beträchtlich. Eine weitere Reduktion ist auch für 2005 zu erwarten.

Waren im Jahr 1990 netto noch über 25 Millionen Tonnen an CO₂-Äquivalent 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. Das heißt, dass die Entlastungen durch abfallwirtschaftliche Maßnahmen die Belastungen fast aufwiegen.

Dominierender Beitrag der Abfallwirtschaft zum Treibhauseffekt sind die Methangasemissionen aus Deponien. Damit haben die Reduktion der in Deponien abgelagerten Abfälle aus Haushaltungen aber auch die Verbesserung der technischen Einrichtungen wie Deponieabdeckung und Deponiegasfassung zu einer deutlichen Verminderung dieser Belastungen beigetragen.

Durch die Umsetzung der Abfallablagerversordnung 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 fünf Millionen Tonnen CO₂-Äquivalent für die im Szenario für 2005 entsorgte Abfallmenge aus Haushaltungen steht zu erwarten, was dann zu einer

Abb. 6: Ergebnisse für die Wirkungskategorie Treibhauseffekt



* Deponiegasemissionen einer abgelagerten Menge an Abfall entwickeln sich über viele Jahre (ca. 100 Jahre). In dieser 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 gaserzeugenden Abfälle herangezogen werden müssen.

Beitrag der Abfallwirtschaft zur nachhaltigen Entwicklung in Deutschland

Netto-Entlastung durch die Abfallwirtschaft von etwa 4,5 Millionen Tonnen 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. Insbesondere die industrielle Mitverbrennung weist hohe Wirkungsgrade und damit eine hohe Substitution auf. Auch die stoffliche Verwertung leistet ihren Beitrag, muss jedoch im Vergleich zur Reduktion an Deponiegasemissionen als weniger ausschlaggebend angesehen werden.

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 Abfallablagereverordnung sogar eine Entlastung des Treibhauseffektes um ca. 4,5 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalent. Insgesamt ist damit für das Jahr 2005 ein Rückgang der Treibhausgase von etwa 30 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalent gegeben gegenüber den im Jahr 1990 durch die Abfallentsorgung bedingten Treibhausgasemissionen.

3.4 Versauerung

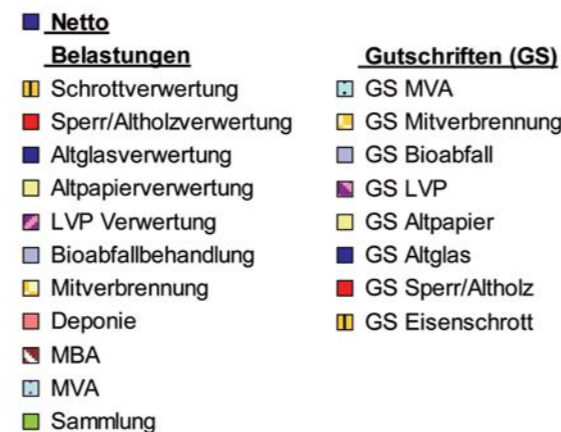
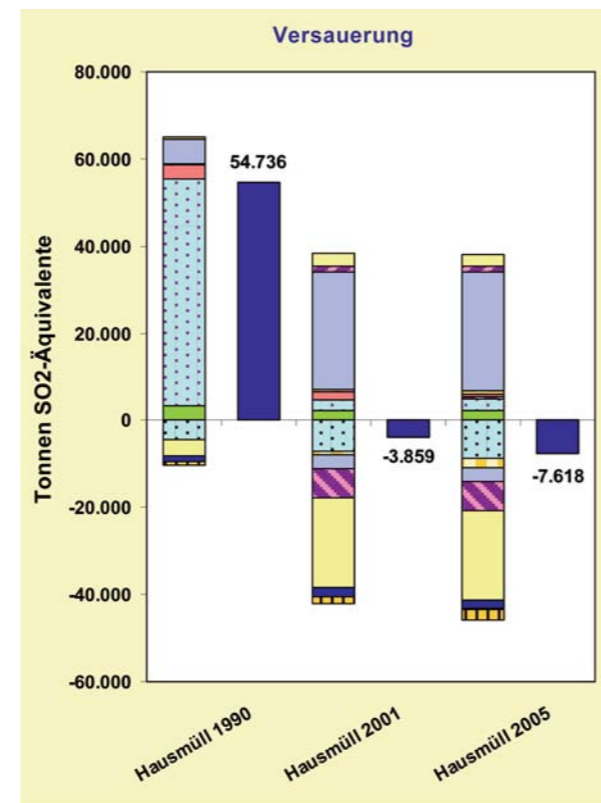
Im Jahr 1990 trug die Abfallwirtschaft mit über 60 000 Tonnen SO₂-Äquivalent zur Versauerung bei. Da dieser Menge kaum Entlastungen gegenüberstanden, lag die Netto-Belastung bei fast 55 000 Tonnen SO₂-Äquivalent. Die erhebliche Verbesserung der Emissionsstandards für versauernde Gase durch die Abfallverbrennungsverordnung (17. BImSchV) hat zu einer deutlichen Reduzierung dieser Umweltbelastung bis zum Jahr 2001 geführt. Gegenläufig dazu ist die stark angestiegene Emission an Ammoniak aus offenen Anlagen der biologischen Abfallbehandlung, die schließlich die Belastungen im Jahr 2001 dominiert.

Neben einer Reduzierung der versauernden Emissionen tragen jedoch im Jahr 2001 besonders die Gutschriften durch substituierte Primärmaterialherstellung zur Emissionsvermeidung bei und führen damit sogar zu einer Netto-Entlastung von rund 4 000 Tonnen SO₂-Äquivalent. Die Gutschriften werden dabei dominiert durch die stoffliche Verwertung von Papier und Pappe, den Leichtverpackungen und Eisenschrott. Eine höhere Gut-

schrift kommt auch aus der energetischen Verwertung zustande, da die Verbrennung von Abfällen auf Grund geringerer Schwefelgehalte 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 Müllverbrennungsan-

Abb. 7: Ergebnisse für die Wirkungskategorie Versauerung



lagen mit guter Abgasreinigung zu höheren Gutschriften aus der Energieerzeugung führt.

Die Ammoniakemissionen aus offenen Anlagen der biologischen Abfallbehandlung schränken die Erfolge auf Grund der verschärften Emissionsstandards bei Verbrennungsanlagen ein, sodass sich die Umweltentlastung auf ca. 4 000 Tonnen SO₂-Äquivalent jährlich beschränkt. Allerdings ist die Verbesserung von 1990 bis heute durch die Reduktion um fast 60 000 Tonnen SO₂-Äquivalent beträchtlich.

3.5 Überdüngung von Böden und Gewässern

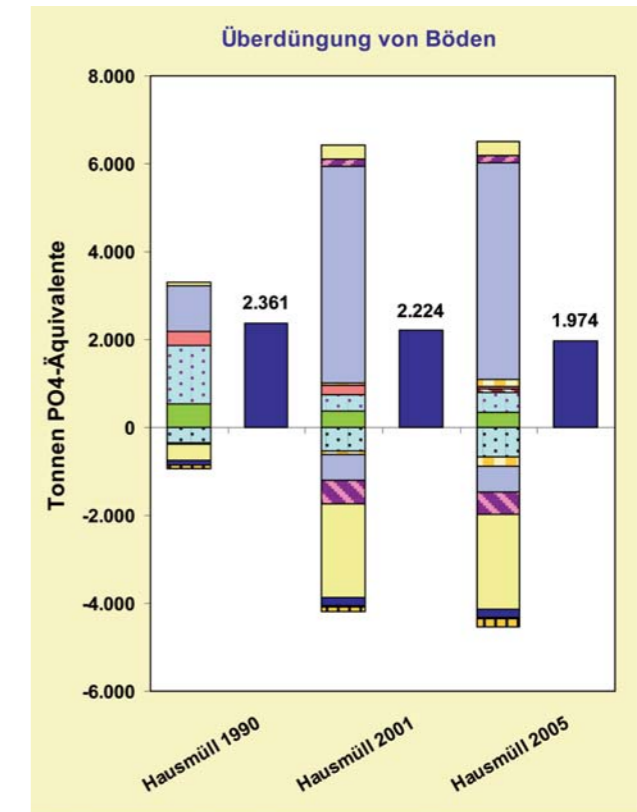
Bodenschutz

Die Überdüngung von Böden – bestimmt über die Emissionen von eutrophierenden Verbindungen in die Luft – hat sich von 1990 bis 2001 kaum verändert. Auch die Maßnahmen der Abfallablagereverordnung werden für das Jahr 2005 kaum Auswirkungen auf diese Umweltbelastung haben. Die Netto-Belastung liegt bei dieser Wirkungskategorie bei etwa 2 000 Tonnen PO₄-Äquivalent.

Ausschlaggebend für diese Entwicklung ist die Ausweitung der Verwertung und Behandlung von organischen Abfällen, die bei offenen Anwendungen zu beträchtlichen Ammoniakemissionen führen. Während die Reduktion von Stickoxidemissionen bei Abfallverbrennungsanlagen zu einer Minderung zwischen 1990 und 2001 geführt haben, konnte ein Anstieg der Netto-Belastung lediglich durch die Gutschriften aus der gesteigerten stofflichen Verwertung von Papier, Pappe und Leichtverpackungen verhindert werden.

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. 8: Ergebnisse für die Wirkungskategorie Überdüngung von Böden



Beitrag der Abfallwirtschaft zur nachhaltigen Entwicklung in Deutschland

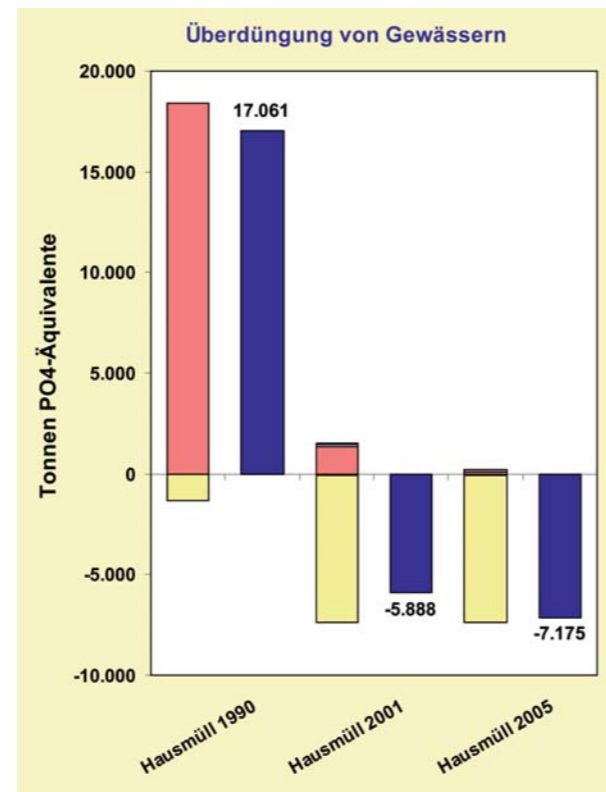
Gewässerschutz

Neben dem Wirkungspfad der Überdüngung von Böden ist die Belastung von Gewässern durch düngende und sauerstoffzehrende Substanzen (aquatische Eutrophierung) fast ausschließlich durch die Deponierung und das Altpapierrecycling bestimmt. Die Verringerung der Gewässerbelastung von ca. 17 000 Tonnen PO₄-Äquivalent im Jahr 1990 auf eine Gewässerentlastung von ca. 6 000 Tonnen PO₄-Äquivalent im Jahr 2001 hängt hauptsächlich mit der Reduzierung der abgelagerten Menge an Abfällen aus Haushaltungen und der verbesserten Deponietechnik (Sickerwasserfassung und -behandlung) zusammen. Die Entlastung von Gewässern durch Primärfaserherstellung durch Papier- und Papprecycling trägt schlussendlich zu einer Gesamt Netto-Entlastung bei.

Durch die Unterbindung der Ablagerung unvorbehandelter Abfälle ab dem Jahr 2005 wird sich die eutrophierende Gewässerbelastung weiter leicht verringern.

Die Gewässerbelastung mit eutrophierenden und sauerstoffzehrenden Stoffen durch die Abfallwirtschaft hat sich insbesondere durch verbesserte Deponietechniken, die Verminderung der Ablagerungsmenge und das Altpapierrecycling um fast zwei Drittel verringert.

Abb. 9: Ergebnisse für die Wirkungskategorie Überdüngung von Gewässern



3.6 Beeinträchtigung der menschlichen Gesundheit

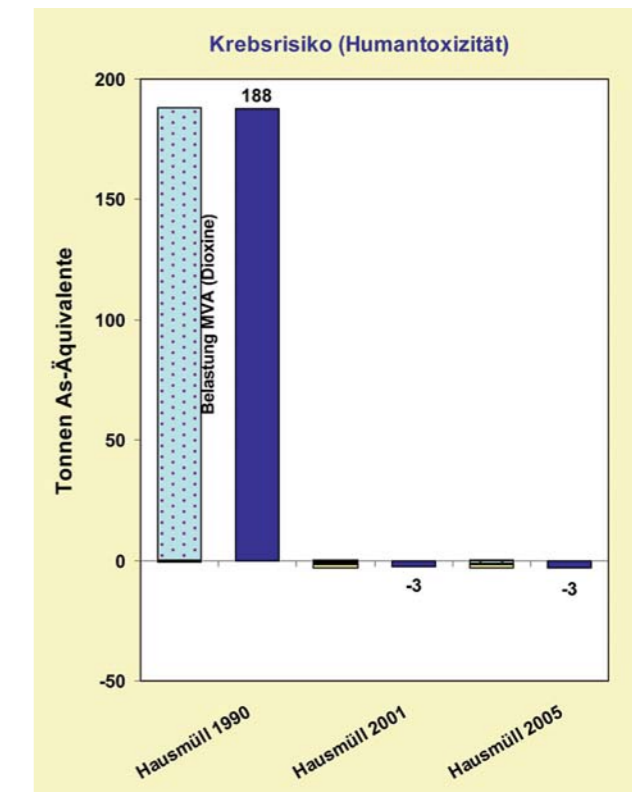
Krebsrisiko

Eine eindrucksvolle Entwicklung zeigt die Reduktion bei der Beeinträchtigung der menschlichen Gesundheit gemessen am Indikator der Luftemissionen krebserzeugender 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 Reduktion von 188 Tonnen Arsen-Äquivalent Belastung auf eine Entlastung von drei Tonnen Arsen-Äquivalent braucht nicht weiter kommentiert zu werden.

Das Krebsrisiko wurde insbesondere auf Grund der Verschärfung der Emissionsstandards für Abfallverbrennungsanlagen drastisch reduziert.

Abb. 10: Ergebnisse für die Wirkungskategorie Krebsrisiko (Humantoxizität)



Beitrag der Abfallwirtschaft zur nachhaltigen Entwicklung in Deutschland

Risiko durch Feinstaubbelastung der Außenluft

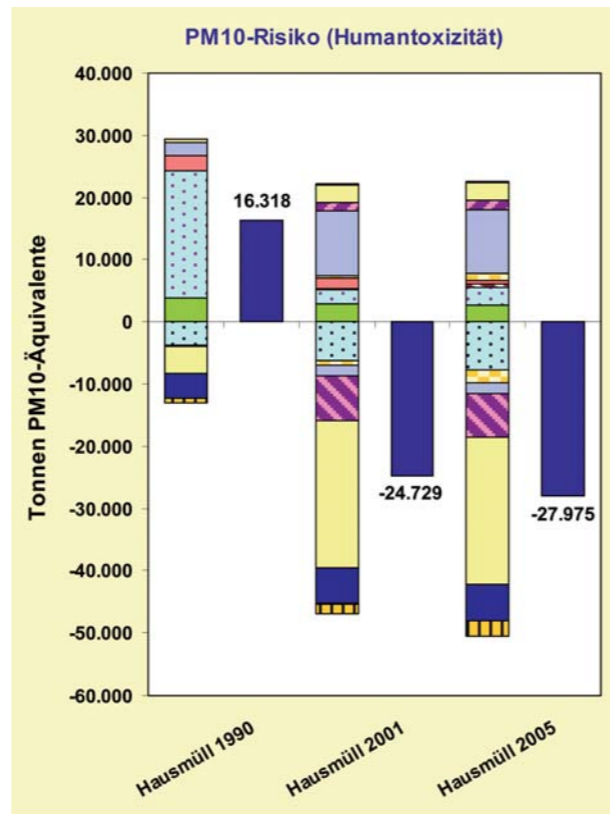
Auch bei der Entwicklung der Luftbelastung durch Feinstäube, PM10, sind deutliche Verbesserungen zwischen 1990 und 2001 zu verzeichnen. Ein Rückgang der Emissionen von Feinstaub und dessen Vorläufersubstanzen um 41 000 Tonnen PM10-Äquivalent hat von einer Netto-Belastung im Jahr 1990 durch die Abfallwirtschaft zu einer Netto-Entlastung von fast 25 000 Tonnen PM10-Äquivalent 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 in deutlichem Maße zur Reduktion von Feinstaubemissionen aber auch der Substanzen zur Sekundärpartikelbildung aus Müllverbrennungsanlagen beigetragen hat. Eine gegenläufige Entwicklung ist durch die Ammoniakemission aus der offenen Bioabfallbehandlung entstanden, die zu einer deutlichen Ausweitung der Sekundärpartikel durch diese Verbindung geführt hat.

Dass dennoch eine deutliche Reduktion verzeichnet werden kann, liegt an der Entlastungswirkung der Gutschriften aus der Papier/Pappeherstellung, der Primärmaterialien der Leichtverpackungen und Glas. Die weitere Reduktion von 2001 zu 2005 geht indes nur von der erhöhten Verbrennungskapazität aus, die bei hohen Standards in der Müllverbrennung zu überproportionalen Entlastungen bei der herkömmlichen Energieerzeugung führen.

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

Abb. 11: Ergebnisse für die Wirkungskategorie PM10-Risiko (Humantoxizität)



4 Die Leistung der Abfallwirtschaft in Deutschland

Um den Beitrag der Abfallwirtschaft – hier der Abfälle aus Haushaltungen – in einer Gesamtschau zu verdeutlichen, werden die Indikatoren auf ein gemeinsames, gleiches Maß für die Gesamtressourcennutzung bzw. Gesamt-Umweltbelastung eines Bundesbürgers bezogen [Umweltdaten 2002].

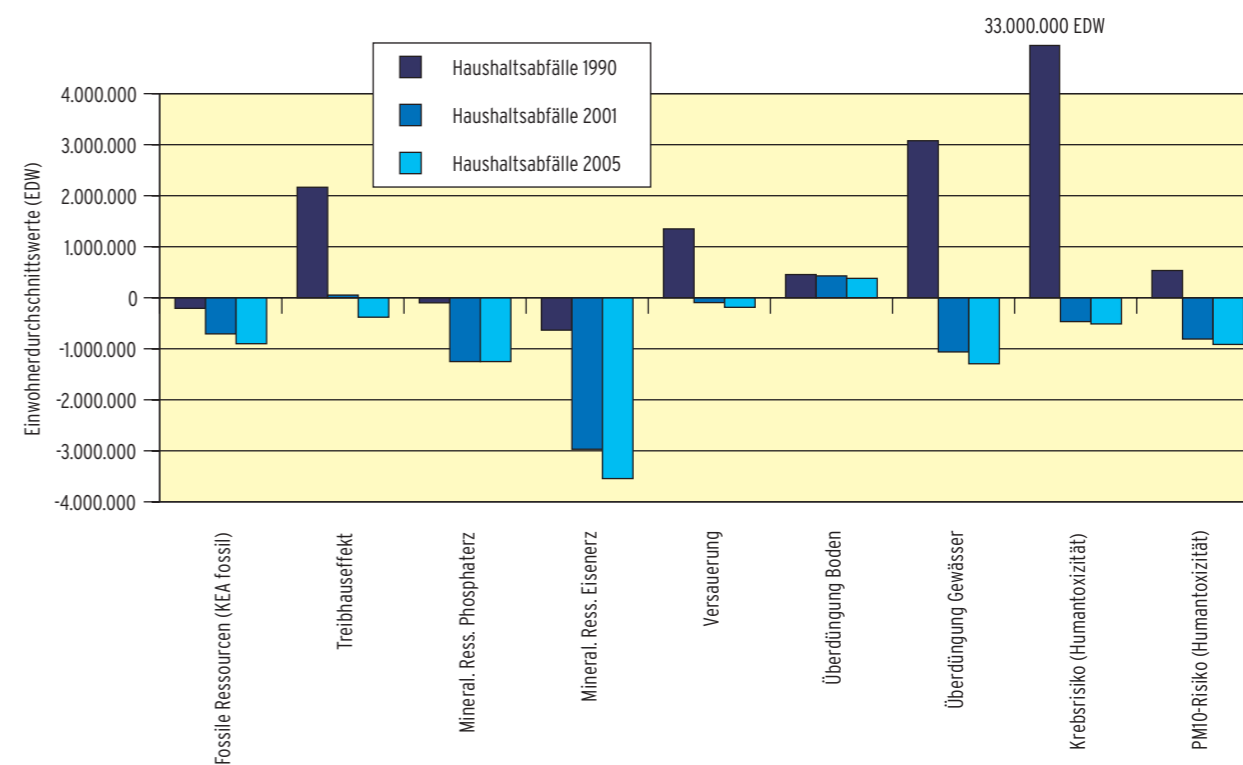
Mit den für einen Einwohner ermittelten Ressourcen- und Belastungszahlen kann man nun den Beitrag der Abfallwirtschaft in Deutschland in einer Einwohneranzahl ausdrücken. Das Ergebnis liest sich dann wie: „Die Entlastung der fossilen Ressourcen durch die Abfallwirtschaft ist so groß wie statistisch gesehen der Ressourcenverbrauch von ca. 700 000 Einwohnern im Jahr 2001 in Deutschland.“

Bei einem Blick auf die zusammenfassende Abbildung 12 sticht ein Indikator deutlich heraus. Die gesundheitliche Beeinträchtigung durch das Krebsrisiko von Luftemissionen betrug im Jahr 1990 soviel wie statis-

tisch gesehen das durch etwa 33 Millionen Einwohner verursachte Risiko (im Bezug auf die Gesamtemission krebserzeugender Schadstoffe im Jahr 2001). 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 Einwohnerdurchschnittswerten gleichkommt.

Doch auch sonst haben sich die Netto-Belastungen der Umwelt durch die Abfallwirtschaft des Jahres 1990 in Netto-Entlastungen verwandelt. Das gilt neben dem Krebsrisiko für den Treibhauseffekt (erst definitiv im Szenario für das Jahr 2005), die Versauerung, die Überdüngung der Gewässer und das Feinstaub-Risiko. Lediglich die unbeabsichtigte Überdüngung von Böden stagniert als Belastung auf Grund der Ammoniakemissionen aus der Behandlung von Bioabfällen in offenen Anwendungen.

Abb. 12: Nettoergebnisse der abfallwirtschaftlichen Entwicklung 1990, 2001 und 2005 für die neun untersuchten Indikatoren ausgedrückt in Einwohnerdurchschnittswerten



Beitrag der Abfallwirtschaft zur nachhaltigen Entwicklung in Deutschland

Die Erfüllung der Anforderung des Kreislaufwirtschaftsgesetzes zur Schonung der natürlichen Ressourcen (§ 1 KrW-/AbfG) wird an Hand der drei Beispiele fossile Ressourcen, Eisenerz und Phosphaterz eindrücklich bestätigt. Bei fossilen Ressourcen beträgt der Einspareffekt im Jahr 2001 bereits 700 000 Einwohnerdurchschnittswerte und erhöht sich durch die bereits eingeleiteten Maßnahmen noch auf 900 000 Einwohnerdurchschnittswerte im Szenario für das Jahr 2005. Doch auch die Einsparung mineralischer Ressourcen für Eisenerz von fast drei Millionen und Phosphaterz von mehr als 1,2 Millionen Einwohnerdurchschnittswerten allein bei Abfällen aus Haushaltungen zeigen den Wert zur Schließung von Kreisläufen.

Auch die Reduzierung der Umweltbelastungen durch Emissionen ist beeindruckend. Insbesondere die Maßnahmen zur Reduktion von Methanemissionen aus Deponien zeigen den Erfolg bei der Verbesserung des Klimaschutzes. Von 2 160 000 Einwohnerdurchschnittswerten konnte die Belastung durch den Treibhauseffekt auf ca. 50 000 Einwohnerdurchschnittswerte im Jahr 2001 vermindert werden. Die weitere konsequente Umsetzung der Abfallablagereverordnung ab dem Jahr 2005 wird nach den bisherigen Prognosen sogar zu einer Entlastung der Umwelt um fast 400 000 Einwohnerdurchschnittswerte führen. Damit ist im Szenario 2005 gegenüber 1990 eine Reduktion um etwa 30 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalent erreicht, was 2,6 Millionen Einwohnerdurchschnittswerten entspricht.

Doch auch die Belastungsindikatoren Versauerung, Überdüngung der Gewässer und Feinstaub-Risiko zeigen einen deutlichen Rückgang. Minderungen bei Versauerung um 1,5 Millionen, bei Überdüngung der Gewässer um über vier Millionen und bei Feinstaub-Risiko um über 1,3 Millionen Einwohnerdurchschnittswerte im Jahr 2001 gegenüber 1990 sprechen eine deutliche Sprache. Lediglich bei der Überdüngung der Böden stagniert die berechnete Umweltbelastung.

Der Beitrag der Abfallwirtschaft zu einer Stärkung einer nachhaltigen Entwicklung und Verbesserung der Umweltsituation durch die zwischen 1990 und heute getroffenen Maßnahmen ist beeindruckend. Neben einem dramatischen Rückgang des Krebsrisikopotenzials zeigen alle weiteren Indikatoren, bis auf einen, eine deutliche Verbesserung an. Der Trend setzt sich für die bereits beschlossenen aber noch nicht vollständig umgesetzten Maßnahmen für das Jahr 2005 fort.

Beitrag der Abfallwirtschaft zur nachhaltigen Entwicklung in Deutschland

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).

Abfallablagerungsverordnung:

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).

Die Bundesregierung 2002:

Perspektiven für Deutschland. Unsere Strategie für eine nachhaltige Entwicklung. S. 40. Bonn 2002

Enquete-Kommission 1994:

Die Industriegesellschaft gestalten; Enquete-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt“ des 12. Deutschen Bundestages (Hrsg.) Economica Verlag, Bonn, 1994

LAGA 2004:

Bericht der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) zur 62. Umweltministerkonferenz. Umsetzung der Abfallablagerungsverordnung – 2. Fortschreibung – (Hrsg.) Landesamt für Umweltschutz und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz. (Stand 25.03.04).

StBA 1990:

Statistisches Bundesamt Reihe 1.1, Fachserie 19, Öffentliche Abfallbeseitigung 1990.

StBA 2004:

Abfallaufkommen und Abfallentsorgung in Deutschland. Vom Statistischen Bundesamt erstellte Bundesbilanz für 2001 (Stand 11.03.04).

UBA Nachhaltige Entwicklung in Deutschland 2002:

Nachhaltige Entwicklung in Deutschland; Die Zukunft dauerhaft umweltgerecht gestalten; Umweltbundesamt; Erich Schmidt Verlag, Berlin, 2002

Umweltdaten 2002:

Umweltdaten Deutschland 2002, Umweltbundesamt, Berlin 2002

Impressum

Herausgeber:

Bundesministerium für Umwelt,
Naturschutz und Reaktorsicherheit
Referat Öffentlichkeitsarbeit
11055 Berlin

Fax: (01888) 305 2044

E-mail: service@bmu.bund.de

Technische Abwicklung:

Karin Kattwinkel
Kommunikationsmanagement
29664 Walsrode

Druck:

Mercedes Druck GmbH
Sportfliegerstraße 6
12487 Berlin

Gedruckt auf Recyclingpapier aus
100% Altpapier

Berlin, September 2004