

Klimaschutzpotenziale der Abfallwirtschaft

Am Beispiel von Siedlungsabfällen und Altholz

UMWELTFORSCHUNGSPLAN DES
BUNDESMINISTERIUMS FÜR UMWELT,
NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT

Förderkennzeichen 3708 31 302
UBA-FB 001347

Klimaschutzpotenziale der Abfallwirtschaft

Am Beispiel von Siedlungsabfällen und Altholz

von

**Günter Dehoust
Dr. Doris Schüler**

Öko-Institut e.V. Institut für angewandte Ökologie, Freiburg /
Darmstadt / Berlin

**Regine Vogt
Jürgen Giegrich**

IFEU Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH

Im Auftrag des Umweltbundesamtes und des
Bundesverbandes der Deutschen Entsorgungswirtschaft e.V.

UMWELTBUNDESAMT

Diese Publikation ist ausschließlich als Download unter http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-medien/mysql_medien.php?anfrage=Kennnummer&Suchwort=3907 verfügbar. Hier finden Sie auch eine englische Fassung.

Die in der Studie geäußerten Ansichten und Meinungen müssen nicht mit denen des Herausgebers übereinstimmen.

ISSN 1862-4804

Herausgeber: Umweltbundesamt
Postfach 14 06
06813 Dessau-Roßlau
Tel.: 0340/2103-0
Telefax: 0340/2103 2285
Email: info@umweltbundesamt.de
Internet: <http://www.umweltbundesamt.de>

Redaktion: Fachgebiet III 2.4 Abfalltechnik, Abfalltechniktransfer
Marlene Sieck

Dessau-Roßlau, März 2010

Berichts-Kennblatt

1. Berichtsnummer UBA-FB 001347	2.	3. Siedlungsabfallwirtschaft
4. Titel des Berichts Klimaschutzpotenziale der Abfallwirtschaft – Am Beispiel von Siedlungsabfällen und Altholz -		
5. Autor(en), Name(n), Vorname(n) Öko-Institut: Dehoust, Günter; Schüler, Doris ifeu-Institut: Vogt, Regine; Giegrich, Jürgen	8. Abschlussdatum Dezember 2009	
	9. Veröffentlichungsdatum März 2010	
6. Durchführende Institutionen (Name, Anschrift) Öko-Institut e.V. Institut für angewandte Ökologie Rheinstraße 95 D-64295 Darmstadt ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH Wilckensstraße 3 D-69120 Heidelberg	10. Förderkennzeichen (FKZ) 3708 31 302	
	11. Seitenzahl 142	
7. Fördernde Institution (Name, Anschrift) Umweltbundesamt Postfach 1406 06813 Dessau-Roßlau Zusammen mit: BDE Bundesverband der Deutschen Entsorgungswirtschaft e.V. Behrenstraße 29 10117 Berlin	12. Literaturangaben 95	
	13. Tabellen / Diagramme 84	
	14. Abbildungen 41	
15. Zusätzliche Angaben		

16. Kurzfassung

In den Nationalen Inventarberichten werden nur direkte Treibhausgasemissionen im Sektor Abfall berücksichtigt. Die Gesamtleistungen der Abfallwirtschaft zur Reduktion der Treibhausgasemissionen nach dem Kyoto-Protokoll werden somit nicht abgebildet. Insbesondere die Leistungen durch die getrennte Erfassung von Wertstoffen aus Abfall und deren Wiederverwertung bzw. die energetische Nutzung solcher Fraktionen oder des Restes tauchen dort als Einsparungen anderer Branchen der Produktionsindustrie und Energiewirtschaft auf.

Das Forschungsprojekt hat deshalb die Leistungen der Siedlungsabfallwirtschaft inkl. der Altholznutzung in Deutschland, in den 27 Staaten der Europäischen Union sowie in den Ländern Türkei, Tunesien und Mexiko mit der Methode der Ökobilanzierung untersucht. Die Bilanzen bezogen sich auf den Ist-Zustand in 2006 und verschiedene Optimierungsszenarien für 2020. Dabei wurden die Aufwendungen für Sammlung, Transporte, Behandlung und Recycling ab Bereitstellung der Abfälle den Einsparungen durch die Bereitstellung von Sekundärprodukten und Energie gegenübergestellt.

Für Deutschland zeigt sich, dass aufgrund der erfolgten Einstellung der Deponierung unbehandelten Siedlungsabfalls die Hauptpotenziale schon ausgeschöpft wurden und bereits 2006 ein Beitrag der Siedlungsabfallwirtschaft zur Reduktion der gesamten Treibhausgasemissionen von ca. 18 Mio. t CO₂-Äq je Jahr zu verzeichnen war. Steigerungen sind insbesondere durch die Verbesserung der Behandlungstechniken (Emissionsminderungen bei den biologischen Verfahren und bessere Energieausbeute bei den thermischen Verfahren) und die Steigerung der getrennten Erfassung und Verwertung der Wertstoffe aus den Siedlungsabfällen und dem Altholz bestehen. In der Kombination beider Strategien liegt nach den unterstellten Rahmenbedingungen noch ein Optimierungspotenzial zur Reduktion der Treibhausgasemissionen von 10 Mio. t CO₂-Äq je Jahr. Im Abgleich mit den Daten aus 1990 aus vorangegangenen Studien beläuft sich die Gesamtreduktion auf ca. 56 Mio. t CO₂-Äq im Jahr 2006 gegenüber dem Jahr 1990.

In der EU 27 ist die Situation anders, da EU-weit noch etwa 40 % der Abfälle deponiert werden. Die Deponien verursachen erhebliche Methanemissionen -50 Mio. und 80 Mio. t CO₂-Äq je Jahr. Deshalb sind in der EU, durch die hochwertige stoffliche und energetische Nutzung der Abfälle anstelle deren Deponierung noch erhebliche Klimaschutzpotenziale, in der Größenordnung von 140 Mio. bis etwa 200 Mio. t CO₂-Äq je Jahr, zu realisieren.

Noch deutlicher fallen die Bilanzierungsergebnisse in den Ländern Türkei, Tunesien und Mexiko aus, wo der Anteil der Siedlungsabfälle, die noch deponiert werden, zwischen etwa 80 und 95 % liegt.

17. Schlagwörter

Abfallwirtschaft, Siedlungsabfälle, Treibhausgasemissionen, Klimaschutz, Recycling, Ressourcenschutz, Altholz; Deutschland, EU 27, Türkei, Tunesien, Mexiko

18. Preis

19.

20.

Report - Data Sheet

1. Report No.: UBA-FB 001347	2.	3. Waste management
4. Report Title Climate Protection Potential in the Waste Management Sector Examples: Municipal Waste and Waste Wood		
5. Author(s), Family Name(s), First Name(s) Öko-Institut: Dehoust, Günter; Schüler, Doris ifeu-Institut: Vogt, Regine; Giegrich, Jürgen		8. Report Date December 2009
		9. Publication Date March 2010
6. Performing Organisation (Name, Address) Öko-Institut e.V. Institute for Applied Ecology Rheinstraße 95 D-64295 Darmstadt ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH Wilckensstraße 3 D-69120 Heidelberg		10. Project-No. (FKZ) 3708 31 302
		11. No. of Pages 142
7. Sponsoring Agency (Name, Address) Umweltbundesamt Postfach 1406 06813 Dessau-Roßlau and: BDE Bundesverband der Deutschen Entsorgungswirtschaft e.V. Behrenstraße 29 10117 Berlin		12. No. of References 95
		13. Tables and Diagrams 84
		14. Figures 41
15. Supplementary Notes		

16. Abstract

In the National Inventory Reports only the direct greenhouse gas emissions of the waste management sector are taken into account. The overall efforts of the waste management sector in terms of reducing greenhouse gas emissions in accordance with the Kyoto Protocol are not, therefore, represented. In particular the efforts related to the separate collection of recyclables from waste and the re-use or energetic use of such recyclables or residue are shown as the savings of other sectors of the production industry and energy industry.

This research project has used the methodology of eco-balancing to examine the efforts of the municipal waste management sector – including the use of waste wood – in Germany, the 27 Member States as well as in Turkey, Tunisia and Mexico. The balances referred to the actual balance in 2006 and different optimisation scenarios for 2020. The expenditure resulting from collection, transport, treatment and recycling of waste after it has become available was compared to the savings arising from the secondary products and energy realised from waste.

Since the landfilling of untreated municipal waste has been discontinued in Germany, the key potentials of the country have already been fully tapped. Indeed, the contribution of municipal waste management to the reduction of total greenhouse gas emissions amounted to approx. 18 million t CO₂-eq per annum in 2006 in Germany. In particular, these emission reductions have been brought about by improving treatment techniques (emission reductions in the biological processes and greater energy efficiency in the thermal processes) and by increases in the separate collection and use of recyclable materials stemming from municipal waste and waste wood. If both strategies are combined, there is still an optimisation potential for reducing greenhouse gas emissions of 10 million t CO₂-eq per annum. Compared to 1990 data taken from previous assessments, the overall reduction amounts to approx. 56 million t CO₂-eq in 2006 compared to 1990.

In the EU 27, the situation is different since approx. 40 % of waste in the EU is still landfilled. The landfills give rise to substantial methane emissions: 50 million and 80 million t CO₂-eq per annum. Therefore, based on the replacement of landfilling with the high-quality material and energetic use of waste, there are still substantial climate protection potentials – within the range of 140 million to approx. 200 million t CO₂-eq per annum – to be realised in the EU.

Even more substantial are the balance results for Turkey, Tunisia and Mexico where the share of municipal waste that is still being landfilled amounts to approx. 80 - 95 %.

17. Key Words

Waste management, municipal waste, greenhouse gas emissions, climate protection, recycling, resource conservation, waste wood, Germany, EU 27, Turkey, Tunisia, Mexico

18. Price

19.

20.

INHALTSVERZEICHNIS

1	Einleitung.....	1
2	Vorbemerkung.....	2
3	Methode.....	2
3.1	Systemgrenzen und Vorgehen bei der Bilanzierung.....	3
3.2	Sachbilanz und Wirkungsabschätzung.....	3
4	Beschreibung der Szenarien.....	5
4.1	Abfallströme.....	6
4.2	Abfallzusammensetzung.....	10
4.3	Restmüll zur Deponie.....	15
4.4	Restmüll zur MVA.....	15
4.4.1	Spezifische Ergebnisse zur MVA.....	17
4.4.2	Spezifische Ergebnisse von Sensitivitätsanalysen zur MVA.....	18
4.5	Restmüll zu M(B)An.....	19
4.5.1	Spezifische Ergebnisse zu M(B)An.....	26
4.5.2	Spezifische Ergebnisse von Sensitivitätsanalysen zu M(B)An.....	27
4.6	Bio- und Grünabfall.....	28
4.6.1	Kompostierung.....	29
4.6.2	Vergärung.....	32
4.6.3	Kompostprodukte und -anwendung.....	32
4.6.4	Stoffflussmodelle der Bio- und Grünabfallbehandlung.....	34
4.6.5	Spezifische Ergebnisse der Bio- und Grünabfallverwertung.....	36
4.6.6	Spezifische Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse zur Bio- und Grünabfallverwertung.....	39
4.7	Papier, Pappe, Kartonagen (PPK).....	41
4.7.1	Spezifische Ergebnisse der PPK Verwertung.....	43
4.7.2	Spezifische Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse zur PPK Verwertung.....	44
4.8	Glas.....	45
4.9	Leichtverpackungen (LVP).....	45
4.9.1	Spezifische Ergebnisse der LVP Verwertung.....	48
4.10	Altholz.....	49
4.10.1	Spezifische Ergebnisse der Altholzverwertung.....	49
5	Gesamtergebnisse der Standardbilanz.....	51
5.1	Treibhausgase (THG).....	51
5.2	Fossile energetische Ressourcen.....	57
5.3	THG Gesamtbeitrag der MVA.....	59
6	Sensitivitätsanalysen für THG.....	61

6.1	Sensitivität 1: Optimierungen bei LVP, PPK Bio- und Grünabfallbehandlung	61
6.2	Sensitivität 2: Veränderung des Strommixes	62
6.3	Weitere Sensitivitätsanalysen	65
6.3.1	Sensitivitäten 3 und 4: Variation der Gehalte an C regenerativ im Restmüll	65
6.3.2	Sensitivität 5: Wirkungsgrad der MVA entsprechend dem Statusbericht 2005	66
6.3.3	Sensitivitäten 6 und 7: Variation der Wirkungsgrade für das EBS-HKW	66
6.3.4	Sensitivität 8: Variation der Nutzung der Sortierreste aus der Bio- und Grünabfallbehandlung	66
6.3.5	Sensitivität 9: Gutschrift des Strom- (fossil) und Wärmemixes in Deutschland für die energetische Nutzung des beim PPK Recycling eingesparten Holzes	67
6.4	Standardbilanz und Sensitivitäten im Vergleich	67
7	Bewertung der Bilanzergebnisse	71
8	Betrachtungen EU 27	74
8.1	Abfallmengen EU 27	74
8.2	Szenarien EU 27	80
8.3	Abfallbehandlung EU 27	82
8.3.1	Deponie	82
8.3.2	Kunststoffe und Verpackungsabfälle	83
8.3.3	Müllkompostierung	83
8.3.4	Bioabfallverwertung	83
8.4	Gesamtergebnisse EU 27	84
8.4.1	Treibhausgase (THG)	84
8.4.2	Fossile energetische Ressourcen	88
9	Betrachtungen ausgewählte Länder	90
9.1	Türkei	90
9.1.1	Ergebnisse Treibhausgase Türkei	91
9.1.2	Ergebnisse fossile energetische Ressourcen Türkei	94
9.2	Tunesien	95
9.2.1	Ergebnisse Treibhausgase Tunesien	97
9.2.2	Ergebnisse fossile energetische Ressourcen Tunesien	100
9.3	Mexiko	100
9.3.1	Ergebnisse Treibhausgase Mexiko	102
9.3.2	Ergebnisse fossile energetische Ressourcen Mexiko	104
10	Zusammenfassung	106
10.1	Ziele und Vorgehensweise	106

10.2	Ergebnisse.....	107
10.2.1	Ergebnisse der Bilanz für Deutschland.....	108
10.2.2	Ergebnisse der Bilanz für die EU 27.....	109
10.2.3	Ergebnisse der Bilanzen für die Türkei, Tunesien und Mexiko.....	112
10.3	Zusammenfassende Kommentierung der Ergebnisse.....	113
11	Literaturverzeichnis	115
12	Abkürzungsverzeichnis.....	123
13	Vorzeichen im SI - System	126

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 3.1	Treibhauspotenzial der wichtigsten Treibhausgase.....	4
Tabelle 3.2	Fossile Energieressourcen und deren Energieinhalt	4
Tabelle 4.1	Abfallaufkommen gemäß Abfallbilanz 2006.....	7
Tabelle 4.2	Abfallströme und die Steigerung bzw. Reduktion aufgrund der geänderten Abfallströme.....	9
Tabelle 4.3	Einwohnerspezifische Abfallströme (bei 82,4 Mio. Einwohner) und die Steigerung bzw. Reduktion aufgrund der geänderten Abfallströme	10
Tabelle 4.4	Mittlere Zusammensetzung für Restmüll aus privaten Haushalten.....	11
Tabelle 4.5	Mittlere Zusammensetzungen für hausmüllähnliche Gewerbeabfälle.....	12
Tabelle 4.6	Mittlere Zusammensetzung für den, der Bilanz zugrunde gelegten, Mix aus HM und HMG für 2006 und 2020 T nach Kern (2001) sowie die nach Wertstoffentnahme errechnete Zusammensetzung für 2020 A und 2020 AT	13
Tabelle 4.7	Auswirkung der Steigerung der getrennten Erfassung von Wertstoffen aus dem Restmüll bei zusätzlicher Entnahme von 50 % der im Restmüll enthaltenen Wertstoffmengen auf die absoluten Mengen	13
Tabelle 4.8	Berechnete Kenndaten für Abfallfraktionen	14
Tabelle 4.9	Kenndaten wesentlicher Abfallströme.....	14
Tabelle 4.10	Kenndaten heizwertreicher Abfallfraktionen aus den verschiedenen Vorbehandlungsanlagen.....	15
Tabelle 4.11	Spezifische THG-EF für die MVA, aufgeschlüsselt nach wichtigen Beiträgen.....	18
Tabelle 4.12	Einfluss verschiedener Sensitivitätsanalysen auf die spezifischen Emissionsfaktoren der MVA	19
Tabelle 4.13	Stoffstromdaten zu MBA, MBS, MPS und MA für 2006 Ist	21
Tabelle 4.14	Stoffstromdaten zu MBA, MBS, MPS und MA für 2020 T	21
Tabelle 4.15	Stoffstromdaten zu MBA, MBS, MPS und MA für 2020 A.....	21
Tabelle 4.16	Stoffstromdaten zu MBA, MBS, MPS und MA für 2020 AT	22
Tabelle 4.17	Verwertung der heizwertreichen Fraktion in Abhängigkeit der Aufbereitungstechnologie für die Szenarien 2006 Ist und (eingeschränkt) 2020 T	22
Tabelle 4.18	Verwertung der heizwertreichen Fraktion in Abhängigkeit der Aufbereitungstechnologie für die Szenarien 2020 A und AT	23
Tabelle 4.19	Energie- und Gasverbräuche sowie Energieerträge der M(B)An.....	24
Tabelle 4.20	M(B)An Daten zu den Szenarien im Überblick.....	25

Tabelle 4.21	Spezifische THG-EF für die M(B)An, aufgeschlüsselt nach wichtigen Beiträgen.....	26
Tabelle 4.22	Einfluss verschiedener Sensitivitätsanalysen auf die spezifischen Emissionsfaktoren (EF) der M(B)An für das Szenario 2020 AT	28
Tabelle 4.23	Kompostanlagen in Deutschland zum Stand 2003	31
Tabelle 4.24	Emissionsfaktoren Kompostierung und Vergärung.....	32
Tabelle 4.25	THG-Emissionen der Mineraldüngerbereitstellung	34
Tabelle 4.26	Spezifische THG-EF für die Bioabfallbehandlung, aufgeschlüsselt nach wichtigen Beiträgen	37
Tabelle 4.27	Spezifische THG-EF für die Grünabfallbehandlung, aufgeschlüsselt nach wichtigen Beiträgen	38
Tabelle 4.28	Spezifische THG-EF der Bioabfallbehandlung bei der Sensitivität Aufbereitung von Sortierresten und Ausschleusung einer Holzfraktion	40
Tabelle 4.29	Spezifische THG-EF der Grünabfallbehandlung bei der Sensitivität Aufbereitung von Sortierresten und Ausschleusung einer Holzfraktion	41
Tabelle 4.30	Spezifische THG-EF für PPK, aufgeschlüsselt nach wichtigen Beiträgen.....	44
Tabelle 4.31	Verschiedene Sensitivitäten zur Nutzung des durch Papierrecycling eingesparten Holzes im Szenario 2020 AT	45
Tabelle 4.32	Aufteilung der LVP in Wertstofffraktionen und Sortierreste.....	46
Tabelle 4.33	Aufteilung der Kunststoffe in Verwertungsfraktionen	46
Tabelle 4.34	Verwendete Ausbeuten und Substitutionspotenzial stoffliche Verwertung in den Szenarien 2006 und 2020 A	47
Tabelle 4.35	Spezifische THG-EF für LVP, aufgeschlüsselt nach wichtigen Beiträgen.....	48
Tabelle 4.36	Spezifische THG-EF für Altholz, aufgeschlüsselt nach wichtigen Beiträgen.....	50
Tabelle 5.1	Gesamtergebnisse der Standardbilanz für THG	52
Tabelle 5.2	Gegenüberstellung der Ergebnisse der THG-Bilanz bezüglich der Mengen, spezifischen Faktoren und der daraus ermittelten Beiträge für die Szenarien 2006 Ist und 2020 T sowie der Differenz der Beiträge	53
Tabelle 5.3	Gegenüberstellung der Ergebnisse der THG-Bilanz bezüglich der Mengen, spezifischen Faktoren und der daraus ermittelten Beiträge für die Szenarien 2006 Ist und 2020 A sowie der Differenz der Beiträge	54
Tabelle 5.4	Gegenüberstellung der Ergebnisse der THG-Bilanz bezüglich der Mengen, spezifischen Faktoren und der daraus ermittelten Beiträge für die Szenarien 2006 Ist und 2020 AT sowie der Differenz der Beiträge	54

Tabelle 5.5	Spezifische Emissionsfaktoren der einzelnen Abfallbehandlungsmodul e für THG	56
Tabelle 5.6	Gesamtergebnisse der Standardbilanz für fossile energetische Ressourcen	58
Tabelle 5.7	Spezifische Emissionsfaktoren der einzelnen Abfallbehandlungsmodul e für fossile energetische Ressourcen (KEA _{fossil})	59
Tabelle 5.8	Direkte und indirekte Anlieferung in MVAn	60
Tabelle 5.9	THG-Beiträge aus der direkten und indirekten Anlieferungen	60
Tabelle 6.1	Gesamtergebnisse der Bilanz „Sensitivität 1“ für THG	62
Tabelle 6.2	Spezifische THG-Emissionsfaktoren der einzelnen Abfallbehandlungsmodul e für THG in der Bilanz „Sensitivität 1“	62
Tabelle 6.3	Gesamtergebnisse der Bilanz „Sensitivität 2: Strommix D als Energiegutschrift“ für THG	64
Tabelle 6.4	Spezifische THG-Emissionsfaktoren der einzelnen Abfallbehandlungsmodul e für THG in der Bilanz „Sensitivität 2: Strommix D als Energiegutschrift“ für THG	64
Tabelle 6.5	Gegenüberstellung der Gesamtergebnisse der Standardbilanz und der Sensitivitäten 1 bis 9	68
Tabelle 6.6	Spezifische Faktoren und THG Gesamtergebnisse für die Standardbilanz (SB) und für die Summe aller minimalen (sens min) bzw. maximalen Sensitivitäten (sens max) für 2006 Ist	69
Tabelle 6.7	THG Gesamtergebnisse für die Standardbilanz und für die Summe aller minimalen bzw. maximalen Sensitivitäten für 2020 AT	70
Tabelle 7.1	THG Gesamtemissionen und Anteil der Abfallwirtschaft in Deutschland 1990 und 2006 sowie erreichte Einsparungen	73
Tabelle 7.2	THG Emissionen und Anteil der Abfallwirtschaft in Deutschland 1990 und 2006 sowie erreichte Einsparungen je Einwohner und Jahr	73
Tabelle 8.1	Abfallmengen der EU 27 im Jahr 2007	75
Tabelle 8.2	Spezifische Abfallmengen der EU 27 im Jahr 2007	76
Tabelle 8.3	Kompostierte Mengen nach Abfallart	77
Tabelle 8.4	Abfallaufkommen und Anteil Recycling in der EU	78
Tabelle 8.5	Abfallmengen in der EU 27 im Jahr 2007	79
Tabelle 8.6	Altholzpotenzial in der EU 27	80
Tabelle 8.7	Abfallströme in den Szenarien für die EU 27	81
Tabelle 8.8	Kompostanwendung in Deutschland und in der EU	84
Tabelle 8.9	Gesamtergebnisse der Standardbilanz EU 27 für THG	85
Tabelle 8.10	Gesamtergebnisse der THG-Bilanz EU 27 mit C-Senke	87
Tabelle 8.11	Gesamtergebnisse der EU Standardbilanz für KEA fossil	89
Tabelle 9.1	Abfallströme in den beiden Szenarien für die Türkei	91
Tabelle 9.2	Gesamtergebnisse der Standardbilanz Türkei für THG	92

Tabelle 9.3	Gesamtergebnisse der THG-Bilanz Türkei mit C-Senke	93
Tabelle 9.4	Gesamtergebnisse Standardbilanz Türkei für KEA fossil	95
Tabelle 9.5	Abfallströme in den beiden Szenarien für Tunesien	97
Tabelle 9.6	Gesamtergebnisse der Standardbilanz Tunesien für THG	98
Tabelle 9.7	Gesamtergebnisse der THG-Bilanz Tunesien mit C-Senke.....	99
Tabelle 9.8	Gesamtergebnisse Standardbilanz Tunesien für KEA fossil.....	100
Tabelle 9.9	Abfallströme in den beiden Szenarien für Mexiko.....	101
Tabelle 9.10	Gesamtergebnisse der Standardbilanz Mexiko für THG.....	102
Tabelle 9.11	Gesamtergebnisse der THG-Bilanz Mexiko mit C-Senke	103
Tabelle 9.12	Gesamtergebnisse Standardbilanz Mexiko für KEA fossil.....	105
Tabelle 10.1	Gesamtergebnisse der Standardbilanz für THG in Deutschland, unterteilt nach den Beiträgen der Verwertung von Restmüll, getrennt erfassten Wertstoffen und Altholz	108
Tabelle 10.2	Gesamtergebnisse der Standardbilanz für die Einsparung von fossilen, energetischen Ressourcen in Deutschland, unterteilt nach den Beiträgen der Verwertung von Restmüll, getrennt erfassten Wertstoffen und Altholz	109
Tabelle 10.3	Gesamtergebnisse der Standardbilanz für THG in der EU 27, unterteilt nach den Beiträgen der Verwertung von Restmüll, getrennt erfassten Wertstoffen und Altholz	110
Tabelle 10.4	Gesamtergebnisse der Standardbilanz für die Einsparung von fossilen, energetischen Ressourcen in der EU 27, unterteilt nach den Beiträgen der Verwertung von Restmüll, getrennt erfassten Wertstoffen und Altholz	111
Tabelle 10.5	Überblick der wichtigsten Daten und Ergebnisse für die Länder Türkei, Tunesien und Mexiko	113

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 4.1	Spezifische THG-EF für die MVA, aufgeschlüsselt nach wichtigen Beiträgen.....	17
Abbildung 4.2	Einfluss verschiedener Sensitivitätsanalysen auf die spezifischen Emissionsfaktoren der MVA.....	19
Abbildung 4.3	Spezifische THG-EF für die M(B)An, aufgeschlüsselt nach wichtigen Beiträgen.....	26
Abbildung 4.4	Einfluss verschiedener Sensitivitätsanalysen auf die spezifischen Emissionsfaktoren der M(B)An.....	27
Abbildung 4.5	Bio- und Grünabfallverwertung in Deutschland 2006.....	35
Abbildung 4.6	Bio- und Grünabfallverwertung in Deutschland Szenario 2020 AT	36
Abbildung 4.7	Spezifische THG-EF für die Bioabfallbehandlung, aufgeschlüsselt nach wichtigen Beiträgen	37
Abbildung 4.8	Spezifische THG-EF für die Grünabfallbehandlung, aufgeschlüsselt nach wichtigen Beiträgen	38
Abbildung 4.9	Spezifische THG-EF der Bioabfallbehandlung bei der Sensitivität Aufbereitung von Sortierresten und Ausschleusung einer Holzfraktion	39
Abbildung 4.10	Spezifische THG-EF der Grünabfallbehandlung bei der Sensitivität Aufbereitung von Sortierresten und Ausschleusung einer Holzfraktion	40
Abbildung 4.11	Spezifische THG-EF für PPK, aufgeschlüsselt nach wichtigen Beiträgen.....	43
Abbildung 4.12	Verschiedene Sensitivitäten zur Nutzung des durch Papierrecycling eingesparten Holzes im Szenario 2020 AT	44
Abbildung 4.13	Spezifische THG-EF für LVP, aufgeschlüsselt nach wichtigen Beiträgen.....	48
Abbildung 4.14	Spezifische THG-EF für Altholz, aufgeschlüsselt nach wichtigen Beiträgen.....	50
Abbildung 5.1	Abfallströme (Verbleib) der untersuchten Szenarien	51
Abbildung 5.2	Gesamtergebnisse der Standardbilanz für THG	52
Abbildung 5.3	Beiträge der deutschen Siedlungsabfallwirtschaft zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen (THGE) dargestellt als Differenzen der untersuchten Szenarien für 2020 gegenüber 2006.....	55
Abbildung 5.4	Gegenüberstellung der Gesamtergebnisse dieser Bilanz für THG (mit und ohne Altholz) zu Szenarien aus dem Statusbericht 2005	56
Abbildung 5.5	Gesamtergebnisse der Standardbilanz für fossile energetische Ressourcen.....	58

Abbildung 5.6	Gegenüberstellung der Gesamtergebnisse dieser Bilanz für fossile energetische Ressourcen (mit und ohne Altholz) zu den entsprechenden Szenarien aus dem Statusbericht 2005	59
Abbildung 6.1	Gesamtergebnisse der Bilanz „Sensitivität 1“ für THG	61
Abbildung 6.2	Gesamtergebnisse der Bilanz „Sensitivität 2: Strommix D als Energiegutschrift“ für THG	63
Abbildung 6.3	Gegenüberstellung der Ergebnisse dieser Bilanz für THG in der Sensitivität 2 (mit und ohne Altholz) zu Szenarien aus dem Statusbericht 2005	65
Abbildung 6.4	Gegenüberstellung der Gesamtergebnisse der Standardbilanz und der Sensitivitäten 1 bis 9	67
Abbildung 6.5	Darstellung der THG Gesamtergebnisse für die Standardbilanz (SB) und für die Summe aller minimalen (sens min) bzw. maximalen Sensitivitäten (sens max) für 2006 Ist	69
Abbildung 6.6	Darstellung der THG Gesamtergebnisse für die Standardbilanz (SB) und für die Summe aller minimalen (sens min) bzw. maximalen Sensitivitäten (sens max) für 2020 AT	70
Abbildung 7.1	Emissionsentwicklung in Deutschland seit 1990, nach Quellgruppen	72
Abbildung 8.1	Abfallströme (Verbleib) der untersuchten EU Szenarien	84
Abbildung 8.2	Gesamtergebnisse der Standardbilanz EU 27 für THG	85
Abbildung 8.3	Gegenüberstellung der Ergebnisse dieser Bilanz für THG in der EU 27 (mit und ohne Altholz) zu den Ergebnissen für die EU 15 aus dem Statusbericht 2005	86
Abbildung 8.4	Gesamtergebnisse der THG-Bilanz EU 27 mit C-Senke	87
Abbildung 8.5	Gesamtergebnisse der EU Standardbilanz für KEA fossil	89
Abbildung 9.1	Gesamtergebnisse der Standardbilanz Türkei für THG	92
Abbildung 9.2	Gesamtergebnisse der THG-Bilanz Türkei mit C-Senke	93
Abbildung 9.3	Gesamtergebnisse Standardbilanz der Türkei für KEA fossil	94
Abbildung 9.4	Gesamtergebnisse der Standardbilanz Tunesien für THG	97
Abbildung 9.5	Gesamtergebnisse der THG-Bilanz Tunesien mit C-Senke	98
Abbildung 9.6	Gesamtergebnisse Standardbilanz Tunesien für KEA fossil	100
Abbildung 9.7	Gesamtergebnisse der Standardbilanz Mexiko für THG	102
Abbildung 9.8	Gesamtergebnisse der THG-Bilanz Mexiko mit C-Senke	103
Abbildung 9.9	Gesamtergebnisse Standardbilanz Mexiko für KEA fossil	104

1 Einleitung

Die vorliegende Studie dient der Ermittlung der Leistungen und Potenziale der deutschen und europäischen Abfallwirtschaft für den Klimaschutz. Sie stellt eine Aktualisierung und Fortführung des Statusberichts 2005 dar (Öko-Institut/IFEU 2005) und basiert zudem auf der Nachhaltigkeitsstudie (IFEU 2004 und 2006). Während im Statusbericht 2005 der Schwerpunkt der Potenzialuntersuchung auf einer Optimierung der thermischen Behandlung von Abfällen lag, wird in dieser Studie untersucht und dargestellt, welche Potenziale sich zudem aus einer Optimierung der stofflichen Verwertung ergeben.

Neben den Klimaschutzpotenzialen werden auch Ergebnisse für die Einsparung fossiler Energieträger dargestellt. Weitere Umweltwirkungen wie die Einsparung mineralischer Ressourcen, das Versauerungspotenzial oder auch weitere Probleme der Abfallwirtschaft, wie beispielsweise die Emissionen humantoxischer und ozonzerstörender Schadstoffe (vgl. auch Öko-Institut 2007, Gebhardt 2005 und Dehoust/Giegrich 2003) sind nicht Bestandteil der Untersuchung.

Der Schwerpunkt der Studie orientiert sich damit an den drängenden Fragen des Klimawandels und untersucht den möglichen Beitrag der Siedlungsabfallwirtschaft zur Senkung von Treibhausgasen. Unsere Gesellschaft steht aktuell vor der extrem großen Herausforderung den anthropogen verursachten Klimawandel in Grenzen zu halten, um Umweltkatastrophen zu vermeiden. Dennoch dürfen darüber andere Umweltwirkungen und Aspekte nicht vergessen werden. So leisten manche Abfallfraktionen einen wichtigen Beitrag zu anderen Umweltwirkungen, wie bspw. Bio- und Grünabfälle durch deren getrennte Erfassung und Verwertung insbesondere die mineralische Ressource Phosphor geschont wird.

Die für Deutschland ermittelten Ergebnisse der Studie werden sowohl als Gesamtergebnisse der Siedlungsabfallwirtschaft und der Verwertung von Altholz als auch als spezifische Ergebnisse der einzelnen betrachteten Abfallfraktionen dargestellt. Betrachtete Abfallfraktionen sind wie im Statusbericht 2005 die unterschiedlichen Haushalts- und hausmüllähnlichen Gewerbeabfälle (trockene Wertstoffe, Bio- und Grünabfälle, Sperrmüll, Restmüll aus der Grauen Tonne auch aus Gewerbebetrieben). Die Abfälle aus der Grauen Tonne (Restmüll) werden zudem differenziert nach Behandlungsart – Müllverbrennungsanlage (MVA) oder M(B)An¹. Deren Ergebnisse können direkt miteinander verglichen werden, mit anderen Abfallfraktionen ist dies nicht möglich. Es kann z.B. nicht ein Wert für die stoffliche Altpapierverwertung mit einem Wert für die Restmüllbehandlung über MVA verglichen werden, da Restmüll und Altpapier gänzlich unterschiedliche Abfalleigenschaften haben und folglich in einer MVA zu unterschiedlichen Be- und Entlastungen führen.

Zusätzlich zu den Abfällen aus Haushalten werden erstmals auch Althölzer mit betrachtet. Hier beschränkt sich die Untersuchung für Deutschland allerdings nicht auf den Herkunftsbereich Haushalte, sondern es wird das Altholzaufkommen aus allen

¹ M(B)An ist hier als Oberbegriff für mechanische (MA) und mechanisch-biologische Behandlungsanlagen (MBA) sowie mechanisch-biologische (MBS) und mechanisch-physikalische Stabilisierungsanlagen (MPS) definiert.

Herkunftsbereichen (neben Altholz im Sperrmüll auch Verpackungsholz und Bau- und Abbruchholz) zugrunde gelegt. Altholz wurde nicht auf den Anteil in den Siedlungsabfällen begrenzt, da es sich um ein sehr einheitliches Material handelt, das unabhängig von der Herkunft ähnlichen Verwertungswegen zugeführt wird. Darüber hinaus ist der Anteil des Altholzes an dem Gesamtbeitrag der Abfallwirtschaft zur Senkung von Treibhausgasen besonders relevant.

2 Vorbemerkung

Um Synergieeffekte zu nutzen und für eine weitgehend konsistente Herangehensweise, werden als Datengrundlage soweit möglich Studienergebnisse aus UBA- oder BMU-Forschungsprojekten herangezogen. Hierzu zählen insbesondere die laufenden UFO-Plan Projekte von IAA/INTECUS (2008) und Witzenhausen-Institut (2008), für die Berichte im Entwurf vorliegen, sowie Berichte von gewitra (2009) und von wasteconsult (2007). Die Annahmen und Datengrundlagen aus dem Statusbericht 2005 (Öko-Institut/IFEU 2005) wurden nur geändert und angepasst, wenn es aufgrund neuer Erkenntnisse notwendig war.

Die Abfallmengen wurden soweit möglich aus den Daten des Statistischen Bundesamtes abgeleitet. Soweit notwendig wurden diese Daten durch Ergebnisse der o. g. Studien ergänzt. Dies gilt insbesondere zu den Mengenströmen in und aus den verschiedenen M(B)An.

Wie beim Statusbericht und in (IFEU 2004) bereits festgelegt werden die Abfallmengen in der Summe nicht verändert, um nicht durch Zunahme der Abfälle CO₂-Minderungspotenziale zu erschließen².

3 Methode

Die Ermittlung und Bewertung der Klimaschutzpotenziale folgt der Methode der Ökobilanz in der Abfallwirtschaft. Die grundsätzliche Eignung des Ökobilanzansatzes zur Bewertung von Fragestellungen der Abfallwirtschaft wurde durch eine Reihe von Arbeiten bestätigt und durch ein UBA Forschungsvorhaben methodisch untermauert (IFEU 1998). Die Abfallentsorgung als Untersuchungsgegenstand, insbesondere vor dem Hintergrund des Kreislaufwirtschaftsgesetzes (KrW-/AbfG) führt jedoch eine Reihe von Spezifika mit sich. Im gegebenen Projektzusammenhang, in dem ausschließlich die Potenziale für den Klimaschutz und die Schonung fossiler Ressourcen ermittelt werden, sind hierunter folgende Aspekte relevant:

1. Die Abweichung von der üblichen Lebenswegbetrachtung „von der Wiege bis zur Bahre“ des Materials. Stattdessen wird der Lebensweg der Dienstleistung Abfallentsorgung betrachtet. Der Bilanzbeginn wird daher mit dem Anfallen des Abfalls bestimmt. Das Vorleben des Abfalls ist für die Frage der Verwertung nicht relevant – d.h. es verhält sich bei allen Verwertungsoptionen üblicherweise gleich und kürzt sich aus der Betrachtung heraus. Anders wäre die Sachlage bei

² Dies wäre nur möglich, wenn auch die Systemgrenzen sehr stark erweitert würden, insbesondere müsste die gesamte Herstellung der Produkte, die zu Abfällen werden, hierfür mitbetrachtet werden.

der Fragestellung der Abfallvermeidung, die unweigerlich die Erzeugung des Abfalls einbezieht.

2. Auch am Ende der Systemgrenze ergibt sich u. U. eine Abweichung vom klassischen Lebenszyklus („Produkt-Ökobilanzen“), der ein Produkt ggf. über mehrere Recyclingzyklen bis zur vollständigen Beseitigung durch Verbrennung oder Deponierung beschreibt. Führt das zu bilanzierende Entsorgungssystem – ganz im Sinne des Kreislaufwirtschaftsgedankens – zur Erzeugung eines quantifizierbaren Nutzens, so kann durch dessen Anrechnung durch eine Gutschrift (Ersatz eines Primärproduktes) von einer weiteren Betrachtung des Lebensweges des aus dem Abfall erzeugten Produktes in der Regel abgesehen werden. Es muss allerdings auf die Nutzengleichheit der zu vergleichenden Systeme geachtet werden. Jeder Nutzen muss durch eine Gutschrift angerechnet werden. Damit wird für jedes System bzw. Szenario der gleiche Nutzen bilanziert: die „Entsorgung der gleichen Menge Abfall“.

Mit der Gutschriftenmethode werden den aus der Abfallverwertung erzeugten Nutzen wie Sekundärprodukte oder Energie, die dadurch ersetzten Primärprodukte bzw. konventionell erzeugte Energie in so genannten Äquivalenzprozessen gegenübergestellt. Dies erfolgt bei allen Szenarien gleichermaßen. Zudem wird in allen Szenarien die gleiche Menge entsorgter Abfall betrachtet, die zum Stand 2006 angefallene Menge von 47,38 Millionen Tonnen Siedlungsabfälle inkl. Altholz. Diese Menge entspricht der funktionellen Einheit der vergleichenden Betrachtung, durch diese Vorgehensweise ist die Nutzengleichheit und damit die Vergleichbarkeit der Szenarien gewährleistet.

3.1 Systemgrenzen und Vorgehen bei der Bilanzierung

Mit den definierten Systemgrenzen, die eine Vergleichbarkeit verschiedener Szenarien gewähren, erfolgt zunächst die Abbildung der Abfallentsorgung gemäß der Definition der Szenarien (vgl. Kap. 4). Die hierzu herangezogenen Daten sind im Wesentlichen in den jeweiligen Kapiteln nach Abfallart beschrieben.

Abweichend zum Vorgehen im Statusbericht 2005 (Öko-Institut/IFEU 2005) wird in dieser Studie die Abfallwirtschaft nicht bezogen auf die Materialströme am Ende der Behandlungswege bilanziert, sondern es erfolgen für jede betrachtete Abfallfraktion gesonderte Berechnungen, die alle nachfolgenden Schritte mit erfassen. Beim Restmüll werden die Behandlungswege MVA und M(B)An getrennt bilanziert. Das Gesamtergebnis wird aus der Zusammenfassung der Einzelbilanzen für die Abfallfraktionen gebildet. Dieser Bilanzierungsansatz erlaubt die Zuordnung der Ergebnisse auf die einzelnen Abfallfraktionen (z.B. Restmüllentsorgung, Bioabfallverwertung, etc.) und entspricht im Grundsatz methodisch einer separaten Bilanzierung dieser. In der Konsequenz entfällt umgekehrt der Fokus auf Behandlungsverfahren, die auch Sekundärabfälle behandeln wie z.B. die MVA, da die entsprechende Behandlung von Sortier- und Aufbereitungsresten im Ergebnis der jeweiligen Abfallfraktion enthalten ist.

3.2 Sachbilanz und Wirkungsabschätzung

In der Sachbilanz nach Ökobilanzmethode werden zunächst sämtliche aus der abgebildeten Abfallverwertung resultierende Aufwendungen und Emissionen aufgelistet. Sie bildet die Grundlage für die Wirkungsabschätzung. Im Rahmen dieser Studie

werden wie auch im Statusbericht 2005 einzig die Umweltwirkungen Treibhauseffekt und Schonung fossiler Energieträger ausgewertet. Damit liegt das Hauptaugenmerk sehr bewusst auf den möglichen Beiträgen und Potenzialen der Abfallwirtschaft zum Klimaschutz und würdigt die derzeitige schwerwiegende Herausforderung für unsere Gesellschaft, den Auswirkungen des anthropogen verursachten Klimawandels zu begegnen. Allerdings entspricht die Studie mit dieser Einschränkung auf zwei Wirkungskategorien nicht den Vorgaben nach der Ökobilanzmethode ISO 14040 und 14044. Nach dieser wären auch alle weiteren relevanten Umweltwirkungen wie Versauerung, Eutrophierung, Humantoxizität etc. zu untersuchen.

Zur Auswertung des Treibhauseffektes werden die einzelnen Treibhausgase der Sachbilanz entsprechend ihrer dem CO₂ äquivalenten Wirkung zusammengefasst. Die wichtigsten Treibhausgase und ihre aktuellen CO₂-Äquivalenzwerte nach IPCC (2007) sind in Tabelle 3.1 aufgeführt. Darin unterschieden sind Methanemissionen nach ihrer Entstehung. Regeneratives Methan (aus der Umwandlung organischer Substanz) weist gegenüber fossilem Methan (aus der Umwandlung fossiler Energieträger) einen etwas geringeren Äquivalenzfaktor auf, da das im Laufe der Zeit aus dem Methan durch luftchemische Umsetzung (Oxidation) entstehende regenerative Kohlendioxid als klimaneutral bewertet wird.

Tabelle 3.1 Treibhauspotenzial der wichtigsten Treibhausgase

Treibhausgas	CO ₂ -Äquivalente (GWP _i) in kg CO ₂ -Äq/kg	
Kohlendioxid (CO ₂), fossil	1	1
Methan (CH ₄), fossil	27,75	21
Methan (CH ₄), regenerativ	25	18,25
Distickstoffmonoxid (N ₂ O)	298	310
	[IPCC 2007, WG I, Chapter 2, Table 2.14]	[IPCC 1995]

Die Schonung fossiler Ressourcen wird über den Indikator „kumulierter fossiler Energieaufwand“ (KEA fossil) abgebildet. Aufsummiert wird dabei der Verbrauch der fossilen Ressourcen Erdöl, Braunkohle, Steinkohle, Erdgas über deren Energieinhalt (Tabelle 3.2). Genau genommen handelt es sich hierbei nicht um eine Umweltwirkung, sondern um einen Wert auf Sachbilanzebene. Durch die Auswertung des fossilen kumulierten Energieaufwandes verschiedener Szenarien kann aber erkannt werden, welches System fossile Ressourcen besser schont. Dies wird aus dem Vergleich der Ergebnisse deutlich.

Tabelle 3.2 Fossile Energieressourcen und deren Energieinhalt

Rohstoffe in der Lagerstätte / Energieträger	Fossile Energie Hu in kJ/kg
Braunkohle	8.303
Erdgas (roh)	37.781
Erdöl	42.622
Steinkohle	29.809
Quelle: [UBA 1995]	

4 Beschreibung der Szenarien

Untersucht werden folgende Szenarien:

- 2006 (Ist)³
Bilanzierung des Ist-Zustandes gemäß den Daten des Statistischen Bundesamts, ergänzt um eigene Berechnungen, Gut- und Lastschriften für verbrauchte oder bereitgestellte Produkte und Energie orientieren sich an den Daten für 2006.
- 2020 T (Technik)
In diesem Szenario werden die Verbesserungen der technischen Standards der einzelnen Behandlungs- und Recyclingtechniken bilanziert, bei nach wie vor unveränderten Abfallströmen. Eine Ausnahme bilden die 94.000 t, die 2006 noch deponiert wurden. Diese werden anteilig auf MVA und M(B)An verteilt. Die Aufteilung zwischen den einzelnen Verfahrenstechniken bei Bio- und Grünabfällen bzw. bei MBA, MBS, MPS und MA bleiben unverändert. Dieses Szenario zeigt den Einfluss der technischen Verbesserungen unabhängig von anderen Einflüssen.
- 2020 A (Abfallströme)
In diesem Szenario werden alle wesentlichen abfallwirtschaftlichen Stoffstromänderungen abgebildet. Die zusätzliche getrennte Erfassung erfolgt unter der Annahme, dass 2020 zusätzlich 50 % der 2006 noch im Restmüll und hausmüllähnlichem Gewerbeabfall (HMG) enthaltenen Wertstoffe PPK, Kunststoffe, Metalle, Verbundstoffe, Bio-/Grünabfälle und Altholz erfasst werden können. Dadurch bedingt sich ein Rückgang an Restmüll und HMG um rd. 28 %, der gleichermaßen beim Input in MVA und M(B)An reduziert wird. Der Mix innerhalb der einzelnen M(B)An wird verändert, ebenso jener der Behandlungstechniken von Bio- und Grünabfällen. Änderungen bezüglich der eingesetzten Technik bleiben unberücksichtigt, um den Einfluss der Mengenveränderungen getrennt von anderen Einflüssen ausweisen zu können.
- 2020 AT (Abfallströme und Technik)
Das Szenario 2020 AT ist die Kombination der zuvor beschriebenen Szenarien 2020 T und 2020 A. Es sind darin keine weiteren Änderungen modelliert.

Grundsätzlich folgt die Ableitung der Szenarien 2020 dem Gedanken der Optimierung der Abfallwirtschaft aus der Sicht des Klimaschutzes. Es werden damit keine realen Trendprognosen abgebildet. Vielmehr sollen damit mögliche Optimierungspotenziale erkannt, aufgezeigt und deren Auswirkungen verdeutlicht werden, um Entwicklungstendenzen aufzuzeigen. Es wird dabei nicht unterstellt, dass aus diesen Entwicklungstendenzen Handlungsoptionen abzuleiten wären und diese Handlungsoptionen ohne weiteres bis 2020 realisiert werden können. Zudem wird nicht ausdrücklich untersucht, welche Rahmenbedingungen geschaffen werden müssen, um die unterstellten Optimierungen zu realisieren. Deshalb können die abgebildeten Szenarien nicht ohne weiteres als konkrete Planungsoptionen herangezogen werden.

³ 2006 stellt den Ist-Status dar. Da es das einzige Szenario in 2006 ist, wird es zur Vereinfachung (insbesondere in Abbildungen und Tabellen) auch Szenario 2006 bezeichnet.

Beispielsweise ist für eine Stoffstromumlenkung der Bio- und Grünabfälle von der ausschließlichen Kompostierung in kombinierte Verfahren aus Vergärung plus Kompostierung der Gärreste im Einzelfall deren grundsätzliche stoffspezifische Eignung zur Vergärung vorauszusetzen. In dieser Studie wurde für die Szenarien 2020 A und AT angenommen, dass 80 % der Bioabfälle (Biotonne) und rd. 19 % der Grünabfälle eine solche Eignung aufweisen. Ob diese Mengen für eine Vergärung geeignet sein werden, wird in der Praxis sehr kontrovers diskutiert⁴. Generell gilt jedoch für diese Studie, dass die tatsächliche Entwicklung der Abfallwirtschaft mit den Szenarien für 2020 weder prognostiziert noch vorgegeben werden sollen. Vielmehr sollen Optimierungspotenziale ausgelotet werden, die sich an den machbaren Obergrenzen orientieren. Die letztendliche Eignung und Möglichkeit einer konkreten Umsetzung, sowie deren Wirtschaftlichkeit ist grundsätzlich im Einzelfall zu prüfen.

Durch das Ausloten der Optimierungspotenziale soll aufgezeigt werden, in welchen Bereichen sich intensive Anstrengungen zur Optimierung der Abfallwirtschaft aus Sicht des Klimaschutzes besonders lohnen. Damit können gezielt Maßnahmen zur Förderung von effektiven Bereichen angegangen werden, wodurch wie am Beispiel der Förderung des Einsatzes von regenerativen Energieträgern gezeigt wurde, auch ambitionierte Ziele erreicht werden.

So können beispielsweise auch die der Bilanz zugrunde gelegten Steigerungen der Wärmewirkungsgrade, nicht ohne verstärkte Anstrengungen in Richtung Auswahl geeigneter Standorte und den massiven Ausbau von Nah- und Fernwärmenetzen, flankiert von verschiedenen Förderprogrammen (vgl. hierzu Öko-Institut/IFEU 2005), erreicht werden.

Auch die Frage welche Wertstoffpotenziale aus dem Restmüll noch getrennt erfasst werden können, wird seit langer Zeit intensiv diskutiert. Zahlreiche Faktoren, wie die Gebührensysteme, die Auslastung der bestehenden Entsorgungsanlagen, Qualität und Intensität bei der Information und Motivation der Bevölkerung und nicht zuletzt die installierten technischen Systeme zur Unterstützung der Getrenntsammlung haben Einfluss auf die tatsächlich erfassbaren Wertstoffmengen. Ziel dieser Studie ist es nicht, diese Diskussionen im Einzelnen widerzuspiegeln. Um dies zu verdeutlichen und dennoch bezüglich der getrennten Erfassung realisierbare Annahmen abzubilden, wurde für diese Bilanz bewusst der pauschale Ansatz gewählt, für die untersuchten Wertstofffraktionen (Papier, Kunststoffe, Bioabfälle, Metalle) jeweils 50 % des im Restmüll enthaltenen Potenzials zu erfassen. Dabei wurde bewusst in Kauf genommen, dass dies bei einigen Fraktionen (beispielsweise Bioabfällen) leichter erreichbar ist und bei anderen (beispielsweise Papier) schwerer.

4.1 Abfallströme

Die in der vorliegenden Studie untersuchten Abfallströme beschränken sich auf die beiden Bereiche der Abfallwirtschaft:

⁴ Die spezifische Menge an getrennt gesammeltem Bioabfall von 64 kg/E*a, die in den Szenarien 2020 A und AT zu 80 % der Bioabfallvergärung zugeteilt wird, wird heute in Deutschland bereits erreicht und z. T. zu 100 % der Nassvergärung zugeführt. Wobei der Anschlussgrad an die Biotonne deutlich unter 100 % liegt (AWM 2007).

- Siedlungsabfallwirtschaft und
- Altholzrecycling (für Deutschland auch aus Bau- und Abbruchabfällen, Verpackungen, etc.)

Ausgangsbasis für das Siedlungsabfallaufkommen ist die zum Zeitpunkt der Bilanzierung aktuellste verfügbare Fassung der Bundesabfallbilanz des Statistischen Bundesamtes für das Jahr 2006 (STBA 2008).

Tabelle 4.1 Abfallaufkommen gemäß Abfallbilanz 2006

Abfälle	in 1.000 t
Siedlungsabfälle insgesamt	46.426
Haushaltsabfälle	40.827
Hausmüll, hausmüllähnliche Gewerbeabfälle gemeinsam über die öffentliche Müllabfuhr eingesammelt	14.260
Sperrmüll	2.247
Abfälle aus der Biotonne	3.757
Garten- und Parkabfälle biologisch abbaubar	4.044
Glas	1.929
Papier, Pappe, Kartonagen	8.080
Leichtverpackungen / Kunststoffe	4.532
Hausmüllähnliche Gewerbeabfälle getrennt vom Hausmüll angeliefert oder eingesammelt	3.821
Summe⁵	42.670

In diesen Werten ist Altholz nur zum Teil erfasst. Es wird beispielsweise analog dem Vorgehen im Statusbericht 2005 davon ausgegangen, dass es sich bei den angegebenen Mengen zur stofflichen Verwertung von Haus-, Sperrmüll und hausmüllähnlichen Gewerbeabfällen von insgesamt rd. 2,2 Mio. t um Altholz handelt, das in der Holzwerkstoffindustrie eingesetzt werden kann. Insgesamt fallen in Deutschland jedoch nach verschiedenen Quellen (EEG Monitoring 2008, UNI Hamburg 2004, UBA 2008, MUNLV 2009) deutlich höhere Mengen Altholz an, die überwiegend in die thermische Verwertung gehen. Diese Mengen werden in dieser Studie zusätzlich zur Bundesabfallbilanz berücksichtigt. Es wird von einem gesamten Altholzaufkommen von 6,9 Mio. t ausgegangen (Mittelwert EEG Monitoring 2008). Dieser Wert konnte von der BAV in der Tendenz bestätigt werden (BAV 2009a). Jedoch ist nach (BAV 2009b) darauf hinzuweisen, dass es sich dabei um das gesamte Altholzaufkommen in Deutschland handelt, das sich aus Altholz aus Haushalten (Sperrholz), Verpackungsholz, Bau- und Abbruchholz sowie Holz aus Außenanwendungen zusammensetzt⁶.

⁵ Nicht betrachtet aus der gesamten Siedlungsabfallmenge wurden gefährliche Siedlungsabfälle, Straßenkehrriech, Kantinen-, Marktabfälle, Elektroaltgeräte und als „Sonstiges“ ausgewiesene Mengen.

⁶ In (UBA 2008) ist als einzige Quelle das Altholzaufkommen nach Herkunftsbereich unterteilt angegeben. Das gesamte Aufkommen aller genannten Herkunftsbereiche wird darin mit 11,3 Mio. t angegeben, was seitens des BAV nicht bestätigt werden kann (BAV 2009b).

Die Abfallwirtschaft insgesamt weist im Vergleich zu den in dieser Studie untersuchten Mengen ein deutlich höheres Abfallaufkommen auf:

- Abfallaufkommen insgesamt: 372,9 Mio. t
- Betrachtete Siedlungsabfälle 42,7 Mio. t (Anteil an der Gesamtmenge 11,4 %)
- Altholzaufkommen 6,9 Mio. t (Anteil an der Gesamtmenge 1,9 %).

Geprägt wird das Gesamtaufkommen der Abfallwirtschaft dabei zu etwas mehr als die Hälfte durch Bau- und Abbruchabfälle, daneben handelt es sich v. a. um Produktions- und Gewerbeabfälle und Bergematerial aus dem Bergbau.

Mit der zuvor beschriebenen Annahme, dass es sich bei den 2,2 Mio. t stofflich verwerteten Haus- und Sperrmüllabfällen um Altholz handelt, ergibt sich ein Anteil zur energetischen Verwertung von rd. 70 %. Dieser Wert liegt unterhalb der Annahme des BAV. Allein die BAV Mitglieder benötigten 2007 etwa 4,13 Mio. t Altholz, so dass der BAV von einer energetischen Verwertung von mindestens 80 % ausgeht (vgl. Kapitel 4.10). Für die der energetischen Verwertung zugeführten Menge an Altholz wird in dieser Studie des Weiteren davon ausgegangen, dass ca. 83.000 t/a Altholz aus M(B)An stammen. Dies basiert auf einer Plausibilitätsannahme bzgl. der Verbleibsmengen der heizwertreichen Fraktion aus M(B)An (vgl. Kapitel 4.5).

Tabelle 4.2 zeigt die Abfallströme in den zu untersuchenden Szenarien. Dabei werden die einzelnen Ströme wie dargestellt bilanziert. Das heißt der MVA werden auch die Gutschriften aus dem Metallrecycling der aus den Aschen gewonnenen Metalle angerechnet, den M(B)An ebenso die Gutschriften aus der thermischen Verwertung der heizwertreichen Fraktion.

Entsprechend ist zu berücksichtigen, dass die in der Zeile MVA (direkt) aufgeführten Mengen nur den Input wider spiegeln, der direkt der MVA zugeführt wird (Hausmüll, hausmüllähnliche Gewerbeabfälle, Sperrmüll). Zusätzlich werden noch beachtliche Mengen aus den M(B)An in der MVA verbrannt (vgl. Kapitel 4.5) und des Weiteren v. a. Sortier- und Aufbereitungsreste aus der LVP-Verwertung.

Die PPK-Fraktion kann durch die Erfassung von 50 % der in 2006 in den 18,1 Mio. t Restmüll (14,3 Mio. t Haushaltsabfälle und 3,8 Mio. t HMG) enthaltenen Papiermengen 2020 ca. um etwa 1,2 Mio. t gesteigert werden.

Bei den Bio- und Grünabfällen wird davon ausgegangen, dass die 2020 dem Restmüll zusätzlich entnommenen 2,3 Mio. t (50 % der Bio- und Grünabfälle im Restmüll 2006) zu zwei Drittel dem Bio- und zu einem Drittel dem Grünabfall zuzuordnen sind. Dies führt 2020 zu einer gesteigerten Getrennterfassung von ca. 1,5 Mio. t Bio- und ca. 0,8 Mio. t Grünabfällen. Zu ähnlichen Ergebnissen bzgl. des Bioabfalls kommt das Witzenhausen-Institut (2009).

Durch die Intensivierung der LVP-Sammlung und insbesondere deren Ausweitung auf materialgleiche Nichtverpackungen werden 50 % der 2006 im Restmüll enthaltenen Metalle (0,32 Mio. t), Kunststoffe (0,64 Mio. t) und der verwertbaren Verbundstoffe (0,37 Mio. t) erfasst, wobei nur 50 % der im Restmüll insgesamt enthaltenen Verbundstoffe als verwertbar angenommen werden. In Summe werden dadurch 2020 durch die Wertstofftonne rd. 1,3 Mio. t mehr erfasst.

Des Weiteren wurde auch für die noch knapp 700.000 t Altholz im Restmüll und im HMG angenommen, dass 50 % in 2020 zusätzlich getrennt erfasst werden können (vgl. Tabelle 4.7).

Tabelle 4.2 Abfallströme und die Steigerung bzw. Reduktion aufgrund der geänderten Abfallströme

	2006 Ist		2020 T		2020 A 2020 AT		Steigerung/ Reduktion 2020 A zu 2006	
	Mio. t/a	%	Mio. t/a	%	Mio. t/a	%	Mio. t/a	%*
Deponie	0,09	0,2	0	0,0	0	0,0	-0,09	-100,0
MVA	10,80	22,8	10,86	22,9	7,80	16,5	-3,00	-27,8
M(B)An	7,24	15,3	7,28	15,4	5,23	11,0	-2,01	-27,8
MBA	3,19	6,7	3,21	6,8	2,01	4,2	-1,18	-36,9
MBS/MPS	1,79	3,8	1,80	3,8	1,79	3,8	0,00	0,0
MA	2,26	4,8	2,27	4,8	1,43	3,0	-0,83	-36,9
Bioabfall	3,76	7,9	3,76	7,9	5,27	11,1	1,51	40,2
BA Kompost	2,59	5,5	2,59	5,5	1,05	2,2	-1,54	-59,3
BA Vergärung	1,17	2,5	1,17	2,5	4,22	8,9	3,05	260,3
Grünabfall	4,04	8,5	4,04	8,5	4,80	10,1	0,76	18,8
GA Kompost	4,04	8,5	4,04	8,5	3,00	6,3	-1,04	-25,7
GA Vergärung	0	0,0	0	0,0	0,90	1,9	0,90	100,0
GA Verbrennung	0	0,0	0	0,0	0,90	1,9	0,90	100,0
PPK	8,08	17,1	8,08	17,1	9,24	19,5	1,16	14,4
Glas	1,93	4,1	1,93	4,1	1,93	4,1	0,00	0,0
LVP**	4,53	9,6	4,53	9,6	5,85	12,4	1,32	29,2
Altholz	6,9	14,6	6,9	14,6	7,25	15,3	0,35	5,1
Thermisches Rec.	4,71	9,9	4,71	9,9	5,06	10,7	0,35	7,4
Stoffliches Rec.	2,19	4,6	2,19	4,6	2,19	4,6	0,00	0,0
Summe	47,38	100,0	47,38	100,0	47,38	100,0	0,00	0,0

* Prozent Steigerung oder Reduktion. Nicht Änderung der Prozentpunkte!

** Mit LVP wird auch die um materialgleiche Nichtverpackungen und Elektro-Kleingeräte ergänzte Fraktion der Leichtverpackungen in den Szenarien 2020 A und 2020 AT bezeichnet. Dies gilt auch für alle weiteren Tabellen und Abbildungen

Abweichungen in den Summen ergeben sich durch Rundungsungenauigkeiten

Die Wertstoffmengen von etwa 5 Mio. t/a, die durch die Zunahme der getrennten Erfassung 2020 A und 2020 AT im Restmüll fehlen, werden gewichtet zu gleichen Teilen der MVA (ca. 3 Mio. t/a) und den M(B)An (ca. 2 Mio. t/a) entzogen, was einem Rückgang um je etwa 28 % entspricht.

Innerhalb der M(B)An gibt es eine Verschiebung von MBA und MA hin zu MBS und MPS. Die MBA und MA verlieren dadurch etwa 37 % Durchsatz, während die MBS/MPS geringfügig um 1 % mehr Input erhalten. Durch die relative Zunahme der MBS/MPS geht der Anteil des Restmülls, der nach Aufbereitung in den M(B)An in eine MVA gelangt, weniger stark zurück.

Die MBA ist als Mix aus aerober und anaerober MBA bilanziert. Gemäß Erhebung von (IAA/INTECUS 2008) beträgt der Anteil der anaeroben MBA am Durchsatz rund 32 %. Für die Szenarien 2020 A und AT wird analog den Überlegungen zu Bioabfall von einer Zunahme des Anteils der anaeroben MBA ausgegangen. Für das Szenario 2020 T wird

eine Optimierung hinsichtlich Gasertrag und der BHKW-Wirkungsgrade berücksichtigt (vgl. Kapitel 4.5).

Für die in der Bundesabfallbilanz angegebene Menge von rd. 2,2 Mio. t Restmüll zur stofflichen Verwertung ist nicht genauer ausgewiesen, welche Verwertungswege damit exakt gemeint sind. Die Erhebung des Statistischen Bundesamtes beschränkt sich auf die Abfrage, ob es sich um ein D- oder R-Verfahren nach Anhang II A bzw. B des KrW-/AbfG handelt. Daraus ausgewertet wird im Weiteren nicht nach detailliertem Verfahren, sondern lediglich, ob es sich um eine stoffliche oder energetische Verwertung handelt. Plausibel erscheint eine Rückgewinnung von Altholzbestandteilen. Für diese wird wie im Statusbericht 2005 eine Verwertung in der Holzwerkstoffindustrie angenommen. Für die zusätzlich erfasste Altholzmenge von rd. 0,35 Mio. t/a in 2020 A wird von einer vollständigen thermischen Verwertung ausgegangen, die 2006 stofflich verwertete Menge bleibt 2020 konstant.

Tabelle 4.3 zeigt die einwohnerspezifischen Abfallmengen, die sich aus den Abfallströmen in Tabelle 4.2 ergeben.

Tabelle 4.3 Einwohnerspezifische Abfallströme (bei 82,4 Mio. Einwohner) und die Steigerung bzw. Reduktion aufgrund der geänderten Abfallströme

	2006 Ist		2020 T		2020 A 2020 AT		Steigerung/ Reduktion 2020 A zu 2006	
	kg/E*a	%	kg/E*a	%	kg/E*a	%	kg/E*a	%
Deponie	1,1	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	-1,1	-100,0
MVA	131,1	22,8	131,8	22,9	94,7	16,5	-36,4	-27,8
M(B)An	87,9	15,3	88,3	15,4	63,5	11,0	-24,4	-27,8
Bioabfall	45,6	7,9	45,6	7,9	64,0	11,1	18,3	40,2
Grünabfall	49,0	8,5	49,0	8,5	58,3	10,1	9,2	18,8
PPK	98,1	17,1	98,1	17,1	112,1	19,5	14,1	14,4
Glas	23,4	4,1	23,4	4,1	23,4	4,1	0,0	0,0
LVP	55,0	9,6	55,0	9,6	71,0	12,4	16,0	29,1
Altholz	83,7	14,6	83,7	14,6	88,0	15,3	4,2	5,1
Summe	574,9	100,0	574,9	100,0	574,9	100,0	0,0	0,0

Abweichungen in den Summen ergeben sich durch Rundungsgenauigkeiten

4.2 Abfallzusammensetzung

Die Berechnungen der einzelnen Behandlungsschritte und der möglichen Mengenänderungen in den Szenarien basieren weitestgehend auf den Daten zur Zusammensetzung des Restmülls und hausmüllähnlichen Gewerbeabfalls nach Abfallfraktionen. Hierzu liegen keine aktuellen belastbaren Daten vor. Eine bundesweite Sortieranalyse von Hausmüll wurde 1987 durchgeführt. Aktuellere Sortieranalysen wurden landesweit in Bayern und ansonsten in Stichprobenmessungen in anderen Gebieten Deutschlands vorgenommen. Diese Werte sind für Gesamtdeutschland allerdings nur bedingt repräsentativ und sie weisen teilweise deutliche Abweichungen voneinander auf bedingt durch unterschiedliche Methoden der Probenahme und Zuordnung. Da keine belastbaren aktuellen Daten verfügbar sind, werden in dieser Studie die gleichen Daten wie

im Statusbericht 2005 nach Kern (2001) zugrunde gelegt, um eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu befördern. Zum Vergleich werden die Daten von IAA/INTECUS aus dem UFO-Plan Projekt 2008 für 2006 und aus der EdDE-Studie 2005 für 2004 sowie die Daten aus der Sortieranalyse in Bayern 2003 in Tabelle 4.4 und Tabelle 4.5 mit aufgeführt.

Tabelle 4.4 Mittlere Zusammensetzung für Restmüll aus privaten Haushalten

mittlere Abfallzusammensetzung:				
	EdDE (2005) für 2004	IAA/INTECUS (2008) für 2006	BayLfU (2003)⁷	Kern (2001)
Organik	38,3%	30,9%	22,5%	29,6%
Mittelfraktion			14,2%	
Holz	2,1%	1,9%	1,2%	1,6%
Textilien	4,3%	4,9%	3,7%	2,6%
Mineralien	5,9%	4,6%	2,8%	
Verbunde	3,3%	4,7%	7,0%	6,9%
Schadstoffe	0,6%	0,6%	0,4%	
Stoffe a.n.g.	8,4%	10,6%	1,1%	9,0%
Feinfraktion < 8 mm	14,3%	14,7%	10,9%	14,0%
Fe/NE-Metalle	2,5%	2,7%	2,4%	3,8%
PPK	9,0%	10,5%	7,7%	14,3%
Glas	4,6%	4,9%	4,4%	6,9%
Kunststoffe	6,7%	9,2%	7,0%	5,8%
Windeln			14,7%	5,5%
Kontrollsumme	100%	100%	100%	100%

Abweichungen in den Summen ergeben sich durch Rundungsungenauigkeiten

⁷ In Bayern wurden über fünf Jahre 17 Sortierungen durchgeführt. Die Sortierkampagnen dauerten insgesamt 36 Wochen. Analysiert wurden rd. 113 t bzw. der Restmüll von rd. 29.000 Einwohnern.

Tabelle 4.5 Mittlere Zusammensetzungen für hausmüllähnliche Gewerbeabfälle

mittlere Abfallzusammensetzung:		
	IAA/INTECUS (2008) für 2006	Kern (2001)
Organik	13,2%	8,3%
Mittelfraktion		
Holz	6,3%	12,2%
Textilien	3,0%	1,8%
Mineralien	4,8%	
Verbunde	8,6%	12,5%
Schadstoffe	-	
Stoffe a.n.g.	7,3%	25%
Feinfraktion < 8 mm	17,5%	14,7%
Fe/NE-Metalle	3,0%	2,6%
PPK	17,1%	7,4%
Glas	4,4%	3,8%
Kunststoffe	14,8%	11,7%
Windeln		0%
Kontrollsumme	100%	100%

Zur Ermittlung der abschöpfbaren Wertstoffmengen aus dem Restmüll wurde ein Mix für die Zusammensetzung des über die Graue Tonne eingesammelten Mülls (14,3 Mio. t/a) und der hausmüllähnlichen Gewerbeabfälle (3,8 Mio. t/a) nach Kern (2001) erstellt. Die daraus resultierenden absoluten Mengen für das Jahr 2006 und die davon entsprechend der obigen Beschreibung für 2020 abgeschöpften Mengen sind in Tabelle 4.7 aufgeführt⁸. Tabelle 4.6 zeigt die prozentuale Zusammensetzung des Restmüllmixes für 2006 und das Szenario 2020 T sowie für die Szenarien 2020 A und 2020 AT, die sich nach Abschöpfung der Wertstoffe durch getrennte Erfassung ergibt.

⁸ Die Differenz zwischen der Menge des Restmüllmixes aus Tabelle 4.7 und der Summe der in M(B)An, MVA und auf Deponien entsorgten Mengen aus Tabelle 4.2 ergibt sich aus dem Sperrmüll, der ebenfalls dort entsorgt wird. Der geringfügige Einfluss auf die Zusammensetzung ist unbekannt und bleibt unberücksichtigt.

Tabelle 4.6 Mittlere Zusammensetzung für den, der Bilanz zugrunde gelegten, Mix aus HM und HMG für 2006 und 2020 T nach Kern (2001) sowie die nach Wertstoffentnahme errechnete Zusammensetzung für 2020 A und 2020 AT

mittlere Abfallzusammensetzung:		
	Bilanzdaten 2006 Ist 2020 T	Bilanzdaten 2020 A 2020 AT
Organik	25,1%	17,5%
Holz	3,8%	2,7%
Textilien	2,4%	3,4%
Verbunde	8,1%	8,4%
Sonst. Abf. (inkl. min. Abf.)	12,4%	17,2%
Feinfraktion < 8 mm	14,1%	19,7%
Fe/NE-Metalle	3,5%	2,5%
PPK	12,8%	8,9%
Glas	6,2%	8,7%
Kunststoffe	7,0%	4,9%
Windeln	4,3%	6,0%
Summe	100%	100%

Abweichungen in den Summen ergeben sich durch Rundungsungenauigkeiten

Tabelle 4.7 Auswirkung der Steigerung der getrennten Erfassung von Wertstoffen aus dem Restmüll bei zusätzlicher Entnahme von 50 % der im Restmüll enthaltenen Wertstoffmengen auf die absoluten Mengen

	Restmüll t/a	HMG t/a	MIX Ist t/a	Steigerung t/a	MIX neu t/a
Bio- und Grünabfälle	4.220.960	317.143	4.538.103	2.269.052	2.269.052
Papier und Pappe	2.039.180	282.754	2.321.934	1.160.967	1.160.967
Verbundstoffe	983.940	477.625	1.461.565	365.391	1.096.174
Glas	983.940	145.198	1.129.138		1.129.138
Windeln	784.300		784.300		784.300
Kunststoffe	827.080	447.057	1.274.137	637.069	637.069
Metalle	541.880	99.346	641.226	320.613	320.613
Holz	228.160	466.162	694.322	347.161	347.161
Textilien, Leder, Gummi	370.760	68.778	439.538		439.538
Feinmüll < 8 mm	1.996.400	561.687	2.558.087		2.558.087
sonst.Abf.(inkl. min.Abf.)	1.283.400	955.250	2.238.650		2.238.650
Summe	14.260.000	3.821.000	18.081.000	5.100.252	12.980.748

Abweichungen in den Summen ergeben sich durch Rundungsungenauigkeiten

Wichtige Kenndaten, die sich im Wesentlichen auf die Effizienz und Klimawirksamkeit der Abfallverbrennung auswirken sind insbesondere:

- Kohlenstoffgehalt (C gesamt in g/kg oder kg/kg)
- Regenerativer Anteil am Kohlenstoffgehalt (C regenerativ in % an C gesamt)
- Fossiler Anteil am Kohlenstoffgehalt (C fossil in % an C gesamt)
- Heizwert (Hu in MJ/kg oder kJ/kg)

Für die Metallmengen, die in M(B)An bzw. der Aschenaufbereitung abgetrennt und einer Verwertung zugeführt werden können, sind außerdem noch die Gehalte an Fe- und NE-Metallen von Bedeutung.

Die erläuterten Kenndaten sind für die relevanten Abfallfraktionen in Tabelle 4.9 aufgeführt. Diese wurden anhand der Zusammensetzung von Hausmüll und hausmüllähnlichen Gewerbeabfällen 2006 und 2020 in Verbindung mit mittleren Kenndaten für die einzelnen Abfallfraktionen berechnet. Diese in Tabelle 4.8 dargestellten Kenndaten sind Mittelwerte, die aus den Werten von verschiedenen Studien berechnet wurden. Neben (IAA/INTECUS 2008), (Kern 2001) und (BayLfU 2003) sind dies (UBA Wien 2003), (AEA 2001), (IPCC 2006), (Ecoinvent 2007) und (ETC RWM 2008).

Tabelle 4.8 Berechnete Kenndaten für Abfallfraktionen
(Quelle: wie im Text genannt und eigene Berechnungen)

	C gesamt kg C/kg Abfall	C biogen % von C ges.	Heizwert Hu kJ/kg Abfall
Bio- und Grünabfälle	0,16	100%	4.620
Papier und Pappe	0,37	100%	13.020
Verbundstoffe	0,43	49%	18.017
Glas	0	0%	0
Windeln	0,18	75%	4.447
Kunststoffe	0,68	0%	30.481
Metalle	0	0%	0
Holz	0,38	100%	13.250
Textilien, Leder, Gummi	0,39	56%	15.020
Feinmüll <8mm	0,13	65%	5.133
sonstige Abfälle (inkl. mineral. Abf.)	0,21	53%	7.800

Tabelle 4.9 Kenndaten wesentlicher Abfallströme
(Quelle: wie im Text genannt und eigene Berechnungen)

	Einheit	Hausmüll (HM)	HMG	Mix 2006 HM + HMG	Mix 2020 A HM + HMG
Heizwert	kJ/kg FS	8.508	11.757	9.195	8.478
C gesamt	g/kg FS	231	297	245	225
C regenerativ	% Cges	67	53	63	62
C fossil	% Cges	33	47	37	38
NE-Metalle	% FS	0,5	0,2	0,5	0,3
Eisen	% FS	3,3	2,4	3,1	2,1

Die Metallgehalte im Restmüll insgesamt als Input in die MVA und M(B)An ergeben sich auf Basis der Abfallzusammensetzung nach (Kern 2001) in Tabelle 4.4 und Tabelle 4.5. Die Anteile für Fe- und NE-Metalle an den ausgewiesenen gesamten Metallen wurden entsprechend dem Verhältnis im Statusbericht 2005 abgeleitet.

Die Kenndaten nach IAA/INTECUS (2008) für die heizwertreiche Fraktion aus der mechanischen und mechanisch biologischen Behandlung zeigt Tabelle 4.10.

Tabelle 4.10 Kenndaten heizwertreicher Abfallfraktionen aus den verschiedenen Vorbehandlungsanlagen
(Quelle: IAA/INTECUS 2008)

	Einheit	MBA	MBS/MPS	MA	gew. Mittel
Wassergehalt	%	23	14	23	21
Heizwert	MJ/kg FS	13,2	13,5	13,2	13,3
C gesamt	g/kg FS	417	363	410	403
C regenerativ	% C ges	51	61	51	53
C fossil	% C ges	49	38	49	47

4.3 Restmüll zur Deponie

Die Deponierung von unbehandelten Abfällen spielt für die Bilanzen der deutschen Abfallwirtschaft keine Rolle. In der Statistik für 2006 werden noch 94.000 t/a ausgewiesen, die in die Bilanz so eingestellt werden. Der Emissionsfaktor von 656 kg CO₂ je t abgelagertem Restmüll wurde in Anlehnung an IPCC (1996 bzw. 2006) bilanziert. Für Ökobilanzen wird dabei der Ansatz verwendet, nachdem dem abgelagerten Abfall sämtliche, durch diesen auch künftig verursachten Methanemissionen angelastet werden (Tier 1)⁹.

Hinsichtlich der technischen Ausstattung kann für Deutschland davon ausgegangen werden, dass Deponien TASI-konform mit einer Gasfassung ausgestattet sind. Allerdings kann das Deponiegas nicht vollständig gefasst werden. Insbesondere während der Einbauphase aber auch nach Abschluss und Abdeckung des Deponiekörpers oder von Deponieabschnitten entweicht Deponiegas diffus. Für Deutschland wird zum Stand 2006 von einer effektiven Gasfassungsrate von 50 % ausgegangen. Gefasstes Deponiegas wird etwa zur Hälfte in BHKW genutzt und ansonsten verbrannt (Fackel, Feuerung).

Die Deponierung von biologisch vorbehandelten Abfällen wird bei den M(B)An mit bilanziert.

4.4 Restmüll zur MVA

Die Bilanzierung der MVA für 2006 Ist und 2020 A erfolgt mit den Daten für die Energiebereitstellung, die im Statusbericht für 2005 angesetzt wurden. Das heißt mit einem elektrischen Netto-Wirkungsgrad von 10 % und einem thermischen von 30 %.

⁹ Dieser Ansatz ist für Ökobilanzen sinnvoll, da die gesamten Umweltauswirkungen für eine bestimmte Abfallmenge bewertet werden sollen. Dagegen ist dieser Ansatz für die Nationale Berichterstattung zwar erlaubt, aber wenn die Datenlage es zulässt, ist der Tier 2 Ansatz zu verwenden, nachdem die tatsächlich jährlich anfallenden Methanemissionen berechnet werden. Das bedeutet für eine Tonne abgelagerten Abfall wird berechnet wie viel Methan durch diesen in einem Berichtsjahr freigesetzt werden. Die gesamt verursachten Methanemissionen aus einer Tonne Abfall ergeben sich dann erst über die zukünftige Zeit bis aus dem Abfall kein Methan mehr freigesetzt wird.

Für 2020 T und 2020 AT wird eine Verbesserung der Netto-Wirkungsgrade analog (UBA 2007) für 2020 angesetzt: 14 % elektrisch, 45 % thermisch.

Der in den Anlagen nicht zur Deckung des Eigenbedarfs benötigte Strom wird zu 100 % in das Netz eingespeist. Die dafür anzurechnende Stromgutschrift wird in Anlehnung an die BMU-Methode zur Ermittlung der Treibhausgaseinsparung durch Strom aus Erneuerbaren Energien verrechnet. Das hierzu neu vorgelegte Gutachten (ISI 2009) ermittelt, dass durch Strom aus biogenem Abfall im Jahr 2006 zu 16 % Strom aus Braunkohle, zu 59 % aus Steinkohle und zu 25 % aus Erdgas ersetzt wurde¹⁰. Hierfür wird ein Minderungsfaktor von 852 g CO₂/kWh_{el} angegeben. In diesem Minderungsfaktor sind jedoch ausschließlich direkte CO₂-Emissionen berücksichtigt, d.h. weder weitere Treibhausgase wie Methan oder Lachgas noch die Emissionen der Brennstoffbereitstellung sind enthalten. Für diese Studie wird der o. g. Substitutionsmix nach (ISI 2009) einheitlich für jeglichen im abfallwirtschaftlichen System erzeugten Strom verwendet¹¹, die entsprechenden Minderungsfaktoren werden jedoch mit eigenen Berechnungen inklusive der Vorketten und weiteren Treibhausgasen ermittelt. Daraus berechnet sich ein Minderungsfaktor für Stromgutschriften von 887 g CO₂/kWh_{el}. Als Sensitivität wird auch der deutsche Strommix nach GEMIS mit 598 g CO₂/kWh_{el} gerechnet. Der Strombedarf in der MVA wird aus dem eigenen Strom gedeckt (GEMIS 1994 und 2008).

Für im abfallwirtschaftlichen System erzeugte Wärme wird der Ersatz von Öl- und Gasheizungen (50/50) in den Haushalten gutgeschrieben. Auch dies entspricht weitgehend dem Ansatz der BMU-Methode wie sie z.B. in (BMU 2008) beschrieben ist. Neue Substitutionspotenziale für Wärme aus Erneuerbaren Energie werden am UBA erarbeitet, waren aber zum Zeitpunkt der Bearbeitung dieser Studie noch nicht verfügbar. Für die Verteilung in Fernwärmenetzen werden Verluste von 10 % angesetzt (vgl. auch Öko-Institut 2008c). Der so berechnete Minderungsfaktor für Wärmebereitstellung beträgt 334 g CO₂/kWh.

Aus den MVA-Aschen werden in 2006 und 2020 A ca. 50 % des Eisens und 10 % der NE-Metalle abgeschieden, die mit dem Restmüll in die MVA gelangten. In den Szenarien 2020 T und 2020 AT wird die Metallabscheidung bei Eisen auf 70 % und bei NE-Metallen auf 50 % gesteigert (Öko-Institut 2002b).

Berücksichtigt wird auch die Änderung der Abfallzusammensetzung infolge der Zunahmen bei der Getrenntsammlung in den Szenarien 2020 A und 2020 AT.

¹⁰ Im Jahr 2007 waren es ebenfalls 25 % Strom aus Erdgas, aber deutlich abweichend nur 2 % Strom aus Braunkohle und 73 % aus Steinkohle (Minderungsfaktor 820 g CO₂/kWh_{el}). Grund für die Verschiebung von Braun- zu Steinkohle ist der Ausfall mehrerer Kernkraftwerke, der durch Steinkohlestrom ausgeglichen werden musste sowie die niedrigeren CO₂-Zertifikatspreise.

¹¹ Ungeachtet dessen, dass nach BMU Methode Strom aus verschiedenen Erneuerbaren Energiequellen unterschiedlich behandelt wird und Strom aus dem fossilen Anteil des Abfalls nicht berücksichtigt wird. Die einheitliche Vorgehensweise hat den Vorteil der besseren Überschaubarkeit und Analysierbarkeit der Ergebnisse und ist zudem zielführend, da hier abfallwirtschaftliche Fragestellungen untersucht werden und nicht wie nach BMU-Methode das Treibhausgaseinsparpotenzial der Energieerzeugung aus erneuerbaren Energien.

4.4.1 Spezifische Ergebnisse zur MVA

Nachfolgend sind die spezifischen Ergebnisse für die Behandlung des HM+HMG Mix (vgl. Tabelle 4.9) in MVA dargestellt, die sich entsprechend der vorangegangenen Beschreibungen ergeben.

Die Hauptanteile der Belastungen kommen aus dem Betrieb der MVA, und zwar v. a. aus CO₂-Emissionen der Abfallverbrennung. Der geringe Rückgang bei den Szenarien mit geänderter Abfallzusammensetzung wird durch den geringfügigen Rückgang beim Gehalt an fossilem Kohlenstoff verursacht. Dieser geht absolut zurück (von 0,09 kg C/kg Abfall auf 0,086 kg C/kg Abfall), weil auch der gesamt im Restmüll enthaltene Kohlenstoffgehalt bedingt durch die in den Szenarien 2020 A und 2020 AT angenommenen gesteigerte Wertstoffentnahme zurückgeht. Relativ gesehen nimmt dagegen der Anteil des fossilen Kohlenstoffs am Gesamtkohlenstoff etwas zu, da mehr biogene als fossile Anteile entnommen werden (vgl. Tabelle 4.9).

Der Anstieg bei den Szenarien mit optimierter Technik rührt von der optimistischen Annahme her, dass bei gleichzeitiger Steigerung des Stromwirkungsgrades auch die Wärmeauskopplung sehr stark erhöht werden kann.

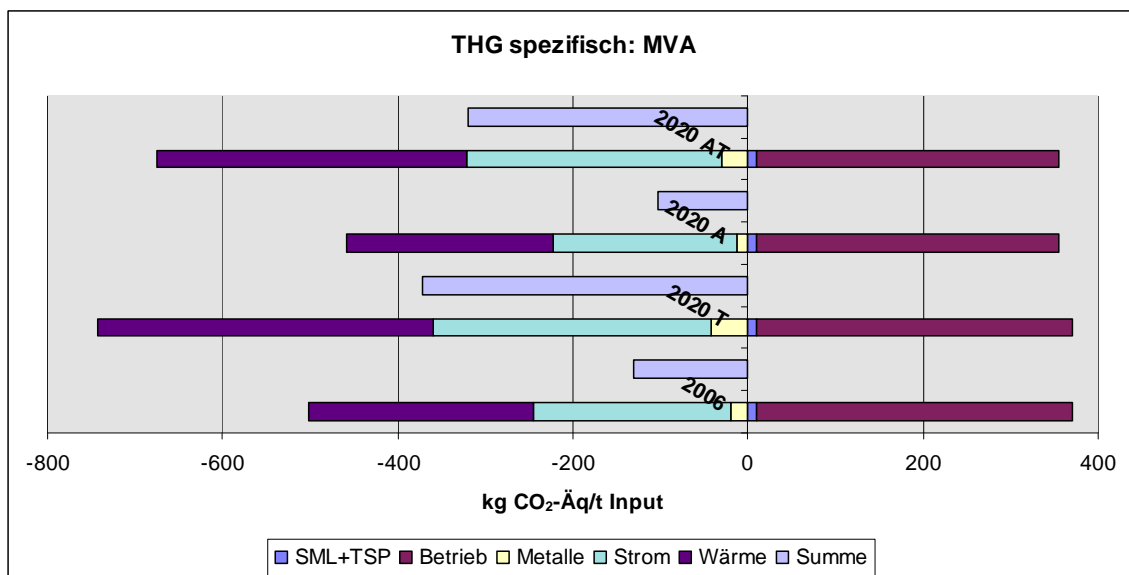


Abbildung 4.1 Spezifische THG-EF für die MVA, aufgeschlüsselt nach wichtigen Beiträgen¹²

¹² In der gezeigten Abbildung sind nach rechts alle Belastungen aus der Behandlung in MVA aufgeführt und nach links alle sich daraus ergebenden Entlastungen. Der jeweils darüber stehende Balken „Summe“ stellt die Differenz aus Be- und Entlastungen dar. Die dargestellten Be- und Entlastungen sind in Sektoren unterteilt, die sich in der Legende erläutern finden. Darunter fasst „Betrieb“ die Emissionen aus der Verbrennung und dem Verbrauch von Betriebsmitteln zusammen. Die folgenden Abbildungen stellen die Ergebnisse für andere Behandlungsschritte in der gleichen Struktur dar.

Tabelle 4.11 Spezifische THG-EF für die MVA, aufgeschlüsselt nach wichtigen Beiträgen

Anteile	THG spezifisch			
	kg CO ₂ -Äq/t			
	2006	2020 T	2020 A	2020 AT
SML+TSP	9,5	9,5	9,4	9,5
Betrieb	361,5	361,5	346,1	346,1
Metalle	-18,9	-42,0	-13,2	-29,2
Strom	-226,5	-317,2	-208,9	-292,4
Wärme	-255,8	-383,6	-235,8	-353,7
EF MVA	-130,2	-371,7	-102,3	-319,8

Erwartungsgemäß ist die Bedeutung von Sammlung und Transporten (SML+TSP) gering. Die Gutschriften für das Recycling der Metalle gehen aufgrund der rückläufigen Metallgehalte im Restmüll, trotz der Annahme, dass diese mit höherer Effizienz aus den Rostaschen zurück gewonnen werden können, erheblich zurück.

Das Recycling der Müllverbrennungsaschen im Straßenbau, kann die Aufwendungen für die Aufbereitung ausgleichen und ist somit geringfügig an den Gutschriften für das Metallrecycling beteiligt.

4.4.2 Spezifische Ergebnisse von Sensitivitätsanalysen zur MVA

In einigen Sensitivitätsanalysen (vgl. Kapitel 6) wurde der Einfluss verschiedener Faktoren auf die Bilanzergebnisse geprüft. Davon haben folgende einen besonders hohen Einfluss auf die Beiträge der MVA:

- für bereitgestellten Strom wird statt dem fossilen Strommix nach (ISI 2009) der Strommix Deutschland gutgeschrieben (Sens 2: E mix, s. a. Kap. 6.2)
- der Anteil des regenerativen Kohlenstoffs wird nach oben korrigiert (Sens 3: C reg hoch (10 % höher als Standard)) und
- der Anteil des regenerativen Kohlenstoffs wird nach unten korrigiert (Sens 4: C reg tief (13 % niedriger als Standard)) (s. a. Kap. 6.3.1)
- für die Szenarien 2020 T und 2020 AT wird der Wirkungsgrad der MVA auf den Standard herabgesetzt, der im Statusbericht 2005 für die Szenarien 2020 angesetzt worden war: Strom 15 %, Wärme 36,8 % (Sens 5: eta Statusb.)

In Abbildung 4.2 und Tabelle 4.12 werden die Ergebnisse dieser Sensitivitätsanalysen auf die spezifischen Emissionsfaktoren der MVA im Szenario 2020 AT aufgezeigt.

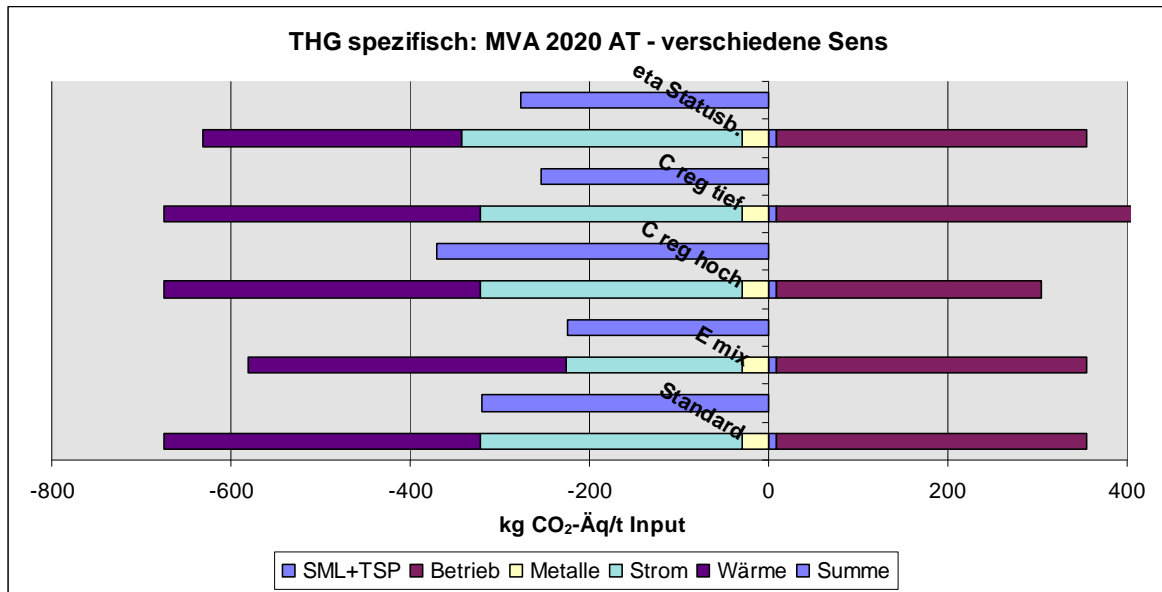


Abbildung 4.2 Einfluss verschiedener Sensitivitätsanalysen auf die spezifischen Emissionsfaktoren der MVA

Tabelle 4.12 Einfluss verschiedener Sensitivitätsanalysen auf die spezifischen Emissionsfaktoren der MVA

Anteile	THG spezifisch				
	kg CO ₂ -Äq/t				
	Standard	E mix	C reg hoch	C reg tief	eta Statusb.
SML+TSP	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5
Betrieb	346,1	346,1	294,9	412,6	346,1
Metalle	-29,2	-29,2	-29,2	-29,2	-29,2
Strom	-292,4	-197,2	-292,4	-292,4	-313,3
Wärme	-353,7	-353,7	-353,7	-353,7	-289,3
EF MVA	-319,8	-224,6	-371,1	-253,3	-276,2
Abweichung vom Standard		+ 30%	- 16%	+ 21%	+ 14%

Den höchsten Einfluss auf das Ergebnis der MVA hat die Gutschrift für den abgegebenen Strom. Insgesamt liegt die Spanne der bei den untersuchten Sensitivitäten ermittelten EF der MVA zwischen 225 und 371 kg CO₂-Äq/t bzw. zwischen -30 % und +16 % gegenüber der Standardbilanz.

4.5 Restmüll zu M(B)An

Die Bilanz der mechanischen und mechanisch/biologischen Behandlungsanlagen basiert auf den Daten aus der Abfallstatistik ergänzt durch wasteconsult (2007) und Umfrageergebnisse, die im Rahmen des UFO-Plan Projektes der TU-Dresden (IAA-INTECUS 2008) erhoben wurden. Daneben wurden weitere Literaturquellen ausgewertet und Auskünfte eingeholt (Wiegel 2008, Wiegel 2009, Wallmann et al. 2008, Wallmann et al. 2009, Lingk 2009, Schulte 2009, Soyez 2001). Die Daten aus dem

UFO-Plan Vorhaben dienen u. a. der Aufteilung des Inputs auf die unterschiedlichen Behandlungsverfahren:

- Aerobe MBA 30 % in 21 Anlagen
- Anaerobe MBA 14 % in 10 Anlagen
- MBS 19 % in 12 Anlagen
- MPS 6 % in 3 Anlagen
- MA 31 % in 26 Anlagen (ohne Berücksichtigung der heizwertreichen Fraktion aus der MBA)¹³

sowie der Aufteilung des Outputs „heizwertreiche Fraktion“ auf die Entsorgungswege

- Mitverbrennung im Zementofen (ca. 20 %)
- Mitverbrennung in Kohlekraftwerken (ca. 11 %)
- EBS Kraftwerke und Heizkraftwerke (ca. 40 %)
- MVA (ca. 13 %)
- Sonstige Anlagen (ca. 16 %)

In der Bilanz werden die aerobe und anaerobe MBA, sowie die MBS und MPS jeweils zusammengefasst (vgl. Tabelle 4.2, Tabelle 4.13 und Tabelle 4.17).

Derzeit werden 69 % des Inputs in MBA mit aerober und 31 % in MBA mit anaerober Biologie behandelt (IAA-INTECUS 2008). Diese Verteilung liegt den Bilanzen in den Szenarien 2006 und 2020 T zugrunde. Aus Sicht des Klimaschutzes wäre eine Steigerung des Anteils der anaeroben Anlagen wünschenswert, um den Energiegehalt der Organik-Fraktion zu nutzen. Derzeit planen einige der Betreiber aerober Anlagen deshalb die Nachrüstung ihrer Anlagen mit einer Vergärungsstufe (Schulte 2009). Um das Potenzial dieser Umrüstung aufzuzeigen, werden als Grundlage der Bilanz in den Szenarien 2020 A und 2020 AT 80 % des Inputs in die MBA in anaeroben und 20 % in aeroben behandelt. Diese Annahme entspricht der Annahme wie sie auch für Bioabfälle angesetzt wurde, sie stellt keine Prognose der zukünftigen Entwicklung dar.

Zu der Verteilung zwischen MBA, MBS, MPS und MA in den einzelnen Szenarien siehe Kapitel 4.1.

¹³ MA sind mechanische Behandlungsanlagen ohne (eigene) biologische Behandlungsstufe

Tabelle 4.13 Stoffstromdaten zu MBA, MBS, MPS und MA für 2006 Ist
(Quelle: wie im Text genannt und eigene Berechnungen)

	MBA	MBS/MPS	MA	Summe	
	t/a	t/a	t/a	t/a	%
Input	3.187.087	1.794.984	2.258.310	7.240.381	100
Verluste*	768.618	484.345	429.445	1.682.408	23,2
Deponie	1.019.327	207.717	457.997	1.685.042	23,3
NE-Metalle	5.722	3.223	4.055	13.000	0,2
Fe-Metalle	84.129	47.382	59.613	191.124	2,6
MVA	108.713	122.998	269.786	501.498	6,9
heizwertreiche Frakt.	1.200.577	929.319	1.037.414	3.167.310	43,7

* Trocknung und biologischer Abbau

Abweichungen in den Summen ergeben sich durch Rundungsungenauigkeiten

Tabelle 4.14 Stoffstromdaten zu MBA, MBS, MPS und MA für 2020 T
(Quelle: wie im Text genannt und eigene Berechnungen)

	MBA	MBS/MPS	MA	Summe	
	t/a	t/a	t/a	t/a	%
Input	3.203.687	1.804.333	2.270.073	7.278.093	100
Verluste*	772.621	486.867	431.682	1.691.171	23,2
Deponie	1.015.671	203.749	454.030	1.673.450	23,0
NE-Metalle	10.390	5.852	7.362	23.605	0,3
Fe-Metalle	88.895	50.066	62.989	201.951	2,8
MVA	109.279	123.639	271.191	504.110	6,9
heizwertreiche Frakt.	1.206.830	934.159	1.042.817	3.183.807	43,7

* Trocknung und biologischer Abbau

Abweichungen in den Summen ergeben sich durch Rundungsungenauigkeiten

Tabelle 4.15 Stoffstromdaten zu MBA, MBS, MPS und MA für 2020 A
(Quelle: wie im Text genannt und eigene Berechnungen)

	MBA	MBS/MPS	MA	Summe	
	t/a	t/a	t/a	t/a	%
Input	2.013.178	1.790.058	1.426.264	5.229.500	100
Verluste*	398.511	462.212	246.186	1.106.909	21,2
Deponie	896.108	288.295	402.566	1.586.969	30,4
NE-Metalle	2.711	2.411	1.921	7.042	0,1
Fe-Metalle	37.011	32.909	26.221	96.141	1,8
MVA	56.365	117.378	154.659	328.402	6,3
heizwertreiche Frakt.	622.472	886.853	594.712	2.104.037	40,2

* Trocknung und biologischer Abbau

Abweichungen in den Summen ergeben sich durch Rundungsungenauigkeiten

Tabelle 4.16 Stoffstromdaten zu MBA, MBS, MPS und MA für 2020 AT
(Quelle: IAA/INTECUS 2008 und eigene Berechnungen)

	MBA	MBS/MPS	MA	Summe	
	t/a	t/a	t/a	t/a	%
Input	2.013.178	1.790.058	1.426.264	5.229.500	100
Verluste*	398.511	462.212	246.186	1.106.909	21,2
Deponie	892.377	284.978	399.924	1.577.279	30,2
NE-Metalle	4.547	4.043	3.222	11.812	0,2
Fe-Metalle	38.905	34.593	27.563	101.060	1,9
MVA	56.365	117.378	154.659	328.402	6,3
heizwertreiche Frakt.	622.472	886.853	594.712	2.104.037	40,2

* Trocknung und biologischer Abbau

Abweichungen in den Summen ergeben sich durch Rundungsungenauigkeiten

Die Verteilung der heizwertreichen Fraktion auf die unterschiedlichen Verwertungswege geht für das Ist-Szenario und das Szenario 2020 T aus Tabelle 4.17 hervor. Die Verteilung für die Szenarien mit geänderten Abfallströmen ist ein Ergebnis der Bilanz und ergibt sich aus der, infolge der gesteigerten Getrennterfassung von Wertstofffraktionen, veränderten Zusammensetzung des Restmülls (Tabelle 4.18).

Tabelle 4.17 Verwertung der heizwertreichen Fraktion in Abhängigkeit der Aufbereitungstechnologie für die Szenarien 2006 Ist und (eingeschränkt) 2020 T
(Quelle: IAA/INTECUS 2008 und eigene Berechnungen)

2006 Ist/2020 T*	MBA	MBS/MPS	MA	Summe	
	t/a	t/a	t/a	t/a	%
EBS-HKW	735.170	361.090	225.616	1.321.876	41,7
MVA	163.710	81.470	238.222	483.402	15,3
Holzverbrennung	44.166	0	38.828	82.994	2,6
Zementwerk	189.420	165.686	375.758	730.864	23,1
Braunkohle-KW	53.886	317.002	105.333	476.221	15,0
Steinkohle-KW	14.225	4.071	53.657	71.952	2,3
Summe	1.200.577	929.319	1.037.414	3.167.310	100,0

* Beim Szenario 2020 T ist der Mengenanteil aus der Deponie nicht berücksichtigt. Die Gesamtmenge der heizwertreichen Fraktion beträgt 3,18 Mio. t. Die Verteilung auf die einzelnen Verwertungswege bleibt gleich.

Tabelle 4.18 Verwertung der heizwertreichen Fraktion in Abhängigkeit der Aufbereitungstechnologie für die Szenarien 2020 A und AT
(Quelle: Bilanzzwischenergebnisse basierend auf IAA/INTECUS 2008 und eigenen Berechnungen)

2020 A/2020 AT	MBA	MBS/MPS	MA	Summe	
	t/a	t/a	t/a	t/a	%
EBS-HKW	381.169	344.590	129.337	855.096	40,6
MVA	84.880	77.748	136.564	299.191	14,2
Holzverbrennung	22.899	0	22.259	45.158	2,1
Zementwerk	98.210	158.115	215.408	471.733	22,4
Braunkohle-KW	27.939	302.516	60.384	390.839	18,6
Steinkohle-KW	7.375	3.885	30.759	42.020	2,0
Summe	622.472	886.853	594.712	2.104.037	100,0

Im EBS-Heizkraftwerk werden für 2006 und 2020 A nach IAA/INTECUS (2008) eine Nettostromerzeugung von 18,8 % und eine Wärmeproduktion von 16,0 % angenommen. Im Szenario 2020 T und 2020 AT wird eine leicht gesteigerte Stromerzeugung von 20 % und eine Wärmeproduktion von 40 % bilanziert.

Derzeit sind EBS-Verbrennungsanlagen überwiegend auf Stromerzeugung ausgelegt. Grundsätzlich sollte aber eine KWK Erzeugung angestrebt werden, weil nur so ein möglichst hoher Gesamtwirkungsgrad und damit bessere Effizienz erreicht werden kann. Die Schwierigkeit besteht dabei darin, entsprechende Wärmeabnehmer zu finden. Allerdings hätten die EBS-HKW, die jetzt neu gebaut werden, anders als z.B. bereits bestehende MVA, die Chance entsprechende Standorte zu finden¹⁴. Die abgeleiteten Wirkungsgrade für die Szenarien 2020 T und 2020 AT stellen mit 40 % Wärmeauskopplung bereits eine optimistische Entwicklung in diese Richtung bis 2020 dar. Theoretisch wären bei einem Nettostromwirkungsgrad von 20 % auch deutlich höhere Wärmewirkungsgrade bis 60 % machbar. Umgekehrt ist auch eine Steigerung des Nettostromwirkungsgrades auf 27 % möglich. Dadurch ließe sich aber nur noch eine bestimmte maximale Wärmemenge auskoppeln, da die Temperatur nach Turbine durch die maximale Stromauskopplung deutlich niedriger liegt. Maximal kann hier noch ein Wärmewirkungsgrad von 41 % erreicht werden. Beide Kombinationen werden als Sensitivitäten betrachtet (vgl. Kapitel 4.5.2).

Im Zementwerk und im Steinkohle-KW wird der Ersatz von Steinkohle und im Braunkohle-KW der von Braunkohle, jeweils mit einem heizwertäquivalenten Substitutionsfaktor von 1,0 angesetzt.

Die in der Umfrage nach IAA/INTECUS (2008) unter „Sonstiges“ aufgeführten Mengen von rd. 16 % können anteilig der MA zugewiesen werden (aus MBA ca. 9 % bzw. rd. 294.000 t/a), ansonsten sind diese nicht näher spezifiziert. Die verbleibende nicht näher bestimmte Menge (rd. 6,5 % der gesamten heizwertreichen Fraktion) wurde anteilig zu Braunkohle-KW zugeschlagen und rd. 83.000 t wurden einer Altholzverbrennung zugeordnet (vgl. Kapitel 4.10).

¹⁴ Die Praxis beim Bau neuer EBS-Verbrennungsanlagen schwankt zwischen energetisch optimierten Heiz- und Heizkraftwerken und Anlagen ohne Wärmenutzung. Eine genaue Erfassung der durchschnittlichen Energienutzung bei EBS-HKW ist derzeit nicht verfügbar.

Die Energieverbräuche und -erträge der Anlagen zeigt Tabelle 4.19.

Für die MA wurde der Strom- und Wärmebedarf für den Aufwand der Weiterbehandlung von ca. 940.000 t/a (Annahme organischer Anteil) in einer MBA berücksichtigt. Hierfür wird davon ausgegangen, dass für dieses schon vorbehandelte Material die Hälfte des Aufwands in der MBA benötigt wird. Der Nettobetrag in der MA liegt für Strom bei 10 kWh/t und für Wärme bei 8 kWh/t.

Tabelle 4.19 Energie- und Gasverbräuche sowie Energieerträge der M(B)An
(Quelle: IAA/INTECUS 2008 und eigene Berechnungen)

		MBA	MBS/MPS	MA	gew. Mittel
Verbräuche					
Strombedarf	kWh/t	41,6	38,9	18,3	30,9
Wärmebedarf	kWh/t	11,2	6,0	10,0	8,8
Erdgas	m ³ /t	4,7	41,6		12,4
Erträge					
Stromerzeugung	kWh/t	19,8			8,7
Wärmeerzeugung	kWh/t	28,2			12,4

Für die etwa 294.000 t/a heizwertreiche Fraktion aus der MBA, die vor einer energetischen Behandlung in einer MA weiter aufbereitet werden, wird davon ausgegangen, dass für dieses schon vorbehandelte Material die Hälfte des Aufwands in der MA benötigt wird. Der Nettobetrag in der MBA liegt für Strom bei 39,6 kWh/t und für Wärme bei 9,6 kWh/t.

Die Erträge bei der MBA resultieren aus den MBA mit anaerober biologischer Behandlung und wurden nach (IAA/INTECUS 2008) zu 63 kWh/t für den Stromertrag und 90 kWh/t für den Wärmeertrag erhoben. Der zugehörige Biogasertrag wurde zu 38 m³/t Abfall ermittelt. Diese Ergebnisse resultieren aus den Angaben von drei Anlagen. Die erhobenen Daten wurden mit Werten nach (Wallmann et al. 2008) verglichen, die auf Rückmeldungen von fünf anaeroben MBA basieren. Daraus ergibt sich der Stromertrag der Biogasverwertung zu 99 kWh/t, der Wärmeertrag zu 115 kWh/t bei einem mittleren Gasertrag von 45 Nm³/t Abfall normiert auf einen Methangehalt von 60 Vol%. In (Wallmann et al. 2008) wird dieser Gasertrag als niedrig bewertet, da in diesem Mittelwert auch zwei Teilstromvergärungsanlagen berücksichtigt sind, die mit 9 bzw. 26 Nm³/t Abfall vergleichsweise geringe Gaserträge aufweisen. Für die drei Vollstromvergärungsanlagen wurden dagegen Gaserträge zwischen 60 und 65 Nm³/t Abfall berechnet. Ebenfalls in (Wallmann et al. 2008) wird berichtet, dass bei halbtechnischen und großtechnischen Versuchen Gaserträge zwischen 60 und 90 Nm³/t Abfall bei einem Methangehalt von 64 Vol% ermittelt wurden und durch weitere Optimierungsmaßnahmen Werte bis zu 100 Nm³/t Abfall möglich wären.

Die Ergebnisse nach (IAA/INTECUS 2008) und (Wallmann et al. 2008) zeigen, dass sich die jeweils befragten Anlagen sehr deutlich hinsichtlich ihrer Energiebilanz unterscheiden. Für die Bilanzierung der M(B)An wurde für das Szenario 2006 Ist einheitlich (IAA/INTECUS 2008) als Quelle herangezogen und damit auch die o. g. Strom- und Wärmeerträge für die anaerobe MBA. Zur Berücksichtigung der technischen Optimierungspotenziale werden für die Szenarien 2020 T und AT Werte basierend auf (Wallmann et al. 2008) abgeleitet. Der Gasertrag wurde mit 75 Nm³/t Abfall angesetzt

bei einem Methangehalt von 60 Vol%. Die Wirkungsgrade für BHKW wurden mit 37 % für Strom und 43 % für Wärme gerechnet. Daraus ergeben sich ein Stromertrag von rd. 166 kWh/t und ein Wärmeertrag von rd. 193 kWh/t. Wie auch bei der MVA wird von dieser erzeugten Energie der Eigenbedarf abgezogen, der hier ebenfalls nach (Wallmann et al. 2008) angesetzt wurde. Von der verbleibenden Überschussenergie wird der Strom vollständig mit einer Gutschrift angerechnet, für die Wärme wird analog dem Vorgehen bei der Bioabfallvergärung im Szenario 2006 Ist angenommen, dass davon 20 % extern genutzt werden können, für das Szenario 2020 T wird von einer Steigerung auf 80 % Nutzung der Überschusswärme ausgegangen.

Die zuvor beschriebenen Annahmen für die Szenarien der Restmüllbehandlung in M(B)An sind in Tabelle 4.20 nochmals zusammengefasst dargestellt.

Tabelle 4.20 M(B)An Daten zu den Szenarien im Überblick

		2006 Ist	2020 T	2020 A	2020 AT
Massenanteile					
in MBA		44%		38%	
davon anaerob		31%		80%	
in MBS/MPS		25%		34%	
in MA		31%		27%	
Verbleib EBS					
			s. Tabelle 4.17		s. Tabelle 4.18
Nettowirkungsgrade thermische Anlagen für EBS					
EBS-HKW	Strom	18,8%	20%	18,8%	20%
	Wärme	16%	40%	16%	40%
Holz-HKW	Strom	20%	18%	20%	18%
	Wärme	20%	40%	20%	40%
MVA*	Strom	10%	14%	10%	14%
	Wärme	30%	45%	30%	45%
Anaerobe MBA					
Gasertrag	m ³ /t	38	75	38	75
Methangehalt	Vol%	60			
Strombedarf	kWh/t	48	45	48	45
Wärmebedarf	kWh/t	17	20	17	20
Stromerzeugung	kWh/t	63	166	63	166
Wärmeerzeugung	kWh/t	90	193	90	193
Nutzung Überschusswärme	%	20	80	20	80

* Die gleichen Nettowirkungsgrade wurden auch der Bilanz der Restmüllverbrennung in der MVA zugrunde gelegt

Abweichungen in den Summen ergeben sich durch Rundungsungenauigkeiten

4.5.1 Spezifische Ergebnisse zu M(B)An

Nachfolgend sind die spezifischen Ergebnisse für die Behandlung des HM+HMG Mix (vgl. Tabelle 4.9) in M(B)An dargestellt, die sich entsprechend der vorangegangenen Beschreibungen ergeben.

Für die Bilanz der M(B)An wurde ein Mix aus MBA (aerob und anaerob), MBS, MPS sowie MA bilanziert (vgl. Kapitel 4.5).

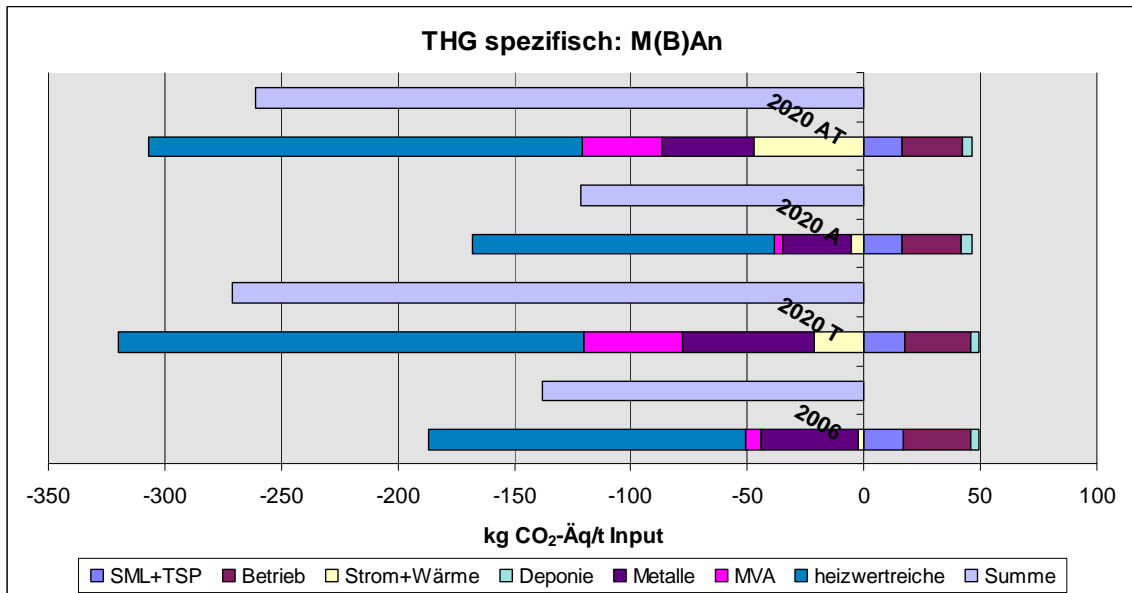


Abbildung 4.3 Spezifische THG-EF für die M(B)An, aufgeschlüsselt nach wichtigen Beiträgen

Tabelle 4.21 Spezifische THG-EF für die M(B)An, aufgeschlüsselt nach wichtigen Beiträgen

Anteile	THG spezifisch			
	kg CO ₂ -Äq/t			
	2006	2020 T	2020 A	2020 AT
SML+TSP	17,2	17,3	16,5	16,6
Betrieb	28,4	28,6	25,4	25,4
Strom u. Wärme	-2,5	-21,2	-5,6	-47,3
Deponie	3,4	3,4	4,5	4,4
Metalle	-41,7	-56,4	-29,0	-39,3
MVA	-6,4	-42,6	-3,5	-34,3
Heizwertreiche	-136,6	-199,9	-130,0	-186,4
EF M(B)An	-138,1	-270,8	-121,7	-260,8

Sammlung, Transporte und die Deponierung stellen eine recht konstante Belastung dar. Die Betriebsaufwendungen verringern sich in den Szenarien 2020 A und 2020 AT durch die Umlenkung innerhalb der MBA von aerob zu anaerob, wodurch deutlich weniger externe Energie bezogen werden muss.

Dominiert wird das Ergebnis durch das Verwerten der heizwertreichen Fraktionen. Im Szenario 2006 ist und 2020 T des Weiteren durch das Recycling der Metalle. In den

Szenarien 2020 A und 2020 AT ist der Beitrag der Metalle geringer, da die Metallgehalte im Restmüll geringer sind. Der MVA Anteil wird durch die Effizienzsteigerungen der MVA erhöht. Dies gilt analog für den Anteil Strom und Wärme, der durch die Effizienzsteigerung (Gasertrag, BHKW-Wirkungsgrade) bei der anaeroben MBA erreicht wird.

4.5.2 Spezifische Ergebnisse von Sensitivitätsanalysen zu M(B)An

Von den untersuchten Sensitivitätsanalysen wirken sich fast alle mehr oder weniger auch auf die M(B)An aus, auch wenn sie nicht direkt auf Variationen bei den MBA abzielen. Einen großen Einfluss auf die Ergebnisse der M(B)An haben insbesondere die Variation der Wirkungsgrade der EBS-HKW für 2020 T und AT „Sensitivität hoher Wärmewirkungsgrad“ (eta EBS-HKW Wärme) und „Sensitivität hoher Stromwirkungsgrad“ (eta EBS-HKW Strom) sowie die Sensitivität „Gutschrift Strommix“ (E mix) statt Marginalstrom für bereitgestellten Strom. Die Ergebnisse dieser Sensitivitätsanalysen sind in Abbildung 4.4 und Tabelle 4.22 dargestellt. Diese und alle weiteren Sensitivitätsanalysen sind zusammenfassend in Kapitel 6 dargestellt.

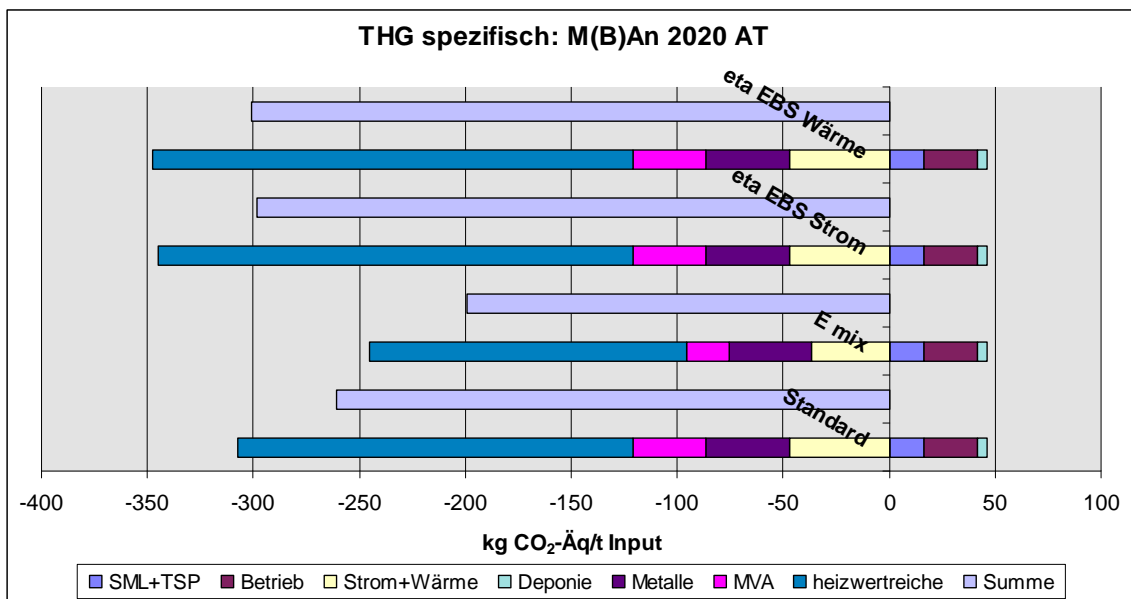


Abbildung 4.4 Einfluss verschiedener Sensitivitätsanalysen auf die spezifischen Emissionsfaktoren der M(B)An

Tabelle 4.22 Einfluss verschiedener Sensitivitätsanalysen auf die spezifischen Emissionsfaktoren (EF) der M(B)An für das Szenario 2020 AT

Anteile	THG spezifisch			
	kg CO ₂ -Äq/t			
	Standard	E mix	eta EBS-HKW Strom	eta EBS-HKW Wärme
SML+TSP	16,6	16,6	16,6	16,6
Betrieb	25,4	25,4	25,4	25,4
Strom u. Wärme	-47,3	-36,5	-47,3	-47,3
Deponie	4,4	4,4	4,4	4,4
Metalle	-39,3	-39,3	-39,3	-39,3
MVA	-34,3	-19,7	-34,3	-34,3
Heizwertreiche	-186,4	-149,8	-223,9	-226,7
EF M(B)An	-260,8	-198,9	-298,3	-301,1
Abweichung vom Standard		+ 23,7%	- 14,4%	- 15,5%

Im Vergleich zum Standardfall zeigt die Sensitivätsbetrachtung „E mix“ den höchsten Einfluss auf das Ergebnis der M(B)An (+24 %). Wird statt dem Marginalstrom der durchschnittliche Strommix für den abgegebenen Strom gutgeschrieben, werden deutlich geringere Nettoentlastungen erzielt, da der Strommix auch Strom aus Erneuerbaren Energien und Atomstrom beinhaltet, die mit keinen bzw. geringen Treibhausgasemissionen verbunden sind.

Höhere mittlere Wirkungsgrade der EBS-Kraftwerke ergeben eine Steigerung der THG-Einsparung von ca. -15 %, unabhängig davon, ob die Steigerung ihren Schwerpunkt auf dem Stromwirkungsgrad oder dem Wärmewirkungsgrad hat.

Da auch bei den M(B)An Fraktionen in die MVA geliefert werden, haben auch die Sensitivitäten zu der MVA „Sensitivität hoher/niedriger Kohlenstoffgehalt“ (C reg hoch, C reg tief) und „Sensitivität Wirkungsgrade MVA“ (eta Statusb.) einen gewissen Einfluss auf das Bilanzergebnis der M(B)An (vgl. Kap. 4.4.2 und Tabelle 4.12). Die dadurch bewirkten Reduktionen oder Steigerungen beim Emissionsfaktor der M(B)An liegen jedoch bei maximal 4 %.

4.6 Bio- und Grünabfall

Bio- und Grünabfälle¹⁵ werden derzeit noch überwiegend kompostiert. In (Witzenhausen-Institut 2008) nehmen Vergärungsanlagen nach Kapazitäten rd. 15 % der gesamt für Bio- und Grünabfälle angegebenen Kapazität von etwa 13 Mio. t/a ein. Bezogen auf die Bioabfallmenge aus Haushalten entspräche dies rd. 30 %. Allerdings sind der Studie keine Angaben zu Auslastungsgraden oder zum Anteil der Bioabfälle aus Haushalten zu entnehmen. Nach Rückmeldung von RETERRA (2009) werden nur etwa 10 % der Bioabfälle aus ihrem Unternehmensverbund einer Vergärung zugeführt.

¹⁵ Die Unterscheidung zwischen Bioabfall und Grünabfall wird im Rahmen der Bilanz folgendermaßen definiert: als Bioabfälle wird der Inhalt der Biotonne bezeichnet, der Rest wird als Grünabfall bezeichnet.

Nach (FZKA 2003) wurde die Kapazität rein für die Vergärung von Bioabfällen aus einer Umfrage bei den Bundesländern zu 821.000 t/a ermittelt, was etwa 22 % der 2006 angefallenen Bioabfallmenge entspricht. Auslastungsgrade konnten allerdings nicht angegeben werden. In (IE/IZES 2006) werden ebenfalls anaerobe Behandlungskapazitäten genannt, die allerdings nur bei rd. 420.000 t/a liegen. Diese werden weiter unterteilt in rd. 350.000 t/a für Bioabfälle und 70.000 t/a für Grünabfälle.

Aus einer aktuell veröffentlichten Auswertung der BGK (2009) geht hervor, dass in den derzeit 88 einer Gütesicherung unterliegenden Biogasanlagen mit einer Gesamtinputmenge von 2,3 Mio. t/a anteilig 17 % aus der Biotonne stammen. Umgerechnet auf die Bioabfallmenge aus Haushalten im Jahr 2006 entspräche dies 10 %. Aus den genannten Quellen ergibt sich eine Bandbreite der möglichen anteiligen Vergärung für Bioabfälle von 10 bis 30 %. Für die Bilanzierung des Szenario 2006 ist wird daraus der mittlere Wert von 15 % verwendet.

Für 2020 A und 2020 AT wird angenommen, dass Kompostierungsanlagen um eine Vergärungsstufe nachgerüstet werden, um die aus Klimaschutzaspekten sinnvolle kombinierte energetisch-stoffliche Nutzung zu realisieren (Öko-Institut 2004, IFEU/Öko-Institut 2006). Nach (Witzenhausen-Institut/igw Witzenhausen 2007) kommen für eine Nachrüstung technisch anspruchsvolle Anlagen mit einer Mindestgröße von 10.000 Jahrestonnen in Frage. Dies entspricht einem Potenzial von 220-250 Anlagen bzw. einer Gesamtkapazität von rund 7 Mio. t/a. Für die durch eine gesteigerte getrennte Erfassung 2020 anfallenden 5,27 Mio. t Bioabfälle (Kap. 4.1) wird angenommen, dass diese zu 80 % in nachgerüsteten Anlagen vergoren werden und zu 20 % weiterhin bestehenden Kompostierungsanlagen zugeführt werden. In Summe mit den im Szenario 2020 A ebenfalls anteilig einer Vergärung zugeführten Grünabfällen (s. u.) fallen dann 5,1 Mio. t/a zur Vergärung an.

Für Grünabfälle wird in den Szenarien 2020 A und 2020 AT für 75 % der Grünabfallmenge eine Stoffstromtrennung (50 % Kompostierung, 25 % Vergärung, 25 % Verbrennung) in die Bilanz eingestellt. Nach (EdDE 2007) können durch geeignete Klassierung und Trocknung 25-30 % Holzanteil mit einem Heizwert von bis zu 15 MJ/kg abgetrennt werden. In den Berechnungen wird konservativ mit einem Heizwert von 9,36 MJ/kg für schwarze Hackschnitzel gerechnet (IFEU/igw Witzenhausen 2008). Die Verbrennung der holzigen Grünabfälle erfolgt in energieeffizienten Biomasse- bzw. Holzverbrennungsanlagen. Die erzielbaren Wirkungsgrade werden gleich mit denen für die Altholzverbrennung angesetzt (vgl. Kap. 4.10). Für eine Vergärung sind auch nach (EdDE 2007) 15-30 % der Grünabfälle geeignet. Für die im Szenario 2020 A und 2020 AT der Vergärung zugeordnete Menge an krautigen Grünabfällen von ca. 19 % der gesamten Grünabfälle wird von einer Vermischung und gemeinsamen Behandlung in Vergärungsanlagen ausgegangen. Für die Gas-Ausbeute für dieses Gemisch wird angenommen, dass das geringfügig geringere Gas-Potenzial durch technische Verbesserungen der Vergärungsanlagen ausgeglichen wird und wie bei der Bioabfallvergärung in 2006 ist 100 m³ Biogas je t Bio-, Grünabfallgemisch gewonnen werden.

4.6.1 Kompostierung

Über die technische Ausstattung der Kompostierungsanlagen liegen keine statistischen Daten vor. Nach Vorgaben der TA Luft 2002 sollten Anlagen mit einem Jahresdurchsatz über 10.000 t/a mittlerweile geschlossen ausgeführt werden. Dies ist in der Praxis nicht

vollständig der Fall. Es kann aber weitgehend davon ausgegangen werden, dass Anlagen mit einem Jahresdurchsatz > 20.000 t/a geschlossen ausgeführt sind. Nach Behandlungskapazität entspräche dies 5,4 Mio. t/a bzw. 56 % der zum Stand 2003 nach (Witzenhausen-Institut/igw Witzenhausen 2007) untersuchten Gesamtkapazität (Tabelle 4.23)¹⁶.

Nach (BGK 2004) waren von 431 Mitgliedsanlagen mit einer Behandlungskapazität von ca. 7 Mio. t/a 290 Anlagen bzw. 67 % offen ausgeführt¹⁷. Ca. 70 % dieser Anlagen haben eine Kapazität < 10.000 t/a. Übertragen auf die Angaben in (Witzenhausen-Institut/igw Witzenhausen 2007) würden die 67 % offenen Anlagen nur 27 % der gesamten Behandlungskapazität einnehmen, das heißt ca. 2,6 Mio. t/a würden in offenen Anlagen behandelt und rd. 7 Mio. t/a in geschlossenen. Zum Stand 2008 waren 534 Anlagen mit rd. 8 Mio. t/a Kapazität der BGK angeschlossen (H&K aktuell 3/2009) für die die Auswertungen nach (BGK 2004) noch in etwa übertragbar sein dürften. Damit wäre die o. g. Annahme, dass nur die Anlagen mit einer Kapazität > 20.000 t/a geschlossen ausgeführt sind, eine Unterschätzung. Allerdings bestehen nach (Burth 2009) insbesondere in den Neuen Bundesländern große Anlagen, die nicht der BGK angehören und die eine offene Mietenkompostierung betreiben. Gemäß einer Anlagenübersicht für Sachsen-Anhalt zum Stand 2004 bestanden dort etwa 125 Kompostanlagen mit einer Kapazität > 1 Mio. t/a. Davon haben aber nur 9 Anlagen mit offener Mietenkompostierung eine Durchsatzleistung über 20.000 t/a und diese behandeln außer Bio- und Grünabfällen auch weitere Abfälle wie z.B. Klärschlamm. Nach (IE/IZES 2006) werden für die Bundesländer Thüringen, Sachsen-Anhalt, Sachsen und Brandenburg aerobe und anaerobe Behandlungskapazitäten von je etwa 1 bis 1,5 Mio. t/a ausgewiesen, die Durchsatzkapazitäten für Bio- und Grünabfälle liegen pro Bundesland aber nur bei etwa 150.000 bis 200.000 t/a.

Nach Angaben des Umweltbundesamtes¹⁸ werden Grünabfälle nahezu ausschließlich in offenen Anlagen behandelt, was mit den Angaben nach (BGK 2004) übereinstimmt¹⁹. Da Grünabfälle auch mit Bioabfällen gemeinsam verarbeitet werden, wird für die Grünabfallmenge im Jahr 2006 angenommen, dass sie zu 90 % in offenen Anlagen verarbeitet wurde. Dies entspricht 3,6 Mio. t/a und liegt bereits deutlich über dem nach (BGK 2004) ermittelten Wert von 2,6 Mio. t/a. Für Bioabfälle wurde dafür umgekehrt angenommen, dass diese weitgehend in geschlossenen Anlagen behandelt werden und nur zu 10 % in offenen. Daraus resultiert insgesamt eine in offenen Anlagen behandelte Menge von knapp 4 Mio. t/a, was im Mittel für Deutschland als repräsentativ angesehen wird.

¹⁶ Darin konnten 668 von den 813 laut BGK (www.bgk.de; Stand 2006) bestehenden Anlagen ausgewertet werden. Für die 145 verbleibenden Anlagen mit einer Kapazität von rd. 0,45 Mio. t/a wurde angenommen, dass es sich vorwiegend um kleine Grünabfallkompostierungsanlagen handelt.

¹⁷ 123 reine Grünabfallkompostanlagen, 167 Anlagen, die Bio- und Grünabfälle verarbeiten. Von letzteren befanden sich 67 in den Neuen Bundesländern.

¹⁸ Mitteilung Hr. Tim Hermann (UBA)

¹⁹ Von den 124 reinen Grünabfallkompostanlagen war nur eine geschlossen ausgeführt.

Tabelle 4.23 Kompostanlagen in Deutschland zum Stand 2003
(Quelle: Witzenhausen-Institut/igw Witzenhausen 2007)

Jahresdurchsatz in t/a	Anzahl	Gesamtkapazität in t/a	Kapazität Anteil in %
< 6.500	287	1.460.260	
6.500 – 10.000	123	949.610	
10.000 – 15.000	70	914.550	
15.000 – 20.000	49	911.820	
20.000 – 30.000	69	1.796.925	
30.000 – 50.000	42	1.654.856	
> 50.000	28	1.962.940	
Gesamt	668	9.650.961	
Anlagen < 10.000	410	2.409.870	25%
Anlagen > 10.000	258	7.241.091	75%
Anlagen < 20.000	529	4.236.240	44%
Anlagen > 20.000	139	5.414.721	56%

Für die Szenarien 2020 T und 2020 AT wird für Bioabfall von einer vollständigen Behandlung in geschlossenen Anlagen ausgegangen. Für Grünabfall wird eine Ausweitung der Behandlung in geschlossenen Kompostierungsanlagen auf 50 % angenommen, was nach Behandlungskapazitäten (Tabelle 4.23) einer vollständigen geschlossenen Ausführung von Anlagen > 10.000 Jahrestonnen und damit einer vollständigen Umsetzungen der Anforderungen nach TA Luft entspräche.

Die Emissionen für offene und geschlossene Kompostierungsanlagen und auch für Vergärungsanlagen sind nach aktuellen Messdaten modelliert, die im Rahmen des UFO-Plans analysiert wurden (gewitra 2009). Bei den danach ermittelten Werten handelt es sich um vorläufige Werte, welche die bisher im Rahmen der nationalen Berichterstattung verwendeten Emissionsfaktoren für die Kompostierung ablösen sollen. Auch wird künftig bei der nationalen Berichterstattung die separate Ausweisung für Grün- und Bioabfälle entfallen. Da Grünabfälle auch gemeinsam mit Bioabfällen verarbeitet werden, wird in dieser Studie ebenfalls der für beide Abfallarten ermittelte Emissionsfaktor verwendet (Tabelle 4.24), Unterschiede ergeben sich nur für die Behandlungstechnik.

Der in Tabelle 4.24 aufgeführte Mittelwert für Bio- und Grünabfälle in offenen Anlagen aus der Messreihe wurde in (gewitra 2009) als nicht repräsentativ eingestuft und stattdessen der ebenfalls in Tabelle 4.24 enthaltene Emissionsfaktor nach Literaturangaben als vorläufiger Wert verwendet. Mit diesem Wert wurde auch in dieser Studie gerechnet. Auf die Darstellung einer Sensitivität durch Einsatz des Mittelwertes aus der Messreihe wurde verzichtet. Für eine Sensitivität wäre auch zu berücksichtigen, dass bei der reinen Grünabfallkompostierung geringere Methan- und Lachgasemissionen anfallen. Aus diesen beiden gegenläufigen Aspekten (höhere Emissionswerte der Einzelmessung und niedrigere Emissionen bei der reinen Grünabfallkompostierung) ergäbe sich nur ein geringfügiger Unterschied im Ergebnis. Für die Szenarien 2020 wurden die verwendeten Emissionsfaktoren der Kompostierung beibehalten. Eine Optimierung der Treibhausgasemissionen ergibt sich durch die o. g. Steigerung der Behandlung in geschlossenen Anlagen.

Tabelle 4.24 Emissionsfaktoren Kompostierung und Vergärung (gewitra 2009)

	Methan g/t	Lachgas g/t
Geschlossene Anlagen Bio- und Grünabfall (EF)*	710	68
Offene Anlagen Bio- und Grünabfall (EF)*	1.000	110
Offene Anlagen Bio- und Grünabfall (Messreihe)	1.800	190
Offene Anlagen nur Grünabfälle (Messreihe)	850	72
Anlagen mit Vergärung und geschlossener Nachrotte (EF)*	3.700	120
Mittlere EF Emissionsberichterstattung	1.100	99

EF: Emissionsfaktor

* Rechenwerte diese Studie

4.6.2 Vergärung

Eine Aufschlüsselung, welche Anlagentechniken bei der Bioabfallvergärung in welchen Anteilen zum Einsatz kommen liegt derzeit nicht vor. Grundsätzlich kommen Nassverfahren sowie kontinuierliche und diskontinuierliche Trockenverfahren in Frage. Diese unterscheiden sich zwar nach Energiebedarf und Gaserträgen, allerdings konnten auch aus (Witzenhausen-Institut 2008) keine entsprechenden Daten zur differenzierten Bilanzierung übermittelt werden. Insofern wurde die Bioabfallvergärung einheitlich mit durchschnittlichen Werten abgebildet, auch wenn die Biogasausbeuten in der Praxis sowohl stoffstromspezifisch, als auch durch die Varianz des Stoffstroms an sich stark variieren können. Der mittlere Gasertrag wurde mit 100 Nm³/t Bioabfall angesetzt bei einem mittleren Methangehalt von 60 Vol%. Das entspricht 60 m³ Methan je t Bioabfall. In der Praxis werden in der Nassvergärung und der kontinuierlichen Trockenvergärung teils deutlich höhere Werte von ca. 75 m³ Methan je t Bioabfall realisiert.

Für die Nutzung des erzeugten Biogases in BHKW wird von einem Stromwirkungsgrad von 37,5 % ausgegangen und einem Wärmewirkungsgrad von 43 %. Der Energieeigenbedarf wird mit 20 % bezogen auf den produzierten Strom und 25 % bezogen auf die produzierte Wärme berechnet (IFEU 2008a). Die im Überschuss produzierte Energie wird für Strom vollständig mit einer Gutschrift angerechnet, bei Wärme wird für das Szenario 2006 Ist davon ausgegangen, dass nur 20 % der Überschusswärme tatsächlich genutzt werden kann. Für das Szenario 2020 T wird idealisiert angenommen, dass der Nutzungsgrad der Überschusswärme auf 80 % gesteigert werden kann.

Die Emissionen für Vergärungsanlagen werden wie die der Kompostierung nach den aktuellen Messdaten in (gewitra 2009) modelliert (Tabelle 4.24). Der danach für Methan ermittelte Wert liegt gegenüber einer geschlossenen Kompostierung mehr als fünfmal höher. Hier besteht Handlungsbedarf zur Minimierung. Für das Szenario 2020 T und 2020 AT wird angenommen, dass eine Reduktion auf 10 % der gemessenen Methanemissionen gelingt. Denkbar ist dies durch geeignete technische Maßnahmen wie z.B. eine gezielte Abluffassung in kleinem Volumen und Verbrennung des resultierenden Schwachgases im BHKW.

4.6.3 Kompostprodukte und -anwendung

Produkte der Kompostierung sind Frisch- und Fertigkomposte. Nach Angaben des BGK (2008) beträgt der Anteil von Frischkompost in Deutschland 37 %. Der Verbleib der Frisch- und Fertigkomposte wird ebenfalls nach Angaben der BGK (2008) modelliert (vgl. Abbildung 4.5). In den Szenarien 2020 T und 2020 AT wird die ausschließliche

Erzeugung von Fertigkompost unterstellt. In Kombination mit geringeren Methan- und Lachgasemissionen durch eine gesteigerte Behandlung in geschlossenen Anlagen (s. Tabelle 4.24) führt dies insgesamt zu einer Minderung der Treibhausgasemissionen, da Frischkomposte bei ihrer Anwendung weiteren biologischen Abbauprozessen unterliegen und die Emissionen wie bei offenen Anlagen ungehindert in die Atmosphäre gelangen.

Der Vermarktungssplitt nach BGK (2008) für Fertigkompost wird nicht verändert (vgl. Abbildung 4.6). Hier wäre eine weitere Optimierung in Richtung vollständige Anwendung als Torfersatz im Erwerbsgartenbau und in Erdenwerken denkbar. Nach (EdDE 2007) sind hierfür insbesondere Grünabfallkomposte sehr gut geeignet und könnten mittelfristig 1,5 bis 2 Mio. m³ Torf ersetzen, langfristig sogar bis zu 3 Mio. m³, womit rd. 1/3 des bundesdeutschen Torfbedarfs abgedeckt wäre. Neben Vorteilen wie Ressourcenschonung, Biodiversitäts- und Landschaftserhalt, leistet diese stoffliche Verwertung durch die vollständige Torfsubstitution auch einen wesentlichen Beitrag zum Klimaschutz. In (EdDE 2007) konnte gezeigt werden, dass dieser Beitrag dem aus einer energetischen Verwertung gleichwertig ist.

Produkte der Vergärung sind entwässerte und nachkompostierte Gärreste. Über deren Anteile gibt es keine Angaben nach BGK (2008). Es wird angenommen, dass im Mittel in Deutschland die Hälfte der Gärreste entwässert und direkt angewandt, die andere Hälfte nachkompostiert und als kompostierter Gärrest vermarktet wird. Entwässerte Gärreste werden üblicherweise in der Landwirtschaft eingesetzt, für kompostierten Gärrest wurde der Anwendungssplitt nach (IFEU 2001) übernommen. Für das Szenario 2020 T wird wie auch bei aerob erzeugtem Kompost angenommen, dass ausschließlich stabilisierte Komposte erzeugt werden. Für Vergärungsanlagen ist die Nachkompostierung des Gärrestes eine Vergütungsvoraussetzung nach (EEG 2009). Für die Anwendung der erzeugten kompostierten Gärreste wird unterstellt, dass diese genauso wie Fertigkomposte nach BGK (2008) vermarktet werden.

Je nach Anwendung erzielen die Komposte unterschiedliche Nutzen. Deren Anrechnung erfolgt wie in (DBU 2002). Danach wird durch Anwendung in der Landwirtschaft, entsprechend den mittleren Gehalten an Phosphor, Kalium, Magnesium, Calcium und anteilig Stickstoff²⁰ im Kompost, der Einsatz von Mineraldünger ersetzt. Hierfür werden Gutschriften berechnet, die für den gesamten Lebensweg der Mineraldünger die damit verbundenen Emissionen von Klimagasen berücksichtigen (vgl. Tabelle 4.25)²¹.

²⁰ Alle Mineralien außer Stickstoff werden zu 100 % angerechnet. Stickstoff gemäß (BGK 2008) zu 20 %.

²¹ Wie in Kapitel 3 beschrieben, werden außer Klimaschutz und Einsparung von fossilen Energieträgern keine weiteren Kriterien betrachtet. Deshalb ist auch der positive Effekt der Kompostanwendung, die Einsparung von dem knappen Dünger Phosphat nur bezüglich der damit verbundenen Klimaauswirkungen berücksichtigt.

Tabelle 4.25 THG-Emissionen der Mineraldüngerbereitstellung (IFEU 2008b)

Mineraldünger		N-Dünger	P ₂ O ₅ -Dünger	K ₂ O-Dünger	CaO-Dünger
CO ₂ fossil	g/kg	2.686	1.114	616,5	284,3
CH ₄	g/kg	7,45	2,42	1,38	0,29
CH ₄ reg	g/kg				
N ₂ O	g/kg	12	0,032	0,049	0,019
CO ₂ fossil	g CO ₂ -Äq/kg	2.686	1.114	616,5	284,3
CH ₄	g CO ₂ -Äq/kg	207	67,1	38,2	7,9
CH ₄ reg	g CO ₂ -Äq/kg	0	0	0	0
N ₂ O	g CO ₂ -Äq/kg	3.576	9,6	14,6	5,78
Summe IPCC 2007	g CO₂-Äq/kg	6.469	1.191	669	298

Dies ist auch der Fall, wenn Kompost im Hobbygarten oder Garten- und Landschaftsbau eingesetzt wird. Dort wird zusätzlich aber auch die organische Düngewirkung angerechnet, da im Rahmen der Studie (DBU 2002) in Expertenrunden festgestellt wurde, dass in diesen Anwendungsbereichen ohne Kompost Rindenhumus oder (früher) auch Torf eingesetzt würde. Deren Einsparung ist in der Verteilung 50 % Rindenhumus und 50 % Torf massenäquivalent zum Organikgehalt der Komposte gutgeschrieben. Durch Anwendung im Erwerbsgartenbau bzw. in Erdenwerken zur Substraterzeugung wird ausschließlich Torf ersetzt, dies auch hier massenäquivalent zum Organikgehalt.

Für die Anwendung von Komposten in der Landwirtschaft wird als Sensitivität auch die Möglichkeit einer Kohlenstoffspeicherung (C-Senke) berücksichtigt. Angerechnet werden hierfür nach (AEA 2001) 8 % des im Kompost gebundenen Kohlenstoffs für den angenommen wird, dass er über einen 100 Jahreshorizont im Boden gespeichert bleibt. Bisher gibt es noch keine ausreichend langfristigen Untersuchungen, die belegen könnten, dass es durch die Kompostanwendung in der Landwirtschaft tatsächlich zu einer Langzeitspeicherung von Kohlenstoff und damit zu einem Beitrag zum Klimaschutz kommt. Dies wird auch in der jüngsten Veröffentlichung zu diesem Thema bestätigt (EdDE 2009). Allerdings leistet die Anwendung in der Landwirtschaft einen wichtigen Beitrag zur Humus-C-Reproduktion auch wenn sich dies nicht als Beitrag zum Klimaschutz niederschlagen sollte. Insbesondere auf verarmten Standorten kann durch Kompostanwendung mit einer erheblichen, für die landwirtschaftliche Produktion wichtigen, Humusanreicherung gerechnet werden.

4.6.4 Stoffflussmodelle der Bio- und Grünabfallbehandlung

In Abbildung 4.5 sind die zuvor beschriebenen Rahmenbedingungen der Bio- und Grünabfallbehandlung in Deutschland zum Stand 2006 dargestellt. Abbildung 4.6 zeigt die Bio- und Grünabfallverwertung für das Szenario 2020 AT, das sich durch Kombination der Szenarien 2020 A und 2020 T ergibt. Dabei enthält das Szenario 2020 A die durch veränderte Abfallströme bedingten Änderungen wie die Stoffstromtrennung bei 75 % der Grünabfälle und die Vergärung von 80 % der Bioabfälle. Das Szenario 2020 T enthält die technischen Optimierungen wie verminderte Methanemissionen der Vergärung, geschlossene Kompostierung bei 100 % der Bioabfälle und

50 % der Grünabfälle, ausschließliche Erzeugung von Fertigkompost bzw. kompostier-tem Gärrest. Aus letzterem ergibt sich auch die veränderte Anwendung der Komposte, die wie erwähnt dem Vermarktungssplitt für Fertigkomposte nach BGK (2008) entspricht. Die Veränderungen, die ausschließlich das Szenario 2020 T betreffen, sind in Abbildung 4.6, welche das kombinierte Szenario 2020 AT darstellt, in blauer Schrift gehalten.

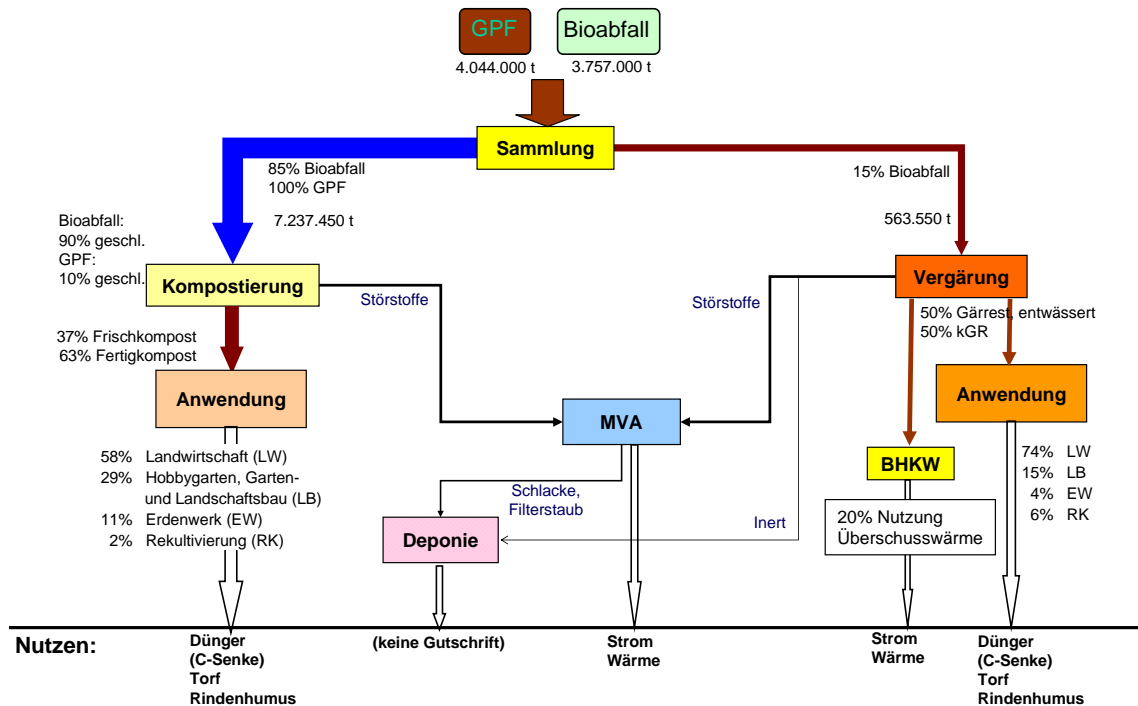


Abbildung 4.5 Bio- und Grünabfallverwertung in Deutschland 2006

Die getrennte Darstellung von Kompostierung und Vergärung in Abbildung 4.5 und Abbildung 4.6 dienen der Übersichtlichkeit. Faktisch handelt es sich nicht um konkurrierende Behandlungskonzepte, sondern die Vergärungsstufe stellt eine sinnvolle Erweiterung der Kompostierungsanlagen dar.

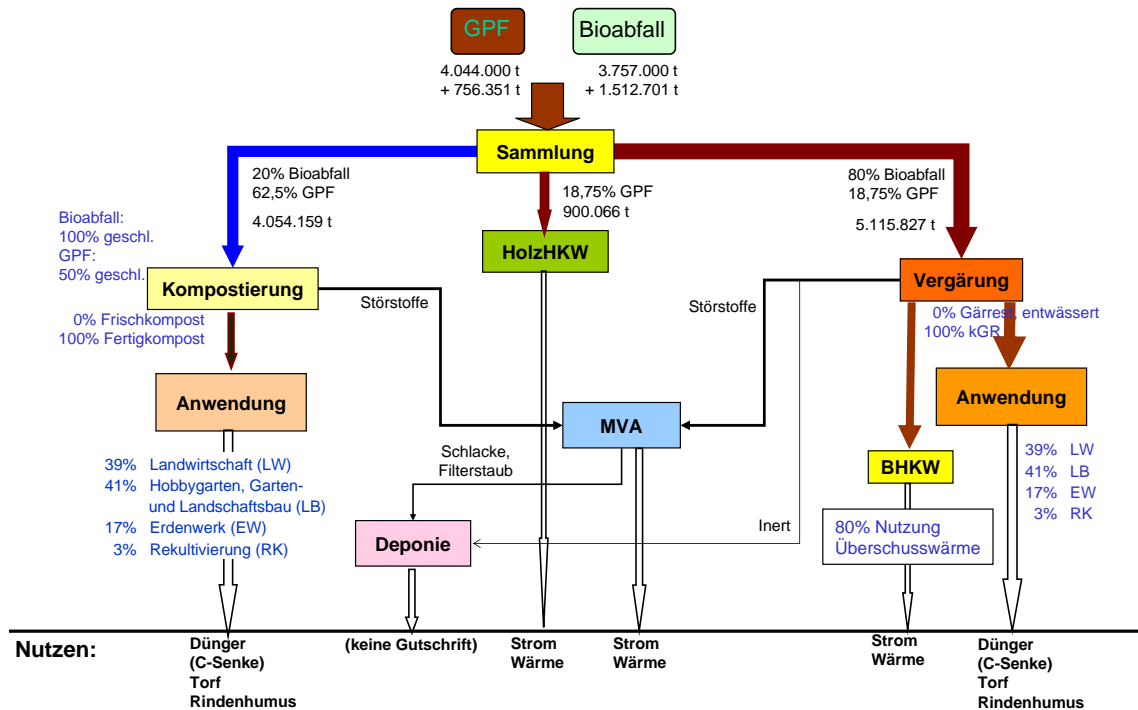


Abbildung 4.6 Bio- und Grünabfallverwertung in Deutschland Szenario 2020 AT

4.6.5 Spezifische Ergebnisse der Bio- und Grünabfallverwertung

Nachfolgend sind die spezifischen Ergebnisse für die Bio- und Grünabfallverwertung dargestellt, die sich entsprechend der vorangegangenen Beschreibungen ergeben.

Bioabfall

Die Bioabfallbehandlung weist für 2006 im Standardfall eine leichte Belastung in der Treibhausgasbilanz aus. Unter Berücksichtigung der Sensitivitätsanalyse „C-Senke“ ergibt sich ungefähr eine ausgeglichene CO₂-Bilanz.

In den Szenarien 2020 führt die Stoffstromumlenkung hin zur Vergärung im Szenario 2020 A zu einem höheren spezifischen Entlastungsbeitrag als die oben beschriebenen technischen Verbesserungen für die Kompostierung und die Vergärung im Szenario 2020 T. Im Szenario 2020 AT, das beide Variationen zusammen erfasst, wächst der Beitrag zum Klimaschutz deutlich (vgl. Abbildung 4.7 und Tabelle 4.26).

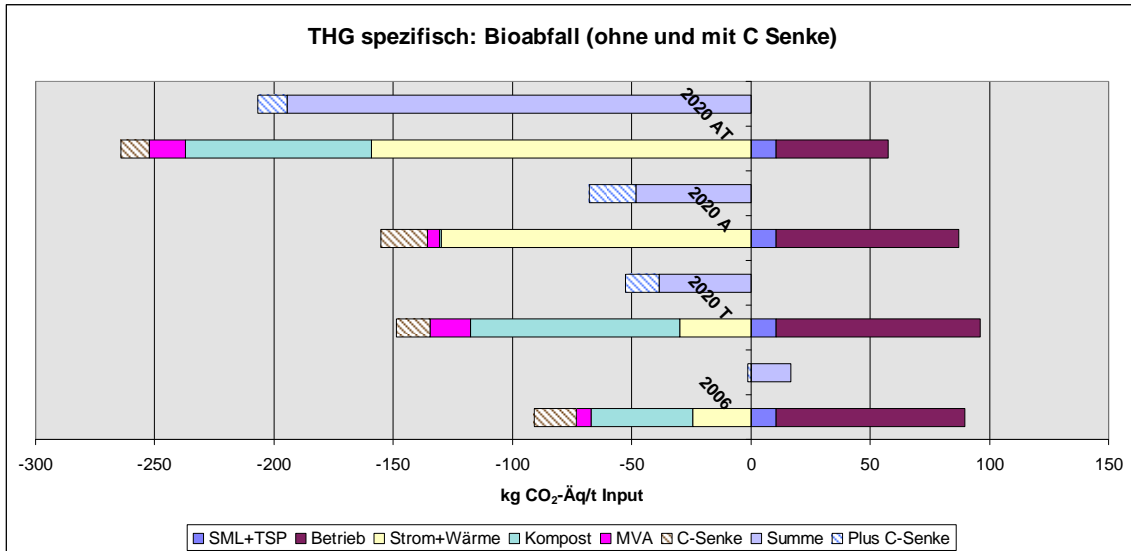


Abbildung 4.7 Spezifische THG-EF für die Bioabfallbehandlung, aufgeschlüsselt nach wichtigen Beiträgen²²

Tabelle 4.26 Spezifische THG-EF für die Bioabfallbehandlung, aufgeschlüsselt nach wichtigen Beiträgen

Anteile	THG spezifisch kg CO ₂ -Äq/t			
	2006	2020 T	2020 A	2020 AT
SML+TSP	10,5	10,5	10,5	10,5
Betrieb	79,3	85,7	76,8	47,2
Strom+Wärme	-24,3	-29,8	-129,8	-159,0
Kompost	-42,7	-88,0	-0,8	-78,2
MVA	-6,0	-17,0	-4,9	-15,0
EF Bioabfall	16,7	-38,6	-48,3	-194,5
C-Senke	-17,9	-14,0	-19,6	-12,2
EF BA mit C-Senke	-1,2	-52,7	-67,8	-206,6

Die Betriebsemissionen gehen im Szenario 2020 AT zurück, weil hier der Rückgang der alleinigen Kompostierung (wie in 2020 A) zusammenfällt mit der hinsichtlich Methanemissionen deutlich optimierten Vergärung (wie in 2020 T).

Die Umstellung der reinen Kompostierungsanlagen in 2006 und 2020 T in kombinierte Vergärungsverfahren mit Nachrotte führt bereits im Szenario 2020 A zu einer gestiegenen Gutschrift aus der Energienutzung, die im Szenario 2020 AT durch eine bessere Wärmenutzung nochmals ansteigt.

In den Standardszenarien werden die EF ohne, bei den entsprechend ausgewiesenen Sensitivitäten mit Berücksichtigung der C-Senke bilanziert.

²² In Abbildung 4.7, Abbildung 4.8 und Abbildung 4.13 werden die Ergebnisse der Standardbilanz (ohne schraffierten Balkenteile) und der Sensitivität unter Anrechnung der C-Senke (mit den schraffierten Balkenteilen) gemeinsam dargestellt.

Mit der betrachteten Sensitivität „C-Senke“ würde damit eine Steigerung der Treibhausgaseinsparung von 36 % im Szenario 2020 T, 41 % im Szenario 2020 A und 6 % im Szenario 2020 AT erreicht.

Grünabfall

Das Bilanzergebnis der Standardvariante weist im Szenario 2006 eine leichte Nettobelastung auf. Diese wird bei Anrechnung der C-Senke gerade ausgeglichen.

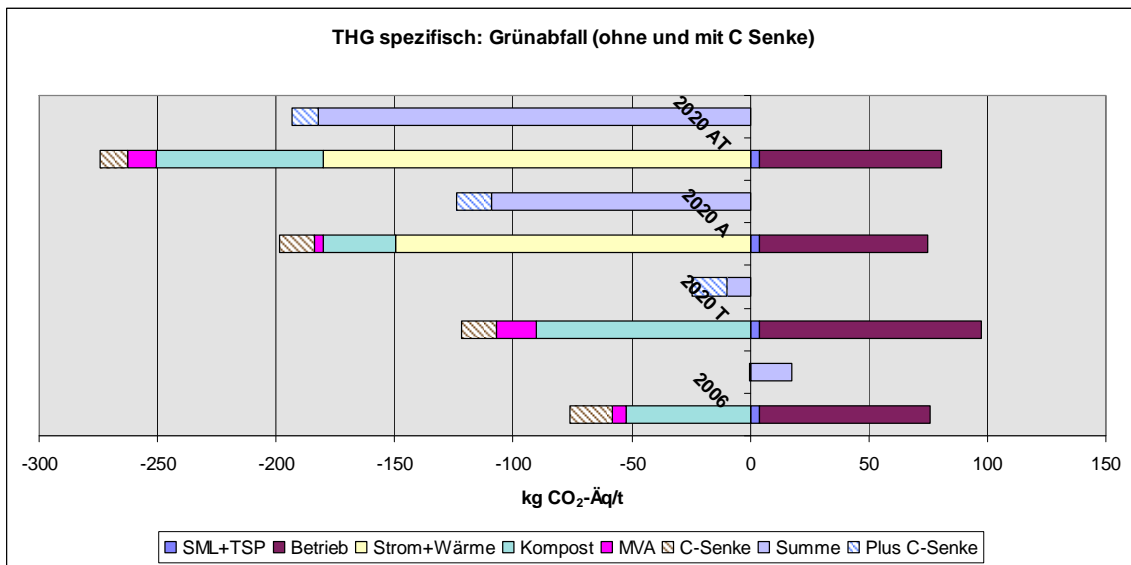


Abbildung 4.8 Spezifische THG-EF für die Grünabfallbehandlung, aufgeschlüsselt nach wichtigen Beiträgen²³

Tabelle 4.27 Spezifische THG-EF für die Grünabfallbehandlung, aufgeschlüsselt nach wichtigen Beiträgen

Anteile	THG spezifisch			
	kg CO ₂ -Äq/t			
	2006	2020 T	2020 A	2020 AT
SML+TSP	3,7	3,7	4,1	4,1
Betrieb	71,9	93,6	70,6	76,5
Strom u. Wärme	0,0	0,0	-149,5	-180,2
Kompost	-52,4	-90,2	-30,4	-70,5
MVA	-6,0	-17,0	-4,0	-12,2
EF Grünabfall	17,3	-9,9	-109,2	-182,3
C-Senke	-17,6	-14,5	-14,7	-11,2
EF GA mit C-Senke	-0,3	-24,4	-124,0	-193,5

Abbildung 4.8 und Tabelle 4.27 zeigen deutlich die Vorteile einer stoffstromorientierten Grünabfallbehandlung auf. Die energetische Nutzung der Grobfraktion in Biomasseheizkraftwerken führt zu erheblichen Gutschriften für Strom und Wärme, die

²³ Vgl. Fußnote zu Abbildung 4.7

sich in 2020 AT durch die dann auch zum Tragen kommende Effizienzsteigerung nochmals erhöhen.

Mit der betrachteten Sensitivität „C-Senke“ würde damit eine Steigerung der Treibhausgaseinsparung von 146 % im Szenario 2020 T, 13 % im Szenario 2020 A und 6 % im Szenario 2020 AT erreicht.

4.6.6 Spezifische Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse zur Bio- und Grünabfallverwertung

Geht man davon aus, dass neben den 5 % Sortierresten, die in der Standardbilanz bei der Bio- und Grünabfallverwertung abgetrennt werden, noch 2,5 % Holz nach der Rotte abgesiebt und in die energetische Biomasseverwertung gebracht werden, können dadurch weitere Gutschriften generiert werden. Aufgrund der Nachfrage nach Biomasse wird diese Fraktion weiter zunehmend einer entsprechenden Nutzung zugeführt. Für die Grünabfallbehandlung wirkt sich diese Sensitivität nur bei den Szenarien 2006 Ist und 2020 T aus, da bei den Szenarien 2020 A und AT die Abtrennung der energetisch nutzbaren Fraktion schon berücksichtigt ist.

Weiterhin ist es möglich die Sortierreste, die vor der biologischen Behandlung abgetrennt werden, nach einer Aufbereitung teilweise von der MVA in EBS-HKW umzulenken. In den folgenden Abbildungen und Tabellen wird der Effekt dieser Maßnahmen dargestellt.

Bioabfall

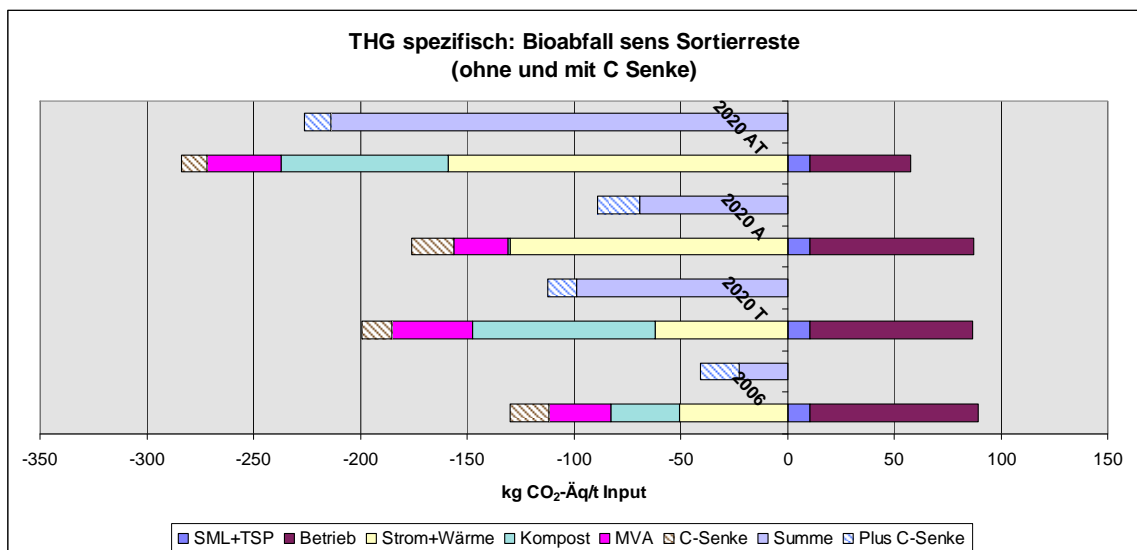


Abbildung 4.9 Spezifische THG-EF der Bioabfallbehandlung bei der Sensitivität Aufbereitung von Sortierresten und Ausschleusung einer Holzfraktion

Tabelle 4.28 Spezifische THG-EF der Bioabfallbehandlung bei der Sensitivität Aufbereitung von Sortierresten und Ausschleusung einer Holzfraktion

Anteile	THG spezifisch kg CO ₂ -Äq/t			
	2006	2020 T	2020 A	2020 AT
SML+TSP	10,5	10,5	10,5	10,5
Betrieb	79,3	85,7	76,8	47,2
Strom u. Wärme	-24,3	-29,8	-129,8	-159,0
Kompost	-42,7	-88,0	-0,8	-78,2
MVA	-28,7	-38,1	-25,8	-34,5
EF Bioabfall	-5,9	-59,7	-69,2	-214,0
C-Senke	-17,9	-14,0	-19,6	-12,2
EF BA mit C-Senke	-23,8	-73,8	-88,7	-226,1

Während die Bioabfallbehandlung in der Standardbilanz für 2006 ohne C-Senke eine geringe Lastschrift von 17 kg CO₂-Äq/t aufweist, erreicht sie bei dieser Sensitivität bereits 2006 eine kleine Gutschrift von 6 kg CO₂-Äq/t. Eine Verbesserung von etwa 20 kg CO₂-Äq/t weist die Bioabfallbehandlung auch in den anderen Szenarien auf. Mit der betrachteten Sensitivität würde damit ohne Berücksichtigung der C-Senke eine Steigerung der Treibhausgaseinsparung von 55 % im Szenario 2020 T, 43 % im Szenario 2020 A und 10 % im Szenario 2020 AT erreicht.

Grünabfall

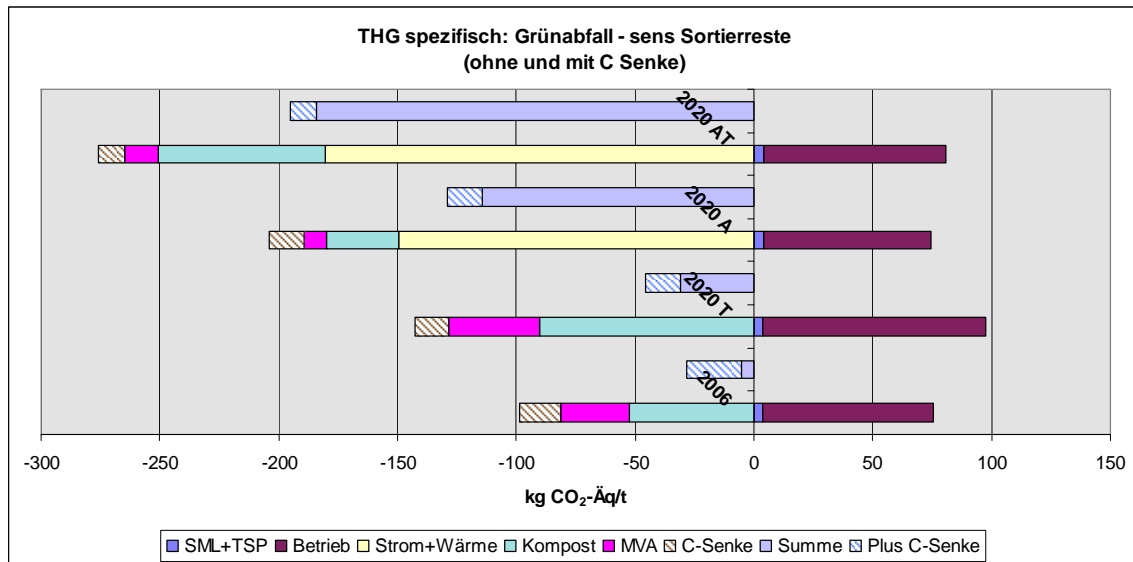


Abbildung 4.10 Spezifische THG-EF der Grünabfallbehandlung bei der Sensitivität Aufbereitung von Sortierresten und Ausschleusung einer Holzfraktion

Tabelle 4.29 Spezifische THG-EF der Grünabfallbehandlung bei der Sensitivität Aufbereitung von Sortierresten und Ausschleusung einer Holzfraktion

Anteile	THG spezifisch kg CO ₂ -Äq/t			
	2006	2020 T	2020 A	2020 AT
SML+TSP	3,7	3,7	4,1	4,1
Betrieb	71,9	93,6	70,6	76,5
Strom+Wärme	0,0	0,0	-149,5	-180,2
Kompost	-52,4	-90,2	-30,4	-70,5
MVA	-28,7	-38,1	-9,3	-14,0
EF Grünabfall	-5,4	-31,0	-114,5	-184,1
C-Senke	-17,6	-14,5	-14,7	-11,2
EF GA mit C-Senke	-22,9	-45,5	-129,2	-195,3

Die Grünabfallkompostierung führt in der Standardbilanz für 2006 noch zu einer Zusatzbelastung von etwa 17 kg CO₂-Äq/t, die dort durch die Gutschrift für die C-Senke gerade ausgeglichen wird. Bei dieser Sensitivität weist sie bereits 2006 eine kleine Gutschrift von etwa 5 kg CO₂-Äq/t auf. Ähnlich hoch fällt die Verbesserung im Szenario 2020 T aus. In den Szenarien 2020 A und AT kann gegenüber der in der Standardbilanz schon stoffstromoptimierten Behandlung, keine wesentliche Verbesserung mehr erreicht werden. Mit der betrachteten Sensitivität würde damit ohne Berücksichtigung der C-Senke eine Steigerung der Treibhausgaseinsparung von 146 % im Szenario 2020 T, 13 % im Szenario 2020 A und 6 % im Szenario 2020 AT erreicht.

4.7 Papier, Pappe, Kartonagen (PPK)

Für die Sammelmengen an PPK wird angenommen, dass die Papiermengen im Restmüll 2020 noch zu 50 % getrennt erfasst werden können. Dadurch ergibt sich eine Steigerung der PPK Menge von 8,08 Mio. t/a auf 9,24 Mio. t/a.

Für Altpapier erfolgt keine Änderung der Verwertungstechnik. Altpapier wird nach einer Sortierung in Papierfabriken aufbereitet und verwertet. Dabei fallen Spuckstoffe und Papierschlämme als Abfälle an. Die Spuckstoffe (rd. 0,6 % des Input) werden in MVAn verbrannt, Papierschlämme (rd. 5,3 % des Input) in Kohlekraftwerken. Als Gutschrift für die so erzeugten Altpapierfasern wird die vermiedene Herstellung von Primärfasern aus Industrieholz verrechnet. Dabei wird über einen technischen Substitutionsfaktor (SF) berücksichtigt, dass die Sekundärfasern aus PPK eine etwas geringere Qualität gegenüber Primärfasern aufweisen (SF=0,95)²⁴.

Bei der Frage, welche Primärfasern durch Altpapierrecycling ersetzt werden, würde eine Beschränkung auf ein Papiersegment den Verflechtungen des Papiermarktes nicht gerecht werden. So besteht z.B. im Verpackungsbereich eine traditionell hohe Altpapier-einsatzquote. Eine Verminderung dieser würde eigentlich den Einsatz von Neufasern in

²⁴ Nach Angaben aus experimentellen Untersuchungen von Verwertern. Im Gegensatz zu Glas, Weißblech oder Aluminium muss unabhängig von Materialverlusten beim Altpapierrecycling ständig ein kleiner Anteil Primärfasern in die Produkte nachgefahren werden, um die intendierten Funktionen wie Stabilität, Reißfestigkeit, etc. zu gewährleisten.

diesem Segment erfordern²⁵. Wahrscheinlicher ist aber der Zufluss von höheren Faserqualitäten aus dem Sektor der Graphischen Papiere, wo dann dafür Neufasern eingesetzt werden müssen. Insofern wurde zur Ermittlung der wahrscheinlich ersetzten Neufasern, der Papiermarkt als Ganzes betrachtet und für die wichtigsten Segmente (Zeitungsdruckpapier, Magazinpapier, Kopierpapier, PPK für Verpackungen) der jeweilige Anteil an eingesetztem Zell- und/oder Holzstoff abgeschätzt und über Vermarktungszahlen der Papierprodukte nach VDP²⁶ gewichtet. Danach ergibt sich ein Neufasereinsatzmix in Deutschland von rund 57 % Zellstoff und 43 % Holzstoff. Da in Deutschland keine integrierte Papierproduktion erfolgt und auch wenn es kein Altpapier gäbe, keine Zellstoffindustrie aufgebaut, sondern verstärkt importiert würde, ist eine Verrechnung der Substitution auf Faserebene für Deutschland angemessen.

Im Weiteren ist bei biogenen Ressourcen wie Papier nach Ansicht der Autoren ein weiterer Aspekt zu berücksichtigen: Biogene Ressourcen stehen nicht unbegrenzt zur Verfügung und durch die Ziele der Bundesregierung, der EU und auf globaler Ebene zum Ausbau der Erneuerbaren Energien ergeben sich teilweise deutliche Nutzungskonkurrenzen. Wird beispielsweise Altpapier recycelt, ist die Wahrscheinlichkeit hoch, dass das dafür geschonte Holz dafür zur Energieerzeugung eingesetzt wird. Aber auch wenn das nicht der Fall ist und das Holz im Wald belassen wird, ergibt sich im Gegensatz zu fossilen Ressourcen, deren Verbleib im Lager de facto mit keiner Umweltwirkung verbunden ist, bei Holz eine Veränderung mit Einfluss auf den Klimaschutz. Wird Wald geschont, verändert er sich über die Zeit, es wird vermehrt Kohlenstoff angereichert. Um der aktuell steigenden Nutzung biogener Ressourcen und dem Klimaschutzbeitrag bei einer Holzschonung in einer ökobilanziellen Betrachtung gerecht zu werden, sind die Systemgrenzen auf das „Rohstofflager“ auszudehnen.

In dieser Studie wird im Standardszenario davon ausgegangen, dass der Nutzungsdruck hoch ist und das eingesparte Holz in einem Holz-HKW genutzt wird. Dabei wird von einer Nutzung in Schweden als einem der wichtigsten Herkunftsländer für Neufasern zur Papierherstellung ausgegangen. Einer energetischen Nutzung in Schweden wird die dortige durchschnittliche Strom- und Wärmeerzeugung gegenübergestellt. Diese Annahme ist bewusst konservativ gewählt, d. h. wohl wissend, dass die daraus resultierenden Gutschriften vergleichsweise gering sind, da Strom in Schweden vorwiegend durch Kernkraft und Erneuerbare Energien erzeugt wird und auch bei der Wärme in Hausheizungen handelt es sich überwiegend um Stromheizungen (rd. 80 %) und ansonsten Heizölheizungen²⁷.

Im Weiteren werden als Sensitivitäten der Verbleib des Holzes im Wald betrachtet („Schonung“), sowie die Annahme, das Holz würde nach Deutschland importiert und

²⁵ PPK für Verpackungen bestehen bei Herstellung aus Primärmaterial etwa zu 70 % aus Zellstoff und 30 % aus Holzstoff.

²⁶ Verband deutscher Papierfabriken e.V.: Leistungsbericht Papier, jährliche Erscheinungsweise

²⁷ Dabei handelt es sich um die Energie-Mixe in Schweden mit sehr hohen Anteilen an Strom und Wärme aus regenerativen und nuklearen Quellen und nicht wie bei den sonstigen Gutschriften dieser Bilanz um den Ersatz ausschließlich fossiler Energieträger. Würde man versuchen, für Schweden fossile Mixe zu generieren, was allerdings der realen Situation in Schweden kaum gerecht würde, entspräche das Ergebnis in etwa der Sensitivität, in der das Holz nach Deutschland verbracht wird.

dort in Holz-HKW eingesetzt („energ. D“). Als Gutschrift wird für letzteres wie im Standardszenario der Marginalstrom und Marginalwärme nach BMU Methode verrechnet. Für den Verbleib im Wald wird konservativ nach IFC Consulting (2006) eine Speicherung von 0,8 t C/t Industrieholz angesetzt und über einen üblichen Zeitraum von 20 Jahren abgeschrieben.

4.7.1 Spezifische Ergebnisse der PPK Verwertung

Nachfolgend sind die spezifischen Ergebnisse für die PPK Verwertung dargestellt, die sich entsprechend der vorangegangenen Beschreibungen ergeben.

Neben dem Beitrag für die Bereitstellung des Altpapiers und dem Ersatz der Produktion aus Primärrohstoffen (SML+TSP, Papierrecycling, MVA), hat die Gutschrift für das eingesparte Holz an diesem Ergebnis einen relevanten Anteil (TSP Holz, Aufwand Holz, Strom Holz, Wärme Holz), insbesondere in den technologisch optimierten Szenarien mit der gesteigerten Wärmeauskopplung bei Holz-HKW.

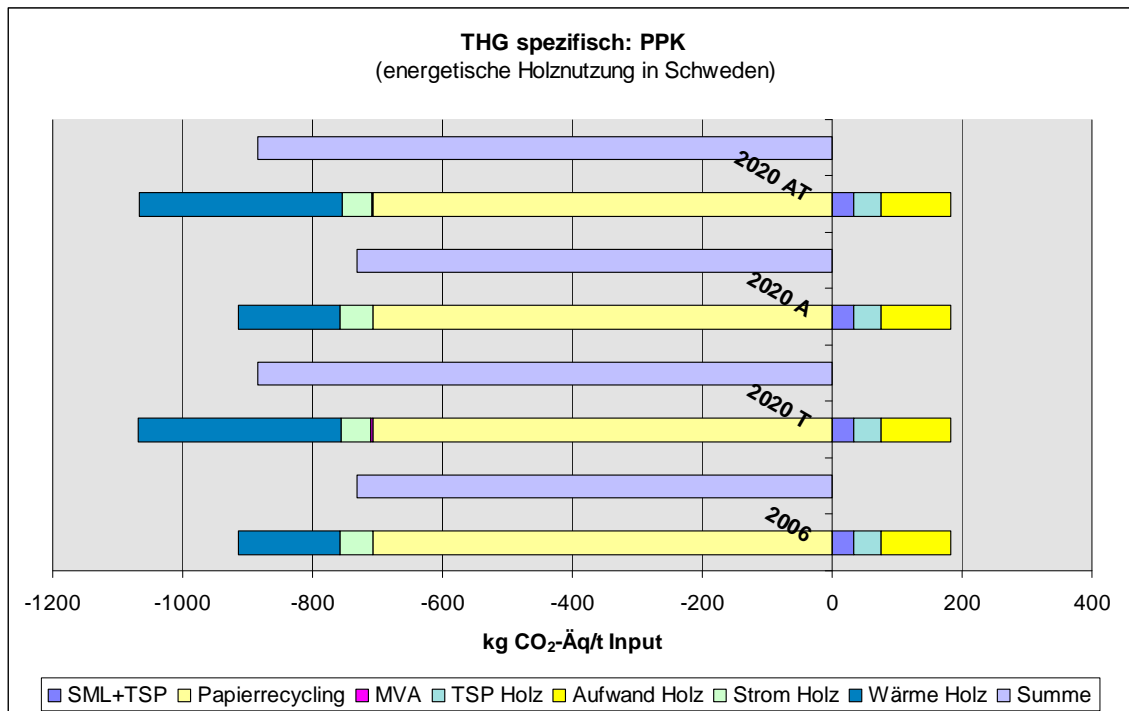


Abbildung 4.11 Spezifische THG-EF für PPK, aufgeschlüsselt nach wichtigen Beiträgen

Tabelle 4.30 Spezifische THG-EF für PPK, aufgeschlüsselt nach wichtigen Beiträgen

Anteile	THG spezifisch			
	kg CO ₂ -Äq/t			
	2006	2020 T	2020 A	2020 AT
SML+TSP	33,8	33,8	33,8	33,8
Papierrecycling*	-706,6	-706,6	-706,6	-706,6
MVA	-1,2	-3,4	-1,0	-3,0
TSP Holz	41,9	41,9	41,9	41,9
Aufwand Holz**	107,4	107,4	107,4	107,4
Strom Holz	-50,6	-45,5	-50,6	-45,5
Wärme Holz	-156,2	-312,4	-156,2	-312,4
EF PPK	-731,5	-884,8	-731,3	-884,4

* Nettogutschrift (Aufwand minus Gutschrift) des Papierrecyclings

** Aufwand für Bereitstellung und Transport des Holzes

4.7.2 Spezifische Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse zur PPK Verwertung

Die Gutschrift für das eingesparte Holz hängt stark davon ab, ob das Holz im Bestand bleibt oder ob von dessen energetischer Nutzung ausgegangen wird. Noch größer ist die Auswirkung wenn unterschiedliche Nutzungsszenarien verglichen werden. Die geringsten Gutschriften werden generiert, wenn das Holz in Schweden genutzt wird und dort, entgegen den Annahmen für andere bereitgestellte Energie, nur der normale Strommix bilanziert wird (Standardbilanz, „energ. S“). Der Strom und die Wärme werden in Schweden zum großen Teil aus nicht fossilen Energieträgern hergestellt.

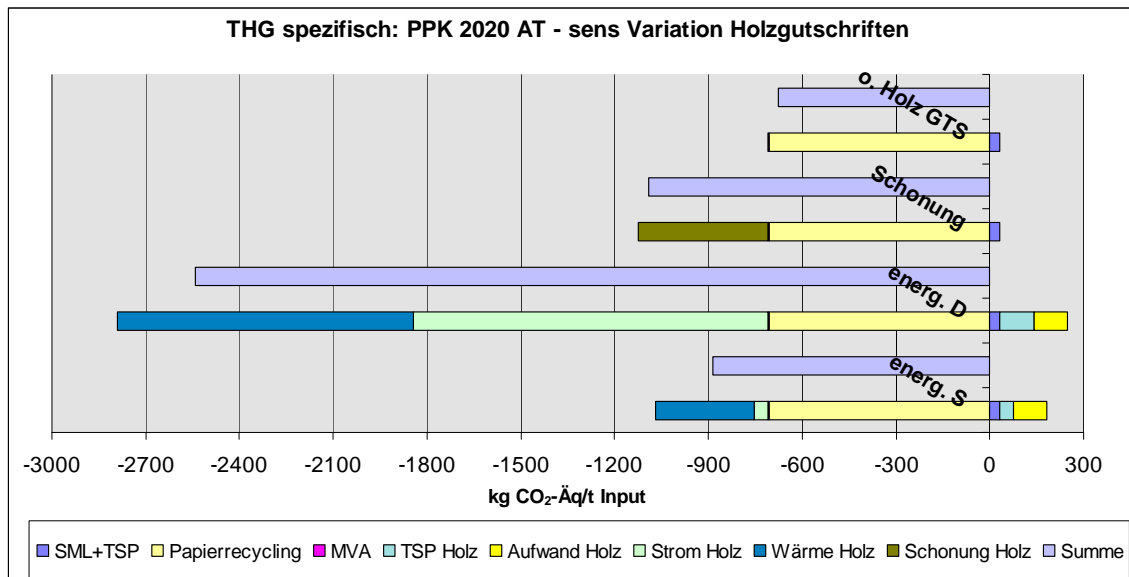


Abbildung 4.12 Verschiedene Sensitivitäten zur Nutzung des durch Papierrecycling eingesparten Holzes im Szenario 2020 AT

Tabelle 4.31 Verschiedene Sensitivitäten zur Nutzung des durch Papierrecycling eingesparten Holzes im Szenario 2020 AT

Anteile	THG spezifisch 2020 AT – Var. Holz			
	kg CO ₂ -Äq/t			
	energ. S***	energ. D	Schonung	ohne Holz GTS
SML+TSP	33,8	33,8	33,8	33,8
Papierrecycling*	-706,6	-706,6	-706,6	-706,6
MVA	-3,0	-3,0	-3,0	-3,0
TSP Holz	41,9	108,3	0,0	0,0
Aufwand Holz**	107,4	107,4	0,0	0,0
Strom Holz	-45,5	-1.133,8	0,0	0,0
Wärme Holz	-312,4	-948,1		0,0
Schonung Holz			-413,7	
EF PPK	-884,4	-2.542,1	-1.089,6	-675,8
Abweichung vom Standard		-187%	-23%	+24%

* Nettogutschrift (Aufwand minus Gutschrift) des Papierrecyclings

** Aufwand für Bereitstellung und Transport des Holzes

*** Standardbilanz

Die obere Grenze der Spannweite stellt der Transport des Holzes nach Deutschland dar, bei dem die deutlich höheren Gutschriften für die bereitgestellte Energie den Transportaufwand mehr als aufwiegen („energ. D“). Die „Schonung“ des Holzes weist eine ähnlich hohe Gutschrift auf wie die in der Standardbilanz angesetzte energetische Nutzung des Holzes in Schweden („energ. S“). Zum Vergleich ist in Abbildung 4.12 und Tabelle 4.31 auch das Ergebnis dargestellt ohne Berücksichtigung einer Holznutzung oder Holzschonung („o. Holz GTS“).

4.8 Glas

Bei der Bilanzierung des Glasrecyclings erfolgt in den verschiedenen Szenarien keine Veränderung der Mengen und Verwertungstechnik. Altglas wird aufbereitet und Glashütten zur Verwertung zugeführt. Der Scherbenanteil ersetzt Primärrohstoffe für die Glasherstellung. Zudem wird anteilig Energie eingespart, da die Altglasscherben gegenüber Rohmaterial einen geringeren Schmelzaufwand zur Glasherstellung bedingen.

Auf eine Darstellung der spezifischen Ergebnisse für die Glasverwertung wird an dieser Stelle verzichtet. Die Glasverwertung wird als Bestandteil der Gesamtergebnisse mit aufgeführt.

4.9 Leichtverpackungen (LVP)

Bei der LVP-Fraktion wird für 2020 A und 2020 AT unterstellt, dass die Sammlung auf die materialgleichen Nichtverpackungen und Elektrokleingeräte ausgeweitet wird (vgl. Kapitel 4.1). Da die dadurch zu erwartende Veränderung der Wertstofffraktionen nicht exakt abgeschätzt werden kann, wird mit der gleichen Verteilung wie in den Szenarien 2006 und 2020 T bilanziert (vgl. Tabelle 4.32).

Bilanziert wird der gesamte Entsorgungsweg inkl. der Entsorgung der Sortierreste. Für die Sortierreste kommt mit dem Deponierungsverbot im Wesentlichen nur noch eine thermische Behandlung in einer MVA oder im Zementwerk in Frage, es wird eine je hälftige Behandlung in diesen angenommen. Die Abfallzusammensetzung wird vereinfacht für alle Szenarien analog der in Tabelle 4.10 aufgeführten mittleren Zusammensetzung für Ersatzbrennstoffe angenommen.

Die Verteilung der Inhaltsstoffe in der LVP Fraktion wird nach IFEU (2006) übernommen (vgl. Tabelle 4.32) und in den Szenarien für 2020 A und AT nicht verändert (vgl. Kapitel 4.1). Flüssigkeitskartons (FKN) und Sonstige Verbunde bestehen im Wesentlichen aus Papier und werden wie Papier in Papierfabriken verwertet. Auch hier wird entsprechend Holz geschont. Für die eingesparte Menge Industrieholz wird wie bei Altpapier im Standardszenario davon ausgegangen, dass dieses Holz aufgrund eines hohen Nutzungsdrucks in Schweden in einem Holz-HKW eingesetzt wird.

Tabelle 4.32 Aufteilung der LVP in Wertstofffraktionen und Sortierreste* (IFEU 2006)

	Anteile in %
Kunststoffe	36,0
Weißblech	11,7
Aluminium	1,7
FKN	5,0
Sonstige Verbunde	5,3
Sortierreste	40,3
Summe Verbleib	100,0

* Verwendet für alle Szenarien, auch nach Erweiterung um materialgleiche Nichtverpackungen und Elektro-Kleingeräte

Für die weitere Aufschlüsselung der Kunststoffe (Tabelle 4.33) wird die Verteilung der Verwertungsfractionen nach IFEU/HTP (2001) verwendet.

Tabelle 4.33 Aufteilung der Kunststoffe in Verwertungsfractionen (IFEU/HTP 2001)

	Anteile in %
Folien	18,3
Mischkunststoffe (MKS)	65,0
Flaschen	14,7
Becher	2,0
Sonstige	0
	100,0

Die weitere Verwertung der Kunststofffraktionen ist nach IFEU/HTP (2001) modelliert. Die entsprechend verwendeten Werte für Ausbeuten und Substitutionspotenziale der stofflichen Verwertung sind in Tabelle 4.34 aufgeführt. Für die Flaschenfraktion wird dabei davon ausgegangen, dass es sich zu 10 % um PET-Flaschen handelt (in Tabelle 4.34 separat dargestellt) und ansonsten hälftig um Flaschen aus PE und PP. Für die

aus der stofflichen Kunststoffverwertung anfallenden Aufbereitungsreste wird angenommen, dass diese zur Mitverbrennung in Zementwerke gehen. Als Verbrennungsparameter werden die, in Tabelle 4.10 für Ersatzbrennstoffe als gewichtetes Mittel aufgeführten Daten, herangezogen.

Tabelle 4.34 Verwendete Ausbeuten und Substitutionspotenzial stoffliche Verwertung in den Szenarien 2006 und 2020 A
(nach IFEU/HTP 2001)

		Folien	Flaschen	Becher	PET	MKS
	SF	%	%	%	%	%
Aufbereitungsrest		21	17	23	25	10
Wasser			15	1		6
PET	1,0				75	
Kunststoffersatz PO	0,9	5	1			
Regranulat PO	0,7	60	67			30
Regranulat PP	0,9			14		
Regranulat PS	0,9			56		
Palisaden Holz		7		3		27
Palisaden Beton		7		3		27

SF = Substitutionsfaktor

Mischkunststoffe werden anteilig auch energetisch verwertet. Zum Zeitpunkt der IFEU/HTP (2001) Studie lag der Anteil der energetischen Verwertung mit 95 % sehr hoch. Nach Angaben von Verwertern ist demgegenüber für das Jahr 2006 von einem deutlich geringeren Anteil der energetischen Verwertung von 50 % auszugehen. Dieser Wert wird in dieser Studie verwendet. Für die energetische Verwertung der Mischkunststoffe kommt der Einsatz im Hochofen oder im Zementwerk in Frage. Es wird als Annahme eine Verteilung von 50:50 angesetzt (vgl. auch Öko-Institut 1999 und Jenseit 1995).

In den Szenarien 2020 T und AT wird von einer höherwertigen Einsatzmöglichkeit der durch die stoffliche Verwertung erzeugten Sekundärkunststoffe ausgegangen. Für diese wird angenommen, dass ausschließlich noch Primärkunststoffe ersetzt werden – also generell nicht mehr die nichtmaterialgleichen Primärprodukte Holz- und Betonpalisaden²⁸. Des Weiteren wird für Sekundärprodukte aus Folien, Flaschen und Bechern (Kunststoffersatz oder Regranulat) generell ein Substitutionsfaktor von 0,9 angesetzt und für Sekundärprodukte aus den 50 % stofflich verwerteten Mischkunststoffen (Regranulat PO) ein Substitutionsfaktor von 0,7. In Anbetracht dessen, dass sich seit der Datenaufnahme zu dem Projekt nach IFEU/HTP (2001) die Aufbereitungstechnik und der Verwertungsmarkt weiterentwickelt haben, erscheint diese Annahme angemessen (vgl. auch Öko-Institut 2001 und 2002a). Die 50 % energetisch verwertete Mischkunststoffe werden wie 2006 genutzt.

²⁸ Für alle anderen Wertstoffe werden ausschließlich materialgleiche Anwendungen mit einem Substitutionsfaktor von 1 (entspricht 100 %) bilanziert.

4.9.1 Spezifische Ergebnisse der LVP Verwertung

Nachfolgend sind die spezifischen Ergebnisse für die LVP Verwertung dargestellt, die sich entsprechend der vorangegangenen Beschreibungen ergeben.

In der Bilanz für LVP ist die Gutschrift für das in Schweden genutzte Holz, dass durch das Recycling von FKN und sonstigen PPK-Verbunden eingespart wurde, getrennt ausgewiesen („Holz-GTS“).

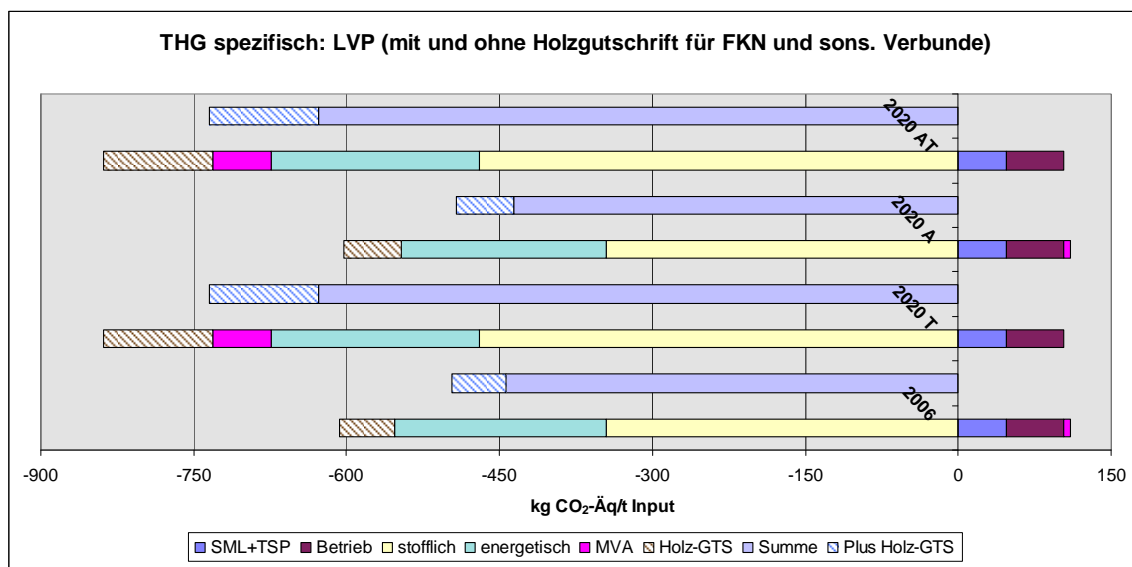


Abbildung 4.13 Spezifische THG-EF für LVP, aufgeschlüsselt nach wichtigen Beiträgen²⁹

Tabelle 4.35 Spezifische THG-EF für LVP, aufgeschlüsselt nach wichtigen Beiträgen

Anteile	THG spezifisch			
	kg CO ₂ -Äq/t			
	2006	2020 T	2020 A	2020 AT
SML+TSP	47,8	47,8	47,8	47,8
Betrieb	56,1	56,1	56,1	56,1
Stofflich	-345,5	-470,1	-345,5	-470,1
Energetisch	-207,7	-210,6	-207,7	-210,6
MVA	6,0	-57,7	6,0	-57,7
EF LVP ohne H-GTS	-443,3	-634,4	-443,3	-634,4
Plus Holz-GTS	-53,6	-106,6	-55,9	-106,6
EF LVP	-496,9	-734,1	-499,2	-734,1

Die durch die stoffliche und energetische Verwertung der getrennt erfassten Stoffe erzielten Substitutionseffekte, wie Ersatz von Primärkunststoffen, Primärenergieträgern,

²⁹ Vgl. Fußnote zu Abbildung 4.7. Hier ist allerdings mit den schraffierten Balkenteilen die Holzgutschrift, aus der Nutzung der durch das Recycling von FKN und Papierverbunden geschonten Holzmengen (wie bei PPK als Bestandteil der Standardbilanz) dargestellt. Die Bilanz erfolgte analog der Vorgehensweise bei PPK.

überwiegen die Aufwendungen für Sammlung, Transport und Betrieb der Aufbereitungsanlagen bei Weitem.

Die Sortierreste, die hälftig in MVA und hälftig in Zementwerk verbrannt werden, können nach dem heutigen Standard nur bei Mitverbrennung im Zementwerk eine Nettoentlastung erzielen (in Summe „energetisch“ enthalten). Die Verbrennung in MVA erzielt dagegen in 2006 Ist und 2020 A keine Nettogutschrift, da die fossilen CO₂-Emissionen, die aus dem Anteil an fossilem C im Sortierrest resultieren, die Einsparungen durch Energieerzeugung überwiegen. Mit den technischen Verbesserungen der MVA in den Szenarien 2020 T und 2020 AT kann die anteilige Sortierrestverbrennung in MVA dann in Etwa den Betrieb der Sortieranlagen ausgleichen.

4.10 Altholz

Die stoffliche Verwertung von Altholz selbst führt zu keinen nennenswerten Einsparungen bei THG, da im Wesentlichen Holz ersetzt wird und die Abholzung sowie die Aufwendungen im Sägewerk zur Bereitstellung des Holzes mit keinen hohen Treibhausgasemissionen verbunden sind. Da aber, wie in Kapitel 4.7 beschrieben, aktuell von einem hohen Nutzungsdruck für Hölzer auszugehen ist, wird auch hier konsistent zum Vorgehen für Altpapier für die geschonte Holzmenge von einer energetischen Verwertung ausgegangen. Im Unterschied zu Altpapier wird das stofflich genutzte Holz aber in Deutschland eingespart und folglich im Standardszenario das dafür geschonte Holz in Deutschland energetisch genutzt mit den entsprechend höheren Gutschriften für eingesparte Energie.

Für Altholz wird abweichend von den mittleren Kohlenstoffgehalten für heizwertreiche Abfallfraktionen aus M(B)An in Tabelle 4.10 davon ausgegangen, dass es sich um vollständig regeneratives Material handelt. Die Altholzverbrennung erfolgt in 2006 Ist und 2020 A in Anlagen mit einem Bruttostromwirkungsgrad von 24 %, der Eigenbedarf wird mit 4 % angesetzt, damit ergibt sich der Nettowirkungsgrad zu 20 %. Wärme wird mit einem Nettowirkungsgrad von 20 % ausgekoppelt.

Diese Wirkungsgrade sollen den Mix aus den häufig ohne Wärmeauskopplung betriebenen Großanlagen für Altholz der Kategorien A III und A IV, mit Stromwirkungsgraden bis zu 27 % und den häufig auf Wärmenutzung optimierten etwas kleineren Anlagen für Althölzer der Kategorien A I und A II abbilden.

In 2020 T und 2020 AT wird das Altholz in energieeffizienteren Anlagen mit einer gesteigerten Wärmeauskopplung genutzt. Die angesetzten Nettowirkungsgrade sind 18 % für den Strom und 40 % für die Wärme. Eine Übersicht der in den verschiedenen Szenarien angesetzten Nettowirkungsgrade thermischer Anlagen findet sich in Tabelle 4.20.

4.10.1 Spezifische Ergebnisse der Altholzverwertung

Nachfolgend sind die spezifischen Ergebnisse für die Altholzverwertung dargestellt, die sich entsprechend der vorangegangenen Beschreibungen ergeben.

Da bei der stofflichen Altholzverwertung Holz eingespart wird, für das energetisch die energetische Nutzung in Deutschland angesetzt wird, durch die eigentliche stoffliche Verwertung von Altholz im Normalfall aber keine wesentlichen CO₂-Einsparungen realisiert werden können, schneidet das stoffliche und energetische Recycling bezüglich

des Klimaschutzes etwa gleich gut ab. Demzufolge ist die Frage, welchen Verwertungswegen das Altholz zugeführt wird, dem stofflichen Recycling oder der thermischen Verwertung in energetisch guten Biomasse-HKW, für das Bilanzergebnis unerheblich (vgl. Kapitel 4.1).

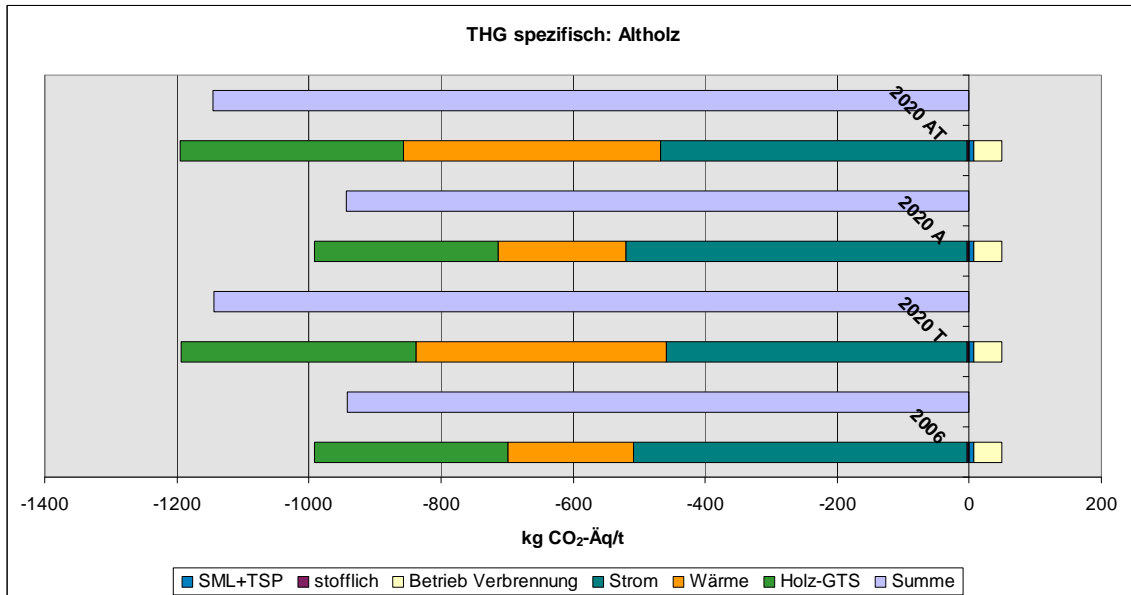


Abbildung 4.14 Spezifische THG-EF für Altholz, aufgeschlüsselt nach wichtigen Beiträgen

Tabelle 4.36 Spezifische THG-EF für Altholz, aufgeschlüsselt nach wichtigen Beiträgen

Anteile	THG spezifisch			
	kg CO ₂ -Äq/t			
	2006	2020 T	2020 A	2020 AT
SML+TSP	6,9	6,9	6,7	6,7
Stofflich	-3,7	-3,7	-3,5	-3,5
Betrieb Verbrennung	41,6	41,6	42,5	42,5
Strom	-504,9	-454,4	-516,1	-464,5
Wärme	-190,0	-380,0	-194,2	-388,5
Holz-GTS	-292,3	-354,9	-278,3	-337,9
EF Altholz	-942,4	-1.144,5	-943,0	-1.145,2

Die technischen Steigerungen resultieren aus der besseren Wärmegewinnung aus der Holzverbrennung. Da trotz der zusätzlichen Mengen in den Szenarien 2020 A und 2020 AT die absolute Menge des stofflichen Holzrecyclings nicht zunimmt, geht der Anteil an der Summe zurück. Hierdurch reduzieren sich auch bei den spezifischen Werten anteilig die THG-Emissionen für SML+TSP und die Gutschriften für Stofflich und Holz-GTS, während die Anteile der energetischen Module am EF Altholz entsprechend zunehmen.

5 Gesamtergebnisse der Standardbilanz

In diesem Kapitel werden die Gesamtergebnisse der Standardbilanz für Treibhausgase (THG) und energetische Ressourcen (KEA fossil) gemäß den beschriebenen Rahmenbedingungen dargestellt. Die Gesamtergebnisse für Treibhausgase entsprechen dabei dem Produkt aus den zuvor in den Kapiteln 4.3 bis 4.10 erläuterten spezifischen Ergebnissen und den jeweiligen absoluten Abfallmengen. Das gleiche gilt auch für die Schonung fossiler Ressourcen ausgedrückt über den kumulierten fossilen Energieaufwand (KEA fossil), für die auf die Darstellung der spezifischen Ergebnisse im Einzelnen verzichtet wurde (vgl. auch Kapitel 3.2).

Im Anschluss an die Standardbilanzergebnisse wird der Gesamtbeitrag der MVA zusammenfassend beschrieben (vgl. Kapitel 5.3), da aufgrund der Bilanzmethode aus den Gesamtergebnissen der Beitrag der MVA nur bezüglich des direkt in die MVA angelieferten Restmülls ersichtlich wird.

Die Sensitivitätsanalysen folgen in Kapitel 6.

Die Darstellung der Gesamtergebnisse erfolgt für die in Kapitel 4 beschriebenen Szenarien und die in Tabelle 4.2 und Abbildung 5.1 dargestellten Abfallströme.

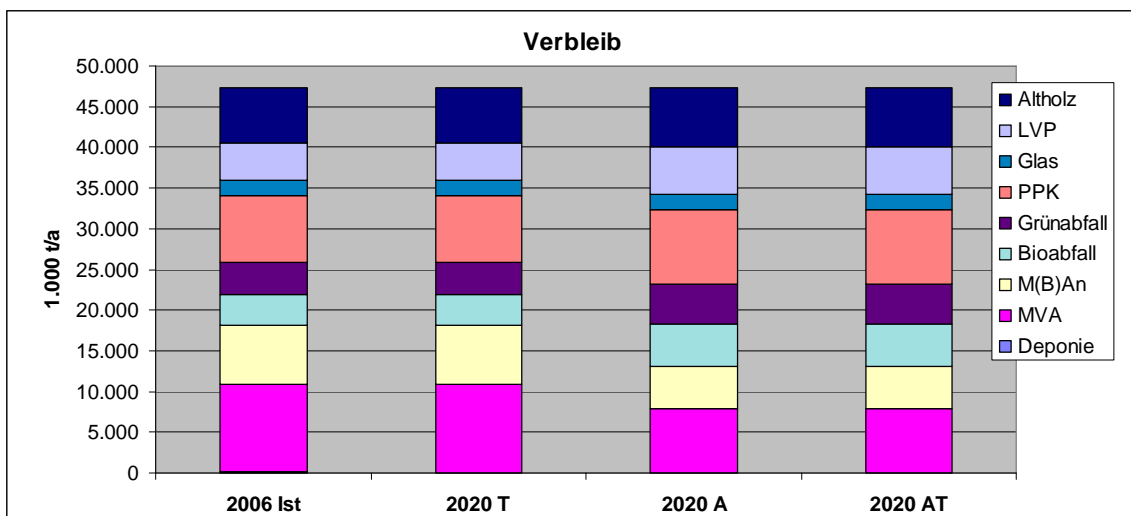


Abbildung 5.1 Abfallströme (Verbleib) der untersuchten Szenarien

5.1 Treibhausgase (THG)

In Abbildung 5.2 und Tabelle 5.1 sind die Gesamtergebnisse der Bilanz für die Treibhausgase dargestellt. Es zeigt sich, dass die Effekte der angesetzten technischen Verbesserungen zu einer stärkeren Steigerung der Einsparungen an Treibhausgasemissionen (THGE) führen als die alleinige Veränderung der Abfallströme. Die bedeutendsten Einsparungen werden durch das Recycling von PPK und Altholz erreicht, gefolgt von dem LVP Recycling und der MVA. Die Einsparungen durch PPK, LVP (FKN und sonstige Verbunde) und Altholz enthalten jeweils die Einsparungen, die sich aus dem eingesparten Holz ergeben (vgl. Kap. 4.7, 4.9 und 4.10). Im Standardfall

ist dies die Gutschrift durch energetische Nutzung des Holzes in Schweden. Dies ist mit vergleichsweise geringen Gutschriften verbunden, da die hier angerechnete durchschnittliche Energieerzeugung in Schweden überwiegend aus regenerativen oder nuklearen Energieträgern erfolgt (vgl. Abbildung 4.12).

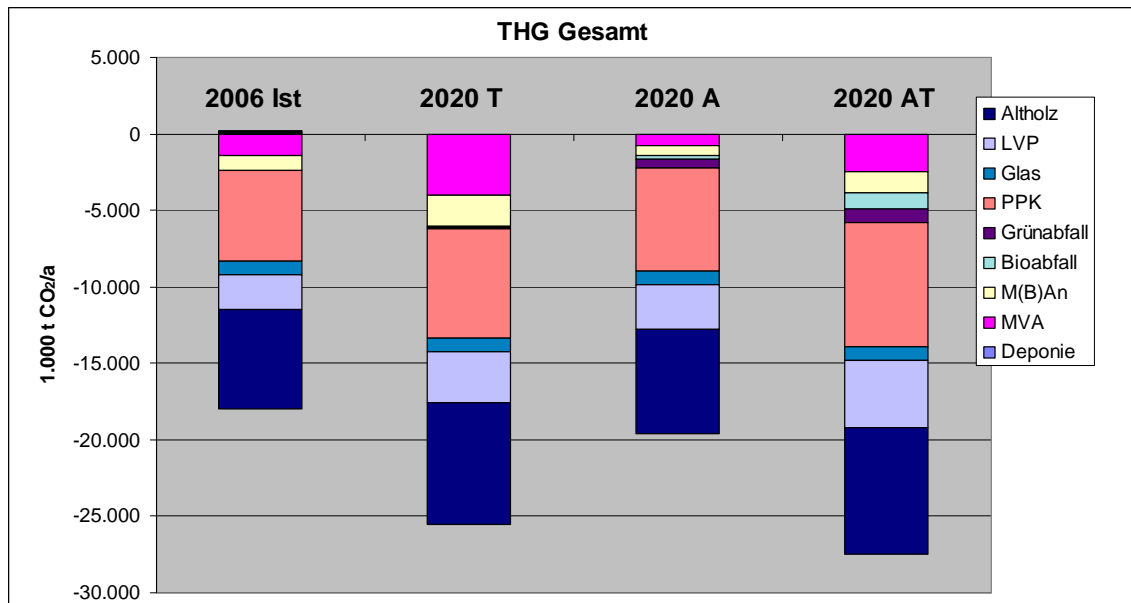


Abbildung 5.2 Gesamtergebnisse der Standardbilanz für THG³⁰

Tabelle 5.1 Gesamtergebnisse der Standardbilanz für THG

	2006 Ist	2020 T	2020 A	2020 AT
	1.000 t CO ₂ -Äq/a	1.000 t CO ₂ -Äq/a	1.000 t CO ₂ -Äq/a	1.000 t CO ₂ -Äq/a
Deponie	62	0	0	0
MVA	-1.407	-4.038	-799	-2.497
M(B)An	-1.000	-1.971	-637	-1.364
Bioabfall	62,9	-145	-254	-1.025
Grünabfall	70	-40	-524	-875
PPK	-5.911	-7.149	-6.758	-8.173
Glas	-897	-897	-897	-897
LVP	-2.252	-3.358	-2.923	-4.339
Altholz	-6.503	-7.897	-6.834	-8.299
Summe	-17.773	-25.496	-19.625	-27.468

Bereits im Szenario 2006 Ist wird für die Siedlungsabfallwirtschaft in Deutschland eine Entlastung der THGE um etwa 18 Mio. t CO₂-Äq/a für 2006 ausgewiesen. Zur Veranschaulichung zeigt ein Vergleich dieser Menge mit dem Pkw-Verkehr in

³⁰ In dieser und den folgenden Abbildungen werden die Beiträge der Abfallwirtschaft und der einzelnen Sektoren zusammenfassend dargestellt. Werte mit negativem Vorzeichen beschreiben einen Beitrag zur Entlastung der Klimabilanz. Nach oben wären, falls vorhanden, zusätzliche Belastungen in der Klimabilanz dargestellt.

Deutschland, dass ausgehend von durchschnittlichen Emissionen für Pkw von derzeit etwa 180 g CO₂/km und einer durchschnittlichen Fahrleistung von ca. 13.000 km/a, die Minderungsleistung der deutschen Siedlungsabfallwirtschaft im Jahr 2006 etwa die CO₂-Emissionen von 7,7 Mio. Pkw ausgleicht, was immerhin knapp 19 % des gesamten derzeitigen Bestandes in Deutschland von 41,3 Mio. Pkw (www.kba.de) entspricht.

Beim Szenario 2020 AT kann diese auf etwa 27,5 Mio. t CO₂-Äq/a gesteigert werden.

In Tabelle 5.2 sind die Ergebnisse der THG-Bilanz für die Szenarien 2006 Ist und 2020 T dargestellt. Des Weiteren zeigt die Tabelle die Differenz des Ergebnisses im Szenario 2020 T gegenüber dem Szenario 2006 Ist.

In der Summe wird die THG-Bilanz durch das Technikszenario 2020 T um ca. 7,7 Mio. t CO₂-Äq/a gegenüber dem Jahr 2006 verbessert. Hierzu trägt insbesondere die gesteigerte Energieeffizienz der MVA und der Holzverbrennung bei. Letztere ist auch für die Steigerung beim Papierrecycling verantwortlich, da die Nutzung des eingesparten Holzes jetzt effektiver ist.

Tabelle 5.2 Gegenüberstellung der Ergebnisse der THG-Bilanz bezüglich der Mengen, spezifischen Faktoren und der daraus ermittelten Beiträge für die Szenarien 2006 Ist und 2020 T sowie der Differenz der Beiträge

	2006 Ist	2006 Ist	2006 Ist	2020 T	2020 T	2020 T	Differenz
	Menge	spez. EF	Beitrag	Menge	spez. EF	Beitrag	zu 2006
	1.000 t/a	kg CO ₂ - Äq/t	1.000 t CO ₂ -Äq/a	1.000 t/a	kg CO ₂ - Äq/t	1.000 t CO ₂ -Äq/a	1.000 t CO ₂ -Äq/a
Deponie	94	664	62	0	0	0	-62
MVA	10.807	-130	-1.407	10.863	-372	-4.038	-2.631
M(B)An	7.240	-138	-1.000	7.278	-271	-1.971	-971
Bioabfall	3.757	16,7	62,9	3.757	-39	-145	-208
Grünabfall	4.044	17	70	4.044	-10	-40	-110
PPK	8.080	-732	-5.911	8.080	-885	-7.149	-1.239
Glas	1.929	-465	-897	1.929	-465	-897	0
LVP	4.532	-497	-2.252	4.532	-741	-3.358	-1.107
Altholz	6.900	-942	-6.503	6.900	-1.145	-7.897	-1.394
Summe/Mittel	47.383	-375	-17.773	47.383	-538	-25.496	-7.723

Tabelle 5.3 zeigt die Ergebnisse der THG-Bilanz für die Szenarien 2006 Ist und 2020 A sowie die in Szenario 2020 A gegenüber 2006 erreichte Steigerung der Beiträge zur Reduktion der THGE. Es zeigt sich deutlich, dass der Beitrag zum Klimaschutz durch die alleinige Umlenkung der Abfallströme geringer ist, als durch die technischen Verbesserungen in 2020 T. Dazu tragen neben dem besseren energetischen Wirkungsgrad der MVA insbesondere auch die gesteigerte Wärmenutzung der Holzverbrennung, die sich insbesondere bei Altholz und PPK auswirkt, sowie die der EBS-HKW, die bei den M(B)An zu Buche schlagen, bei. Auch die LVP Verwertung kann einen deutlich gesteigerten Beitrag, im Wesentlichen durch die bilanzierten Zunahmen beim hochwertigen stofflichen Kunststoffrecycling, aufweisen.

Tabelle 5.3 Gegenüberstellung der Ergebnisse der THG-Bilanz bezüglich der Mengen, spezifischen Faktoren und der daraus ermittelten Beiträge für die Szenarien 2006 Ist und 2020 A sowie der Differenz der Beiträge

	2006 Ist	2006 Ist	2006 Ist	2020 A	2020 A	2020 A	Differenz
	Menge	spez. EF	Beitrag	Menge	spez. EF	Beitrag	zu 2006
	1.000 t/a	kg CO ₂ - Äq/t	1.000 t CO ₂ -Äq/a	1.000 t/a	kg CO ₂ - Äq/t	1.000 t CO ₂ -Äq/a	1.000 t CO ₂ -Äq/a
Deponie	94	664	62	0	0	0	-62
MVA	10.807	-130	-1.407	7.809	-102	-799	608
M(B)An	7.240	-138	-1.000	5.229	-122	-637	363
Bioabfall	3.757	16,7	62,9	5.270	-48	-254	-317
Grünabfall	4.044	17	70	4.800	-109	-524	-594
PPK	8.080	-732	-5.911	9.241	-731	-6.758	-847
Glas	1.929	-465	-897	1.929	-465	-897	0
LVP	4.532	-497	-2.252	5.855	-499	-2.923	-671
Altholz	6.900	-942	-6.503	7.247	-943	-6.834	-331
Summe/Mittel	47.383	-375	-17.773	47.381	-414	-19.625	-1.852

Den Abgleich zwischen den Szenarien 2006 Ist und 2020 AT zeigt Tabelle 5.4. Die erreichte Steigerung beim Beitrag zur Reduktion der THGE entspricht erwartungsgemäß nahezu der Summe der Einzelbeiträge aus den Szenarien 2020 T und 2020 A. Gemäß den geänderten Abfallströmen ist der Anteil der MVA an den erreichten Verbesserungen zurückgegangen und der der Altholzverbrennung und dem stofflichen Recycling entsprechend angestiegen.

Tabelle 5.4 Gegenüberstellung der Ergebnisse der THG-Bilanz bezüglich der Mengen, spezifischen Faktoren und der daraus ermittelten Beiträge für die Szenarien 2006 Ist und 2020 AT sowie der Differenz der Beiträge

	2006 Ist	2006 Ist	2006 Ist	2020 AT	2020 AT	2020 AT	Differenz
	Menge	spez. EF	Beitrag	Menge	spez. EF	Beitrag	zu 2006
	1.000 t/a	kg CO ₂ - Äq/t	1.000 t CO ₂ -Äq/a	1.000 t/a	kg CO ₂ - Äq/t	1.000 t CO ₂ -Äq/a	1.000 t CO ₂ -Äq/a
Deponie	94	664	62	0	0	0	-62
MVA	10.807	-130	-1.407	7.809	-320	-2.497	-1.090
M(B)An	7.240	-138	-1.000	5.229	-261	-1.364	-364
Bioabfall	3.757	16,7	62,9	5.270	-194	-1.025	-1.088
Grünabfall	4.044	17	70	4.800	-182	-875	-945
PPK	8.080	-732	-5.911	9.241	-884	-8.173	-2.262
Glas	1.929	-465	-897	1.929	-465	-897	0
LVP	4.532	-497	-2.252	5.855	-741	-4.339	-2.087
Altholz	6.900	-942	-6.503	7.247	-1.145	-8.299	-1.796
Summe/Mittel	47.383	-375	-17.773	47.381	-580	-27.468	-9.695

In Abbildung 5.3 sind die Differenzen der Szenarien 2020 T, 2020 A und 2020 AT zu 2006 Ist in Bezug auf die Gesamtbeiträge (Summen) zum Klimaschutz vergleichend gegenübergestellt.

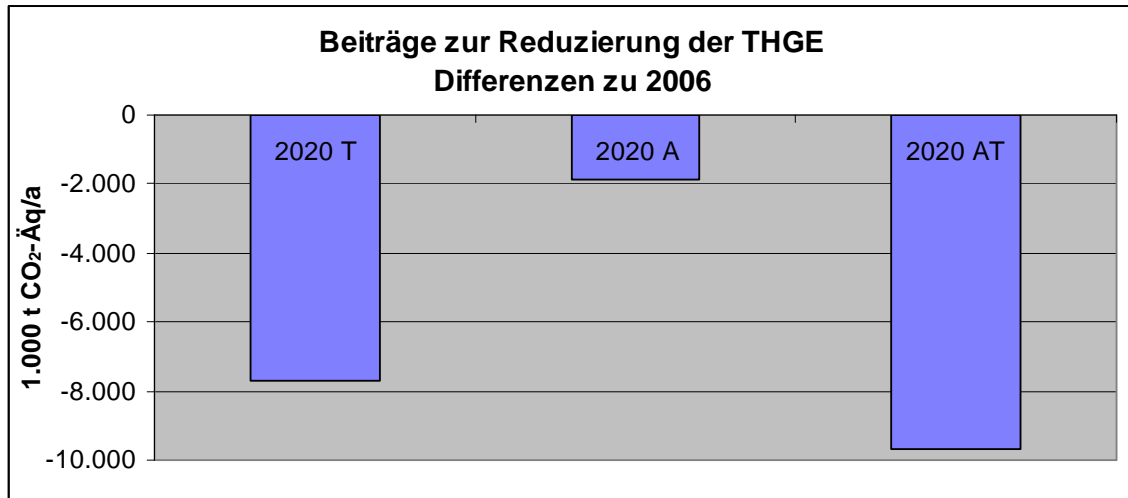


Abbildung 5.3 Beiträge der deutschen Siedlungsabfallwirtschaft zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen (THGE) dargestellt als Differenzen der untersuchten Szenarien für 2020 gegenüber 2006

In Tabelle 5.5 sind die spezifischen Emissionsfaktoren (EF) der einzelnen Abfallbehandlungsmodule für THG der untersuchten Szenarien noch einmal zusammenfassend dargestellt. Die Gegenüberstellung zeigt beim Vergleich der Szenarien 2006 Ist bzw. 2020 T mit 2020 A bzw. 2020 AT, dass durch die Änderungen der Abfallströme auch die spezifischen Emissionsfaktoren einiger Module beeinflusst werden. Durch den Entzug von verschiedenen Wertstoffen (insbesondere Bio- und Grünabfälle, Papier und Altholz) gehen beispielsweise der Heizwert und der Anteil an regenerativem Kohlenstoff im Restmüll geringfügig zurück, was zu einer entsprechenden Reduktion des spezifischen EF der MVA führt. Dieser Effekt wird durch die – infolge der gesteigerten Getrennterfassung von Metallen – verringerten Metallanteile im Restmüll noch verstärkt (vgl. Kapitel 4.4.1). Die gleichen Effekte führen auch bei den M(B)An zu einer Reduktion der spezifischen EF. Diese fällt etwas geringer aus als bei der MVA, da die geänderte Aufteilung des Inputs zugunsten der MBS wiederum zu einer anteiligen Steigerung der spezifischen EF führt. Bei den absoluten Ergebnissen (vgl. Tabelle 5.1) ist dieser Effekt durch die gleichzeitig zurückgegangenen Mengen für MVA und M(B)An noch deutlicher.

Tabelle 5.5 Spezifische Emissionsfaktoren der einzelnen Abfallbehandlungsmodulare für THG

	2006 Ist	2020 T	2020 A	2020 AT
	kg CO ₂ -Äq/t	kg CO ₂ -Äq/t	kg CO ₂ -Äq/t	kg CO ₂ -Äq/t
Deponie	664	0	0	0
MVA	-130	-372	-102	-320
M(B)An	-138	-271	-122	-261
Bioabfall	17	-39	-48	-194
Grünabfall	17	-10	-109	-182
PPK	-732	-885	-731	-884
Glas	-465	-465	-465	-465
LVP	-497	-741	-499	-741
Altholz	-942	-1.145	-943	-1.145
Durchschnitt	-375	-538	-414	-580

Abbildung 5.4 zeigt die Gegenüberstellung der erreichten Gesamtreduktionen an THG gegenüber der Bilanz im Statusbericht 2005 (Öko-Institut/IFEU 2005). Da im Statusbericht 2005 Altholz nicht in der Betrachtung enthalten war, sind die neuen Ergebnisse einmal in der Gesamtsumme und einmal ohne die Anteile durch die Altholzverwertung dargestellt.

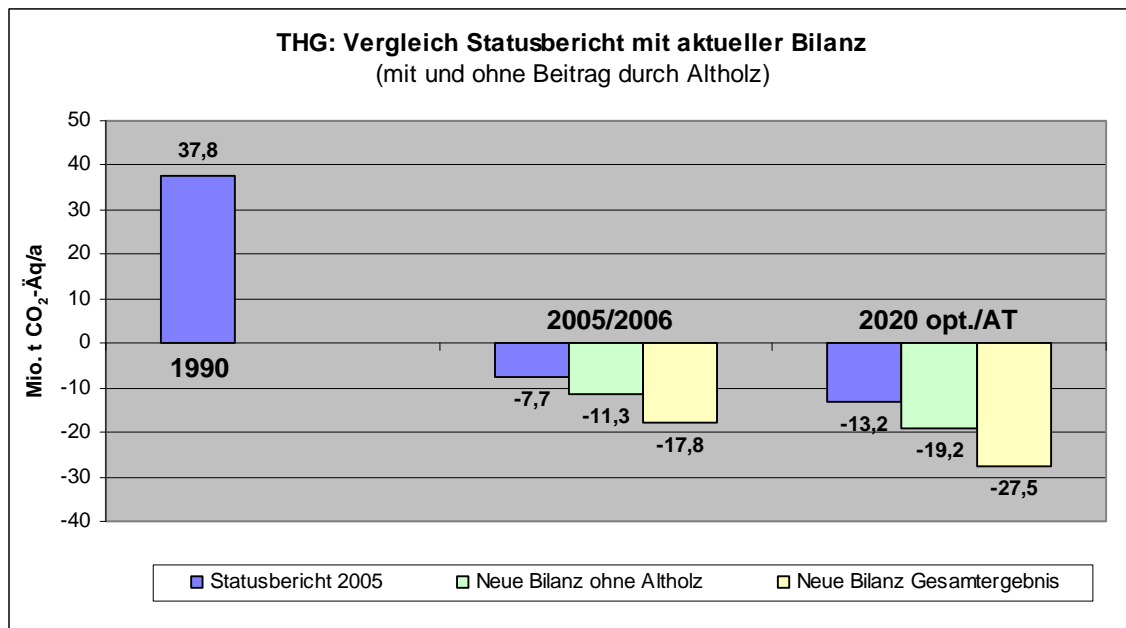


Abbildung 5.4 Gegenüberstellung der Gesamtergebnisse dieser Bilanz für THG (mit und ohne Altholz) zu Szenarien aus dem Statusbericht 2005 (Öko-Institut/IFEU 2005)

Aus diesem Abgleich ist zu erkennen, dass durch die zusätzliche Aufnahme von Altholz und aktualisierte Modellannahmen in der aktuellen Bilanz deutlich höhere Entlastungen durch die Abfallwirtschaft berechnet wurden als in der Bilanz zum Statusbericht 2005. Ohne das gegenüber 2006 mit 6,9 Mio. t/a zusätzlich in die Bilanz aufgenommene Altholz entsprechen sich die zugrunde gelegten Abfallmengen von etwa 40,5 Mio. t/a in

der aktuellen Bilanz und etwa 40,9 Mio. t/a im Statusbericht nahezu. Ohne den Beitrag des Altholzes, nähern sich die Gesamtbeiträge zur Reduktion der THGE schon erheblich an. Die verbleibenden Unterschiede von ca. 3,6 Mio. t CO₂-Äq/a gesteigertem Beitrag für 2006 bzw. ca. 6 Mio. t CO₂-Äq/a für 2020 werden insbesondere durch die Berücksichtigung des durch Altpapierrecycling eingesparten Holzes (vgl. Kapitel 4.7, 4.9 und 4.10) sowie einiger Anpassungen der Rahmenbedingungen beim stofflichen Recycling, die im Statusbericht 2005 nicht Bestandteil der Bilanz waren (vgl. Kapitel 4), erreicht.

Gegenüber der im Statusbericht 2005 für das Jahr 1990 ermittelten Belastung von 37,8 Mio. t CO₂-Äq/a ergibt die für das Jahr 2006 ohne Berücksichtigung des Altholzanteils ermittelte Entlastung von 11,3 Mio. t CO₂-Äq/a einen Reduktionsbeitrag von 49,1 Mio. t CO₂-Äq/a (Differenz der beiden Vergleichsjahre). Im Szenario 2020 AT liegt die Entlastung an THGE um weitere 7,9 Mio. t CO₂-Äq/a höher. Gegenüber dem Jahr 1990 ergäbe sich in der Differenz zu 2020 der Reduktionsbeitrag damit zu 57 Mio. t CO₂-Äq/a.

5.2 Fossile energetische Ressourcen

Bei den fossilen energetischen Ressourcen zeigt sich bezüglich der absoluten Summen, wie zu erwarten, ein ähnliches Bild wie bei den THG (vgl. Abbildung 5.5 und Tabelle 5.6). Bei den Ergebnissen der einzelnen Abfallbehandlungsmodule steigen die Anteile der M(B)An und der MVA etwas an. Insbesondere weist hier trotz der geringen Mengen das Recycling der Leichtverpackungen einen hohen Anteil an der Gesamtentlastung auf. Es trägt beim Szenario 2020 AT durch die Kombination Mengensteigerung (2020 A) und höhere Substitution von Primärkunststoffen (2020 T) am stärksten zu den Einsparungen fossiler energetischer Ressourcen bei, gefolgt von Altholz und PPK.

Insgesamt trägt die deutsche Siedlungsabfallwirtschaft heute zusammen mit der Altholzverwertung bereits mit ca. 325 PJ/a zur Einsparung von fossilen energetischen Ressourcen bei. Im Szenario 2020 AT kann dieser Beitrag auf 455 PJ/a gesteigert werden.

Im Jahr 2006 betrug der Gesamtverbrauch an fossiler Primärenergie in Deutschland etwa 12.000 PJ (DIW 2007). Bei 82,4 Mio. Einwohnern in Deutschland entspricht dies einem durchschnittlichen Verbrauch von 146 GJ je Einwohner und Jahr. Der Beitrag der Siedlungsabfallwirtschaft und der Altholzverwertung entspricht demnach 2006 dem durchschnittlichen Verbrauch von etwa 2 Mio. Einwohnern. Bezieht man auch die Einsparung aus dem Szenario 2020 AT auf den heutigen Durchschnittsverbrauch je Einwohner können 3 Mio. Einwohner ihren Bedarf dadurch decken.

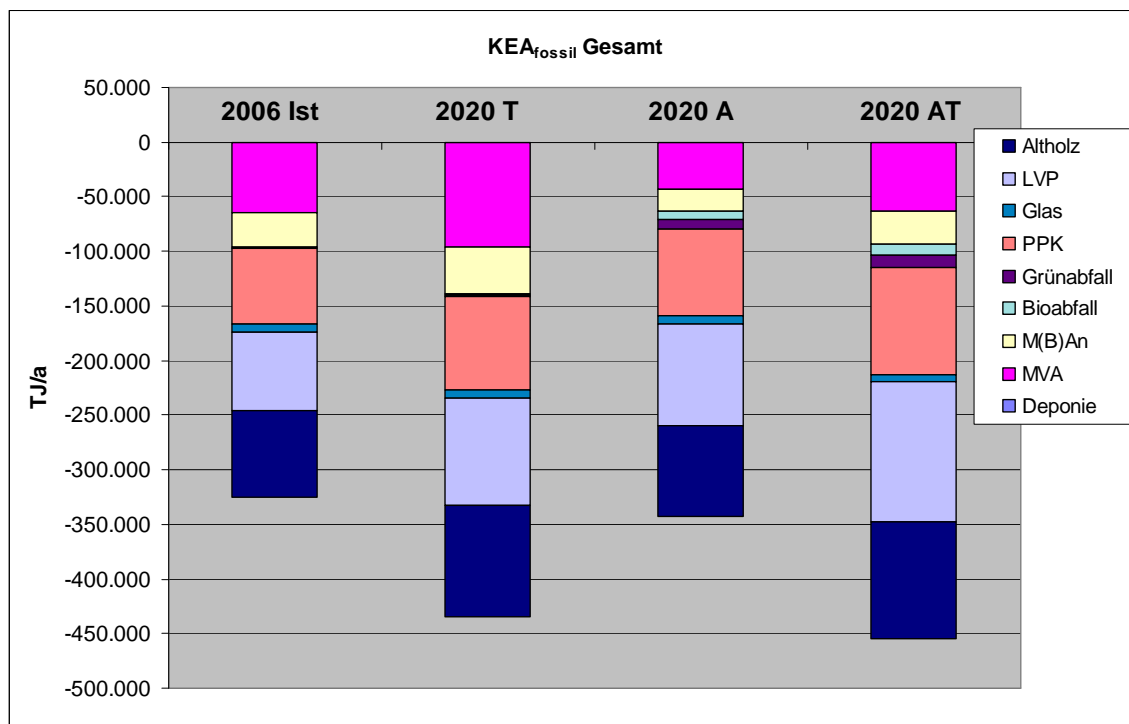


Abbildung 5.5 Gesamtergebnisse der Standardbilanz für fossile energetische Ressourcen

Tabelle 5.6 Gesamtergebnisse der Standardbilanz für fossile energetische Ressourcen

	2006 Ist	2020 T	2020 A	2020 AT
	TJ/a	TJ/a	TJ/a	TJ/a
Deponie	26	0	0	0
MVA	-64.766	-95.826	-43.080	-63.443
M(B)An	-31.436	-43.250	-20.802	-29.667
Bioabfall	-591	-1.444	-7.533	-10.642
Grünabfall	-572	-825	-8.546	-11.251
PPK	-69.266	-85.550	-79.175	-97.778
Glas	-7.037	-7.037	-7.037	-7.037
LVP	-71.927	-98.785	-93.101	-127.625
Altholz	-79.140	-102.433	-83.164	-107.641
Summe	-324.708	-435.148	-342.436	-455.083

Die spezifischen EF für KEA_{fossil} zeigt Tabelle 5.7.

Tabelle 5.7 Spezifische Emissionsfaktoren der einzelnen Abfallbehandlungsmodule für fossile energetische Ressourcen (KEA_{fossil})

	2006 Ist	2020 T	2020 A	2020 AT
	MJ/t	MJ/t	MJ/t	MJ/t
Deponie	276	0	0	0
MVA	-5.993	-8.821	-5.517	-8.124
M(B)An	-4.342	-5.943	-3.978	-5.673
Bioabfall	-157	-384	-1.429	-2.019
Grünabfall	-141	-204	-1.780	-2.344
PPK	-8.573	-10.588	-8.568	-10.581
Glas	-3.648	-3.648	-3.648	-3.648
LVP	-15.871	-21.797	-15.901	-21.797
Altholz	-11.470	-14.845	-11.475	-14.853
Durchschnitt	-6.853	-9.184	-7.227	-9.605

Der Abgleich mit den Ergebnissen des Statusberichts 2005 zeigt ähnliche Differenzen wie die THG-Bilanz. Auch hier haben die Verwertung des Altholzes und des durch Papierrecycling eingesparten Holzes daran einen relevanten Anteil.

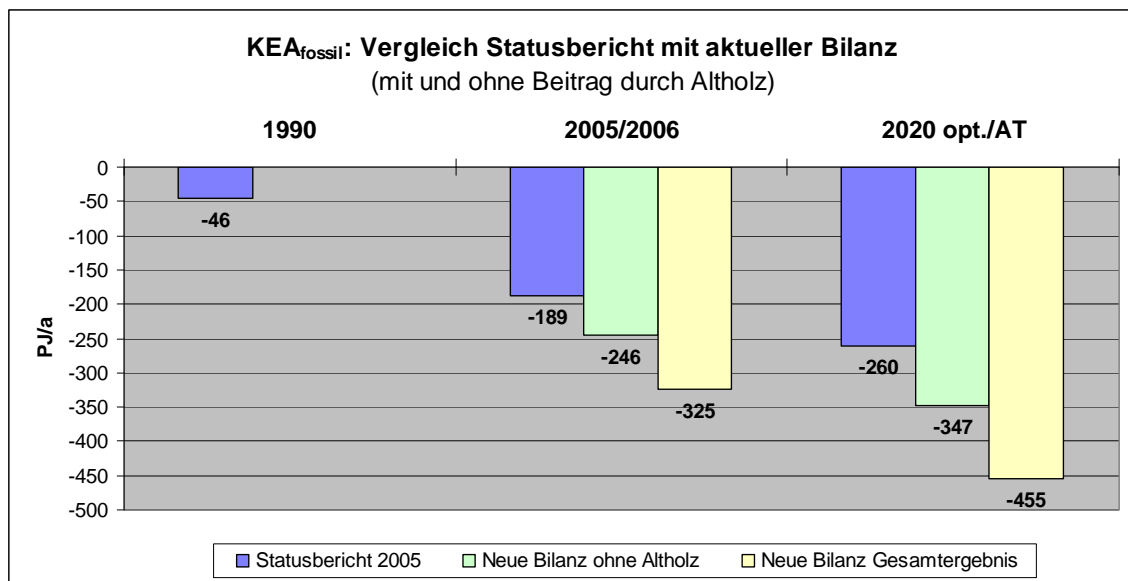


Abbildung 5.6 Gegenüberstellung der Gesamtergebnisse dieser Bilanz für fossile energetische Ressourcen (mit und ohne Altholz) zu den entsprechenden Szenarien aus dem Statusbericht 2005 (Öko-Institut/IFEU 2005)

5.3 THG Gesamtbeitrag der MVA

Da in der Bilanz für die MVA nur der direkte Eintrag von Restmüll ausgewiesen wurde, bleibt hier zu erwähnen, dass neben diesem Abfallstrom noch weitere Abfallmengen in den MVAn behandelt werden. Große Teile davon sind Gewerbeabfälle, die nicht Bestandteil dieser Studie sind.

Darüber hinaus wurden aber auch innerhalb dieser Bilanz indirekte Abfallströme aus

- den M(B)An,
- der LVP Aufbereitung sowie
- der Bio- und Grünabfallverwertung
- der Papierverwertung

zu den MVAn geliefert. Die Verbrennung dieser Sortierreste, Störstoffe oder gezielt erstellten Brennstoffe wurde innerhalb der genannten Behandlungssysteme bzw. Abfallfraktionen bilanziert.

Tabelle 5.8 zeigt die Abfallmengen, die in der Bilanz insgesamt über direkte und indirekte Anlieferungen in MVAn behandelt werden. Die rund 13 Mio. t für 2006 stellen eine Teilmenge der in der Praxis insgesamt in MVAn behandelten Mengen dar. Die Gesamtmenge umfasst auch Gewerbeabfälle, die wie erwähnt in dieser Studie nicht betrachtet werden.

Tabelle 5.8 Direkte und indirekte Anlieferung in MVAn

	2006	2020 T	2020 A	2020 AT
Input	1.000 t/a	1.000 t/a	1.000 t/a	1.000 t/a
Restmüll direkt	10.807	10.863	7.809	7.809
von M(B)An	985	990	628	628
von LVP	913	913	1.180	1.180
von Bioabfall	188	188	263	263
von Grünabfall	202	202	195	195
von PPK	80	80	91	91
Summe	13.175	13.237	10.167	10.167

In Tabelle 5.9 sind die Beiträge der MVA zum Treibhauseffekt, sowohl aus der Verbrennung der direkt (Primärabfälle) als auch der indirekt angelieferten Abfallmengen (Sekundärabfälle) aufgeführt.

Tabelle 5.9 THG-Beiträge aus der direkten und indirekten Anlieferungen

	2006	2020 T	2020 A	2020 AT
Input	1.000 t CO₂-Äq/a	1.000 t CO₂-Äq/a	1.000 t CO₂-Äq/a	1.000 t CO₂-Äq/a
Restmüll direkt	-1.407	-4.038	-799	-2.497
von M(B)An	-46	-310	-18	-179
von LVP	27	-261	35	-338
von Bioabfall	-23	-64	-26	-79
von Grünabfall	-24	-69	-19	-59
von PPK	-10	-27	-9	-27
Summe	-1.483	-4.769	-836	-3.179

Im Szenario 2006 Ist tragen die indirekten Anlieferungen bei knapp 20 % der Gesamt-abfallmenge zu 5 % zum THG Gesamtentlastungsbeitrag der MVA bei. Im Szenario 2020 AT liegt der Anteil der indirekten Anlieferungen bezogen auf die gesamt ange-lieferte Abfallmenge bei 23 %. Zur gesamten THG Entlastung tragen diese mit 21 % bei.

6 Sensitivitätsanalysen für THG

6.1 Sensitivität 1: Optimierungen bei LVP, PPK Bio- und Grünabfallbehandlung

Bei den Sensitivitätsanalysen wurden folgende Annahmen unterstellt:

- Bei der Deponie sowie der Bio- und Grünabfallbehandlung werden die Effekte der C-Senke angerechnet.
- Bei der LVP Verwertung werden weniger Mischkunststoffe erzeugt (46 % statt 65 % der Kunststoffe in LVP). Für diese wird eine vollständige energetische Verwertung angenommen. Für die Differenzmenge wird davon ausgegangen, dass diese als sortenreine Kunststofffraktionen – zu gleichen Teilen Folien und Flaschen – gewonnen werden kann.
- Die energetische Nutzung der Mischkunststoffe im Hochofen wird zugunsten der Nutzung in Zementwerken unterlassen.
- Die Gutschrift für die Holznutzung bei dem PPK Recycling wird leicht erhöht. Für Strom wird der Mix aus den wichtigen Holzexportländern Schweden, Finnland und Brasilien angesetzt (1:1:1). Da es einen entsprechenden Mix für die Wärme nicht gibt, wird hier der Mittelwert aus der Gutschrift für die Wärmebereitstellung in Deutschland und in Schweden angesetzt.

Die Darstellung der Ergebnisse erfolgt analog zu den Darstellungen der Standardbilanz. Durch die hier untersuchten Sensitivitäten steigen die Beiträge zur Entlastung insgesamt zwischen etwa 17,4 % beim Szenario 2020 T und etwa 20,5 % beim Szenario 2006 Ist an. Der größte Teil der Steigerung wird mit etwa 90 % durch PPK beigetragen.

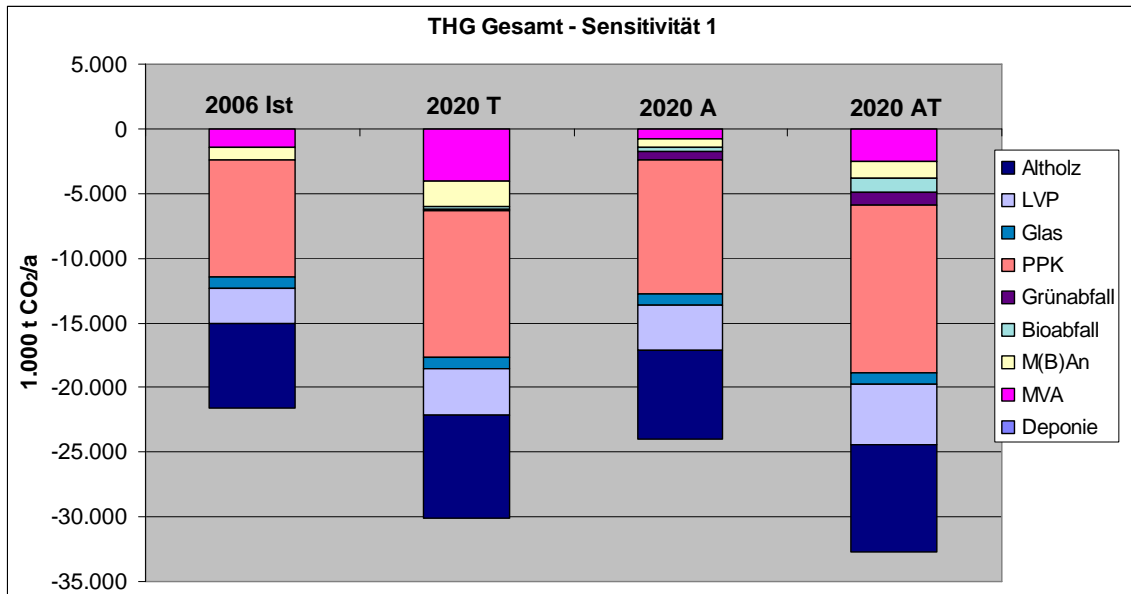


Abbildung 6.1 Gesamtergebnisse der Bilanz „Sensitivität 1“ für THG

Tabelle 6.1 Gesamtergebnisse der Bilanz „Sensitivität 1“ für THG

	2006 Ist	2020 T	2020 A	2020 AT
	1.000 t CO ₂ -Äq/a	1.000 t CO ₂ -Äq/a	1.000 t CO ₂ -Äq/a	1.000 t CO ₂ -Äq/a
Deponie	36	0	0	0
MVA	-1.407	-4.038	-799	-2.497
M(B)An	-1.000	-1.971	-637	-1.364
Bioabfall	-4	-198	-358	-1.089
Grünabfall	-1	-99	-595	-929
PPK	-9.040	-11.378	-10.335	-13.008
Glas	-897	-897	-897	-897
LVP	-2.603	-3.456	-3.362	-4.460
Altholz	-6.503	-7.897	-6.834	-8.299
Summe	-21.419	-29.933	-23.816	-32.543

Die gegenüber der Standardbilanz geänderten Werte sind gelb markiert.

In der Bilanz „Sensitivität 1“ weist das Szenario 2020 AT mit ca. 32,5 Mio. t CO₂-Äq/a gegenüber dem Szenario 2006 eine Steigerung um etwa 11 Mio. t CO₂-Äq/a auf.

Tabelle 6.2 Spezifische THG-Emissionsfaktoren der einzelnen Abfallbehandlungs module für THG in der Bilanz „Sensitivität 1“

	2006 Ist	2020 T	2020 A	2020 AT
	kg CO ₂ - Äq/t	kg CO ₂ - Äq/t	kg CO ₂ - Äq/t	kg CO ₂ - Äq/t
Deponie	380	0	0	0
MVA	-130	-372	-102	-320
M(B)An	-138	-271	-122	-261
Bioabfall	-1	-53	-68	-207
Grünabfall	-0,3	-24	-124	-193
PPK	-1.119	-1.408	-1.118	-1.408
Glas	-465	-465	-465	-465
LVP	-574	-762	-574	-762
Altholz	-942	-1.145	-943	-1.145
Durchschnitt	-452	-632	-503	-687

Die gegenüber der Standardbilanz geänderten Werte sind gelb markiert.

6.2 Sensitivität 2: Veränderung des Strommixes

Bei Ökobilanzen gibt es grundsätzlich zwei Methoden der Anrechnung von erzeugter Energie:

- a) es wird die im Bezugsraum gegebene durchschnittliche Strombereitstellung aus dem EVU-Netz und die durchschnittliche Wärmeerzeugung als substituiert angerechnet;
- b) es wird betrachtet, welche eingesetzten Brennstoffe zur Energieerzeugung tatsächlich bzw. realistischer Weise ersetzt werden (Marginalbetrachtung).

Der Fall b entspricht dem als Standard in dieser Studie zugrunde gelegten Vorgehen und orientiert sich an der BMU-Methode zur Anrechnung der Energieerzeugung aus Erneuerbaren Energien (vgl. Kapitel 4.4).

Diese Entscheidung wirkt sich auf fast alle Abfallbehandlungsmodule aus, je mehr, umso höher der Anteil des bereitgestellten Stroms an dem gesamten EF ist.

Um den Unterschied der beiden Methoden aufzuzeigen, wird in dieser Sensitivität berechnet, welche Auswirkungen es zeigt, wenn für den bereitgestellten Strom bei allen Modulen der allgemeine Strommix mit einem spezifischen THG-Emissionsfaktor von 598 kg CO₂-Äq/MWh angerechnet wird, anstelle dem in der Standardbilanz verwendeten Marginalstrom mit 887 kg CO₂-Äq/MWh.

Die marginale Wärmebereitstellung unterscheidet sich in Deutschland kaum von der durchschnittlichen Wärmeerzeugung, deswegen wird diese nicht gesondert betrachtet.

Durch die Bilanzen in Sensitivität 2 sinken die Beiträge gegenüber der Standardbilanz durch die geringere Stromgutschrift insgesamt zwischen etwa 12 % beim Szenario 2020 AT und etwa 17 % beim Szenario 2006 Ist.

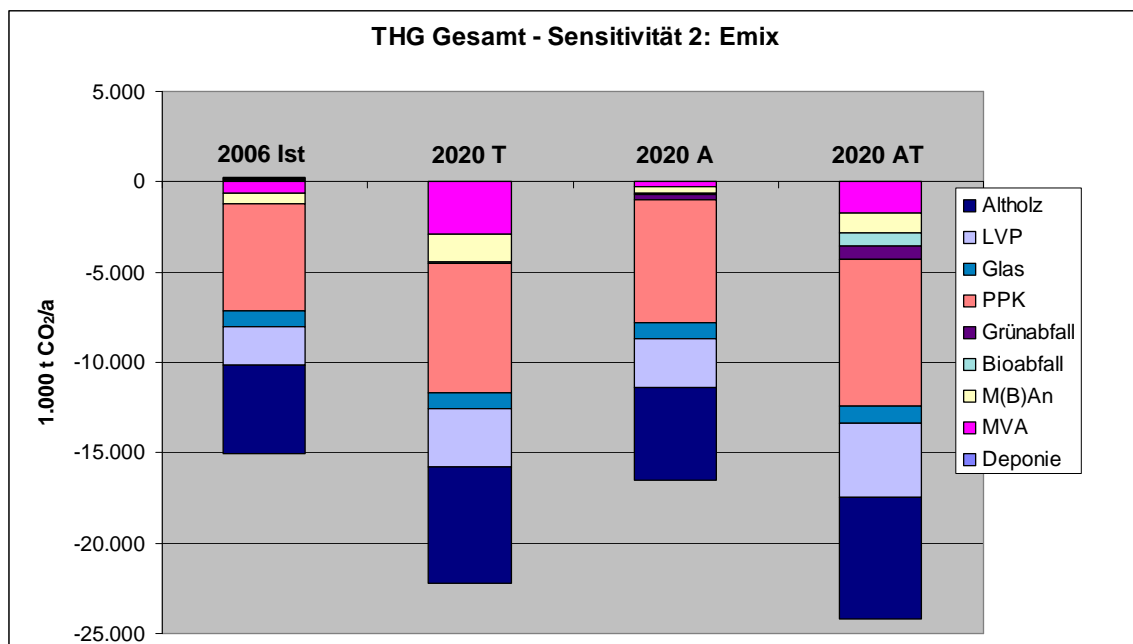


Abbildung 6.2 Gesamtergebnisse der Bilanz „Sensitivität 2: Strommix D als Energiegutschrift“ für THG

Tabelle 6.3 Gesamtergebnisse der Bilanz „Sensitivität 2: Strommix D als Energiegutschrift“ für THG

	2006 Ist	2020 T	2020 A	2020 AT
	1.000 t CO ₂ -Äq/a	1.000 t CO ₂ -Äq/a	1.000 t CO ₂ -Äq/a	1.000 t CO ₂ -Äq/a
Deponie	62	0	0	0
MVA	-610	-2.916	-268	-1.754
M(B)An	-624	-1.512	-394	-1.040
Bioabfall	104,3	-98	-30	-794
Grünabfall	85	-19	-332	-691
PPK	-5.905	-7.141	-6.752	-8.164
Glas	-897	-897	-897	-897
LVP	-2.147	-3.183	-2.746	-4.112
Altholz	-4.860	-6.418	-5.107	-6.745
Summe	-14.790	-22.184	-16.526	-24.196

Alle Werte, außer denen für die Deponie und das Glasrecycling, sind durch diese Sensitivität betroffen.

In der Bilanz „Sensitivität 2“ weist das Szenario 2020 AT mit ca. 24,2 Mio. t CO₂-Äq/a gegenüber dem Szenario 2006 eine Steigerung um etwa 9,4 Mio. t CO₂-Äq/a auf.

Tabelle 6.4 zeigt die spezifischen Emissionsfaktoren der einzelnen Abfallfraktionen für den Fall, dass der deutsche Strommix als Gutschrift zugrunde gelegt wird. Diese Tabelle entspricht Tabelle 5.5 im Standardfall.

Tabelle 6.4 Spezifische THG-Emissionsfaktoren der einzelnen Abfallbehandlungs module für THG in der Bilanz „Sensitivität 2: Strommix D als Energie gutschrift“ für THG

	2006 Ist	2020 T	2020 A	2020 AT
	kg CO ₂ - Äq/t	kg CO ₂ - Äq/t	kg CO ₂ - Äq/t	kg CO ₂ - Äq/t
Deponie	664	0	0	0
MVA	-56	-268	-34	-225
M(B)An	-86	-208	-75	-199
Bioabfall	28	-26	-6	-151
Grünabfall	21	-5	-69	-144
PPK	-731	-884	-731	-883
Glas	-465	-465	-465	-465
LVP	-474	-702	-469	-702
Altholz	-704	-930	-705	-931
Durchschnitt	-312	-468	-349	-511

Alle Werte, außer denen für die Deponie und das Glasrecycling, sind durch diese Sensitivität betroffen.

In Abbildung 6.3 ist die Gegenüberstellung der Bilanzergebnisse dieser Sensitivität mit den Ergebnissen des Statusberichts aus 2005 gegenübergestellt. Da 2005 ebenfalls mit dem Strommix D gerechnet wurde, stellt das die direkteste Annäherung an die damaligen Ergebnisse dar.

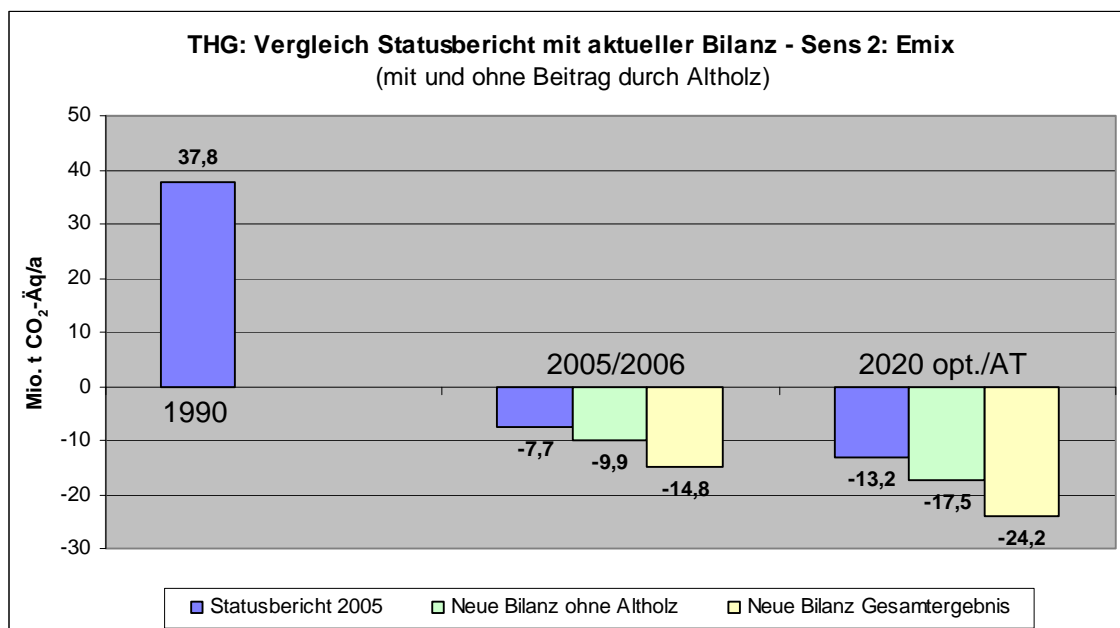


Abbildung 6.3 Gegenüberstellung der Ergebnisse dieser Bilanz für THG in der Sensitivität 2 (mit und ohne Altholz) zu Szenarien aus dem Statusbericht 2005 (Öko-Institut/IFEU 2005)

In dem Szenario 2006 bleibt jetzt ohne die Altholzverwertung noch eine Differenz von 2,2 Mio. t CO₂-Äq/a gegenüber der Bilanz im Statusbericht 2005. Die Reduktion gegenüber 1990 beträgt demnach etwa 47,7 Mio. t CO₂-Äq/a für das Jahr 2006 und etwa 55,3 Mio. t CO₂-Äq/a für das Szenario 2020 AT.

6.3 Weitere Sensitivitätsanalysen

6.3.1 Sensitivitäten 3 und 4: Variation der Gehalte an C regenerativ im Restmüll

In diesen Sensitivitäten wird die Auswirkung der Festsetzungen zum Anteil von regenerativem Kohlenstoff im Restmüll geprüft. Bei der Ermittlung der Abfallzusammensetzung (vgl. Kapitel 4.2) spielen nicht näher definierte Fraktionen, wie sonstige Abfälle, Stoffe a.n.g. oder Feinfraktion mit Anteilen bis zu über 35 % eine nicht zu vernachlässigende Rolle (vgl. Tabelle 4.4 bis Tabelle 4.6). Je nachdem, welcher Anteil an C regenerativ für diese Fraktionen eingestellt wird, kann der Anteil im Restmüll nicht unwesentlich beeinflusst werden. Für die Standardbilanz wurden für diese Fraktionen mittlere Werte für den enthaltenen biogenen Anteil angesetzt (Feinmüll 65 % biogen; sonstige Abfälle 53 %; vgl. Tabelle 4.8). Insgesamt berechnet sich für die Standardbilanz der Anteil von C regenerativ an C gesamt für 2006 und 2020 T mit 63 % und für 2020 A und AT mit 62 % (vgl. Tabelle 4.9).

Um den Einfluss auf das Gesamtergebnis zu prüfen, wird in dieser Sensitivitätsanalyse die Bilanz mit

- einem hohen biogenen Anteil in den beiden Fraktionen „Feinfraktion“ (80 %) und „sonstige Abfälle“ (81 %) gerechnet, woraus sich ein erhöhter C regenerativ ergibt (2006/2020: 67 %/68 %) - Sens 3 - und mit

- einem reduzierten biogenen Anteil in den beiden Fraktionen „Feinfraktion“ (55 %) und „sonstige Abfälle“ (10 %) ³¹, woraus sich ein reduzierter C regenerativ ergibt (2006/2020: 58 %/54 %) - Sens 4.

Da der Anteil der nicht näher definierten Abfallfraktionen nach der gesteigerten Entnahme von Wertstoffen stark zunimmt, führt die Annahme deren Gehalt an regenerativem Kohlenstoff sei gering zu einer deutlichen Reduktion des biogenen Anteils im Restmüll, während umgekehrt bei einem hohen Gehalt in diesen Fraktionen der Anteil an C regenerativ ansteigt.

Die Ergebnisse dieser Sensitivitätsanalyse wirken sich am stärksten auf die MVA aus und sind für diese in Kapitel 4.4.2 dargestellt. Den Einfluss dieser Analyse auf das Gesamtergebnis zeigt Kapitel 6.4.

6.3.2 Sensitivität 5: Wirkungsgrad der MVA entsprechend dem Statusbericht 2005

Die Sensitivität 5 prüft, welche Auswirkungen ein reduzierter Wirkungsgrad der MVA bei den Szenarien 2020 T und AT auf die Ergebnisse der MVA und die Gesamtergebnisse hat. Der Wirkungsgrad für Strom wird gegenüber der Standardbilanz von 14 % auf 15 % angehoben, wogegen der Wirkungsgrad für Wärme von 45 % auf 36,8 % abgesenkt wird.

Die Ergebnisse dieser Sensitivitätsanalyse Sens 5 sind für die MVA in Kapitel 4.4.2 dargestellt. Den Einfluss dieser Analyse auf das Gesamtergebnis zeigt Kapitel 6.4.

6.3.3 Sensitivitäten 6 und 7: Variation der Wirkungsgrade für das EBS-HKW

In diesen Sensitivitätsanalysen wird die Steigerung des Wirkungsgrads des EBS-HKW geprüft.

In Sensitivität 6 wird der Wirkungsgrad für Wärme bei gleich bleibendem Stromwirkungsgrad von 40 % auf 60 % angehoben.

In Sensitivität 7 wird der Wirkungsgrad für Strom von 20 % auf 27 % angehoben.

Die Ergebnisse dieser Sensitivitätsanalyse wirken sich am stärksten auf die M(B)An aus und sind für diese in Kapitel 4.5.2 dargestellt. Den Einfluss dieser Analyse auf das Gesamtergebnis zeigt Kapitel 6.4.

6.3.4 Sensitivität 8: Variation der Nutzung der Sortierreste aus der Bio- und Grünabfallbehandlung

Bei dieser Sensitivitätsanalyse werden der Einfluss einer optimierten Nutzung von Sortierresten (Aufbereitung und teilweises verwerten in EBS-HKW) und ein zusätzliches Absieben einer holzigen Fraktion (etwa 2,5 % des Inputs) bei der Bio- und Grünabfallbehandlung untersucht.

Die Ergebnisse dieser Sensitivitätsanalyse Sens 8 sind für die Bio- und Grünabfallbehandlung in Kapitel 4.6.6 dargestellt. Den Einfluss dieser Analyse auf das Gesamtergebnis zeigt Kapitel 6.4.

³¹ Die hohen Werte für die Feinfraktion und sonstige Abfälle entsprechen Angaben nach (IAA/INTECUS 2008), die niedrigen Werte entstammen (Kern 2001).

6.3.5 Sensitivität 9: Gutschrift des Strom- (fossil) und Wärmemixes in Deutschland für die energetische Nutzung des beim PPK Recycling eingesparten Holzes

Der für bereitgestellte Energie gut zu schreibende Strom- (fossil) und Wärmemix ist in Deutschland deutlich höher als die in der Standardbilanz angesetzten Werte für die durchschnittliche Energieerzeugung in Schweden. Mit dieser Sensitivität wird geprüft, welchen Einfluss die Nutzung des Holzes in Deutschland, bzw. näherungsweise die Lieferung des daraus gewonnenen Stroms nach Deutschland, auf das Ergebnis des PPK Recyclings bzw. das Gesamtergebnis hat.

Die Ergebnisse dieser Sensitivitätsanalyse Sens 9 sind für die PPK Verwertung in Kapitel 4.7.2 dargestellt. Den Einfluss dieser Analyse auf das Gesamtergebnis zeigt Kapitel 6.4.

6.4 Standardbilanz und Sensitivitäten im Vergleich

Wesentliche Abweichungen zur Standardbilanz zeigen bezüglich der Gesamtergebnisse lediglich die Sensitivitäten 1 und 9 (vgl. Abbildung 6.4 und Tabelle 6.5).

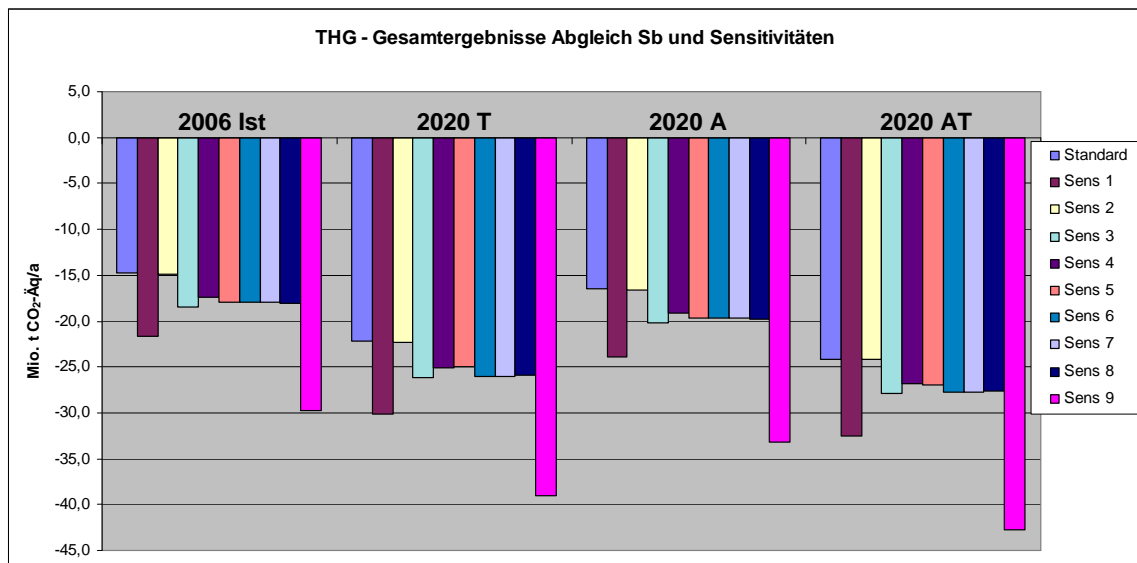


Abbildung 6.4 Gegenüberstellung der Gesamtergebnisse der Standardbilanz und der Sensitivitäten 1 bis 9

Tabelle 6.5 Gegenüberstellung der Gesamtergebnisse der Standardbilanz und der Sensitivitäten 1 bis 9

	Mio. t CO ₂ -Äq/a	Mio. t CO ₂ -Äq/a	Mio. t CO ₂ -Äq/a	Mio. t CO ₂ -Äq/a
	2006 Ist	2020 T	2020 A	2020 AT
Standardbilanz	-17,8	-25,5	-19,6	-27,5
Sens 1 - div. Optimierungen	-21,4	-29,9	-23,8	-32,5
Sens 2 – Emix	-14,8	-22,2	-16,5	-24,2
Sens 3 - Creg hoch	-18,2	-25,9	-20,0	-27,9
Sens 4 - Creg tief	-17,2	-24,9	-19,0	-26,9
Sens 5 - eta MVA	-17,8	-24,8	-19,6	-26,9
Sens 6 - eta EBS Strom	-17,8	-25,8	-19,6	-27,7
Sens 7 - eta EBS Wärme	-17,8	-25,8	-19,6	-27,6
Sens 8 - Sortierreste Bio u. Grün	-17,9	-25,6	-19,7	-27,5
Sens 9 - Holznutzung PPK	-29,6	-38,9	-33,1	-42,7

Die Sensitivitätsberechnungen zeigen, dass die Gesamtergebnisse im Trend bei allen untersuchten Sensitivitäten robust sind.

Lediglich die Sensitivität 9, bei der das durch Papierrecycling eingesparte Holz so genutzt wird, dass der deutsche Marginalstrom und -wärme gutgeschrieben werden, führt gegenüber dem Standardszenario, in dem die durchschnittliche Energieerzeugung in Schweden angerechnet ist, zu deutlich höheren THG-Einsparungen durch die Abfallwirtschaft (2006 Ist +66 %, 2020 AT +55 %).

In Abbildung 6.5 und Tabelle 6.6 sind für 2006 Ist die Ergebnisse der Standardbilanz denen der jeweils minimalen und maximalen Sensitivitäten je Abfallfraktion bzw. Behandlungsart im Gesamtergebnis gegenübergestellt. Abbildung 6.6 und Tabelle 6.7 zeigen dieselben Daten für 2020 AT. Für Abfallfraktionen bzw. Behandlungsarten, die zu Zusatzbelastungen führen (z.B. Deponie), zeigt die minimale Sensitivität den höchsten Beitrag. Trägt eine Abfallfraktion bzw. Behandlungsart zu Entlastungen bei, zeigt die minimale Sensitivität den geringsten Beitrag.

Im gezeigten Vergleich für das Jahr 2006 liegt die Summe der THG-Einsparung der minimalen Sensitivitäten von rd. 14,8 Mio. t CO₂-Äq/a gegenüber der Standardbilanz um etwa 17 % niedriger, die Summe der maximalen Sensitivitäten von rd. 30,5 Mio. t CO₂-Äq/a um etwa 72 % höher.

Im gezeigten Vergleich für das Szenario 2020 AT liegt die Summe der THG-Einsparung der minimalen Sensitivitäten von rd. 24,2 Mio. t CO₂-Äq/a gegenüber der Standardbilanz um etwa 12 % niedriger, die Summe der maximalen Sensitivitäten von rd. 43,6 Mio. t CO₂-Äq/a um etwa 59 % höher.

Einen wesentlichen Beitrag zum Gesamtergebnis der Siedlungsabfallwirtschaft liefert das PPK Recycling. Im Szenario 2020 AT weist PPK einen Mengenanteil von 20 % bezüglich der insgesamt untersuchten Siedlungsabfall- und Altholzmenge auf. Der Beitrag zu den THG-Einsparungen liegt in der Standardbilanz bei 30 %, bei der Summe der minimalen Sensitivitäten bei 17 % und bei den maximalen Sensitivitäten bei 54 %.

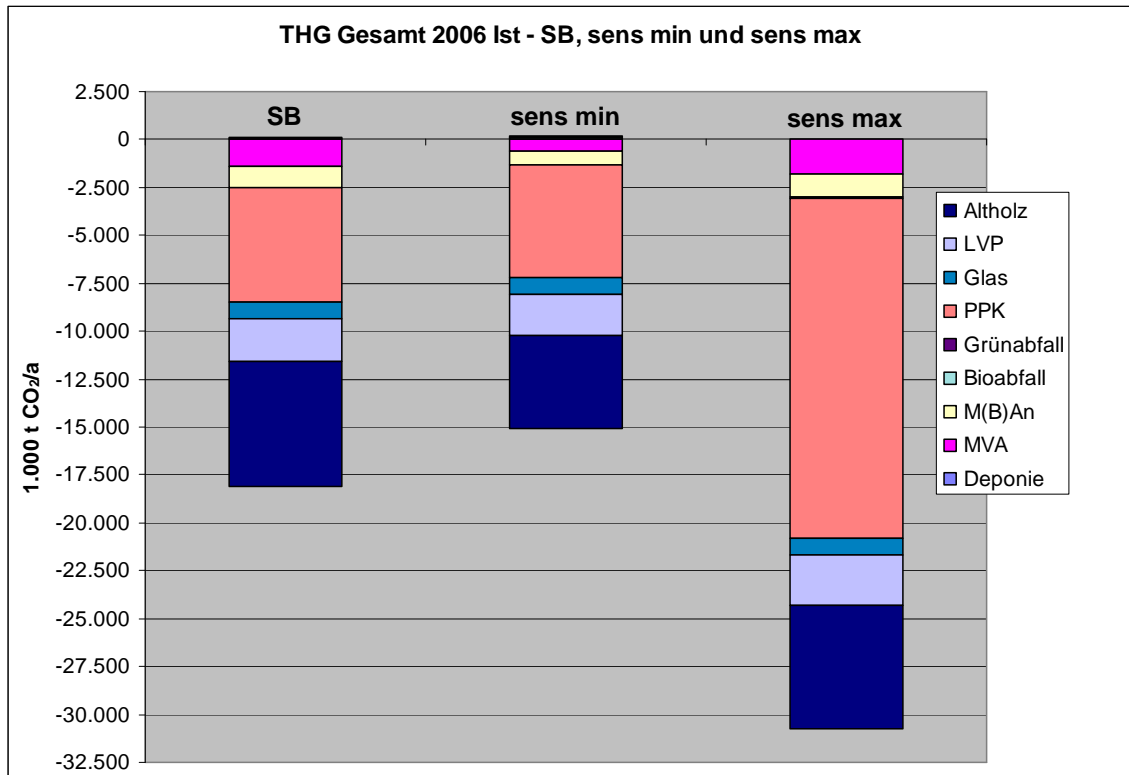


Abbildung 6.5 Darstellung der THG Gesamtergebnisse für die Standardbilanz (SB) und für die Summe aller minimalen (sens min) bzw. maximalen Sensitivitäten (sens max) für 2006 Ist

Tabelle 6.6 Spezifische Faktoren und THG Gesamtergebnisse für die Standardbilanz (SB) und für die Summe aller minimalen (sens min) bzw. maximalen Sensitivitäten (sens max) für 2006 Ist

	2006 Ist								
	Menge	Standardbilanz		sens min			sens max		
	1.000 t/a	kg CO ₂ -Äq/t	1.000 t CO ₂ -Äq/a	Sens	kg CO ₂ -Äq/t	1.000 t CO ₂ -Äq/a	Sens	kg CO ₂ -Äq/t	1.000 t CO ₂ -Äq/a
Deponie	94	664	62	SB	664	62	1	380	36
MVA	10.807	-130	-1.407	2	-56	-610	3	-167	-1.809
M(B)An	7.240	-138	-1.000	2	-86	-624	3	-141	-1.018
Bioabfall	3.757	17	62,9	2	28	104	8	-6	-22
Grünabfall	4.044	17	70	2	21	85	8	-5	-22
PPK	8.080	-732	-5.911	2	-731	-5.905	9	-2.192	-17.711
Glas	1.929	-465	-897	SB	-465	-897	SB	-465	-897
LVP	4.532	-497	-2.252	2	-474	-2.147	1	-574	-2.602
Altholz	6.900	-942	-6.503	2	-704	-4.860	SB	-942	-6.503
Summe	47.383		-17.773			-14.790			-30.549
Mittel		-375			-312			-645	



Abbildung 6.6 Darstellung der THG Gesamtergebnisse für die Standardbilanz (SB) und für die Summe aller minimalen (sens min) bzw. maximalen Sensitivitäten (sens max) für 2020 AT

Tabelle 6.7 THG Gesamtergebnisse für die Standardbilanz und für die Summe aller minimalen bzw. maximalen Sensitivitäten für 2020 AT

	2020 AT								
	Menge	Standardbilanz		sens min			sens max		
	1.000 t/a	kg CO ₂ -Äq/t	1.000 t CO ₂ -Äq/a	Sens	kg CO ₂ -Äq/t	1.000 t CO ₂ -Äq/a	Sens	kg CO ₂ -Äq/t	1.000 t CO ₂ -Äq/a
Deponie*	0	0	0	SB	0	0	1	0	0
MVA	7.809	-320	-2.497	2	-225	-1.754	3	-371	-2.897
M(B)An	5.232	-261	-1.364	2	-199	-1.041	6	-301	-1.575
Bioabfall	5.270	-194	-1.025	2	-151	-794	8	-214	-1.127
Grünabfall	4.800	-182	-875	2	-144	-691	8	-184	-884
PPK	9.241	-884	-8.173	2	-883	-8.164	9	-2.542	-23.492
Glas	1.929	-465	-897	SB	-465	-897	SB	-465	-897
LVP	5.855	-734	-4.339	2	-702	-4.112	1	-762	-4.462
Altholz	7.247	-1.145	-8.299	2	-931	-6.745	SB	-1.145	-8.299
Summe	47.383		-27.468			-24.196			-43.632
Mittel		-579			-511			-921	

7 Bewertung der Bilanzergebnisse

Die EU (EU 15) hat sich im Rahmen des Kyoto-Protokolls dazu verpflichtet die THGE bis 2012 gegenüber dem Basisjahr 1990³² um 8 % zu reduzieren. Deutschland hat zur Erreichung dieses Ziels im Rahmen der EU-Lastenteilung eine Reduktion der nationalen Emissionen um 21 % zugesagt. Nach dem aktuellen nationalen Inventarbericht für Deutschland (UBA 2009) beliefen sich die Gesamtemissionen im Jahr 2006 (ohne Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (engl.: Land Use, Land Use Change and Forestry - LULUCF) auf 981 Mio. t CO₂-Äq. Gegenüber der Gesamtbelastung im Basisjahr 1990 von 1.215 Mio. t CO₂-Äq entspricht dies einer Minderung von 235 Mio. t CO₂-Äq/a bzw. von 19 %. Damit war das o. g. Minderungsziel für 2012 bereits 2006 beinahe erreicht.

In der gleichen Zeit gingen gemäß Nationalem Inventarbericht (engl.: National Inventory Report, NIR) (UBA 2009) die unter dem Berichtssektor „Abfall“ berichteten Emissionen (beinhaltet v. a. Abfalldeponierung und Abwasserreinigung) von 40,4 Mio. auf 12,3 Mio. t CO₂-Äq/a zurück. Damit war auch nach der nationalen Berichterstattung der Beitrag der Abfallwirtschaft bis 2006 mit dem Rückgang um rund 70 % weit über dem prozentualen Rückgang der Gesamtemissionen.

Das Ziel der Nachverfolgung der Erfüllung der nationalen Beiträge zum Kyoto-Protokoll macht es nicht erforderlich und auch kaum möglich die einzelnen Sparten bezüglich deren Beiträge exakt abzubilden. Deshalb werden unter dem Sektor „Abfall“ die wichtigsten klimarelevanten Emissionen berichtet wie v. a. die Methanemissionen aus der Deponierung, Methan- und Lachgasemissionen der biologischen Behandlung (einschließlich MBA) sowie Lachgas- und Methanemissionen der Abwasserreinigung. Die durch die Abfallwirtschaft erzielten Nutzen, wie Ersatz von Primärrohstoffen durch Recycling oder Energieerzeugung aus der Abfallverbrennung, sind nicht unter dem Sektor „Abfall“ zu finden, sondern wirken sich in den Sektoren aus, in denen sie eingespart werden. Für die Substitution von Primärrohstoffen ist dies der Sektor „Industrielle Prozesse“, in dem statt der THG-Emissionen, die durch das ersetzte Primärprodukt angefallen wären, nunmehr die des erzeugten Recyclingproduktes auftauchen. Die Energieerzeugung aus Abfall wird unter dem Sektor „Energie“ berichtet, dies gilt auch folgerichtig für die Emissionen aus der Abfallverbrennung in MVA, wenn dabei Energie erzeugt wird.

Um den Gesamtbeitrag einer Branche umfassend zu bewerten eignet sich eher der ökobilanzielle Ansatz, der deshalb bereits im Statusbericht 2005 und in dieser Studie gewählt wurde, um eine Gesamtbilanz zum Beitrag der Abfallwirtschaft zum Klimaschutz vorzulegen. Ein Vergleich der Gesamtemissionen und der erreichten oder angestrebten Reduktionen gemäß der nationalen Berichterstattung mit den Ergebnissen dieser Bilanz und Klimabilanzen mit ökobilanziellem Ansatz insgesamt, ist deshalb nur sehr eingeschränkt möglich.

³² Für die Parameter HFC, PFC und SF₆ gilt 1995 als Bezugsjahr

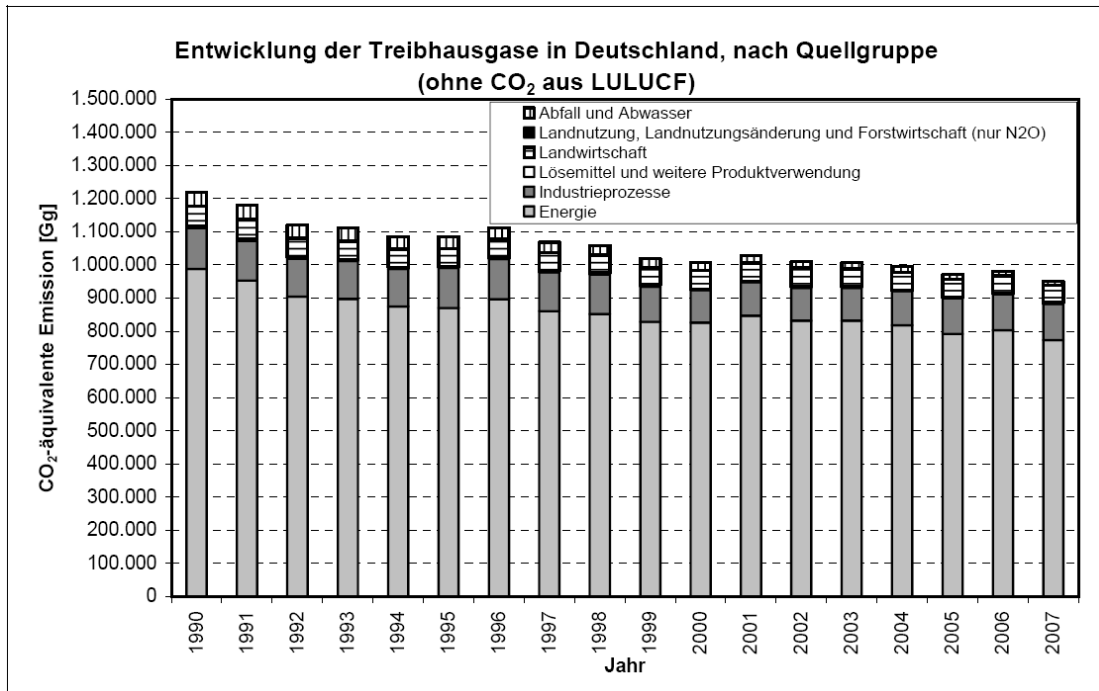


Abbildung 7.1 Emissionsentwicklung in Deutschland seit 1990, nach Quellgruppen (UBA 2009)

In Öko- und Klimabilanzen der Abfallwirtschaft werden zur umfassenden Beschreibung der Leistungen der Abfallwirtschaft im Bereich des Recyclings und der thermischen Nutzung, also eingesparte Emissionen durch eingesparte Primärproduktion oder durch eingesparte Energiegewinnung mit Primärbrennstoffen, der Abfallwirtschaft „gutgeschrieben“. Diese Gutschriften erfolgen inklusive aller Vorketten (vgl. Kapitel 3). Dagegen sind wie zuvor beschrieben die im NIR berichteten Emissionen jeweils den Sektoren zugeordnet, in denen sie unmittelbar anfallen. Die dadurch bedingten Einschränkungen bezüglich der Vergleichbarkeit der Ergebnisse aus den methodisch unterschiedlichen Herangehensweisen sind bei den folgenden Abgleichen und Bewertungen jeweils zu berücksichtigen.

Der in dieser Studie für die Abfallwirtschaft ohne Altholz ermittelte Rückgang von 49,1 Mio. t CO₂-Äq/a³³ oder 130 % von 1990 bis 2006 hat einen Anteil von etwa 21 % an dem gemäß nationaler Berichterstattung berichteten Rückgang von 235 Mio. t CO₂-Äq im Jahr 2006 gegenüber 1990. Wird zusätzlich die Altholznutzung berücksichtigt³⁴, steigt der Rückgang von 1990 bis 2006 auf 55,6 Mio. t CO₂-Äq/a oder 147 % an (vgl. Tabelle 7.1) und erreicht einen Anteil von 24 % an dem insgesamt gemäß nationaler Berichterstattung erreichten Rückgang.

³³ Unter Vorbehalt der eingeschränkten Vergleichbarkeit dieser Studie mit dem Statusbericht 2005, dem die Zahl für 1990 entstammt (vgl. Abbildung 5.4)

³⁴ Altholz war in der Bilanz für 1990 nicht mit untersucht worden.

Tabelle 7.1 THG Gesamtemissionen und Anteil der Abfallwirtschaft in Deutschland 1990 und 2006 sowie erreichte Einsparungen nach NIR (UBA 2009) und diese Studie

	1990	2006	Einsparung	
	Mio. t/a	Mio. t/a	Mio. t/a	%
Gesamtemissionen NIR ohne LULUCF*	1.215	981	235	19
Abfallwirtschaft laut NIR	40,4	12,3	28,1	70
Abfallwirtschaft Ökobilanzansatz ohne Altholz	37,8	-11,3	49,1	130
Abfallwirtschaft Ökobilanzansatz mit Altholz	37,8	-17,8	55,6	147

Tabelle 7.2 THG Emissionen und Anteil der Abfallwirtschaft in Deutschland 1990 und 2006 sowie erreichte Einsparungen je Einwohner und Jahr nach NIR und diese Studie

	1990	2006	Einsparung	
	t/(E*a)	t/(E*a)	t/(E*a)	%
Gesamtemissionen NIR ohne LULUCF	15	12	2,8	19
Abfallwirtschaft laut NIR	0,49	0,15	0,34	70
Abfallwirtschaft Ökobilanzansatz ohne Altholz	0,46	-0,14	0,60	130
Abfallwirtschaft Ökobilanzansatz mit Altholz	0,46	-0,22	0,67	147

Bei 82,4 Mio. Einwohner

Tabelle 7.2 zeigt, dass durch eine optimierte Abfallwirtschaft bei umfassender Berechnung nach ökobilanziellem Ansatz, von der gemäß nationaler Berichterstattung erreichten gesamten Einsparung von 2,8 t CO₂-Äq/(E*a) im Jahr 2006 gegenüber 1990 etwa 600 kg CO₂-Äq/(E*a) durch die Abfallwirtschaft beigetragen wurde, werden die Ergebnisse für 2006 dieser Studie ohne Altholz herangezogen. Unter Berücksichtigung des Wertes mit Altholz³⁵ erhöht sich der Beitrag auf 670 kg CO₂-Äq/(E*a).

Bis 2020 strebt Deutschland an, die Gesamtemissionen um 40 % zu mindern. Gegenüber dem Jahr 1990 gemäß nationaler Berichterstattung entspräche dies 486 Mio. t CO₂-Äq/a. Zum Vergleich würde das in dieser Studie untersuchte Szenario 2020 AT ohne Berücksichtigung von Altholz gegenüber 1990 (nach Statusbericht 2005) 57 Mio. t CO₂-Äq/a einsparen. Dies entspräche einem Beitrag durch die Abfallwirtschaft zum Einsparungsziel für Deutschland von 11,7 %. Wird die Altholznutzung mit einbezogen erhöht sich die THG-Einsparung durch die Abfallwirtschaft auf 65,3 Mio. t CO₂-Äq/a im Jahr 2020 gegenüber 1990 und der mögliche Beitrag zum Ziel für Deutschland steigt auf 13,4 %.

Ausgehend von 82,4 Mio. Einwohnern entspricht das angestrebte Minderungsziel für Deutschland von 40 % bezogen auf einen Einwohner in Deutschland einer Einsparung von etwa 5,9 t CO₂-Äq/(E*a). Der mögliche Beitrag der Abfallwirtschaft nach dieser Studie liegt ohne Altholz bei rund 690 kg CO₂-Äq/(E*a), mit Berücksichtigung der Altholznutzung bei etwa 790 kg je Einwohner und Jahr.

³⁵ Vgl. Fußnote 34.

8 Betrachtungen EU 27

Die Berechnungen für die EU 27 werden ausschließlich für „Municipal Solid Waste“ (MSW) durchgeführt, das sind die Mengen an Siedlungsabfällen, die EUROSTAT von den Mitgliedsländern gemeldet werden. Für die EU 27 gilt dies auch für Altholz, d. h. nur Mengen aus dem kommunalen Bereich werden berücksichtigt. Insgesamt unterscheiden sich damit die Ergebnisse z.B. notwendigerweise von den Ergebnissen in (Prognos/IFEU/INFU 2008), worin das gesamte Abfallpotenzial aller Herkunftsbereiche betrachtet wurde. Da die Siedlungsabfälle einen sehr wichtigen, aber nicht den größten Teil der Abfallwirtschaft abbilden, ist der Gesamtbeitrag der Abfallwirtschaft, zu der insbesondere die Abfälle aus Industrie und Baugewerbe relevante Mengenbeiträge liefern, zum Klimaschutz noch deutlich höher.

8.1 Abfallmengen EU 27

Für die EU 27 und alle Mitgliedstaaten liegen inzwischen für 2007 die EUROSTAT-Daten für die Gesamtmengen an kommunalen Abfällen vor, sowie die Anteile, die davon deponiert, verbrannt, recycelt (trockene Wertstoffe) und kompostiert (ohne Unterscheidung nach Abfallart oder Verfahren) wurden. Da die entsprechenden Daten für 2006 weniger detailliert sind, wird für die EU 27 mit den Zahlen aus 2007 in die Bilanz gegangen.

**Tabelle 8.1 Abfallmengen der EU 27 im Jahr 2007
(EUROSTAT 2009)**

		Summe	Deponie	MVA	Recycling	Komp.	Rest
		1.000 t/a	1.000 t/a	1.000 t/a	1.000 t/a	1.000 t/a	1.000 t/a
EU27		258.199	105.785	51.286	55.017	42.012	4.098
EU15		220.201	76.546	50.302	53.052	41.423	-1.122
Belgien	BE	5.211	224	1.712	1.964	1.153	158
Bulgarien	BG	3.593	2.980	0	0	0	613
Tschech. Rep.	CZ	3.025	2.498	375	54	34	63
Dänemark	DK	4.364	224	2.324	1.064	763	-11
Deutschland	DE	46.448	271	15.803	20.830	8.010	1.534
Estland	EE	719	390	1	205	10	113
Irland	IE	3.398	2.015	0	1.081	79	223
Griechenland	EL	5.002	4.148	0	756	98	0
Spanien	ES	26.154	15.569	2.591	3.496	4.498	0
Frankreich	FR	34.309	11.750	12.321	5.381	4.857	0
Italien	IT	32.548	16.912	3.955	4.063	12.171	-4.553
Zypern	CY	587	512	0	75	0	0,00
Lettland	LV	861	735	3	106	5	11
Litauen	LT	1.354	1.245	0	29	22	57
Luxemburg	LU	331	62	117	1	71	80
Ungarn	HU	4.594	3.429	382	490	64	228
Malta	MT	266	247	0	6	12	0
Holland	NL	10.308	224	3.268	2.760	2.384	1.672
Österreich	AT	4.951	712	1.497	1.143	2.016	-417
Polen	PL	12.264	9.098	41	580	363	2.181
Portugal	PT	5.007	3.150	968	400	490	0
Rumänien	RO	8.183	6.122	0	34	2	2.024
Slowenien	SI	886	688	0	357	0	-160
Slowak. Rep.	SK	1.669	1.295	180	28	76	90
Finnland	FI	2.675	1.411	310	695	258	0
Schweden	SE	4.717	189	2.191	1.738	561	38
Vereinigtes Königreich	UK	34.780	19.685	3.245	7.680	4.016	154

EU 15 Länder blau markiert

**Tabelle 8.2 Spezifische Abfallmengen der EU 27 im Jahr 2007
(EUROSTAT 2009)**

		Summe	Deponie	MVA	Recycling	Komp.	Rest
		kg/(E*a)	kg/(E*a)	kg/(E*a)	kg/(E*a)	kg/(E*a)	kg/(E*a)
EU27		522	214	104	111	85	8
EU15		562	195	128	135	106	-3
Belgien	BE	492	21	162	186	109	15
Bulgarien	BG	468	388	0	0	0	80
Tschech. Rep.	CZ	294	243	36	5	3	6
Dänemark	DK	801	41	427	195	140	-2
Deutschland	DE	564	3	192	253	97	19
Estland	EE	536	291	1	153	8	84
Irland	IE	788	467	0	251	18	52
Griechenland	EL	448	371	0	68	9	0
Spanien	ES	588	350	58	79	101	0
Frankreich	FR	541	185	194	85	77	0
Italien	IT	550	286	67	69	206	-77
Zypern	CY	754	658	0	96	0	0,00
Lettland	LV	377	322	2	47	2	5
Litauen	LT	400	368	0	9	7	17
Luxemburg	LU	694	130	245	3	149	167
Ungarn	HU	456	341	38	49	6	23
Malta	MT	652	606	0	15	30	0
Holland	NL	630	14	200	169	146	102
Österreich	AT	597	86	180	138	243	-50
Polen	PL	322	239	1	15	10	57
Portugal	PT	472	297	91	38	46	0
Rumänien	RO	379	284	0	2	0	94
Slowenien	SI	441	342	0	178	0	-79
Slowak. Rep.	SK	309	240	33	5	14	17
Finnland	FI	507	267	59	132	49	0
Schweden	SE	518	21	240	191	62	4
Vereinigtes Königreich	UK	572	324	53	126		69

EU 15 Länder blau markiert

Hinsichtlich der recycelten und kompostierten Mengen gibt es nach EUROSTAT keine weiteren Anhaltspunkte, um welche Abfallarten es sich dabei handelt. Zumindest für die kompostierten Mengen kann aber eine andere Quelle (ORBIT/ECN 2008) zur weiteren landesfeinen Aufschlüsselung herangezogen werden. Die entsprechenden Werte sind in Tabelle 8.3 dargestellt. Aus den Angaben nach ORBIT/ECN (2008) zu getrennt erfassten Bioabfällen in der EU und den ebenfalls nach Ländern verfügbaren Informationen zu Kompostmengen aus Bioabfall, Grünabfall, Klärschlamm und Hausmüll, wurden aus den nach EUROSTAT gemeldeten kompostierten Mengen, die Bioabfallmengen abgeschätzt, für die angenommen wird, dass diese getrennt erfasst und einer Bio- oder Grünabfallkompostierung zugeführt werden.

**Tabelle 8.3 Kompostierte Mengen nach Abfallart
(EUROSTAT 2009), (ORBIT/ECN 2008), (eigene Schätzung)**

		Komp.	getrennt erfasste Organik	Komp. Bioabfall geschätzt	Komp. Hausmüll geschätzt	Komp. Klärschlamm geschätzt
		EUROSTAT	ORBIT/ECN			
		1.000 t/a	1.000 t/a	1.000 t/a	1.000 t/a	1.000 t/a
EU27		42.012	23.599	32.386	5.170	4.457
EU15		41.423	23.196	31.806	5.170	4.447
Belgien	BE	1.153	885	1.153	0	0
Bulgarien	BG	0	0	0	0	0
Tschech. Rep.	CZ	34	133	34	0	0
Dänemark	DK	763	775	763	0	0
Deutschland	DE	8.010	8.338	8.010	0	0
Estland	EE	10	0	10	0	0
Irland	IE	79	123	79	0	0
Griechenland	EL	98	2	9	88	0
Spanien	ES	4.498	308	184	3.367	947
Frankreich	FR	4.857	2.700	2.126	1.170	1.560
Italien	IT	12.171	2.430	10.447	0	1.724
Zypern	CY	0	0	0	0	0
Lettland	LV	5	0	5	0	0
Litauen	LT	22	0	22	0	0
Luxemburg	LU	71	52	71	0	0
Ungarn	HU	64	127	64	0	0
Malta	MT	12	0	12	0	0
Holland	NL	2.384	3.356	2.384	0	0
Österreich	AT	2.016	1.496	1.902	13	102
Polen	PL	363	70	363	0	0
Portugal	PT	490	34	63	385	41
Rumänien	RO	2	0	2	0	0
Slowenien	SI	0	0	0	0	0
Slowak. Rep.	SK	76	73	67	0	9
Finnland	FI	258	450	215	0	43
Schweden	SE	561	375	503	58	0
Vereinigtes Königreich	UK	4.016	1.872	3.898	89	30

EU 15 Länder blau markiert

Im Rahmen dieser Studie werden des Weiteren auch die Mengen der Hausmüllkompostierung betrachtet. Hausmüllkompostierung ist insbesondere in Frankreich, Spanien und Portugal noch sehr verbreitet.

Im Gegensatz zu den kompostierten Mengen, liegen für die recycelten Mengen keine Daten in entsprechender, landesfeiner Detailtiefe und Genauigkeit vor. Für die nach EUROSTAT gemeldeten Recyclingmengen werden, basierend auf den Ergebnissen nach Prognos (2008), Einschätzungen zur Aufteilung der Gesamtmenge für die EU 27 in Abfallfraktionen vorgenommen. Die Werte nach Prognos (2008) wurden nach persönlicher Mitteilung (Prognos 2009) aktualisiert, die entsprechenden Werte zeigt

Tabelle 8.4. Darin sind zunächst die in Prognos (2008) ermittelten Gesamtpotenziale und recycelten Mengen (stofflich und energetisch) an – getrennt und gemischt erfassten – verwertbaren Abfällen jeglicher Herkunft (Haushalte, Industrie, Gewerbe, Kommunen) aufgeführt. Des Weiteren zeigt die Tabelle die Einschätzung des Anteils aus dem kommunalen Herkunftsbereich nach Prognos (2008), aktualisiert nach Prognos (2009). Ausgehend vom Potenzial, dem kommunalen Anteil und der Recyclingrate wurden schließlich recycelte Abfallmengen aus dem kommunalen Bereich berechnet. Deren Summe ohne biogene Abfälle entspricht nahezu der nach EUROSTAT gemeldeten Recyclingmenge aus dem Siedlungsabfallbereich von 55.017.000 Tonnen.

**Tabelle 8.4 Abfallaufkommen und Anteil Recycling in der EU
(Prognos 2008), (eigene Berechnungen)**

Abfallart	Potenzial	Recycling stoffl. + energ. ¹⁾	Anteil komm. Herkunft	Recycling Rate stoffl. + energ. ¹⁾	Recycling komm. Abfälle
	t/a	t/a	%	%	t/a
	Prognos 2008				Berechnet
Glas	21.590.000	10.712.000	62%	50%	6.692.900
PPK	79.479.000	44.217.000	44%	56%	19.583.626
Kunststoffe	26.245.000	9.223.000	60%	35%	5.465.521
Eisen+Stahl	102.617.000	77.712.000	7%	76%	5.069.280
Aluminium	4.640.000	3.061.000	38%	66%	1.148.400
Andere Metalle	4.713.600	2.631.000	21%	56%	562.394
Ersatzbrennstoffe	70.064.000	15.102.000	47%	22%	7.244.618
Altholz	70.455.000	45.736.000	18%	65%	8.243.235
Textilien	12.188.200	3.934.300	50%	32%	1.950.112
Altreifen+Gummi	3.182.000	2.490.000	n. e.	78%	0
Biogene Abfälle ²⁾	87.268.000	32.449.000	67%	37%	21.633.737
Ölhaltige Abf.+Lösemittel	9.031.000	4.034.000	2%	45%	86.103
Aschen+Schlacken	131.359.000	82.945.000	0%	63%	0
Mineralische Abfälle	1.794.408.000	769.210.000	n. e.	43%	0
Summe	2.417.239.800	1.103.456.300			77.679.925
Summe Glas, PPK, Kunststoffe	127.314.000	64.152.000			31.742.047
Summe ohne biogene Abfälle					56.046.188

n. e.: nicht ermittelt

1) Energetische Verwertung ohne Verbrennung in MVA für Siedlungsabfälle und sonstigen Abfallverbrennungsanlagen

2) Ohne biologisch abbaubare separat ausgewiesene Stoffströme (z.B. Papier, Textilien); ohne Eigenkompostierung

Zur Ermittlung der Recyclingmengen nach Abfallfraktionen wurden behelfsweise die nach Prognos (2008 und 2009) ermittelten Mengen aus dem kommunalen Bereich zu der von EUROSTAT gemeldeten Gesamtmenge in Bezug gesetzt. Allerdings werden nur die gleichen Abfallfraktionen berücksichtigt wie für Deutschland. Textilien, ölhaltige Abfälle und Lösemittel werden nicht betrachtet und für Ersatzbrennstoffe, Metalle und

anteilig die Restmüllkompostierung wurden andere Annahmen getroffen. Die in Tabelle 8.5 aufgeführten Rechenwerte stellen das Ergebnis der Annahmen dar. Diese Werte werden den Berechnungen für das Szenario 2007 Ist zugrunde gelegt. Darin sind die Mengen nach EUROSTAT für Deponie und Verbrennung direkt übernommen. Neben den o. g. ausgenommenen Abfallfraktionen ebenfalls nicht betrachtet werden die Klärschlammkompostierung und die Restmengen für die nach EUROSTAT keine Information zum Verbleib vorliegt. Die MSW Kompostierung ist unterteilt in die nach ORBIT/ECN (2008) abgeleitete Bio- und Grünabfallkompostierung und eine anteilige Restmüllkompostierung (berechnet aus jährlich produzierten 1,36 Mio. t Restmüllkompost nach (ORBIT/ECN 2008)). Für die verbleibende Differenzmenge wird angenommen, dass sie einer Behandlung in M(B)An zugeführt wird. Für die Recyclingmenge werden die umgerechneten Zahlen für Glas, Papier, Kunststoffe und Altholz direkt als Rechenwerte übernommen. Dagegen wird für die vergleichsweise hohen Mengen an, Eisen+Stahl, Aluminium, andere Metalle und Ersatzbrennstoff vereinfacht eine Menge Input in M(B)An abgeschätzt, in der diese in den Berechnungen dann repräsentiert sind.

Tabelle 8.5 Abfallmengen in der EU 27 im Jahr 2007, abgeleitete Werte nach Prognos (2008 und 2009) und verwendete Rechenwerte

	EUROSTAT	abgeleitete Werte	Rechenwerte
	t/a	t/a	t/a
Siedlungsabfall Deponie	105.785.285	105.785.285	105.785.285
Siedlungsabfall MVA	51.286.132	51.286.132	51.286.132
Siedlungsabfall Kompostierung	42.012.432		
Kompostierung getr. erfasste Bioabfälle		32.385.981	32.385.981
Müllkompostierung		5.169.827	2.721.370
Klärschlammkomp. (nicht betrachtet)		4.456.624	
Siedlungsabfall Recycling	55.017.271		
Glas		6.570.029	6.570.029
PPK		19.224.102	19.224.102
Kunststoffe		5.365.183	5.365.183
Eisen+Stahl		4.976.216	
Aluminium		1.127.317	
Anderer Metalle		552.069	
EBS		7.111.618	
Input M(B)An			17.779.046
Altholz		8.091.903	8.091.903
Textilien (nicht betrachtet)		1.914.311	
Ölhaltige Abfälle+Lösemittel (nicht betr.)		84.522	
Rest (nicht betrachtet)	4.098.202	4.098.202	¹⁾
Siedlungsabfall gesamt	258.199.323	258.199.323	249.209.032

1) Die als Rechenwerte abgeleiteten Mengen weichen in Summe von der gesamt gemeldeten Eurostat-Summe um 8.990.291 t/a ab.

Für Altholz wird damit in der Betrachtung für die EU 27 ein anderes Vorgehen gewählt als für Deutschland. Anstatt des gesamten Aufkommens in der EU 27 wird hier für Altholz mit den berechneten rd. 8 Mio. Tonnen genauso wie für alle anderen Abfallfraktionen nur der kommunale Herkunftsbereich betrachtet. Grundsätzlich besteht nach

(EC 2009) zwar auch die Möglichkeit analog der Betrachtung für Deutschland das gesamte Aufkommen für Altholz in der Bilanz zu berücksichtigen, allerdings liegt diese Gesamtmenge wie Tabelle 8.6 zeigt im Vergleich zu den ansonsten untersuchten Abfallfraktionen sehr hoch, das Altholzpotezial würde entsprechend das Ergebnis sehr stark dominieren. Auch wird das Altholzpotezial nach (EC 2009) insbesondere durch die Position „Verpackungsholz, Sägemehl, Holzspäne und andere“ geprägt und damit durch gewerbliche Abfälle, die in der Aufkommenszahl für Deutschland nicht enthalten sein dürften, da diese Mengen oft innerbetrieblich bzw. direkt verwertet werden.

Tabelle 8.6 Altholzpotezial in der EU 27 nach (EC 2009)

Herkunftsbereich	Aufkommen [t/a]
Siedlungsabfall bzw. Sperrmüll	8.225.000
Verpackungsholz, Sägemehl, Holzspäne und andere	45.718.000
Bau- und Abbruchholz	9.757.000
Produktionsbereich	6.715.000
Altfahrzeuge	40.000
Summe	70.455.000

8.2 Szenarien EU 27

Für die EU 27 werden insgesamt drei Szenarien definiert, ein Ist-Szenario mit den zuvor abgeleiteten Abfallmengen (2007) sowie zwei voneinander unabhängige Zukunftsszenarien 2020 I und 2020 II. Die Berechnung der Gut- und Lastschriften erfolgt weitgehend anhand der für Deutschland ermittelten Emissionsfaktoren. Dies bedeutet auch, dass auf eine Anpassung des Strombedarfs verzichtet wurde, der deutsche Strommix wurde beibehalten. Diese Vereinfachung bedingt nur eine geringe Abweichung im Ergebnis, da der Unterschied bzgl. Treibhausgase mit 541 g CO₂-Äq/kWh_{el} im EU 27 Mix statt 598 g CO₂-Äq/kWh_{el} für Deutschland vernachlässigbar gering ist. Umgekehrt wird aber für die Stromgutschrift anstatt des Marginalstroms für Deutschland (887 g CO₂-Äq/kWh_{el}) ein für die EU 27 als adäquat angesehener Substitutionsmix von 50 % Steinkohle und 50 % Erdgas angesetzt, der sich zu 749 g CO₂-Äq/kWh_{el} ergibt. Weitere Ausnahmen bilden einzelne Behandlungsverfahren über die bessere Kenntnisse verfügbar sind bzw. zu denen plausible Annahmen getroffen werden konnten. Diese finden sich in Kap. 8.3 beschrieben.

- 2007 (Ist)
Bilanzierung des Ist Zustandes gemäß den Daten nach Eurostat, ergänzt um eigene Berechnungen; Gut- und Lastschriften für verbrauchte oder bereitgestellte Produkte und Energie orientieren sich bis auf einige Ausnahmen (Kap. 8.3) an den Daten für Deutschland
- 2020 I
Annahme, die Deponierung wird aufgegeben, die bislang deponierten Mengen werden mit Ausnahme von Altholz auf die Abfallfraktionen (Bio- und Grünabfall, Glas, PPK, Kunststoffe) bzw. Entsorgungswege (MVA, M(B)An) verteilt und zwar gewichtet nach ihrem Anteil im Ist Zustand. Für Altholz wird eine Steigerung der

Recyclingquote von derzeit 65 % auf 90 % angenommen. Des Weiteren wird das Ende der Müllkompostierung³⁶ unterstellt und die relativ geringe Menge vereinfacht der Bioabfallmenge zuaddiert. Durch Umsetzung dieser Annahmen werden im Szenario 2020 I insgesamt 47 % der Abfälle recycelt. Dies entspricht nahezu den Vorgaben der Abfallrahmenrichtlinie nach der 2020 mindestens 50 % einem Recycling zugeführt werden sollen.

- 2020 II
Annahme, die Deponierung wird aufgegeben, die bislang deponierten Mengen werden nunmehr so umverteilt wie es der angenommenen Situation in Deutschland im Szenario 2020 T entspricht, also im Grundsatz der Ist Situation in Deutschland im Jahr 2006, nur dass definitiv kein Abfall mehr direkt deponiert wird. Wiederum Ausnahme bildet die Altholzmenge, für diese wird wie im Szenario 2020 I angenommen, dass die Recyclingquote von 65 % auf 90 % ansteigt. Abweichend zur deutschen Situation wurde nicht unterstellt, dass sich in der EU 27 ein Duales System etabliert. Die den LVP in Deutschland entsprechende Menge wurde anstatt dessen als Kunststoffe, Verbund- und Metallverpackungen modelliert und ist in Tabelle 4.32 unter „Kunststoffe und Verpackungsabfälle“ zusammengefasst.

Tabelle 8.7 zeigt die resultierenden Mengen in den drei Szenarien.

Tabelle 8.7 Abfallströme in den Szenarien für die EU 27

	2007 Ist		2020 I		2020 II	
	1.000 t/a	%	1.000 t/a	%	1.000 t/a	%
Deponie	105.785	42,4%	0	0%	0	0%
MVA	51.286	20,6%	90.196	36,2%	63.866	25,6%
M(B)An	17.779	7,1%	31.268	12,5%	42.788	17,2%
Müllkompostierung	2.721	1,1%	0	0%	0	0%
Bioabfall (Biotonne)	14.898	6,0%	30.986	12,4%	22.088	8,9%
Grünabfall (Gesamt)	17.488	7,0%	30.756	12,3%	23.775	9,5%
PPK	19.224	7,7%	33.809	13,6%	47.503	19,1%
Glas	6.570	2,6%	11.555	4,6%	11.341	4,6%
Kunststoffe + Verpackungsabfälle	5.365	2,2%	9.436	3,8%	26.644	10,7%
Altholz	8.092	3,2%	11.204	4,5%	11.204	4,5%
Summe	249.209	100,0%	249.209	100,0%	249.209	100,0%

³⁶ Mit Müllkompostierung ist hier die Kompostierung von nicht getrennt erfasstem Hausmüll mit Nutzung des entstandenen Müllkomposts v. a. in der Land- und Forstwirtschaft gemeint. Die biologische Behandlung von Restmüll in M(B)An mit Deponierung des Rotterests und die Erzeugung und Anwendung von Kompost aus getrennt erfasstem Bioabfall, der nach rechtlichen (BioabfV) oder freiwilligen Vorgaben (BGK) definierte Qualitätskriterien erfüllt, stellt dagegen eine förderungswürdige Alternative zu dieser Müllkompostierung dar.

8.3 Abfallbehandlung EU 27

Wie erwähnt wurden zur Berechnung der EU 27 Szenarien weitgehend die Basisdaten für Deutschland verwendet (Aufwand, Emissionen, Abfallzusammensetzung). Dies ist der Fall im Szenario 2007 Ist für die Restmüllbehandlung in MVA und M(B)An, sowie die PPK-, Glas-, Altholz- und Grünabfallverwertung. Die Glasverwertung bleibt folglich wie in Deutschland ohne technische Veränderung. Abweichend zur deutschen Bilanz wurde für Altholz ein eigener Splitt für die Anteile stoffliche und energetische Verwertung angesetzt. Nach (Prognos 2008) wurde das recycelte Altholz zu 47 % stofflich und zu 53 % energetisch verwertet. Da wie in der Bilanz für Deutschland auch für die stoffliche Verwertung für das geschonte Holz eine energetische Nutzung angerechnet wird, bedingt die Verschiebung im Splitt der stofflichen und energetischen Verwertung nur einen geringen Unterschied im Emissionsfaktor für Altholz. Veränderungen in den Zukunftsszenarien ergeben sich bzgl. Altholz und Altpapier ausschließlich über die verbesserten Wirkungsgrade (Holz-HKW).

Für die Szenarien für 2020 wurden mit Ausnahme von Bio- und Grünabfällen die Emissionsfaktoren des für Deutschland bilanzierten Szenarios 2020 T verwendet und damit v. a. die technischen Optimierungen auch für die EU27 angenommen. Im Grundsatz gilt dies auch für die MVA (vgl. Kapitel 4.4) und die M(B)An (vgl. Kapitel 4.5), wobei allerdings abweichend für die MVA (auch bzgl. der Verwertung von Ersatzbrennstoff aus M(B)An) in den Szenarien 2020 ein weniger optimistischer Wärmewirkungsgrad angesetzt wurde (35 % statt 45 %). Für die Behandlung in M(B)An ergeben sich demnach Verbesserungen ebenfalls über optimierte Wirkungsgrade der EBS-Kraftwerke und des Holz-HKW. Für die Grünabfallverwertung wurde zusätzlich zu den technischen Optimierungen die analoge Stoffstromauftrennung wie für Deutschland angenommen (18,75 % Holzanteil zur energetischen Nutzung in Holz-HKW und 18,75 % zur kombiniert stofflichen und energetischen Nutzung in Vergärungsanlagen) und entsprechend die Emissionsfaktoren des Szenarios 2020 AT verwendet. Weitere Annahmen zur Abfallbehandlung sind nachfolgend etwas genauer beschrieben.

8.3.1 Deponie

Auch die Modellierung der Deponie für das Szenario 2007 Ist orientiert sich an den Vorgaben nach IPCC (1996). Abweichend zur Situation in Deutschland ist aber nicht davon auszugehen, dass alle Deponien über eine Gasfassung verfügen. Grundsätzlich wird für die EU 27 davon ausgegangen, dass rund 40 % der Deponien mit einer Gasfassung ausgestattet sind. Bei einer mittleren effektiven Gasfassungsmöglichkeit von etwa 50 % ergibt dies eine mittlere effektive Gasfassungsrate für die EU 27 von 20 %. Erfahrungen aus anderen Studien zeigen (ETC 2009), dass die Gasfassungsrate auf EU Ebene umstritten ist. Einzelne Mitgliedsländer wie bspw. UK geben an, dass sie eine deutlich höhere effektive Gasfassungsrate von bis zu 80 % erreichen. Zwar ist eine entsprechend hohe Gasfassungsmöglichkeit nach Ansicht der Autoren v. a. bedingt durch die Verfüllphase einer Deponie technisch nicht nachvollziehbar, dennoch werden die unterschiedlichen Meinungen in der EU berücksichtigt und neben der 20 %igen effektiven Gasfassungsrate auch eine effektive Gasfassungsrate von 40 % gerechnet.

In den Ergebnissen erfolgt eine Darstellung mit und ohne eine Kohlenstoffspeicherung (C-Senke). Unter C-Senke ist hierbei der Anteil an organischem Kohlenstoff im Abfall zu verstehen, der nicht abgebaut und zu Deponiegas umgewandelt wird, sondern lang-

fristig im Deponiekörper verbleibt. Diese Menge ist quantifizierbar, aber wird nach IPCC (1996, 2006) nicht im THG-Inventar berücksichtigt. Die standardmäßige Einbeziehung der C-Senke bei der Deponierung ist insofern problematisch, als dass dies nur korrekt wäre, wenn auch in allen anderen möglichen Bereichen die C-Senke berücksichtigt wird, also auch z.B. in Möbelstücken oder Büchern. Eine derart umfassende Berücksichtigung der C-Senke ist jedoch nicht leistbar. Insofern wird sie auch bei der Deponierung als Sensitivitätsbetrachtung dargestellt.

8.3.2 Kunststoffe und Verpackungsabfälle

Für Kunststoffe und Verpackungsabfälle (Dosen, Verbunde) wurde unterstellt, dass tendenziell eher Bringsysteme zum Tragen kommen. Damit wird zum einen wahrscheinlich eine geringere Menge des Gesamtpotenzials erreicht, zum anderen würden dadurch vermutlich weniger Sortierreste bedingt durch Fehlwürfe anfallen. Der Sortierrestanteil wurde abweichend zum deutschen LVP-System mit 20 % angesetzt (Deutschland rd. 40 % im Jahr 2006, Tabelle 4.32) und ebenfalls abweichend zum deutschen System vollständig einer thermischen Behandlung über MVA zugeordnet. Des Weiteren wurde davon ausgegangen, dass Kunststoffe überwiegend sortenrein nach Kunststofffraktion verwertet werden können (Folien, Flaschen, Becher, PET), ohne dass in nennenswertem Umfang Mischkunststoffe anfallen. Die weitere Verwertung der Kunststofffraktionen und Verpackungsabfälle wurde analog den Daten für Deutschland angenommen.

8.3.3 Müllkompostierung

Die insbesondere in Frankreich, Spanien und Portugal weit verbreitete Müllkompostierung wird ohne jeglichen Nutzen verrechnet. In der Regel weisen die erzeugten Müllkomposte hohe Schadstoffgehalte auf und sollten nicht in hochwertige Anwendungen gehen. Es wird davon ausgegangen, dass sie nur für den Einsatz zur Rekultivierung z.B. auf Deponien in Frage kommen. Die Aufwendungen für die Müllkompostierung wurden aus der Grünabfallkompostierung abgeleitet (überwiegend offene Anlagen und Einsatz von Diesel betriebenen Aggregaten).

8.3.4 Bioabfallverwertung

Für die Bioabfallverwertung wurden für die Ist Situation die Daten für Deutschland hinsichtlich Betriebsaufwendungen und Emissionen weitgehend beibehalten. Auch die Kompostanwendung unterscheidet sich wie Tabelle 8.8 zeigt im Mittel nur wenig von der deutschen Situation. Deshalb wird, wie bei der Bilanz für Deutschland, mit den Daten nach (BGK 2008) gerechnet. Abweichend zur deutschen Situation wurde jedoch mit 10 % statt 15 % ein geringerer Anteil zur Vergärung angenommen.

Für die Szenarien für 2020 wurden wie für die Grünabfälle sowohl die technischen als auch die stoffstromlenkenden Optimierungen für Deutschland auch für die EU27 angenommen (vgl. Kapitel 4.6). Ausnahme bildet auch hier der Anteil zur Vergärung, für den eine Steigerung auf 50 % statt auf 80 % angenommen wurde.

Tabelle 8.8 Kompostanwendung in Deutschland und in der EU

	Anaerobkompost Deutschland	Aerobkompost Deutschland	Aerobkompost EU
	IFEU (2001)	BGK (2008)	ORBIT/ECN (2008)
	%	%	%
Landwirtschaft	73	52	56
Obstbau	1	6	
Erwerbsgartenbau	1	7	11
Erdenwerke	4	11	6
GaLa + Kommunen	13	12	10
Hobbygartenbau	1	11	12
Rekultivierung	6	2	5

GaLa: Garten- und Landschaftsbau

8.4 Gesamtergebnisse EU 27

Die Darstellung der Gesamtergebnisse erfolgt für die im vorangegangenen Kapitel beschriebenen Szenarien und die in Tabelle 8.7 und Abbildung 8.1 dargestellten Abfallströme.

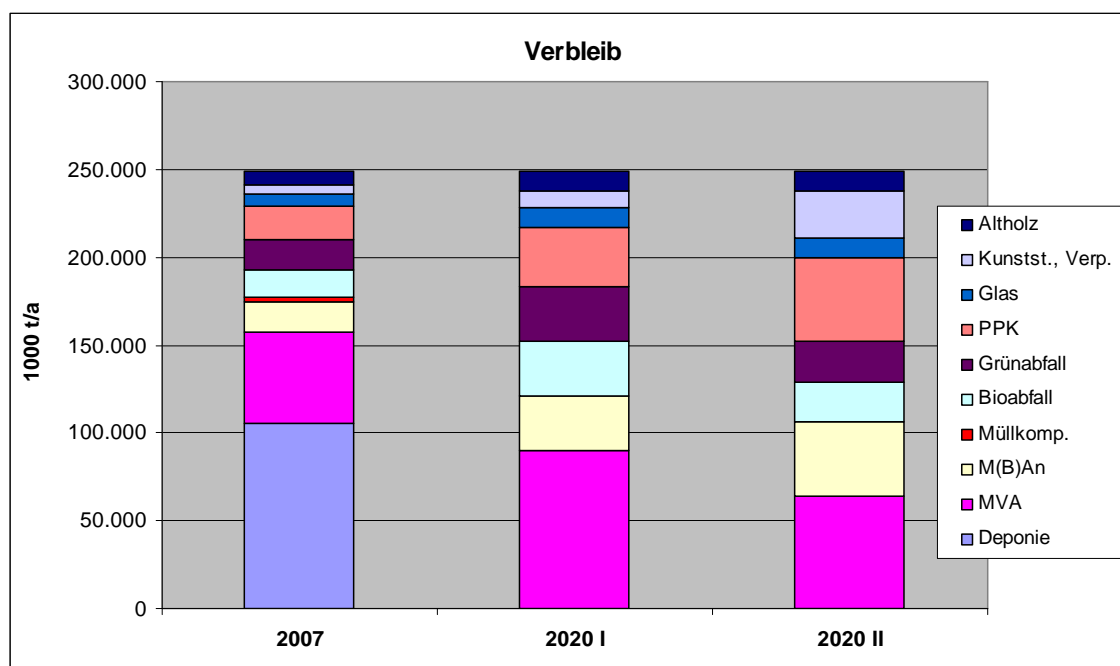


Abbildung 8.1 Abfallströme (Verbleib) der untersuchten EU Szenarien

8.4.1 Treibhausgase (THG)

In Abbildung 8.2 und Tabelle 8.9 sind die Gesamtergebnisse der Bilanz für die Treibhausgase dargestellt. In Abbildung 8.4 und Tabelle 8.10 die Gesamtergebnisse der THG-Bilanz unter Anrechnung einer C-Senke für die Deponierung und anteilige Verbringung von Bio- und Grünabfallkomposten auf landwirtschaftliche Flächen.

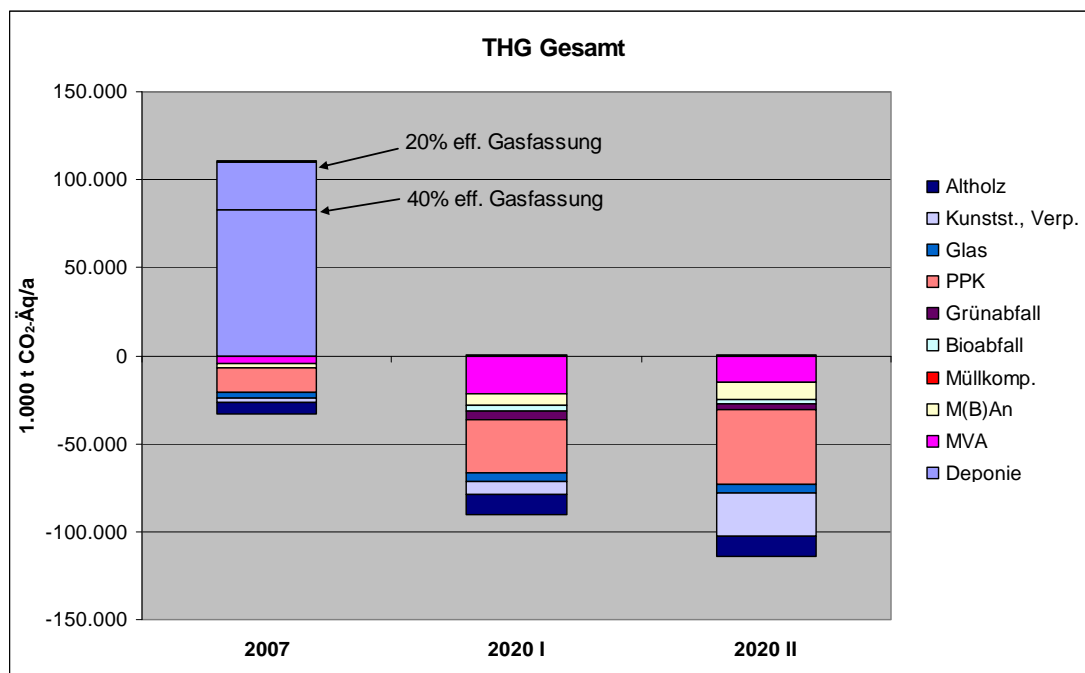


Abbildung 8.2 Gesamtergebnisse der Standardbilanz EU 27 für THG

Tabelle 8.9 Gesamtergebnisse der Standardbilanz EU 27 für THG

	2007	2020 I	2020 II
	1.000 t CO ₂ -Äq/a	1.000 t CO ₂ -Äq/a	1.000 t CO ₂ -Äq/a
Deponie 20% eff.	109.930	0	0
Deponie 40% eff.	83.112	0	0
MVA	-4.864	-21.374	-15.135
M(B)An	-2.012	-7.080	-9.688
Müllkompostierung	204	0	0
Bioabfall	386	-3.214	-2.291
Grünabfall	333	-4.942	-3.820
PPK	-14.056	-29.870	-41.968
Glas	-3.054	-5.371	-5.271
Kunstst., Verp.	-2.233	-6.936	-24.636
Altholz	-6.665	-11.608	-11.608
Summe (Deponie 20%)	77.970	-90.395	-114.418
Summe (Deponie 40%)	51.152	-90.395	-114.418

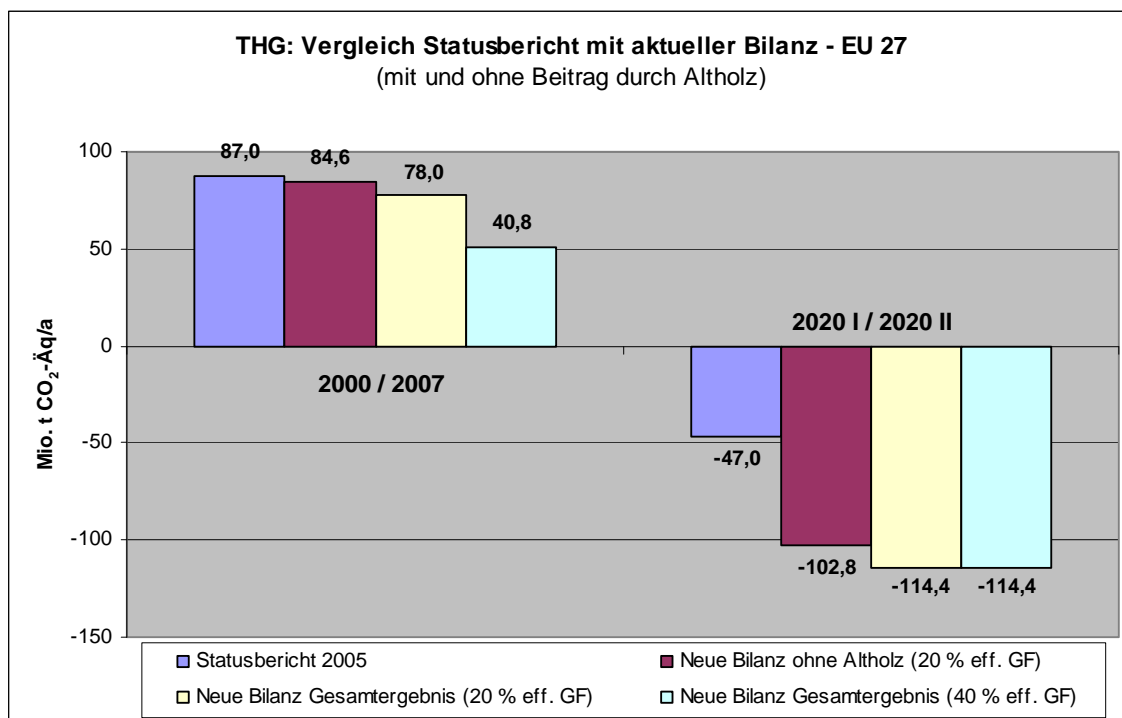


Abbildung 8.3 Gegenüberstellung der Ergebnisse dieser Bilanz für THG in der EU 27 (mit und ohne Altholz) zu den Ergebnissen für die EU 15 aus dem Statusbericht 2005 (Öko-Institut/IFEU 2005)

Im Statusbericht basierte die Bilanz für die EU 15 auf einer Abfallmenge von 202 Mio. t/a, während in der aktuellen Bilanz für 2007 die Abfallmenge 241 Mio. t/a ohne Altholz und 249 Mio. t/a mit Altholz beträgt. Für die getrennt erfasste und energetisch verwertete Altholzmenge wurde von 2007 bis 2020 eine Steigerung von 8 Mio. t/a auf ca. 11 Mio. t/a angenommen.

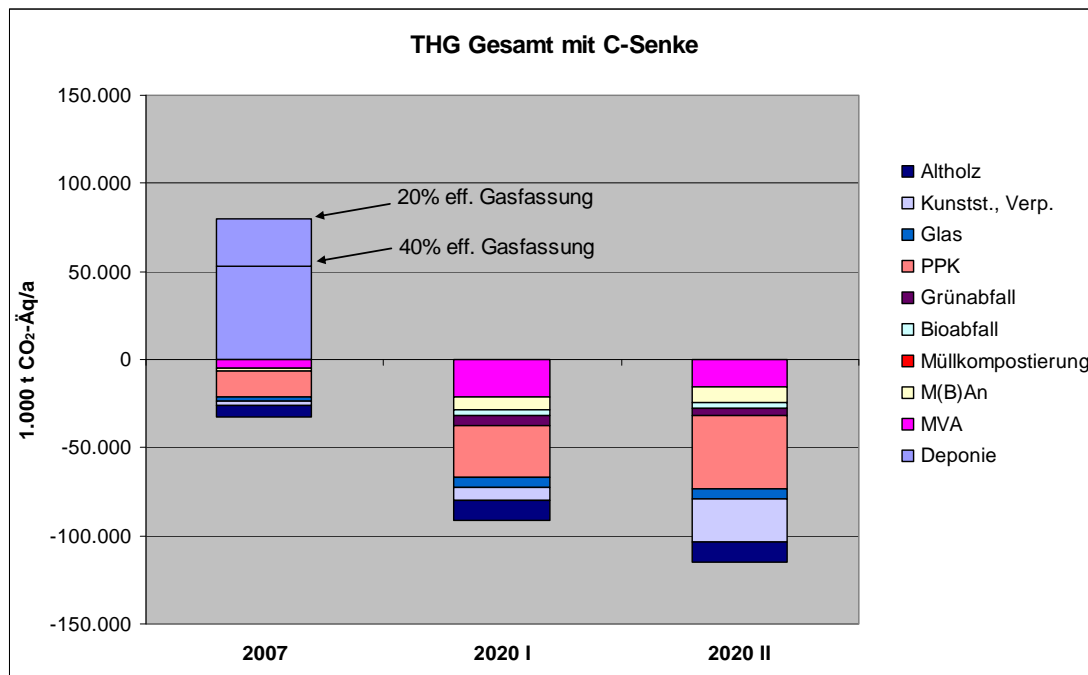


Abbildung 8.4 Gesamtergebnisse der THG-Bilanz EU 27 mit C-Senke

Tabelle 8.10 Gesamtergebnisse der THG-Bilanz EU 27 mit C-Senke

	2007	2020 I	2020 II
	1.000 t CO ₂ -Äq/a	1.000 t CO ₂ -Äq/a	1.000 t CO ₂ -Äq/a
Deponie 20% eff.	79.869	0	0
Deponie 40% eff.	53.051	0	0
MVA	-4.864	-21.374	-15.135
M(B)An	-2.012	-7.080	-9.688
Müllkompostierung	204	0	0
Bioabfall	49	-3.617	-2.579
Grünabfall	26	-5.287	-4.087
PPK	-14.056	-29.870	-41.968
Glas	-3.054	-5.371	-5.271
Kunstst., Verp.	-2.233	-6.936	-24.636
Altholz	-6.665	-11.608	-11.608
Summe (Deponie 20%)	47.264	-91.143	-114.972
Summe (Deponie 40%)	20.446	-91.143	-114.972

Unabhängig davon ob für die EU 27 eine effektive Gasfassungsrates von 40 % oder 20 % angenommen wird oder ob eine Kohlenstoffspeicherung (C-Senke) angerechnet wird, verursacht die Deponierung der Abfälle die größten nachteiligen Effekte bezüglich des Klimaschutzes. Selbst unter den günstigsten angenommenen Randbedingungen werden in der EU 27 jährlich durch die Deponierung von Siedlungsabfällen mehr als 50 Mio. t CO₂-Äq emittiert. Im ungünstigsten Fall sind es mehr als doppelt so viele deponiebürtige THGE: 110 Mio. t CO₂-Äq (Abbildung 8.2 und Tabelle 8.9).

Damit verursacht die Deponierung der Abfälle die letzte erhebliche Zusatzbelastung im Bereich der Abfallwirtschaft in Europa. Insofern sich hier die Praxis der Abfallbehand-

lung einschlägig ändert, kann allein durch die Vermeidung der aus den Deponien freigesetzten Treibhausgase eine signifikante Reduktion der THGE erreicht werden.

Wird eine entsprechende Verwertung der bisher deponierten Abfallmengen wie in Kapitel 8.2 beschrieben unterstellt, kann die europäische Abfallwirtschaft im Szenario 2020 I insgesamt ca.

- 112 Mio. t CO₂-Äq/a (Tabelle 8.10: mit Berücksichtigung der C-Senke; Differenz zwischen Summe 2020 I und 2007 Ist für 40 % effektive Gasfassung) bis
- 168 Mio. t CO₂-Äq/a (Tabelle 8.9: ohne Berücksichtigung der C-Senke; Differenz zwischen Summe 2020 I und 2007 Ist für 20 % effektive Gasfassung)

zur erforderlichen Gesamteinsparung in Europa beitragen. Im Szenario 2020 II steigt dieser Beitrag auf 135 Mio. t bis 192 Mio. t CO₂-Äq/a an.

Die EU 27 hat kein gemeinsames Kyoto-Ziel. Um den möglichen Beitrag der Abfallwirtschaft in der EU 27 einzuordnen wird hier von einer Reduktion in der EU 27 von 1990 bis 2020 von 20 % ausgegangen, ein Ziel auf das sich die Mitgliedsstaaten gegenseitig verpflichtet haben (EEA 2009).

Ausgehend von der nach (EEA 2009) ausgewiesenen Belastung im Jahr 1990 von 5.558 Mio. t CO₂-Äq ist für 2007 eine Reduktion von 9,2 % auf 5.047 Mio. t CO₂-Äq angegeben. Um das Ziel für 2020 zu erreichen, muss die Gesamtreduktion in der EU bis 2020, bezogen auf 1990, 1.112 Mio. t CO₂-Äq betragen. Wird von diesen die bereits im Jahr 2007 eingesparte Menge von 511 Mio. t CO₂-Äq abgezogen, so beträgt die noch erforderliche Minderung bis 2020 noch weitere 600 Mio. t CO₂-Äq. Daran kann die Abfallwirtschaft der EU 27, gemäß den Ergebnissen dieser Studie einen Beitrag zwischen 19 % (bei einer Einsparung von 112 Mio. t CO₂-Äq/a, s. o.) und 32 % (bei einer Einsparung von 192 Mio. t CO₂-Äq/a, s. o.) leisten.

Aus Sicht des Klimaschutzes würde ein Deponieverbot die entscheidenden Beiträge zur Verbesserung der Klimaschutzbilanz der Abfallwirtschaft liefern und ist eine notwendige Voraussetzung für eine notwendige Optimierung in dieser Quellengruppe.

8.4.2 Fossile energetische Ressourcen

Abbildung 8.5 und Tabelle 8.11 zeigen die Gesamtergebnisse der Bilanz für die Schonung fossiler Ressourcen, ausgedrückt über den gesamten kumulierten fossilen Energieaufwand (KEA fossil).

Anders als bei den THGE trägt die Abfallwirtschaft in Europa durch die MVA und das Recycling in der Summe schon zu einer Schonung energetischer Ressourcen bei, da die Methanemissionen der Deponie sich hier nicht negativ auswirken.

Trotzdem ist das Potenzial erheblich. In beiden Szenarien für 2020 konnte der Beitrag zur Ressourcenschonung um mehr als Doppelte gesteigert werden.

Im Jahr 2007 betrug der Gesamtverbrauch an fossiler Primärenergie in der EU 27 ungefähr 70.000 PJ (Eurostat 2009, BMU 2008)³⁷. Bei 495,1 Mio. Einwohnern in der EU 27 (Eurostat 2009) entspricht dies einem durchschnittlichen Verbrauch von 141 GJ je Einwohner und Jahr. Der Beitrag der Siedlungsabfallwirtschaft und der Altholz-

³⁷ Nach (Eurostat 2009) lag der gesamte Primärenergieverbrauch in der EU 27 bei 75.628 PJ. Der Anteil erneuerbarer Energien daran lag nach (BMU 2008) 2006 bei 6,7 %. Für die Berechnung für 2007 wurde der Anteil an nicht erneuerbarer Energie mit 93 % angenommen.

verwertung in der EU 27 entspricht demnach 2007 dem durchschnittlichen Verbrauch von etwa 5,5 Mio. Einwohnern. Bezieht man auch die Einsparung aus dem Szenario 2020 II auf den heutigen Durchschnittsverbrauch je Einwohner können etwa 16 Mio. Einwohner ihren Bedarf dadurch decken.

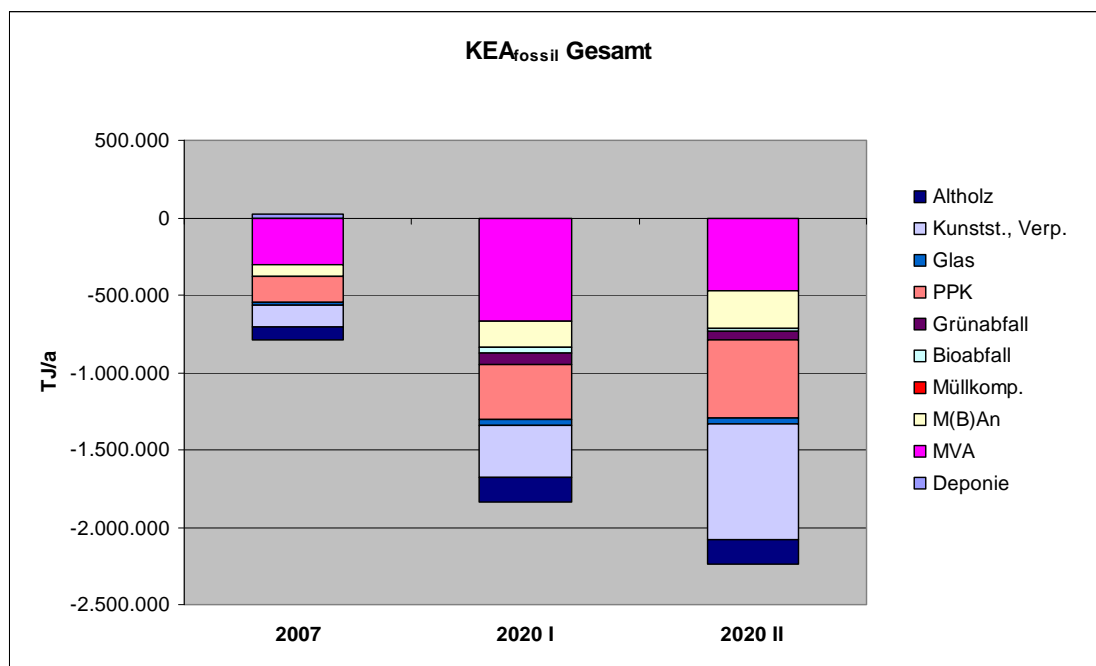


Abbildung 8.5 Gesamtergebnisse der EU Standardbilanz für KEA fossil

Tabelle 8.11 Gesamtergebnisse der EU Standardbilanz für KEA fossil

	2007	2020 I	2020 II
	TJ/a	TJ/a	TJ/a
Deponie	20.268	0	0
MVA	-300.791	-664.481	-470.508
M(B)An	-75.590	-175.774	-240.540
Müllkompostierung	665	0	0
Bioabfall	-1.719	-35.298	-25.162
Grünabfall	-2.362	-68.569	-53.005
PPK	-164.776	-357.477	-502.269
Glas	-23.966	-42.148	-41.368
Kunstst., Verp.	-134.607	-330.586	-742.184
Altholz	-89.005	-161.326	-161.326
Summe	-771.884	-1.835.660	-2.236.362

9 Betrachtungen ausgewählte Länder

Ein weiterer Teilaspekt der Studie ist die Betrachtung von drei ausgewählten Ländern im internationalen Kontext. Mit diesen soll gezeigt werden wie sich gegenüber Deutschland und weitgehend auch der EU 27 eine wenig technisierte abfallwirtschaftliche Praxis mit überwiegender Deponierung oder gar ungeordneter Entsorgung hinsichtlich klimawirksamer Effekte und Ressourcenschonung darstellt.

Ausgewählt wurden die Länder Türkei, Tunesien und Mexiko. Die Türkei als Land mit starker Bestrebung als Mitgliedsland der EU aufgenommen zu werden, Tunesien und Mexiko als zwei Länder mit unterschiedlichem Entwicklungsniveau – während Tunesien, übrigens ähnlich wie die Türkei, noch nicht in nennenswertem Umfang über eine landesweite, geordnete Abfallwirtschaft verfügt, ist wenigstens dies im Schwellenland Mexiko gegeben. Ebenfalls Auswahlkriterium war die gegebene Untersuchungs- bzw. Datenlage. Für Tunesien wurde kürzlich im Auftrag des UBA eine Studie durchgeführt (BIFA 2009), und es existiert eine sehr umfassende Dissertation über die abfallwirtschaftliche Situation in Tunesien (Cherif 2005). Für Mexiko bestehen langjährige Projektbeziehungen mit dem IFEU über GTZ Vorhaben.

Die für die drei ausgewählten Länder betrachteten Szenarien beschränken sich auf die Ermittlung der Ist Situation und ein weiteres Szenario für 2020. Für das Szenario 2020 wurde angenommen, dass sich die Abfallwirtschaft in den drei Ländern jeweils entwickeln würde wie in der EU 27 im Szenario 2020 I angenommen (vgl. Kap. 8.2). Diese Annahme stellt eine starke Vereinfachung dar und berücksichtigt nicht die möglichen Entwicklungen in den betrachteten Ländern bis 2020. Letzteres würde einer umfassenderen Untersuchung bedürfen.

9.1 Türkei

Das gesamte Siedlungsabfallaufkommen betrug in der Türkei nach (EUROSTAT 2009) rd. 30 Mio. t. Dies entspricht einem Pro-Kopf-Aufkommen von rd. 430 kg/(E*a). In (Recycling Magazin 2008) wird angegeben, dass etwa 80 % des anfallenden Abfalls deponiert wird, oft auf wilden Müllkippen. In (bfai 2008) heißt es, dass etwa 100.000 t des anfallenden Abfalls kompostiert werden. Für die Bilanzierung wird basierend auf diesen Angaben angenommen, dass insgesamt 5 Mio. t des aktuellen Aufkommens v. a. durch den informellen Sektor getrennt erfasst und verwertet werden. Mit Ausnahme der genannten kompostierten Menge, sind keine Angaben zur Unterteilung in die einzelnen Wertstofffraktionen verfügbar. Vereinfacht wurde angenommen, dass die Unterteilung der für die EU 27 für das Jahr 2007 abgeleiteten entspricht.

Nach Auskunft der KfW (2009) gibt es mittlerweile 25 geordnete Deponien in der Türkei. Etwa die Hälfte dieser Deponien verfügt über eine Gasfassung. Gefasstes Gas wird vorwiegend über Fackel entsorgt, auf einer Deponie wird das Gas genutzt. Die mittlere effektive Gasfassungsrate wird hier einheitlich zu 20 % angenommen. Neben den geordneten Deponien gibt es etwa 3.000-3.200 wilde Kippen. Zwar gibt es in der Türkei auch Müllverbrennungsanlagen, diese verarbeiten jedoch nur Industrie- bzw. Sonderabfälle (Recycling Magazin 2008).

Nach (bfai 2008) belief sich die Menge an Abfällen, die 2006 auf kontrollierten Deponien abgelagert wurde auf 9,95 Mio. t. Bezogen auf die im Jahr 2007 deponierte Menge entspricht dies rd. 40 %. Damit verbleiben 60 % unkontrolliert abgelagerte Abfälle. Für deren Emissionspotenzial ist die Art der Ablagerung ausschlaggebend. Werden Abfälle flächig weggeworfen, so stellen sich kaum anaerobe Bedingungen ein, es findet nur eine geringe Methanbildung statt. Erfolgt dagegen eine geschichtete Ablagerung oder eine Ablagerung im Wasserbett, ergeben sich anaerobe Bedingungen mit entsprechender Methanbildung. Dies führt dazu, dass rein aus Klimaschutzsicht das unkontrollierte flächige Wegwerfen von Abfällen vorteilhaft wäre gegenüber einer geordneten Ablagerung. Hier insbesondere kommt schwerwiegend zum Tragen wie wichtig es ist, neben dem Klimaschutz andere Umweltwirkungen nicht aus den Augen zu verlieren. Eine entsprechende Praxis im Umgang mit Abfällen bedingt gravierende Umweltbelastungen für die Schutzgüter Wasser, Boden, Luft und stellt ein hohes Gefährdungsrisiko für die Allgemeinheit dar. Für die wild abgelagerten Abfälle ist nicht bekannt in welchem Umfang diese anaeroben oder aeroben Bedingungen unterliegen. Für die Bilanzierung werden zwei Fälle berechnet:

- a) die 60 % unkontrolliert abgelagerten Abfälle werden zur Hälfte flächig weggeworfen ohne Methanbildung,
- b) die 60 % unkontrolliert abgelagerten Abfälle werden vollständig geschichtet abgelagert; die Methanbildung wird analog geordneten Deponien berechnet.

Die für die beiden Szenarien 2007 Ist und 2020 abgeleiteten Abfallströme sind in Tabelle 9.1 dargestellt.

Tabelle 9.1 Abfallströme in den beiden Szenarien für die Türkei

	2007		2020	
	1.000 t/a	%	1.000 t/a	%
Deponie	25.000	83,3%	0	0%
MVA	0	0%	10.858	36,2%
M(B)An	0	0%	3.764	12,5%
Müllkompostierung	0	0%	0	0%
Bioabfall (Biotonne)	0	0%	3.730	12,4%
Grünabfall (Gesamt)	100	0,3%	3.702	12,3%
PPK	3.023	10,1%	4.070	13,6%
Glas	1.033	3,4%	1.391	4,6%
Kunststoffe, Verpackungsabf.	844	2,8%	1.136	3,8%
Altholz	0	0%	1.349	4,5%
Summe	30.000	100%	30.000	100%

9.1.1 Ergebnisse Treibhausgase Türkei

In Abbildung 9.1 und Tabelle 9.5 sind die Gesamtergebnisse der Bilanz für die Treibhausgase dargestellt. In Abbildung 9.2 und Tabelle 9.9 die Gesamtergebnisse der THG-Bilanz unter Anrechnung einer C-Senke für die Deponierung und anteilige Verbringung von Grünabfallkomposten auf landwirtschaftliche Flächen.

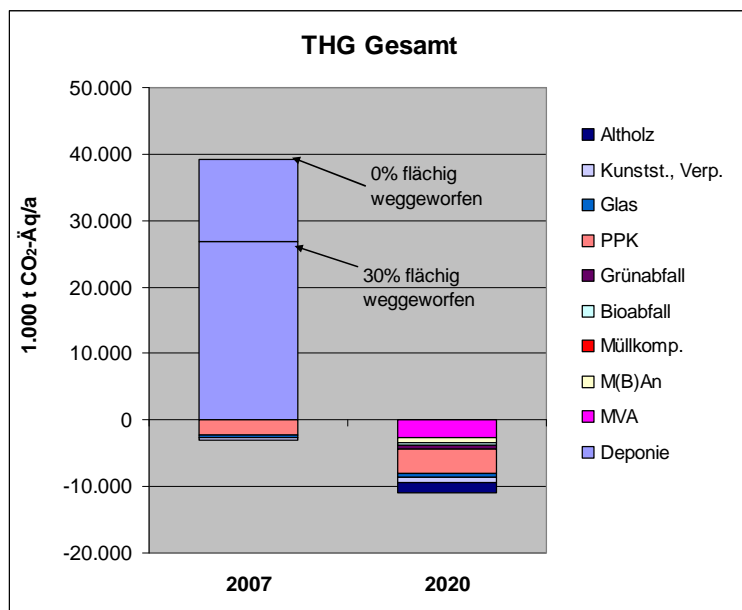


Abbildung 9.1 Gesamtergebnisse der Standardbilanz Türkei für THG

Tabelle 9.2 Gesamtergebnisse der Standardbilanz Türkei für THG

	2007	2020
	1.000 t CO ₂ -Äq/a	1.000 t CO ₂ -Äq/a
Deponie 30% flächig weggeworfen	26.843	0
Deponie 0% flächig weggeworfen	39.219	0
MVA	0	-2.573
M(B)An	0	-852
Müllkompostierung	0	0
Bioabfall	0	-387
Grünabfall	2	-595
PPK	-2.210	-3.596
Glas	-480	-647
Kunststoffe, Verpackungsabfälle	-351	-835
Altholz	0	-1.397
Summe (Deponie 0% flächig)	36.179	-10.882
Summe (Deponie 30% flächig)	23.803	-10.882

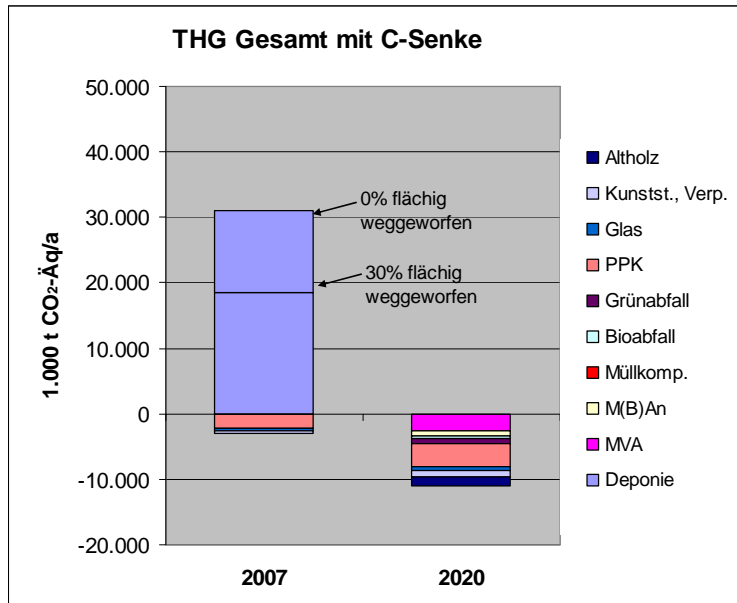


Abbildung 9.2 Gesamtergebnisse der THG-Bilanz Türkei mit C-Senke

Tabelle 9.3 Gesamtergebnisse der THG-Bilanz Türkei mit C-Senke

	2007	2020
	1.000 t CO ₂ -Äq/a	1.000 t CO ₂ -Äq/a
Deponie 30% flächig weggeworfen	18.597	0
Deponie 0% flächig weggeworfen	30.974	0
MVA	0	-2.573
M(B)An	0	-852
Müllkompostierung	0	0
Bioabfall	0	-435
Grünabfall	0	-636
PPK	-2.210	-3.596
Glas	-480	-647
Kunststoffe, Verpackungsabfälle	-351	-835
Altholz	0	-1.397
Summe (Deponie 0% flächig)	27.932	-10.972
Summe (Deponie 30% flächig)	15.556	-10.972

Unabhängig davon, ob für die Türkei ein flächiges Wegwerfen von 0 % oder 30 % angenommen wird oder ob eine Kohlenstoffspeicherung (C-Senke) angerechnet wird verursacht die Deponierung der Abfälle die größten nachteiligen Effekte auf den Klimaschutz. Selbst unter den günstigsten angenommenen Randbedingungen werden in der Türkei jährlich mehr als 15 Mio. t CO₂-Äq emittiert. Im ungünstigsten Fall sind es mit 36 Mio. t CO₂-Äq mehr als das Doppelte.

Die Türkei wurde 2004 rechtskräftiges Annex I Mitglied der United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). Entsprechend wurden bereits zwei Nationale Inventarberichte beim Sekretariat der UNFCCC vorgelegt (NIR Türkei 2007). Des Weiteren wurden Tabellen entsprechend dem Common Reporting Format (CRF) erstellt. Die aktuellste verfügbare Tabellensammlung ist von 2009 für das Jahr 2007.

Danach beliefen sich die nationalen Treibhausgasemissionen der Türkei ohne Berücksichtigung der Landnutzungsänderung im Jahr 2007 auf 373 Mio. t CO₂-Äq. Der Sektor „Waste“ verursachte davon anteilig rd. 32 Mio. t CO₂-Äq bzw. 8,5 %. Dabei handelt es sich ausschließlich um Methanemissionen aus der Deponierung.

Dies zeigt, dass für die Türkei eher der obere Wert der o. g. ermittelten Bandbreite zu Emissionen aus der Deponierung für den Ist-Zustand zutreffend ist. Unterstellt man eine entsprechende Verwertung der bisher deponierten Abfallmengen wie eingangs beschrieben, kann die Abfallwirtschaft in der Türkei im Szenario 2020 insgesamt folgende Gesamteinsparungen erreichen:

- 26 Mio. t CO₂-Äq/a (Tabelle 9.3: mit Berücksichtigung der C-Senke, Differenz zwischen Summe 2020 und 2007 Ist bei 30 % flächiger Ablagerung) bis
- 47 Mio. t CO₂-Äq/a (Tabelle 9.2: ohne Berücksichtigung der C-Senke, Differenz zwischen Summe 2020 und 2007 Ist bei 0 % flächiger Ablagerung)

Ob die Türkei mittlerweile ein Minderungsziel quantifiziert hat, geht aus (NIR Türkei 2007) nicht hervor. Die THG-Bilanz verdeutlicht allerdings, dass durch die sehr umfassenden Maßnahmen in der Abfallwirtschaft für das Szenario 2020 die gesamten THGE der Türkei des Jahres 2007 zwischen 7 % (bei einer Einsparung von 26 Mio. t CO₂-Äq/a, s. o.) und 13 % (bei einer Einsparung von 47 Mio. t CO₂-Äq/a, s. o.) gemindert werden könnten. Gelingt wenigstens die Umsetzung eines Deponieverbotes für organische Abfälle, würde eine THG-Einsparung um die o. g. 8,5 % erzielt werden.

9.1.2 Ergebnisse fossile energetische Ressourcen Türkei

Abbildung 9.3 und Tabelle 9.4 zeigen die Gesamtergebnisse der Bilanz für die Schonung fossiler Ressourcen, ausgedrückt über den gesamten kumulierten fossilen Energieaufwand (KEA fossil).

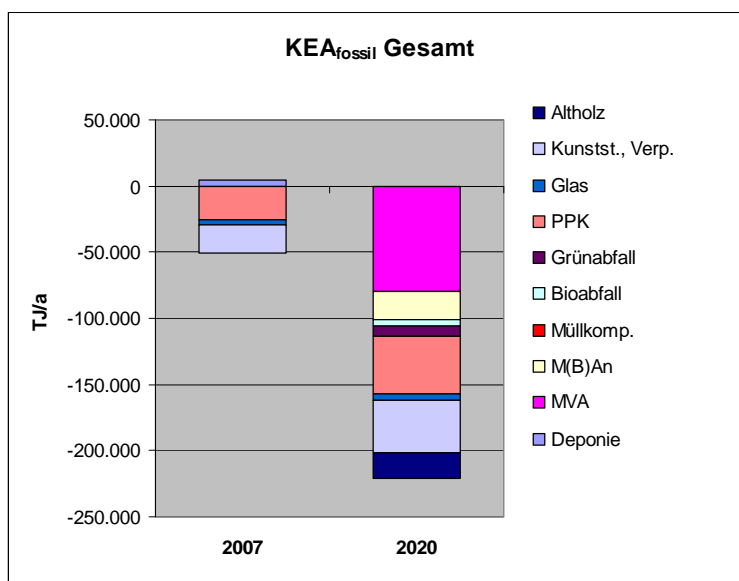


Abbildung 9.3 Gesamtergebnisse Standardbilanz der Türkei für KEA fossil

Anders als bei den THGE trägt die Abfallwirtschaft in der Türkei durch das Recycling in der Summe schon zu einer Schonung energetischer Ressourcen bei. Die Deponierung

schlägt sich demgegenüber nur in geringem Umfang im KEA fossil nieder mit einer aus dem Energiebedarf resultierenden Belastung. Gegenüber dem Ist-Zustand besteht mit dem Szenario 2020 weiterhin ein erhebliches Einsparpotenzial, der Beitrag zur Ressourcenschonung könnte um mehr als das Vierfache gesteigert werden.

Tabelle 9.4 Gesamtergebnisse Standardbilanz Türkei für KEA fossil

	2007	2020
	TJ/a	TJ/a
Deponie	4.790	0
MVA	0	-79.991
M(B)An	0	-21.160
Müllkompostierung	0	0
Bioabfall	0	-4.249
Grünabfall	-14	-8.254
PPK	-25.912	-43.033
Glas	-3.769	-5.074
Kunststoffe, Verpackungsabfälle	-21.168	-39.796
Altholz	0	-19.421
Summe	-46.073	-220.978

9.2 Tunesien

Nach (BIFA 2007) betrug das Abfallaufkommen in Tunesien im Jahr 2007 2,5 Mio. t. Nach (Cherif 2005) ist die Abfallsammlung in Tunesien Pflicht der Gemeinden. Es existiert weder ein einheitliches System noch einheitliche Sammelfahrzeuge. Jede Gemeinde versucht die Aufgabe individuell zu lösen, eingesetzte Sammelfahrzeuge rangieren vom modernen Pressmüllfahrzeug bis zum Esel- oder Schubkarren. In den großen Städten Tunesiens wird der Abfall i. d. R. täglich abgefahren. In den peripheren Siedlungsbereichen kommt es allerdings zu einer „Vermüllung“ insbesondere mit Plastikverpackungen.

Die Kommunen deponieren ihre Abfälle meist auf Flächen, die nicht mehr in Benutzung sind, wie z.B. alte Steinbrüche, ausgetrocknete Flussbetten oder ausgetrocknete Salzseen. Allgemein gilt für die ungeordnete Ablagerung, dass die Abfälle in geringer Höhe auf Flächen verteilt werden (0,5-1,5 m) und dass sie nicht kompaktiert oder abgedeckt werden. Insgesamt gibt es in Tunesien etwa 400 wilde Deponien für deren Sanierung ca. 90 Mio. Euro erforderlich wären (Cherif 2005). Geordnete Deponien waren zum Stand 2005 fünf in Betrieb, von denen vier bereits annähernd verfüllt waren, neun weitere befanden sich im Bau. Dieser Stand ist nach (BIFA 2007) auch aktuell nur wenig verändert. Ebenfalls nach (BIFA 2007) wird auf den fünf geordneten Deponien etwa die Hälfte der Siedlungsabfälle des Landes entsorgt. Die neun im Bau befindlichen Deponien gehen seit 2007 sukzessive in Betrieb. Mit diesen können künftig 80 % der Siedlungsabfälle geordnet abgelagert werden. Die bestehenden Deponien verfügen über keinerlei Einrichtungen zur Deponiegasbehandlung, Deponiegas wird in die Atmosphäre emittiert.

1997 wurde in Tunesien „EcoLef“ verabschiedet, eine tunesische Verpackungsverordnung für PET-Flaschen, PE-Folien und Weißblechdosen. Die dafür anfallenden Lizenzentgelte waren bis Ende 2003 von den Abfüllern/Abpackern und Importeuren auf der Grundlage des verpackungsorientierten Verursacherprinzips zu entrichten (berechnet über Menge und Gewicht des eingesetzten Verpackungsmaterials). Seit Anfang 2004 ist das Lizenzentgelt in eine Sonderabgabe für importierte und lokal hergestellte Plastikgrundstoffe umgewandelt worden. Sie beträgt 2,5 % des Zollwerts von Plastikgrundstoffen für Importstoffe und 2,5 % des Umsatzes ohne Mehrwertsteuer für lokal hergestellte (Cherif 2005).

Die erzielte Erfassungsquote ist allerdings noch immer sehr gering. Nach (BIFA 2007) konnten im Jahr 2007 rund 6.000 t Kunststoffabfälle gesammelt werden. Der Anteil der Verpackungsabfälle am gesamten städtischen Abfall liegt etwa bei 3,2 %, von diesen wurden etwa 4,7 % getrennt erfasst (Cherif 2005). Auch diese Werte finden sich in (BIFA 2007). Zudem heißt es dort, dass insgesamt derzeit in Tunesien rd. 5 % des Hausmülls einem Recycling zugeführt werden. Neben den Verpackungsabfällen sind dies in erster Linie Altpapier und Metalle. Für das Szenario 2007 wurde entsprechend eine insgesamt recycelte Menge von 125.000 t/a angesetzt, deren angenommene Verteilung zeigt Tabelle 9.5. Da in der Verteilung des hier für 2020 zugrunde gelegten Szenario 2020 I der EU 27 noch keine Metalle enthalten sind, sind diese hier vereinfacht innerhalb der Verpackungsabfälle konstant gehalten.

In (BIFA 2007) ist des Weiteren angegeben, dass in Tunesien etwa 0,1 % des Hausmülls kompostiert werden. Diese geringe Menge wurde hier vernachlässigt, zumal der Hausmüllkompostierung kein Nutzen gegenübersteht (vgl. Kap. 8.3.3).

Für die verbleibende abgelagerte Menge von 2,375 Mio. t/a wurde im Szenario 2007 angenommen, dass die Hälfte geordnet, aber ohne Gasfassung abgelagert wird. Für die verbleibende Hälfte wild abgelagerter Abfälle wurde analog dem Vorgehen für die Türkei unterschieden, dass diese

- a) vollständig flächig weggeworfen werden ohne Methanbildung und
- b) vollständig geschichtet abgelagert werden mit einer Methanbildung wie bei geordneten Deponien

Die für die beiden Szenarien 2007 und 2020 abgeleiteten Abfallströme sind in Tabelle 9.5 dargestellt.

Tabelle 9.5 Abfallströme in den beiden Szenarien für Tunesien

	2007		2020	
	1.000 t/a	%	1.000 t/a	%
Deponie	2.375	95,0%	0	0%
MVA	0	0%	905	36,2%
M(B)An	0	0%	314	12,5%
Müllkompostierung	0	0%	0	0%
Bioabfall (Biotonne)	0	0%	311	12,4%
Grünabfall (Gesamt)	0	0%	309	12,3%
PPK	98	3,9%	339	13,6%
Glas	0	0%	116	4,6%
Kunststoffe, Verpackungsabf.	27	1,1%	95	3,8%
Altholz	0	0%	112	4,5%
Summe	2.500	100%	2.500	100%

9.2.1 Ergebnisse Treibhausgase Tunesien

In Abbildung 9.4 und Tabelle 9.6 sind die Gesamtergebnisse der Bilanz für die Treibhausgase dargestellt. In Abbildung 9.5 und Tabelle 9.7 die Gesamtergebnisse der THG-Bilanz unter Anrechnung einer C-Senke für die Deponierung.

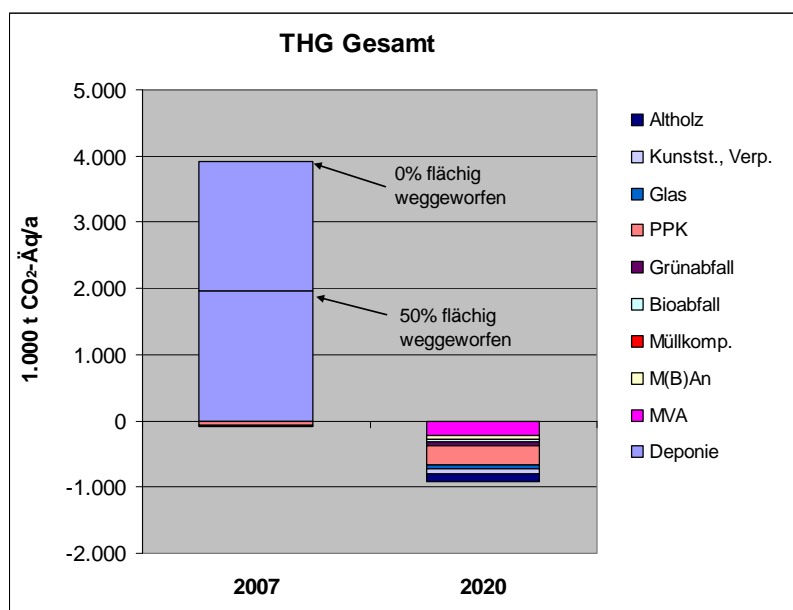


Abbildung 9.4 Gesamtergebnisse der Standardbilanz Tunesien für THG

Tabelle 9.6 Gesamtergebnisse der Standardbilanz Tunesien für THG

	2007	2020
	1.000 t CO ₂ -Äq/a	1.000 t CO ₂ -Äq/a
Deponie 50% flächig weggeworfen	1.959	0
Deponie 0% flächig weggeworfen	3.919	0
MVA	0	-214
M(B)An	0	-71
Müllkompostierung	0	0
Bioabfall	0	-32
Grünabfall	0	-50
PPK	-72	-300
Glas	0	-54
Kunststoffe, Verpackungsabfälle	-22	-74
Altholz	0	-116
Summe (Deponie 0% flächig)	3.825	-911
Summe (Deponie 50% flächig)	1.865	-911

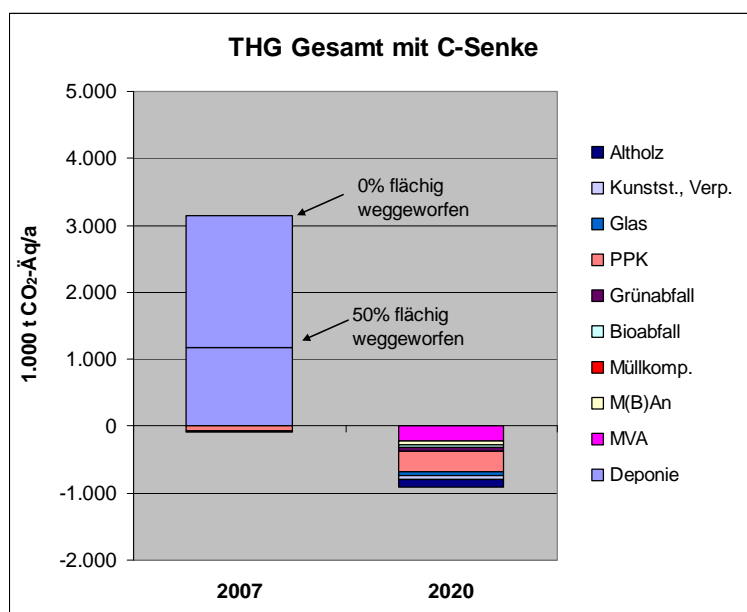


Abbildung 9.5 Gesamtergebnisse der THG-Bilanz Tunesien mit C-Senke

Tabelle 9.7 Gesamtergebnisse der THG-Bilanz Tunesien mit C-Senke

	2007	2020
	1.000 t CO ₂ -Äq/a	1.000 t CO ₂ -Äq/a
Deponie 50% flächig weggeworfen	1.176	0
Deponie 0% flächig weggeworfen	3.136	0
MVA	0	-214
M(B)An	0	-71
Müllkompostierung	0	0
Bioabfall	0	-36
Grünabfall	0	-53
PPK	-72	-300
Glas	0	-54
Kunststoffe, Verpackungsabfälle	-22	-74
Altholz	0	-116
Summe (Deponie 0% flächig)	3.041	-919
Summe (Deponie 50% flächig)	1.082	-919

Unabhängig davon, ob für Tunesien ein flächiges Wegwerfen von 0 % oder 50 % angenommen wird oder ob eine Kohlenstoffspeicherung (C-Senke) angerechnet wird verursacht die Deponierung der Abfälle die größten nachteiligen Effekte auf den Klimaschutz. Unter den günstigsten angenommenen Randbedingungen werden in Tunesien jährlich mehr als 1,1 Mio. t CO₂-Äq emittiert. Im ungünstigsten Fall sind es mit 3,8 Mio. t CO₂-Äq, mehr als das Dreifache.

Tunesien ist Non-Annex I Mitglied der United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) und hat 2001 seine erste Mitteilung über den nationalen Zustand vorgelegt (Tunesien 2001). Danach wurden im Jahr 1994 in Tunesien insgesamt 28,87 Mio. t CO₂-Äq freigesetzt. Der Anteil für den Sektor „Waste“ ist mit 1,031 Mio. t CO₂-Äq angegeben, dies entspricht rd. 3,6 % der gesamten THGE. Aktuellere nationale Mitteilungen liegen bislang nicht vor, ein Vergleich mit den hier ermittelten Emissionen ist durch die unterschiedlichen Bezugsjahre nur bedingt möglich. Der Wert für den Sektor „Waste“ liegt in der Größenordnung des hier für den günstigen Fall berechneten Wertes.

Würde in Tunesien in 2020 die Aufgabe der Deponierung und Einleitung einer Kreislaufwirtschaft erreicht werden, so würden sich folgende Gesamteinsparungen ergeben:

- 2,0 Mio. t CO₂-Äq/a (Tabelle 9.7: mit Berücksichtigung der C-Senke, Differenz zwischen Summe 2020 und 2007 Ist bei 50 % flächiger Ablagerung) bis
- 4,7 Mio. t CO₂-Äq/a (Tabelle 9.6: ohne Berücksichtigung der C-Senke, Differenz zwischen Summe 2020 und 2007 Ist bei 0 % flächiger Ablagerung)

Es ist nicht bekannt ob Tunesien ein freiwilliges Minderungsziel quantifiziert hat. Bezogen auf die gesamten nationalen THGE im Jahr 1994 liegen die möglichen Minderungsbeiträge zwischen 7 % (bei einer Einsparung von 2 Mio. t CO₂-Äq, s. o.) und 16 % (bei einer Einsparung von 4,7 Mio. t CO₂-Äq, s. o.).

9.2.2 Ergebnisse fossile energetische Ressourcen Tunesien

Abbildung 9.6 und Tabelle 9.8 zeigen die Gesamtergebnisse der Bilanz für die Schonung fossiler Ressourcen, ausgedrückt über den gesamten kumulierten fossilen Energieaufwand (KEA fossil).

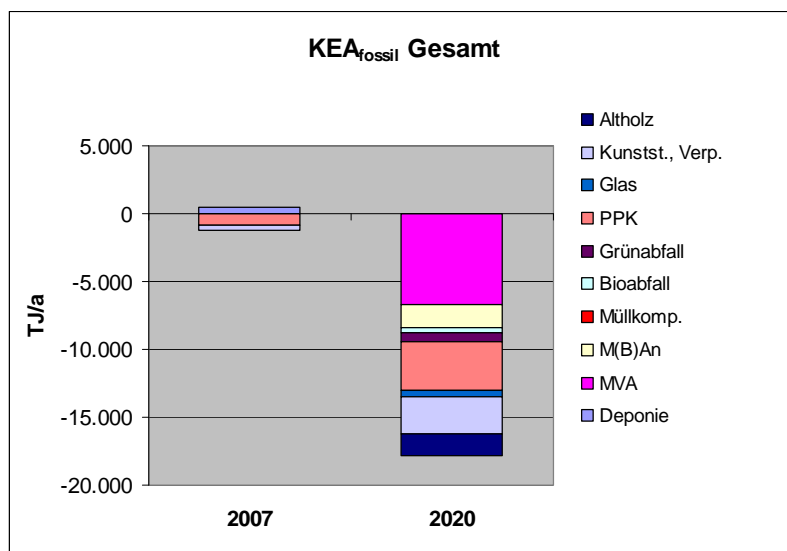


Abbildung 9.6 Gesamtergebnisse Standardbilanz Tunesien für KEA fossil

Tabelle 9.8 Gesamtergebnisse Standardbilanz Tunesien für KEA fossil

	2007	2020
	TJ/a	TJ/a
Deponie	455	0
MVA	0	-6.666
M(B)An	0	-1.763
Müllkompostierung	0	0
Bioabfall	0	-354
Grünabfall	0	-688
PPK	-840	-3.586
Glas	0	-423
Kunststoffe, Verpackungsabfälle	-348	-2.778
Altholz	0	-1.618
Summe	-733	-17.877

Im Szenario 2007 bewirkt das anteilige geringe Recycling von Wertstoffen auch nur einen geringen Beitrag zur Schonung energetischer Ressourcen. Demgegenüber besteht mit dem Szenario 2020 ein erhebliches Einsparpotenzial, der Beitrag zur Ressourcenschonung könnte um das 24-fache gesteigert werden.

9.3 Mexiko

Im Gegensatz zu Tunesien und der Türkei hat Mexiko eine kontrollierte Abfallwirtschaft erreicht. Abfälle werden nicht mehr wild deponiert, sondern geordnet abgelagert. Das

Abfallaufkommen ist nach (SEMARNAT, INE 2006a) für das Jahr 2005 mit 0,91 kg/(E*d) angegeben. Dies entspricht rd. 330 kg/(E*a) bzw. etwa 35,3 Mio. t/a. Bisher wurde das Abfallaufkommen weitgehend über Stichproben erhoben und über die Einwohnerzahl berechnet. Seit einiger Zeit bestehen in Mexiko intensive Bestrebungen Abfallwirtschafts- und -managementpläne zu entwickeln, im Zuge derer z.B. auch die Einrichtung einer quantitativen Erfassung des gesamten Abfallaufkommens angestrebt wird.

Im Ansatz hat sich in Mexiko auch die getrennte Erfassung und Verwertung von Wertstoffen entwickelt. Nach (SEMARNAT, INE 2006a) wurden im Jahr 2004 insgesamt etwa 7 % der gesamt anfallenden Abfälle recycelt. Den Hauptanteil an den Gesamt- abfällen nimmt mit 53 % die Organikfraktion ein. Organikabfälle wurden zu 3 % getrennt erfasst und verwertet, sie werden hier den Grünabfällen zugeordnet. Des Weiteren getrennt erfasste Wertstofffraktionen sind Papier (14 % im Restmüll zu 16 % getrennt erfasst), Glas (13 % von 6 % im Restmüll), Kunststoffe (8 % von 4 % im Restmüll) und Metalle (80 % von 3 % im Restmüll). Die daraus resultierenden Abfallströme für 2005 sind in Tabelle 9.9 dargestellt. Auch hier wurde wie bei Tunesien die Metallmenge innerhalb der Verpackungsabfälle im Szenario 2020 vereinfacht konstant gehalten, da eine Metallfraktion in dem zugrunde liegenden Szenario 2020 I der EU 27 nicht enthalten ist.

Bei den des Weiteren im Restabfall enthaltenen 19 % sonstige handelt es sich überwiegend um Abfälle aus Holz, Leder, Gummi und Textilien. Materialien, die anteilig recycelbar wären, allerdings unter größerem Aufwand. Potenziell wird in (SEMARNAT, INE 2006a) abgeschätzt, dass insgesamt etwa 28 % des gesamt anfallenden Abfalls einfach für ein Recycling zugänglich wären, dies entspräche rd. 10 Mio. t/a.

Tabelle 9.9 Abfallströme in den beiden Szenarien für Mexiko

	2005		2020	
	1.000 t/a	%	1.000 t/a	%
Deponie	32.766	92,7%	0	0%
MVA	0	0%	12.797	36,2%
M(B)An	0	0%	4.436	12,5%
Müllkompostierung	0	0%	0	0%
Bioabfall (Biotonne)	0	0%	4.396	12,4%
Grünabfall (Gesamt)	562	1,6%	4.364	12,3%
PPK	792	2,2%	4.797	13,6%
Glas	276	0,8%	1.639	4,6%
Kunststoffe, Verpackungsabf.	962	2,7%	1.339	3,8%
Altholz	0	0%	1.590	4,5%
Summe	35.358	100,0%	35.358	100,0%

Die zum Stand 2005 abgelagerte Menge beläuft sich auf etwa 32,8 Mio. t/a. Die Ablagerung erfolgt zu 20 % auf geordneten Deponien mit Gasfassung und zu 80 % auf geordneten Deponien ohne Gasfassung. Die effektive Gasfassungsrate wird wie im Standard für die EU 27 mit 20 % angenommen. Das gefasste Deponiegas wird in Mexiko zu rd. 80 % in BHKW genutzt, etwa 20 % des gefassten Deponiegases werden über Fackel entsorgt (Aguilar 2009). Als Sensitivität wird für Mexiko der Fall betrachtet, dass alle Deponien über eine Gasfassung verfügen.

9.3.1 Ergebnisse Treibhausgase Mexiko

In Abbildung 9.7 und Tabelle 9.10 sind die Gesamtergebnisse der Bilanz für die Treibhausgase dargestellt. In Abbildung 9.8 und Tabelle 9.11 die Gesamtergebnisse der THG-Bilanz unter Anrechnung einer C-Senke für die Deponierung und anteilige Verbringung von Grünabfallkomposten auf landwirtschaftliche Flächen.

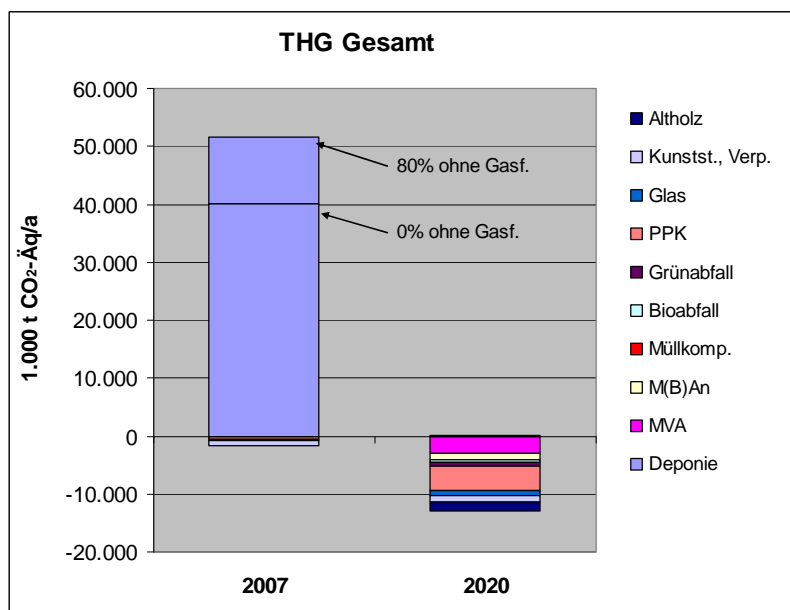


Abbildung 9.7 Gesamtergebnisse der Standardbilanz Mexiko für THG

Tabelle 9.10 Gesamtergebnisse der Standardbilanz Mexiko für THG

	2005	2020
	1.000 t CO ₂ -Äq/a	1.000 t CO ₂ -Äq/a
Deponie 80% ohne Gasfassung	51.619	0
Deponie 0% ohne Gasfassung	40.211	0
MVA	0	-3.033
M(B)An	0	-1.004
Müllkompostierung	0	0
Bioabfall	0	-456
Grünabfall	11	-701
PPK	-579	-4.238
Glas	-128	-762
Kunststoffe, Verpackungsabfälle	-853	-1.166
Altholz	0	-1.647
Summe (Deponie 80% ohne Gasfassung)	50.070	-13.007
Summe (Deponie 0% ohne Gasfassung)	38.661	-13.007

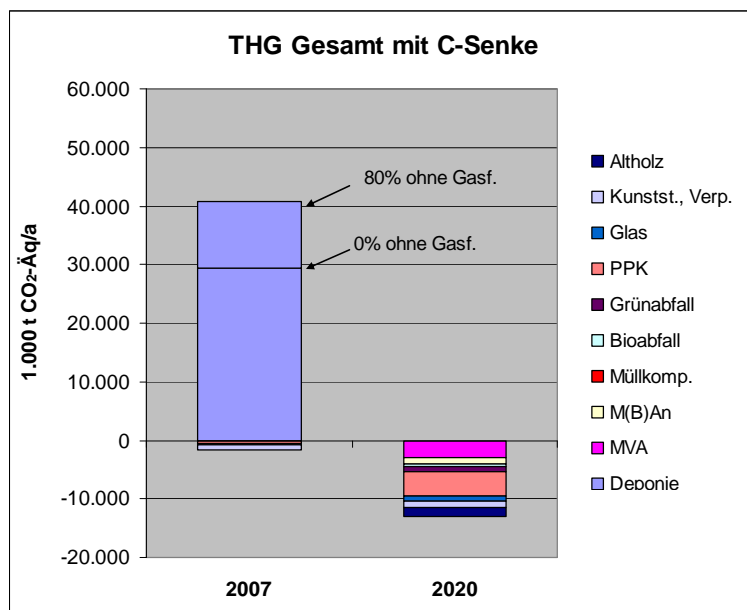


Abbildung 9.8 Gesamtergebnisse der THG-Bilanz Mexiko mit C-Senke

Tabelle 9.11 Gesamtergebnisse der THG-Bilanz Mexiko mit C-Senke

	2005	2020
	1.000 t CO ₂ -Äq/a	1.000 t CO ₂ -Äq/a
Deponie 80% ohne Gasfassung	40.733	0
Deponie 0% ohne Gasfassung	29.324	0
MVA	0	-3.033
M(B)An	0	-1.004
Müllkompostierung	0	0
Bioabfall	0	-513
Grünabfall	1	-750
PPK	-579	-4.238
Glas	-128	-762
Kunststoffe, Verpackungsabfälle	-853	-1.166
Altholz	0	-1.647
Summe (Deponie 80% ohne Gasfassung)	39.174	-13.114
Summe (Deponie 0% ohne Gasfassung)	27.765	-13.114

Unabhängig davon, ob für Mexiko die Gasfassung auf Deponien wie derzeit 20 % beträgt oder zu 100 % angenommen wird oder ob eine Kohlenstoffspeicherung (C-Senke) angerechnet wird verursacht die Deponierung der Abfälle die größten nachteiligen Effekte auf den Klimaschutz. Unter den günstigsten angenommenen Randbedingungen mit vollständiger Gasfassung und unter Anrechnung der C-Senke werden in Mexiko jährlich knapp 28 Mio. t CO₂-Äq emittiert. Ohne Anrechnung der C-Senke und bei der gegebenen nur 20 %igen Gasfassung liegen die jährlichen THG-Emissionen mit rd. 50 Mio. t CO₂-Äq fast doppelt so hoch.

Mexiko ist Non-Annex I Mitglied der UNFCCC und hat mittlerweile bereits seine dritte Mitteilung über den nationalen Zustand vorgelegt (SEMARNAT, INE 2006b). Danach

wurden im Jahr 2002 in Mexiko insgesamt rd. 643 Mio. t Treibhausgasemissionen freigesetzt. Der Anteil für den Sektor „waste“ ist mit 10 % der Gesamtemissionen bzw. rd. 65,6 Mio. t CO₂-Äq angegeben. Unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Bezugsjahre entspricht dieser Wert grob dem hier ermittelten Wert ohne Anrechnung einer C-Senke. Die C-Senke wird auch nach Kyoto-Protokoll nicht für die Nationale Berichtserstattung anerkannt (IPCC 2006).

Würde in Mexiko in 2020 die vollständige Aufgabe der Deponierung und die weitere Etablierung einer Kreislaufwirtschaft erreicht werden, so würden sich folgende Gesamteinsparungen ergeben:

- 41 Mio. t CO₂-Äq/a (Tabelle 9.11: mit Berücksichtigung der C-Senke, Differenz zwischen Summe 2020 und 2007 Ist bei 0 % ohne Gasfassung) bis
- 63 Mio. t CO₂-Äq/a (Tabelle 9.10: ohne Berücksichtigung der C-Senke, Differenz zwischen Summe 2020 und 2007 Ist bei 80 % ohne Gasfassung)

Es ist nicht bekannt ob Mexiko ein freiwilliges Minderungsziel quantifiziert hat. Bezogen auf die gesamten nationalen THGE im Jahr 2002 liegen die möglichen Minderungsbeiträge zwischen etwa 6 % (bei einer Einsparung von 41 Mio. t CO₂-Äq, s. o.) und 10 % (bei einer Einsparung von 63 Mio. t CO₂-Äq, s. o.).

9.3.2 Ergebnisse fossile energetische Ressourcen Mexiko

Abbildung 9.9 und Tabelle 9.12 zeigen die Gesamtergebnisse der Bilanz für die Schonung fossiler Ressourcen, ausgedrückt über den gesamten kumulierten fossilen Energieaufwand (KEA fossil).

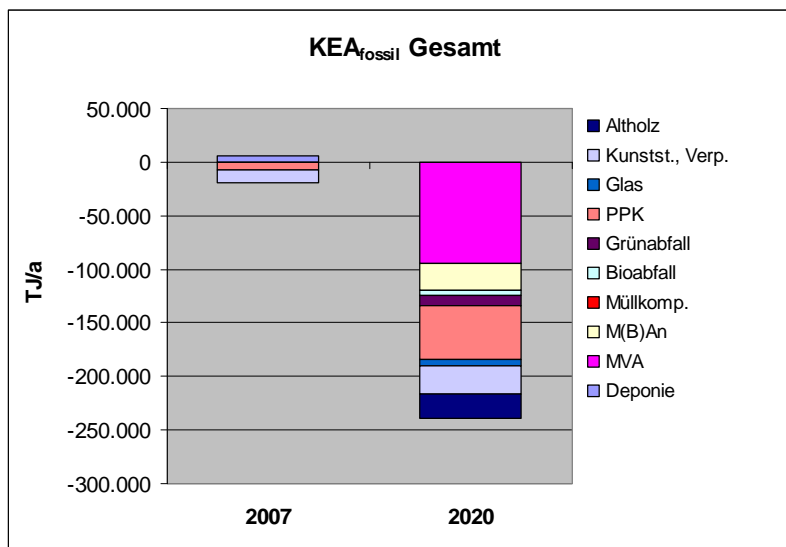


Abbildung 9.9 Gesamtergebnisse Standardbilanz Mexiko für KEA fossil

Tabelle 9.12 Gesamtergebnisse Standardbilanz Mexiko für KEA fossil

	2005	2020
	TJ/a	TJ/a
Deponie	6.278	0
MVA	0	-94.277
M(B)An	0	-24.939
Müllkompostierung	0	0
Bioabfall	0	-5.008
Grünabfall	-76	-9.729
PPK	-6.789	-50.719
Glas	-1.006	-5.980
Kunststoffe, Verpackungsabfälle	-10.832	-25.166
Altholz	0	-22.889
Summe	-12.424	-238.707

Im Szenario 2007 bewirkt das anteilige geringe Recycling von Wertstoffen auch nur einen geringen Beitrag zur Schonung energetischer Ressourcen. Demgegenüber besteht mit dem Szenario 2020 ein erhebliches Einsparpotenzial, der Beitrag zur Ressourcenschonung könnte um das 19-fache gesteigert werden.

10 Zusammenfassung

10.1 Ziele und Vorgehensweise

Durch die Ratifizierung des Kyoto-Protokolls hat Deutschland sich verpflichtet jährlich die deutschen Treibhausgasemissionen an die United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) zu berichten. Dies erfolgt im Nationalen Inventarbericht (NIR), der nach Common Reporting Format (CRF) einer ganz bestimmten Ordnung folgen muss. Aspekte der Abfallwirtschaft sind danach nur im Sektor „Abfall“ zu finden. Dieser Sektor beinhaltet aber nur die THGE, die mit der Deponierung, der biologischen Behandlung (inkl. biologische Behandlung in M(B)An) und der Verbrennung ohne Energieerzeugung verbunden sind. Der Nutzen aus der stofflichen oder energetischen Verwertung von Abfall ist dagegen in anderen Sektoren („Energie“, „Industrielle Prozesse“) integriert. Diese Methodik der Berichterstattung ist für das Ziel der Nationalen Inventarberichte, die Kontrolle der Einhaltung der nationalen Reduktionsziele, auch zweckdienlich. Sie ist allerdings nicht geeignet, um die Erfolge der Abfallwirtschaft als eine Dienstleistungsbranche darzustellen, da die in den anderen Sektoren repräsentierten Nutzen der Abfallwirtschaft nicht eindeutig ausgewiesen sind.

In dieser Studie wird zur Ermittlung der Klimaschutzpotenziale der Abfallwirtschaft am Beispiel von Siedlungsabfällen und Altholz die Methode der Ökobilanzierung angewendet. Die Ökobilanz untersucht sämtliche Prozessschritte wie Sammlung, Aufbereitung und Verwertung von Sekundärprodukten ab Abfallanfall und bezieht auch die jeweils erzeugten Nutzen wie Substitution von Primärrohstoffen und Energie mit ein.

Insgesamt werden in dieser Studie die aktuellen Beiträge der Siedlungsabfallwirtschaft in Deutschland, der EU 27 und als erste Bestandsaufnahme der Länder Türkei, Tunesien und Mexiko durch die getrennte Erfassung sowie stoffliche und energetische Verwertung von Wertstofffraktionen aus dem Siedlungsabfall bilanziert. Zusätzlich wird, wegen der besonderen Bedeutung für den Klimaschutz, die Fraktion Altholz betrachtet. Dies für Deutschland dabei nicht nur beschränkt auf die Siedlungsabfallwirtschaft, sondern ausgedehnt auf das Altholzaufkommen aus allen Herkunftsbereichen. Die möglichen Optimierungen aus der Sicht des Klimaschutzes werden in Szenarien für das Jahr 2020 ermittelt. Für die Abfallwirtschaft in Deutschland werden die Optimierungsmöglichkeiten getrennt nach technischen Maßnahmen (Szenario 2020 T) und Abfallstrom lenkenden Maßnahmen (Szenario 2020 A) sowie als Kombination dieser Szenarien (2020 AT) bilanziert. In der EU 27 und insbesondere in den drei Beispielländern spielt die Deponierung noch eine wesentliche oder gar dominierende Rolle. Für diese Länder liegt das Hauptaugenmerk der Optimierungsszenarien für 2020 auf der vollständigen Aufgabe der Deponierung. Diese Maßnahme, die infolge der Vermeidung von Methanemissionen mit maßgeblichen Minderungsbeiträgen für den Klimaschutz verbunden ist, ist in Deutschland bereits abgeschlossen (Öko-Institut/IFEU 2005).

Im Szenario mit technischen Maßnahmen für Deutschland werden insbesondere Wirkungsgradverbesserungen in den Anlagen zur energetischen Nutzung und teilweise beim stofflichen Recycling (vgl. Kapitel 4.3 bis 4.10) angenommen. Die Mengenströme der Abfälle bleiben dabei konstant. Als Abfallstrom lenkende Maßnahmen werden die Steigerung der Getrenntsammlung von Wertstoffen aus dem Hausmüll und die

Umlenkung einzelner Abfallströme innerhalb der Behandlungswege bilanziert (vgl. Kapitel 4.1).

Ziel der Studie ist, die Systemleistung der Siedlungsabfallwirtschaft durch die Summe der Einzelfractionen festzustellen. Damit können sowohl die Beiträge der einzelnen Abfallfraktionen wie Altpapierverwertung oder Restmüllentsorgung ausgewertet werden als auch die Gesamtleistung der Abfallwirtschaft, nicht aber bestimmte Behandlungstechniken. Die Leistungen der einzelnen Behandlungstechniken wie beispielsweise der MVA finden sich deshalb zusätzlich zu der direkten Verbrennung bei den verschiedenen Behandlungswegen wie M(B)An, LVP, Bioabfälle etc. wieder.

Aufgrund der Fragestellung ist die Bilanz auf die Kriterien Klimaschutz und Einsparung von energetischen Ressourcen begrenzt. Damit werden wichtige Beiträge der Siedlungsabfallwirtschaft wie die Einsparung mineralischer Ressourcen oder die Umweltwirkungen Versauerung und Eutrophierung ausgeblendet. Auch die Ausschleusung von Schadstoffen aus der belebten Umwelt durch die MVA bleibt dadurch unberücksichtigt (vgl. Öko-Institut 2008d). Für eine umfassende, abschließende Bewertung über geeignete Maßnahmen zur Weiterentwicklung der Siedlungsabfallwirtschaft wäre eine umfassende Ökobilanz unter Berücksichtigung der gesamten Umweltleistungen notwendig.

Auch sollen und können die Szenarien für 2020 keine konkreten Handlungsempfehlungen für die Weiterentwicklung der Siedlungsabfallwirtschaft sein. Hierzu wären neben der Ausweitung der Bilanz auf weitere Umweltwirkungen insbesondere auch detaillierte Untersuchungen zur technischen Machbarkeit, den Umsetzungsmöglichkeiten wie z.B. Standortbedingungen und zu den Kosten der Maßnahmen notwendig. Diese Aspekte sind jedoch nicht Bestandteil dieser Untersuchung. Vielmehr werden die Potenziale der Siedlungsabfallwirtschaft durch die Ausschöpfung von Optimierungsmaßnahmen, die sich an den machbaren Obergrenzen orientieren, ausgelotet und aufgezeigt. Die letztendliche Eignung und Möglichkeit einer konkreten Umsetzung, sowie deren Wirtschaftlichkeit ist grundsätzlich im Einzelfall zu prüfen.

Um die Robustheit der Aussagen auch unter Berücksichtigung von Datenunsicherheiten zu analysieren, werden für die THG-Bilanz in Deutschland Sensitivitätsanalysen durchgeführt.

10.2 Ergebnisse

Bei der Bewertung der Ergebnisse muss berücksichtigt werden, dass innerhalb der Abfallwirtschaft nur die beiden Bereiche

- Siedlungsabfallwirtschaft und
- Altholzrecycling (für Deutschland auch aus Bau- und Abbruchabfällen, Verpackungen, etc.)

bilanziert wurden.

Die Abfallwirtschaft insgesamt würde vermutlich deutlich höhere Potenziale aufweisen wie die Relation der Abfallmengen für Deutschland in 2006 nahe legt:

- Abfallaufkommen insgesamt: 372,9 Mio. t
- Betrachtete Siedlungsabfälle 42,7 Mio. t (Anteil an der Gesamtmenge 11,4 %)
- Altholzaufkommen 6,9 Mio. t (Anteil an der Gesamtmenge 1,9 %).

Diese Relationen treffen auch für die EU 27 ungefähr zu.

10.2.1 Ergebnisse der Bilanz für Deutschland

Nachfolgend werden die wichtigsten Ergebnisse der Untersuchung für Deutschland kurz dargestellt.

Treibhausgase

Bereits heute trägt die Siedlungsabfallwirtschaft zusammen mit der Verwertung von Altholz mit einer Einsparung von ca. 18 Mio. t CO₂-Äq zum Klimaschutz bei. 1990 war die Siedlungsabfallwirtschaft noch als Verursacher von ca. 38 Mio. t CO₂-Äq an den Gesamtemissionen in Deutschland beteiligt. Die Gesamtreduktion seit 1990 beträgt heute demzufolge etwa 56 Mio. t CO₂-Äq/a³⁸ bzw. etwa 670 kg CO₂-Äq/(E*a). Dies entspricht rund 24 % an dem gemäß der nationalen Berichterstattung von 1990 bis 2006 gesamt erreichten Rückgang von 235 Mio. t CO₂-Äq/a oder 2,8 t CO₂-Äq/(E*a).

Unter der Annahme, dass sämtliche bilanzierten Optimierungsmaßnahmen für das Jahr 2020 umgesetzt werden und unter Einbeziehung der Altholzverwertung, erhöht sich der Beitrag der Siedlungsabfallwirtschaft zur Einsparung von THGE auf etwa 65 Mio. t CO₂-Äq/a³⁹ bzw. 790 kg CO₂-Äq/(E*a). Bis 2020 strebt Deutschland eine Minderung der THGE um 40 % gegenüber 1990 an. Das entspricht insgesamt 486 Mio. t CO₂-Äq/a bzw. 5,9 t CO₂-Äq/(E*a). Der mögliche Beitrag der Siedlungsabfallwirtschaft an dieser angestrebten Minderung liegt mit den zuvor genannten Zahlen bei rund 13 %.

Zu den Erfolgen der Siedlungsabfallwirtschaft beim Klimaschutz tragen alle Abfallfraktionen bei, sowohl die Nutzung des Restmülls in MVAn und M(B)An als auch die getrennte Erfassung und Verwertung von Wertstoffen. Ebenso weist die Verwertung des gesamt in Deutschland anfallenden Altholzes einen erheblichen Beitrag aus (siehe Tabelle 10.1).

Tabelle 10.1 Gesamtergebnisse der Standardbilanz für THG in Deutschland, unterteilt nach den Beiträgen der Verwertung von Restmüll, getrennt erfassten Wertstoffen und Altholz

	2006 Ist	2020 T	2020 A	2020 AT
	1.000 t CO ₂ -Äq/a	1.000 t CO ₂ -Äq/a	1.000 t CO ₂ -Äq/a	1.000 t CO ₂ -Äq/a
Entsorgung Restmüll	-2.344	-6.009	-1.435	-3.861
Verwertung getrennt erfasster Wertstoffe	-8.926	-11.589	-11.356	-15.308
Altholzverwertung	-6.503	-7.897	-6.834	-8.299
Summe	-17.773	-25.496	-19.625	-27.468

Die bereits im Jahr 2006 durch die Siedlungsabfallwirtschaft und Altholzverwertung eingesparten THGE von ca. 18 Mio. t CO₂-Äq können sehr anschaulich mit den THGE aus dem Pkw-Verkehr verglichen werden: Durchschnittlich emittiert ein Pkw derzeit etwa 180 g CO₂/km. Geht man davon aus, dass die durchschnittliche Fahrleistung eines Pkw ca. 13.000 km/a beträgt, werden durch die Leistungen der Siedlungsabfall-

³⁸ Es ist zu berücksichtigen, dass bei der Bilanz für 1990 Altholz nicht mit untersucht wurde. Ohne die Altholzverwertung liegt die Einsparung bei ca. 49 Mio. t CO₂-Äq/a (vgl. auch Kap. 7).

³⁹ Ohne die Altholzverwertung liegt die Einsparung bei ca. 57 Mio. t CO₂-Äq/a (vgl. Fußnote 38).

wirtschaft in Deutschland etwa die CO₂-Emissionen von 7,7 Mio. Pkw ausgeglichen. Dies entspricht immerhin knapp 19 % des gesamten derzeitigen Bestandes in Deutschland von 41,3 Mio. Pkw (KBA 2009).

Die Sensitivitätsanalysen zeigen, dass die Ergebnisse der Standardbilanz als robust einzustufen sind. Auch wenn die Schwankungen unter Berücksichtigung aller untersuchten Einzelanalysen durchaus beachtenswert sind, bleiben die Ergebnisse im Trend stabil.

Fossile energetische Ressourcen

Zur Einsparung von fossilen energetischen Ressourcen, ausgedrückt als KEA_{fossil} trägt die deutsche Siedlungsabfallwirtschaft zusammen mit der Altholzverwertung heute bereits mit ca. 325 PJ/a bei. Bis 2020 kann dieser Beitrag, die Umsetzung von Szenario 2020 AT unterstellt, auf 455 PJ gesteigert werden.

Im Jahr 2006 betrug der Gesamtverbrauch an fossiler Primärenergie in Deutschland etwa 12.000 PJ (DIW 2007). Bei 82,4 Mio. Einwohnern in Deutschland entspricht dies einem durchschnittlichen Verbrauch von 146 GJ je Einwohner und Jahr. Der Beitrag der Siedlungsabfallwirtschaft und der Altholzverwertung entspricht demnach 2006 dem durchschnittlichen Verbrauch von etwa 2 Mio. Einwohnern. Bezieht man auch die Einsparung aus dem Szenario 2020 AT auf den heutigen Durchschnittsverbrauch je Einwohner können 3 Mio. Einwohner ihren Bedarf dadurch decken.

Tabelle 10.2 zeigt die Beiträge der Nutzung des Restmülls in MVAn und M(B)An, der getrennten Erfassung und Verwertung von Wertstoffen sowie des Altholzrecyclings zur Einsparung von fossilen, energetischen Ressourcen.

Tabelle 10.2 Gesamtergebnisse der Standardbilanz für die Einsparung von fossilen, energetischen Ressourcen in Deutschland, unterteilt nach den Beiträgen der Verwertung von Restmüll, getrennt erfassten Wertstoffen und Altholz

	2006 Ist	2020 T	2020 A	2020 AT
	TJ/a	TJ/a	TJ/a	TJ/a
Entsorgung Restmüll	-96.176	-139.076	-63.881	-93.110
Verwertung getrennt erfasster Wertstoffe	-149.393	-193.640	-195.391	-254.332
Altholzverwertung	-79.140	-102.433	-83.164	-107.641
Summe	-324.708	-435.148	-342.436	-455.083

Abweichungen in den Summen ergeben sich durch Rundungsungenauigkeiten

10.2.2 Ergebnisse der Bilanz für die EU 27

Nachfolgend werden die wichtigsten Ergebnisse der Untersuchung für die EU 27 dargestellt.

Treibhausgase

Die Ergebnisse der Bilanz für die Siedlungsabfallwirtschaft inklusive Altholzrecycling in der EU 27 basieren nicht auf einer vergleichbaren Datenqualität und -tiefe wie die Bilanzen für Deutschland. Dennoch können die Ergebnisse als gute Orientierung für die Potenziale der EU 27 angesehen werden.

Der Beitrag der Siedlungsabfallwirtschaft inklusive Altholzrecycling der EU 27 zu den THGE ist auch im Jahr 2007 noch stark durch die Deponierung von ca. 106 Mio. t Siedlungsabfällen geprägt. Diese Menge entspricht über 40 % der betrachteten Gesamtmenge an Siedlungsabfall und Altholz von etwa 249 Mio. t. Da verlässliche Daten zum durchschnittlichen Deponiestandard, v. a. bezüglich der effektiven Gasfassungsrate in Europa nicht vorliegen, wurden hierfür zwei unterschiedliche Szenarien berechnet: Unter Annahme einer durchschnittlichen Gasfassung von effektiv 20 %, verursachen europäische Deponien Methanemissionen in der Summe von etwa 110 Mio. t CO₂-Äq/a. Wird der Wert der effektiven Gasfassung mit durchschnittlich 40 % angesetzt, verbleibt eine Belastung von etwa 83 Mio. t CO₂-Äq/a. Insgesamt, also auch unter Berücksichtigung der Verwertung und Entsorgung über MVA und M(B)An, verursacht die Siedlungsabfallwirtschaft inkl. Altholzrecycling in der EU 27 im Jahr 2007 je nach tatsächlicher Gasfassungsrate eine THG- Belastung von ca. 51 Mio. bis 78 Mio. t CO₂-Äq/a.

In den beiden voneinander unabhängigen Szenarien für 2020 wurde untersucht, wie sich durch Optimierungsmaßnahmen diese THG-Belastung in einen Beitrag zur Einsparung von THGE umwandeln lässt. Dazu wurde in beiden Szenarien die Abkehr von der Deponierung von unvorbehandeltem Siedlungsabfall zugrunde gelegt. Im Szenario 2020 I werden die bislang deponierten Mengen mit Ausnahme von Altholz auf alle Abfallfraktionen bzw. Entsorgungswege entsprechend ihrem derzeitigen Anteil aufgeteilt. Für Altholz wird eine Steigerung der Recyclingquote von 65 % auf 90 % angenommen. Im Szenario 2020 II werden die bislang deponierten Mengen außer Altholz so umverteilt wie es der angenommenen Situation in Deutschland im Szenario 2020 T entspricht, also der Ist Situation in Deutschland, aber definitiv ohne eine Deponierung unvorbehandelter Abfälle. Für Altholz werden die Annahmen aus 2020 I übernommen.

Ausgewählte Ergebnisse der Bilanzierung zeigt Tabelle 10.3.

Tabelle 10.3 Gesamtergebnisse der Standardbilanz für THG in der EU 27, unterteilt nach den Beiträgen der Verwertung von Restmüll, getrennt erfassten Wertstoffen und Altholz

	2007	2020 I	2020 II
	1.000 t CO ₂ -Äq/a	1.000 t CO ₂ -Äq/a	1.000 t CO ₂ -Äq/a
Deponie 20% eff.	109.930	0	0
Deponie 40% eff.	83.112	0	0
Entsorgung Restmüll	-6.672	-28.454	-24.823
Verwertung getrennt erfasster Wertstoffe	-18.623	-50.332	-77.986
Altholzverwertung	-6.665	-11.608	-11.608
Summe (Deponie 20%)	77.970	-90.395	-114.418
Summe (Deponie 40%)	51.152	-90.395	-114.418

Abweichungen in den Summen ergeben sich durch Rundungsgenauigkeiten

Die EU 27 hat kein gemeinsames Kyoto-Ziel. Allerdings haben sich die Mitgliedstaaten in einem „Klimaaktionsbündnis“ darauf verständigt ihre THGE bis 2020 um 20 % gegenüber 1990 zu senken (EEA 2009). Ausgehend von der Belastung im Jahr 2007

müssten die THGE in der EU 27 zur Zielerreichung um weitere 600 Mio. t CO₂-Äq/a gesenkt werden.

Die möglichen Minderungspotenziale für das Jahr 2020 gegenüber 2007 für die EU 27 liegen je nach Szenario und angenommener effektiver Gasfassungsrate zwischen 142 und 192 Mio. t CO₂-Äq/a. Dies entspricht 24 % bzw. 32 % bezogen auf die gemäß dem gemeinsamen Minderungsziel 2020 noch zu reduzierenden 600 Mio. t CO₂-Äq.

Aus Sicht des Klimaschutzes würde ein striktes Deponieverbot für unbehandelte Abfälle nach dem Vorbild von Deutschland, Österreich oder der Schweiz die entscheidenden Beiträge zur Verbesserung der Klimaschutzbilanz der Abfallwirtschaft liefern und ist eine notwendige Voraussetzung für eine signifikante Optimierung in der EU 27.

Fossile energetische Ressourcen

Zur Einsparung von fossilen energetischen Ressourcen, ausgedrückt als KEA_{fossil} trägt die europäische Siedlungsabfallwirtschaft, zusammen mit der Altholzverwertung auch im Jahr 2007 mit ca. 772 PJ/a bei. Im Gegensatz zur Klimabilanz machen sich die Methanemissionen der Deponie bei den fossilen energetischen Ressourcen nicht bemerkbar.

Bis 2020 kann dieser Beitrag, die Umsetzung von Szenario 2020 II unterstellt, auf 2.236 PJ/a gesteigert werden.

Tabelle 10.4 Gesamtergebnisse der Standardbilanz für die Einsparung von fossilen, energetischen Ressourcen in der EU 27, unterteilt nach den Beiträgen der Verwertung von Restmüll, getrennt erfassten Wertstoffen und Altholz

	2007	2020 I	2020 II
	TJ/a	TJ/a	TJ/a
Deponie	20.268	0	0
Verwertung Restmüll	-375.716	-840.255	-711.048
Verwertung getrennt erfasster Wertstoffe	-327.430	-834.078	-1.363.987
Altholzverwertung	-89.005	-161.326	-161.326
Summe	-771.883	-1.835.659	-2.236.361

Im Jahr 2007 betrug der Gesamtverbrauch an fossiler Primärenergie in der EU 27 ungefähr 70.000 PJ (Eurostat 2009, BMU 2008)⁴⁰. Bei 495,1 Mio. Einwohnern in der EU 27 (Eurostat 2009) entspricht dies einem durchschnittlichen Verbrauch von 141 GJ je Einwohner und Jahr. Der Beitrag der Siedlungsabfallwirtschaft und der Altholzverwertung in der EU 27 entspricht demnach 2007 dem durchschnittlichen Verbrauch von etwa 5,5 Mio. Einwohnern. Bezieht man auch die Einsparung aus dem Szenario 2020 II auf den heutigen Durchschnittsverbrauch je Einwohner können etwa 16 Mio. Einwohner ihren Bedarf dadurch decken.

⁴⁰ Nach (Eurostat 2009) lag der gesamte Primärenergieverbrauch in der EU 27 bei 75.628 PJ. Der Anteil erneuerbarer Energien daran lag nach (BMU 2008) 2006 bei 6,7 %. Für die Berechnung für 2007 wurde der Anteil an nicht erneuerbarer Energie mit 93 % angenommen.

10.2.3 Ergebnisse der Bilanzen für die Türkei, Tunesien und Mexiko

Für die ausgewählten Länder Türkei, Tunesien und Mexiko liegen nur sehr eingeschränkt Daten vor. In diesen Ländern dominiert die Deponierung. In der Türkei und in Tunesien ist dabei auch noch die ungeordnete Deponierung von Abfällen üblich. In Mexiko ist es dagegen gelungen zumindest eine geordnete Abfallwirtschaft zu etablieren.

Die Methanemissionen aus geordneter und ungeordneter Deponierung dominieren daher die Ergebnisse der THG-Bilanz 2007 bei allen drei Ländern. Bei der ungeordneten Deponierung muss zwischen flächig weggeworfenen Abfällen und wie in Deponien geschichteten Abfällen unterschieden werden. Bei flächigem Wegwerfen wird infolge der aeroben Bedingungen nur wenig Methan gebildet. An diesem Beispiel kommt insbesondere schwerwiegend zum Tragen wie wichtig es ist, neben dem Klimaschutz andere Umweltwirkungen nicht aus den Augen zu verlieren. Eine ungeordnete Ablagerung von Abfällen ist mit gravierenden Umweltbelastungen für die Schutzgüter Wasser, Boden, Luft verbunden und stellt ein hohes Gefährdungsrisiko für die Allgemeinheit dar.

Auch bei den drei Ländern wurde für 2020 von einer Aufgabe der Deponierung ausgegangen. Die Szenarien entsprechen bezüglich der Verteilung der bislang deponierten Mengen den Annahmen des Szenarios 2020 I bei der EU 27.

Die wichtigsten Daten und Ergebnisse der drei Länder, die im Wesentlichen durch die Deponierung geprägt sind, zeigt Tabelle 10.5. Darin sind die Endergebnisse der THG-Bilanzen danach unterschieden, ob anteilig abgelagerte Abfälle flächig weggeworfen wurden oder nicht. Insofern dies der Fall ist, ergeben sich zwar geringere THG-Belastungen, aber wie erwähnt schwerwiegend höhere negative Auswirkungen auf die Umwelt und die menschliche Gesundheit. Für Mexiko, das Land in dem als einziges eine geordnete Ablagerung erfolgt, sind die Ergebnisse der THG-Bilanz danach unterschieden, inwiefern die geordneten Deponien über eine Gasfassung verfügen. Ebenfalls in der Tabelle aufgeführt ist das Ergebnis der Schonung fossiler Ressourcen. Da entsprechende Vergleichswerte für den Verbrauch an Primärenergie in den drei Ländern nicht verfügbar sind, kann hier nur gezeigt werden, dass eine Optimierung 2020 zu beträchtlich höheren Einsparungen führt.

Tabelle 10.5 Überblick der wichtigsten Daten und Ergebnisse für die Länder Türkei, Tunesien und Mexiko

	Türkei		Tunesien		Mexiko	
	2007	2020	2007	2020	2007	2020
Abfallmengen in 1.000 t/a						
Gesamtabfall	30.000		2.500		35.358	
davon direkt abgelagert	25.000	0	2.375	0	32.766	0
Ergebnisse Standardbilanz für THG in 1.000 t CO₂-Äq/a						
Summe (0% flächig weggeworfen)	36.179	-10.882	3.825	-911		
Summe (anteilig flächig weggeworfen*)	23.803	-10.882	-1865	-911		
Summe (80% ohne Gasfassung)					50.070	-13.007
Summe (0% ohne Gasfassung)					38.661	-13.007
Ergebnisse Standardbilanz für KEA fossil in TJ/a						
Summe	-46.073	-220.978	-733	-18.458	-12.424	-262.188

* Türkei 30 %, Tunesien 50 %; in beiden Ländern ist bislang keine Gasfassung gegeben

Die Türkei wurde 2004 rechtskräftiges Annex I Mitglied der UNFCCC, ein Minderungsziel wurde jedoch bis zur endgültigen Ratifizierung des Kyoto-Protokolls im Februar 2009 nicht vereinbart. Im Jahr 2007 beliefen sich die gesamten THGE gemäß dem Nationalem Inventarbericht auf 373 Mio. t CO₂-Äq, die des Sektors „Abfall“ auf 32 Mio. t CO₂-Äq. Würden die Maßnahmen des Szenarios 2020 ergriffen, könnte die Türkei ihre THGE um bis zu 13 % mindern.

Tunesien ist Non-Annex I Mitglied der UNFCCC. Der bislang einzige nationale Inventarbericht wurde für 1994 vorgelegt. Danach wurden insgesamt in Tunesien rund 29 Mio. t CO₂-Äq emittiert, aus dem Sektor „Abfall“ etwa 1 Mio. t CO₂-Äq. Würden die Maßnahmen des Szenarios 2020 umgesetzt, könnte Tunesien seine THGE um bis zu 16 % mindern.

Auch Mexiko ist Non-Annex I Mitglied der UNFCCC hat aber mittlerweile bereits den dritten nationalen Inventarbericht vorgelegt. Nach dem Aktuellsten für das Jahr 2002 wurden in Mexiko insgesamt 643 Mio. t CO₂-Äq freigesetzt, aus dem Sektor „Abfall“ 65,6 Mio. t CO₂-Äq. Würden in Mexiko die Maßnahmen des Szenarios 2020 verwirklicht werden, könnte das Land seine gesamten THGE um bis zu 10 % reduzieren.

10.3 Zusammenfassende Kommentierung der Ergebnisse

Ein direkter Vergleich zwischen den Ergebnissen für Deutschland, die EU 27 und die drei untersuchten Länder ist nicht unmittelbar möglich, da jeweils unterschiedliche Rahmenbedingungen zugrunde liegen und je nach verfügbaren Informationen die Vergleiche verschiedene Bezugsgrößen beinhalten.

Dennoch kann qualitativ zusammenfassend gesagt werden, dass generell der Ausstieg aus der Deponierung einen entscheidenden Beitrag zum Klimaschutz leistet. In Deutschland ist dies bereits geschehen, der Minderungserfolg der Siedlungsabfallwirtschaft liegt bislang bei etwa 24 % bezogen auf die THGE Minderung gemäß nationaler Berichterstattung. Zukünftig bis zum Jahr 2020 kann die Siedlungsabfall-

wirtschaft einen weiteren Beitrag zur Treibhausgasminderung leisten, wenn auch nicht mehr in so gravierendem Umfang wie durch die Beendigung der Deponierung. Zum Ziel 40 % Minderung bis 2020 gegenüber 1990 kann die deutsche Siedlungsabfallwirtschaft mit bis zu 13 % beitragen.

In der EU 27 werden jährlich noch bis zu 110 Mio. t CO₂-Äq aus der Deponierung freigesetzt. Hier kann alleine durch die Abkehr von der Deponierung noch ein entscheidender Beitrag zum Klimaschutz geleistet werden. Für die EU 27 wurde anders als für Deutschland kein Vergleichsjahr in der Vergangenheit untersucht, insofern kann auch keine Aussage über ggf. bereits erreichte Minderungsbeiträge der EU 27 zum Klimaschutz erfolgen. Ausgehend vom Bilanzjahr 2007 könnte die Siedlungsabfallwirtschaft in der EU 27 aber mit bis zu 32 % zum Minderungsziel der EU 27 für 2020 beitragen.

Auch in den drei Ländern Türkei, Tunesien und Mexiko dominieren THGE aus der Deponierung. Bisher haben diese Länder noch keine Minderungsziele vereinbart. Wird aber der mögliche Minderungserfolg v. a. durch die Beendigung der Deponierung auf die gegenwärtigen THGE der Länder bezogen, so kann die Siedlungsabfallwirtschaft mit bis zu 13 % in der Türkei, bis zu 16 % in Tunesien und bis zu 10 % in Mexiko beitragen.

11 Literaturverzeichnis

- AEA 2001 AEA Technology Environment: Waste Management Options and Climate Change. Final Report to the European Commission, DG Environment. July, 2001
- Aguilar 2009 Persönliche Mitteilung M. en I. Guillermo Encarnación Aguilar, Subdirector de Investigación sobre el Manejo Integral los Residuos, Centro Nacional de Investigación y Capacitación Nacional del Instituto Nacional de Ecología México, 2009
- AWM 2007 Abfallwirtschaftsbetriebe Münster: Abfallwirtschaftskonzept der Stadt Münster 2007, Münster, November 2007
- Barth 2009 Barth, M., BSR Berlin, Mitteilung per email vom 8.07.2009
- BAV 2009a Bundesverband der Altholzaufbereiter und -verwerter e.V.: Persönliche Mitteilung von Frau Boelling an den BDE vom 29.5.2009
- BAV 2009b Stellungnahme des Bundesverband der Altholzaufbereiter und -verwerter e.V. zur Studie vom 10.7.2009
- BayLfU 2003 Zusammensetzung und Schadstoffgehalt von Siedlungsabfällen. Bayerisches Landesamt für Umweltschutz (Hrsg.), Augsburg, 2003
- bfai 2008 Türkei entdeckt das Abfallrecycling. Datenbank Länder und Märkte der Bundesagentur für Außenwirtschaft (bfai), 4.07.2008
- BGK 2004 Auszüge einer Präsentation von Herrn Kehres von 2004, übermittelt durch UBA
- BGK 2008 Kompostanwendung 2007. Schriftliche Mitteilung BGK, Dez. 2008
- BGK 2009 Zusammensetzung von Bioabfällen in Vergärungsanlagen. Auswertung der BGK in: H&K aktuell 7/8 2009, S. 8
- BIFA 2009 Freundlicherweise übermittelte Textausschnitte einer UBA-Studie zu Tunesien
- BMU 2008 Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: „Erneuerbare Energien in Zahlen – Nationale und internationale Entwicklung“, Berlin/Bonn, Juni 2008
- Cherif 2005 Cherif, M.: Strukturen und Entwicklungspotenziale der Abfallwirtschaft in Tunesien. Dissertation an der RWTH Aachen, Fakultät für Bauingenieurwesen, August 2005
- Dehoust/Giegrich 2003 Dehoust, G., Giegrich, J.: Critical Review: „Beurteilung der Umweltverträglichkeit von thermischen Entsorgungsmaßnahmen; Leitfaden Sekundärbrennstoffe“, im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nord-

- rhein-Westfalen, Öko-Institut e. V., Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg (IFEU) GmbH; Darmstadt/Heidelberg, 2003
- DBU 2002 Vogt, R., Knappe, F., Giegrich, J., Detzel, A., IFEU Heidelberg: Ökobilanz Bioabfallverwertung. Gefördert von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU). Initiativen zum Umweltschutz 52. Erich Schmidt Verlag, Berlin 2002
- DIW 2007 DIW Berlin: Wochenbericht Nr. 8/2007
- EC 2009 Study on the selection of waste streams for End of Waste assessment. European Commission, Joint Research Centre (JRC), Institute for Prospective Technological Studies (ipts), 2009
- Ecoinvent 2007 Ecoinvent Data v.2.0. Ecoinvent report No. 13_I (Waste treatment_General)
- EdDE 2005 Bilitewski, B. et al.: Ökologische Effekte der Müllverbrennung durch Energienutzung“. Entsorgungsgemeinschaft der Deutschen Entsorgungswirtschaft e.V., Pirna, Dezember 2005
- EdDE 2007 Gottschall, R. (Humus & Erden Kontor GmbH), Kranert, M. (ISWA), et al.: Grünabfälle – besser kompostieren oder energetisch verwerten? – Vergleich unter den Aspekten der CO₂-Bilanz und der Torfsubstitution – Entsorgungsgemeinschaft der Deutschen Entsorgungswirtschaft e.V. (EdDE), Köln, Dezember 2007
- EdDE 2009 Widmann, R. et al.: Bewertung der Kohlenstoffeinbindung in Böden durch Kompost. Literaturstudie im Auftrag der Entsorgungsgemeinschaft der Deutschen Entsorgungswirtschaft (EdDE) e.V., Januar 2009
- EEA 2009 European Environment Agency: Annual European Community greenhouse gas inventory 1990 – 2007 an inventory report 2009 – Submission to the UNFCC Secretariat, Copenhagen 2009
- EEG Monitoring 2008 Anschlussvorhaben zum Monitoring zur Wirkung des novellierten Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) auf die Entwicklung der Stromerzeugung aus Biomasse. IE Leipzig, Fichtner Stuttgart, TLL Jena, Prof. Dr. jur. Stefan Klinski Berlin. Im Auftrag des Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), März 2008
- ETC RWM 2008 Skovgaard, M., Hedal, N., Villanueva, A. (European Topic Centre on Resource and Waste Management) and Moller Andersen, F., Larsen, H. (Technical University of Denmark): Municipal Waste Management and Greenhouse Gases. ETC/RWM working paper 2008/1
- ETC 2009 EU Achievements, Opportunities and Barriers to reduce waste management GHG emissions. European Topic

- Centre on Sustainable Consumption and Production (ETC) under contract with the European Environment Agency, presentation Christian Fischer 2009
- Eurostat 2009 Eurostat:
<http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/euroindicators/peeis/>; 2009
- FZKA 2003 Leible, L., Arlt, A., Fürniß, B., Kälber, S., Kappler, G., Lange, S., Nieke, E., Rösch, C., Wintzer, D.: Energie aus biogenen Rest- und Abfallstoffen. Forschungszentrum Karlsruhe, Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse. Wissenschaftliche Berichte FZKA 6882. Juli 2003
- Gebhardt 2005 Gebhardt, P.: „Quecksilberemissionen durch die Müllverbrennung“, Salzböden 2005
- GEMIS 1994 „Umweltanalyse von Energie-, Transport- und Stoffsystemen – Gesamt-Emissions-Modell Integrierter Systeme (GEMIS) – Version 2.1, aktualisierter und erweiterter Endbericht“; Öko-Institut e. V., i. A. des Hessischen Ministeriums für Umwelt, Energie, und Bundesangelegenheiten, Darmstadt/Kassel 1994
- GEMIS 2008 „Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme (GEMIS), Version 4.4“; Öko-Institut e. V., download unter www.gemis.de, Darmstadt 2008
- gewitra 2009 Cuhls, C. et al.: „Ermittlung der Emissionssituation bei der Verwertung von Bioabfällen“, UFO-Plan FKZ 206 33 326, Februar 2009 (unveröffentlichter Entwurf)
- IAA/INTECUS 2008 Bilitewski, B. et al.: „Nutzung der Potenziale des biogenen Anteils im Abfall zur Energieerzeugung“; Institut für Abfallwirtschaft und Altlasten der Technischen Universität Dresden und INTECUS GmbH; UFO-Plan FKZ 206 33 303, Dezember 2008, bislang unveröffentlicht
- IE/IZES 2006 Zwischenbericht zum Monitoring zur Wirkung der Biomasseverordnung (FKZ 204 411 33). Institut für Energetik und Umwelt (IE) Leipzig und Institut für ZukunftsEnergieSysteme (IZES) Saarbrücken. Im Auftrag des Umweltbundesamtes, 2006
- IFC Consulting 2006 Revised Memorandum for EPA/OSW and USDA-FS, Estimates of Effect of paper Recycling on Forest Carbon, Feb 2006
- IFEU 1997 Ökologischer Vergleich graphischer Papiere. Im Auftrag des Umweltbundesamtes, FKZ 103 50 120, Heidelberg, 1997
- IFEU 1998 Ökologische Bilanzen in der Abfallwirtschaft; Fallbeispiele: Verwertung von Altreifen und Haushaltskühlgeräten. Im Auftrag des Umweltbundesamtes, 1998 (UBA-Texte 10/99)
- IFEU 2001 Untersuchung zur Umweltverträglichkeit von Systemen zur Verwertung von biologisch-organischen Abfällen. Gefördert

- von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt, Osnabrück (AZ 08848), Dezember 2001
- IFEU 2004 Beitrag der Abfallwirtschaft zur nachhaltigen Entwicklung in Deutschland - Siedlungsabfälle. Im Auftrag des Umweltbundesamtes. UFO-Plan Vorhaben FKZ 203 92 309, April 2005
- IFEU 2006 Beitrag der Abfallwirtschaft zur nachhaltigen Entwicklung - Fortschreibung 2006. Im Auftrag des Umweltbundesamtes. UFO-Plan Vorhaben FKZ 206 92 300, Juli 2006
- IFEU 2008a Optimierung für einen nachhaltigen Ausbau der Biogaserzeugung und -nutzung in Deutschland. IFEU, Heidelberg (Kordinator), IE, Leipzig, Öko-Institut, Darmstadt, Institut für Landschaftsarchitektur und Umweltplanung, TU Berlin, S. Klinski, Berlin, sowie im Unterauftrag Peters Umweltplanung, Berlin. Forschungsprojekt des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), Heidelberg 2008
- IFEU 2008b Criteria for a Sustainable Use of Bioenergy on a Global Scale. In Kooperation mit FSC Arbeitsgruppe Deutschland und Kerstin Lanje, Germanwatch. Im Auftrag des Umweltbundesamtes, FKZ 206 41 112, Heidelberg, Freiburg, Bonn 2008
- IFEU/igw Witzenhausen 2008 Energieerzeugung aus Biomasse in Heidelberg. Gemeinschaftsprojekt IFEU Heidelberg und igw Witzenhausen. Im Auftrag des Amtes für Umweltschutz, Gewerbeaufsicht und Energie der Stadt Heidelberg. November, 2008
- IFEU/HTP 2001 Grundlagen für eine ökologisch und ökonomisch sinnvolle Verwertung von Verkaufsverpackungen. Gemeinschaftsprojekt IFEU Heidelberg und HTP, Ingenieurgesellschaft für Aufbereitungstechnik und Umweltverfahrenstechnik, Aachen. Im Auftrag des Umweltbundesamtes Berlin, 2001
- IFEU/Öko-Institut 2006 Knappe, F., Böß, A., Fehrenbach, H., Vogt, R., Giegrich, J., Wiegmann, K., Dehoust, G., Schüler, D.: „Stoffstrommanagement von Biomasseabfällen mit dem Ziel der Optimierung der Verwertung organischer Abfälle“. UFO-Plan des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Heidelberg, Darmstadt, Juni 2006
- IPCC 1995 Intergovernmental Panel on Climate Change „Climate Change 1995 - The Science of Climate Change“ Houghton, J. T. (Hg), Cambridge University Press, Cambridge 1996
- IPCC 1996 Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories
- IPCC 2006 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 5, Chapter 2: Waste Generation,

- Composition and Management data, and Chapter 3: Solid Waste Disposal
- IPCC 2007 Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC): Contribution of Working Group I to the 4th Assessment Report: Climate Change 2007, www.ipcc.ch
- ISI 2009 CO₂-Minderung im Stromsektor durch den Einsatz erneuerbarer Energien im Jahr 2006 und 2007. Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung (ISI). Im Auftrag des Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW), Feb. 2009
- Jenseit 1995 Jenseit, W.; Buchert, M.; Bunke, D.; Ewen, C.; Gensch, C.-O.; Wollny, V.: „Vergleichende Ökobilanz des Kunststoffeinsatzes im Hochofen“, im Auftrag der Stahlwerke Bremen GmbH, Öko-Institut e. V., Darmstadt/Freiburg, 1995
- KBA 2009 Kraftfahrt-Bundesamt: www.kba.de
- Kern 2001 Kern, M., Sprick, W.: Abschätzung des Potenzials an regenerativen Energieträgern im Restmüll. In: Bio- und Restabfallbehandlung V. Wiemer/Kern (Hrsg.). Witzenhausen-Institut - Neues aus Forschung und Praxis. Witzenhausen 2001
- KfW 2009 Telefonische Auskunft Frau Thom Juni 2009
- Lingk 2009 Lingk, H., ZAB Nuthe-Spree: persönliche Mitteilung, 2009
- MUNLV 2009 Ressourcen- und Klimaschutz in der Siedlungsabfallwirtschaft des Landes Nordrhein-Westfalen. Wissenschaftliche Bearbeitung INFA – ISFM e.V., LASU, UMSICHT. Im Auftrag des Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (Hrsg.)
- NIR Türkei 2007 Turkey Greenhouse Gas Inventory, 1990 to 2005. National Inventory Report, Ankara 2007.
- Öko-Institut 1999b Dehoust, G. et al.: „Vergleich der rohstofflichen und energetischen Verwertung von Verpackungskunststoffen“, in Kooperation mit der Deutschen Projekt Union; im Auftrag der Arbeitsgemeinschaft Verpackung und Umwelt (AGVU); Öko-Institut e.V., Darmstadt, 1999
- Öko-Institut 2001 Wollny, V. et al.: „DSD 2020: Beiträge der Dualen System Deutschland AG zur Nachhaltigen Entwicklung – Stand und Perspektiven“, Endbericht; im Auftrag der Duales System Deutschland AG (DSD), Köln; Öko-Institut e. V. 2001
- Öko-Institut 2002a Wollny, V. et al.: „Prospektive Stoffstromanalyse DSD – Abfallmanagement Leichtverpackungen“, Hauptband. Im Auftrag der Duales System Deutschland AG (DSD), Köln, Öko-Institut e. V.; Darmstadt, 2002

- Öko-Institut 2002b Dehoust, G.; Gebhard, P.; Gärtner, S.: „Der Beitrag der thermischen Abfallbehandlung zu Klimaschutz, Luftreinhaltung und Ressourcenschonung“, Studie des Öko-Instituts im Auftrag der Interessengemeinschaft der Betreiber thermischer Abfallbehandlungsanlagen in Deutschland (ITAD), 2002
- Öko-Institut 2002c Dehoust, G.; Schüler, D.; Stahl, H.: „Zukünftige Restmüllentsorgung im Landkreis Ebersberg“ im Auftrag der IGW Fricke & Turk GmbH, Witzenhausen, 2002
- Öko-Institut 2004 Fritsche, U., Dehoust, G. et al: „Stoffstromanalyse zur nachhaltigen energetischen Nutzung von Biomasse“; Endbericht und Anlagenband, Öko-Institut e. V., Umsicht, IE, IFEU, IZES, TU München, Verbundprojekt des BMU im Rahmen des ZIP, Darmstadt 2004
- Öko-Institut 2007 Schüler, D., Dehoust, G. et al: „Ökobilanzielle Untersuchung zur Verwertung von FCKW- und KW-haltigen Kühlgeräten“, im Auftrag der RAL-Gütegemeinschaft Kühlgeräte; Darmstadt 2007
- Öko-Institut 2008a Dehoust, G. et al.: „Optimierung der Abfallwirtschaft in Hamburg unter dem besonderen Aspekt des Klimaschutzes – Abfallwirtschaft und Klimaschutz“; Öko-Institut e.V., Ingenieursgemeinschaft Witzenhausen, FH Mainz, Darmstadt, Witzenhausen, Mainz, September 2008
- Öko-Institut 2008b Fritsche, U. et al.: „Energetische Nutzung biogener Rest- und Abfallstoffe“, Öko-Institut e.V., Darmstadt, Dezember 2008
- Öko-Institut 2008c Fritsche, U. et al: „Bestimmung spezifischer Treibhausgas-Emissionsfaktoren für Fernwärme“; Climate Change 8/08; Umweltforschungsplan des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Darmstadt 2008
- Öko-Institut 2008d Schüler, D., Dehoust, G., Schmidt, G. et al.: „Methodenentwicklung für die ökologische Bewertung der Entsorgung gefährlicher Abfälle unter und über Tage und Anwendung auf ausgewählte Abfälle“, BMBF-Forschungsvorhaben, Darmstadt 2008
- Öko-Institut/IFEU 2005 Dehoust, G. et al.: „Beitrag der Abfallwirtschaft zum Klimaschutz – Statusbericht zum Beitrag der Abfallwirtschaft zum Klimaschutz und mögliche Potenziale“, Öko-Institut e.V. und IFEU Heidelberg, Ufoplan-Vorhaben 205 33 314. Darmstadt, Heidelberg 2005
- ORBIT/ECN 2008 ORBIT Association und European Compost Network (ECN): Compost production and use in the EU. Final Report to the European Commission, DG Joint Research Centre/ITPS. Feb, 2008

Prognos 2009	Von Prognos übermittelte Daten vom 6. Juli 2009 auf Basis (EC 2009)
Prognos 2008	European Atlas of Secondary Raw Material. 2004 Status Quo and Potentials. Prognos AG, Jan 2008
Prognos/INFU/IFEU 2008	Resource savings and CO ₂ -reduction potential in waste management in Europe and the possible contribution to the CO ₂ reduction target in 2020. Prognos AG Berlin, Institut für Umweltforschung (INFU) TU Dortmund, Institut für Energie- und Umweltforschung (IFEU) Heidelberg. Im Auftrag einer Koalition europäischer Organisationen der Abfallwirtschaft, Mai 2008.
Recycling Magazin 2008	Lukrativer Markt Türkei. Recycling magazin 05 – 2008, S. 16-18
RETERRA 2009	Stellungnahme der RETERRA Service GmbH vom 8.07.2009
Soyez 2001	Soyez, K. (Hrsg.): Mechanisch-biologische Abfallbehandlung: Technologien, Ablagerungsverhalten und Bewertung, Gesamtdarstellung der wissenschaftlichen Ergebnisse des Verbundvorhabens „Mechanisch-biologische Behandlung von zu deponierenden Abfällen“, ESV Berlin 2001
STBA 2008	Umwelt, Abfallentsorgung 2006, erschienen im Juli 2008. Statistisches Bundesamt, Wiesbaden 2008
Schulte 2009	Schulte, B., AML Pohlsche Heide: Persönliche Mitteilung, 2009
SEMARNAT, INE 2006a	Diagnóstico básico para la gestión integral des residuos. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SMERNAT), Instituto Nacional de Ecología (INE), 26.10.2006
SEMARNAT, INE 2006b	México tercera comunicación nacional ante la convención marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SMERNAT), Instituto Nacional de Ecología (INE). Octubre 2006
Tunesia 2001	Republic of Tunesia, Ministry of Environment and Land Planning: Initial Communication of Tunesia under the United Nations Framework Convention on Climate Change. Summary Version, October 2001
UBA 2007	Umweltbundesamt: Beispielhafte Darstellung einer vollständigen, hochwertigen Verwertung in einer MVA unter besonderer Berücksichtigung der Klimarelevanz. Institut für Energie- und Umweltforschung (IFEU) Heidelberg. Im Auftrag des Umweltbundesamtes, UBA-Text 16/08, FZK 205 33 311, Dessau-Roßlau Okt. 2007
UBA 2008	Aufkommen und Verwertung von Verpackungsabfällen in Deutschland im Jahr 2006. Gesellschaft für Verpackungs-

- marktforschung (GVM) Wiesbaden. Im Auftrag des Umweltbundesamtes, UBA-Text 37/08, FZK 3707 31 303, Dessau-Roßlau Sept. 2008
- UBA 2009 Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen 2009 – Nationaler Inventarbericht - Zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990 – 2007, Dessau 2009
- UBA Wien 2003 Rolland, C., Scheibengraf, M.: Biologisch abbaubarer Kohlenstoff im Restmüll. Umweltbundesamt, Berichte BE-236. Wien, 2003
- UNI Hamburg 2004 Holzrohstoffbilanz Deutschland – Bestandsaufnahme 2002. Im Auftrag Holzabsatzfonds (HAF) und Verband deutscher Papierfabriken (VDP). Mantau et al. Universität Hamburg, Zentrum Holzwirtschaft, Dez. 2004
- Wallmann et al. 2008 Wallmann, R., Fricke, K., Hake, J.: Energieeffizienz bei der Mechanisch-biologischen Restabfallbehandlung, Müll und Abfall 7/2008
- Wallmann et al. 2009 Wallmann, R., Fritz, T., Fricke, K.: Energie aus Abfall – Potenziale und Nutzungsmöglichkeiten, Müll und Abfall 5/2009
- Wallmann 2009 Wallmann, R., HAWK Göttingen, persönliche Mitteilung, 2009
- wasteconsult 2007 „Anlagen zur mechanisch biologischen Restabfallbehandlung“; UFO-Plan FKZ 206 33 301, Juni 2007
- WasteWatch 2005 Wood Recycling Information Sheet, Waste Watch UK web site: "<http://www.wasteonline.org.uk/resources/information sheets/wood.htm>"
- Wiegel 2008 Wiegel, U.: Ökologische Effektivierung der MBA unter Mitverarbeitung von Bioabfall, Müll und Abfall 5/2008
- Wiegel 2009 Wiegel, U., ICU – Ingenieurconsulting Umwelt und Bau: persönliche Mitteilung, 2009
- Witzenhausen-Institut / igw 2007 Wirtschaftliche Bewertung von Kompostierungsanlagen hinsichtlich der Integration einer Anaerob-Stufe als Vorschaltanlage. Witzenhausen-Institut für Abfall, Umwelt und Energie und Ingenieurgemeinschaft Witzenhausen. Im Unterauftrag für IFEU Heidelberg, Juni 2007
- Witzenhausen-Institut 2008 Kern, M. et al.: „Aufwand und Nutzen einer optimierten Bioabfallverwertung hinsichtlich Energieeffizienz, Klima- und Ressourcenschutz“; Witzenhausen-Institut für Abfall, Umwelt und Energie GmbH, UFO-Plan FKZ 3707 33 304; Dezember 2008

12 Abkürzungsverzeichnis

2006 Ist	Bilanz der Ist-Situation auf der Grundlage der statistischen Abfalldaten für das Jahr 2006
2020 A	Abfallstromszenario, berücksichtigt nur veränderte Abfallströme
2020 AT	Abfallstromszenario als Kombination der Abfallstrom- und Technikszenarien
2020 T	Technikszenario, berücksichtigt nur technische Änderungen
A I bis A IV	Altholzkategorien gemäß Altholzverordnung, A I naturbelassen, A II ohne Holzschutzmittel oder halogenorganische Verbindungen, A III ohne Holzschutzmittel mit halogenorganischen Verbindungen, A IV mit Holzschutzmittel
a.n.g.	anderweitig nicht genannt
BA	Bioabfall
BAV	Bundesverband der Altholzaufbereiter und -verwerter e.V.
BDE	Bundesverband der Deutschen Entsorgungswirtschaft
BGK	Bundesgütegemeinschaft Kompost
BHKW	Blockheizkraftwerk
BioAbfV	Bioabfallverordnung
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
C fossil	fossiler Anteil am Kohlenstoffgehalt
C gesamt (Cges)	gesamter Kohlenstoff
C regenerativ	biogener Anteil am Kohlenstoffgehalt
CH ₄	Methan
CO ₂	Kohlendioxid
CO ₂ -Äq	CO ₂ -Äquivalente
C-Senke	im Abfall gebundener biogener Kohlenstoff, der über einen Zeitraum von 100 Jahren nicht abgebaut wird, sondern in der Deponie verbleibt oder als Humus-C in landwirtschaftlich genutzten Böden
DIP	Deinking-Papier
DSD	Duales System Deutschland
EBS	Ersatzbrennstoffe
EBS-HKW	Ersatzbrennstoff-Heizkraftwerk
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
EF	Emissionsfaktor
Em.	Emission
eta	Wirkungsgrad
EVU	Energieversorgungsunternehmen

EW	Erdenwerk
Fe-Metalle	Eisenmetalle
FKN	Flüssigkeitskarton
FS	Frischsubstanz
GA	Grünabfall
GEMIS	Gesamt-Emissions-Modell Integrierter Systeme, www.gemis.de
GPF	Garten-, Park- und Friedhofsabfälle
GR	Gärrest
GTS	Gutschrift
HKW	Heizkraftwerk
HM	Hausmüll
HMG	Hausmüllähnlicher Gewerbeabfall
Holz-HKW	Holz-Heizkraftwerk
Hu	unterer Heizwert
IPCC	Intergovernmental Panel of Climate Change
ISO	International Organization for Standardization
ITAD	Interessengemeinschaft der Betreiber thermischer Abfallbehandlungsanlagen in Deutschland
KEA fossil	fossiler Anteil des kumulierten Energieaufwands
KEA	kumulierter Energieaufwand
kg/E	kg je Einwohner
kGR	kompostierter Gärrest
KW	Kraftwerk
kWh _{el}	Kilowattstunde elektrisch
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
LB	Hobbygartenbau, Garten- und Landschaftsbau
LULUCF	Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (engl.: Land Use, Land Use Change and Forestry)
LVP	Leichtverpackungen (in den Szenarien 2020 A und 2020 AT um materialgleiche Nichtverpackungen und Elektro-Kleingeräte ergänzt)
LW	Landwirtschaft
M(B)An	Sammelbegriff für MA, MBA, MBS, MPS
MA	Mechanische Abfallaufbereitungsanlage
MBA	Mechanisch-Biologische Abfallbehandlungsanlage
MBS	Mechanisch-Biologische Stabilisierungsanlage
MKS	Mischkunststoffe
MPS	Mechanisch-physikalische Abfallbehandlungsanlage
MSW	Municipal Solid Waste (deutsch: Siedlungsabfälle)
MVA	Müllverbrennungsanlage

N ₂ O	Lachgas
NE-Metalle	Nicht Eisen Metalle
NIR	Nationaler Inventarbericht
PE	Polyethylen
PET	Polyethylenterephthalat
PO	Polyolefine (PP und PE)
PP	Polypropylen
PPK	Papier/Pappe/Karton
PS	Polystyrol
Rec	Recycling
RK	Rekultivierung
SB	Standardbilanz
SBS	Sekundärbrennstoffe
Sens max	Sensitivität, die den größten Beitrag zur Einsparung oder den geringsten Beitrag zu zusätzlichen THGE aufweist
Sens min	Sensitivität, die den geringsten Beitrag zur Einsparung oder den größten Beitrag zu zusätzlichen THGE aufweist
Sens	Sensitivität
SML	Sammlung
SML+TSP	Sammlung und Transport
Spez. EF	Spezifische(r) Emissionsfaktor(en)
Spez.	Spezifisch, spezifischer
Statusbericht 2005	Beitrag der Abfallwirtschaft zum Klimaschutz – Statusbericht zum Beitrag der Abfallwirtschaft zum Klimaschutz und mögliche Potenziale (Öko-Institut/IFEU 2005)
t	Tonne (1 t = 1 Mg = 1.000 kg = 1.000.000 g)
THG	Treibhausgas
THGE	Treibhausgasemissionen
TSP	Transporte
UBA	Umweltbundesamt
UFO-Plan	Umweltforschungsplan
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change
VDP	Verband deutscher Papierfabriken
WST	Wertstofftonne

13 Vorzeichen im SI - System

Name	Zeichen	Potenz	Faktor
<i>Yotta</i>	Y	10^{24}	1.000.000.000.000.000.000.000.000
<i>Zetta</i>	Z	10^{21}	1.000.000.000.000.000.000.000.000
<i>Exa</i>	E	10^{18}	1.000.000.000.000.000.000.000
<i>Peta</i>	P	10^{15}	1.000.000.000.000.000.000
<i>Tera</i>	T	10^{12}	1.000.000.000.000.000
<i>Giga</i>	G	10^9	1.000.000.000
<i>Mega</i>	M	10^6	1.000.000
<i>Kilo</i>	k	10^3	1.000
<i>Hekto</i>	h	10^2	100
<i>Deka</i>	da	10^1	10
<i>Dezi</i>	d	10^{-1}	0,1
<i>Zenti</i>	c	10^{-2}	0,01
<i>Milli</i>	m	10^{-3}	0,001
<i>Mikro</i>	μ	10^{-6}	0,000.001
<i>Nano</i>	n	10^{-9}	0,000.000.001
<i>Pico</i>	p	10^{-12}	0,000.000.000.001
<i>Femto</i>	f	10^{-15}	0,000.000.000.000.001
<i>Atto</i>	a	10^{-18}	0,000.000.000.000.000.001
<i>Zepto</i>	z	10^{-21}	0,000.000.000.000.000.000.001
<i>Yocto</i>	y	10^{-24}	0,000.000.000.000.000.000.000.001