

Klimaschutzpotenziale der Abfallwirtschaft in Mecklenburg-Vorpommern am Beispiel von Siedlungsabfall und Altholz



April 2011

**Mecklenburg
Vorpommern** 

Ministerium für Wirtschaft,
Arbeit und Tourismus

Impressum

- Herausgeber:** Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Tourismus
Mecklenburg-Vorpommern
Johannes-Stelling-Straße 14
19053 Schwerin
Telefon: +49 385 588-0
E-Mail: poststelle@wm.mv-regierung.de
- Redaktion:** Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Tourismus
Abteilung 5 Energie, Immissionsschutz, Abfallwirtschaft
Referat 530 Abfallwirtschaft
Martina Ocik
Telefon: +49 385 588-5530
E-Mail: m.ocik@wm.mv-regierung.de
- BN Umwelt GmbH
Petridamm 26/27
18146 Rostock
Frank Zörner
Telefon: +49 381 63712-30
E-Mail: office@bn-umwelt.de
- Druck:** Zentrale Druckerei des Innenministeriums im Landesamt für
innere Verwaltung des Landes Mecklenburg-Vorpommern
- Bezug:** Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Tourismus
Presse- und Öffentlichkeitsarbeit
Telefon: +49 385 588-5007
E-Mail: presse@wm.mv-regierung.de

Diese Broschüre wird im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit des Ministeriums für Wirtschaft, Arbeit und Tourismus herausgegeben. Sie darf weder von Parteien noch von deren Kandidaten oder Helfern während des Wahlkampfes zur Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für alle Wahlen. Missbräuchlich ist insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel.

Untersagt ist auch die Weitergabe an Dritte zur Verwendung bei der Wahlwerbung. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die vorliegende Druckschrift nicht so verwendet werden, dass dies als Parteinahme der Herausgeber zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden kann. Diese Beschränkungen gelten unabhängig vom Vertriebsweg, also unabhängig davon, auf welchem Wege und in welcher Anzahl diese Informationsschrift dem Empfänger zugegangen ist.

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung und Zielstellung.....	7
2	Methode Ökobilanz	8
3	Beschreibung der Bilanzierung	10
3.1	Gegenstand der Bilanzierung.....	10
3.2	Szenario 2008.....	11
3.3	Szenario 2020 T (Technik).....	11
3.4	Szenario 2020 A (Abfallströme)	11
3.5	Szenario 2020 AT (Abfallströme und Technik).....	12
3.6	Massenbilanzen	12
3.7	Weitere Randbedingungen der Bilanzierung.....	18
4	Bilanzen der spezifischen Emissionen	20
4.1	Thermische Abfallbehandlung.....	20
4.2	Mechanisch-biologische Abfallbehandlung	23
4.3	Sortierung von Sperrmüll	30
4.4	Bio- und Grünabfall	34
4.5	Glas, Papier und Pappe sowie Leichtverpackungen	46
4.6	Metalle	47
4.7	Altholz	47
5	Bilanzen der Emissionen.....	52
5.1	Anteile der Module an den Bilanzen der Emission von Treibhausgasen	56
5.2	Anteile der Module an den Differenzen der Bilanzen der Emission von Treibhausgasen	56
6	Zusammenfassung der Ergebnisse und Ableitung von Handlungsempfehlungen	59
6.1	Zusammenfassung der Ergebnisse.....	59

6.2	Fortschreibung „Aktionsplan Klimaschutz Mecklenburg-Vorpommern 2010“	62
7	Zusammenfassung.....	64
8	Literaturverzeichnis	65
9	Abkürzungsverzeichnis	68

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Treibhauspotenziale der wichtigsten Treibhausgase	11
Tab. 2: Aufkommen des Siedlungsabfalls und Altholzes und Zuordnung zu Entsorgungswegen bei den Szenarien 2008 und 2020 T	13
Tab. 3: Aufkommen des Siedlungsabfalls und Altholzes und Zuordnung zu Entsorgungswegen bei den Szenarien 2020 A und 2020 AT.....	14
Tab. 4: Zusammensetzungen von Hausmüll und hausmüllähnlichem Gewerbeabfall der Szenarien 2008 und 2020 T sowie Sperrmüll	17
Tab. 5: Zusammensetzungen von Hausmüll und hausmüllähnlichem Gewerbeabfall der Szenarien 2020 A und 2020 AT	18
Tab. 6: Emissionsfaktoren.....	19
Tab. 7: Emissionsvermeidungsfaktoren	19
Tab. 8: Bilanzen der Emissionen bei der thermischen Behandlung von Hausmüll.....	21
Tab. 9: Sensitivitätsanalyse.....	22
Tab. 10: Abfallmassen, die in den mechanisch-biologischen Anlagen behandelt werden	23
Tab. 11: Massenanteile der Outputfraktionen der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung	24
Tab. 12: Energiebedarf der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung.....	25
Tab. 13: Energetische Verwertung des Biogases	26
Tab. 14: Bilanzen der Emissionen bei der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung	28
Tab. 15: Sensitivitätsanalyse.....	30
Tab. 16: Massenanteile der Outputfraktionen der Sortierung von Sperrmüll.....	31
Tab. 17: Nettonutzungsgrade der Biomasse-Heizkraftwerke	32
Tab. 18: Bilanzen der Emissionen bei der Sortierung von Sperrmüll	32
Tab. 19: Sensitivitätsanalyse.....	34
Tab. 20: Zuordnung der aufgetretenen Massen des Bioabfalls zu Verwertungswegen	35

Tab. 21: Zuordnung der aufgetretenen Massen des Grünabfalls zu Verwertungswegen	35
Tab. 22: Zuordnung des Bio- und Grünabfalls zu offenen und geschlossenen Anlagen und Emissionen der Anlagen	36
Tab. 23: Strom- und Dieselkraftstoffbedarf von Kompostierungsanlagen	36
Tab. 24: Massenanteile der Frisch- und Fertigungskomposte und deren Verwertung	37
Tab. 25: Massenanteile der Nährstoffe an den Frisch- und Fertigungskomposten	38
Tab. 26: Emissionen der Bereitstellung der Mineraldünger.....	38
Tab. 27: Bilanzen der Emission von Treibhausgasen der Kompostierung von Bioabfall	39
Tab. 28: Bilanzen der Emission von Treibhausgasen der Kompostierung von Grünabfall	39
Tab. 29: Emissionen von Methan und Distickstoffoxid bei kombinierter Vergärung und Kompostierung.....	40
Tab. 30: Energetische Verwertung des Biogases	41
Tab. 31: Massenanteile der Nährstoffe am entwässerten Gärrest und Gärkompost.....	41
Tab. 32: Bilanzen der Emission von Treibhausgasen der Vergärung von Bioabfall.....	42
Tab. 33: Bilanzen der Emission von Treibhausgasen der Vergärung von Grünabfall	42
Tab. 34: Bilanzen der Emissionen der energetischen Verwertung von Grünabfall.....	43
Tab. 35: Bilanzen der Emission von Treibhausgasen der Verwertung von Bioabfall	44
Tab. 36: Bilanzen der Emission von Treibhausgasen der Verwertung von Grünabfall	45
Tab. 37: Bilanzen der spezifischen Emissionen der Verwertung der Fraktionen Glas, Papier und Pappe sowie Leichtverpackungen	46
Tab. 38: Massen der getrennt erfassten Metalle	47
Tab. 39: Aufkommen und Verwertung des Altholzes	47
Tab. 40: Bilanzen der Emissionen bei der energetischen Verwertung von Altholz.....	48
Tab. 41: Bilanzen der Emissionen bei der stofflichen Verwertung von Altholz.....	49

Tab. 42: Gesamtbilanzen der Emissionen bei der Verwertung von Altholz.....	51
Tab. 43: Massen des thermisch und mechanisch-biologisch behandelten sowie sortierten Abfalls zur Beseitigung und des getrennt erfassten Abfalls zur Verwertung.....	52
Tab. 44: Bilanzen der spezifischen Emission von Treibhausgasen.....	54
Tab. 45: Bilanzen der Emissionen bei der Entsorgung des Siedlungsabfalls und Altholzes	54
Tab. 46: Differenzen der Emissionsbilanzen der Module der Szenarien 2020 T, 2020 A und 2020 AT im Vergleich zum Szenario 2008.....	57

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Bilanzen der Emissionen bei der thermischen Behandlung von Hausmüll.....	21
Abb. 2: Bilanzen der Emissionen bei der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung	28
Abb. 3: Bilanzen der Emissionen bei der Sortierung von Sperrmüll	33
Abb. 4: Bilanzen der Emission von Treibhausgasen der Verwertung von Bioabfall	44
Abb. 5: Bilanzen der Emission von Treibhausgasen der Verwertung von Grünabfall	45
Abb. 6: Bilanzen der Emissionen bei der energetischen Verwertung von Altholz.....	49
Abb. 7: Bilanzen der Emissionen bei der stofflichen Verwertung von Altholz.....	50
Abb. 8: Gesamtbilanzen der Emissionen bei der Verwertung von Altholz.....	51
Abb. 9: Graphische Darstellung der Massen des thermisch und mechanisch- biologisch behandelten sowie sortierten Abfalls zur Beseitigung und des getrennt erfassten Abfalls zur Verwertung	53
Abb. 10: Graphische Darstellung der Bilanzen der Emission von Treibhausgasen bei der Entsorgung des Siedlungsabfalls und Altholzes.....	55
Abb. 11: Beiträge der Module zu den beim Szenario 2020 AT im Vergleich zum Jahr 2008 zusätzlich vermiedenen Emissionen	60
Abb. 12: Bilanz der Emission von Treibhausgasen des Szenarios 2020 AT	60

1 Einführung und Zielstellung

Die Landesregierung Mecklenburg-Vorpommern hat sich zum Ziel gesetzt, die Abfallwirtschaft am Leitbild der Nachhaltigkeit zu entwickeln (WM, 2008). Dazu soll die Abfallwirtschaft einerseits zu einer Stoffstrom-, Energie- und Ressourcenwirtschaft umgestaltet werden (WM, 2008) und andererseits zum Klimaschutz beitragen (WM, 2010). Dabei ist das Vermeidungs- und Recyclingpotenzial auszuschöpfen und Abfall zunehmend energetisch zu verwerten, z. B. die heizwertreiche Fraktion aus der Abfallbehandlung als Ersatzbrennstoff und Bioabfall in Biogasanlagen. Dieses ist in der Leitlinie 6 – Abfall- und Energiewirtschaft der „Gesamtstrategie „Energiewirtschaft 2020“ für Mecklenburg-Vorpommern“ ausgewiesen (WM, 2009a). Der Stand der energetischen Verwertung von Abfall in Mecklenburg-Vorpommern und die entsprechenden Potenziale sind in der Studie „Energie aus Abfall in Mecklenburg-Vorpommern“ dargestellt (WM, 2009b).

Zur Entwicklung des Klimaschutzes in Mecklenburg-Vorpommern hat die Landesregierung den „Aktionsplan Klimaschutz Mecklenburg-Vorpommern 2010“ (WM, 2010) aufgestellt. Dieser wurde erstmals 1997 als „Klimaschutzkonzept Mecklenburg-Vorpommern“ (BLUM, 1997) verfasst und liegt derzeit in der dritten Fortschreibung vor. Darin sind konkrete Aktionen in Aktionsfeldern, wie Energieeinsparung und Energieeffizienz sowie erneuerbare Energien, bestimmt. Die Abfallwirtschaft ist im Aktionsfeld 7: „Abfall als alternative Energiequelle nutzen“ mit den Aktionen „Ersatz fossiler Energieträger durch Brennstoffe aus Abfall“ und „Energieeffizienz in Abfallanlagen“ berücksichtigt.

Die Studie „Klimaschutzpotenziale der Abfallwirtschaft in Mecklenburg-Vorpommern am Beispiel von Siedlungsabfall und Altholz“ wurde erarbeitet, um weitere Maßnahmen zum Klimaschutz im Bereich Siedlungsabfallwirtschaft und Altholz zu bestimmen. Sie orientierte sich inhaltlich an der Studie „Klimaschutzpotenziale der Abfallwirtschaft am Beispiel von Siedlungsabfällen und Altholz“ (UBA, 2010a).

Das Ziel der Studie war, Potenziale der Reduzierung der Emission von Treibhausgasen in der Abfallwirtschaft bei der Entsorgung von Siedlungsabfall und Altholz zu bestimmen und die Maßnahmen aufzuzeigen, welche die größten Reduzierungen der Emission von Treibhausgasen bewirken und damit hinsichtlich des Klimaschutzes am wirksamsten sind. Die ausgewiesenen Maßnahmen sollten als Empfehlung für eine Fortschreibung des „Aktionsplans Klimaschutz Mecklenburg-Vorpommern 2010“ dienen.

Zur Bestimmung der Klimaschutzpotenziale wurde die Methode der Ökobilanz angewendet. Dabei wurden Bilanzszenarien mit jeweils definierten Maßnahmen und Bedingungen aufgestellt und die Emissionen der Treibhausgase bilanziert und verglichen.

2 Methode Ökobilanz

Die Methode der Ökobilanz ist eine „Systemanalyse“, bei der die „Umweltwirkungen von Produkten, Prozessen und Dienstleistungen“ bzw. allgemein von „menschlichen Tätigkeiten“ (KLÖPFFER und GRAHL, 2009) während des gesamten Lebenszyklus` bestimmt werden, um die Umweltwirkungen zu bewerten. Dazu werden alle ein- und austretenden Stoff- und Energieströme erfasst. Dabei kann das untersuchte System, welches den Bilanzraum darstellt, in Teilsysteme eingeteilt werden, die als Module bezeichnet werden.

In den meisten Anwendungsfällen werden Varianten verglichen, um die umweltverträglichere Variante festzustellen. Dabei können die Umweltwirkungen von Systemen nur verglichen werden, wenn die Funktionen und Nutzen der Systeme gleich sind. Dazu wird die funktionelle Einheit definiert, welche den quantifizierten Nutzen beschreibt. Die funktionelle Einheit ist die Bezugsgröße der Umweltwirkungen und der Maßstab zum Vergleich von Varianten.

Nach DIN EN ISO 14040 „Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen“ besteht die Ökobilanz aus folgenden Stufen:

- Definition des Ziels und des Untersuchungsrahmens
Diese Stufe umfasst die eindeutige Beschreibung des Gegenstandes und des Zwecks der Untersuchung, d. h. des zu untersuchenden Systems und dessen Funktion sowie des angestrebten Erkenntnisgewinns. Es werden u. a. die Systemgrenzen bzw. der Bilanzraum festgelegt und die funktionelle Einheit definiert.
- Sachbilanz
In der Sachbilanz werden alle in den Bilanzraum eintretenden und aus dem Bilanzraum austretenden Stoff- und Energieflüsse erfasst und den Modulen zugeordnet.
- Wirkungsabschätzung
Die Wirkungsabschätzung beinhaltet die Bewertung der Umweltwirkungen der in der Sachbilanz erfassten Stoff- und Energieflüsse. Dazu werden diese den Wirkungsindikatoren von Wirkungskategorien zugeordnet und zusammengefasst.
- Auswertung

Bei der Anwendung der Ökobilanz in der Abfallwirtschaft wird die Dienstleistung Entsorgung von Abfall betrachtet. Die Bilanz beginnt beim Anfallen von Abfall und endet bei der Verwertung oder der Beseitigung. Bei der Verwertung von Abfall werden Sekundärrohstoffe oder Energie gewonnen, d. h. es wird ein Nutzen erzielt. Dieser Nutzen wird in der Bilanz der Umweltwirkungen durch eine Gutschrift berücksichtigt. Dabei werden die Umweltwirkungen der Verwertung den Umweltwirkungen von Äquivalenzprozessen mit gleichen Nutzen zur Herstellung von Primärrohstoffen oder zur konventionellen Energieerzeugung

gung gegenüber gestellt und die vermiedenen Umweltwirkungen dem zu bilanzierenden System gutgeschrieben. Wenn bei der Behandlung von Abfall zur Beseitigung ein zusätzlicher Nutzen auftritt, ist dieser anzurechnen.

Die erforderliche Nutzengleichheit von Varianten der Entsorgung von Abfall wird erreicht, indem gleiche Massen des Abfalls bilanziert werden. Dadurch sind die bestimmten Umweltwirkungen bzw. Vermeidungspotenziale von Umweltwirkungen Ergebnisse von Ursache-Wirkungs-Betrachtungen, aber keine Prognosen.

3 Beschreibung der Bilanzierung

3.1 Gegenstand der Bilanzierung

Im Rahmen dieser Studie wurde die Umweltwirkung „Treibhauseffekt“ der Entsorgung von Siedlungsabfall und Altholz im Bundesland Mecklenburg-Vorpommern betrachtet.

Dazu wurden vier Szenarien bzw. Bilanzsysteme, 2008, 2020 T, 2020 A und 2020 AT, welche in der Studie „Klimaschutzpotenziale der Abfallwirtschaft am Beispiel von Siedlungsabfällen und Altholz“ (UBA, 2010a) aufgestellt wurden, für Mecklenburg-Vorpommern betrachtet. In diesen Szenarien wurden bestimmte Maßnahmen und Bedingungen der Entsorgung definiert und die Treibhausgase bilanziert. Anschließend wurden die Bilanzen verglichen, um die Wirksamkeit der Maßnahmen und Bedingungen hinsichtlich der Reduzierung der Umweltwirkung „Treibhauseffekt“ zu bewerten.

In den Szenarien wird jeweils die Entsorgung des Siedlungsabfalls Hausmüll (HM), Sperrmüll (SM) und hausmüllähnlicher Gewerbeabfall (HMG) sowie der getrennt erfassten Fraktionen Bioabfall, Grünabfall, Glas, Papier und Pappe sowie Leichtverpackungen, Metalle und zusätzlich Altholz betrachtet. Bioabfall umfasst den in der Biotonne getrennt erfassten nativ-organischen Abfall. Grünabfall besteht aus nativ-organischem Garten- und Parkabfall. Die Fraktion Papier und Pappe besteht aus Papier und Pappe aus Siedlungsabfall (ASN 20 01 01) und Verpackungen aus Papier und Pappe (ASN 15 01 01). Die Fraktion Altholz umfasst die folgenden Abfallarten: ASN 03 01 05; 15 01 03; 17 02 01; 19 12 07; 20 01 38. Gefährlicher Abfall wurde nicht einbezogen. Es wurden die in Mecklenburg-Vorpommern aufgetretenen Massen der Abfallarten einschließlich der Importe bilanziert. Die Abfallarten wurden in den Szenarien jeweils den gleichen Entsorgungswegen zugeordnet. Diese Entsorgungswege bildeten die Module. Um Nutzengleichheit der Szenarien zu erreichen, wurden jeweils gleiche Gesamtmassen des Siedlungsabfalls und Altholzes bilanziert.

In der Sachbilanz wurden nach Modulen unterteilt die Stoff- und Energieströme, welche für die Umweltwirkung „Treibhauseffekt“ wesentlich waren, zusammengestellt.

Die Wirkungsabschätzung wurde für die Wirkungskategorie „Treibhauseffekt“ mit den Wirkungsindikatoren Treibhausgase fossiles Kohlendioxid CO₂, Methan CH₄ und Distickstoffoxid N₂O durchgeführt. Die Treibhausgase wurden in Abhängigkeit ihrer Klimawirksamkeit zu CO₂-Äquivalenten zusammengefasst. Tab. 1 zeigt die Treibhauspotenziale der wichtigsten Treibhausgase (IPCC, 2007).

Tab. 1: Treibhauspotenziale der wichtigsten Treibhausgase

Treibhausgas	CO ₂ -Äquivalent [kg CO ₂ -Äq / kg]
Kohlendioxid CO ₂ , fossil	1
Methan CH ₄ , fossil	27,75
Methan CH ₄ , regenerativ	25
Distickstoffoxid N ₂ O	298

Bei der Bilanzierung der Treibhausgase wurden Einzelbilanzen der Entsorgung der Abfallarten aufgestellt und jeweils zu den Bilanzen der Szenarien zusammengefasst. Dabei sind positive Werte Emissionen und negative Werte vermiedene Emissionen. Weiterhin wurden alle Stufen der Entsorgung der Abfallarten den ursprünglichen Abfallarten bzw. den ursprünglichen Entsorgungsmethoden zugeordnet. Z. B. wurde die Verbrennung von Ersatzbrennstoffen, die bei der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung gewonnen wurden, der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung zugerechnet, nicht der thermischen Verwertung von Abfall.

Innerhalb der Einzelbilanzen der Abfallarten des Szenarios 2020 AT wurden Sensitivitätsanalysen durchgeführt, um den Einfluss von Eingangsparametern auf die Bilanz der Emission von Treibhausgasen zu untersuchen. Dazu wurden die Werte von ausgewählten Eingangsparametern um 10 % erhöht und die Bilanz der Emissionen berechnet.

3.2 Szenario 2008

Beim Szenario 2008 wurde das Aufkommen des Siedlungsabfalls und des Altholzes und dessen Entsorgung im Jahr 2008 bilanziert. Die Gesamtmasse der im Jahr 2008 entsorgten Abfallströme Siedlungsabfall und Altholz bildet die funktionelle Einheit.

3.3 Szenario 2020 T (Technik)

Beim Szenario 2020 T werden die gleichen Massen der Abfallarten wie beim Szenario 2008 entsorgt. Zusätzlich werden Optimierungen der technischen Verfahren der Entsorgung, welche bis 2020 umsetzbar sind, betrachtet, z. B. die Erhöhung des Wirkungsgrades bei der thermischen Nutzung von Abfall.

3.4 Szenario 2020 A (Abfallströme)

Beim Szenario 2020 A werden jeweils 50 % der Wertstoffe Bioabfall, Grünabfall, Kunststoffe, Verbunde, Papier und Pappe sowie Altholz und Metalle, die beim Szenario 2008 mit dem HM und HMG entsorgt wurden, zusätzlich getrennt erfasst und diese zu den Massen der entsprechenden Abfallarten addiert. Es wurde angenommen, dass diese Maßnahme bis 2020 umsetzbar ist. Dagegen werden Wertstoffe des SM nicht zusätzlich getrennt erfasst. Die Anteile von HM und HMG, welche der thermischen und mechanisch-

biologischen Behandlung zugeordnet wurden, sind gleich den zugeordneten Anteilen des Szenarios 2008. Die zugeordneten Anteile von HM und HMG zu mechanisch-biologischen Anlagen mit aerob- und anaerob-biologischer Behandlung sowie des Bioabfalls zu Kompostierung und Vergärung und des Grünabfalls zu Kompostierung, Vergärung und Verbrennung wurden dagegen im Vergleich zum Szenario 2008 verändert, siehe Kapitel 4.2 und 4.4. Die Bedingungen der technischen Verfahren der Entsorgung sind gleich den Bedingungen des Szenarios 2008.

3.5 Szenario 2020 AT (Abfallströme und Technik)

Dieses ist eine Kombination der Szenarien 2020 A und 2020 T.

3.6 Massenbilanzen

Die Tab. 2 und 3 zeigen jeweils das Aufkommen und die den Entsorgungswegen zugeordneten Massen der Abfallarten bei den Szenarien 2008 und 2020 T und den Szenarien 2020 A und 2020 AT. Es sind die Frischmassen angegeben. Weiterhin sind die Werte in das Aufkommen des Abfalls in Mecklenburg-Vorpommern und das gesamte Aufkommen einschließlich der Importe sowie die gesamten eingesetzten Massen des Abfalls und die eingesetzten Massen, welche in Mecklenburg-Vorpommern aufkamen, unterteilt. Die Bilanzierung der Treibhausgase wurde mit den gesamten eingesetzten Massen des Abfalls durchgeführt, siehe Kapitel 4.

Tab. 2: Aufkommen des Siedlungsabfalls und Altholzes und Zuordnung zu Entsorgungswegen bei den Szenarien 2008 und 2020 T

Fraktion	Aufkommen		thermische Be- handlung		mechan.-biolog. Behandlung		Sortierung		biologische Be- handlung		energetische Verwertung		stoffliche Verwer- tung	
	Σ	MV	Σ	MV	Σ	MV	Σ	MV	Σ	MV	Σ	MV	Σ	MV
	m [Mg]	m [Mg]	m [Mg]	m [Mg]	m [Mg]	m [Mg]	m [Mg]	m [Mg]	m [Mg]	m [Mg]	m [Mg]	m [Mg]	m [Mg]	m [Mg]
Hausmüll, Hausmüllähn- licher Gewerbeabfall	312.000	312.000	31.800	31.800	280.200	280.200								
Sperrmüll	80.000	70.300			19.100	19.000	60.900	51.300						
Hausmüllähnlicher Ge- werbeabfall	76.500	68.400			76.500	68.400								
Bioabfall	59.000	35.900							59.000	35.900				
Grünabfall	79.900	72.400							73.900	68.600	6.000	3.800		
Glas	45.900	45.900											45.900	45.900
Pappe und Papier	119.400	118.800											119.400	118.800
Leichtverpackungen	47.500	45.300											47.500	45.300
Metall	1.500	1.500											1.500	1.500
Altholz	432.639	212.519									391.919	185.819	40.720	26.700
Σ	1.254.339	983.019												

Tab. 3: Aufkommen des Siedlungsabfalls und Altholzes und Zuordnung zu Entsorgungswegen bei den Szenarien 2020 A und 2020 AT

Fraktion	Aufkommen		thermische Be- handlung		mechan.-biolog. Behandlung		Sortierung		biologische Be- handlung		energetische Verwertung		stoffliche Verwer- tung	
	Σ	MV	Σ	MV	Σ	MV	Σ	MV	Σ	MV	Σ	MV	Σ	MV
	m [Mg]	m [Mg]	m [Mg]	m [Mg]	m [Mg]	m [Mg]	m [Mg]	m [Mg]	m [Mg]	m [Mg]	m [Mg]	m [Mg]	m [Mg]	m [Mg]
Hausmüll, Hausmüllähn- licher Gewerbeabfall	216.290	216.290	22.045	22.045	194.245	194.245								
Sperrmüll	80.000	70.300			19.100	19.000	60.900	51.300						
Hausmüllähnlicher Ge- werbeabfall	57.290	51.224			57.290	51.224								
Bioabfall	95.091	71.787							95.091	71.787				
Grünabfall	97.945	90.343							55.094	50.818	42.851	39.525		
Glas	45.900	45.900											45.900	45.900
Pappe und Papier	140.536	139.693											140.536	139.693
Leichtverpackungen	74.002	70.911											74.002	70.911
Metall	7.710	7.611											7.710	7.611
Altholz	439.575	218.960									398.202	191.451	41.373	27.509
Σ	1.254.339	983.019												

Das Aufkommen des Abfalls und dessen anteilige Zuordnung zu Entsorgungswegen wurde mit Hilfe der Abfallbilanzen der öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger (LUNG, 2010) sowie der Auswertung der Berichte der Betreiber von Abfallentsorgungsanlagen des Jahres 2008 (StatA MV, 2010) bestimmt.

Im Jahr 2008 wurden 821.700 Mg (66 %) Siedlungsabfall und 432.639 Mg (34 %) Altholz und damit insgesamt 1.254.339 Mg Siedlungsabfall und Altholz in Mecklenburg-Vorpommern entsorgt. Davon wurden 22 % importiert. Den größten Anteil des Abfallimports von 81 % bildete Altholz.

Das Aufkommen von HM betrug 312.000 Mg und war kleiner als die entsorgte Masse Altholz. Der HM wurde vollständig in Mecklenburg-Vorpommern entsorgt und sowohl in thermischen als auch mechanisch-biologischen Anlagen zur Ablagerung vorbehandelt. Dabei entsprach der Durchsatz der mechanisch-biologischen Anlagen 90 % des Aufkommens des HM (280.200 Mg). SM (80.000 Mg) wurde überwiegend sortiert bzw. separat mechanisch behandelt (76 %), während der Rest (24 %) in mechanisch-biologischen Anlagen mitbehandelt wurde. HMG (76.500 Mg) wurde in mechanisch-biologischen Anlagen behandelt. Die gesamte Masse des zu beseitigenden Abfalls wurde vor der Ablagerung vorbehandelt.

Vom Aufkommen des Bioabfalls (59.000 Mg) wurden 73 % kompostiert und 27 % anaerob-biologisch behandelt. Grünabfall (73.900 Mg) wurde hauptsächlich kompostiert (92 %); 8 % wurden thermisch verwertet. Die getrennt erfassten Fraktionen Glas, Papier und Pappe sowie Leichtverpackungen und Metalle wurden stofflich verwertet. Altholz wurde zu 91 % energetisch und zu 9 % stofflich verwertet.

Nach StatA MV, 2010 wurde Altholz energetisch verwertet sowie sortiert und geschreddert. Der Sortierung und Schredderung schließt sich eine energetische oder stoffliche Verwertung an. Es wurde angenommen, dass 80 % des sortierten Altholzes stofflich und 20 % energetisch und 50 % des geschredderten Altholzes stofflich und 50 % energetisch verwertet wurden.

Die in StatA MV, 2010 angegebenen Summen der Massen des entsorgten Altholzes waren mit den primär eingesetzten Massen gebildet worden, d. h., die energetisch verwertete Masse des Altholzes enthielt die energetisch verwerteten Anteile aus der Sortierung und Schredderung von Altholz. Weiterhin waren in den energetisch und stofflich verwerteten Massen jeweils die energetisch und stofflich verwerteten Anteile der Fraktion Holz, welche bei der Sortierung von SM anfällt, enthalten. Deren Verwertung wurde jedoch der Sortierung von SM zugerechnet.

Um die Massen des jeweils entsorgten Altholzes zu bestimmen, wurde die Masse der Fraktion Holz aus der Sortierung von SM und der energetisch verwertete Anteil aus der Sortierung und Schredderung von der summierten Masse des entsorgten Altholzes abgezogen. Außerdem wurde die Masse des energetisch verwerteten Altholzes um die energetisch verwerteten Anteile der Fraktion Holz aus der Sortierung von SM sowie des Altholzes aus der Sortierung und Schredderung reduziert. Der stofflich verwertete Anteil des Althol-

zes aus der Sortierung und Schredderung wurde um den stofflich verwerteten Anteil der Fraktion Holz aus der Sortierung von SM gemindert.

Zur Bestimmung der Massen der zusätzlich getrennt erfassten Wertstoffe bei den Szenarien 2020 A und 2020 AT wurde die Zusammensetzung von HM und HMG nach KERN et al. 2001 verwendet. Durch die zusätzliche getrennte Erfassung der Wertstoffe sinkt die Masse des HM um 31 % auf 216.290 Mg und des HMG um 25 % auf 57.290 Mg. Die in thermischen und mechanisch-biologischen Anlagen behandelten Massen des HM wurden jeweils um 31 % reduziert.

Die Massen der zusätzlich getrennt erfassten Wertstoffe wurden den entsprechenden Abfallarten zugeordnet. Bei der Verteilung der Fraktion Organik zu Bioabfall und Grünabfall wurde angenommen, dass die Organik aus 2/3 Bioabfall und 1/3 Grünabfall besteht (UBA, 2010a). Die gebildeten Gesamtmassen der Wertstoffe wurden den zugehörigen Entsorgungswegen anteilig zugeordnet. Diese Anteile sind gleich den Anteilen der Massen der Wertstoffe, die beim Szenario 2008 den jeweiligen Entsorgungswegen zugeordnet wurden, mit Ausnahme von Bioabfall und Grünabfall. 20 % des Bioabfalls werden aerob- und 80 % anaerob-biologisch behandelt. Es wurde angenommen, dass die erforderliche Kapazität durch Co-Vergärung von Bioabfall in landwirtschaftlichen Vergärungsanlagen und Erweiterung von Kompostierungsanlagen um eine Vergärungsstufe sowie den Neubau von Vergärungsanlagen verfügbar ist. Grünabfall wird zu 56 % biologisch verwertet, wobei 67 % aerob- und 33 % anaerob-biologisch behandelt werden, und zu 44 % thermisch verwertet.

Für die Bestimmung der Outputstoffströme der Sortierung von SM wurde die Zusammensetzung nach KERN et al. 2001 verwendet.

Die Tab. 4 und 5 enthalten die Zusammensetzungen von HM und HMG der Szenarien 2008 und 2020 T sowie SM und von HM und HMG der Szenarien 2020 A und 2020 AT. Die Zusammensetzungen von SM der Szenarien 2008 und 2020 T einerseits und 2020 A und 2020 AT andererseits sind gleich.

Tab. 4: Zusammensetzungen von Hausmüll und hausmüllähnlichem Gewerbeabfall der Szenarien 2008 und 2020 T sowie Sperrmüll

Fraktion	Hausmüll	Hausmüll- ähnlicher Gewerbeabfall	Sperrmüll
	m [M.-%]		
Organik	32,9	7,6	2,4
Feinfraktion < 8 mm	18,4	-	-
Mittelfraktion 8 - 40 mm	-	-	-
Glas	5,8	3,6	0,3
Kunststoffe	5,3	10,9	3,5
Verbunde	6,3	11,1	20,6
Pappe / Papier / Karton	12,1	6,0	2,5
Textilien	2,4	1,8	0,8
Holz	1,4	12,2	40,0
Mineralstoffe	-	20,2	3,0
FE- / NE-Metalle	3,4	2,4	12,5
Schadstoffe	-	-	-
Stoffe a. n. g.	7,7	24,2	14,2
Windeln	4,3	-	-
Σ	100	100	100

Tab. 5: Zusammensetzungen von Hausmüll und hausmüllähnlichem Gewerbeabfall der Szenarien 2020 A und 2020 AT

Fraktion	Hausmüll	Hausmüllähnlicher Gewerbeabfall
	m [M.-%]	
Organik	23,7	5,0
Feinfraktion < 8 mm	26,5	-
Mittelfraktion 8 - 40 mm	-	-
Glas	8,4	4,7
Kunststoffe	3,8	7,3
Verbunde	4,5	7,4
Pappe / Papier / Karton	8,7	4,0
Textilien	3,5	2,4
Holz	1,0	8,2
Mineralstoffe	-	27,0
FE- / NE-Metalle	2,4	1,6
Schadstoffe	-	-
Stoffe a. n. g.	11,1	32,3
Windeln	6,3	-
Σ	100	100

3.7 Weitere Randbedingungen der Bilanzierung

In dieser Studie wurden die gesamten Massen der gewonnenen Stoffe zur Verwertung, wie Glas, Metalle und Ersatzbrennstoffe, der Bilanz der Emission von Treibhausgasen des Bundeslandes Mecklenburg-Vorpommern des entsprechenden Jahres bzw. Szenarios zugeordnet, d. h., unabhängig von exportierten und zwischengelagerten Massen.

Die Vermeidung der Emission von Treibhausgasen durch Verwertung von Stoffen wird erzielt, wenn die Primärrohstoffe der Produktionsprozesse durch diese Sekundärrohstoffe ersetzt werden. Im Mecklenburg-Vorpommern gibt es weder Stahlwerke noch Glashütten. Deshalb werden Metalle und Glas für die Verwertung außer Landes exportiert. Es würde die Bilanz jedoch verfälschen, wenn die zur Verwertung exportierten Massen nicht berücksichtigt werden. Deshalb wurden die durch Verwertung von Sekundärrohstoffen vermiedenen Emissionen von Treibhausgasen mit dem zweckbestimmten Aufkommen der Sekundärrohstoffe zur Verwertung angerechnet.

Außerdem wurden bei der energetischen Verwertung von Abfall in Ersatzbrennstoff- und Biomasse-Heizkraftwerken die elektrischen und thermischen Nettonutzungsgrade der Anlagen, die sich in Mecklenburg-Vorpommern befinden, angesetzt, um deren Einfluss auf die Bilanzen der Emission von Treibhausgasen zu bestimmen.

Bei der Bilanzierung der Treibhausgase wurde der Bezug von Strom, Wärme, Erdgas, Dieselkraftstoff und Heizöl mit Emissionsfaktoren (EF) mit Vorketten berücksichtigt, welche in Tab. 6 zusammengefasst sind. Durch die Gewinnung von Strom und Wärme bei der Entsorgung des Abfalls wird die Erzeugung in konventionellen Kraft- und Heizwerken ersetzt. Zur Berechnung der Gutschriften wurden Emissionsvermeidungsfaktoren (EVF) mit Vorketten, bezogen auf Kohlendioxid, angesetzt, die in Tab. 7 enthalten sind (UBA, 2009).

Tab. 6: Emissionsfaktoren

Energieform / -träger	EF [kg CO ₂ -Äq / MJ]	Quelle
Strom	0,182	probas
Wärme	0,071	UBA, 2008
Erdgas	0,068	GEMIS 4.6
Dieselmkraftstoff	0,086	GEMIS 4.6
Heizöl	0,086	GEMIS 4.6

Tab. 7: Emissionsvermeidungsfaktoren

Energieträger	EVF _{el} [kg CO ₂ / MJ]	EVF _{th} [kg CO ₂ / MJ]
biogener Anteil des Abfalls ⁽¹⁾	0,230	0,079
Biogas	0,191	0,074
feste Biomasse	0,228	0,078

⁽¹⁾ thermische Abfallbehandlung und Verwertung der Ersatzbrennstoffe

Die Berechnung der Szenarien liegt beim Verfasser, BN Umwelt GmbH Rostock, vor.

4 Bilanzen der spezifischen Emissionen

4.1 Thermische Abfallbehandlung

In Mecklenburg-Vorpommern wird eine thermische Abfallbehandlungsanlage am Standort Ludwigslust betrieben. 2008 wurden 31.800 Mg HM verbrannt. Es wurde elektrische Energie erzeugt, thermische Energie wurde dagegen nicht genutzt.

Damit werden bei den Szenarien 2008 und 2020 T jeweils 31.800 Mg und bei den Szenarien 2020 A und 2020 AT jeweils 22.045 Mg HM thermisch entsorgt. Diese Massen entsprechen jeweils Anteilen von 10 % des Aufkommens von HM.

Bei der Bilanzierung der Treibhausgase waren die Module Abfallsammlung und -transport sowie Betrieb der Verbrennungsanlage, welche Emissionen verursachen, und Erzeugung von elektrischer und thermischer Energie sowie Metallrecycling, welche Emissionsminderungen bewirken, zu betrachten. Die Emission von Treibhausgasen aus dem thermisch behandelten Ablagerungsmaterial konnte vernachlässigt werden.

Die Emission von klimawirksamem Kohlendioxid beim Betrieb der Abfallverbrennung ist vom Gehalt des fossilen Kohlenstoffs des Abfalls abhängig. Dieser beträgt 72 kg / Mg HM bei den Szenarien 2008 und 2020 T und 68 kg / Mg HM bei den Szenarien 2020 A und 2020 AT. Regenerativer Kohlenstoff war nicht zu berücksichtigen. Weiterhin werden die Betriebsmittel Aktivkohle, Ammoniak und Branntkalk verbraucht (ROSEMANN, 2011), deren Bereitstellung zusätzliche Emissionen von Treibhausgasen verursacht.

Bei der Energieerzeugung wurde bei den Szenarien 2008 und 2020 A ein elektrischer Nettonutzungsgrad von 10 % angesetzt. Thermische Energie wird nicht verwertet. Bei den Szenarien 2020 T und 2020 AT betragen die elektrischen und thermischen Nettonutzungsgrade jeweils 14 und 45 % (UBA, 2010a).

Weiterhin sind 3,4 % Metalle bei den Szenarien 2008 und 2020 T und 2,4 % bei den Szenarien 2020 A und 2020 AT im HM enthalten. Beim Metallrecycling wurde angenommen, dass die Metallfraktion des HM aus 85 % Eisenmetallen und 15 % Nichteisenmetallen besteht (FRICKE et al. 2010). Weiterhin wurden Wirkungsgrade der Abtrennung von Eisenmetallen aus der Schlacke von 50 % und von Nichteisenmetallen von 10 % bei den Szenarien 2008 und 2020 A und von jeweils 70 bzw. 50 % bei den Szenarien 2020 T und 2020 AT angenommen (UBA, 2010a). Die Emissionsvermeidungsfaktoren des Metallrecyclings betragen 860 kg CO₂ / Mg Eisenmetalle, 9.870 kg CO₂ / Mg Aluminium und 3.520 kg CO₂ / Mg Kupfer (HIEBEL und PFLAUM, 2009). Weißblech- und Aluminiumfolien werden bei der Verbrennung zerrieben und als Feinkorn mit der Schlacke verbacken (FRICKE et al. 2010). Deshalb wurde ein geminderter Anteil von 20 % Aluminium an den Nichteisenmetallen und von 80 % Kupfer angenommen. Damit beträgt der Emissionsvermeidungsfaktor für Nichteisenmetalle 4.790 kg CO₂ / Mg.

Die Bilanzen der Emissionen sind in Tab. 8 und Abb. 1 dargestellt. Differenzen der angegebenen Summen und der Summen der Emissionen der Module sind auf Rundungsungenauigkeiten zurückzuführen.

Tab. 8: Bilanzen der Emissionen bei der thermischen Behandlung von Hausmüll

Szenario	2008	2020 T	2020 A	2020 AT
Modul	m [kg CO ₂ -Äq / Mg]			
Sammlung und Transport	7,0	7,0	6,9	6,9
Betrieb der Anlage	276,9	276,9	261,7	261,7
Energieerzeugung	-186,9	-549,9	-169,6	-498,9
Metallrecycling	-14,8	-29,5	-10,7	-21,2
Σ	82,2	-295,5	88,4	-251,5

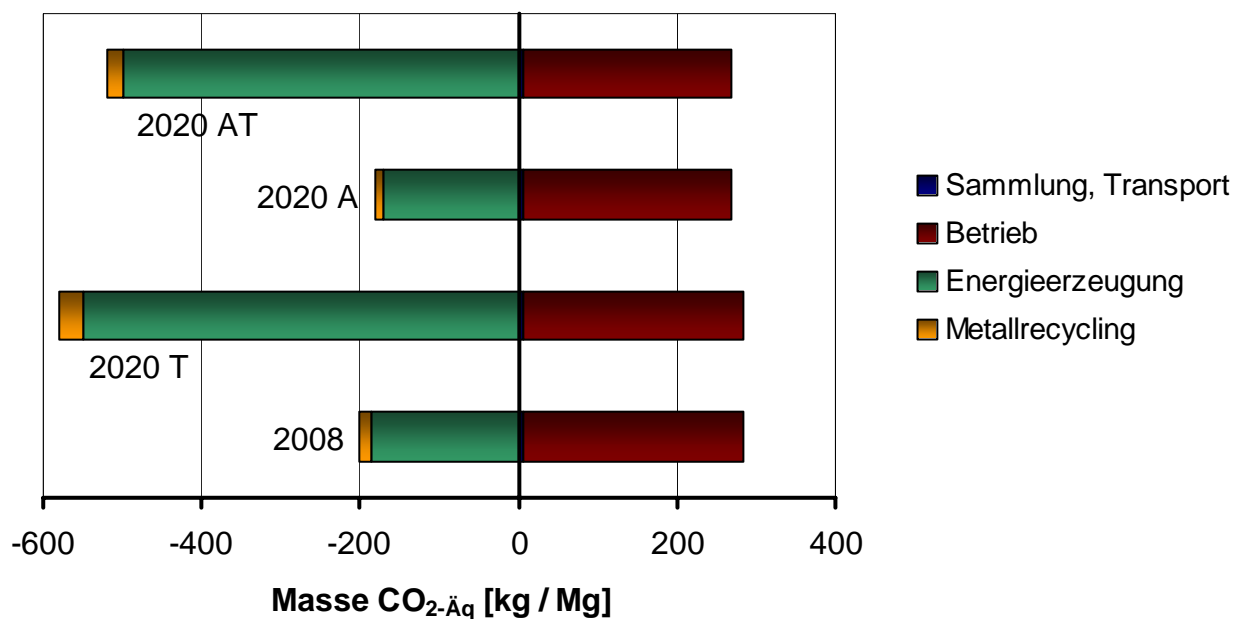


Abb. 1: Bilanzen der Emissionen bei der thermischen Behandlung von Hausmüll

Bei den Szenarien 2008 und 2020 A sind die Bilanzen positiv, d. h., durch die Verbrennung von HM werden Treibhausgase emittiert. Dagegen sind die Bilanzen bei den Szenarien 2020 T und 2020 AT negativ, d. h., die Emission von Treibhausgasen wird vermieden.

Die durch Energiegewinnung vermiedenen Emissionen sind bei allen Szenarien mindestens um den Faktor 13 größer als die durch Metallrecycling vermiedenen Emissionen. Damit wird die Emission von Treibhausgasen vor allem durch die Energieerzeugung vermieden.

Bei den Szenarien 2020 T und 2020 AT sind die Emissionsminderungen durch Energieerzeugung jeweils um den Faktor 2,7 größer als bei den Szenarien 2008 und 2020 A, weil die elektrischen Nettonutzungsgrade von 14 % bei den Szenarien 2020 T und 2020 AT größer sind und Wärme genutzt wird. Dadurch werden die Bilanzen negativ. Dabei sind die vermiedenen Emissionen durch Erzeugung von Strom größer als durch Erzeugung von Wärme, weil der Emissionsvermeidungsfaktor von Strom von 0,230 kg CO₂ / MJ größer ist als der von Wärme von 0,079 kg CO₂ / MJ. Bei einem elektrischen Nettonutzungsgrad von 10 % sollte mindestens 15,5 % Wärme genutzt werden, um die Emission von Treibhausgasen bei der thermischen Behandlung von HM zu vermeiden.

Die abgetrennten Metalle haben zwar kleine Anteile an der Vermeidung der Emission von Treibhausgasen, jedoch sind die vermiedenen Emissionen im Verhältnis zu den Massen der abgetrennten Metalle groß (990 kg CO₂-Äq / Mg Metalle bei den Szenarien 2008 und 2020 A und 1.300 kg CO₂-Äq / Mg bei den Szenarien 2020 T und 2020 AT). Dieses wird durch die großen Emissionsvermeidungsfaktoren von 860 kg CO₂ / Mg Eisenmetalle und 4.790 kg CO₂ / Mg Nichteisenmetalle bewirkt. Durch die Erhöhung der Wirkungsgrade der Abscheidung der Metalle bei den Szenarien 2020 T und 2020 AT steigen die vermiedenen Emissionen jeweils um 1/4.

Um die Emission von Treibhausgasen bei der thermischen Behandlung von HM zu vermeiden, sollten bei der thermischen Abfallbehandlungsanlage Ludwigslust vorrangig

- thermische Energie von mindestens 15,5 % genutzt,
- der elektrische Nettonutzungsgrad auf 14 % erhöht und
- der thermische Nettonutzungsgrad maximiert werden.

Zusätzlich sollten die Wirkungsgrade der Abscheidung der Eisen- bzw. Nichteisenmetalle jeweils mindestens auf 70 bzw. 50 % gesteigert werden. Dieses könnte durch Abtrennung der Metalle vor der Verbrennung des HM erzielt werden.

Bei der Sensitivitätsanalyse wurden die Eingangsparameter Heizwert des HM und Gehalt des regenerativen Kohlenstoffs sowie elektrischer und thermischer Nettonutzungsgrad untersucht. Die Ergebnisse zeigt Tab. 9.

Tab. 9: Sensitivitätsanalyse

Szenario	2020 AT	
	Anstieg Parameter [%]	Zunahme der vermiedenen Emission [%]
Heizwert des Hausmülls	10	17
Gehalt des regenerativen Kohlenstoffs	10	17
elektrischer Nettonutzungsgrad	10	9

Bei einem Anstieg der Werte der Parameter Heizwert und Gehalt des regenerativen Kohlenstoffs um 10 % steigen die vermiedenen Emissionen um jeweils 17 %. Dieses ist deutlich größer als der Anstieg der vermiedenen Emissionen um 9 % bei einem Anstieg des elektrischen Nettonutzungsgrades um 10 %.

4.2 Mechanisch-biologische Abfallbehandlung

Bei der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung (MBA) werden mechanische und biologische Verfahren kombiniert, um Restabfall zur Beseitigung vorzubehandeln. In der mechanischen Stufe werden Eisen- und Nichteisenmetalle sowie Ersatzbrennstoffe (EBS) zur Verwertung abgetrennt und die Feinfraktion für die biologische Behandlung aufbereitet. Diese kann sowohl aerob als auch anaerob durchgeführt werden. Der anaerob-biologischen Behandlung ist eine aerobe Stufe nachzuschalten. Ersatzbrennstoffe werden in Ersatzbrennstoff-Heizkraftwerken, Zementwerken sowie Braun- und Steinkohlekraftwerken zur Energiegewinnung eingesetzt und die Metalle in der Metallindustrie verwertet.

Im Jahr 2008 wurden in Mecklenburg-Vorpommern drei mechanisch-biologische Anlagen an den Standorten Rostock, Stralsund und Rosenow sowie eine mechanische Anlage am Standort Ihlenberg betrieben. Um die Bilanzierung zu vereinfachen, wurde die Anlage am Standort Ihlenberg als mechanisch-biologische Anlage mit ausgelagerter biologischer Behandlung betrachtet.

Tab. 10 zeigt die Abfallmassen, die in den mechanisch-biologischen Anlagen und in Anlagen mit aerob- und anaerob-biologischer Stufe behandelt werden.

Tab. 10: Abfallmassen, die in den mechanisch-biologischen Anlagen behandelt werden

Szenario	2008 / 2020 T	2020 A / 2020 AT
Abfallart	m [Mg]	
Hausmüll	280.200	194.245
Hausmüllähnlicher Gewerbeabfall	76.500	57.290
Sperrmüll	19.100	19.100
Σ	375.800	270.635
MBA _{aerob}	262.300	0
MBA _{anaerob} ⁽¹⁾	113.500	270.635
Σ	375.800	270.635

⁽¹⁾ Abfallmassen, die in mechanisch-biologischen Anlagen mit anaerober Stufe behandelt werden

Durch die zusätzliche getrennte Erfassung von Wertstoffen der Haushaltungen und des Gewerbes bei den Szenarien 2020 A und 2020 AT sinkt der Input der mechanisch-biologischen Anlagen von 375.800 Mg um 28 % auf 270.635 Mg.

Im Jahr 2008 war die mechanisch-biologische Anlage Rostock mit einer anaerob-biologischen Stufe ausgestattet. In der Anlage Rostock wurden 113.500 Mg HM und HMG behandelt. Bei den Szenarien 2020 A und 2020 AT wurde angenommen, dass alle mechanisch-biologischen Anlagen mit einer anaerob-biologischen Stufe ausgestattet sind.

Weiterhin verändert sich die Zusammensetzung des mechanisch-biologisch behandelten Abfalls und damit die Massenanteile der Outputfraktionen durch die zusätzliche Erfassung von Wertstoffen bei den Szenarien 2020 A und 2020 AT. Die Outputfraktionen sind in Tab. 11 angegeben. Die Daten wurden mit einem eigenen Modell berechnet.

Durch die zusätzliche Erfassung von Wertstoffen sind die Anteile der Ersatzbrennstoffe von 39 % bei den Szenarien 2020 A und 2020 AT geringfügig kleiner als die Anteile von 43 % bei den Szenarien 2008 und 2020 T. Dagegen sind die Anteile der Ablagerungsfraction von 42 % bei den Szenarien 2020 A und 2020 AT größer als die Anteile von 34 % bei den Szenarien 2008 und 2020 T. Dieses wird durch einen angenommenen kleineren Massenverlust bei der biologischen Behandlung bei den Szenarien 2020 A und 2020 AT verursacht. Metalle haben bei allen Szenarien kleine Anteile von max. 3,1 %. Während die Ersatzbrennstoffe bei den Szenarien 2008 und 2020 T die größte Fraktion bilden, ist die Ablagerungsfraction bei den Szenarien 2020 A und 2020 T am größten.

Es wurde ebenso wie bei der thermischen Abfallbehandlung angenommen, dass die Metallfraktion aus 85 % Eisenmetallen und 15 % Nichteisenmetallen besteht. Bei der Abscheidung von Eisenmetallen wurden bei allen Szenarien gleiche Wirkungsgrade von 86 % angenommen. Bei Nichteisenmetallen betragen die Wirkungsgrade der Abscheidung 25 % bei den Szenarien 2008 und 2020 A und 75 % bei den Szenarien 2020 T und 2020 AT (FRICKE et al. 2010).

Tab. 11: Massenanteile der Outputfraktionen der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung

Szenario	2008	2020 T	2020 A	2020 AT
Output	m [M.-%]			
FE-Metalle	2,7	2,7	2,2	2,2
NE-Metalle	0,1	0,4	0,1	0,3
Ersatzbrennstoffe	43,3	43,3	38,7	38,7
biolog. Behandlung	53,9	53,6	59,0	58,8
Σ	100	100	100	100
Ablagerung	34,3	34,0	42,5	42,3
Verlust	19,6	19,6	16,5	16,5
Σ	53,9	53,6	59,0	58,8

Die Bilanzierung der Treibhausgase der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung umfasst die Module Sammlung und Transport, Betrieb der mechanisch-biologischen Anlagen und Deponierung der biologisch behandelten Fraktion sowie energetische Nutzung des Biogases in Blockheizkraftwerken, Verwertung der Ersatzbrennstoffe in Ersatzbrennstoff-Heizkraftwerken und Metallrecycling.

Betrieb der mechanisch-biologischen Anlagen

Beim Betrieb der mechanisch-biologischen Anlagen waren Emissionen von Distickstoffoxid (N_2O) von 0,0031 kg / Mg bei aerob biologischen Anlagen und 0,0033 kg / Mg bei anaerob-biologischen Anlagen (IAA/INTECUS, 2010) sowie die Emissionen durch den Energiebedarf zu berücksichtigen. Den Energiebedarf zeigt Tab. 12 (WALLMANN et al. 2008; IAA/INTECUS, 2010).

Tab. 12: Energiebedarf der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung

Szenario	2008 / 2020 A	2020 T / 2020 AT
	MJ / Mg	
$E_{el\ aerob}$	133,2	133,2
$Q_{th\ aerob}$	28,8	28,8
$Q_{Erdgas\ aerob}$	201,6	201,6
$E_{el\ anaerob}$	162,0	162,0
$Q_{th\ anaerob}$	72,0	72,0
$Q_{Erdgas\ anaerob}$	187,2	187,2

Erdgas wird als Brenngas für den Betrieb der Regenerativ-Thermischen Oxidation (RTO) zur Abluftreinigung der aerob biologischen Behandlungsstufe benötigt. Der Erdgasbedarf der anaerob-biologischen Anlagen ist kleiner als der Erdgasbedarf der aerob biologischen Anlagen, weil das gebildete spezifische Abluftvolumen kleiner ist. Dagegen sind der Strom- und Wärmebedarf der anaerob-biologischen Anlagen größer. Wärme ist ebenso wie bei aerob biologischen Anlagen zur Beheizung von Gebäuden und zusätzlich zur Beheizung der Reaktoren zur Vergärung erforderlich. Strom wird zusätzlich für die Aufbereitung des Inputs der Vergärung und zur Entwässerung des Gärrestes benötigt. Es wurde angenommen, dass der Wärmebedarf der aerob biologischen Anlagen vollständig durch die Abwärme der aerob biologischen Behandlung und der anaerob-biologischen Anlagen durch die Abwärme des Blockheizkraftwerkes zur energetischen Nutzung des Biogases gedeckt wird. Strom und Erdgas werden bezogen.

Deponierung der biologisch behandelten Fraktion

Die Emission von Methan aus der abgelagerten Fraktion wurde mit einem Emissionsfaktor von 0,8 kg / (Mg * a) (HERTEL et al. 2001) und einer Emissionsdauer von einem Jahr be-

rechnet. Nach spätestens einem Jahr wird der abgelagerte Abfall abgedeckt und das Deponiegas gefasst und verwertet oder biologisch oder thermisch abgebaut.

Energetische Nutzung des Biogases in Blockheizkraftwerken

Bei der biologischen Behandlung mit anaerober Stufe wurde bei allen Szenarien angenommen, dass 50 % des Inputs der biologisch zu behandelnden Fraktion der Vergärung zugeführt werden. Weiterhin werden Biogasvolumen von $100 \text{ m}^3(\text{N}) / \text{Mg}$ biologisch zu behandelnde Fraktion (WM, 2009b) bei den Szenarien 2008 und 2020 T und $88 \text{ m}^3(\text{N}) / \text{Mg}$ bei den Szenarien 2020 A und 2020 AT (eigene Berechnungen) mit Methangehalten von jeweils 55 % gebildet (WM, 2009b).

Die Daten zur energetischen Verwertung des Biogases in Blockheizkraftwerken stellt Tab. 13 dar. Bei der Bilanzierung der Treibhausgase wurde von einem Gesamtverlust von 1,5 % des gebildeten Methans ausgegangen (UBA, 2010b).

Tab. 13: Energetische Verwertung des Biogases

Szenario	2008	2020 T	2020 A	2020 AT
$\eta_{\text{el brutto}} [\%]$	37,5	37,5	37,5	37,5
$\eta_{\text{th brutto}} [\%]$	42,5	42,5	42,5	42,5
$E_{\text{el eigen}} [\%]$	2,5	2,5	2,5	2,5
$\eta_{\text{el netto}} [\%]$	36,6	36,6	36,6	36,6
$Q_{\text{th eigen}} [\%]$	24,7	24,7	33,8	33,8
$\eta_{\text{th netto}} [\%]$	32,0	32,0	28,2	28,2
$Q_{\text{th Nutz}} [\%]$	40,0	80,0	40,0	80,0

Die elektrischen und thermischen Bruttonutzungsgrade von 37,5 und 42,5 % entsprechen dem Stand der Technik. Von der überschüssigen Wärme werden 40 % bei den Szenarien 2008 und 2020 A und 80 % bei den Szenarien 2020 T und 2020 AT verwertet.

Verwertung der Ersatzbrennstoffe in Ersatzbrennstoff-Heizkraftwerken

Im Jahr 2008 wurden in Mecklenburg-Vorpommern zwei Ersatzbrennstoff-Heizkraftwerke an den Standorten Stavenhagen und Demmin betrieben. Zementwerke waren nicht vorhanden, und das Steinkohlekraftwerk am Standort Rostock setzte Ersatzbrennstoffe nicht ein (WM, 2009c).

Bei der energetischen Verwertung der Ersatzbrennstoffe in Ersatzbrennstoff-Heizkraftwerken werden Emissionen durch den Betrieb der Anlage gebildet und Emissionsminderungen durch die Gewinnung von Strom- und Wärme durch Verbrennung des regenerativen Kohlenstoffs erzielt.

Die betrieblichen Emissionen werden durch

- die Oxidation von fossilem Kohlenstoff c_{fos} von 186 kg / Mg; Mittelwert von 167 kg / Mg (IAA/INTECUS, 2010) und 205 kg / Mg (UBA, 2010a),
- die Emission von Distickstoffoxid (N_2O) von 3,4 kg $CO_2\text{-Äq}$ / Mg (IAA/INTECUS, 2010),
- den Heizölbedarf für den Stützbrenner von 91 MJ / Mg (PLEPLA, 2011) und
- den Bedarf an Harnstoff, Kalkhydrat und Aktivkohle für die Rauchgasreinigung (PLEPLA, 2011) verursacht.

Die Werte des Betriebsmittelbedarfs gelten für die Anlage Stavenhagen und wurden für beide Ersatzbrennstoff-Heizkraftwerke verwendet.

Die Emissionsminderung durch Strom- und Wärmegewinnung wurde mit einem Heizwert H_i des Ersatzbrennstoffes von 13 MJ / kg FM berechnet (WM, 2009b).

Im Jahr 2008 betragen die Kapazitäten der Ersatzbrennstoff-Heizkraftwerke insgesamt $2,1 \cdot 10^9$ MJ / a. Das Aufkommen der Ersatzbrennstoffe aus mechanisch-biologischen Anlagen und der Sortierung von SM betrug $2,5 \cdot 10^9$ MJ im Jahr 2008 und war geringfügig größer als die Kapazität. Damit wurde ein Teil der Ersatzbrennstoffe zwischengelagert und exportiert, aber entsprechend obiger Randbedingung der Bilanz der Emission von Treibhausgasen des Jahres 2008 zugeordnet.

Die elektrischen und thermischen Nettonutzungsgrade der Ersatzbrennstoff-Heizkraftwerke betragen $\eta_{el\ netto} = 13 \%$ und $\eta_{th\ netto} = 22 \%$ bei den Szenarien 2008 und 2020 A und jeweils 20 bzw. 40 % bei den Szenarien 2020 T und 2020 AT (UBA, 2010a).

Metallrecycling

Beim Metallrecycling wurden die gleichen Emissionsvermeidungsfaktoren von Eisenmetallen, Aluminium und Kupfer wie bei der thermischen Abfallbehandlung, aber eine Zusammensetzung der Nichteisenmetalle von 50 % Aluminium und 50 % Kupfer angesetzt.

Tab. 14 und Abb. 2 zeigen die Bilanzen der Emissionen.

Tab. 14: Bilanzen der Emissionen bei der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung

Szenario	2008	2020 T	2020 A	2020 AT
Modul	m [kg CO ₂ -Äq / Mg]			
Sammlung und Transport	9,1	9,1	9,4	9,4
Betrieb der Anlagen	40,2	40,2	43,2	43,2
Deponierung	4,9	4,9	6,1	6,1
Biogas-BHKW	-14,8	-16,8	-35,4	-39,6
EBS-HKW	38,1	-132,5	34,1	-118,5
Metallrecycling	-32,1	-50,5	-26,2	-41,2
Σ	45,3	-145,7	31,1	-140,7

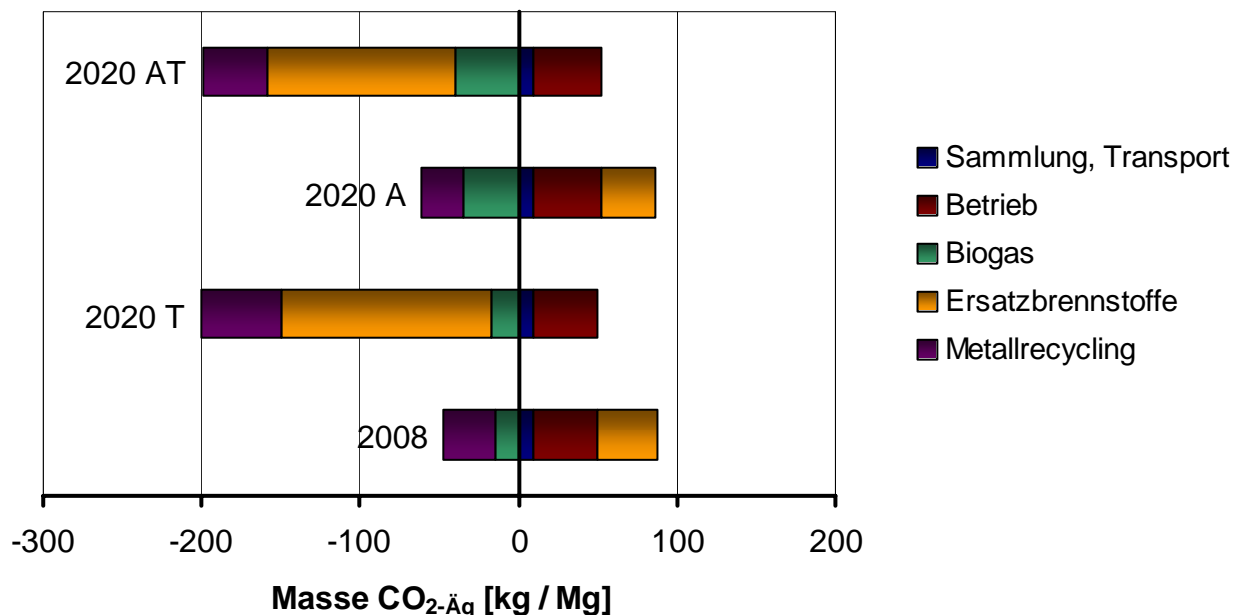


Abb. 2: Bilanzen der Emissionen bei der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung

Bei der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung werden bei den Szenarien 2008 und 2020 A Treibhausgase emittiert, während bei den Szenarien 2020 T und 2020 AT Emissionen vermieden werden.

Dieses ist vor allem von der Verwertung der Ersatzbrennstoffe in Ersatzbrennstoff-Heizkraftwerken abhängig. Bei den Szenarien 2020 T und 2020 AT hat die Verwertung der Ersatzbrennstoffe die größten Beträge der Module und die größten Anteile an der Vermeidung von Emissionen. Ursachen sind der große Massenanteil der Ersatzbrennstoffe und die deutlich größeren elektrischen und thermischen Nettonutzungsgrade von 20 und 40 %

im Vergleich zu 13 und 22 % bei den Szenarien 2008 und 2020 A. Bei einem elektrischen Nettonutzungsgrad von 13 % sollten mindestens 30 % Wärme genutzt werden, um die Emission von Treibhausgasen bei der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung zu vermeiden.

Bei allen Szenarien werden Emissionen durch die Verwertung von Biogas in Blockheizkraftwerken und Metallrecycling vermieden. Bei den Szenarien 2020 T und 2020 AT sind die Beträge jedoch deutlich kleiner als die Beträge der Verwertung der Ersatzbrennstoffe. Die Emissionen durch Sammlung und Transport sowie Deponierung von 9 und 6 kg CO₂-Äq / Mg sind gering. Durch den Betrieb werden ca. 40 kg CO₂-Äq / Mg emittiert, die bei allen Szenarien durch die vermiedenen Emissionen durch Nutzung des Biogases in Blockheizkraftwerken und Metallrecycling mindestens ausgeglichen werden.

Durch Erweiterung aller mechanisch-biologischen Anlagen um eine anaerob-biologische Stufe bei den Szenarien 2020 A und 2020 AT steigt die vermiedene Emission von Treibhausgasen von 17 auf 40 kg CO₂-Äq / Mg, weil eine größere Masse Biogas, welches zur Strom- und Wärmeengewinnung genutzt wird, gewonnen wird.

Beim Metallrecycling werden Emissionen von 1.150 kg CO₂-Äq / Mg Metalle bei den Szenarien 2008 und 2020 T vermieden. Durch den Anstieg des Wirkungsgrades bei der Abtrennung der Nichteisenmetalle von 25 auf 75 % steigen die vermiedenen Emissionen um 30 % auf 1.640 kg CO₂-Äq / Mg Metalle.

Beim Szenario 2020 AT wird die Emissionsvermeidung zu gleichen Anteilen durch das Metallrecycling und die Vergärung von Abfall und Nutzung des Biogases bewirkt.

Damit sollten bei der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung vorrangig

- mindestens 30 % Wärme bei der energetischen Verwertung der Ersatzbrennstoffe genutzt,
- der elektrische Nettonutzungsgrad auf 20 % erhöht,
- der thermische Nettonutzungsgrad maximiert und
- der Wirkungsgrad der Abscheidung der Nichteisenmetalle von 25 auf 75 % gesteigert werden.

Weiterhin ist zu empfehlen, die mechanisch-biologischen Abfallbehandlungsanlagen mit einer anaerob-biologischen Stufe auszustatten. Dabei sollten mindestens 80 % der Überschusswärme, die bei der energetischen Verwertung des erzeugten Biogases gebildet wird, genutzt werden.

Bei der Sensitivitätsanalyse wurden die Eingangsparameter elektrischer Nettonutzungsgrad bei der Verwertung des Biogases und Heizwert der Ersatzbrennstoffe sowie elektrischer und thermischer Nettonutzungsgrad der Verwertung der Ersatzbrennstoffe betrachtet.

Tab. 15: Sensitivitätsanalyse

Szenario	2020 AT	
	Anstieg Parameter [%]	Zunahme der vermiedenen Emission [%]
el. Nettonutzungsgrad BHKW	10	2
Heizwert der Ersatzbrennstoffe	10	22
el. Nettonutzungsgrad EBS-HKW	10	14
th. Nettonutzungsgrad EBS-HKW	10	10

Den größten Einfluss der betrachteten Parameter auf die Vermeidung von Emissionen hat der Heizwert der Ersatzbrennstoffe, gefolgt von den elektrischen und thermischen Nettonutzungsgraden der Ersatzbrennstoff-Heizkraftwerke. Dagegen ist der Einfluss des elektrischen Nettonutzungsgrades des Blockheizkraftwerkes sehr klein. Um die Emission von Treibhausgasen bei der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung zu vermeiden, sollten damit vorrangig die Nutzungsgrade der Ersatzbrennstoff-Heizkraftwerke erhöht werden.

4.3 Sortierung von Sperrmüll

Neben der Mitbehandlung in mechanisch-biologischen Anlagen wird SM überwiegend in Sortieranlagen entsorgt, bei allen Szenarien jeweils 60.900 Mg, und dabei die Fraktionen Eisenmetalle, Nichteisenmetalle, Ersatzbrennstoffe und Holz gebildet. Es verbleibt ein Sortierrest. Tab. 16 enthält die Massenanteile der Outputfraktionen. Diese wurden auf der Grundlage der Zusammensetzung von SM nach Tab. 4 abgeschätzt.

83 % des Outputs bestehen aus Holz und Ersatzbrennstoffen (jeweils 40 und 43 %). Es wurde angenommen, dass die gesamte Masse der Fraktion Holz energetisch verwertet wird und der Sortierrest mineralisch ist und deponiert werden kann. Dabei wurde vereinfachend angenommen, dass der Sortierrest wiederholt in die mechanische Aufbereitung zurückgeführt wird, bis dieser aus mineralischem Material besteht.

Tab. 16: Massenanteile der Outputfraktionen der Sortierung von Sperrmüll

Szenario	2008 / 2020 T / 2020 A / 2020 AT
	m [M.-%]
FE-Metalle	9,1
NE-Metalle	1,4
Ersatzbrennstoffe	43,4
Holz	40,0
Sortierrest	6,0
Σ	100

Die Bilanz der Emission von Treibhausgasen bei der Sortierung von SM umfasst Emissionen durch die Sammlung und den Transport sowie den Betrieb der Anlagen und Emissionsminderungen durch die energetische Verwertung der Ersatzbrennstoffe in Ersatzbrennstoff-Heizkraftwerken und der Fraktion Holz in Biomasse-Heizkraftwerken sowie Metallrecycling.

Die Emissionen durch den Betrieb werden durch den Verbrauch von Strom und Wärme verursacht. Dabei wurden Werte nach UBA, 2010a für mechanische Abfallbehandlungsanlagen angenommen.

Die Emissionsminderungen durch energetische Verwertung der Ersatzbrennstoffe und Metallrecycling wurden jeweils mit den betrieblichen Emissionen und den Nettonutzungsgraden der energetischen Verwertung der Ersatzbrennstoffe und der Emissionsvermeidungsfaktoren des Metallrecyclings der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung berechnet. Außerdem wurden beim Metallrecycling bei allen Szenarien die Wirkungsgrade der Abscheidung von Eisen- und Nichteisenmetallen von 86 und 75 % der Szenarien 2020 T und 2020 AT der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung verwendet.

Die energetische Verwertung der Fraktion Holz in Biomasse-Heizkraftwerken ist einerseits durch betriebliche Emissionen und andererseits durch Emissionsminderungen durch Erzeugung von Strom und Wärme gekennzeichnet.

Dabei werden die betrieblichen Emissionen durch

- den Bedarf von Dieselmotorkraftstoff von 71 MJ / Mg für die Zerkleinerung des Holzes (VOGT et al. 2002),
- die Emission von fossilem Kohlendioxid von 121 kg / Mg,
- die Freisetzung von Methan und Distickstoffoxid von 5,2 kg CO₂-Äq / Mg (probas) sowie

- den Bedarf der Betriebsmittel Heizöl von 180 MJ / Mg für die Anfahr- und Stützfeuerung sowie Aktivkohle, Branntkalk und Sand von 4,9 kg CO₂ / Mg (ÖKO-INSTITUT, 2008) verursacht.

Der fossile Kohlenstoff ist in Bindemitteln und Zusatzstoffen enthalten. Die Fraktion Holz aus dem SM setzt sich hauptsächlich aus Spanplatten zusammen. Diese bestehen aus 90 % Holz und 10 % Leim, welcher 0,33 kg fossilen Kohlenstoff je kg enthält (VONIER, 2010).

Für die Berechnung der Erzeugung von Strom und Wärme wurde ein Heizwert H_i von Altholz von 14 MJ / kg FM angesetzt (WM, 2009b). Die Nettonutzungsgrade enthält Tab. 17.

Tab. 17: Nettonutzungsgrade der Biomasse-Heizkraftwerke

Szenario	2008	2020 T	2020 A	2020 AT
$\eta_{el\ netto}$ [%]	16	20	16	20
$\eta_{th\ netto}$ [%]	55	45	55	45
$Q_{th\ Nutz}$ [%]	80	80	80	80

Die elektrischen und thermischen Nettonutzungsgrade von 16 und 55 % bei den Szenarien 2008 und 2020 A sind die mittleren Werte der Biomasse-Heizkraftwerke, in denen der überwiegende Anteil des aufgekommene Altholzes, ca. 80 %, entsorgt wurde. Diese waren die Anlagen in Malchin, Hagenow und Feldberg sowie zwei Anlagen in Wismar. Die elektrischen und thermischen Nettonutzungsgrade der Szenarien 2020 T und 2020 AT wurden nach UBA, 2010a angesetzt. Es wurde ein genutzter Anteil von 80 % der überschüssigen Wärme angenommen.

Die Bilanzen der Emissionen bei der Sortierung von SM stellen Tab. 18 und Abb. 3 dar.

Tab. 18: Bilanzen der Emissionen bei der Sortierung von Sperrmüll

Szenario	2008	2020 T	2020 A	2020 AT
Modul	m [kg CO ₂ -Äq / Mg]			
Sammlung und Transport	9,0	9,0	9,0	9,0
Betrieb der Anlagen	8,6	8,6	8,6	8,6
Metallrecycling	-172,7	-172,7	-172,7	-172,7
EBS-HKW	38,2	-132,8	38,2	-132,8
BM-HKW	-389,4	-400,2	-389,4	-400,2
Σ	-506,3	-688,1	-506,3	-688,1

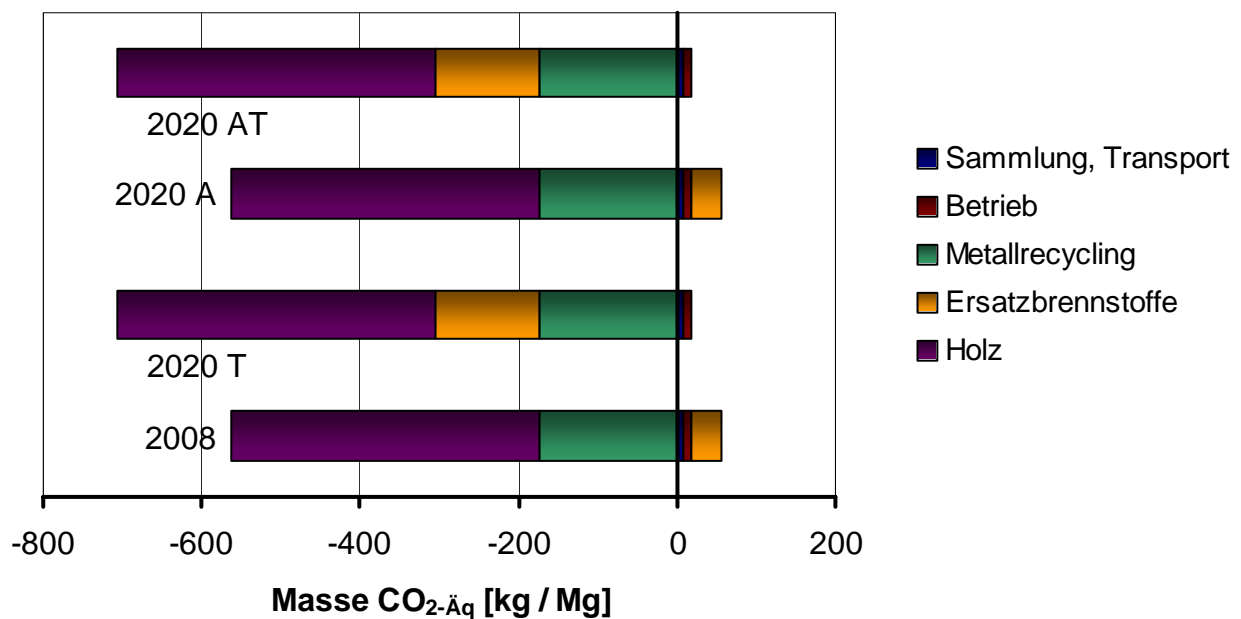


Abb. 3: Bilanzen der Emissionen bei der Sortierung von Sperrmüll

Durch die Sortierung von SM und die Verwertung der gebildeten Outputfraktionen werden sehr große Emissionen von Treibhausgasen von 510 kg CO₂-Äq / Mg bei den Szenarien 2008 und 2020 A und ca. 690 kg CO₂-Äq / Mg bei den Szenarien 2020 T und 2020 AT vermieden.

Die größten Beträge der vermiedenen Emissionen von ca. 390 kg CO₂-Äq / Mg bei den Szenarien 2008 und 2020 A und 400 kg CO₂-Äq / Mg bei den Szenarien 2020 T und 2020 AT werden durch die energetische Nutzung der Fraktion Holz erreicht. Dieses wird einerseits durch den großen Massenanteil der Fraktion Holz und andererseits durch die großen elektrischen Nettonutzungsgrade und Gesamtnettonutzungsgrade bewirkt. Dabei sind die durch energetische Nutzung der Fraktion Holz vermiedenen Emissionen bei den Szenarien 2020 T und 2020 AT geringfügig, um 3 %, größer als bei den Szenarien 2008 und 2020 A, weil die elektrischen Nettonutzungsgrade von 20 % im Gegensatz zu 16 % größer sind und der Emissionsvermeidungsfaktor der Stromerzeugung von 0,228 kg CO₂ / MJ größer ist als der Emissionsvermeidungsfaktor der Wärmegewinnung von 0,078 kg CO₂ / MJ.

Das Metallrecycling hat bei den Szenarien 2020 T und 2020 AT größere Anteile an der Vermeidung von Emissionen als die Verwertung der Ersatzbrennstoffe, weil SM einen großen Anteil Metalle von 10 % enthielt und das Metallrecycling große Emissionsvermeidungsfaktoren aufweist, siehe Kapitel 4.2.

Die Bilanzen der Szenarien 2008 und 2020 A sind um ca. 1/4 kleiner als die der Szenarien 2020 T und 2020 AT, weil bei der energetischen Verwertung der Ersatzbrennstoffe bei den Szenarien 2008 und 2020 A Treibhausgase emittiert werden. Ursache sind die kleineren

elektrischen und thermischen Nettonutzungsgrade von jeweils 13 und 22 % im Vergleich zu 20 und 40 % bei den Szenarien 2020 T und 2020 AT, siehe Kapitel 4.2.

Die Sortierung von SM mit der anschließenden Verwertung der gewonnenen Fraktionen Metalle, Holz und Ersatzbrennstoffe leisten einen großen Beitrag zur Vermeidung der Emission von Treibhausgasen von mindestens 510 kg CO₂-Äq / Mg. Es könnte ein Wert von 690 kg CO₂-Äq / Mg erreicht werden, wenn

- die elektrischen und thermischen Nettonutzungsgrade der energetischen Verwertung der Ersatzbrennstoffe jeweils auf 20 und 40 % und nachrangig
- der elektrische Nettonutzungsgrad der energetischen Verwertung der Fraktion Holz auf 20 % steigen.

Im Rahmen der Sensitivitätsanalyse wurden die Eingangsparameter Wirkungsgrade der Abscheidung der Metalle sowie elektrischer und thermischer Nettonutzungsgrad bei der Verwertung der Fraktion Holz betrachtet. Die Ergebnisse zeigt Tab. 19.

Tab. 19: Sensitivitätsanalyse

Szenario	2020 AT	
	Anstieg des Parameterwertes [%]	Zunahme der vermiedenen Emission [%]
Wirkungsgrade FE- und NE-Metalle	10	2
Heizwert des Holzes	10	6
el. Nettonutzungsgrad BM-HKW	10	4
th. Nettonutzungsgrad BM-HKW	10	2

Von den betrachteten Parametern weist der Heizwert des Holzes die größte Sensitivität auf, gefolgt vom elektrischen Nettonutzungsgrad sowie dem thermischen Nettonutzungsgrad und den Wirkungsgraden der Abscheidung der Metalle.

4.4 Bio- und Grünabfall

Der aufgekommene Bio- und Grünabfall wird durch Kompostierung und Vergärung und der holzige Anteil des Grünabfalls zusätzlich durch Verbrennung verwertet. Die aufgetretenen und jeweils verwerteten Massen sind in den Tab. 20 und 21 dargestellt.

Tab. 20: Zuordnung der aufgetretenen Massen des Bioabfalls zu Verwertungswegen

Szenario	2008	2020 T	2020 A	2020 AT
Verwertung	m [Mg]			
Kompostierung	42.800	42.800	19.018	19.018
Vergärung	16.200	16.200	76.073	76.073
Verbrennung	0	0	0	0
Σ	59.000	59.000	95.091	95.091

Tab. 21: Zuordnung der aufgetretenen Massen des Grünabfalls zu Verwertungswegen

Szenario	2008	2020 T	2020 A	2020 AT
Verwertung	m [Mg]			
Kompostierung	73.900	73.900	36.730	36.730
Vergärung	0	0	18.365	18.365
Verbrennung	6.000	6.000	42.851	42.851
Σ	79.900	79.900	97.945	97.945

Bei den Szenarien 2008 und 2020 T wird Bio- und Grünabfall überwiegend kompostiert (jeweils 73 bzw. 92 %), während der restliche Anteil des Bioabfalls von 27 % vergoren und des Grünabfalls von 8 % thermisch verwertet wird. Dagegen sind die kompostierten Anteile bei den Szenarien 2020 A und 2020 AT kleiner (jeweils 20 bzw. 38 %) und die vergorenen Anteile von jeweils 80 und 19 % sowie der thermisch genutzte Anteil von Grünabfall von 44 % größer als bei den Szenarien 2008 und 2020 T.

Die Bilanzierung der Verwertung des Bio- und Grünabfalls wurde für die Module Kompostierung und Vergärung sowie Verbrennung des holzigen Anteils des Grünabfalls durchgeführt. Hinzu kam das Modul Sammlung und Transport, welches für Kompostierung, Vergärung und Verbrennung zusammengefasst wurde.

Kompostierung

Bei der Kompostierung werden Treibhausgase beim Betrieb der Anlagen durch die Freisetzung von Methan und Distickstoffoxid sowie den Strom- und Kraftstoffbedarf emittiert, während Emissionsminderungen durch die Verwendung des Kompostes und die energetische Verwertung der Reststoffe erzielt werden.

Die Emissionen von Methan und Distickstoffoxid sind davon abhängig, ob die Anlagen offen oder geschlossen betrieben werden. Bei geschlossenen Anlagen sind die Emissionen kleiner als bei offenen Anlagen. Diese Abhängigkeit stellt Tab. 22 dar (UBA, 2010a). Au-

ßerdem sind die Massenanteile des Bio- und Grünabfalls, die in offenen und geschlossenen Anlagen verwertet werden, enthalten (UBA, 2010a).

Tab. 22: Zuordnung des Bio- und Grünabfalls zu offenen und geschlossenen Anlagen und Emissionen der Anlagen

Szenario	Bioabfall		Grünabfall	
	2008 / 2020 A	2020 T / 2020 AT	2008 / 2020 A	2020 T / 2020 AT
$m_{\text{offen A}}$ [%]	10	0	90	50
$m_{\text{gesch A}}$ [%]	90	100	10	50
$EF_{\text{CH}_4 \text{ offen}}$ [kg / Mg]	1,000	1,000	1,000	1,000
$EF_{\text{CH}_4 \text{ gesch}}$ [kg / Mg]	0,710	0,710	0,710	0,710
$EF_{\text{N}_2\text{O offen}}$ [kg / Mg]	0,110	0,110	0,110	0,110
$EF_{\text{N}_2\text{O gesch}}$ [kg / Mg]	0,068	0,068	0,068	0,068

Die Szenarien 2008 und 2020 A sind dadurch gekennzeichnet, dass Bioabfall überwiegend in geschlossenen und Grünabfall überwiegend in offenen Anlagen kompostiert wird. Bei den Szenarien 2020 T und 2020 AT wird die gesamte Masse des Bioabfalls und 50 % der Masse des Grünabfalls in geschlossenen Anlagen kompostiert.

Bei der Kompostierung werden elektrische Energie und Dieselkraftstoff verbraucht. Diese Werte sowie deren Summen sind in Tab. 23 für offene und geschlossene Anlagen dargestellt (UBA, 2010b; ÖKO-INSTITUT, 2008).

Tab. 23: Strom- und Dieselkraftstoffbedarf von Kompostierungsanlagen

Szenario	2008 / 2020 T / 2020 A / 2020 AT
	MJ / Mg
$E_{\text{ges offen}}$	90
$E_{\text{el offen}}$	5
$Q_{\text{Diesel offen}}$	85
$E_{\text{ges gesch}}$	180
$E_{\text{el gesch}}$	162
$Q_{\text{Diesel gesch}}$	18

Bei offenen Anlagen ist der Gesamtenergiebedarf halb so groß wie bei geschlossenen Anlagen. Dabei wird überwiegend Dieselkraftstoff benötigt. Bei geschlossenen Anlagen überwiegt dagegen der Strombedarf.

Bei der Kompostierung von Bio- und Grünabfall werden jeweils 38 bzw. 60 M.-% Kompost gebildet (ÖKO-INSTITUT, 2008). Es verbleiben Reststoffe von jeweils 2 M.-%. Diese werden in Biomasse-Heizkraftwerken energetisch verwertet. Tab. 24 zeigt die bei den Szenarien hergestellten Massenanteile von Frisch- und Fertigungskomposten (UBA, 2010a) sowie deren Verwertung.

Tab. 24: Massenanteile der Frisch- und Fertigungskomposte und deren Verwertung

Szenario	Bioabfall		Grünabfall	
	2008 / 2020 A	2020 T / 2020 AT	2008 / 2020 A	2020 T / 2020 AT
Masse Frischkompost gesamt [%]	37	0	37	0
Masse Fertigungskompost gesamt [%]	63	100	63	100
Verw. Landwirtschaft gesamt [%]	40	40	40	40
Masse Frischkompost [%]	33	0	33	0
Masse Fertigungskompost [%]	7	40	7	40
Verw. Garten-, Landsch.-bau gesamt [%]	60	60	60	60
Masse Frischkompost [%]	4	0	4	0
Masse Fertigungskompost [%]	56	60	56	60

Die jüngsten verfügbaren Daten zur Anwendung von Komposten in Mecklenburg-Vorpommern wurden im Jahr 2004 erhoben (StatA MV, 2008). 46 % des hergestellten Kompostes wurden in der Land- und Forstwirtschaft einschließlich Gartenbau und 54 % in der Landschaftsgestaltung und -pflege eingesetzt. Es wurde abgeschätzt, dass 40 % in der Landwirtschaft und 60 % im Garten- und Landschaftsbau eingesetzt werden. Weiterhin werden 90 % des Frischkompostes in der Landwirtschaft verwendet (UBA, 2010a).

Bei der Anwendung von Kompost in der Landwirtschaft werden die Mineraldünger Phosphor, Kalium, Calcium und anteilig Stickstoff ersetzt (UBA, 2010a). Deshalb werden der Anwendung des Kompostes in der Landwirtschaft die vermiedenen Emissionen der Bereitstellung der gleichen Massen der Mineraldünger gutgeschrieben. Die Massenanteile dieser Nährstoffe an den Frisch- und Fertigungskomposten enthält Tab. 25. Für Bioabfall wurden die Werte nach SPRINGER, 2010 verwendet, während die Werte für Grünabfall mit den Werten für Bioabfall und Faktoren nach UBA, 2010b berechnet wurden.

Tab. 25: Massenanteile der Nährstoffe an den Frisch- und Fertigkomposten

Nährstoff	Bioabfall		Grünabfall	
	Frischkompost	Fertigkompost	Frischkompost	Fertigkompost
	m [kg / Mg TM]			
N _{anr}	5,7	4,8	4,6	3,8
P ₂ O ₅	8,0	6,4	5,5	4,4
K ₂ O	13,0	11,0	10,1	8,5
CaO	50,0	50,0	38,5	38,5

In Tab. 26 sind die Emissionen der Bereitstellung der Mineraldünger dargestellt (UBA, 2008).

Tab. 26: Emissionen der Bereitstellung der Mineraldünger

Nährstoff	m [kg CO ₂ -Äq / Mg]
N _{anr}	6.469
P ₂ O ₅	1.191
K ₂ O	669
CaO	298

Bei der Anwendung von Kompost im Garten- und Landschaftsbau werden einerseits die Mineraldünger Phosphor, Kalium, Calcium und anteilig Stickstoff und andererseits die organischen Düngemittel Rindenhumus und Torf ersetzt. Der Ersatz der Mineraldünger wird wie vorstehend gutgeschrieben. Beim Ersatz von Rindenhumus und Torf werden die vermiedenen Emissionen der Bereitstellung der Massen von Rindenhumus und Torf gutgeschrieben, deren Gehalte der organischen Trockenmasse 50 % des Gesamtgehaltes der organischen Trockenmasse der eingesetzten Komposte entsprechen.

Der Emissionsfaktor der Bereitstellung von Torf beträgt 1.800 kg CO₂-Äq / Mg TM Torf (SPRINGER, 2010). Bei der Herstellung von Rindenhumus werden Emissionen durch den Energiebedarf des Transportes, den Energiebedarf der Kompostierung und die Freisetzung von Methan und Distickstoffoxid bei der offenen Mietenkompostierung verursacht (VOGT et al. 2002). Der Emissionsfaktor der Bereitstellung von Rindenhumus betrug 227 kg CO₂-Äq / Mg TM Rindenhumus.

Bei der energetischen Nutzung der Reststoffe in Biomasse-Heizkraftwerken gelten hinsichtlich der betrieblichen Emissionen mit Ausnahme des fossilen Kohlenstoffes, der Nettonutzungsgrade und der genutzten Anteile der Überschusswärme die gleichen Ansätze wie bei der energetischen Verwertung der Fraktion Holz aus der Sortierung von SM. Au-

ßerdem wurde ein Heizwert der Reststoffe H_i von 10 MJ / kg FM (UBA, 2010a) angenommen.

Die Tab. 27 und 28 zeigen die Bilanzen der Emission von Treibhausgasen der Kompostierung von Bio- und Grünabfall. Die Emissionen bzw. Emissionsminderungen sind auf die kompostierten Massen des verwerteten Bio- und Grünabfalls bezogen.

Tab. 27: *Bilanzen der Emission von Treibhausgasen der Kompostierung von Bioabfall*

Szenario	2008	2020 T	2020 A	2020 AT
Modul	m [kg CO _{2-Äq} / Mg]			
Betrieb der Anlagen	68,7	69,0	68,7	69,0
Anwendung Kompost	-93,3	-93,7	-93,3	-93,7
Reststoffe BM-HKW	-13,8	-14,2	-13,8	-14,2
Σ	-38,4	-38,9	-38,4	-38,9

Tab. 28: *Bilanzen der Emission von Treibhausgasen der Kompostierung von Grünabfall*

Szenario	2008	2020 T	2020 A	2020 AT
Modul	m [kg CO _{2-Äq} / Mg]			
Betrieb der Anlagen	66,3	67,5	66,3	67,5
Anwendung Kompost	-142,0	-142,7	-142,0	-142,7
Reststoffe BM-HKW	-13,8	-14,2	-13,8	-14,2
Σ	-89,6	-89,4	-89,6	-89,4

Durch die Kompostierung von Bio- und Grünabfall und die Anwendung des Kompostes in der Landwirtschaft und im Garten- und Landschaftsbau als Ersatz von mineralischen und organischen Düngemitteln werden bei allen Szenarien Emissionen von Treibhausgasen vermieden. Dabei ist die Emissionsvermeidung bei der Kompostierung von Grünabfall von 90 kg CO_{2-Äq} / Mg doppelt so groß wie bei der Kompostierung von Bioabfall von 40 kg CO_{2-Äq} / Mg, weil der Kompostanteil von Grünabfall von 60 % größer ist als der Kompostanteil von Bioabfall von 38 %. Damit ist die Kompostierung von Grünabfall für die Bilanz der Emissionen vorteilhafter als die Kompostierung von Bioabfall.

Vergärung

Bei der Vergärung von Bio- und Grünabfall wurde angenommen, dass das gebildete Biogas ohne Aufbereitung zu Bioerdgas energetisch in Blockheizkraftwerken genutzt (UBA, 2010a) und die Gärreste in der Landwirtschaft als Düngemittel verwertet (StatA MV, 2011) werden.

Damit waren Emissionen durch den Betrieb der Vergärungsanlagen und bei der Ausbringung der Gärreste und Emissionsminderungen durch die energetische Nutzung des Biogases in Blockheizkraftwerken und die Verwertung der Gärreste in der Landwirtschaft zu bilanzieren.

Beim Betrieb von Vergärungsanlagen werden Methan und Distickstoffoxid emittiert. Zur Berechnung der Emissionen wurden die Emissionsfaktoren für die Vergärung mit anschließender geschlossener Kompostierung verwendet, die in Tab. 29 zusammengefasst sind (UBA, 2010b). Zusätzlich waren Emissionen von 0,5 % des gebildeten Methans bei der energetischen Nutzung des Biogases zu berücksichtigen (UBA, 2010b). Außerdem werden Emissionen durch den Kraftstoffbedarf bei der geschlossenen Kompostierung verursacht. Der Strom- und Wärmebedarf der Anlagen wird durch das Blockheizkraftwerk gedeckt.

Tab. 29: Emissionen von Methan und Distickstoffoxid bei kombinierter Vergärung und Kompostierung

Szenario	Bioabfall		Grünabfall	
	2008 / 2020 A	2020 T / 2020 AT	2008 / 2020 A	2020 T / 2020 AT
EF _{CH₄} [kg / Mg]	3,700	0,370	3,700	0,370
EF _{N₂O} [kg / Mg]	0,120	0,120	0,120	0,120

Die Ausbringung von flüssigen Gärresten ist durch die Emission von 0,25 % des enthaltenen Stickstoffs als Distickstoffoxid gekennzeichnet (WULF, 2002).

Bei der Vergärung von Bio- und Grünabfall wird ein Biogasvolumen von 100 m³(N) / Mg mit einem Methangehalt von 60 Vol.-% gebildet (UBA, 2010a).

Die Daten der energetischen Verwertung des Biogases in Blockheizkraftwerken enthält Tab. 30. Der Eigenstrom- und -wärmebedarf der Vergärungsanlage wird durch das Blockheizkraftwerk gedeckt (UBA, 2010a).

Tab. 30: Energetische Verwertung des Biogases

Szenario	2008	2020 T	2020 A	2020 AT
$\eta_{elbrutto}$ [%]	37,5	37,5	37,5	37,5
$\eta_{thbrutto}$ [%]	42,5	42,5	42,5	42,5
$E_{eleigen}$ [%]	20,0	20,0	20,0	20,0
$Q_{theigen}$ [%]	25,0	25,0	25,0	25,0
$\eta_{elnetto}$ [%]	30,0	30,0	30,0	30,0
$\eta_{thnetto}$ [%]	32,0	32,0	32,0	32,0
Q_{thNutz} [%]	40,0	80,0	40,0	80,0

Von der gebildeten Wärme werden 40 % bei den Szenarien 2008 und 2020 A und 80 % bei den Szenarien 2020 T und 2020 AT verwertet.

Bei der Verwertung des Gärrestes in der Landwirtschaft wurde angenommen, dass 50 % des Gärrestes entwässert und 50 % kompostiert werden. Durch die Anwendung der festen und flüssigen Gärreste in der Landwirtschaft werden die Mineraldünger Phosphor, Kalium und Stickstoff ersetzt (UBA, 2010a). Tab. 27 enthält die Massenanteile der Nährstoffe des entwässerten Gärrestes und Presswassers (FUCHS, 2007) sowie des Gärkompostes (WITZENHAUSEN-INSTITUT, 2008). Ca. 20 % des Gesamtstickstoffs sind pflanzenverfügbar und werden angerechnet (UBA, 2010a). Die Emissionen der Bereitstellung der Mineraldünger wurde mit den Daten in Tab. 26 berechnet.

Tab. 31: Massenanteile der Nährstoffe am entwässerten Gärrest und Gärkompost

Nährstoff	entwässerter Gärrest	Gärkompost	Presswasser
	m [% TM]		
N_{anr}	0,25	0,26	0,71
P_2O_5	0,72	0,98	0,62
K_2O	1,03	1,31	1,43

Tab. 32 und 33 zeigen die Bilanzen der Emission von Treibhausgasen der Vergärung von Bio- und Grünabfall. Die Emissionen bzw. Emissionsminderungen sind auf die anaerobisch behandelten Massen des Bio- und Grünabfalls bezogen.

Tab. 32: Bilanzen der Emission von Treibhausgasen der Vergärung von Bioabfall

Szenario	2008	2020 T	2020 A	2020 AT
Modul	m [kg CO ₂ -Äq / Mg]			
Betrieb der Anlage	133,5	50,7	133,5	50,7
Biogas BHKW	-130,7	-161,8	-130,7	-161,8
Anwendung Gärrest	-8,5	-8,5	-8,5	-8,5
Σ	-5,7	-119,6	-5,7	-119,6

Tab. 33: Bilanzen der Emission von Treibhausgasen der Vergärung von Grünabfall

Szenario	2008	2020 T	2020 A	2020 AT
Modul	m [kg CO ₂ -Äq / Mg]			
Betrieb der Anlage	0	0	133,5	50,7
Biogas BHKW	0	0	-130,7	-161,8
Anwendung Gärrest	0	0	-8,5	-8,5
Σ	0	0	-5,7	-119,6

Ebenso wie bei der Kompostierung wird die Emission von Treibhausgasen bei der Vergärung von Bio- und Grünabfall vermieden. Die bei den Szenarien 2020 T und 2020 AT vermiedenen Emissionen von 120 kg CO₂-Äq / Mg sind um das 21fache größer als die Werte bei den Szenarien 2008 und 2020 A. Die Ursachen sind die 10fach kleinere Emission von Methan beim Betrieb der Vergärungsanlage und die größeren thermischen Nettonutzungsgrade der energetischen Verwertung des Biogases bei den Szenarien 2020 T und 2020 AT. Durch Vergärung von Bio- und Grünabfall werden spezifische Emissionen von 120 kg CO₂-Äq / Mg vermieden, wenn die Emission von Methan aus den Vergärungsanlagen minimiert und 80 % der überschüssigen Wärme des Blockheizkraftwerkes genutzt wird.

Die spezifischen vermiedenen Emissionen der Vergärung von Bio- und Grünabfall von jeweils 120 kg CO₂-Äq / Mg sind größer als die der Kompostierung von jeweils 40 und 90 kg CO₂-Äq / Mg. Dabei ist die Differenz beim Bioabfall deutlich größer als bei Grünabfall. Damit sollte die Vergärung von Bio- und Grünabfall gegenüber der Kompostierung ausgebaut werden.

Energetische Verwertung des holzigen Anteils des Grünabfalls in Biomasse-Heizkraftwerken

Bei der Bilanzierung der energetischen Verwertung des holzigen Anteils des Grünabfalls in Biomasseheizkraftwerken waren Emissionen durch den Betrieb und Emissionsminderun-

gen durch Erzeugung von Strom und Wärme anzurechnen. Dabei gelten die gleichen Ansätze der betrieblichen Emissionen mit Ausnahme des fossilen Kohlenstoffes sowie der Nettonutzungsgrade und genutzten Anteile der Überschusswärme wie bei der energetischen Nutzung der Fraktion Holz aus der Sortierung von SM.

Der Heizwert H_i des holzigen Anteils beträgt 10 MJ / kg FM (UBA, 2010a).

Die Bilanzen der Emissionen der energetischen Verwertung des holzigen Anteils des Grünabfalls sind in Tab. 34 dargestellt. Die Emissionen bzw. Emissionsminderungen sind auf die energetisch verwertete Masse des Grünabfalls bezogen.

Tab. 34: *Bilanzen der Emissionen der energetischen Verwertung von Grünabfall*

Szenario	2008	2020 T	2020 A	2020 AT
Modul	m [kg CO ₂ -Äq / Mg]			
Betrieb der Anlage	31,6	31,6	31,6	31,6
Energieerzeugung	-717,5	-736,8	-717,5	-736,8
Σ	-685,8	-705,2	-685,8	-705,2

Durch die energetische Verwertung des holzigen Anteils des Grünabfalls werden sehr große Emissionen von Treibhausgasen von 690 bzw. 710 kg CO₂-Äq / Mg eingesetztem Grünabfall vermieden, Erläuterungen siehe Kapitel 4.3.

Zusammenfassung der Bilanzen der Emission von Treibhausgasen der Verwertung von Bio- und Grünabfall

Die zusammenfassenden Bilanzen der Emission von Treibhausgasen der Verwertung von Bio- und Grünabfall sind in den Tab. 35 und 36 sowie den Abb. 4 und 5 dargestellt. Die Emissionen bzw. Emissionsminderungen sind auf die Gesamtmassen des verwerteten Bio- und Grünabfalls bezogen.

Weiterhin wurde die Fixierung von Kohlenstoff im Kompost berücksichtigt. Kompost enthält 180 kg Kohlenstoff / Mg Kompost. Es werden 8,2 % des Kohlenstoffes über 100 Jahre im Boden gespeichert (AEA, 2001) und die vermiedenen Emissionen der Verwertung von Bio- und Grünabfall gutgeschrieben.

Tab. 35: Bilanzen der Emission von Treibhausgasen der Verwertung von Bioabfall

Szenario	2008	2020 T	2020 A	2020 AT
Modul	m [kg CO ₂ -Äq / Mg]			
Sammlung und Transport	7,6	7,6	8,1	8,1
Kompostierung	-27,9	-28,2	-7,7	-7,8
Vergärung	-1,6	-32,8	-4,5	-95,7
Verbrennung	0	0	0	0
Σ	-21,8	-53,5	-4,1	-95,4
C-Senke	-14,9	-14,9	-4,1	-4,1
Σ	-36,7	-68,4	-8,2	-99,5

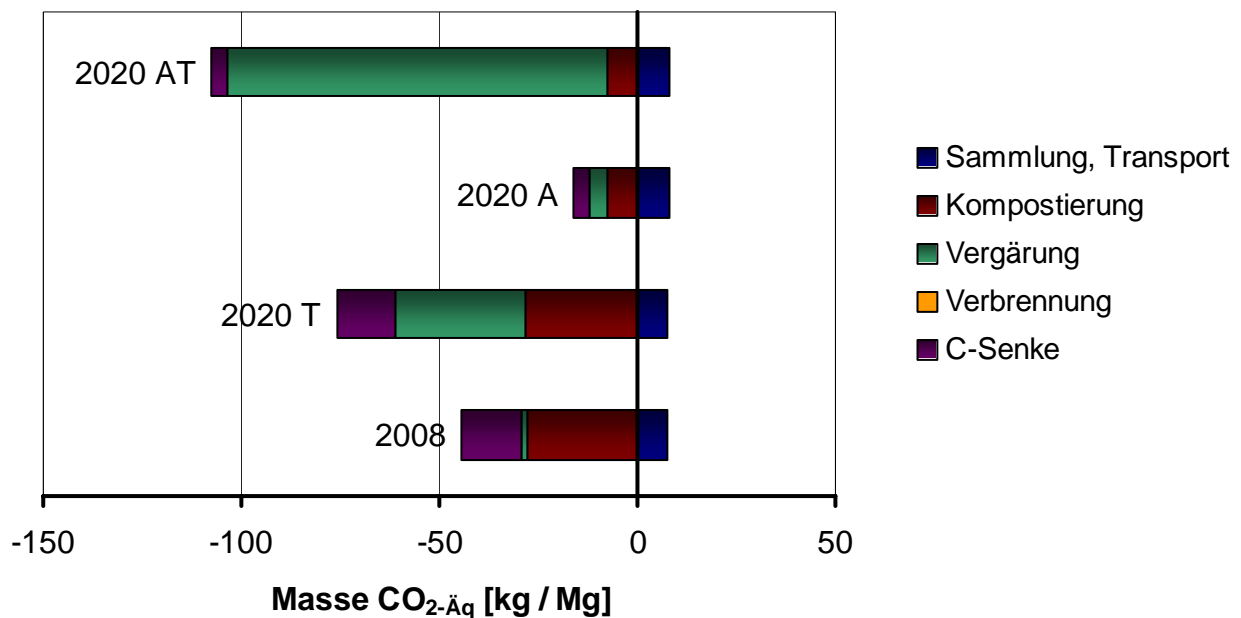


Abb. 4: Bilanzen der Emission von Treibhausgasen der Verwertung von Bioabfall

Bei der Verwertung von Bioabfall wird die größte vermiedene Emission von 100 kg CO₂-Äq / Mg beim Szenario 2020 AT erzielt. Damit sollten

- der durch Vergärung verwertete Anteil auf 80 % steigen,
- der genutzte Anteil der überschüssigen Wärme des Blockheizkraftwerkes auf 80 % erhöht und
- die Emission von Methan aus den Vergärungsanlagen minimiert werden.

Tab. 36: Bilanzen der Emission von Treibhausgasen der Verwertung von Grünabfall

Szenario	2008	2020 T	2020 A	2020 AT
Modul	m [kg CO ₂ -Äq / Mg]			
Sammlung und Transport	7,8	7,8	7,2	7,2
Kompostierung	-82,9	-82,7	-33,6	-33,5
Vergärung	0	0	-1,1	-22,4
Verbrennung	-51,5	-53,0	-300,0	-308,5
Σ	-126,6	-127,8	-327,5	-357,2
C-Senke	-30,0	-30,0	-12,2	-12,2
Σ	-156,6	-157,9	-339,6	-369,4

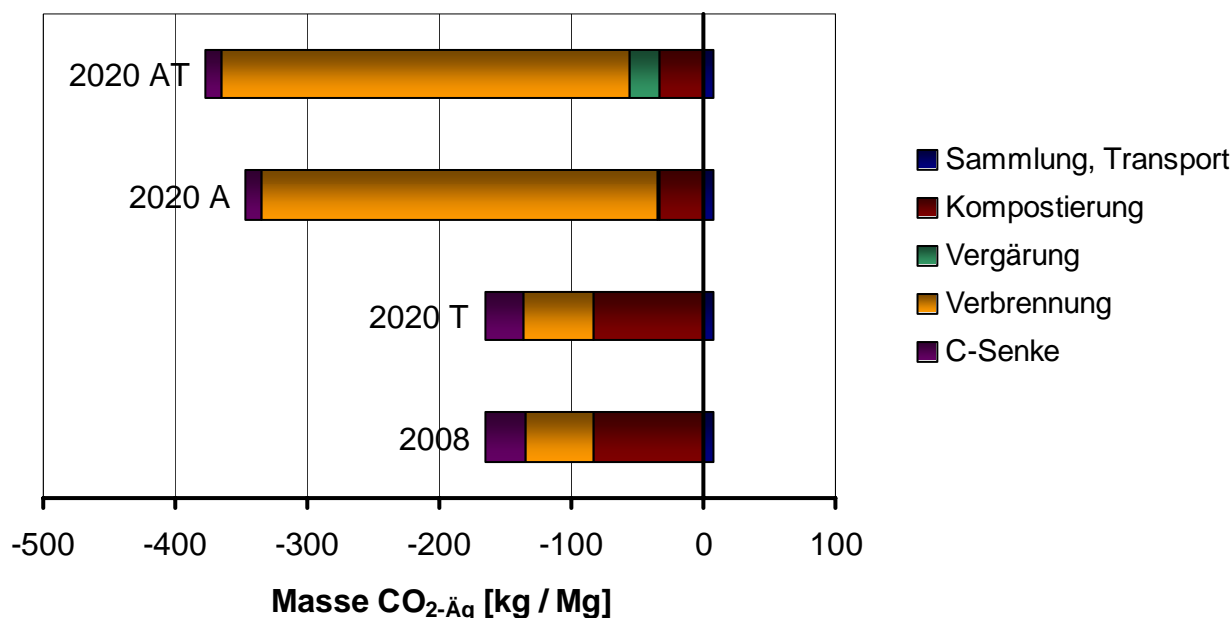


Abb. 5: Bilanzen der Emission von Treibhausgasen der Verwertung von Grünabfall

Bei der Verwertung von Grünabfall beträgt die größte spezifische vermiedene Emission 370 kg CO₂-Äq / Mg beim Szenario 2020 AT und ist um das 3,7fache größer als der größte Wert bei der Verwertung von Bioabfall. Der überwiegende Anteil von 310 kg CO₂-Äq / Mg wird durch die energetische Verwertung des holzigen Anteils des Grünabfalls in Biomasse-Heizkraftwerken gebildet. Damit ist zu empfehlen, dass

- der in Biomasse-Heizkraftwerken genutzte holzige Anteil des Grünabfalls auf 44 % steigt und

- der durch Vergärung verwertete Anteil auf 19 % zunimmt.

Bezüglich der Vergärung von Grünabfall gelten die weiteren Empfehlungen, die bei der Verwertung von Bioabfall genannt werden.

4.5 Glas, Papier und Pappe sowie Leichtverpackungen

Die Verwertung der Fraktionen Glas, Papier und Pappe sowie Leichtverpackungen ist in Deutschland standardisiert. Deshalb wurden die durch Verwertung vermiedenen Emissionen von Treibhausgasen in Mecklenburg-Vorpommern mit den spezifischen Bilanzen der Emissionen, die in der Studie UBA, 2010a bestimmt wurden, berechnet. Diese spezifischen Bilanzen zeigt Tab 37.

Tab. 37: *Bilanzen der spezifischen Emissionen der Verwertung der Fraktionen Glas, Papier und Pappe sowie Leichtverpackungen*

Szenario	2008	2020 T	2020 A	2020 AT
Fraktion	m [kg CO ₂ -Äq / Mg]			
Glas	-465	-465	-465	-465
Papier und Pappe	-731	-884	-731	-884
Leichtverpackungen	-499	-734	-499	-734

Bei der Verwertung von Papier und Pappe wurde die energetische Nutzung der entsprechenden Masse nicht verbrauchten Holzes in Biomasse-Heizkraftwerken in Schweden gutgeschrieben (UBA, 2010a). Schweden ist einer der wichtigsten Produzenten von Neufasern zur Papierherstellung. Durch Papierrecycling wird Holz, das zur Papierherstellung bestimmt ist, vor allem in Schweden eingespart.

Durch die Verwertung von Glas, Papier und Pappe sowie Leichtverpackungen werden große Beträge von vermiedenen Emissionen von 460 bis 880 kg CO₂-Äq / Mg erreicht. Bei allen Szenarien hat die Verwertung der Fraktion Papier und Pappe die größten Werte von 730 kg CO₂-Äq / Mg bei den Szenarien 2008 und 2020 A und 880 kg CO₂-Äq / Mg bei den Szenarien 2020 T und 2020 AT. Die Differenz wird hauptsächlich durch die größeren Anteile der genutzten Überschusswärme bei der energetischen Nutzung des Holzes bei den Szenarien 2020 T und 2020 AT verursacht. Bei der Verwertung von Leichtverpackungen steigen die vermiedenen Emissionen von 500 kg CO₂-Äq / Mg bei den Szenarien 2008 und 2020 A um 47 % auf 730 kg CO₂-Äq / Mg bei den Szenarien 2020 T und 2020 AT. Bei den Szenarien 2020 T und 2020 AT werden nur Primärkunststoffe ersetzt, während bei den Szenarien 2008 und 2020 A zusätzlich die Werkstoffe Holz und Beton ersetzt werden. Durch den Ersatz von Kunststoffen werden größere Emissionen vermieden als durch den Ersatz von Holz und Beton. Weiterhin bestehen Flüssigkeitskartons und sonstige Verbunde hauptsächlich aus Papier und werden der Verwertung von Papier zugeführt (UBA, 2010a). Bei den Szenarien 2020 T und 2020 AT sind die Anteile der genutzten Überschusswärme bei der energetischen Nutzung des ersetzten Holzes größer als bei den

Szenarien 2008 und 2020 A. Die spezifischen Bilanzen der Emissionen der Verwertung von Glas von jeweils 470 kg CO₂-Äq / Mg sind kleiner als die der Fraktionen Papier und Pappe sowie Leichtverpackungen.

4.6 Metalle

Die getrennt gesammelte Fraktion Metalle besteht bei den Szenarien 2008 und 2020 T aus Stahlschrott. Durch die zusätzliche getrennte Erfassung von Metallen in Haushaltungen und Gewerbe sind bei den Szenarien 2020 A und 2020 AT zusätzlich Nichteisenmetalle enthalten. Die Massen zeigt Tab 38. Zur Berechnung der Massen wurden die Anteile der Eisen- und Nichteisenmetalle, die bei der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung angesetzt wurden, verwendet. Die Bilanzen der Emissionen wurden ebenso wie bei der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung mit den Emissionsvermeidungsfaktoren von 860 kg CO₂ / Mg für Eisenmetalle und 6.695 kg CO₂ / Mg für Nichteisenmetalle, jeweils 50 % Aluminium und Kupfer, nach HIEBEL und PFLAUM, 2009 berechnet.

Tab. 38: Massen der getrennt erfassten Metalle

Szenario	2008	2020 T	2020 A	2020 AT
	m [Mg]			
FE-Metalle	1.500	1.500	6.779	6.779
NE-Metalle	0	0	931	931
Σ	1.500	1.500	7.710	7.710

4.7 Altholz

In Tab. 39 sind das Aufkommen des Altholzes sowie die in den Szenarien stofflich und energetisch verwerteten Massen dargestellt.

Tab. 39: Aufkommen und Verwertung des Altholzes

Szenario	2008	2020 T	2020 A	2020 AT
Verwertung	m [Mg]			
stofflich	40.720	40.720	41.373	41.373
energetisch	391.919	391.919	398.202	398.202
Σ	432.639	432.639	439.575	439.575

Durch zusätzliche getrennte Erfassung von Altholz wird das Aufkommen zur Verwertung geringfügig erhöht. Durch die stoffliche Verwertung von Altholz wird der Verbrauch der gleichen Masse Frischholz vermieden. Es wurde angenommen, dass dieses Frischholz

energetisch genutzt wird (UBA, 2010a). Dieses wurde der stofflichen Verwertung des Altholzes zugeschrieben.

Bei der energetischen Verwertung von Altholz in Biomasse-Heizkraftwerken wurden die gleichen Ansätze zur Berechnung der Emissionen und Emissionsminderungen wie bei der energetischen Nutzung der Fraktion Holz aus der Sortierung von SM verwendet. Die angesetzte Emission von fossilem Kohlendioxid von 84,7 kg / Mg war etwas kleiner als bei der energetischen Verwertung der Fraktion Holz aus der Sortierung von SM.

Zusätzlich war bei der Gutschrift der energetischen Verwertung von Frischholz zur stofflichen Verwertung von Altholz der Bedarf an Dieselkraftstoff für die Bereitstellung des Frischholzes von 155 MJ / Mg anzurechnen (BFE, 2002).

Die Bilanzen der Emissionen der energetischen und stofflichen Verwertung von Altholz sind in den Tab. 40 und 41 sowie den Abb. 6 und 7 dargestellt. Die Emissionen und Emissionsminderungen sind jeweils auf die energetisch und stofflich verwerteten Massen des Altholzes bezogen.

Tab. 40: *Bilanzen der Emissionen bei der energetischen Verwertung von Altholz*

Szenario	2008	2020 T	2020 A	2020 AT
Modul	m [kg CO ₂ -Äq / Mg]			
Sammlung und Transport	9,5	9,5	9,5	9,5
Betrieb der Anlagen	31,7	31,7	31,7	31,7
Energieerzeugung	-1004,4	-1031,5	-1004,4	-1031,5
Σ	-963,2	-990,3	-963,2	-990,3

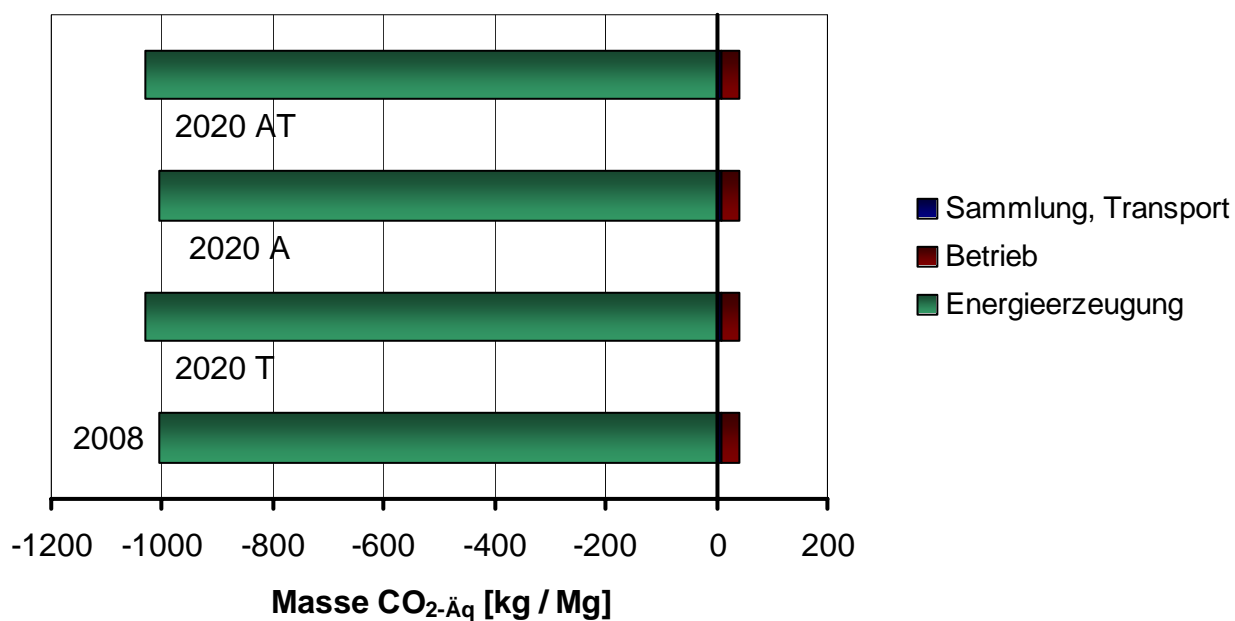


Abb. 6: Bilanzen der Emissionen bei der energetischen Verwertung von Altholz

Tab. 41: Bilanzen der Emissionen bei der stofflichen Verwertung von Altholz

Szenario	2008	2020 T	2020 A	2020 AT
Modul	m [kg CO ₂ -Äq / Mg]			
Sammlung und Transport	7,2	7,2	7,2	7,2
Betrieb der Anlagen	45,0	45,0	45,0	45,0
Energieerzeugung	-1004,4	-1031,5	-1004,4	-1031,5
stoffliche Verwertung	-3,6	-3,6	-3,6	-3,6
Σ	-955,8	-982,9	-955,8	-982,9

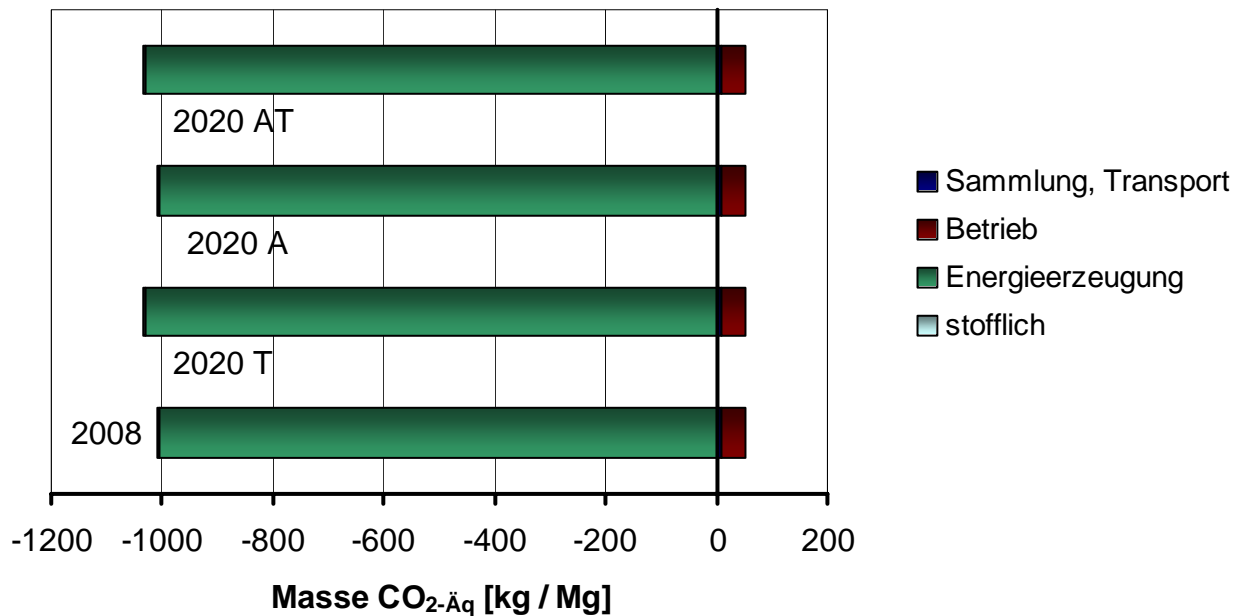


Abb. 7: *Bilanzen der Emissionen bei der stofflichen Verwertung von Altholz*

Durch die energetische und stoffliche Verwertung von Altholz werden sehr große Emissionen von Treibhausgasen von 960 bis 990 kg CO₂-Äq / Mg vermieden. Dabei sind die Werte der energetischen und stofflichen Verwertung in den Szenarien annähernd gleich, weil die spezifischen Bilanzen der stofflichen Verwertung von jeweils 3,6 kg CO₂ / Mg (UBA, 2010a) klein sind und zusätzlich die energetische Verwertung der gleichen Masse Frischholz gutgeschrieben wird. Damit sind die stoffliche und energetische Verwertung von Altholz für die Bilanz der Emissionen gleichwertig.

Weiterhin sind sowohl bei der energetischen als auch der stofflichen Verwertung die Werte der Szenarien 2020 T und 2020 AT jeweils um 3 % größer als die Werte der Szenarien 2008 und 2020 A, Erläuterungen siehe Kapitel 4.3.

Der elektrische Nettonutzungsgrad sollte auf 20 % erhöht werden, weil Altholz die größten Anteile am Aufkommen des Siedlungsabfalls und des Altholzes von 34 % bei den Szenarien 2008 und 2020 T und 35 % bei den Szenarien 2020 A und 2020 AT hat und dadurch ein Großteil der Emission von Treibhausgasen vermieden werden kann.

Tab. 42 enthält die Gesamtbilanzen, bei denen die Emissionen und Emissionsminderungen auf die Gesamtmasse des verwerteten Altholzes bezogen sind.

Tab. 42: Gesamtbilanzen der Emissionen bei der Verwertung von Altholz

Szenario	2008	2020 T	2020 A	2020 AT
Modul	m [kg CO ₂ -Äq / Mg]			
energetische Verwertung	-872,5	-897,1	-872,5	-897,1
stoffliche Verwertung	-90,0	-92,5	-90,0	-92,5
Σ	-962,5	-989,6	-962,5	-989,6

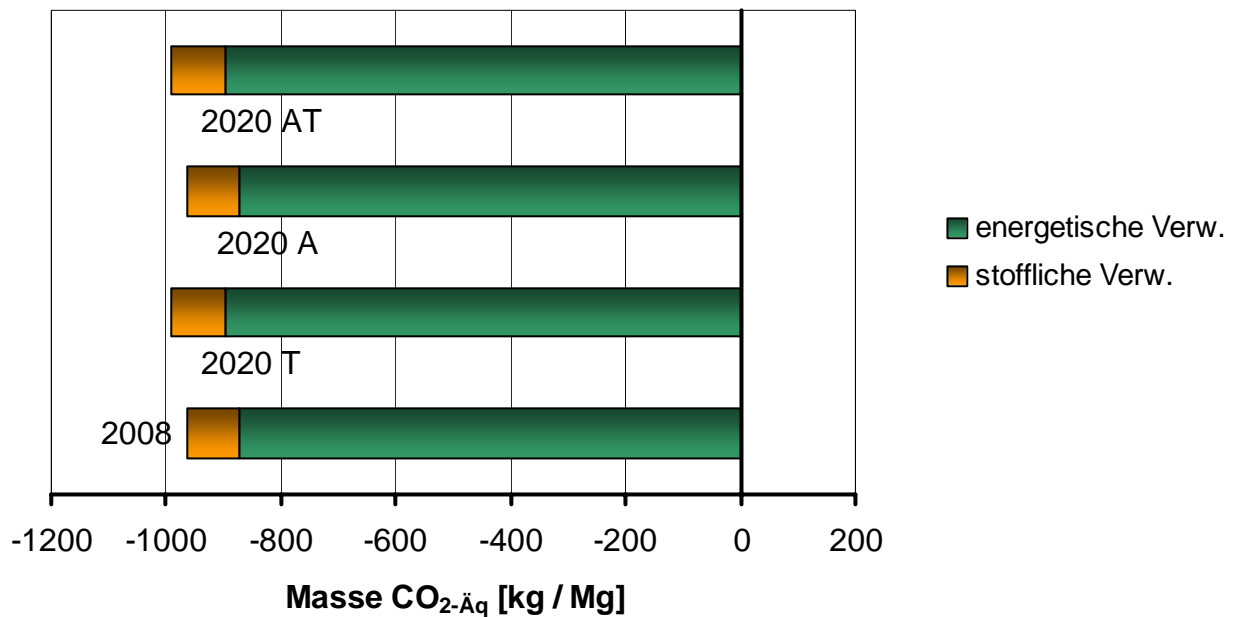


Abb. 8: Gesamtbilanzen der Emissionen bei der Verwertung von Altholz

Durch energetische und stoffliche Verwertung von Altholz werden Emissionen von insgesamt 960 bzw. 990 kg CO₂-Äq / Mg Altholz vermieden. Der Anteil der Emissionen, der durch energetische Verwertung vermieden wird, ist wesentlich größer als der Anteil, der durch stoffliche Verwertung vermieden wird, weil der energetisch verwertete Anteil des Altholzes größer ist.

5 Bilanzen der Emissionen

In Tab. 43 und Abb. 9 sind die Massen des zu beseitigenden Abfalls, welche der thermischen und mechanisch-biologischen Abfallbehandlung sowie der Sortierung zugeordnet wurden, und des getrennt erfassten Abfalls zur Verwertung dargestellt.

Tab. 43: Massen des thermisch und mechanisch-biologisch behandelten sowie sortierten Abfalls zur Beseitigung und des getrennt erfassten Abfalls zur Verwertung

Szenario	2008	2020 T	2020 A	2020 AT
Modul	m [Mg]			
thermische Behandlung	31.800	31.800	22.045	22.045
mechanisch-biologische Behandlung	375.800	375.800	270.635	270.635
Sortierung Sperrmüll	60.900	60.900	60.900	60.900
Bioabfall	59.000	59.000	95.091	95.091
Grünabfall	79.900	79.900	97.945	97.945
Glas	45.900	45.900	45.900	45.900
Papier und Pappe	119.400	119.400	140.536	140.536
Leichtverpackungen	47.500	47.500	74.002	74.002
Metalle	1.500	1.500	7.710	7.710
Altholz	432.639	432.639	439.575	439.575
Σ	1.254.339	1.254.339	1.254.339	1.254.339

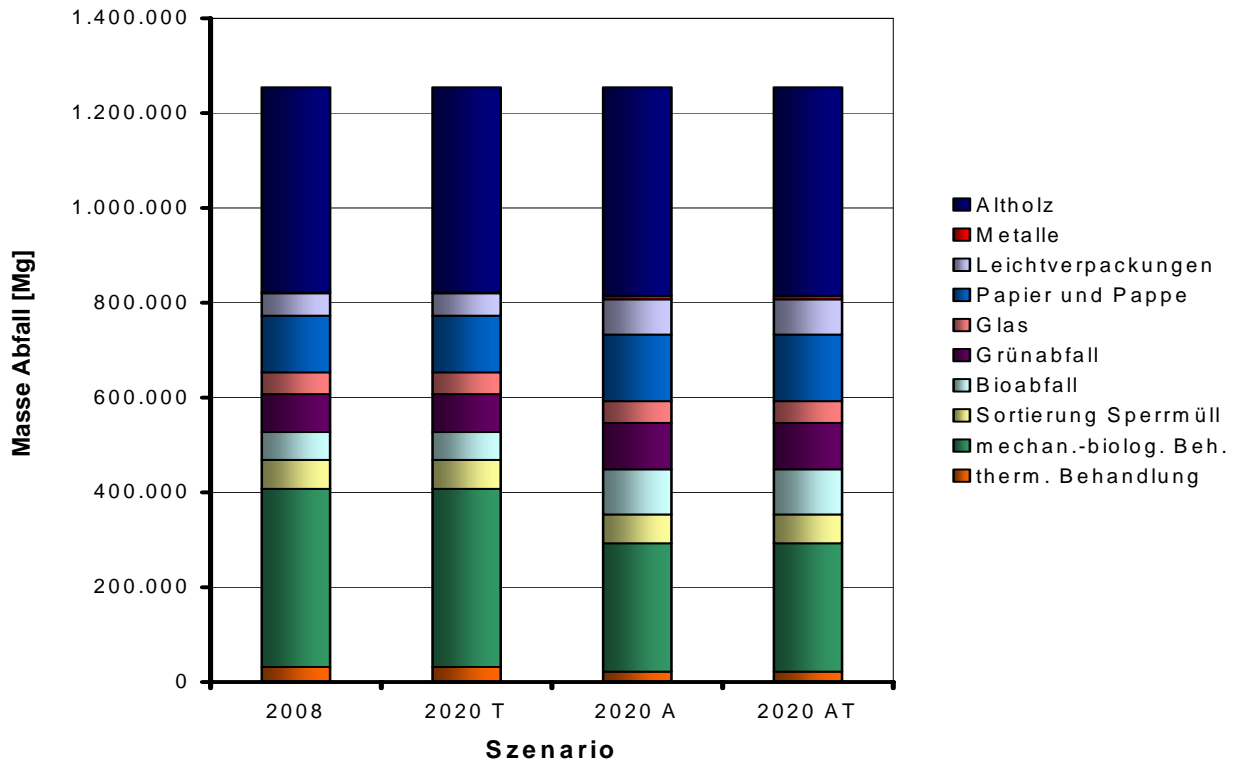


Abb. 9: Graphische Darstellung der Massen des thermisch und mechanisch-biologisch behandelten sowie sortierten Abfalls zur Beseitigung und des getrennt erfassten Abfalls zur Verwertung

Tab. 44 enthält die Bilanzen der spezifischen Emission von Treibhausgasen der Module, deren Bestimmung in Kapitel 4 dargestellt ist.

Tab. 44: Bilanzen der spezifischen Emission von Treibhausgasen

Szenario	2008	2020 T	2020 A	2020 AT
Modul	$m_{\text{CO}_2\text{-Äq}}$ [kg / Mg]			
thermische Behandlung	82,2	-295,5	88,4	-251,5
mechanisch-biologische Behandlung	45,3	-145,7	31,1	-140,7
Sortierung Sperrmüll	-506,3	-688,1	-506,3	-688,1
Bioabfall	-36,7	-68,4	-8,2	-99,5
Grünabfall	-156,6	-157,9	-339,6	-369,4
Glas	-465,0	-465,0	-465,0	-465,0
Papier und Pappe	-731,0	-884,0	-731,0	-884,0
Leichtverpackungen	-499,0	-734,0	-499,0	-734,0
Metalle	-860,0	-860,0	-1565,0	-1565,0
Altholz	-962,5	-989,6	-962,5	-989,6

Tab. 45 und Abb. 10 verdeutlichen die Bilanzen der Emission von Treibhausgasen, die bei der Entsorgung des Siedlungsabfalls und des Altholzes gebildet bzw. vermieden werden. Diese werden durch Multiplikation der Massen des Abfalls (Tab. 43) mit den zugehörigen spezifischen Bilanzen der Emission von Treibhausgasen (Tab. 44) berechnet.

Tab. 45: Bilanzen der Emissionen bei der Entsorgung des Siedlungsabfalls und Altholzes

Szenario	2008	2020 T	2020 A	2020 AT
Modul	$m_{\text{CO}_2\text{-Äq}}$ [Mg]			
thermische Behandlung	2.613	-9.395	1.948	-5.544
mechanisch-biologische Behandlung	17.021	-54.755	8.424	-38.065
Sortierung Sperrmüll	-30.834	-41.907	-30.834	-41.907
Bioabfall	-2.168	-4.036	-784	-9.462
Grünabfall	-12.512	-12.613	-33.267	-36.182
Glas	-21.344	-21.344	-21.344	-21.344
Papier und Pappe	-87.281	-105.550	-102.732	-124.233
Leichtverpackungen	-23.703	-34.865	-36.927	-54.317
Metalle	-1.290	-1.290	-12.067	-12.067
Altholz	-416.403	-428.124	-423.086	-434.994
Σ	-575.900	-713.878	-650.666	-778.114
Differenz zum Szenario 2008		-137.980	-74.770	-202.210

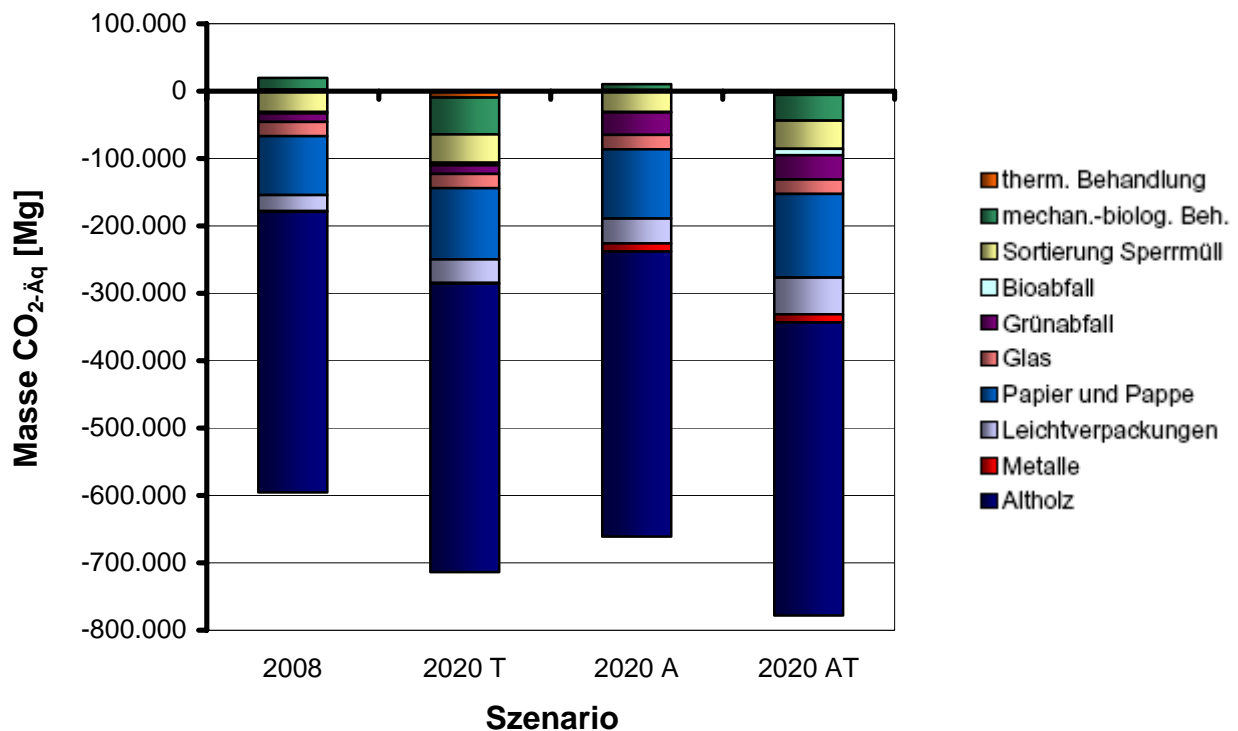


Abb. 10: Graphische Darstellung der Bilanzen der Emission von Treibhausgasen bei der Entsorgung des Siedlungsabfalls und Altholzes

Wie aus den in Tab. 45 dargestellten Bilanzen der Emission von Treibhausgasen hervorgeht, wurden im Jahr 2008 Emissionen von 575.900 Mg CO₂-Äq bei der Entsorgung von Siedlungsabfall und Altholz vermieden. Durch die technische Optimierung der Verfahren zur Beseitigung und Verwertung von Siedlungsabfall und Altholz beim Szenario 2020 T werden zusätzlich Emissionen von 137.980 Mg CO₂-Äq bzw. 24 % vermieden. Dieser Wert ist größer als der Wert von 74.770 Mg CO₂-Äq bzw. 13 %, der durch Erhöhung der Massen der getrennt erfassten Wertstoffe beim Szenario 2020 A erreicht wird. Insgesamt (Szenario 2020 AT) werden bei der betrachteten Gesamtmasse des Siedlungsabfalls und des Altholzes im Vergleich zum Jahr 2008 zusätzlich 202.210 Mg CO₂-Äq bzw. 35 % vermieden. (Die Summe der bei den Szenarien 2020 T und 2020 A zusätzlich eingesparten Emissionen muss nicht gleich den beim Szenario 2020 AT zusätzlich vermiedenen Emissionen sein). Damit sollten sowohl die Verfahren zur Beseitigung und Verwertung des Siedlungsabfalls und des Altholzes technisch optimiert als auch zusätzlich Wertstoffe in Haushaltungen und Gewerbe getrennt erfasst werden. Dabei sollte die technische Optimierung Vorrang vor der zusätzlichen getrennten Erfassung von Wertstoffen haben, weil diese zu vergleichsweise höheren Potenzialen der Emissionsvermeidung führen.

5.1 Anteile der Module an den Bilanzen der Emission von Treibhausgasen

Bezug nehmend auf Tab. 45 und Abb. 10 werden bei den Szenarien 2008 und 2020 A vergleichsweise geringe Emissionen von jeweils 19.360 bzw. 10.370 Mg CO₂-Äq bei der thermischen und mechanisch-biologischen Abfallbehandlung gebildet. Um die Emission von Treibhausgasen bei der thermischen und mechanisch-biologischen Abfallbehandlung zu vermeiden, sind diese technisch zu optimieren. Dadurch werden geringe Emissionen von 5.540 Mg CO₂-Äq bzw. 1 % bei der thermischen Abfallbehandlung und hohe Emissionen von 38.070 Mg CO₂-Äq bzw. 5 % bei der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung beim Szenario 2020 AT eingespart.

Die Verwertung von Bioabfall hat bei allen Bilanzen der Emission von Treibhausgasen kleine Anteile an den vermiedenen Emissionen von ≤ 1 %. Bei der Verwertung von Grünabfall nehmen die vermiedenen Emissionen durch zusätzliche getrennte Erfassung um mehr als die Hälfte auf 5 % bei Szenarien 2020 A und 2020 AT zu.

Bei allen Szenarien haben die bei der Verwertung von Papier und Pappe vermiedenen Emissionen die zweit größten Anteile an den Bilanzen der Emission von Treibhausgasen (14 % beim Szenario 2008 bis 16 % beim Szenario 2020 AT), gefolgt von der Verwertung von Leichtverpackungen und der Sortierung von Sperrmüll mit Anteilen von jeweils ca. 5 %.

Die Anteile der Verwertungen von Glas und Metallen an den Bilanzen der Emission von Treibhausgasen sind bei allen Szenarien gering (≤ 3 %).

Die größten Anteile an den Bilanzen der Emission von Treibhausgasen aller Szenarien hat die Emissionsvermeidung bei der Verwertung von Altholz (68 % beim Szenario 2008 bis 55 % beim Szenario 2020 AT). Die Anteile des Altholzes an der Summe des Aufkommens des Siedlungsabfalls und Altholzes betragen jeweils 34 % bei den Szenarien 2008 und 2020 T und 35 % bei den Szenarien 2020 A und 2020 AT (siehe Tab. 43 und Abb. 9) und sind kleiner als die Anteile an den Bilanzen der Emissionen. Die Ursachen sind der relativ hohe Heizwert von Altholz von 14 MJ / kg FM, der kleine Anteil von fossilem Kohlenstoff sowie die hohen elektrischen Nutzungsgrade und Gesamtnutzungsgrade der Biomasse-Heizkraftwerke in Mecklenburg-Vorpommern von > 16 % und > 65 %. Damit trägt die Verwertung von Altholz überwiegend zur Vermeidung der Emission von Treibhausgasen bei der Entsorgung von Siedlungsabfall und Altholz in Mecklenburg-Vorpommern bei.

5.2 Anteile der Module an den Differenzen der Bilanzen der Emission von Treibhausgasen

Im Folgenden wird betrachtet, in welchem Umfang die Module zu den Differenzen der Bilanzen der Emissionen der Szenarien beitragen (Tab. 46). Dadurch kann im Rückschluss bestimmt werden, welche der Maßnahmen der technischen Optimierung und zusätzlichen getrennten Erfassung von Wertstoffen hinsichtlich der weiteren Reduzierung der Emission von Treibhausgasen bei der Entsorgung von Siedlungsabfall und Altholz im Vergleich zum Jahr 2008 am wirksamsten sind.

Das größte Potenzial zur Minderung von Emissionen durch technische Optimierung (Szenario 2020 T) besteht bei der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung (52 %), gefolgt von der Verwertung von Papier und Pappe (13 %) und der thermischen Abfallbehandlung (9 %). Die Summe dieser Potenziale entspricht 74 % des gesamten Potenzials zur zusätzlichen Reduzierung der Emissionen durch technische Optimierung von 137.980 Mg CO₂-Äq. Weiterhin steigen die durch technische Optimierung vermiedenen Emissionen bei der Verwertung von Altholz und Leichtverpackungen sowie der Sortierung von SM um große Beträge (jeweils 8 %), während die Verwertung von Bio- und Grünabfall durch geringe Zunahmen kleiner 1 % gekennzeichnet ist.

Damit sind vorrangig die mechanisch-biologische Abfallbehandlung und die Verwertung von Papier und Pappe sowie die thermische Abfallbehandlung technisch zu optimieren; nachrangig die Verwertung von Altholz und Leichtverpackungen. Bei der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung sind die Erhöhung der elektrischen und thermischen Netto-nutzungsgrade bei der energetischen Verwertung der Ersatzbrennstoffe und des Wirkungsgrades der Abscheidung der Nichteisenmetalle am wirksamsten. Zusätzliche Maßnahmen sind, die Anlagen um eine anaerob-biologische Stufe zu erweitern und den genutzten Anteil der Überschusswärme bei der energetischen Verwertung des Biogases zu maximieren.

Tab. 46: Differenzen der Emissionsbilanzen der Module der Szenarien 2020 T, 2020 A und 2020 AT im Vergleich zum Szenario 2008

Szenario	2020 T	2020 T	2020 A	2020 A	2020 AT	2020 AT
Modul	m _{CO2-Äq} [Mg]	m _{CO2-Äq} [%]	m _{CO2-Äq} [Mg]	m _{CO2-Äq} [%]	m _{CO2-Äq} [Mg]	m _{CO2-Äq} [%]
thermische Behandlung	-12.010	9	-670	1	-8.160	4
mechan.-biolog. Behandlung	-71.780	52	-8.600	11	-55.090	28
Sortierung Sperrmüll	-11.070	8	0	0	-11.070	5
Bioabfall	-1.870	1	1.380	-2	-7.300	4
Grünabfall	-101	0	-20.760	28	-23.670	12
Glas	0	0	0	0	0	0
Papier und Pappe	-18.270	13	-15.450	21	-36.950	18
Leichtverpackungen	-11.160	8	-13.220	18	-30.620	15
Metalle	0	0	-10.780	14	-10.780	5
Altholz	-11.720	8	-6.680	9	-18.590	9
Σ	-137.980	100	-74.770	100	-202.210	100

Die technische Optimierung der Sortierung von SM wird durch die Maßnahmen bei der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung und der Verwertung von Altholz bestimmt, weil die größten Outputfraktionen der Sortierung von SM in Ersatzbrennstoff- und Biomasse-

Heizkraftwerken verwertet werden. Bei der Verwertung von Papier und Pappe ist der Anteil der Überschusswärme, der bei der energetischen Nutzung der ersetzten Masse Holz genutzt wird, zu erhöhen. Bei der Verwertung von Altholz sollte der elektrische Nettonutzungsgrad erhöht und bei der Verwertung der Leichtverpackungen u. a. ausschließlich Primärkunststoffe ersetzt werden. Zur technischen Optimierung der thermischen Abfallbehandlung zählen die Erhöhung der elektrischen und thermischen Nettonutzungsgrade der Verbrennung von HM sowie der Wirkungsgrade der Abscheidung der Eisen- und Nichteisenmetalle.

Durch zusätzliche getrennte Erfassung der Wertstoffe (Szenario 2020 A) werden Emissionen vor allem bei der Verwertung von Grünabfall (28 %), Papier und Pappe (21 %), Leichtverpackungen (18 %) und Metallen (14 %) reduziert. Diese haben einen Anteil von 81 % am gesamten Potenzial der weiteren Vermeidung der Emissionen durch zusätzliche getrennte Erfassung von Wertstoffen von 74.770 Mg CO₂-Äq. Der Wert der Verwertung von Grünabfall gilt für die Bedingung, dass der holzige Anteil des Grünabfalls, der in Biomasse-Heizkraftwerken verwertet wird, und der anaerob-biologisch verwertete Anteil steigen.

Bei einer Kombination der technischen Optimierung und der zusätzlichen getrennten Erfassung von Wertstoffen (Szenario 2020 AT) hat die mechanisch-biologische Abfallbehandlung das größte Potenzial der zusätzlichen Reduzierung der Emission von Treibhausgasen (28 %). Die nächst größeren Potenziale bestehen bei der Verwertung von Papier und Pappe (18 %), Leichtverpackungen (15 %), Grünabfall (12 %) und Altholz (9 %). Der Anteil dieser Potenziale am gesamten Potenzial von 202.210 Mg CO₂-Äq beträgt 82 %. Die Potenziale bei der Sortierung von SM und beim Metallrecycling betragen jeweils 5 %, während die Potenziale bei der thermischen Abfallbehandlung und der Verwertung von Bioabfall kleiner sind, jeweils 4 %. Dabei ist das relative Potenzial der Zunahme der vermiedenen Emissionen bezogen auf die im Jahr 2008 vermiedenen Emissionen beim Metallrecycling deutlich größer als bei der Sortierung von SM, diese betragen jeweils 835 % und 36 %.

Damit sind die technische Optimierung der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung sowie die zusätzliche getrennte Erfassung der Wertstoffe Papier und Pappe, Leichtverpackungen, Grünabfall und Altholz und die technische Optimierung der Verwertung dieser Wertstoffe bei der Entsorgung von Siedlungsabfall und Altholz hinsichtlich der zusätzlichen Reduzierung der Emission von Treibhausgasen am wirksamsten.

6 Zusammenfassung der Ergebnisse und Ableitung von Handlungsempfehlungen

6.1 Zusammenfassung der Ergebnisse

Im Jahr 2008 wurden bei der Entsorgung von Siedlungsabfall und Altholz Emissionen von Treibhausgasen von 575.900 Mg CO₂-Äq vermieden. Durch die technische Optimierung der Verfahren zur Beseitigung und Verwertung von Siedlungsabfall und Altholz und die zusätzliche getrennte Erfassung der Wertstoffe Bioabfall, Grünabfall, Kunststoffe, Verbunde, Papier und Pappe sowie Altholz und Metalle in Haushaltungen und Gewerbe werden bei der gegebenen Gesamtmasse des Siedlungsabfalls und des Altholzes zusätzlich Emissionen von 202.210 Mg CO₂-Äq bzw. 35 % eingespart. Dabei sind die durch technische Optimierung zusätzlich vermiedenen Emissionen von 137.980 Mg CO₂-Äq bzw. 24 % größer als die Emissionen von 74.770 Mg CO₂-Äq bzw. 13 %, welche durch Zunahme der Massen der getrennt erfassten Wertstoffe zusätzlich vermieden werden. Damit sollten sowohl die Verfahren zur Beseitigung und Verwertung des Siedlungsabfalls und des Altholzes technisch optimiert als auch zusätzlich Wertstoffe in Haushaltungen und Gewerbe getrennt erfasst werden, wobei die technische Optimierung Vorrang haben sollte.

Im Vergleich dazu wurden im Jahr 2008 9.320 TJ elektrische Energie durch Windkraftanlagen (onshore) erzeugt. Dadurch wurde die Emission von 1.554.000 Mg CO₂ vermieden. Die durch Nutzung der Windkraft erzeugte elektrische Energie könnte bis zum Jahr 2020 auf 11.810 TJ steigen. Dadurch könnten zusätzlich 414.600 Mg CO₂ eingespart werden (WM, 2010). Damit ist das Potenzial zur Minderung der Emission von Treibhausgasen bei der Entsorgung von Siedlungsabfall und Altholz halb so groß wie das Potenzial, welches durch den Ausbau der Nutzung der Windkraft (onshore) erschlossen werden kann.

Insgesamt wurde im Jahr 2008 die Emission von 2.292.600 Mg CO₂ durch Erzeugung von elektrischer Energie aus erneuerbaren Energiequellen vermieden (WM, 2010). Dieser Wert ist etwa 4fach größer als die Emission, welche im Jahr 2008 bei der Entsorgung von Siedlungsabfall und Altholz vermieden wurde.

Die Beiträge der einzelnen Module zu den Emissionen, die beim Szenario 2020 AT im Vergleich zum Jahr 2008 zusätzlich vermieden wurden, sind in Abb. 11 dargestellt.

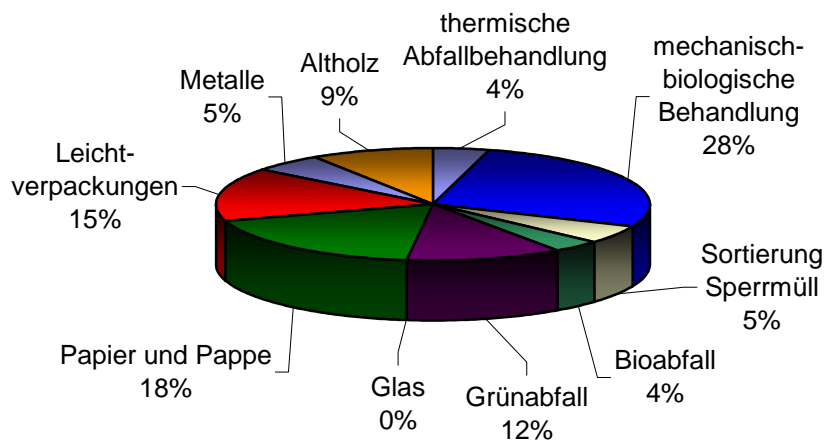


Abb. 11: Beiträge der Module zu den beim Szenario 2020 AT im Vergleich zum Jahr 2008 zusätzlich vermiedenen Emissionen

Abb. 12 zeigt die Anteile der einzelnen Module an der Bilanz der Emissionen bzw. der Summe der vermiedenen Emissionen des Szenarios 2020 AT.

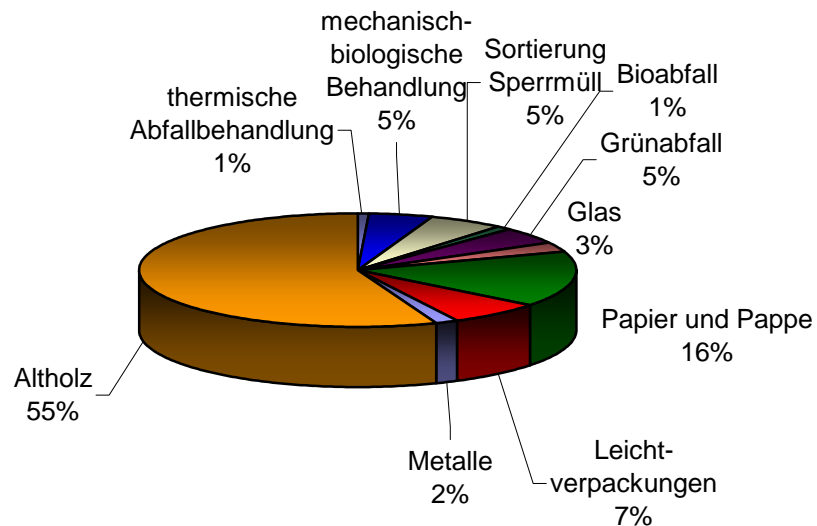


Abb. 12: Bilanz der Emission von Treibhausgasen des Szenarios 2020 AT

Das größte Potenzial zur zusätzlichen Reduzierung der Emission von Treibhausgasen bei der Entsorgung von Siedlungsabfall und Altholz hat die technische Optimierung der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung (55.090 Mg CO₂-Äq bzw. 28 %). Dabei sind ebenso wie bei der thermischen Abfallbehandlung die Erhöhung der elektrischen und thermischen Nutzungsgrade der Verbrennung von Ersatzbrennstoffen bzw. HM und der Wirkungsgrade der Abscheidung der Metalle am wirksamsten. Der Beitrag der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung zur Bilanz der Emissionen des Szenarios 2020 AT bzw. zur Summe der vermiedenen Emissionen ist jedoch relativ gering (38.070 Mg CO₂-Äq bzw. 5 %).

Die durch Verwertung von Altholz vermiedenen Emissionen haben den größten Anteil an der Bilanz der Emissionen der Entsorgung von Siedlungsabfall und Altholz des Szenarios 2020 AT (434.990 Mg CO₂-Äq bzw. 55 %; Abb. 12). Das Potenzial der zusätzlichen Minderung der Emissionen durch technische Optimierung der Verwertung und zusätzliche getrennte Erfassung von Altholz ist jedoch vergleichsweise gering (18.590 Mg CO₂-Äq bzw. 9 %; Abb. 11).

Die Verwertung von Papier und Pappe hat nach der Verwertung von Altholz den zweitgrößten Anteil an der Bilanz der Emissionen des Szenarios 2020 AT (124.230 Mg CO₂-Äq bzw. 16 %) und eines der größten Potenziale zur Steigerung der vermiedenen Emissionen (36.950 Mg CO₂-Äq bzw. 18 %). Zur Nutzung dieses Potenzials ist einerseits die zusätzliche getrennte Erfassung und andererseits die technische Optimierung der Verwertung erforderlich. Diese umfasst jedoch, den thermischen Nutzungsgrad der Biomasse-Heizkraftwerke in Schweden, in denen die gutgeschriebene Masse Holz energetisch verwertet wird, zu erhöhen.

Weitere Potenziale der Emissionsminderung bestehen bei der Verwertung von Leichtverpackungen (30.620 Mg CO₂-Äq bzw. 15 %) und Grünabfall (23.670 Mg bzw. 12 %) durch zusätzliche getrennte Erfassung dieser Fraktionen und Maßnahmen der technischen Optimierung. Die technische Optimierung der Verwertung von Leichtverpackungen besteht darin, dass die bei der Verwertung gebildeten Stoffströme ausschließlich Primärkunststoffe ersetzen. Bei der Verwertung von Grünabfall umfasst die technische Optimierung die Reduzierung der Emission von Methan aus den Vergärungsanlagen und die Erhöhung des genutzten Wärmeanteils bei der energetischen Nutzung des Biogases.

Es können folgende Maßnahmen zur zusätzlichen Reduzierung der Emission von Treibhausgasen bei der Entsorgung von Siedlungsabfall und Altholz im Vergleich zum Jahr 2008 vorgeschlagen werden:

- A) Um die Emission von Treibhausgasen bei der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung zu reduzieren, sollte diese technisch optimiert werden. Dazu zählt, bei der Verwertung der Ersatzbrennstoffe mindestens 30 % Wärme zu nutzen und den elektrischen Nettonutzungsgrad auf 20 % zu erhöhen und zusätzlich den Wirkungsgrad der Abscheidung der Nichteisenmetalle auf 75 % zu steigern. Weiterhin sollten die mechanisch-biologischen Abfallbehandlungsanlagen mit einer anaerob-biologischen Stufe ausgestattet werden. Bei der energetischen Nutzung des gebildeten Biogases sind 80 % der Überschusswärme zu nutzen.

-
- B) Zur Vermeidung der Emission von Treibhausgasen bei der thermischen Behandlung von HM sind mindestens 15,5 % Wärme zu nutzen und der elektrische Nettonutzungsgrad auf 14 % zu erhöhen. Zusätzlich sollten die Wirkungsgrade bei der Abscheidung der Eisen- und Nichteisenmetalle jeweils mindestens auf 70 und 50 % gesteigert werden. Dieses könnte durch Abtrennung der Metalle vor der Verbrennung des HM erzielt werden.
- C) Bei der stofflichen Verwertung der getrennt gesammelten Leichtverpackungen sollten die gewonnenen Fraktionen ausschließlich Primärkunststoffe ersetzen.
- D) Bei der energetischen Verwertung von Altholz ist der elektrische Nettonutzungsgrad der Biomasse-Heizkraftwerke auf 20 % zu erhöhen. Dadurch sinken die Emissionen bei der Sortierung von SM und der Verwertung von Grünabfall, weil die Fraktion Holz aus der Sortierung von SM und der holzige Anteil des Grünabfalls in Biomasse-Heizkraftwerken verwertet werden.
- E) Bei der Verwertung von Grünabfall sollte der in Biomasse-Heizkraftwerken genutzte holzige Anteil des Grünabfalls auf 44 % und der durch Vergärung verwertete Anteil auf 19 % steigen. Bei der Vergärung des Grünabfalls ist der genutzte Anteil der überschüssigen Wärme des Blockheizkraftwerkes auf 80 % zu erhöhen und die Emission von Methan aus den Vergärungsanlagen zu minimieren. Die Wärme der Blockheizkraftwerke könnte z. B. für Trocknungsprozesse genutzt werden.
- F) Der durch Vergärung verwertete Anteil des Bioabfalls sollte erhöht werden. Dabei ist ebenso wie bei der Vergärung von Grünabfall der genutzte Anteil der überschüssigen Wärme des Blockheizkraftwerkes auf 80 % und die Emission von Methan aus den Vergärungsanlagen zu minimieren.
- G) Weiterhin sollte angestrebt werden, dass die Wertstoffe Papier und Pappe, Leichtverpackungen, Bioabfall und Grünabfall sowie Metalle und Altholz, die 2008 mit dem HM und HMG entsorgt wurden, zusätzlich getrennt erfasst werden.

6.2 Fortschreibung „Aktionsplan Klimaschutz Mecklenburg-Vorpommern 2010“

Es wird folgende Ergänzung des Kapitels 4.2 „Erneuerbare Energien“, Aktionsfeld 7: „Abfall als alternative Energiequelle nutzen“ des „Aktionsplans Klimaschutz Mecklenburg-Vorpommern 2010“ vorgeschlagen:

Kurztitel der Aktion: Klimaschutzpotenziale der Abfallwirtschaft in Mecklenburg-Vorpommern; Umsetzung: mittelfristig

Im Auftrag des WM wurde die Studie „Klimaschutzpotenziale der Abfallwirtschaft in Mecklenburg-Vorpommern am Beispiel von Siedlungsabfall und Altholz“ erarbeitet, um das Potenzial zur Reduzierung der Emission von Treibhausgasen bei der Entsorgung von Siedlungsabfall und Altholz im Vergleich zum Jahr 2008 zu bestimmen und die Maßnahmen auszuweisen, die hinsichtlich der Reduzierung der Emissionen am wirksamsten sind. Dazu wurden vier Szenarien betrachtet, die in Analogie zur Studie „Klimaschutzpotenziale

der Abfallwirtschaft am Beispiel von Siedlungsabfällen und Altholz“ (UBA, 2010) aufgestellt wurden: die Entsorgung des Siedlungsabfalls und des Altholzes im Jahr 2008 sowie drei Szenarien mit der technischen Optimierung der Verfahren zur Entsorgung des Siedlungsabfalls und Altholzes (2020 T), der zusätzlichen getrennten Erfassung von Wertstoffen (2020 A) und der Kombination dieser Maßnahmen (2020 AT). Es wurden folgende Erkenntnisse gewonnen:

Durch die technische Optimierung der Verfahren zur Entsorgung des Siedlungsabfalls und des Altholzes und die zusätzliche getrennte Erfassung von Wertstoffen werden 202.210 Mg CO₂-Äq bzw. 35 % zusätzlich zu den im Jahr 2008 eingesparten Emissionen von 575.900 Mg CO₂-Äq vermieden. Dabei ist die technische Optimierung der Verfahren zur Entsorgung, welche eine Reduzierung um 137.980 Mg CO₂-Äq bzw. 24 % bewirkt, wirksamer als die zusätzliche getrennte Erfassung von Wertstoffen, die eine Minderung um 74.770 Mg CO₂-Äq bzw. 13 % verursacht.

Die größte Reduzierung der Emission von Treibhausgasen wird durch die technische Optimierung der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung erzielt (55.090 Mg CO₂-Äq). Dabei sind die Erhöhung der elektrischen und thermischen Nutzungsgrade bei der energetischen Verwertung der Ersatzbrennstoffe und der Wirkungsgrade der Abscheidung der Metalle am wirksamsten. Weitere Maßnahmen sind die Ausstattung der mechanisch-biologischen Abfallbehandlungsanlagen mit einer anaerob-biologischen Stufe sowie die Steigerung des genutzten Wärmeanteils bei der energetischen Verwertung des Biogases.

Weitere große Minderungen der Emissionen werden durch die zusätzliche getrennte Erfassung der Wertstoffe Papier und Pappe, Leichtverpackungen, Grünabfall und Altholz und die technische Optimierung der Verwertung dieser Fraktionen erreicht. Die technische Optimierung umfasst u. a.

- die Zunahme des genutzten Wärmeanteils bei der energetischen Verwertung der Masse Holz, die durch stoffliche Verwertung von Papier und Pappe geschont wird sowie
- den ausschließlichen Ersatz von Primärkunststoffen bei der stofflichen Verwertung von Leichtverpackungen.

Bei der Verwertung von Grünabfall ist der in Biomasse-Heizkraftwerken energetisch genutzte holzige Anteil sowie der anaerob-biologisch verwertete Anteil zu erhöhen. Weiterhin sollte der elektrische Nutzungsgrad der Biomasse-Heizkraftwerke erhöht werden. Die Vergärungsanlagen und die Blockheizkraftwerke sollten jeweils hinsichtlich der Emission von Methan und des genutzten Wärmeanteils optimiert werden. Für die Verwertung von Altholz in Biomasse-Heizkraftwerken gelten die bei der Verwertung von Grünabfall genannten Maßnahmen.

7 Zusammenfassung

Im Rahmen dieser Studie wurden die Potenziale zur Reduzierung der Emission von Treibhausgasen bei der Entsorgung von Siedlungsabfall und Altholz mit Hilfe der Methode der Ökobilanz bestimmt. Dabei wurde die Entsorgung von HM, HMG und SM sowie der getrennt erfassten Fraktionen Bioabfall, Grünabfall, Glas, Papier und Pappe sowie Leichtverpackungen, Metalle und zusätzlich Altholz in vier Szenarien, die in der Studie „Klimaschutzpotenziale der Abfallwirtschaft am Beispiel von Siedlungsabfällen und Altholz“ (UBA, 2010a) für die Bundesrepublik Deutschland aufgestellt wurden, nunmehr für Mecklenburg-Vorpommern betrachtet.

In diesen Szenarien wurden bestimmte Maßnahmen und Bedingungen der Entsorgung definiert und die Treibhausgase bilanziert. Anschließend wurden die Bilanzen verglichen, um die Wirksamkeit der Maßnahmen und Bedingungen zu bewerten. Die wirksamsten Maßnahmen sollten als Empfehlung für eine Fortschreibung des „Aktionsplans Klimaschutz Mecklenburg-Vorpommern 2010“ dienen.

Die Szenarien waren das Szenario 2008 als Vergleichsbasis, das Szenario 2020 T (Technik) mit Optimierungen der technischen Verfahren der Entsorgung, welche bis 2020 umsetzbar sind, das Szenario 2020 A (Abfallströme) mit zusätzlicher getrennter Erfassung von Wertstoffen, die beim Szenario 2008 mit dem HM und HMG entsorgt wurden und das Szenario 2020 AT als Kombination der Szenarien 2020 T und 2020 A.

Durch die technische Optimierung der Verfahren zur Entsorgung des Siedlungsabfalls und Altholzes und die zusätzliche getrennte Erfassung von Wertstoffen werden zusätzlich 202.210 Mg CO₂-Äq bzw. 35 % zu den im Jahr 2008 eingesparten Emissionen von 575.900 Mg CO₂-Äq vermieden. Dabei ist die durch technische Optimierung zusätzlich vermiedene Emission von 137.980 Mg CO₂-Äq bzw. 24 % größer als der durch zusätzliche getrennte Erfassung von Wertstoffen erreichte Wert von 74.770 Mg CO₂-Äq bzw. 13 %.

Bei allen Szenarien hat die Verwertung von Altholz die überwiegenden Anteile an den Bilanzen der Emissionen.

Der größte Betrag der zusätzlich vermiedenen Emissionen wird durch die technische Optimierung der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung erreicht. Dabei sind die Erhöhung der elektrischen und thermischen Nutzungsgrade der energetischen Verwertung der Ersatzbrennstoffe sowie der Wirkungsgrade der Abscheidung der Metalle am wirksamsten.

Weitere zusätzliche Emissionsreduzierungen werden erzielt, wenn die Wertstoffe Papier und Pappe sowie Leichtverpackungen, Bio- und Grünabfall sowie Metalle und Altholz zusätzlich getrennt erfasst werden und deren Verwertung technisch optimiert wird.

8 Literaturverzeichnis

- AEA Technology (ed.): Waste Management Options and Climate Change. 2001
- BFE BUNDESAMT FÜR ENERGIE (Hrsg.): Ökobilanz für die Stromerzeugung aus Holzbrennstoffen und Altholz. Bern, 2002
- BLUM Ministerium für Bau, Landesentwicklung und Umwelt Mecklenburg-Vorpommern (Hrsg.): Klimaschutzkonzept Mecklenburg-Vorpommern. Schwerin, 1997
- DIN EN ISO 14040:2009-11: Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen.
- FRICKE, K.; MÜNNICH, K.; BAHR, T.; WALLMANN, R.: Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit von internationalen MBA- und Kompostierungsanlagen durch den Emissionshandel und CDM. In: WIEMER, Klaus (Hrsg.): Bio- und Sekundärrohstoffverwertung II. Witzenhausen-Institut für Abfall, Umwelt und Energie, 2007
- FRICKE, Klaus; BAHR, Tobias; BIDLINGMAIER, Werner; TURK, Thomas: Energieeffizienz der stofflichen und energetischen Verwertung ausgewählter Abfallfraktionen. In: Müll und Abfall, 42 (2010), Heft 2; S. 63 – 68
- FUCHS, J.: Aus Gärgut Qualitätskompost? Vortrag im Rahmen der IGA-Praxistage, 2007
- HIEBEL, Markus; PFLAUM, Hartmut: Recycling für den Klimaschutz – CO₂-Emissionen bei der Verwertung von Sekundärrohstoffen im Vergleich zur Nutzung von Primärrohstoffen. In: Müll und Abfall, 41 (2009), Heft 1; S. 4 – 7
- GEMIS 4.6: Globales Emissionsmodell Integrierter Systeme. Version 4.6
- HERTEL, M.; HOPPENHEIDT, K.; KOTTMAIR, A.; KRIST, H.; MUECKE, W.; ROMMEL, W.; ROTH, U.; ZIEGLER, C.; BAUMANN, J.; HUBER, W.: Wissenschaftliche Begleitung der MBA Erbenschwang. Endbericht zum Forschungsvorhaben B30 im Auftrag des Bayerischen Staatsministeriums für Landesentwicklung und Umweltfragen. Bayerisches Institut für angewandte Umweltforschung und -technik – BiFA GmbH, Augsburg, in Zusammenarbeit mit Abfallwirtschaft & Umwelttechnik Ing.-Ges. bRmbH, Augsburg und Erbenschwanger Verwertungs- und Abfallentsorgungsgesellschaft mbH, Ingenried, 2001
- IAA/INTECUS (Hrsg.) : Nutzung der Potenziale des biogenen Anteils im Abfall zur Energieerzeugung. Dresden, 2010
- IPCC: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [SOLOMON, Susan; QIN, Dahe; MANNING, Martin; CHEN, Zhenlin; MARQUIS, Melinda; AVERYT, Kristen B.; TIGNOR, Melinda M. B.; MILLER, Henry L. (eds.)]. Cambridge u. a.: Cambridge University Press, 2007

KERN, Michael; SPRICK, Werner; GLORIUS, Thomas: Regenerative Anteile in Siedlungsabfällen und Sekundärbrennstoffen. In: THOME-KOZMIENSKY, Karl J. (Hrsg.): Reformbedarf in der Abfallwirtschaft. Neuruppin: TK-Verlag, 2001

KLÖPPFER, Walter; GRAHL, Birgit: Ökobilanz (LCA). Weinheim: WILEY-VCH, 2009

LÄNDERARBEITSKREIS ENERGIEBILANZEN: http://www.lak-energiebilanzen.de/sixcms/media.php/4/co2_2_1.xls, 2011

LUNG LANDESAMT FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND GEOLOGIE: <http://www.lung.mv-regie-rung.de/insite/cms/umwelt/abfall/abfallentsorgung/siedlungsabfall/siedlungsabfallmengenstroeme.htm>, 2010

ÖKO-INSTITUT e. V. (Hrsg.): Optimierung der Abfallwirtschaft in Hamburg unter dem besonderen Aspekt des Klimaschutzes. Freiburg, 2008

PLEPLA, Karl-Heinz: Schriftliche Mitteilung, 2011

ROSEMANN, Andreas: Schriftliche Mitteilung, 2011

SPRINGER, Christian: Energie und CO₂. Bilanz der Kompostierung unter Einbezug des Substitutionspotenzials des Kompostes. In: Müll und Abfall, 42 (2010), Heft 8; S. 386 – 396

StatA MV STATISTISCHES AMT Mecklenburg-Vorpommern (Hrsg.): Umweltökonomische Gesamtrechnungen. Basisdaten und ausgewählte Ergebnisse für Mecklenburg-Vorpommern 2007. Schwerin, 2008

StatA MV STATISTISCHES AMT Mecklenburg-Vorpommern (Hrsg.): Abfallentsorgung in Mecklenburg-Vorpommern 2008. Schwerin, 2010

StatA MV STATISTISCHES AMT Mecklenburg-Vorpommern: Mündliche Mitteilung, 2011

UBA UMWELTBUNDESAMT (Hrsg.): Bestimmung spezifischer Treibhausgas-Emissionsfaktoren für Fernwärme. Dessau-Roßlau, 2008

UBA UMWELTBUNDESAMT (Hrsg.): Emissionsbilanz erneuerbarer Energieträger. Durch Einsatz erneuerbarer Energien vermiedene Emissionen im Jahr 2007. Dessau-Roßlau, 2009

UBA UMWELTBUNDESAMT (Hrsg.): Klimaschutzpotenziale der Abfallwirtschaft am Beispiel von Siedlungsabfällen und Altholz. Dessau-Roßlau, 2010a

UBA UMWELTBUNDESAMT (Hrsg.): Aufwand und Nutzen einer optimierten Bioabfallverwertung hinsichtlich Energieeffizienz, Klima- und Ressourcenschutz. Dessau-Roßlau, 2010b

UBA UMWELTBUNDESAMT: <http://www.umweltbundesamt.de/energie/archiv/co2-strommix.pdf>, 2010c

VOGT, Regine; KNAPPE, Florian; GIEGRICH, Jürgen; DETZEL, Andreas (Hrsg.): Ökobilanz Bioabfallverwertung. Berlin: Erich Schmidt Verlag, 2002

VONIER, Bernhard: Bestimmung des fossilen Anteils der Biomasse Altholz. Vortrag, 2010

WALLMANN, Rainer; FRICKE, Klaus; HAKE, Jürgen: Energieeffizienz bei der Mechanisch-biologischen Restabfallbehandlung. In: Müll und Abfall, 39 (2007), Heft 7; S. 332 – 339

WITZENHAUSEN-INSTITUT FÜR ABFALL, UMWELT UND ENERGIE (Hrsg.): Optimierung der biologischen Abfallbehandlung in Hessen. Studie im Auftrag des Hessischen Ministeriums für Umwelt, ländlichen Raum und Verbraucherschutz, 2008

WM Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Tourismus Mecklenburg-Vorpommern (Hrsg.): Abfallwirtschaftsplan Mecklenburg-Vorpommern. Schwerin, 2008

WM Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Tourismus Mecklenburg-Vorpommern (Hrsg.): Gesamtstrategie „Energieland 2020“ für Mecklenburg-Vorpommern. Schwerin, 2009a

WM Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Tourismus Mecklenburg-Vorpommern (Hrsg.): Energie aus Abfall in Mecklenburg-Vorpommern. Schwerin, 2009b

WM Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Tourismus Mecklenburg-Vorpommern (Hrsg.): Dezentrale Verwertung von Ersatzbrennstoffen und heizwertreichen Sortierresten in Mecklenburg-Vorpommern. Schwerin, 2009c

WM Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Tourismus Mecklenburg-Vorpommern (Hrsg.): Aktionsplan Klimaschutz Mecklenburg-Vorpommern 2010. Schwerin, 2010

WULF, S.: Untersuchung der Emissionen von NH₃, N₂O und CH₄ nach Ausbringung von Kofermentationsrückständen in der Landwirtschaft. Dissertation an der Fakultät für Biologie, Chemie und Geowissenschaften der Universität Bayreuth. 2002

9 Abkürzungsverzeichnis

a. n. g.	ansonsten nicht genannt
ASN	Abfallschlüsselnummer
BLUM	Ministerium für Bau, Landesentwicklung und Umwelt Mecklenburg-Vorpommern
BM-HKW	Biomasse-Heizkraftwerk
CO ₂ -Äq	CO ₂ -Äquivalent
EBS	Ersatzbrennstoff
EBS-HKW	Ersatzbrennstoff-Heizkraftwerk
E _{el}	elektrische Energie
E _{el} eigen	Eigenstrombedarf
E _{ges}	Gesamtenergiebedarf
EF	Emissionsfaktor
EF _{CH4}	Methan-Emissionsfaktor
EF _{N2O}	Distickstoffoxid-Emissionsfaktor
EF _{CH4} offen	Methan-Emissionsfaktor von offenen Anlagen
EF _{CH4} gesch	Methan-Emissionsfaktor von geschlossenen Anlagen
EF _{N2O} offen	Distickstoffoxid-Emissionsfaktor von offenen Anlagen
EF _{N2O} gesch	Distickstoffoxid-Emissionsfaktor von geschlossenen Anlagen
η _{el netto}	elektrischer Nettonutzungsgrad
η _{th netto}	thermischer Nettonutzungsgrad
EVF	Emissionsvermeidungsfaktor
FE-Metalle	Eisenmetalle
FM	Frischmasse
Hi	Heizwert

HM	Hausmüll
HMG	Hausmüllähnlicher Gewerbeabfall
$m_{\text{offen A}}$	in offenen Anlagen eingesetzte Masse
$m_{\text{gesch A}}$	in geschlossenen Anlagen eingesetzte Masse
MBA	Mechanisch-biologische Abfallbehandlung
MV	Mecklenburg-Vorpommern
NE-Metalle	Nichteisenmetalle
Q_{Diesel}	Dieselmotorkraftstoffbedarf
Q_{Erdgas}	Erdgasbedarf
Q_{th}	Wärme
$Q_{\text{th eigen}}$	Eigenwärmebedarf
$Q_{\text{th Nutz}}$	Nutzwärme
RTO	Regenerativ-Thermische Oxidation
SM	Sperrmüll
StatA MV	Statistisches Amt Mecklenburg-Vorpommern
UBA	Umweltbundesamt
WM	Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Tourismus Mecklenburg-Vorpommern