

ifeu -
Institut für Energie-
und Umweltforschung
Heidelberg GmbH



Maßnahmenplan zur Umsetzung ei- ner vorbildhaften klimafreundlichen Abfallentsorgung im Land Berlin

Endbericht

für die Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt
Referat Abfallwirtschaft
10179 Berlin

gefördert durch

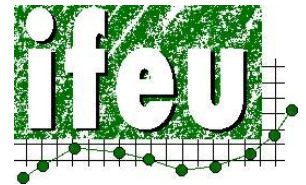


Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz
und Reaktorsicherheit



DIE BMU
KLIMASCHUTZ-
INITIATIVE

Heidelberg, September 2012



ifeu -
Institut für Energie-
und Umweltforschung
Heidelberg GmbH



Maßnahmenplan zur Umsetzung ei- ner vorbildhaften klimafreundlichen Abfallentsorgung im Land Berlin

Endbericht

für die Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt
Referat Abfallwirtschaft
10179 Berlin

Regine Vogt
Horst Fehrenbach

unter Mitwirkung von
Ulrich Wiegel
Knud Ebert
(ICU – Ingenieurconsulting Umwelt und Bau Berlin)

ifeu - Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH
Wilckensstr. 3, D – 69120 Heidelberg
Tel.: +49/(0)6221/4767-0, Fax: +49/(0)6221/4767-19
E-mail: ifeu@ifeu.de, Website: www.ifeu.de

Heidelberg, September 2012

Inhaltsverzeichnis

1	Veranlassung und Vorgehen	1
1.1	Veranlassung	1
1.2	Vorgehen	1
1.3	Methode Ermittlung Klimaschutzpotenziale	3
1.3.1	Ökobilanz der Abfallwirtschaft – Systemvergleiche	3
1.3.2	Weitere methodische Aspekte und Festlegungen	5
1.3.3	Wirkungsabschätzung Treibhauseffekt	10
2	Bestandsaufnahme – Stoffstrom- und Treibhausgasbilanz 2010	11
2.1	Boden und Steine	13
2.2	Bauschutt	15
2.3	Beton	17
2.4	Asphalt	18
2.5	Baggergut	20
2.6	Hausmüll inkl. Geschäftsmüll	20
2.6.1	Behandlungsanlagen für überlassungspflichtige Abfälle	21
2.6.2	Kenndaten Abfallfraktionen	26
2.6.3	Ergebnis THG-Bilanz	29
2.7	Gewerbeabfälle und gemischte Bau- und Abbruchabfälle	32
2.7.1	Überlassungspflichtige Gewerbeabfälle	33
2.7.2	Nicht überlassungspflichtige gemischte gewerbliche Siedlungsabfälle und gemischte Bau- und Abbruchabfälle	40
2.8	Klärschlamm	49
2.8.1	Ungefaulter Klärschlamm	51
2.8.2	Gefaulter Klärschlamm	58
2.9	Sperrmüll	62
2.10	Straßenkehrriech	64
2.10.1	Handkehrriech	64
2.10.2	Maschinenkehrriech und Altstreugut	66
2.11	Trockene Wertstoffe	70
2.11.1	Papier/Pappe/Kartonagen	70
2.11.2	Altglas	73
2.11.3	Leichtverpackungen im Sammelsystem Gelbe Tonne	74
2.11.4	Wertstoffe im Sammelsystem Gelbe Tonne Plus	80
2.11.5	Wertstoffe im Sammelsystem Orange Box	82
2.12	Alttextilien	85
2.13	Altteppiche	87
2.14	Altreifen	89
2.15	E-Schrott	91
2.16	Altmetalle	94
2.17	Altholz	96
2.17.1	Getrennt gesammeltes Altholz	99
2.17.2	Baum- und Strauchschnitt	103
2.17.3	Weihnachtsbäume	107
2.18	Organikabfälle aus Haushalten	108
2.18.1	Organik im Hausmüll	110
2.18.2	Bioabfall (BIOGUT)	114

2.18.3	Eigenkompostierung Bio- und Grünabfälle	117
2.18.4	Organikabfälle im Sammelsystem Laubsack	120
2.19	Laub, Straßenlaub	123
2.20	Grasschnitt	125
2.20.1	Straßenbegleitgrün	126
2.20.2	Mähgut	126
2.21	Organikabfälle aus Gewerbe	128
2.21.1	Speisereste	131
2.21.2	Überlagerte Lebensmittelabfälle	133
2.21.3	Fettabscheiderinhalte	136
2.22	Altfette	139
2.23	Pferdemist	140
2.24	Rechengut	142
2.25	Zusammenfassung Bestandsaufnahme Ist-Situation	144
3	Potenzialanalyse – Stoffstrom und Treibhausgasbilanz 2020	152
3.1	Boden und Steine	152
3.2	Bauschutt	153
3.3	Beton	154
3.4	Asphalt	155
3.5	Baggergut	157
3.6	Hausmüll inkl. Geschäftsmüll	157
3.7	Gewerbeabfälle und gemischte Bau- und Abbruchabfälle	159
3.7.1	Überlassungspflichtige Gewerbeabfälle	159
3.7.2	Nicht überlassungspflichtige gemischte gewerbliche Siedlungsabfälle und gemischte Bau- und Abbruchabfälle	160
3.8	Klärschlamm	163
3.8.1	Ungefaulter Klärschlamm	164
3.8.2	Gefaulter Klärschlamm	168
3.8.3	Zusammenfassung der Optimierungspotenziale im Bereich der Klärschlamm Entsorgung	173
3.9	Sperrmüll	174
3.10	Straßenkehrsicht	174
3.11	Trockene Wertstoffe	177
3.11.1	Sammelsystem Wertstofftonne und Potenzial gesteigerte getrennte Erfassung von Wertstoffmengen	177
3.11.2	Müllschleusenprojekt und Abfallmanagement	181
3.11.3	Optimierungspotenzial Steigerung getrennte Erfassung	183
3.12	Alttextilien	185
3.13	Altteppiche	186
3.14	Altreifen	186
3.15	E-Schrott	187
3.16	Altmetalle	189
3.17	Altholz	189
3.17.1	Getrennt gesammeltes Altholz	189
3.17.2	Baum- und Strauchschnitt	191
3.17.3	Weihnachtsbäume	193
3.18	Organikabfälle aus Haushalten	194
3.18.1	Organik im Hausmüll	194
3.18.2	Bioabfall (BIOGUT)	194

3.18.3	Eigenkompostierung Bio- und Grünabfälle	210
3.18.4	Organikabfälle im Sammelsystem Laubsack	211
3.19	Laub, Straßenlaub	214
3.19.1	Technische Optionen zur Behandlung von Laub, Straßenlaub	214
3.19.2	Zwischenlagerung und Ballierung	218
3.19.2	Anlagenkonzepte	222
3.20	Grasschnitt	223
3.20.1	Straßenbegleitgrün	226
3.20.2	Mähgut	227
3.21	Organikabfälle aus Gewerbe	227
3.21.1	Speisereste	229
3.21.2	Überlagerte Lebensmittelabfälle	230
3.21.3	Fettabscheiderinhalte	231
3.22	Altfette	232
3.23	Pferdemist	233
3.24	Rechengut	235
3.25	Zusammenfassung Potenzialanalyse Berlin 2020	235
4	Optimierungsszenarien 2020 und Vergleich zum Ist-Stand 2010 unter Berücksichtigung der Klimaeffekte	242
4.1	Entnahme von Wertstoffen aus dem Restmüll und Umlenkung von Organikabfällen aus Haushalten	242
4.1.1	Entnahme von trockenen Wertstoffen	243
4.1.2	Entnahme von Organikabfall aus Haus- und Geschäftsmüll und Umlenkung von Organikabfall aus Haushalten	247
4.1.3	Zusammenfassung: Entnahme trockene Wertstoffe und Organikabfall	252
4.2	Entnahme von E-Schrott aus Haus- und Geschäftsmüll	254
4.3	Umlenkung von überlassungspflichtigen Gewerbeabfällen zur gemeinsamen Entsorgung mit nicht überlassungspflichtigen Gewerbeabfällen	256
4.4	Umlenkung von Organikabfällen	258
4.5	Zusammenfassung Ergebnisse der Optimierungsszenarien	259
5	Maßnahmenkatalog und Kostenbetrachtung	262
5.1	Allgemeine Instrumente zur Lenkung	262
5.2	Haus- und Geschäftsmüll (kommunaler Abfall) inkl. Entnahme von Wertstoffen	263
5.2.1	Steigerung getrennte Erfassung trockene Wertstoffe aus Haus- und Geschäftsmüll (nicht kommunaler Abfall)	264
5.2.2	Steigerung getrennte Erfassung Organikabfälle aus Haus- und Geschäftsmüll (überwiegend kommunaler Abfall)	265
5.3	Gemischte gewerbliche Siedlungsabfälle und gemischte Bau- und Abbruchabfälle (nicht kommunaler Abfall)	267
5.4	Organische Abfälle (überwiegend kommunaler Abfall)	270
5.4.1	Straßenbegleitgrün, Straßenlaub und Laubsäcke (im Regime der BSR)	271
5.4.2	Sonstiges Laub und Mähgut	274
5.4.3	Klärschlamm	276
5.4.4	Sonstige organische Abfälle	277

5.5	Mineralische Abfälle (überwiegend nicht kommunaler Abfall)	279
5.6	Weitere Abfälle	282
5.7	Kostenbetrachtung	283
5.7.1	Abschätzung der spezifischen Mehrkosten	284
5.7.2	Ergebnis der Kostenbetrachtung	288
6	Controlling und Instrumente zur Umsetzung	293
7	Akteursbeteiligung und Öffentlichkeitsarbeit	302
8	Zusammenfassung	312
9	Literatur	318
10	Abkürzungsverzeichnis / Glossar	325
Anhang		
A.	Erläuterung zur Wirkungskategorie Treibhauseffekt	I
B.	Wirkungsgrade und Substitutionseffekte thermische Behandlungsanlagen	III
C.	Vorbehandlungsanlagen in Berlin und Brandenburg – Sonderabfrage	V
D.	Berechnung der Massen- und Energieverhältnisse der KSVA Ruhleben	VI
E.	Verfahren zur Verwertung biogener Stoffe über hydrothermale Karbonisierung	VIII
F.	Leistungsblätter für relevante Abfallarten	XXIX

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1	Spezifisches Ergebnis Entsorgung Haus- und Geschäftsmüll.....	30
Abbildung 2-2	Spezifisches Ergebnis Entsorgung überlassungspflichtige hausmüllähnliche Gewerbeabfälle	36
Abbildung 2-3	Sensitivität: spezifisches Ergebnis Entsorgung überlassungspflichtige HMG mit Kenndaten wie nicht überlassungspflichtige Gewerbeabfälle	37
Abbildung 2-4	Absolutes Ergebnis Entsorgung sonstige Abfallarten aus Gewerbe und Industrie	39
Abbildung 2-5	Eingabemaske für Auswertung Sonderabfrage	42
Abbildung 2-6	Sankeydarstellung Zusammenfassung Ergebnis Sonderabfrage.....	43
Abbildung 2-7	Spezifisches Ergebnis Entsorgung nicht überlassungspflichtige gemischte Siedlungsabfälle und gemischte Bau- und Abbruchabfälle	48
Abbildung 2-8	Zuordnung des Klärschlammes auf die Bilanzbereiche	50
Abbildung 2-9	N ₂ O-Emissionen der Klärschlammverbrennung bei unterschiedlichen Feuerraum-Temperaturen (ATV 1996).....	54
Abbildung 2-10	Spezifisches Ergebnis Entsorgung ungefauter Klärschlamm	55
Abbildung 2-11	Absolutes Ergebnis Entsorgung ungefauter Klärschlamm.....	56
Abbildung 2-12	Temperaturabhängigkeit der N ₂ O-Bildung bei der Klärschlammverbrennung (UBA 2011)	57
Abbildung 2-13	Temperaturabhängigkeit der N ₂ O-Bildung bei der Klärschlammverbrennung (VITOVEC 1991)	57
Abbildung 2-14	Spezifisches Ergebnis Entsorgung gefauter Klärschlamm	60
Abbildung 2-15	Absolutes Ergebnis Entsorgung gefauter Klärschlamm.....	61
Abbildung 2-16	Spezifisches Ergebnis Verwertung Sperrmüll	63
Abbildung 2-17	Spezifisches Ergebnis Beseitigung Handkehricht	65
Abbildung 2-18	Spezifisches Ergebnis Verwertung Straßenkehricht	70
Abbildung 2-19	Spezifisches Ergebnis Verwertung PPK	72
Abbildung 2-20	Spezifisches Ergebnis Verwertung Glas	74
Abbildung 2-21	Spezifisches Ergebnis Verwertung LVP.....	79
Abbildung 2-22	Spezifisches Ergebnis Verwertung Wertstoffe im Sammelsystem GTP.....	81
Abbildung 2-23	Spezifisches Ergebnis Verwertung Wertstoffe im Sammelsystem Orange Box	85
Abbildung 2-24	Spezifisches Ergebnis Verwertung Alttextilien	87
Abbildung 2-25	Spezifisches Ergebnis Verwertung Altteppiche.....	88
Abbildung 2-26	Spezifisches Ergebnis Verwertung Altreifen	90
Abbildung 2-27	Spezifisches Ergebnis Verwertung E-Schrott.....	94
Abbildung 2-28	Spezifisches Ergebnis Verwertung Altmetalle	95
Abbildung 2-29	Gesamt - Holzbilanz	97
Abbildung 2-30	Spezifisches Ergebnis Verwertung Altholz.....	102
Abbildung 2-31	Absolutes Ergebnis Verwertung Altholz	103
Abbildung 2-32	Spezifisches Ergebnis Verwertung Baum- und Strauchschnitt.....	106
Abbildung 2-33	Absolutes Ergebnis Verwertung Baum- und Strauchschnitt	107
Abbildung 2-34	Spezifisches Ergebnis Verwertung Weihnachtsbäume	108
Abbildung 2-35	Spezifisches Ergebnis Verwertung Bioabfall (BIOGUT).....	116

Abbildung 2-36	Spezifisches Ergebnis Verwertung Eigenkompostierung	120
Abbildung 2-37	Spezifisches Ergebnis Verwertung Organikabfall im Sammelsystem Laubsack	122
Abbildung 2-38	Spezifisches Ergebnis Verwertung Laub/Straßenlaub	124
Abbildung 2-39	Spezifisches Ergebnis Verwertung Mähgut.....	128
Abbildung 2-40	Spezifisches Ergebnis Verwertung Speisereste.....	133
Abbildung 2-41	Spezifisches Ergebnis Verwertung überlagerte Lebensmittel	135
Abbildung 2-42	Spezifisches Ergebnis Verwertung Fettabscheiderinhalte.....	138
Abbildung 2-43	Spezifisches Ergebnis Verwertung Altfette	140
Abbildung 2-44	Spezifisches Ergebnis Verwertung Pferdemist	141
Abbildung 2-45	Spezifisches Ergebnis Verwertung Rechengut	143
Abbildung 2-46	Sankeydiagramm Mengenströme	144
Abbildung 2-47	Überblick entsorgte Mengen der Abfallarten	145
Abbildung 2-48	Überblick absolute Nettoergebnisse THG-Bilanz der Abfallarten	149
Abbildung 3-1	Potenzialanalyse Entsorgung Haus- und Geschäftsmüll	158
Abbildung 3-2	Potenzialanalyse Entsorgung ungefauter Klärschlamm in der KSPA.....	168
Abbildung 3-3	Potenzialanalyse Entsorgung gefauter Klärschlamm in der KSPA.....	172
Abbildung 3-4	Potenzialanalyse Summe Entsorgung Klärschlamm in der KSPA.....	173
Abbildung 3-5	Potenzialanalyse Entsorgung Straßenkehricht.....	176
Abbildung 3-6	Schematische Darstellung der LVP-Sortierung nach Stand der Technik Quelle: (Öko-Institut/HTP 2012)	180
Abbildung 3-7	Gutschriften energetische Verwertung aufbereitetes Altholz über HKW	190
Abbildung 3-8	Gutschriften energetische Verwertung Baum- und Strauchschnitt über Holz-HKW und Kohlekraftwerke	192
Abbildung 3-9	Massenbilanz der Vergärungsanlage Ruhleben	196
Abbildung 3-10	Spezifisches Ergebnis zur BIOGUT Vergärung – Planungsstand 2012.....	198
Abbildung 3-11	Grafik zur Nachentwässerung von Abwasser aus der Trockenvergärung – aus: Prospekt von BELLMER KUFFERATH Machinery GmbH	200
Abbildung 3-12	Ableitung der THG-Entlastungsbeiträge für die Mengen der Sammlungsausweitung.....	205
Abbildung 3-13	Spezifisches Ergebnis Behandlungsverfahren zusätzlich getrennt erfasster Organikabfälle.....	209
Abbildung 3-14	Potenzialanalyse Entsorgung Teilstrom Laubsack.....	213
Abbildung 3-15	Verfahrensvergleich optimierte Laubverwertung	217
Abbildung 3-16	Fallbeispiel: Mengenanfall, Verarbeitungskapazitäten und Lagerbedarf für Laub	219
Abbildung 3-17	Beispiel eines Ballen-Zwischenlagers (TOMM+C 2006)	221
Abbildung 3-18	Anfallmengen, Lagerverlauf und Anlagenkapazitäten für Grasschnitt	224
Abbildung 3-19	Potenzialanalyse Verwertung Grasschnitt	225
Abbildung 3-20	Potenzialanalyse Verwertung Pferdemist	234
Abbildung 3-21	Überblick absolute Nettoergebnisse Potenziale 2020	240

Abbildung 4-1	Schematische Darstellung Entnahme trockener Wertstoffe aus Haus- und Geschäftsmüll.....	244
Abbildung 4-2	Abfallmengen Systemvergleich „trockene Wertstoffe“ 2010 zu 2020	245
Abbildung 4-3	THG-Ergebnis Optimierungsszenario 2020 zur Steigerung getrennte Erfassung trockener Wertstoffe aus dem Haus- und Geschäftsmüll.....	246
Abbildung 4-4	Schematische Darstellung Entnahme Organikabfall aus Haus- und Geschäftsmüll und Umlenkung Organik aus Haushalten	248
Abbildung 4-5	Abfallmengen Systemvergleich „Organikabfälle“ 2010 zu 2020	248
Abbildung 4-6	THG-Ergebnis Optimierungsszenario 2020 zur Steigerung getrennte Erfassung und Umlenkung Organikabfälle	251
Abbildung 4-7	Abfallmengen Systemvergleich „trockene Wertstoffe und Organikabfälle“ 2010 zu 2020.....	253
Abbildung 4-8	THG-Ergebnis Optimierungsszenario 2020 Steigerung getrennte Erfassung trockene Wertstoffe, Organikabfälle und Umlenkung Organikabfälle	254
Abbildung 4-9	Abfallmengen Systemvergleich „E-Schrott“ 2010 zu 2020.....	255
Abbildung 4-10	THG-Ergebnis Optimierungsszenario 2020 Steigerung getrennte Erfassung Haushaltskleingeräte	256
Abbildung 4-11	Abfallmengen Systemvergleich Umlenkung überlassungspflichtiger HMG zur gemeinsamen Verwertung mit nicht überlassungspflichtigen Gewerbeabfällen 2020.....	257
Abbildung 4-12	THG-Ergebnis Optimierungsszenario 2020 Umlenkung überlassungspflichtige HMG zur Verwertung mit nicht überlassungspflichtigen Gewerbeabfällen	258
Abbildung 4-13	Überblick Verbleib Organikabfälle im Jahr 2020	259
Abbildung 5-1	Jahresgang Bioabfall für IST-Mengen und zusätzliche Mengen	272
Abbildung 5-2	Integration der Verarbeitung von Straßenlaub, Laubsäcken und Straßenbegleitgrün in neu zu errichtende BSR-Behandlungsanlagen für Bioabfall	272
Abbildung 5-3	Auslastung der Biogut-Verwertungsanlagen mit BSR-eigenen organischen Abfällen	273
Abbildung 5-4	Künftige Verwertung von sonstigem Laub und Mähgut	275
Abbildung 5-5	THG-Vermeidungskosten nach Maßnahme und Abfallart	289
Abbildung 5-6	Absolute THG-Entlastungen je Abfallstoff bzw. Maßnahme	290
Abbildung 5-7	CO ₂ -Vermeidungskosten für verschiedene Nutzungsarten von Biomasse zur Energiegewinnung (WBA 2007).....	290
Abbildung 5-8	Indexwert der Maßnahmenwirkung (Quotient aus absoluter Entlastung und spezifischen Minderungskosten)	291
Abbildung 6-1	Bildschirmfoto Exceltool Blatt „Abfallliste“.....	294
Abbildung 6-2	Bildschirmfoto Exceltool Blatt „Ergebnis“	295
Abbildung 6-3	Ausschnitt Exceltool Berechnung 2010 IST für Haus- und Geschäftsmüll.....	296
Abbildung 6-4	Bildschirmfoto Exceltool Ausschnitt Blatt „Hausmüll“	297
Abbildung 6-5	Bildschirmfoto Exceltool Ausschnitt Blatt „EF-Daten“	298
Abbildung 6-6	Bildschirmfoto Exceltool Ausschnitt Blatt „Anlagendaten“	299

Abbildung 6-7	Bildschirmfoto Exceltool Ausschnitt Blatt „WG therm-Anl“	300
Abbildung 6-8	Bildschirmfoto Exceltool Ausschnitt Blatt „Anlagen“	301

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1-1	Treibhauspotenzial der wichtigsten Treibhausgase	10
Tabelle 2-1	Betrachtete Abfallfraktionen nach Sammel- bzw. Erfassungssystem.....	12
Tabelle 2-2	Kenndaten für Abfallfraktionen (Öko-Institut/IFEU 2010).....	27
Tabelle 2-3	Abfallzusammensetzung für Haus- und Geschäftsmüll nach (ARGUS 2009b) und modifizierte Zusammensetzung	28
Tabelle 2-4	Ermittelte Kenndaten für Haus- und Geschäftsmüll	29
Tabelle 2-5	Abfallzusammensetzung für überlassungspflichtige haumüllähnliche Gewerbeabfälle nach (ARGUS 2009a) und modifizierte Zusammensetzung.....	34
Tabelle 2-6	Ermittelte Kenndaten für überlassungspflichtige haumüllähnliche Gewerbeabfälle und für nicht überlassungspflichtige Gewerbeabfälle	35
Tabelle 2-7	In Sonderabfrage abgefragte Input- und Outputstoffströme.....	42
Tabelle 2-8	Kenndaten des aus Berliner Abwasser erzeugten Klärschlammes.....	51
Tabelle 2-9	Kenndaten der Klärschlammverbrennungsanlage Ruhleben (nach BWB).....	53
Tabelle 2-10	Ableitung des spezifischen Abgasvolumens der KSWA im Jahr 2010.....	54
Tabelle 2-11	Gasbedarf der Klärschlamm Trocknung nach Erdgas und Faulgas	59
Tabelle 2-12	LVP Verwertungszuführungsmengen gemäß DSD-Mengenstromnachweis 2010 und Aufteilung Kunststoffe nach (u.e.c. 2011).....	75
Tabelle 2-13	Ausbeuten und Substitutionspotenzial stoffliche Verwertung.....	77
Tabelle 2-14	Sortiererergebnis Wertstoffe im Sammelsystem GTP nach (u.e.c. 2011) im Vergleich zu Aufteilung LVP im Sammelsystem Gelbe Tonne.....	81
Tabelle 2-15	Sortiererergebnisse und Zusammensetzung Wertstoffe im Sammelsystem Orange Box.....	83
Tabelle 2-16	Aufkommen und Verbleib von Altreifen in Deutschland	89
Tabelle 2-17	Kategorien nach ElektroG und Sammelgruppen nach EAR.....	92
Tabelle 2-18	Verteilungsschlüssel für Altholz und Baum- und Strauchschnitt	98
Tabelle 2-19	Anlagenbezogene Verteilung des energetisch verwerteten Holzes.....	99
Tabelle 2-20:	Altholz mengen aus Berlin.....	100
Tabelle 2-21	Mengenanteile und Wirkungsgrade der (Heiz)Kraftwerke für Altholzeinsatz.....	100
Tabelle 2-22	Baum- und Strauchschnittmengen 2010	104
Tabelle 2-23	Mengenanteile der energetischen Baum- und Strauchschnittverwertung und Wirkungsgrade der (Heiz)Kraftwerke	105
Tabelle 2-24	Organikmengen aus Haushalten in Berlin 2010	109
Tabelle 2-25	Organikentsorgung über den Hausmüll	111

Tabelle 2-26	THG-Bilanz der Organikentsorgung über den Hausmüll.....	113
Tabelle 2-27	Herkunft der Bioabfallmengen.....	115
Tabelle 2-28	Herleitung der Eigenkompostierungsmenge in Hausgärten und Kleingartenkolonien.....	119
Tabelle 2-29	Herkunft Laubmengen.....	123
Tabelle 2-30	Mengen an Straßenbegleitgrün und Mähgut	125
Tabelle 2-31	Mähgut der Berliner Bezirke nach Pflegekategorien (PK) (ICU 2011).....	127
Tabelle 2-32	Organikabfall aus Gewerbe.....	129
Tabelle 2-33	Speiserestmengen und Biogasertrag bei der Vergärung	132
Tabelle 2-34	Mengen überlagerter Lebensmittel und Biogasertrag bei der Vergärung.....	134
Tabelle 2-35	Mengen Fettabscheiderinhalte und Biogasertrag bei der Vergärung.....	137
Tabelle 2-36	Spezifische Mengenbilanz der MBS-Behandlung von Rechengut	142
Tabelle 2-37	Überblick Ergebnisse Bestandsaufnahme.....	146
Tabelle 3-1	Sekundärrohstoffausbeuten (UBA 2011a) und Ergebnis Sonderauswertung sowie Zielwerte Potenzialanalyse 2020	161
Tabelle 3-2	Übersicht der Optimierungspotenziale für Klärschlämme	163
Tabelle 3-3	Mengen- und Energiebilanz der HTC-Behandlung gefaulten Klärschlamms	170
Tabelle 3-4	Potenziale und Entnahme LVP und StNVP aus dem Haus- und Geschäftsmüll nach Abfallarten.....	184
Tabelle 3-5	Ableitung Zusammensetzung Wertstofftonne für das Optimierungsszenario 2020 im Vergleich zu Zusammensetzung Gelbe Tonne und GTP 2010	185
Tabelle 3-6	Verwendete THG-Emissionsfaktoren für die Bioabfallvergärung nach Planungsstand.....	197
Tabelle 3-7	Eckdaten für eine belüftete Nachrotte der aerobisierten festen Gärreste.....	201
Tabelle 3-8	Herkunft der Bioabfallmengen – Abschätzung für 2020.....	203
Tabelle 3-9:	Randbedingungen TA Luft-konforme Vergärung	207
Tabelle 3-10	Auslegung Ballierung von Laub.....	220
Tabelle 3-11	Überblick Ergebnisse Potenzialanalyse.....	237
Tabelle 4-1	Ergebniszusammenstellung Optimierungsszenarien 2020	260
Tabelle 5-1	Instrumente zur Optimierung der Verwertung gemischter gewerblicher Siedlungsabfälle und Bau- und Abbruchabfälle	269
Tabelle 5-2	Abschätzung der Kosten für die Bioabfall Zusatzmenge	287
Tabelle 7-1	Übersicht wesentliche Akteursbeteiligungen	304

1 Veranlassung und Vorgehen

1.1 Veranlassung

Berlin ist mit rund 3,4 Mio. Einwohnern die bevölkerungsreichste Stadt Deutschlands. Zudem kommt der Stadt durch ihre Hauptstadtfunction eine besondere Verantwortung bei der Umsetzung der notwendigen Maßnahmen zur drastischen Reduzierung der Klimagase zu, und sie kann dadurch Impulsgeber für andere Kommunen sein. Im Rahmen einer nachhaltigen Klimaschutzpolitik muss sich auch die Abfallwirtschaft noch stärker auf die Minimierung von Treibhausgasemissionen ausrichten. Nach der Studie „Klimaschutzpotenziale der Abfallwirtschaft“ (Öko-Institut/IFEU 2010) könnten die klimaschädlichen Gase in der deutschen Abfallwirtschaft bis zum Jahr 2020 um weitere rund zehn Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente pro Jahr reduziert werden.

Nach dem vom Berliner Abgeordnetenhaus im Mai 2011 beschlossenen Abfallwirtschaftskonzept für den Zeitraum 2010 bis 2020 (SenGUV 2010a) soll die Berliner Abfallwirtschaft insbesondere unter den Aspekten des Ressourcenschutzes und des Klimaschutzes neu ausgerichtet und entsprechend optimiert werden. Ziel und Anspruch ist, es eine weitere relevante Reduktion an schädlichen Klimagasen (Kohlendioxid, Methan und Lachgas) spätestens bis 2020 zu erzielen. Dies soll auch durch eine klimaschonende und hochwertige Verwertung von nichtbiogenen und biogenen Abfällen erreicht werden. Zur Evaluierung dieser Ziele sowie zur Steuerung der Abfallströme soll nach dem Berliner Abfallwirtschaftskonzept eine jährliche Stoffstrom-, Klima- und Umweltbilanz für die nicht gefährlichen Abfälle erstellt werden.

Diese von der Senatsumweltverwaltung beauftragte und vom Bundesumweltministerium geförderte Studie dient der Erarbeitung eines vorbildhaften Maßnahmenplans zur Erreichung der genannten Ziele. Hierzu erfolgen zunächst eine **Bestandsaufnahme** der abfallwirtschaftlichen Situation im Jahr 2010 sowie eine Einschätzung, welche im Land Berlin anfallenden nicht gefährlichen Abfallarten hinsichtlich Menge oder Klimaschutzpotenzial von besonderer Bedeutung sind. Für diese Abfallarten wird im Weiteren im Rahmen einer **Potenzialanalyse** geprüft, durch welche Maßnahmen sich der Beitrag zum Klimaschutz durch die Abfallwirtschaft in Berlin bis spätestens im Jahr 2020 steigern lässt. Die unter einem ganzheitlichen Blickwinkel als wesentlich erkannten Maßnahmen werden in einen **Maßnahmenkatalog** zusammengeführt.

Zudem wird im Rahmen dieser Studie für die Mengen- und Klimabilanzierung der Abfälle ein entsprechendes Rechentool entwickelt.

1.2 Vorgehen

Das Vorgehen zur Bestandsaufnahme der Massenströme ist ausführlich im Zwischenbericht zum Projekt beschrieben und wird im vorliegenden Bericht für einzelne relevante Abfallarten vertieft. Generell wird zur Ermittlung der Klimaschutzpotenziale der Berliner Abfallwirtschaft eine **Betrachtung nach Abfallarten** durchgeführt. Dies hat zwei wesentliche sich bedingende Konsequenzen:

- es werden keine Abfallbehandlungsanlagen bilanziert, sondern es wird untersucht, wie sich die jeweilige Abfallart in einer Anlage bzw. einem Behandlungsverfahren hinsichtlich der Treibhausgaswirkungen darstellt,
- die betrachtete Abfallart muss in ihrer Zusammensetzung einheitlich definiert sein, um verschiedene Behandlungsverfahren objektiv vergleichen zu können.

Wenn beispielsweise eine Behandlungsanlage neben Hausmüll auch gemischte Siedlungsabfälle aus dem Gewerbe annimmt und behandelt, können aufgrund der unterschiedlichen Zusammensetzung der beiden Abfallarten (Wertstoff-, Organik-, Aschegehalt) die dokumentierten Massenströme der Anlage (z.B. erzeugte Hochkalorik) nicht unmittelbar für die beiden genannten Abfälle gleichermaßen unterstellt werden. Auch können vorliegende Messdaten (Heizwerte, Kohlenstoffgehalte) zum Abfallinputgemisch oder zu Outputfraktionen wie z.B. Ersatzbrennstoffe (EBS) nicht direkt für die im Gemisch enthaltenen Abfallfraktionen verwendet werden, sondern müssen plausibel für die einzelnen Abfallarten getrennt ermittelt und dargestellt werden. Für das Beispiel eines Gemischs aus Hausmüll und Gewerbeabfall wird z.B. über deren Inputcharakteristik (Heizwert, C-Gehalt) abgeleitet, wie die aus diesen Abfällen erzeugten Ersatzbrennstoffe zu charakterisieren sind.

Die Anforderung, dass Abfallarten in ihrer Zusammensetzung eindeutig definiert sein müssen, kann zur Folge haben, dass einzelne Messwerte (z.B. Heizwert) an Anlagen nicht exakt mit den für einzelne Abfallfraktionen aus dem Gemisch abgeleiteten Kenndaten in Einklang gebracht werden können. Dies hat seine Ursache darin, dass z.B. in der Praxis die gleiche Abfallart aus unterschiedlichen Einzugsgebieten stammt und/oder die gemessenen Input- und Outputqualitäten zeitlichen Schwankungen unterliegen, wodurch resultierende Messwerte für die gleiche Abfallart unterschiedlich ausfallen können.

In der Konsequenz sind die Ergebnisse durch die Notwendigkeit, bestimmte Annahmen treffen zu müssen, mit gewissen Unsicherheiten behaftet. Wenn Vergleiche ein „knappes“ Ergebnis zeigen, kann nicht mit Bestimmtheit die Vorteilhaftigkeit eines Entsorgungsweges ausgewiesen werden. Hierzu besteht i.d.R. aber auch keine Notwendigkeit, da die annähernde Gleichwertigkeit von Verfahren ebenfalls als klare Ergebnisaussage zu werten ist.

Sowohl in der Bestandsaufnahme als auch in der Potenzialanalyse und bei den Optimierungsszenarien wird im Einzelnen das Vorgehen der Bilanzierung beschrieben und auf getroffene Annahmen und die damit verbundenen Unsicherheiten eingegangen. Grundsätzlich sind die Ergebnisse entsprechend dem gewählten Ansatz als Ergebnisse für die jeweilige Abfallart zu verstehen, d.h. sie zeigen nicht die Leistung einer Behandlungsanlage, sondern die Auswirkungen, die sich durch die Behandlung einer bestimmten einheitlich definierten Abfallart in dieser Behandlungsanlage ergeben. Das Vorgehen der Bilanzierung nach Abfallart ist erforderlich, um Lenkungsmaßnahmen für eine klimafreundliche Abfallentsorgung ermitteln zu können, da sich diese in erster Linie an den Behandlungsmöglichkeiten nach Abfallart bemessen.

Um die Auswirkungen auf den Treibhauseffekt aus der gegebenen Situation und den möglichen Optimierungen ermitteln zu können, werden **Bilanzierungen sowohl auf der Ebene aller untersuchten Abfallarten** (Bestandsaufnahme und Potenzialanalysen) **als**

auch vergleichende Bilanzierungen für mehrere Abfallarten durchgeführt (Optimierungsszenarien).

Für die Bestandsaufnahme werden aus den Ergebnissen für jede einzelne Abfallart auf Basis der absoluten Mengen zum einen die spezifischen Ergebnisse nach Abfallart ermittelt, die für Vergleiche im Rahmen der Potenzialanalyse herangezogen werden und des Weiteren werden die absoluten Ergebnisse nach Abfallart zur Gesamtbilanz für Berlin zusammengefasst.

Die Potenzialanalyse erfolgt für die einzelnen Abfallarten auf Basis einer Tonne Abfall. Durchgeführt werden diese Potenzialanalysen für diejenigen Abfälle, für die alternative Behandlungsverfahren in Frage kommen bzw. diejenigen Abfallarten, die im Hinblick auf das Klimaschutzpotenzial eine Relevanz aufweisen. So hat beispielsweise die Entsorgung von mineralischen Abfällen i.d.R. keinen nennenswerten Einfluss auf den Treibhauseffekt. Für diese Abfälle werden dennoch Optimierungsmöglichkeiten beschrieben und – soweit gegeben – entsprechende Maßnahmen dargestellt, die z.B. aus Gründen des Ressourcenschutzes zu empfehlen sind.

Komplexere Lenkungsmöglichkeiten wie die Steigerung der getrennten Erfassung von Wertstoffen oder Bioabfall werden in Optimierungsszenarien untersucht. Hier ist zu beachten, dass die Entnahme von Wertstoffen beispielsweise aus dem Hausmüll die Abfalleigenschaften des Hausmülls verändert (Heizwert, C-Gehalt). Folglich ändert sich in der Konsequenz das „Verhalten“ dieser Abfallart in den Behandlungsanlagen. Dieser Aspekt muss in vergleichenden Untersuchungen berücksichtigt werden. Ein entsprechendes Optimierungsszenario muss den gesamten Hausmüll bzw. die von Lenkungsmaßnahmen betroffenen Gesamtabfallmengen betrachten. Für den durch Wertstoffentnahme verbleibenden Restmüll sind die Abfalleigenschaften neu zu bestimmen und es muss eine Neuberechnung der Treibhausgaswirkungen für den Entsorgungsweg durchgeführt werden.

Die Ergebnisse der Potenzialanalyse und der Optimierungsszenarien bilden die Grundlage zur Ableitung des Maßnahmenkatalogs. In diesem werden die als wesentlich erkannten Maßnahmen zusammengeführt und unter Klimaschutzaspekten priorisiert.

Sowohl zur Bestandsaufnahme als auch teilweise zur Ableitung der Potenzialanalysen wurden relevante Akteure kontaktiert – wie Betreiber von Asphaltmischwerken, Behörden, die BSR, ALBA, ORS, gbav, Berliner Wohnungsbauunternehmen, Innotec Abfallmanagement, Vattenfall, GASAG, BWB, Betreiber von Speiseabfallvergärungsanlagen, der HTC-Verband und Betreiber von Anlagen nach dem HTC-Verfahren – die alle freundlicherweise Informationen zu Verfahren und Entsorgungsanlagen zur Verfügung gestellt haben. Eine genauere Übersicht auch zum weiteren Austausch mit den Akteuren und deren Einbeziehung in den Projektablauf findet sich in Kapitel 7.

1.3 Methode Ermittlung Klimaschutzpotenziale

1.3.1 Ökobilanz der Abfallwirtschaft – Systemvergleiche

Die Bilanzierung des Treibhauseffekts erfolgt nach der Ökobilanzmethode in der Abfallwirtschaft, die aus der Methode der Ökobilanzierung nach ISO 14040 und 14044 abgeleitet wurde (IFEU 1998). Danach sind im gegebenen Projektzusammenhang, in dem aus-

schließlich die Potenziale für den Klimaschutz ermittelt werden, folgende Spezifika relevant:

1. Abweichend von der Lebenswegbetrachtung „von der Wiege bis zur Bahre“ wird der Lebensweg der Dienstleistung Abfallentsorgung betrachtet, Bilanzbeginn ist der Abfallanfall. Das Vorleben des Abfalls ist für die Frage der Entsorgung nicht relevant – d.h. es verhält sich bei allen Entsorgungsoptionen üblicherweise gleich und kürzt sich aus der Betrachtung heraus, insofern konstante Gesamtabfallmengen betrachtet werden. Bei Fragestellung der Abfallvermeidung oder zeitlich veränderlichem Abfallaufkommen wäre unweigerlich die Erzeugung des Abfalls einzubeziehen, wenn, wie im vorliegenden Vorhaben, Systemvergleiche durchgeführt werden sollen (Ist-Situation, Optimierung 2020). Vor diesem Hintergrund wird in der vorliegenden Untersuchung die Vermeidung von Abfallarten nicht untersucht.
2. Alle derzeitigen und künftigen Be- und Entlastungen, die durch die Entsorgung einer Tonne Abfall ausgelöst werden, werden in der Bilanzierung der im jeweiligen Bezugsjahr betrachteten Abfallmenge zugeordnet. Dies ist insbesondere bei der Ablagerung von z.B. MBA-Resten relevant, bei der Methanemissionen aus der noch folgenden biologischen Umsetzung des abgelagerten organischen Abfallanteils erst über Jahrzehnte freigesetzt werden. Die Berechnungen umfassen in der Regel einen 100-Jahreshorizont.
3. Ebenfalls abweichend zur klassischen Produktökobilanz, in der ein Produkt ggf. über mehrere Recyclingzyklen bis zur vollständigen Entsorgung durch Verbrennung oder Deponierung betrachtet wird, erfolgt typischerweise die Betrachtung in der Abfallwirtschaft – neben einer analogen direkten thermischen Entsorgung oder Deponierung – nur bis zur Erzeugung eines Sekundärproduktes. Die Nutzengleichheit verschiedener Entsorgungssysteme wird durch Anrechnung des jeweils erzeugten Nutzens erreicht (Gutschrift). Damit wird für jedes System bzw. Szenario der gleiche Nutzen bilanziert: die „Entsorgung der gleichen Menge Abfall“.
4. Aufgrund der hohen Bedeutung für unsere Gesellschaft wurde der Fokus bewusst auf die relevanten Potenziale der Abfallwirtschaft zum Klimaschutz gelegt und nur die Wirkungskategorie „Treibhauseffekt“ untersucht. Ziel dieser Studie war es nicht, eine normkonforme Ökobilanz durchzuführen, nach der weitere relevante Umweltwirkungen zu untersuchen wären. Zur Berücksichtigung von weiteren Umweltaspekten (z.B. Ressourcenschutz, Energieeffizienz, Schadstoffemissionen) wird die vorliegende Stoff- und Treibhausgasbilanz der Berliner Abfallströme um eine Umweltbilanzierung im Jahr 2012/2013 ergänzt.

Mit der Gutschriftenmethode wird der aus der Abfallentsorgung resultierende Nutzen – wie erzeugte Sekundärprodukte oder Energie – den dadurch ersetzten Primärprodukten bzw. konventionell erzeugter Energie in so genannten Äquivalenzprozessen gegenübergestellt. Im Rahmen dieser Studie erfolgt dies sowohl für die Bilanzierung der Ist-Situation im Jahr 2010 als auch für die Optimierungen im Jahr 2020 gleichermaßen. Zudem wird in den Optimierungsszenarien die gleiche Abfallmenge betrachtet, die für die Ist-Situation ermittelt wurde. Die Potenzialanalysen für die einzelnen Abfallarten werden auf Basis einer Tonne Abfall durchgeführt. Die spezifische bzw. die jeweils gesamt betrachtete Abfallmenge entspricht der funktionellen Einheit der vergleichenden Betrachtungen.

1.3.2 Weitere methodische Aspekte und Festlegungen

Weitere methodische Aspekte und Festlegungen betreffen v.a. das Vorgehen für bestimmte Abfallarten und die Gutschriftenmethodik insbesondere für erzeugte Energie. Generell sind in Ökobilanzen der Abfallwirtschaft die angerechneten substituierten Primärprozesse (Gutschriften) von hohem Einfluss auf das Ergebnis. Um die Ergebnisse einordnen zu können, ist es wichtig, die getroffenen Festlegungen zu kennen:

Zur **Anrechnung von erzeugter Energie** kommen verschiedene Möglichkeiten in Frage. Grundsätzlich kann eine Anrechnung nach dem Marginalansatz oder nach der Durchschnittsbetrachtung erfolgen. Beim Marginalansatz wird üblicherweise davon ausgegangen, dass durch „zusätzlich“ erzeugte Energie ausschließlich fossile Energieträger ersetzt werden und keinesfalls erneuerbare Energie oder Atomstrom. Dies steht im Zusammenhang mit den Zielen zur Energieerzeugung (Ausbau erneuerbare Energieträger, Ausstiegsbeschluss Atomenergie). Bei der Durchschnittsbetrachtung wird für „zusätzlich“ erzeugte Energie dagegen davon ausgegangen, dass die aktuelle mittlere Erzeugung dieser Energie substituiert wird. Wird z.B. Strom aus Abfall erzeugt, wird bei der Durchschnittsbetrachtung die durchschnittliche konventionelle Stromerzeugung als substituierter Prozess gegenübergestellt. Der Unterschied zwischen den beiden Ansätzen liegt im Ergebnis für Treibhausgasbilanzen darin, dass im Marginalansatz wegen der ausschließlichen Substitution von fossilen Energieträgern höhere Gutschriften erzielt werden als bei der Durchschnittsbetrachtung. Entscheidend in beiden Ansätzen ist die Zusätzlichkeit der Energieerzeugung. Würde die Energie nicht erzeugt, müsste sie auf andere Weise – entweder wie gehabt im Durchschnitt oder unter Betrieb bestimmter Kraftwerke (Marginalansatz) – erzeugt werden. Da die thermische Abfallbehandlung prioritär den Zweck der schadlosen Entsorgung hat, kann die dabei erzeugte Energie als „zusätzliche“ Energie verstanden werden.

Grundsätzlich ist die Frage der Substitutionsleistung von zusätzlich erzeugter Energie eine wichtige Frage für die Energiewirtschaft. Für die Abfallwirtschaft entscheidend ist aber, dass für alle betrachteten Systeme – gegenwärtige wie zukünftige – die gleiche Systematik verwendet wird. Ansonsten besteht die Gefahr, dass abfallwirtschaftliche Aktivitäten von Veränderungen, die die Energiewirtschaft betreffen, überdeckt werden.

Für diese Studie wurde vereinbart, einheitlich die Durchschnittsbetrachtung als Methode zu verwenden. Die Durchschnittsbetrachtung hat den Vorteil, dass keine Asymmetrien zwischen der Bewertung von Energieverbrauch und erzeugter Energie zu befürchten sind, da für beide der gleiche Emissionsfaktor gilt¹. Der Marginalansatz hat zwar den Vorteil, dass die „Verdrängung“ von Primärenergie gemäß Zielsetzung (s.o.) realitätsnäher ist, umgekehrt aber den Nachteil, dass zum einen oft nicht eindeutig bestimmt werden kann, welcher oder welche fossilen Energieträger tatsächlich ersetzt werden, und sich insbesondere für Vergleiche mit Zukunftsszenarien die Frage stellt, ab wann der Marginalansatz nicht mehr gerechtfertigt ist (wenn immer weniger Strom aus fossilen Energieträgern erzeugt wird, wann endet die Wahrscheinlichkeit, dass dieser weiter durch „zusätzliche“ Energie ersetzt wird?).

¹ Beim Marginalansatz ist streng zu beachten, dass nur Nettoenergie angerechnet wird. Am Beispiel Strom heißt das, dass der Eigenstromverbrauch von stromerzeugenden Anlagen nicht gut geschrieben werden darf bzw. bei Fremdbezug von Strom vom erzeugten Bruttostrom abgezogen werden muss.

- Für diese Studie wird erzeugte Energie einheitlich nach der Durchschnittsbetrachtung bewertet.

Mit dieser Festlegung ist die nächste Frage, welcher Durchschnittsmix betrachtet wird. Üblicherweise wird für eine Durchschnittsbetrachtung die durchschnittliche Energieerzeugung in Deutschland herangezogen. Sind von der zu untersuchenden Fragestellung auch andere EU-Länder betroffen, wird typischerweise der EU-Mix verwendet. Umgekehrt ist es ebenso folgerichtig für das Land Berlin die regional vorherrschende Situation zu berücksichtigen. Das wesentliche Regionalnetz wird in Berlin von Vattenfall betrieben. Entsprechend wurde für diese Studie vereinbart, Stromverbrauch und Stromgutschriften innerhalb Berlins mit dem Vattenfallstrommix zu bewerten und außerhalb Berlins mit dem Strommix für Deutschland.

Analog wurde für zusätzlich erzeugte Wärme vereinbart, diese bei Erzeugung innerhalb Berlins mit der durchschnittlich in Berlin bereitgestellten Heizwärme in Haushalten zu bewerten und bei Erzeugung außerhalb Berlins mit der analog im Durchschnitt in Deutschland erzeugten Heizungswärme in Haushalten.

Andere Fragestellungen mit veränderten Bilanzgrenzen lassen auch andere Herangehensweisen zu. So könnte z.B. bei einer betrieblichen Sicht die Fragestellung sein: „wie muss Wärme erzeugt werden, wenn der Betrieb seiner Lieferverpflichtung nicht mehr nachkommen kann?“ In diesem Fall kann die Erzeugung einer bestimmten Wärme wie z.B. Fernwärme oder die Erzeugung aus einem bestimmten Kraftwerk als Referenz gesetzt werden. Für die in dieser Studie durchzuführende ganzheitliche Betrachtung der Abfallwirtschaft im Land Berlin ist die entscheidendere Frage aber wie oben geschildert die der Anrechnung der Zusätzlichkeit, mit der zugehörigen Fragestellung: „welche Wärme wird ersetzt, weil durch die Abfallverbrennung zusätzlich Wärme erzeugt wird?“

- Für diese Studie gilt innerhalb Berlins der Emissionsfaktor für Vattenfallstrom, der zu 744 g CO₂-Äq/kWh Strom ermittelt wurde und außerhalb Berlins der Emissionsfaktor für den Strommix Deutschland von 629 g CO₂-Äq/kWh Strom (IFEU-Datenbank).
- Für diese Studie gilt innerhalb Berlins der Emissionsfaktor für Heizwärme in Berliner Haushalten von 254 g CO₂-Äq/kWh Wärme und außerhalb Berlins der Emissionsfaktor für Heizwärme in bundesdeutschen Haushalten von 281 g CO₂-Äq/kWh Wärme (Unterschiede v.a. wegen höherem Fernwärmeanteil in Berlin und dadurch geringeren verursachten Belastungen).

Der genannte Emissionsfaktor für Vattenfallstrom in Berlin entspricht in etwa auch dem in (Prognos/Berliner Energieagentur 2011) ermittelten Emissionsfaktor für die KWK-Stromerzeugung im Jahr 2010. Der Emissionsfaktor für Heizwärme in Berliner Haushalten wurde aus Angaben zur Beheizungsstruktur in Berliner Wohnungen in (Prognos/Berliner Energieagentur 2011) abgeleitet.

Neben einer thermischen Behandlung in Müllverbrennungsanlagen oder EBS-Kraftwerken findet auch eine **Mitverbrennung in Zementwerken oder Kohlekraftwerken** statt. In Ökobilanzen der Abfallwirtschaft wird diese Mitverbrennung nicht auf Ebene der zuvor beschriebenen erzeugten Endenergie (Strom, Wärme) bewertet, sondern auf Ebene der heizwertäquivalent substituierten Menge an Regelbrennstoff, da faktisch folgendes geschieht: anstelle von Kohle wird Abfall verbrannt, Kohle wird im Umfang des Energiegehaltes, den der Abfall einbringt, ersetzt. Dadurch dass mit dieser Schnittstelle der Funkti-

onsäquivalenz direkt der Primärenergieträger Kohle und nicht Endenergie ersetzt wird, ergibt sich eine signifikant höhere THG-Gutschrift für die Mitverbrennung, da im Prinzip generell die Erzeugung von Kohlestrom substituiert wird.

Im Vergleich zu obigen Überlegungen könnte der Schluss naheliegen, dass für eine Gleichbehandlung generell der zusätzlich erzeugte Strom analog bewertet werden sollte und damit quasi der Marginalansatz „100% Kohlestrom“ gewählt werden sollte. Allerdings wäre dies eine Festlegung, die sich nicht an der Realität bemisst, da zusätzlich erzeugter Strom nach Marginalansatz üblicherweise auch Erdgasstrom ersetzt (was und zu welchen Anteilen kann selbst retrospektiv nur schwierig exakt beantwortet werden und bedarf in der Regel für die Ökobilanzierung einer Konvention). Auch bestehen für den Marginalansatz die oben geschilderten Nachteile, so dass eine solche Pauschalbewertung nicht zielführend ist. Umgekehrt besteht theoretisch die Möglichkeit, für die Mitverbrennung in Kohlekraftwerken den Abfalleinsatz ebenfalls auf Ebene der erzeugten Endenergie (Strom, Wärme) zu bewerten und die festgelegten Emissionsfaktoren für Strom und Wärme in Anrechnung zu bringen (anstatt Kohlestrom und Kohlefernwärme). Allerdings gelingt eine analoge Vorgehensweise nicht bei der Mitverbrennung von Abfall im Zementwerk. Außerdem würden dadurch die real erfolgende Substitution von Kohle und der dadurch geleistete Beitrag zur THG-Minderung unterschätzt.

➔ In dieser Studie wird – wie generell in Ökobilanzen der Abfallwirtschaft – die Mitverbrennung von Abfall in Zement- oder Kohlekraftwerken über die heizwertäquivalente Substitution der Kohle angerechnet.

In der Regel bedeutet dies, dass eine Mitverbrennung von Abfall in Zement- oder Kohlekraftwerken aus Klimaschutzsicht einer Verbrennung in einer MVA oder einem EBS-Kraftwerk vorzuziehen ist. Allerdings ist hier für die Praxis streng darauf zu achten, dass entsprechende Abfälle auch tatsächlich für eine solche Mitverbrennung geeignet sind. Im Rahmen von Studien wie der vorliegenden kann nur das Potenzial zur THG-Einsparung aufgezeigt werden. Des Weiteren bleibt bei der ausschließlichen Betrachtung der Klimaschutzaspekte außer Acht, dass bei einer Mitverbrennung in Zement- und Kraftwerken i.d.R. mit höheren Schadstoffemissionen (z.B. Quecksilber) zu rechnen ist (höhere Frachten bei gleichen Konzentrationswerten möglich und anderes Abgasreinigungssystem als bei Müllverbrennungsanlagen), wodurch sich gegenüber einer Verbrennung in einer modernen MVA nachteilige ökologische Auswirkungen ergeben können.

In der Bewertung wird einschränkend für die Mitverbrennung im Zementwerk ein Abschlag angelastet. Vorrangig gelangen Abfälle bzw. erzeugte Ersatzbrennstoffe aus Berlin zur Mitverbrennung in das Zementwerk Rüdersdorf. Dieses Zementwerk weist die Besonderheit auf, dass eingebrachte EBS vor der eigentlichen Verbrennung eine Vergasungsstufe durchlaufen. Vorteil dieses Verfahrens ist, dass auch z.B. niederkalorische Abfälle eingesetzt werden können, wodurch das zur Mitverbrennung nutzbare Abfallspektrum deutlich erweitert wird. Andererseits bedingt die weitere Konversionsstufe einen Wirkungsgradverlust gegenüber dem Einsatz des Regelbrennstoffs, der diese Stufe nicht durchläuft. Entsprechend ist die „Klinkerleistung“ für die Mitverbrennung von Abfall auf 95% gesetzt. Die Mitverbrennung im Zementwerk Rüdersdorf ist auch vielfach für die Potenzialanalyse unter dem Vorbehalt der entsprechend verfügbaren Kapazitäten angenommen. Stehen diese nicht zur Verfügung wird von einer Mitverbrennung in einem anderen Zementwerk

ausgegangen. Zur konservativen Abschätzung wurde der Abschlag von 5% in dieser Studie generell für die Mitverbrennung in Zementwerken gerechnet.

Im Allgemeinen ist davon auszugehen, dass durch die Mitverbrennung von Abfall eine heizwertäquivalente Substitution des Regelbrennstoffs erfolgt. Ein Abschlag bei der Mitverbrennung in Kohlekraftwerken begründet sich nicht. In Kohlekraftwerken werden Abfälle nur zu geringen Anteilen eingesetzt (i.d.R. < 5% bezogen auf den Energiegehalt). Wirkungsgradunterschiede sind durch die Mitverbrennung von Abfällen aufgrund des geringen Anteils, wenn überhaupt, nur rechnerisch nachweisbar. Entscheidend ist neben dem Anteil der Mitverbrennung die Energiedichte, die bei Ersatzbrennstoffen aus Abfall oftmals höher ist als bei Braunkohle. Entsprechend ergaben Berechnungen für ein Braunkohlekraftwerk korrelierend zum Heizwert sogar eine marginale Wirkungsgradverbesserung. Grundsätzlich wird davon ausgegangen, dass Wirkungsgradunterschiede erst bei deutlich höheren Anteilen in Erscheinung treten und je nach Heizwert Ab- oder Zuschläge in der Größenordnung von 0,5% bedingen.

Weitere Festlegungen betreffen die **Ausweisung einer möglichen Kohlenstoffsenke** (C-Senke). Eine Kohlenstoffsenke kann gegeben sein, wenn organische Abfälle langfristig – das heißt mindestens über den im Rahmen der Bewertung des Treibhauseffekts betrachteten Zeithorizont von 100 Jahren hinaus – aus dem Kohlenstoffkreislauf herausgenommen werden. In diesem Fall wird in dem organischen Abfall aus der Atmosphäre entnommenes CO₂ langfristig gespeichert und damit quasi einer Treibhausgaswirkung entzogen. Dies kann bei einer Deponierung erfolgen, bei einer Anwendung von Komposten in der Landwirtschaft oder bei einer langfristigen stofflichen Verwertung von Holz oder auch Papier.

Die Bewertung einer entsprechenden Speicherung ist allerdings mit erheblichen Unsicherheiten verbunden. Bislang ist es z.B. nicht gelungen, diese Möglichkeit im Fall des stofflichen Recyclings von Holz oder Papier annähernd belastbar einzuschätzen. Im Fall der Kompostanwendung in der Landwirtschaft wurde in einer aktuellen IFEU-Studie (UBA 2012) erstmals dargelegt, dass eine C-Senke nur gegeben sein kann, wenn Kompost zum Zweck der Humusanreicherung eingesetzt wird. In welchem Umfang dies in der Praxis in Deutschland vorkommt, kann nur geschätzt werden. Auch liegen zur Ableitung der potenziellen C-Senke aus der Kompostanwendung bislang keine Langzeituntersuchungen vor, die eine einigermaßen gesicherte Aussage über den langfristig speicherbaren Anteil an Humus-C im Kompost zulassen (einziger Langzeitversuch in Deutschland endete nach 12 Jahren mangels Finanzierung).

Die mögliche Speicherung durch eine Deponierung von organischen Stoffen unterliegt ebenfalls Unsicherheiten. Allerdings könnte hier argumentiert werden, dass nach den Leitlinien des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) die Ablagerung von organischen Abfällen hinsichtlich des Abbaus an gebundenem Kohlenstoff international anerkannt sind und entsprechend umgekehrt die nicht abgebaute Menge an organischem Kohlenstoff notwendigerweise gespeichert sein muss. Allerdings liegen Erfahrungswerte über den organischen Abbau in Deponien „erst“ über maximal 30 Jahre vor (bei organischen Resten aus der mechanisch-biologischen Behandlung, die als einzige seit 2005 in Deutschland noch abgelagert werden dürfen, sogar erst seit entsprechend wenigen Jahren) und damit gegenüber dem 100 Jahreshorizont immer noch über einen vergleichsweise „kurzen“ Zeitraum. Dennoch wäre es rechnerisch gerechtfertigt, die C-Senke anzu-

rechnen, da umgekehrt auch hinsichtlich der Methanemissionen aus der Deponierung den Vorgaben nach IPCC gefolgt wird. Allerdings schließt dies nicht aus, dass ein über die bisherigen Kenntnisse ggf. hinaus erfolgreicher Abbau der Organik stattfindet, diese jedoch in Form von klimaneutralem CO₂ freigesetzt wird.

Das Hauptargument gegen eine Anrechnung der C-Senke liegt aber bei Betrachtung verschiedener Abfallarten darin, dass nicht gleichermaßen alle potenziellen C-Senken bewertet werden können und dadurch in der Gesamtbilanz signifikante Asymmetrien bestehen können.

→ Aus diesem Grund wird in dieser Studie eine potenzielle C-Senke – soweit zahlenmäßig darstellbar – ausschließlich nachrichtlich ausgewiesen, d.h. in den Nettoergebnissen sind die ermittelten Werte nicht enthalten.

Eine weitere Besonderheit besteht bei Abfällen aus Holz wie Altpapier und Altholz darin, dass diese bei einem stofflichen Recycling die Abholzung von Primärholz vermeiden („**Holzschonung**“). Dieser Aspekt ist in der THG-Bilanz in den direkten Auswirkungen berücksichtigt (Gutschrift Bereitstellung von Primärholz). Nicht berücksichtigt ist allerdings üblicherweise, dass Wald, der unberührt bleibt, sich in seinem Wachstum ändern kann und gegenüber einem nachhaltig bewirtschafteten Wald vermehrt Kohlenstoff anreichern kann. Ebenfalls üblicherweise nicht berücksichtigt ist die Möglichkeit, dass das „geschonte Holz“ nicht im Wald verbleibt, sondern energetisch genutzt wird. Diese beiden Aspekte wurden in (Öko-Institut/IFEU 2010) erstmals betrachtet.

Dort wurde im Standardszenario davon ausgegangen, dass der Nutzungsdruck für Holz so hoch ist, dass durch stoffliches Recycling eingespartes Holz dennoch in einem Holz-HKW genutzt wird. Die dadurch erzielte THG-Entlastung wurde der stofflichen Verwertung zugeordnet. Im Standardszenario wurde eine Nutzung am Anfallort des Holzes in Schweden angesetzt. Als Sensitivitäten wurden eine Schonung des Holzes (Verbleib im Wald) und eine energetische Nutzung des geschonten Holzes in Deutschland untersucht. Für die Holzschonung wurden Daten nach einer US-Studie verwendet (IFC Consulting 2006), die allerdings mit Unsicherheiten verbunden sind. Je nach Fallannahme ergaben sich deutliche Unterschiede im Ergebnis. Generell gilt, dass es sich bei dem Ansatz in (Öko-Institut/IFEU 2010) um Annahmen handelt. Das veränderte Wachstum ist bislang nicht wissenschaftlich über Messwerte gesichert und die energetische Nutzung kann nicht belegt werden.

→ Aufgrund der geschilderten Unwägbarkeiten wird für die Bewertung der Abfallwirtschaft im Land Berlin keine Annahme zu einer Holzschonung angewendet.

Eine weitere im Rahmen dieser Studie getroffene Festlegung betrifft die **Bewertung von mineralischen Abfällen** in der Treibhausgasbilanz. Mit Ausnahme von Asphalt werden die Auswirkungen der Abfallbehandlung auf den Treibhauseffekt mit Null bewertet. Eine genauere Erläuterung hierzu findet sich in den entsprechenden Kapiteln zu mineralischen Abfällen.

Weitere Festlegungen, die bestimmte Abfallarten betreffen, sind ebenfalls in den jeweiligen Kapiteln erläutert.

1.3.3 Wirkungsabschätzung Treibhauseffekt

Zur Auswertung des Treibhauseffektes werden die einzelnen Treibhausgase der Sachbilanz entsprechend ihrer CO₂-äquivalenten Wirkung zusammengefasst. Die wichtigsten Treibhausgase und ihre aktuellen CO₂-Äquivalenzwerte nach IPCC (2007) für den 100-Jahreshorizont (GWP100) sind in Tabelle 1-1 aufgeführt. Darin unterschieden sind Methanemissionen nach ihrer Entstehung. Regeneratives Methan (aus der Umwandlung organischer Substanz) weist gegenüber fossilem Methan (aus der Umwandlung fossiler Energieträger) einen etwas geringeren Äquivalenzfaktor auf, da das im Laufe der Zeit aus dem Methan durch luftchemische Umsetzung (Oxidation) entstehende regenerative Kohlendioxid als klimaneutral bewertet wird. Eine genauere Erläuterung zur Wirkungskategorie Treibhauseffekt findet sich in Anhang A.

Tabelle 1-1 Treibhauspotenzial der wichtigsten Treibhausgase

Treibhausgas	CO ₂ -Äquivalente (GWP ₁₀₀) in kg CO ₂ -Äq/kg	
Kohlendioxid (CO ₂), fossil	1	1
Methan (CH ₄), fossil	27,75	21
Methan (CH ₄), regenerativ	25	18,25
Distickstoffmonoxid (N ₂ O)	298	310
	[IPCC 2007, WG I, Chapter 2, Table 2.14]	[IPCC 1995]

2 Bestandsaufnahme – Stoffstrom- und Treibhausgasbilanz 2010

Die Bestandsaufnahme der Stoffströme der Berliner Abfallwirtschaft im Jahr 2010 ist ausführlich in dem Zwischenbericht 2011 dokumentiert. Darin waren die Abfallarten unterteilt nach nicht-biogenen und biogenen Abfällen. Diese Unterteilung beinhaltete auch eine Zuordnung der Organikanteile in gemischten Abfällen, wie Organik im Hausmüll, zu den biogenen Abfällen, während der restliche Anteil den nicht-biogenen Abfällen zugeordnet war. Für die Treibhausgasbilanzierung nach Abfallarten ist es allerdings notwendig, die Abfallarten geschlossen zu betrachten. Das heißt, ausgehend vom Primärabfall – wie z.B. Hausmüll oder Sperrmüll – sind alle weiteren Stoffströme aus dessen Behandlung in ihren Treibhausgaswirkungen zu bilanzieren, und das Ergebnis ist dem Primärabfall zuzuordnen. Eine andere Systematik – dass beispielsweise Sperrmüll theoretisch in biogene und nicht-biogene Anteile aufgeteilt wird und die Belastungen der Sortierung nach einer festzulegenden Methode auf die beiden Teilströme alloziert wird – ist denkbar, aber für die gegebene Fragestellung nicht hilfreich, da Annahmen zu treffen wären, welche die Realität nur bedingt beschreiben.

Im Zwischenbericht der Bestandsaufnahme der Stoffströme wurde im Weiteren nach den wesentlichen Herkünften der Abfälle unterschieden, um so eine umfassende Dokumentation zu erreichen. Betrachtet wurden insbesondere:

- Abfälle aus Haushalten und Gewerbe, die den Berliner Stadtreinigungsbetrieben (BSR) überlassen wurden und die über die Abfallbilanzen der SenStadtUm (2011) und der BSR (2011) dokumentiert sind -> überlassungspflichtige Abfälle,
- Abfälle, die getrennt als Wertstoffe erfasst werden wie PPK, Glas, LVP und die über die Mengenstromnachweise gemäß Verpackungsverordnung dokumentiert sind,
- gemischte Siedlungsabfälle aus Gewerbe und gemischte Bau- und Abbruchabfälle, die über Vorbehandlungsanlagen entsorgt wurden -> nicht überlassungspflichtige Abfälle,
- Mineralische Bauabfälle, die über Vorbehandlungsanlagen oder direkt in Baumaßnahmen oder Verfüllungen bzw. Ablagerungen entsorgt wurden -> nicht überlassungspflichtige Abfälle,
- Organische Abfälle (Speisereste, Grasschnitt, Laub, etc.) aus Gewerbe inkl. kommunaler Einrichtungen, die nicht den BSR überlassen wurden -> nicht überlassungspflichtige Abfälle.

Insgesamt wurden aus dieser Bestandsaufnahme 36 relevante Abfallarten identifiziert, für die eine Treibhausgasbilanz erstellt wurde. **Auswahlkriterien für die 36 Abfallarten waren deren Mengenrelevanz und deren potenzieller Beitrag zum Klimaschutz.** Generell ausgenommen aus der Betrachtung waren gefährliche Abfälle.

Entsprechend sind die ausgewählten Abfälle in Tabelle 2-1 nach ihrer Mengenrelevanz geordnet – beginnend mit den mineralischen Abfällen – und im Weiteren nach ihrer Relevanz hinsichtlich der potenziellen Treibhausgaswirkung – Haus- und Geschäftsmüll, Wertstoffe, etc. Die den BSR überlassungspflichtigen Abfallarten sind in der Tabelle farblich hervorgehoben.

Tabelle 2-1 Betrachtete Abfallfraktionen nach Sammel- bzw. Erfassungssystem

Nr.	Betrachtete Abfallfraktionen	in Kapitel
1	Boden und Steine	2.1
2	Bauschutt	2.2
3	Beton	2.3
4	Asphalt	2.4
5	Baggergut	2.5
6	Hausmüll inkl. Geschäftsmüll	2.6
	Gewerbeabfälle und gemischte Bau- und Abbruchabfälle	2.7
	- Überlassungspflichtige Gewerbeabfälle	2.7.1
7	- Hausmüllähnliche Gewerbeabfälle	
8	- Sonstige Abfallarten aus Gewerbe und Industrie	
9	- Nicht überlassungspflichtige Gewerbeabfälle und gemischte Bau- und Abbruchabfälle	2.7.2
10	Klärschlamm	2.8
11	Sperrmüll	2.9
12	Straßenkehrsicht	2.10
	Trockene Wertstoffe	2.11
13	- Papier, Pappe, Karton (PPK)	2.11.1
14	- Altglas	2.11.2
15	- Leichtverpackungen (LVP) im Sammelsystem Gelbe Tonne	2.11.3
16	- Trockene Wertstoffe im Sammelsystem Gelbe Tonne Plus (GTP)	2.11.4
17	- Trockene Wertstoffe im Sammelsystem Orange Box	2.11.5
18	Alttextilien	2.12
19	Altteppiche	2.13
20	Altreifen	2.14
21	E-Schrott	2.15
22	Altmetalle	2.16
	Altholz	2.17
23	- Getrennt gesammeltes Altholz	2.17.1
24	- Baum- und Strauchschnitt	2.17.2
25	- Weihnachtsbäume	2.17.3
	Organikabfälle aus Haushalten	2.18
26	- Bioabfall (BIOGUT)	2.18.2
27	- Eigenkompostierung Bio- und Grünabfälle	2.18.3
27	- Organikabfälle im Sammelsystem Laubsäcke	2.18.4
28	Laub / Straßenlaub	2.19
	Grasschnitt	2.20
29	- Straßenbegleitgrün	2.20.1
30	- Mähgut	2.20.2

Nr.	Fortsetzung betrachtete Abfallfraktionen	in Kapitel
	Organikabfälle aus Gewerbe	2.21
31	- Speisereste	2.21.1
32	- überlagerte Lebensmittel	2.21.2
33	- Fettabscheiderinhalte	2.21.3
34	Altfette	2.22
35	Pferdemist	2.23
36	Rechengut	2.24

Tabelle 2-1 enthält auch Abfälle, die in vergleichsweise geringem Umfang anfielen und nur einen geringen Einfluss auf die Treibhausgasbilanz für Berlin haben, wie z.B. die trockenen Wertstoffe, die im Pilotmaßstab über die Sammelsysteme Gelbe Tonne Plus (GTP) und Orange Box im Jahr 2010 eingesammelt wurden. Diese Mengen wurden dennoch der Vollständigkeit halber in die Betrachtung mit aufgenommen, da derartige Sammelsysteme die Basis für die Einführung der Wertstofftonne darstellen.

Für die 36 Abfallarten wurden soweit möglich Daten zu ihrem Verbleib und zu den Aufwendungen (z.B. Energiebedarf) und Nutzen (z.B. Substitution fossiler Energieträger), die aus ihrer Entsorgung entstehen, erhoben. Dies ist nicht für jede Abfallart gleichermaßen möglich. Insbesondere für nicht überlassungspflichtige Abfälle, die einer ordnungsgemäßen Verwertung zugeführt werden, besteht aufgrund der Deregulierung der abfallrechtlichen Vorgaben keine Berichtspflicht über den Verbleib gegenüber der zuständigen Behörde. Zwar besteht z.B. für nicht überlassungspflichtige gemischte Siedlungsabfälle die Möglichkeit, deren Erstbehandlung in Berliner Vorbehandlungsanlagen über die von der Genehmigungsbehörde angeordneten Jahresberichte nachzuvollziehen, allerdings bezieht sich der ausgewiesene Outputstoffstrom auf alle angenommenen Abfallarten. Basierend auf diesen Daten war eine abfallspezifische Zuordnung zu einzelnen Inputstoffströmen nicht möglich. Daher wurde eine Sonderabfrage bei den Vorbehandlungsanlagen für die gemischten Siedlungsabfälle sowie für die gemischten Bau- und Abbruchabfälle initiiert (Kap. 2.7.2).

Zudem ist auch bei sortenrein anfallenden Abfallarten (Primärabfällen) der Verbleib nur eingeschränkt nachvollziehbar und nur mit einem unverhältnismäßig hohen Aufwand ermittelbar. Weder Sammler, Transporteure noch Entsorger sind gegenüber der Behörde verpflichtet, jährliche Abfallbilanzen vorzulegen (s.o. nicht überlassungspflichtige Abfälle). Das gilt sowohl für die Mengenströme als auch für die mit der Entsorgung verbundenen Aufwendungen (z.B. Energieverbrauch, Betriebsmitteleinsatz).

Insofern wurde bei Stoffströmen, bei denen aufgrund des hohen Aufwands und geringen Rücklaufs keine Datenermittlung möglich war, auf vorhandenes Know-how der beiden Institute IFEU Heidelberg und ICU Berlin zurückgegriffen. Im Einzelnen ist die Vorgehensweise zur Bestandsaufnahme und zur THG-Bilanzierung für jede Abfallart in den nachfolgenden Kapiteln beschrieben.

2.1 Boden und Steine

Die folgenden Ausführungen zur Bestandsaufnahme der Mengenströme der Abfallfraktion „Boden und Steine“ gelten weitgehend auch für die anderen untersuchten mineralischen

Abfälle. Die mineralischen Abfallarten haben gemeinsam, dass ihre Entsorgung i.d.R. nur mit geringen Auswirkungen auf den Klimaschutz verbunden ist, da die Abfälle selbst als weitgehend inerte Materialien kein Emissionspotenzial innehaben (fossiler Kohlenstoffgehalt quasi Null) und da üblicherweise durch die Verwertung dieser Abfälle Primärrohstoffe wie Sand und Kies, ersetzt werden, die ebenfalls inert sind und keine signifikante Klimarelevanz haben. Weitere Treibhausgasbelastungen, die aus der Aufbereitung oder aus Transporten der Primärminerale bzw. der mineralischen Abfälle entstehen, gleichen sich in etwa aus. Dies gilt abgesehen von Boden und Steinen insbesondere auch für Bauschutt (Kap. 2.2), Beton (Kap. 2.3) und Baggergut (Kap. 2.5). Diese Abfallarten sind in der Treibhausgasbilanz mit „Null“ bewertet. Die Abfälle werden dennoch im Rahmen dieser Studie aufgrund ihrer Mengenrelevanz betrachtet. Optimierungen und Umlenkungsmaßnahmen sind vor dem Hintergrund des Ressourcenschutzes anzustreben.

Die Abfallfraktion **Boden und Steine** umfasst nicht kontaminierten Bodenaushub. Für die Bestandsaufnahme der gesamt anfallenden Menge wurden zunächst die jährlichen Abfallberichte der derzeit 12 Berliner Brech- und Klassieranlagen sowie der fünf Klassieranlagen ausgewertet. Eine genaue Beschreibung dieser Anlagen sowie ihrer Kapazitäten wurde im Zwischenbericht dokumentiert. Insgesamt beläuft sich die gesamte Menge an Boden und Steinen, die als Input in Berliner Vorbehandlungsanlagen im Jahr 2010 angeliefert wurden, auf 601.955 Mg.

Hinzu kommen Mengen, die in der Regel auf Deponien verwertet oder beseitigt wurden. Um diese zu ermitteln, wurden im Weiteren Informationen zu Anlieferungen an den ehemaligen und in Betrieb befindlichen Deponien im Großraum Berlin (BSR, MEAB, Heim) sowie an die Altablagerung Großziethen ausgewertet. Diese dort entsorgten Mengen beliefen sich im Jahr 2010 auf insgesamt 542.813 Mg.

Des Weiteren wurden beim Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe (LBGR) Brandenburg von SenStadtUm die Mengen angefragt, die im Jahr 2010 aus dem Einbau von tagebaufremdem Material resultierten. Die übermittelten Angaben wurden nach Abfallart (Beton, Bauschutt, etc.), nach Ablagerungszuordnungsklasse (Z0, Z0*, Z1.1, Z1.2) und dem jeweils angegebenen Verbleib (Landkreis) ausgewertet. Der aus Berlin stammende Anteil an der ermittelten Gesamtmenge wird mit 27% angenommen. Damit ergibt sich für das Jahr 2010 eine im Tagebau verwertete Menge von Boden und Steinen von 260.329 Mg.

Als weitere mögliche Informationsquelle wurde auch eine offizielle Anfrage beim Amt für Statistik Berlin-Brandenburg zu Daten über Sortier-, Brecher-, Bodenklassieranlagen und Asphaltmischanlagen gestellt. Die übermittelten Berichte und im Weiteren auch Daten lagen jedoch zum einen nur in aggregierter Form vor (Abfallschlüsselgruppen, die aus Gründen des Datenschutzes nicht weiter aufgeschlüsselt weitergegeben werden dürfen), und zum anderen waren die darin dokumentierten Mengen nicht belastbar. Insofern wurde auf eine Verwendung dieser Daten verzichtet.

Weitere Informationsquellen für dokumentierte Daten stehen nicht zur Verfügung.

Aus Berechnungen über abfallspezifische Kennziffern² wird für das Jahr 2010 ein Gesamtaufkommen an Boden und Steinen von ca. 2.160.000 Mg ermittelt. Für die verbleibenden rd. 750.000 Mg wird angenommen, dass diese im Wesentlichen aus folgenden

² Abfallaufkommen im Land Berlin – Öko-Institut 12/1998

zwei Gründen nicht ermittelt werden konnten: Zum einen wird Boden in nennenswertem Umfang direkt ohne vorherige Behandlung in Baustellen einschließlich Straßenbau sowie bei Geländeprofilierungen verwertet und zum anderen kann auch nicht ermittelt werden, welche Mineralik-Mengen über die erfassten hinaus in anderen Brandenburger Anlagen (z.B. Brech- und Klassieranlagen, nach Baurecht genehmigte Verfüllstandorte) oder auch in Erdenwerken entsorgt werden.

Kurzsteckbrief Boden und Steine		Quelle
Aufkommen:	2.160.000 Mg	Auswertung Abfallberichte Vorbehandlungsanlagen, Deponien, Altablagerung Großziethen sowie Auskunft LBGR Brandenburg und Einschätzung über Anfallmengen aus baulichen Maßnahmen
Output:	2.010.588 Mg	
Verbleib:	58% Baumaßnahmen 42% Deponie, Tagebau 0,4% zur weiteren Sortierung	

Die Menge an Boden und Steinen, die über die Brech- und Klassieranlagen behandelt wurde, ist zu einem Anteil nach der Behandlung im Output anderen Abfallfraktionen zugeordnet. Bei der Abfallart Boden und Steine kann eine Umschlüsselung zu „sonstigen Abfällen“ oder zu „mineralischen Sortierresten“ im Output nach der mechanischen Behandlung erfolgen. Daneben sind Differenzen zwischen In- und Output auch durch Lagerbestände bedingt. Unter Berücksichtigung dieses Sachverhalts ergibt sich ein **Gesamtoutput an Boden und Steinen im Jahr 2010 von 2.010.588 Mg**.

Von dieser Menge wurden im Jahr 2010 über die Hälfte direkt in Baumaßnahmen verwertet. Die verbleibende Menge wurde zu rd. 42% zu Deponien und zum Einbau im Tagebau verbracht. Ein sehr geringer Anteil von 0,4% ging zu weiteren Behandlungsanlagen. Die Aufteilung des Verbleibs zu Deponien und zum Tagebau lag im Jahr 2010 bei 70% zu 30%. Dabei waren die Anlieferungen zu den verschiedenen Deponien bis auf eine sehr kleine beseitigte Menge von 137 Mg fast ausschließlich Anlieferungen zur Verwertung. Im Tagebau eingesetzt wurden Boden und Steine insgesamt in 14 Landkreisen im Land Brandenburg. Dabei wurden die Abfälle aus Berlin im gewichteten Mittel über rd. 70 km transportiert.

Optimierungen für Boden und Steine wären – wie bereits erwähnt – ohne relevanten Einfluss auf die THG-Bilanz. Allerdings können Umlenkungsmaßnahmen aus Gründen des Ressourcenschutzes von Bedeutung sein. Dieser Aspekt wird im Rahmen der anstehenden Umweltbilanzierung im Jahr 2012/2013 für das Land Berlin untersucht.

2.2 Bauschutt

Wie für Boden und Steine gilt auch für Bauschutt, dass die Entsorgung dieser mineralischen Abfallart nur geringe Auswirkungen auf den Klimaschutz aufweist. Auch für Bauschutt wurde deshalb die THG-Bilanz mit Null bewertet.

Die Abfallfraktion **Bauschutt** umfasst mineralische Stoffe mit einem Störstoffanteil < 5 Vol%. Zusammengefasst sind unter „Bauschutt“ im Allgemeinen die Einzelfraktionen Beton, Ziegel, Gemische aus Beton, Ziegeln, Fliesen und Keramik sowie Baustoffe auf Gipsbasis. Beton wird in dieser Studie gesondert ausgewertet, um die Möglichkeit der Herstellung von RC-Beton als Optimierungsmaßnahme betrachten zu können. Baustoffe auf

Gipsbasis werden im Rahmen dieses Kapitels hervorgehoben, um deren mögliches Potenzial für eine stoffliche Verwertung darzustellen.

Für die Bestandsaufnahme wurden die gleichen Quellen ausgewertet wie zuvor für Boden und Steine beschrieben. Nach Herkunft ergeben sich für Bauschutt (ohne Beton) folgende Werte für das Jahr 2010:

- *Input in Brech- und Klassieranlagen: 344.053 Mg*
- *Direktanlieferungen und -verwertungen auf Deponien und der Altablagerung Großziethen: 451.382 Mg, davon 13.265 Mg zur Beseitigung*
- *im Tagebau eingesetzte Menge: 56.212 Mg*

Für Bauschutt liegt die Outputmenge aus der Behandlung in den Brech- und Klassieranlagen wie bei Boden und Steinen etwas niedriger als die Inputmenge. Dies kann durch eine Umschlüsselung zur Abfallfraktion Beton, zu „sonstigen Abfällen“ oder zu „mineralischen Sortierresten“ oder durch Lagerbestände bedingt sein.

Nach der Behandlung in den Brech- und Klassieranlagen ergibt sich ein **Gesamtoutput an Bauschutt im Jahr 2010 von 782.115 Mg**.

Von dieser Menge wurde im Jahr 2010 etwa ein Drittel direkt im Straßenbau eingesetzt. Die verbleibende Menge wurde auf Deponien und in Tagebau-Betrieben entsorgt. Bei letzterem wurde Bauschutt insgesamt zu 9 Landkreisen im Land Brandenburg verbracht, wobei die Abfälle im gewichteten Mittel über rd. 57 km transportiert wurden.

Kurzsteckbrief Bauschutt (ohne Beton)		Quelle
Aufkommen:	851.647 Mg	Auswertung Abfallberichte Vorbehandlungsanlagen, Deponien, Altablagerung Großziethen sowie Auskunft LBGR Brandenburg
Output:	782.115 Mg	
Verbleib:	34% Straßenbau 59% Deponie 7% Tagebau	

In den Direktanlieferungen auf Deponien sind auch Gipsabfälle als Monofraktion oder als Bestandteil von Gemischen enthalten. Neben einer Verwertung dieser Berliner Gipsabfälle bei der Profilierung der Altablagerung Großziethen (11.700 Mg) wurden auch rd. 2.000 Mg Gipsabfälle zur Beseitigung auf Deponien ausgewiesen. Weitere Gipsabfälle sind i.d.R. auch in der aussortierten Mineralikfraktion (AVV 191209) enthalten, über den Anteil liegen keine belastbaren Daten vor. Mineralikabfälle wurden im Jahr 2010 überwiegend auf Deponien zur Profilierung und bei der Sanierung der Altablagerung Großziethen eingesetzt. Des Weiteren ist davon auszugehen, dass Gipsabfälle auch in aussortierten Bauschuttgemischen enthalten sind. Auch hier können keine Angaben über den Gipsanteil gemacht werden.

Optimierungen für die Abfallfraktion Bauschutt könnten in einer verstärkten Verwendung in Straßenbaumaßnahmen liegen. Für eine entsprechende Umlenkung besteht ein vergleichsweise hohes Potenzial. Wie für Boden und Steine wären entsprechende Maßnahmen aber ohne relevanten Einfluss auf die THG-Bilanz. Dennoch sollten solche Maßnahmen aus Gründen des Ressourcenschutzes geprüft werden.

Sofern eine verstärkte Nachfrage nach RC-Beton im Hochbau vorhanden wäre, könnte der bisherige Betoneinsatz im Straßenbau weitgehend durch Bauschutt ersetzt werden. Die Betonfraktion wird derzeit in großen Mengen im Straßenbau eingesetzt (s. folgendes Kapitel).

Für Abfälle auf Gipsbasis besteht grundsätzlich die Möglichkeit einer stofflichen Verwertung, insofern diese Abfälle sortenrein getrennt gesammelt werden. Für eine stoffliche Verwertung müssen sie frei von Anhaftungen und Störstoffen sein. Durch ein entsprechendes Recycling könnte auch eine THG-Minderung erreicht werden. Dieser Aspekt wird in der Potenzialanalyse betrachtet.

2.3 Beton

Wie für Boden und Steine und Bauschutt gilt auch für Beton, dass die Entsorgung dieser mineralischen Abfallart nur geringe Auswirkungen auf den Klimaschutz aufweist. Dies gilt auch bei der stofflichen Verwertung von Betonabfällen zu RC-Beton. Nach einer Studie des (IFEU 2011) konnte ermittelt werden, dass die mit der Herstellung von primärer und sekundärer Gesteinskörnung verbundenen Umweltauswirkungen in etwa vergleichbar sind. Insofern wird auch Beton in dieser Studie in der THG-Bilanz mit Null bewertet.

Die Abfallfraktion **Beton** zählt unter den Bauschuttabfällen zu der wertvollsten Fraktion. Sie wird in dieser Studie separat ausgewiesen, um das Potenzial zur Herstellung von RC-Beton als Optimierungsmaßnahme hervorzuheben.

Für die Bestandsaufnahme wurden die gleichen Quellen ausgewertet wie zuvor für Boden und Steine und Bauschutt beschrieben. Nach Herkunft ergeben sich für Beton folgende Werte für das Jahr 2010:

- *Input in Brech- und Klassieranlagen: 778.651 Mg*
- *Direktanlieferungen und -verwertungen auf Deponien und der Altablagerung Großziethen: 4.536 Mg, davon 63 Mg zur Beseitigung*
- *im Tagebau eingesetzte Menge: 8.252 Mg*

Für Beton liegt die Outputmenge aus der Behandlung in den Brech- und Klassieranlagen deutlich höher als die Inputmenge. Wie zuvor beschrieben kann dies durch eine Sortierung aus anderen Abfallfraktionen wie Boden und Steine und Bauschutt bedingt sein oder durch Lagerbestände. Nach der Behandlung in den Brech- und Klassieranlagen ergibt sich ein **Gesamtoutput an Beton im Jahr 2010 von 1.135.282 Mg**.

Diese Menge wurde im Jahr 2010 überwiegend im Straßenbau eingesetzt. Nur ein kleiner Anteil ging auf Deponien und in den Tagebau. Bei letzterem wurde Beton nur zu einem Landkreis im Land Brandenburg verbracht (Potsdam-Mittelmark, Entfernung von Berlin ca. 50 km).

Kurzsteckbrief Beton		Quelle
Aufkommen:	791.439 Mg	Auswertung Abfallberichte Vorbehandlungsanlagen, Deponien, Altablagerung Großziethen sowie Auskunft LBGR Brandenburg
Output:	1.135.282 Mg	
Verbleib:	99% Straßenbau 1% Deponie, Tagebau	

Optimierungen für die Abfallfraktion Beton liegen in der sortenreinen Erfassung der Betonabfälle mit anschließender Aufbereitung zum Einsatz als Recyclingbeton (RC-Beton) im Hochbau. Durch diese Maßnahme würde nicht nur die Natursteingewinnung geschont werden, sondern es würden auch Absatzmöglichkeiten im Straßenbau für andere mineralische Abfälle wie Bauschutt frei werden, die weniger für eine Aufbereitung und Einsatz im Hochbau geeignet sind.

Die Aufbereitung von Betonabfällen zu RC-Beton und deren Einsatz wurde in einigen Pilotprojekten in Deutschland untersucht (IFEU 2011). Dieser ist in der Schweiz bereits umfassend etabliert. Wie eingangs beschrieben, ist die Herstellung von primärer und sekundärer Gesteinskörnung in ihren Treibhausgasauswirkungen in etwa vergleichbar. Für das Recycling von Beton sind allerdings bestimmte Voraussetzungen hinsichtlich der Eignung des Materials zu beachten und zudem muss die Rezeptur bestimmte Anforderungen erfüllen, damit die Vergleichbarkeit in den Umweltauswirkungen Bestand hat (Kap. 3.3).

2.4 Asphalt

Im Gegensatz zu den anderen untersuchten mineralischen Abfallarten ist die Abfallfraktion Asphalt (Bitumengemische) nicht überwiegend inert, sondern besteht aus mineralischen Stoffen, die hydraulisch mit Bitumen gebunden oder ungebunden sind. Bitumen wird aus Rohöl erzeugt. Entsprechend ist die THG-Bilanz für Asphalt nicht mit Null zu bewerten, da durch die Aufbereitung und Verwertung von RC-Asphalt Primärbitumen ersetzt werden kann.

Für die Bestandsaufnahme der Abfallfraktion **Asphalt** wurden neben den Quellen, die auch für Boden und Steine, Bauschutt und Beton ausgewertet wurden, auch die vier in Berlin betriebenen Asphaltmischwerke zu den dort eingesetzten Mengen aus dem Land Berlin befragt. Bei Asphaltmischwerken handelt es sich nicht um Abfallbehandlungsanlagen. Die übermittelten Auskünfte, auch zu weiteren Fragen, wurden auch im Rahmen von mehreren Fachgesprächen vertieft.

Aus der Auswertung der Jahresberichte der Vorbehandlungsanlagen und Deponien und den Rückmeldungen des LBGR Brandenburg und der Asphaltmischwerke ergibt sich für Asphalt aus dem Land Berlin folgendes Aufkommen für das Jahr 2010:

- *Input in Asphaltmischwerke 42.587 Mg*
- *Input in Brech- und Klassieranlagen: 69.614 Mg*
- *Direktanlieferungen und -verwertungen auf Deponien und der Altablagerung Großziethen: 1.079 Mg, davon 855 Mg zur Beseitigung*
- *im Tagebau eingesetzte Menge: 68.333 Mg*

Die Behandlung von Asphalt in den Berliner Brech- und Klassieranlagen führt zu einer fast vollständigen Umschlüsselung dieser Abfallart in andere Abfallfraktionen im Output. Die Abfallfraktion Asphalt (Bitumengemische) ist im Output nur noch in Höhe von 69 Mg ausgewiesen. Wie schon bei den anderen mineralischen Abfällen beschrieben, kann dies durch eine Umschlüsselung bzw. Sortierung zu anderen Abfallfraktionen wie zu „sonstigen Abfällen“ oder zu „mineralischen Sortierresten“ bedingt sein oder durch Lagerbestände.

Unter Berücksichtigung des Outputs von Brech- und Klassieranlagen ergibt sich eine Gesamtmenge an **Asphalt im Jahr 2010 von 112.088 Mg**.

Die Menge von 42.587 Mg, die zu Asphaltmischwerken ging, nimmt an der gesamten Outputmenge einen Anteil von 38% ein. Die restliche Menge wurde im Jahr 2010 v.a. im Tagebau eingesetzt und nur zu einem kleinen Anteil auf Deponien entsorgt. Für den Einsatz im Tagebau wurde Asphalt zu zwei Landkreisen im Land Brandenburg verbracht, die beide grob 60 km von Berlin entfernt liegen.

Kurzsteckbrief Asphalt		Quelle
Aufkommen:	181.613 Mg	Auswertung Abfallberichte Vorbehandlungsanlagen, Deponien, Altablagerung Großziethen; Auskunft LBGR Brandenburg und Auskunft Asphaltmischwerke
Output:	112.088 Mg	
Verbleib:	38% Asphaltmischwerke 61% Tagebau 1% Deponien	
Emissionsfaktor	Einsatz Frischbitumen 13 kg CO ₂ /Mg Asphalt	„Expert“, Magazin der Amman Gruppe, Okt 2009

Optimierungen für die Abfallfraktion Asphalt liegen in der sortenreinen Erfassung der Asphaltabfälle mit anschließender Aufbereitung in Asphaltmischwerken zum Einsatz im Straßenbau. Durch diese Maßnahme würde nicht nur die Natursteingewinnung geschont werden, sondern auch die Primärproduktion von Bitumen. Nach Informationen der vier Asphaltmischwerke liegt der Anteil an Frischbitumen in Asphaltprodukten etwa bei 4%. Dieser Anteil kann durch den Einsatz von RC-Asphalt massenäquivalent ersetzt werden. Nach Angaben der Amman Gruppe – basierend auf Studien – verursacht die Produktion von neuem Bitumen ungefähr 13 kg CO₂ pro Tonne neuem Asphalt. Dieser Wert wird für die Bilanzierung verwendet. Die anteilige Entsorgung von Asphalt auf Deponien und im Tagebau sowie die Substitution von Natursteinen beim Recycling werden konsistent zu den anderen mineralischen Abfallfraktionen in der THG-Bilanz mit Null bewertet.

Insgesamt berechnet sich – bezogen auf die gesamt im Jahr 2010 entsorgte Asphaltmenge – das spezifische Ergebnis zu -5 kg CO₂-Äq/Mg Asphalt. Der gegenüber dem angesetzten Emissionsfaktor für RC-Asphalt geringere Wert erklärt sich über die mit Null bewerteten Anteile zur Deponie und zum Tagebau.

Hochgerechnet auf die gesamt entsorgte Menge an Asphalt ergibt sich **für das Jahr 2010** eine Nettoentlastung von **-554 Mg CO₂-Äq**, die in die Treibhausgasbilanz der Abfallentsorgung in Berlin eingehen.

Gummi-asphalt (auch Flüsterasphalt) bzw. polymermodifiziertes Bitumen spielt in Berlin nur eine untergeordnete Rolle. Aufgrund fehlender Nachfrage wird dieser in den Berliner Asphaltmischwerken entweder gar nicht, nur geringfügig bzw. zu einem Anteil von etwa 1,5% produziert. An dieser Stelle wird Gummi-asphalt nicht weiter betrachtet³.

³ Aus abfallwirtschaftlicher Sicht interessant ist die Erzeugung von polymermodifiziertem Bitumen bei Einsatz von Granulat aus Altreifen (s. Kap. 2.12)

2.5 Baggergut

Wie für die zuvor beschriebenen mineralischen Abfallarten – mit Ausnahme von Asphalt – gilt auch für Baggergut, dass die Entsorgung dieser mineralischen Abfallart nur geringe Auswirkungen auf den Klimaschutz aufweist. Auch für Baggergut wurde deswegen die THG-Bilanz mit Null bewertet.

Bei der Abfallfraktion **Baggergut** handelt es sich um Schlamm, der bei Aushubarbeiten von Gewässern anfällt. Im Gegensatz zu den zuvor beschriebenen mineralischen Abfallarten wird Baggergut nicht über Klassieranlagen behandelt und nicht in den Tagebau verbracht. Das Aufkommen an Baggergut wurde durch Abfrage der entsprechenden Institutionen, den Wasserbauämtern des Bundes und des Landes Berlin ermittelt. Für das Jahr 2010 ergeben sich folgende Werte:

- *Direktanlieferung auf Deponien zur Beseitigung 3.116 Mg*
- *Sonstige Entsorgung 1.306 Mg*

Der Anteil, der auf Deponien beseitigt wurde, beläuft sich auf 70%. Der verbleibende Rest wurde über Bodenbehandlungsanlagen entsorgt.

Kurzsteckbrief Baggergut		Quelle
Aufkommen:	4.422 Mg	Abfrage Wasserbauämter Bund, Land und Auswertung Abfallberichte Deponien
Verbleib:	70% Deponie 30% Bodenbehandlungsanlagen	

Optimierungen für die Abfallfraktion Baggergut werden keine gesehen. Aufgrund des Ressourcenschutzes sollte zukünftig Baggergut möglichst vollständig einer Bodenverwertung zugeführt werden. Die Abfallfraktion wird in der Potenzialanalyse auch aufgrund der geringen Menge nicht weiter betrachtet.

2.6 Hausmüll inkl. Geschäftsmüll

Haus- und Geschäftsmüll zählt zu den überlassungspflichtigen Siedlungsabfällen, die im Jahr 2010 überwiegend durch die BSR eingesammelt und anschließend über fünf Abfallbehandlungsanlagen – MHKW Ruhleben, MPS Pankow und Reinickendorf, MA ORS Grünauer Straße sowie die MBA Schöneiche – entsorgt wurden.

Kurzsteckbrief Haus- inkl. Geschäftsmüll		Quelle
Aufkommen:	858.366 Mg	(BSR 2011)
Verbleib:	53% MHKW Ruhleben 19% MPS Pankow 14% MPS Reinickendorf 9% MA ORS Grünauer Str. 5% MBA Schöneiche	abgeleitet aus (BSR 2011)
Kenndaten	Hu = 8,3 MJ/kg FS, C fossil = 7,8% FS	berechnet nach (BSR 2012a)

Die Erfassung und Entsorgung dieser Abfälle ist in der BSR-Entsorgungsbilanz 2010 (BSR 2011) dokumentiert. Anlagenspezifisch ist darin die Summe der angelieferten Abfälle enthalten, nach Abfallart ist dies nur für das MHKW Ruhleben der Fall. Die Einzelmengen, die zu den beiden MPS Anlagen und zur MA und MBA gingen, wurden prozentual ermittelt. Das Ergebnis für Haus- und Geschäftsmüll zeigt nachfolgende Übersicht.

Für die Sammlung von Haus- und Geschäftsmüll in Berlin liegen keine spezifischen Angaben vor. Für die Berechnung der Treibhausgasbilanz wurde von einer durchschnittlichen Sammelstrecke für Deutschland ausgegangen. Die für die überlassungspflichtigen Abfälle relevanten Behandlungsanlagen werden nachfolgend ausführlicher beschrieben.

2.6.1 Behandlungsanlagen für überlassungspflichtige Abfälle

Die Massenströme für die Behandlungsanlagen konnten ebenfalls (BSR 2011) entnommen werden und sind im Zwischenbericht dokumentiert. Weitere Informationen zu den Behandlungsanlagen entstammen den Abfallberichten sowie Informationen, die von den BSR und ALBA zur Verfügung gestellt wurden.

MHKW Ruhleben

Im Müllheizkraftwerk (MHKW) Ruhleben wurden im Jahr 2010 insgesamt 485.212 Mg Abfälle behandelt. Die Verbrennungskapazität beläuft sich auf rund 520.000 Mg. Aus der thermischen Abfallbehandlung fallen etwa 22% Schlacke an, die als Profilierungsmaterial auf Deponien verwertet wurde. In der THG-Bilanz ist der entsprechende Transport abgebildet, darüber hinaus fallen aus der Behandlung dieses Inertmaterials keine weiteren THG-Emissionen an.

Weitere Outputstoffe sind aus der Schlacke zurückgewonnene Eisen- und Nichteisenmetalle, die der Metallverwertung zugeführt werden. Für die weitere Aufbereitung wurde von einer Ausbeute von 90% (Fe-Metalle) bzw. 87% (NE-Metalle) ausgegangen, die dann funktionsäquivalent Primärmetalle ersetzen können. Generell liegen für NE-Metalle keine Informationen vor, um welche Metallarten es sich dabei im Einzelnen handelt. Metalle zählen zu den Abfallarten, deren Verbleib aufgrund des weit verzweigten Händlernetzes und der Freiwilligkeit von Datenauskünften nur eingeschränkt nachvollziehbar ist. Aus diesem Grund wurde für NE-Metalle in der THG-Bilanz vereinfacht Aluminium als das nach Masse am häufigsten vorkommende NE-Metall angenommen. Die aus der Verbrennung zusätzlich anfallenden Rauchgasreinigungsrückstände sind gefährliche Abfälle, die daher im Rahmen dieser Studie nicht betrachtet werden.

Technische Daten zum MHKW wie Wirkungsgrade, Verbrauch an Strom, Heizöl und Betriebsstoffe wurden von den BSR übermittelt. Der aus der Abfallverbrennung im MHKW erzeugte Dampf wird zu einer auf dem Gelände des Kraftwerks Reuter befindlichen Turbine geleitet über die Strom und Wärme erzeugt wird. Der Strom wird in ein 110 kV-Netz am Standort eingespeist, die Wärme in das Fernwärmenetz Berlins. Das MHKW ist nach geltendem Recht eine Verwertungsanlage und wurde für 2010 mit der R1 Kennzahl 0,82 begutachtet. Gegenüber dem Bundesdurchschnitt weist das MHKW einen etwa durchschnittlichen Nettostromwirkungsgrad auf, dagegen aber einen deutlich höheren Wärmeeinsatzgrad.

Am 18.6.2012 wurde der neue Kessel A in Betrieb genommen, der die vier alten Kessel 5-8 ersetzt. Dies bewirkt eine deutliche Effizienzsteigerung. Nach Genehmigungsantrag soll

die Linie A aufgrund des höheren Feuerungswirkungsgrades des neuen Kessels bei gleichem Stundendurchsatz eine um 15% höhere Dampfmenge erzeugen. Weitere positive Effekte liegen in der Verringerung der Anzahl von Kesselstarts, wodurch der Eigenverbrauch von Heizöl verringert werden kann. Zudem werden für die Kesselreinigung keine Rußbläser benötigt und der Abdampf der Linie A wird zur Speisewasservorwärmung genutzt, wodurch der Eigenverbrauch von Dampf sinkt (Klimaschutzvereinbarung 2011 bis 2015 zwischen den BSR und dem Land Berlin).

Eine genaue Bezifferung der resultierenden Effekte kann erst auf Basis von Betriebserfahrungen erfolgen. Erste Einschätzungen liegen für den Strom- und Heizölbedarf sowie für die Dampferzeugung vor. Die entsprechenden Werte werden in der **Potenzialanalyse** berücksichtigt. Zur Abbildung der höheren Dampfabgabe wurde rechnerisch für 2020 ein um zwei Prozentpunkte höherer Stromwirkungsgrad angesetzt als im Basisjahr 2010.

MPS Pankow und Reinickendorf

Bei den beiden mechanisch-physikalischen Stabilisierungsanlagen (MPS-Anlagen) handelt es sich weitestgehend um baugleiche Anlagen. Beide Anlagen verfügen über eine Gesamtbehandlungskapazität von 190.000 Mg/a. Die MPS Pankow ist Eigentum der BSR, die MPS Reinickendorf zu einem Anteil von 43,75% (d.i. BSR-eigene Kapazität 83.125 Mg). In der MPS Pankow wurden im Jahr 2010 ausschließlich überlassungspflichtige Abfälle angenommen (165.991 Mg), in der MPS Reinickendorf waren unter den 163.793 Mg angenommenen Abfällen, neben 122.288 Mg überlassungspflichtigen auch 30.629 Mg nicht überlassungspflichtige gemischte Siedlungsabfälle. Letztere sind in Kapitel 2.7.2 beschrieben.

In den MPS-Anlagen werden angenommene Abfälle zunächst von groben Störstoffen entfrachtet (ca. 1% des Inputs, in der THG-Bilanz nicht weiter berücksichtigt) und anschließend einer Fe- und NE-Abscheidung unterzogen (rd. 3% bzw. 1,2% des Inputs). Für die aus den MPS, aber auch aus MA, MBA oder MBS abgeschiedenen Metalle wurde analog zum Vorgehen beim MHKW ein Abschlag für die daraus sortenrein erzeugbaren Sekundärmetalle angesetzt. Nach Auskünften der BSR befinden sich an den aussortierten Metallen noch umfassend anhaftende Störstoffe, so dass die Ausbeuten für Eisen mit 62% angesetzt werden konnten, für NE-Metalle nur mit 18%. Diese Ausbeuten wurden in der THG-Bilanz einheitlich bei den genannten Behandlungsanlagen für überlassungspflichtige Abfälle angesetzt.

Im Anschluss an die Aufbereitung werden die Abfälle in den MPS-Anlagen mittels Erdgasinsatz getrocknet. Dabei werden rund 30% des Inputs als Wasser verdampft. Die Abluft der Anlagen wird gemäß Genehmigungsaufgaben über eine RTO behandelt. Nach der Trocknung erfolgt eine weitere Aufbereitung bei der Inertmaterial abgeschieden wird (Mineralien ca. 8-9% des Inputs, in der THG-Bilanz wird – wie bei MVA-Schlacke – nur der Transport zur Ablagerung berücksichtigt). Das resultierende Outputmaterial wird zur Herstellung von Pellets oder Fluff verpresst. Der Austrag an diesen Ersatzbrennstoffen (EBS) liegt bei etwas unter 60% des Inputs.

Abgesehen vom Inputmaterial unterscheiden sich die beiden weitgehend baugleichen MPS-Anlagen in der Vermarktung der erzeugten EBS. Während die EBS aus Pankow zu 91% zur Mitverbrennung in Braunkohlekraftwerke und 9% in EBS-Kraftwerke gehen, gehen die EBS aus der MPS Reinickendorf nur zu 2% zu EBS-Kraftwerken und ansonsten

zu 63% zur Mitverbrennung in Braunkohlekraftwerke sowie zu 34% in ein Zementwerk. Ein Umstand, der dazu führt, dass die MPS Reinickendorf in der THG-Bilanz etwas besser abschneidet als die MPS Pankow, da durch die Mitverbrennung in Zement- und Kohlekraftwerken direkt Kohle substituiert wird (vgl. Erläuterungen Kap. 1.3.2).

In der Übersicht stellt sich die Massenbilanz der beiden MPS-Anlagen bezogen auf eine Tonne eingesetzten Abfall (Input) wie folgt dar:

- 58 bzw. 59% EBS (zu 91 bzw. 97% zur Mitverbrennung)
- 28 bzw. 26% Wasserverluste
- 8 bzw. 9% Inertmaterial
- 3,3 bzw. 3,1% Fe-Metalle
- 1,2% NE-Metalle
- 1% Störstoffe

Daten zum Strom- und Erdgasbedarf der MPS-Anlagen wurden vom Unternehmen ALBA zur Verfügung gestellt. Die Durchschnittswerte für das Jahr 2011 wurden für die THG-Bilanz der Ist-Situation verwendet unter der Annahme, dass die Werte auch bereits 2010 erreicht worden sind.

Durch Maßnahmen wie Einführung eines Energiemanagements, Druckluftoptimierung und Energiesparwochen (Schulungen etc.) konnte der Stromverbrauch seit 2007 um ca. 25% gesenkt werden. Der spezifische Gasverbrauch konnte seit 2007 um etwa 20% reduziert werden im Wesentlichen durch Optimierungen an den Trocknern⁴.

Zur weiteren möglichen Optimierung des Energieverbrauchs wird in einem aktuellen Projekt die mögliche Verstromung des zur Trocknung eingesetzten Heizgases über eine KWK-Anlage (Mikrogasturbine) geprüft. Hierzu werden verschiedene Leistungsgrößen in Szenarien durchgerechnet und u.a. simuliert, wie sich der Trocknungsprozess mittels Wärmetauscher zur weiteren Einsparung von Heizgas effizienter gestalten lässt.

Das Projekt befindet sich in der Analysephase, belastbare Daten zu einer möglichen weiteren Reduzierung des spezifischen Gasverbrauchs konnten bis zum Laufzeitende dieser Studie nicht übermittelt werden. Entsprechend sind die MPS-Anlagen in der **Potenzialanalyse** ohne Veränderung gegenüber der Ist-Situation abgebildet. Weitere Optimierungen werden für die MPS-Anlagen nicht gesehen. Da bei beiden MPS-Anlagen die erzeugten EBS schon derzeit zu über 90% zur Mitverbrennung in Zement- und Kohlekraftwerke gehen und damit eine hohe THG-Gutschrift erzielen, wird von keiner nennenswerten Steigerung der Treibhausgasminde rung ausgegangen.

MA ORS Grünauer Straße

In der mechanischen Aufbereitungsanlage (MA) der Firma ORS in der Grünauer Straße wurden im Jahr 2010 insgesamt 198.692 Mg Abfälle behandelt. Neben überlassungspflichtigen Siedlungsabfällen (98.912 Mg, v. a. Haus- und Geschäftsmüll und hausmüllähnliche Gewerbeabfälle) waren dies auch nicht überlassungspflichtige Gewerbeabfälle (27.622 Mg) und nicht überlassungspflichtige gemischte Bau- und Abbruchabfälle (28.872 Mg). Die beiden letzteren Abfallarten wurden auch über die in Kapitel 2.7.2 beschriebene Sonderauswertung untersucht und sind in der Beschreibung dort enthalten.

⁴ Analysiert im Rahmen von Bachelor-/Masterarbeiten und dann als Eigenentwicklung von ALBA in beiden MPS-Anlagen eingebaut und realisiert.

Die Anlage besteht aus zwei in einer Halle getrennt aufgebauten Linien – Linie I zur Aufbereitung gemischter Siedlungsabfälle (im Jahr 2010 insgesamt 126.534 Mg⁵) und Linie II zur Baumischabfallsortierung (im Jahr 2010 insgesamt 72.158 Mg). Über die Linie II wurden im Jahr 2010 auch die über das Sammelsystem Orange Box erfassten Abfallmengen mitbehandelt (s. Kap. 2.11.5). Die Abluft der Halle wird gefasst und über Biofilter geführt.

Eine weitergehende Abluftbehandlung besteht nicht. Im Rahmen eines Besichtigungstermins am 27.3.12 wurde die Behandlungsweise erläutert und auch Daten zum Strombedarf und zur Qualität der erzeugten Outputstoffe übermittelt. Die Angaben zum Verbleib der erzeugten EBS basieren auf Angaben der BSR (BSR 2011).

Nach (BSR 2011) wurden aus den überlassungspflichtigen Siedlungsabfällen durch die Behandlung über die Linie I 3,4% Metalle vom Input abgetrennt, eine Unterscheidung nach Fe- und NE-Metallen ist nicht gegeben. In der THG-Bilanz wurden die Metalle vollständig wie Eisenmetalle bilanziert mit der oben bei den MPS-Anlagen erläuterten Ausbeute von 62%. Des Weiteren wurden rund 11% des Inputs als Rottefraktion abgetrennt, die zur weiteren Behandlung in die MBA Schwanebeck ging. Die Rottefraktion gelangt in die biologische Behandlungsstufe und wird anschließend als MBA-Rest deponiert. Stoffstromdaten und Daten zum Energieaufwand sind nicht verfügbar. Der Massenanteil des MBA-Restes wurde nach (Wasteconsult 2007) ermittelt. Weitere Treibhausgaswirkungen aus dem Energiebedarf der Behandlung und aus der Deponierung des MBA-Restes wurden nach den in (UBA 2012) abgeleiteten Daten für die durchschnittliche Situation in Deutschland berechnet. Der gesamte weitere Anteil des Inputs an überlassungspflichtigen Siedlungsabfällen in die Anlage wurde – bis auf 1,4% Wasserverluste – in eine EBS-Fraktion überführt (84%).

62% der EBS-Fraktion gingen zur weiteren Aufbereitung in die ebenfalls von der Firma ORS betriebene EBS Aufbereitungsanlage Wilmersdorf in Rietz-Neuendorf und von dort nach einer Trocknung (Wasserverlust 10%) zur Mitverbrennung in das Zementwerk Rüdersdorf. 9% der EBS gingen direkt zum EBS-Kraftwerk IKW Rüdersdorf, 18% Mittelkalorik zum EBS-Kraftwerk Leipa und 11% Mittelkalorik zu einer weiteren Behandlung in der Anlage der Firma ffk environment in Peitz und anschließend zur Mitverbrennung in das Kraftwerk Jänschwalde.

In der Übersicht stellt sich die Massenbilanz der MA für überlassungspflichtige Siedlungsabfälle bezogen auf eine Tonne Abfall (Input) wie folgt dar:

- 84% EBS
 - 62% über EBS-Aufbereitung Mitverbrennung Zementwerk Rüdersdorf
 - 18% Mittelkalorik zum EBS-Kraftwerk Leipa
 - 11% Mittelkalorik über ffk Mitverbrennung Kraftwerk Jänschwalde
 - 9% Hochkalorik zum IKW Rüdersdorf
- 11% Rottefraktion zur MBA Schwanebeck
- 3,4% Metalle (als Fe-Metalle bilanziert)
- 1,4% Wasserverluste

In der Massenbilanz auffällig ist der niedrige Anteil aussortierter Rottefraktion von 11%. Nach Untersuchungen für das Jahr 2008 (ARGUS 2009) liegt der Organikgehalt in Berli-

⁵ für dieses Jahr besteht eine befristete Umschichtung der genehmigten Mengen von 100.000 auf 140.000 Mg dafür Reduzierung der genehmigten Kapazität für Linie II von 180.000 Mg auf 150.000 Mg

ner Haus- und Geschäftsmüll über 40%, und nach den Auswertungen von (Wasteconsult 2007) fallen im Mittel in deutschen MBAn 41% des Outputs als Deponiefraktion an. Hochgerechnet auf den Input in die Biologie (zzgl. Verluste) bedeutet dies eine durchschnittliche Abtrennung einer Organikfraktion von 55%. Entsprechend muss dies bedeuten, dass in den über die MA erzeugten EBS-Fraktionen noch wesentliche Anteile an Organik enthalten sind.

Nach Aussage von ORS handelt es sich bei der EBS-Fraktion, die über ffk zur Mitverbrennung ins Kraftwerk Jänschwalde geht, überwiegend um Organik. Eine Trocknung dieser Abfälle erfolgt in der von ffk environment betriebenen Aufbereitungsanlage nicht. Bei einer längeren offenen Lagerung derartiger organischer Abfälle könnte es analog einer offenen Kompostierung zu Methan- und Lachgasemissionen kommen. Informationen über die Art der Lagerung oder die Lagerdauer liegen jedoch nicht vor. In der THG-Bilanz wurde daher keine entsprechende Anlastung eingerechnet.

Der Umstand, dass über die MA behandelte Abfälle mit geringem energetischen Aufwand sortiert werden können (die MA unterliegt nicht den Vorgaben der 30. BImSchV) und im Output nicht stabilisierte organikhaltige Abfälle als EBS in eine Mitverbrennung überführt werden können, ist ausschlaggebend dafür, dass dieser Entsorgungsweg über die MA sich in der THG-Bilanz – trotz Berücksichtigung eines geringeren Heizwertes für den Anteil über ffk (vgl. Kap. 2.6.2) – als analog vorteilhaft wie die Behandlung über die MPS-Anlagen darstellt.

Bekanntlich gelten die Regelungen der 30. BImSchV nur für MBA und MBS. Dass die MPS-Anlagen ebenfalls eine Abluftreinigung über RTO durchführen, bedingt sich aus den Genehmigungsaufgaben. Aus gutachterlicher Sicht des IFEU besteht hier eine Ungleichbehandlung, die zumindest fraglich ist und einer „Gesetzeslücke“ gleichkommt. Für den beschriebenen Behandlungsweg über die MA sollte daher geprüft werden, ob und welche Schadstoffbelastungen (u.a. potenzieller THG-Emissionen) bei diesem Entsorgungsweg auftreten. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass die 30. BImSchV v.a. der Vorsorge gegen potenzielle Belastungen durch organische Luftschadstoffe dient, die keine Treibhausgaswirkung aufweisen (Grenzwert für TOC, nicht explizit für Methan). Aus Sicht des Klimaschutzes wäre der beschriebene Entsorgungsweg über die MA vorteilhaft, insofern keine weiteren Treibhausgasemissionen aus der Lagerung und Behandlung der „organischen EBS-Fraktionen“ entstehen, wie in dieser Studie berechnet.

Die empfohlene Prüfung des Entsorgungsweges und der bestehenden Ungleichbehandlung gegenüber MBA, MBS und MPS erscheint umso notwendiger, da künftig die bei der MA anfallende Rottefraktion ebenfalls über ffk entsorgt werden soll.

MBA Schöneiche

Zur Behandlung der überlassungspflichtigen Siedlungsabfälle in der MBA Schöneiche liegen aus der BSR-Entsorgungsbilanz (BSR 2011) folgende Informationen zu den Outputstoffströmen bezogen auf eine Tonne Abfall (Input) vor:

- 45% Hochkalorik zum IKW Rüdersdorf
- 32% MBA-Rest zur Deponie Schöneiche
- 21% Wasser- und Rotteverluste
- 1,8% Metalle (als Fe-Metalle bilanziert)
- 0,5% Störstoffe zur TA Lauta

Für die abgetrennten Metalle ist keine Unterscheidung nach Fe- und NE-Metallen gegeben. In der THG-Bilanz wurden die Metalle vollständig wie Eisenmetalle bilanziert, mit der oben bei den MPS-Anlagen erläuterten Ausbeute von 62%. Die Störstoffe zur TA Lauta werden in der THG-Bilanz aufgrund des geringen Anteils (< 1% des Inputs) nicht berücksichtigt. Treibhausgaswirkungen aus dem Energiebedarf der Behandlung und aus der Deponierung des MBA-Restes wurden nach den in (UBA 2012) abgeleiteten Daten für die durchschnittliche Situation in Deutschland berechnet. Danach ebenfalls berücksichtigt wurde eine mögliche C-Senke aus der Ablagerung des MBA-Restes, die aufgrund der Unwägbarkeiten nur nachrichtlich ausgewiesen ist (vgl. Kap. 1.3.2).

2.6.2 Kenndaten Abfallfraktionen

Mit obigen Erläuterungen zu den Behandlungsanlagen dürfte deutlich geworden sein, dass es nicht ohne weiteres möglich ist, verfügbare Messdaten direkt für Haus- und Geschäftsmüll anzusetzen. Die verfügbaren Daten gelten für die in den Anlagen behandelten Gemische, die sich teilweise deutlich in ihrer Charakteristik unterscheiden (z.B. Organikanteil in Haus- und Geschäftsmüll). Für die in dieser Studie durchgeführten THG-Bilanzen nach Abfallart ist es aber notwendig, die einzelnen Abfallarten in ihrer Zusammensetzung eindeutig zu definieren (vgl. Kap. 1.2). Insofern war eine der umfassenden Arbeiten im Rahmen des Projektes die Ableitung von Kenndaten für die verschiedenen Abfallarten bzw. für die aus diesen durch die Behandlung in den zuvor beschriebenen Behandlungsanlagen resultierenden EBS. Zu ermitteln waren entsprechende Kenndaten für Haus- und Geschäftsmüll, überlassungspflichtige hausmüllähnliche Gewerbeabfälle, sonstige Abfallarten aus Gewerbe und Industrie und nicht überlassungspflichtige Gewerbeabfälle bzw. für die aus diesen Abfällen generierten EBS. Das Vorgehen zur Ableitung der Kenndaten ist hier im Weiteren stellvertretend für die anderen betroffenen Abfallarten zusammengefasst.

Für die Ableitung wurden folgende Datenquellen herangezogen:

- Haus- und Geschäftsmülluntersuchung für 2008 (ARGUS 2009b)
- Menge und Zusammensetzung der beseitigten Gewerbeabfälle für 2008 (ARGUS 2009a)
- Aufkommen, Verbleib und Ressourcenrelevanz von Gewerbeabfällen (UBA 2011a)
- Informationen zu Kenndaten der im MHKW Ruhleben behandelten Abfälle (BSR 2012a)
- Informationen zu Abfalleigenschaft des EBS-Output aus den MPS-Anlagen⁶
- Berechnete Kenndaten für Abfallfraktionen (Öko-Institut/IFEU 2010)

Die letztgenannten Kenndaten für Abfallfraktionen wurden als Standardwerte zur Berechnung der Heizwerte und Kohlenstoffgehalte von Abfallgemischen herangezogen. Die entsprechenden Werte sind in Tabelle 2-2 aufgeführt. Die Verwendung dieser Standardwerte stellt eine Konvention dar. In der Praxis finden sich je nach Ort, Jahreszeit, Umfang und

⁶ Textauszug ICU: Klimaschutz durch Co-Verbrennung von SBS in den Vattenfall Braunkohlekraftwerken, Bilanztafel 1, S.2; übermittelt von SenStadtUm 29.2.12

Art von Sortieranalysen deutliche Schwankungsbreiten zu diesen Kenndaten. Dennoch ist es für diese Studie unerlässlich, mit entsprechenden Daten zu arbeiten, da wesentliches Ziel der Studie die Einschätzung von Optimierungsszenarien ist, bei denen der Restmüll in seiner Zusammensetzung verändert wird (gesteigerte getrennte Erfassung von trockenen Wertstoffen und Organik). Um diese Veränderung abbilden zu können, ist es unerlässlich, Modellrechnungen durchzuführen. Es gibt keine andere Möglichkeit, um die für die THG-Bilanz benötigten Kenndaten – Heizwert und fossiler Kohlenstoffgehalt – zu ermitteln.

Auch für die Ist-Situation liegen in vielen Fällen keine Messwerte zum fossilen Kohlenstoffgehalt und teilweise auch zu den Heizwerten vor, so dass eine modellhafte Annäherung unerlässlich zur Ermittlung dieser Kennwerte ist.

Tabelle 2-2 Kenndaten für Abfallfraktionen (Öko-Institut/IFEU 2010)

Abfallfraktionen	C gesamt	C biogen	Heizwert	Wassergehalt
	in kg/kg	in kg/kg C ges.	in kJ/kg	in kg/kg
PPK	0,37	1,00	13.020	0,25
Glas	0,00	0,00	0	0,05
Kunststoffe	0,68	0,00	30.481	0,15
Metalle	0,00	0,00	0	0,05
Organik	0,16	1,00	4.620	0,64
Holz	0,38	1,00	13.250	0,15
Textilien	0,39	0,56	15.020	0,3
Verbunde	0,43	0,49	18.017	0,25
Rest <10	0,13	0,65	5.133	0,4
Sonstige	0,21	0,53	7.800	0,5
Inertes	0,00	0,00	0	0,1

Um möglichst plausible Werte für Berlin zu erhalten, wurden die verschiedenen Daten miteinander abgeglichen und teilweise Modifikationen vorgenommen. So beispielsweise für die Zusammensetzung des Haus- und Geschäftsmülls basierend auf den Ergebnissen der Sortieranalyse nach (ARGUS 2009b) (Tabelle 2-3). Aus der gegebenen Zusammensetzung würden sich mit den o.g. Standardwerten ein höherer fossiler Kohlenstoffgehalt und ein etwas höherer Heizwert ergeben als mit den in der Tabelle ebenfalls aufgeführten modifizierten Rechenwerten⁷. Dies steht im Widerspruch zu den verfügbaren Kennwerten insbesondere für die EBS aus den MPS-Anlagen. Für diese sind vergleichsweise niedrige fossile C-Gehalte angegeben, die sich mit einem hohen Inputkennwert nicht abbilden las-

⁷ In (ARGUS 2009b) angegebene Heizwerte liegen niedriger und passen damit wiederum nicht zu den Angaben nach (BSR 2012a) für das Inputgemisch ins MHKW, da ansonsten die dort ebenfalls behandelten Gewerbeabfälle sehr hohe Energiegehalte mitbringen müssten, die sich ebenfalls nicht in den Angaben nach (ARGUS 2009a) wiederfinden (dort für Gewerbeabfälle ebenfalls niedrigere Werte als rechnerisch erforderlich). Kohlenstoffgehalte sind weder in (ARGUS 2009a) noch in (ARGUS 2009b) berichtet.

sen. Eine Abbildung der angegebenen fossilen C-Gehalte war auch trotz der vorgenommenen Modifikation abschließend nicht gänzlich möglich (s.u.).

Durch die Modifikation wurden jedoch andere Angaben plausibilisiert, die ansonsten im Widerspruch standen. Dies gilt für die veränderten Inert- und Metallgehalte, die sich mit den im Original niedrigeren Werten nicht mit den aus den Behandlungsanlagen angegebenen Ausbeuten für Metalle und Mineralien und auch sonstigen Abfällen in Einklang bringen ließen.

Tabelle 2-3 Abfallzusammensetzung für Haus- und Geschäftsmüll nach (ARGUS 2009b) und modifizierte Zusammensetzung

Abfallfraktionen	Werte nach (ARGUS 2009b)	Rechenwerte
PPK	12,1%	12,1%
Glas	6,3%	6,3%
Kunststoffe	7,0%	7,0%
Metalle	2,1%	4,5%
Organik	42,5%	42,5%
Holz	0,4%	0,4%
Textilien	3,2%	3,2%
Verbunde	9,4%	9,4%
Rest <10	4,4%	4,4%
Sonstige	10,3%	2,5%
Inertes	2,1%	7,8%
Problemabfall	12,1%	12,1%
Summe	100%	100%

Die rechnerisch ermittelten Kenndaten für Haus- und Geschäftsmüll aus der modifizierten Abfallzusammensetzung ließen sich gut in Einklang bringen mit den Angaben zum im MHKW Ruhleben eingesetzten Abfallgemisch nach (BSR 2012a). Die insgesamt aus den verschiedenen Datenquellen für Haus- und Geschäftsmüll abgeleiteten Kenndaten sind in Tabelle 2-4 aufgeführt. Darunter wurden die Werte für MPS aus Haus- und Geschäftsmüll aus den in der MPS Pankow eingesetzten Abfallarten – Haus- und Geschäftsmüll und überlassungspflichtige hausmüllähnliche Gewerbeabfälle – anhand der Massenbilanz für die MPS abgeleitet.

In Summe stimmen diese Werte für den Heizwert gut mit den für EBS nach ICU übermittelten Werten überein. Allerdings liegt der berechnete fossile C-Gehalt höher als angegeben (berechnet für das Inputgemisch rund 12%, nach Messdaten rund 8-9%). Hier kommt der Umstand zum Tragen, dass sich vermutlich durch Randbedingungen im Einzugsgebiet Abfallgemische ergeben, die niedrigere fossile C-Gehalte aufweisen bzw. ggf. durch eine gezielte Zufuhr von Abfällen mit einem hohen biogenen Kohlenstoffanteil im Mittel entsprechende EBS erzeugen lassen. Dies entspricht dem Bedarf der Kraftwerksbetreiber und damit dem Bestreben der Anlagenbetreiber (s. Kap. 7).

Dennoch wurden für diese Studie die ermittelten Rechenwerte für die THG-Bilanz verwendet. Ein fossiler C-Gehalt von 11,6% - wie berechnet – ist vergleichbar mit den Angaben nach (UBA 2011c) für EBS aus MBS (12,4%) und MPS (11,7%). Insofern ist der hier gewählte Rechenansatz als abgesichert anzusehen.

Für die weiteren in Tabelle 2-4 ermittelten Kenndaten zu EBS aus der Behandlung über die MA wurden verschiedene Überlegungen vorgenommen: Für die „Organik“ EBS-Fraktion aus Haus- und Geschäftsmüll aus der MA (s.o.) wurde angenommen, dass diese mit 1% fossilem Kohlenstoff verunreinigt ist. Der Heizwert wurde aus dem Heizwert für Haus- und Geschäftsmüll bezogen auf die Trockensubstanz mit Hilfe der Heizwertformel und dem Wassergehalt für die Organikfraktion in Haus- und Geschäftsmüll nach (ARGUS 2009b) berechnet. Der verbleibenden EBS-Fraktion aus Haus- und Geschäftsmüll (insbesondere abzgl. Rottefraktion, „Organik“ EBS) wurde die Differenz zum Input des Energiegehaltes und fossilen C-Gehaltes zugeordnet.

Tabelle 2-4 Ermittelte Kenndaten für Haus- und Geschäftsmüll

	Heizwert	C fossil
	MJ/kg FS	in % FS
Haus- und Geschäftsmüll	8,3	7,8
MPS EBS Hausmüll	12,2	11,6
MA EBS Hausmüll „Organik“	4,5	1,0
MA EBS Hausmüll direkt	10,1	10,6
MA EBS Hausmüll Output Aufbereitung	11,3	11,7

Die Kenndaten für die über die EBS-Aufbereitungsanlage Wilmersdorf getrockneten Abfälle wurden auf Basis von geschlossenen Bilanzen zum Energie- und fossilen C-Gehalt berechnet, wiederum ausgehend von den Kenndaten für die Abfallarten Haus- und Geschäftsmüll und überlassungspflichtige Gewerbeabfälle im Inputgemisch. Messdaten liegen für die EBS aus der Behandlung in der MA nicht vor. Seitens des Betreibers wurden Schätzwerte für Heizwerte übermittelt, die allerdings insgesamt zu höheren Werten führen würden. Zu fossilen C-Gehalten konnten keine Angaben gemacht werden. Insgesamt wird der hier der gewählte Rechenansatz als belastbar angesehen.

In der Praxis finden sich – wie bereits geschildert – teilweise abweichende Werte. Grundsätzlich weisen Messungen für inhomogene Abfallarten wie Haus- und Geschäftsmüll und Gewerbeabfälle große Spannbreiten auf (vgl. Erläuterung Kap. 1.2). Für die hier durchgeführte Studie ist von elementarer Bedeutung, dass die Abfallarten eindeutig definiert werden. Nur dadurch ist ein Vergleich der Behandlung dieser Abfallarten in verschiedenen Behandlungsanlagen sinnvoll durchführbar.

2.6.3 Ergebnis THG-Bilanz

Die Ergebnisse der THG-Bilanz sind hier wie in allen anderen Kapiteln der Bestandsaufnahme sowie der Potenzialanalyse gleichermaßen als spezifische Ergebnisse für die jeweiligen stoffstromspezifischen Behandlungsarten grafisch in Form von Sektoranalysen dargestellt. Die Lesart der Abbildungen ist hier exemplarisch beschrieben.

Zur Erläuterung der Abbildungen:

Die Abfallbehandlung ist mit Treibhausgasbelastungen verbunden. Diese sind mit **Balken nach rechts** repräsentiert. Die farblich hervorgehobenen Abschnitte stellen die Beiträge der einzelnen Teilsysteme und Prozesse (Betrieb, Störstoffe, EBS) zur Verwertung und Behandlung dar.

Die Entsorgung der Abfälle bzw. der erzeugten Sekundärprodukte (EBS, Metalle) führt zu Treibhausgasentlastungen durch Substitution von Primärprozessen bzw. Primärenergie. Diese Vermeidungseffekte sind mit **Balken nach links** abgebildet. Die farbliche Unterscheidung zeigt, welcher Beitrag aus welcher Material- bzw. Energiegutschrift stammt. „Primärenergie“ steht dabei für die Substitution von Kohle durch Mitverbrennung in Zement- und Kraftwerken.

Die Treibhausgasbelastungen durch die Abfallbehandlung (nach rechts) und die Treibhausgasentlastungen durch dadurch eingesparte Primäraktivitäten (nach links) können miteinander verrechnet werden. Die Summe ergibt ein **Netto-Ergebnis** (einfarbige Säule über Be- und -entlastungen). Zeigt der Netto-Balken nach rechts, sind durch die Abfallbehandlung netto THG-Belastungen bedingt, bei nach links zeigendem Netto-Balken THG-Entlastungen. Aufgrund seines Zustandekommens als Differenz lässt sich der Netto-Balken nicht sinnvoll in Sektoren auflösen.

Das in Abbildung 2-1 gezeigte spezifische Ergebnis für die verschiedenen Behandlungsverfahren von Haus- und Geschäftsmüll im Jahr 2010 ist ganz eindeutig dadurch geprägt, in welchem Umfang aus den Behandlungsverfahren EBS zur Mitverbrennung in Zement- und Kraftwerken bereitgestellt werden. Die Gründe hierfür und auch die dabei gegebenen Schwachstellen sind ausführlich in Kapitel 1.3.2 erläutert.

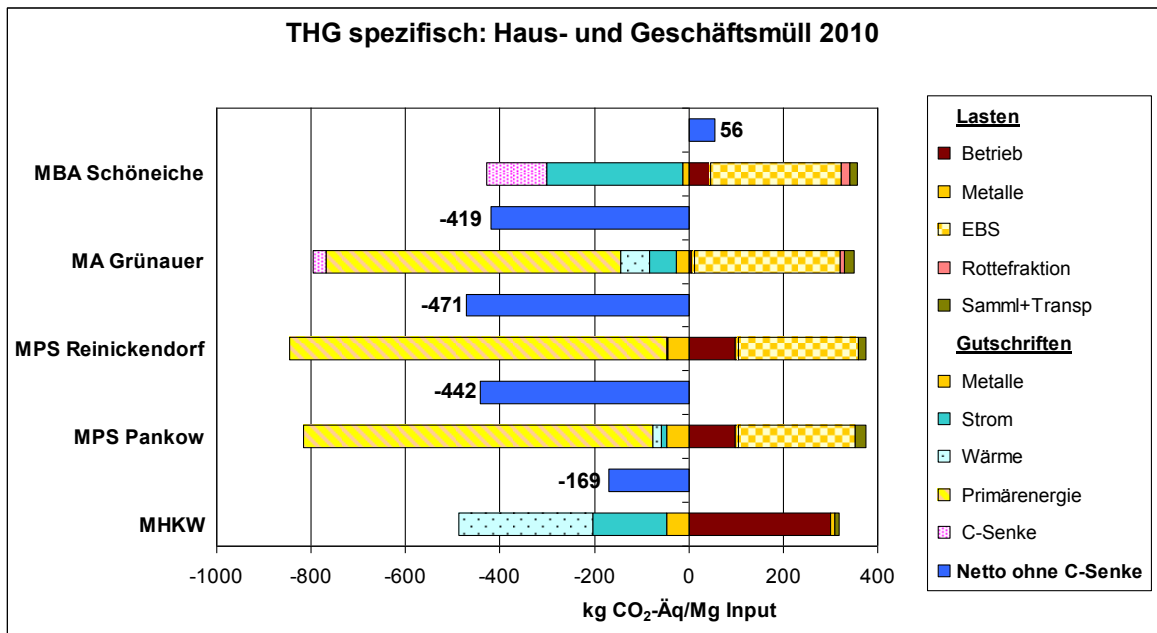


Abbildung 2-1 Spezifisches Ergebnis Entsorgung Haus- und Geschäftsmüll

Im Einzelnen sind in Abbildung 2-1 folgende Sektoren berücksichtigt:

Betrieb: umfasst die THG-Belastungen aus dem Energieeinsatz und den THG-Emissionen der Behandlungsanlage selbst. Beim MHKW fallen darunter auch die fossilen CO₂-Emissionen der Verbrennung. Bei den anderen Behandlungsverfahren fallen diese CO₂-Emissionen erst bei der Verbrennung der EBS an und sind dem Sektor „EBS“ zugeordnet. THG-Belastungen des Betriebes sind bei MPS, MA und MBA ausschließlich durch Strom- und Erdgasbedarf geprägt. Bei der MA sind die entsprechenden Belastungen in der Grafik nicht sichtbar, da die MA über keine Abluftbehandlung über RTO verfügt und daher kein Erdgas einsetzen muss sowie nur einen vergleichsweise geringen Strombedarf aufweist. Bei der MBA sind unter „Betrieb“ auch die THG-Emissionen aus der anfallenden Deponiefraktion enthalten.

Metalle: umfasst die Verwertung der abgetrennten Fe- und NE-Metalle. Im grafischen Ergebnis zeigt sich, dass die Metallverwertung zwar höhere THG-Entlastungen als Belastungen aufweist, aber der Entlastungsbeitrag gegenüber den Energiegutschriften von untergeordneter Bedeutung ist.

EBS: hierunter fallen alle THG-Belastungen aus der ggf. weiteren Aufbereitung der EBS (Strom-, Wärmebedarf) sowie die fossilen CO₂-Emissionen aus der abschließenden Verbrennung in EBS-Kraftwerken oder Zement- oder Kohlekraftwerken. Die fossilen CO₂-Emissionen hängen ausschließlich vom C-Gehalt der jeweiligen Abfallart ab und unterscheiden sich nach Verfahren einzig über den jeweils verbrannten Abfallanteil.

Rottefraktion: beschreibt die Outputfraktion aus der MA und umfasst die THG-Belastungen aus der Behandlung dieser sowie der abschließenden Ablagerung des anfallenden MBA-Restes.

Sammlung und Transport: umfasst die THG-Belastungen aus der Sammlung, die bei allen Behandlungsverfahren identisch sind, und zudem die THG-Belastungen aus weiteren Transportaufwendungen. Bei der Behandlung über MHKW fallen entsprechende Transporte nur noch für die Metall- und Schlackeverwertung an, die Belastungen sind dort entsprechend am geringsten im Vergleich der Verfahren. Insgesamt sind die THG-Belastungen aus Sammlung und Transport von untergeordneter Bedeutung.

Strom und Wärme: umfasst die substituierten THG-Emissionen durch die Erzeugung von Strom und Wärme im MHKW und durch die EBS-Verbrennung in EBS-Kraftwerken. Die aus den Abfällen erzeugbare Energie ist grundsätzlich gleich und ausschließlich über den Heizwert des Abfalls bestimmt. Unterschiede ergeben sich über die evtl. stattfindende Konfektionierung (Heizwertanreicherung unter Energieeinsatz) und v.a. durch die unterschiedlichen Nutzungsgrade der thermischen Behandlungsanlagen. Insofern konkrete Anlagen benannt werden konnten, wurden die konkreten Nutzungsgrade der Anlagen recherchiert und für die THG-Bilanz verwendet. Für die Entsorgung von Haus- und Geschäftsmüll sind alle entsprechenden Anlagen bekannt und berücksichtigt.

Primärenergie: umfasst die substituierten THG-Emissionen durch die Vermeidung des Einsatzes von – hier ausschließlich – Braunkohle. Die Gutschrift entspricht den THG-Emissionen, die aus der Bereitstellung und Verbrennung der heizwertäquivalenten Menge an Braunkohle ansonsten entstanden wäre.

C-Senke: ist hier aus den in Kapitel 1.3.2 geschilderten Gründen ausschließlich nachrichtlich aufgeführt. Gegeben ist eine mögliche C-Senke nur bei der Behandlung über MA aus

der weiteren Behandlung der Rottefraktion (Anteil gering) sowie aus der Behandlung über MBA, bei der verfahrensbedingt ebenfalls eine Deponiefraktion erzeugt und abgelagert wird. Würde die C-Senke bei der Behandlung über MBA mit in das Nettoergebnis eingerechnet werden, würde sich auch bei der MBA eine Nettoentlastung in Höhe von -72 kg CO₂-Äq/Mg Abfallinput ergeben.

Fazit

Insgesamt zeigen bis auf die Behandlung über MBA alle Verfahren eine Nettoentlastung, die wie eingangs erwähnt umso höher ausfällt, umso mehr Abfall als EBS in die Mitverbrennung geht und dadurch Kohle ersetzt. Das gewichtete Mittel über alle Behandlungsverfahren führt zu einem spezifischen Emissionsfaktor von -273 kg CO₂-Äq/Mg Abfallinput.

Hochgerechnet auf die hier betrachtete Menge an Berliner Haus- und Geschäftsmüll sowie deren Verbleib ergibt sich **für das Jahr 2010** eine Nettoentlastung von **-234.754 Mg CO₂-Äq**.

Der zusätzliche THG-Minderungsbeitrag, der sich durch Anrechnung der C-Senke ergeben würde, beläuft sich auf -7.833 Mg CO₂-Äq.

Für die in Kapitel 3.6 dargestellte **Potenzialanalyse** werden zusammengefasst folgende Maßnahmen betrachtet:

- Beendigung der Behandlung über die MBA aufgrund des ungünstigen Ergebnisses in der THG-Bilanz
- Beendigung der Behandlung über die MA, da der Entsorgungsvertrag mit der MA spätestens am 31.12.2015 endet
- Effizienzsteigerung des MHKW Ruhleben durch Inbetriebnahme des Kessels A Mitte 2012

Die Mengen, die bisher in MBA und MA behandelt wurden, werden für das Jahr 2020 der Behandlung über die MPS-Anlagen und das MHKW zugeordnet. Die Zuordnung erfolgt in erster Linie in Richtung MPS-Anlagen in Höhe der BSR-eigenen Kapazitäten und in zweiter Linie zum MHKW.

Die Optimierungsszenarien zur Steigerung der getrennten Erfassung von Wertstoffen (v.a. durch Einführung Wertstofftonne, Abfallmanagement inkl. Müllschleusen) und zur Steigerung der getrennten Erfassung von Organikabfall aus Haus- und Geschäftsmüll sind separat in Kapitel 4 beschrieben. Die Bewertung dafür erfordert eine gesamtsystematische Betrachtung, da mehrere Abfallarten und unterschiedliche Entsorgungsanlagen zu betrachten sind.

2.7 Gewerbeabfälle und gemischte Bau- und Abbruchabfälle

Gewerbeabfälle fielen im Jahr 2010 im Land Berlin sowohl als überlassungspflichtige als auch als nicht überlassungspflichtige Abfälle an. Zu den überlassungspflichtigen Gewerbeabfällen zählen die über die BSR entsorgten hausmüllähnlichen Gewerbeabfälle (gemischte gewerbliche Siedlungsabfälle) und sonstige Abfallarten aus Gewerbe und Industrie. Diese werden in den folgenden Unterkapiteln getrennt beschrieben.

Im Anschluss daran folgt die Darstellung der nicht überlassungspflichtigen Gewerbeabfälle gemeinsam mit den nicht überlassungspflichtigen gemischten Bau- und Abbruchabfällen⁸. Diese beiden Stoffgemische werden gemeinsam erläutert, da sie beide im gewerblichen Bereich anfallen, von der stofflichen Zusammensetzung ähnlich sind sowie in der Regel gleiche Entsorgungswege über Vorbehandlungsanlagen (vorwiegend Sortieranlagen) zur Separierung von sortenreinen Wertstoffen und Reststoffen zur stofflichen und energetischen Verwertung aufweisen.

2.7.1 Überlassungspflichtige Gewerbeabfälle

Überlassungspflichtige Gewerbeabfälle umfassen nach (BSR 2011) hausmüllähnliche Gewerbeabfälle sowie sonstige Abfallarten aus Gewerbe und Industrie. Bei ersteren handelt es sich um gemischte Siedlungsabfälle (AVV 200301), bei den weiteren um sonstige Abfälle, die keine gemischten Siedlungsabfälle sind, jedoch für eine gemeinsame Behandlung über Entsorgungsanlagen zugelassen sind. Die beiden Abfallarten sind im Folgenden getrennt erläutert.

Hausmüllähnliche Gewerbeabfälle (HMG)

Das in dieser Studie betrachtete Abfallaufkommen an hausmüllähnlichen Gewerbeabfällen im Jahr 2010 entspricht den Angaben der Abfallbilanz der Senatsumweltverwaltung (SenStadtUm 2011). Der Verbleib der hausmüllähnlichen Gewerbeabfälle ist in (BSR 2011) dokumentiert.

Wie auch bei Haus- und Geschäftsmüll erläutert, ist darin anlagenspezifisch nur die Summe der angelieferten überlassungspflichtigen Abfälle enthalten, nach Abfallart ist dies nur für das MHKW Ruhleben der Fall. Entsprechend wurden auch hier die Einzelmengen, die zu den beiden MPS-Anlagen sowie zur MA und MBA gingen, prozentual ermittelt. Zudem wurden die angegebenen Mengen zum Verbleib um die Bunkerdiffenz von -63 Mg angepasst. Das Ergebnis für den Verbleib zeigt nachfolgende Übersicht.

Kurzsteckbrief überlassungspflichtige HMG		Quelle
Aufkommen:	23.096 Mg	(SenStadtUm 2011)
Verbleib:	22% MHKW Ruhleben 13% MPS Pankow 10% MPS Reinickendorf 35% MA ORS Grünauer Str. 20% MBA Schöneiche	abgeleitet aus (BSR 2011)
Kenndaten	Hu = 14,2 MJ/kg FS, C fossil = 20,2% FS	berechnet

Für die Sammlung von hausmüllähnlichem Gewerbeabfall in Berlin liegen keine spezifischen Angaben vor. Für die Berechnung der Treibhausgasbilanz wurde von einem durchschnittlichen Sammelaufwand für Deutschland ausgegangen. Die für die überlassungspflichtigen Abfälle relevanten, oben aufgeführten Behandlungsanlagen sind in Kapitel

⁸ Gemischte Bau- und Abbruchabfälle sind von der Entsorgung durch den öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger Land Berlin ausgeschlossen (keine Überlassungspflicht).

2.6.1 beschrieben. Abweichend zu den dort aufgeführten Massenbilanzen der Anlagen, wurde für die Behandlung hausmüllähnlicher Gewerbeabfälle über die MA aufgrund der abweichenden Zusammensetzung gegenüber Haus- und Geschäftsmüll (v. a. geringerer Organikanteil) weder ein Wasserverlust noch eine Überführung in die Rottefraktion angenommen. Aus dem gleichen Grund wurde abweichend zur Massenbilanz für Haus- und Geschäftsmüll keine „organische“ EBS-Fraktion betrachtet, die aussortierten EBS-Mengen wurden gewichtet den angegebenen Verwertungsanlagen zugeordnet.

Für die überlassungspflichtigen HMG liegen zur Abfallzusammensetzung Informationen für 2008 vor (ARGUS 2009a). Angaben zum fossilen C-Gehalt sind nicht vorhanden. Auch für die weiteren aus der Behandlung resultierenden EBS sind keine Informationen speziell für die überlassungspflichtigen HMG verfügbar. Wenn an Anlagen entsprechende Daten erhoben werden, gelten diese normalerweise für das Inputgemisch an angenommenen Abfällen und sind nicht für Teilströme darin ohne weiteres übertragbar. In Kapitel 2.6.2 ist erläutert, dass deswegen die für die THG-Bilanz erforderlichen Kenndaten aus den verschiedenen verfügbaren Datenquellen generiert werden mussten. Das Vorgehen ist ebenfalls dort erläutert.

Unter anderem von Bedeutung bei den überlassungspflichtigen HMG ist, dass diese nach (ARGUS 2009a) eine andere Zusammensetzung aufweisen als nicht überlassungspflichtige Gewerbeabfälle nach (UBA 2011a). Im Abgleich der verschiedenen verfügbaren Daten zeigte sich für die Zusammensetzung nach (ARGUS 2009a) analog zu Haus- und Geschäftsmüll, dass bestimmte Modifikationen in der Zusammensetzung erforderlich sind, um ein plausibles Gesamtmodell zu erhalten.

Tabelle 2-5 Abfallzusammensetzung für überlassungspflichtige hausmüllähnliche Gewerbeabfälle nach (ARGUS 2009a) und modifizierte Zusammensetzung

Abfallfraktionen	Werte nach (ARGUS 2009a) übpf. HMG	Rechenwerte übpf. HMG	nicht überlassungspflichtige Gewerbeabfälle (UBA 2011a)
PPK	24,1%	24,1%	17%
Glas	4,8%	4,8%	3%
Kunststoffe	32,1%	25,9%	16%
Metalle	3,6%	6,0%	6%
Organik	19,0%	19,0%	10%
Holz	2,0%	2,0%	13%
Textilien	0,7%	0,7%	2%
Verbunde	9,6%	9,6%	8%
Rest <10	-	-	10%
Sonstige	2,9%	2,9%	10%
Inertes	1,1%	5,0%	5%
Summe	100%	100%	100%

Tabelle 2-5 zeigt die Zusammensetzungen nach (ARGUS 2009a) und (UBA 2011a) sowie die für diese Studie abgeleiteten Rechenwerte. Anpassungen wurden bei Metallen und

Inertanteilen vorgenommen, damit – wie bei Haus- und Geschäftsmüll beschrieben – die Abfallzusammensetzung in Einklang mit den aus den Behandlungsanlagen angegebenen Ausbeuten für Metalle und Mineralien gebracht werden konnte. Ebenfalls modifiziert wurde der nach (ARGUS 2009a) hohe Kunststoffanteil, der rechnerisch zu einem hohen fossilen C-Gehalt führt, und der – wie bei Haus- und Geschäftsmüll beschrieben – im Widerspruch zu den verfügbaren Daten zu EBS aus den MPS-Anlagen stand (vgl. Kap. 2.6.2).

Die vorgenommenen Modifikationen entsprechen auch einer Annäherung an die Abfallzusammensetzung nach (UBA 2011a). Es sei hier betont, dass es in dieser Studie für das Land Berlin nicht darum geht, Ergebnisse von Sortieranalysen zu hinterfragen – die Modifikationen sind aus den geschilderten methodischen Gründen erforderlich. Für die THG-Bilanz ist entscheidend, dass die einzelnen untersuchten Abfallarten eindeutig definiert sind. Da in der Regel Messdaten für Gemische vorliegen und zudem an verschiedenen Stellen und zu verschiedenen Zeiten ermittelt wurden, sind Schwankungsbreiten und Abweichungen je nach Einzugsgebiet und Randbedingungen durchaus typisch. Für die Bilanzierung müssen aber einheitliche, konsistente Werte verwendet werden (s.a. Kap. 1.2).

Aus der modifizierten Abfallzusammensetzung und den in Tabelle 2-2 aufgeführten Kenndaten für Abfallfraktionen wurden der Heizwert und fossile C-Gehalt für überlassungspflichtige HMG sowie für nicht überlassungspflichtige Gewerbeabfälle berechnet.

Die Ergebnisse daraus – sowie auch die weiteren Kenndaten für aus diesen Abfällen erzeugte EBS – sind vergleichend in Tabelle 2-6 dargestellt. Diese Werte für überlassungspflichtige HMG sind aus Massen- und Energiebilanzen abgeleitet; analog dem Vorgehen bei Haus- und Geschäftsmüll.

Tabelle 2-6 Ermittelte Kenndaten für überlassungspflichtige hausmüllähnliche Gewerbeabfälle und für nicht überlassungspflichtige Gewerbeabfälle

	Heizwert	C fossil
	MJ/kg FS	in % FS
übpf. hausmüllähnliche Gewerbeabfälle (HMG)	14,2	20,2
nicht übpf. Gewerbeabfälle	12,3	14,4
MPS EBS übpf. HMG	21,0	29,9
MPS EBS nicht übpf. Gewerbeabfälle	13,8	16,6
MA EBS übpf. HMG und nicht übpf. Gewerbeabfälle	wie Input (keine Trocknung) – analog Daten in Zeilen 1 und 2	
MA EBS übpf. HMG Output Aufbereitung	16,4	23,2
MA EBS nicht übpf. Gewerbeabfälle Output Aufbereitung	13,6	16,0

Für überlassungspflichtige Gewerbeabfälle war dies nur für EBS aus den MPS-Anlagen möglich, die Werte für EBS aus der EBS-Aufbereitungsanlage mussten abgeschätzt werden (abgeleitet nach Angaben für EBS aus MPS). Aus der Gegenüberstellung wird nochmals die unterschiedliche Zusammensetzung der Gewerbeabfälle deutlich, v. a. aufgrund des geringeren Kunststoffgehaltes liegen die Werte für die nicht überlassungspflichtigen Gewerbeabfälle niedriger.

In der Praxis finden sich wie geschildert Schwankungsbreiten. Um die Auswirkungen dieser Schwankungsbreiten auf die THG-Bilanz darzustellen, wird an dieser Stelle die THG-Bilanz für die überlassungspflichtigen HMG als Sensitivätsbetrachtung alternativ auch mit der Abfallzusammensetzung und den daraus ermittelten Kenndaten für die nicht überlassungspflichtigen Gewerbeabfälle gerechnet.

Abbildung 2-2 zeigt zunächst das spezifische Ergebnis für die Entsorgung von überlassungspflichtigen HMG mit der Zusammensetzung bzw. den Kenndaten wie nach (ARGUS 2009a) modifiziert (Rechenwerte). Die Lesart für die Abbildungen ist im vorangegangenen Kapitel zu Haus- und Geschäftsmüll beschrieben. Auch hier ist das Ergebnis für die verschiedenen Behandlungsverfahren wie bei Haus- und Geschäftsmüll dadurch geprägt, in welchem Umfang aus den Behandlungsverfahren EBS zur Mitverbrennung in Zement- und Kraftwerken bereitgestellt werden. Die Gründe hierfür und auch die dabei gegebenen Schwachstellen sind ausführlich in Kapitel 1.3.2 erläutert.

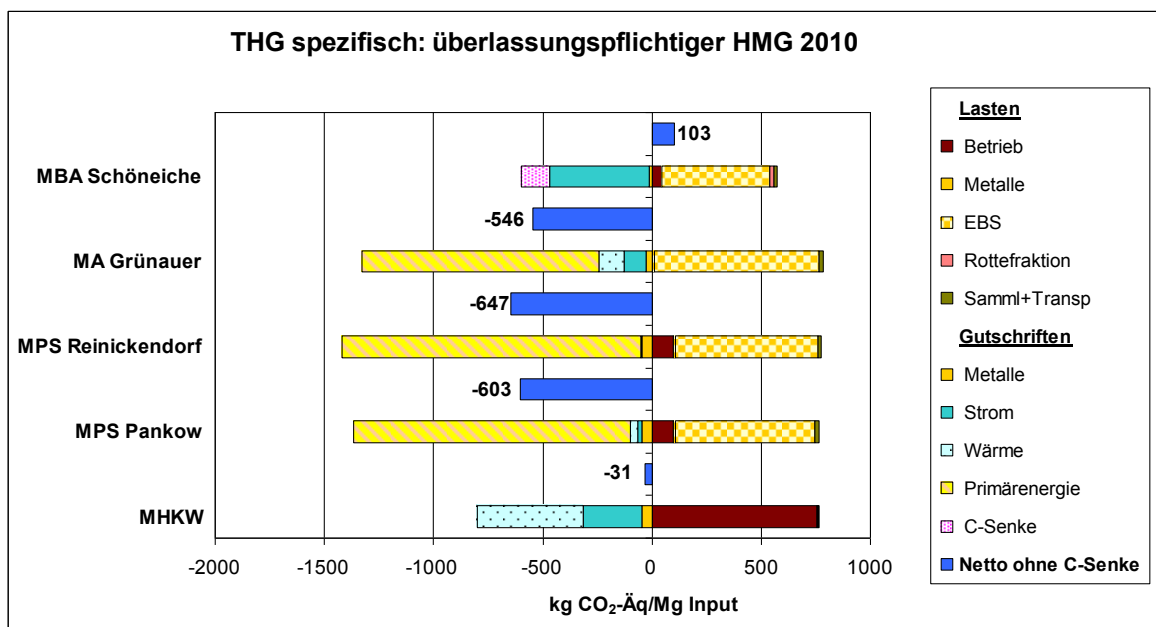


Abbildung 2-2 Spezifisches Ergebnis Entsorgung überlassungspflichtige hausmüllähnliche Gewerbeabfälle

Darüber hinaus zeigt sich im Vergleich zu den Ergebnissen für Haus- und Geschäftsmüll eine höhere Spreizung zwischen den spezifischen Ergebnissen der MPS-Anlagen und MA gegenüber MHKW und MBA. Dies ist einzig auf die andere Abfallcharakteristik zurückzuführen, die technischen Daten für die Behandlungsanlagen und die Massenbilanzen sind unverändert. Einzige Ausnahme bildet die Behandlung über MA, für die wie beschreiben angenommen wurde, dass die Rottefraktion und die „organische“ EBS-Fraktion nur beim Haus- und Geschäftsmüll anfallen.

Dennoch ist die Tendenz der spezifischen Ergebnisse analog dem Ergebnis für Haus- und Geschäftsmüll. Die höhere Spreizung hängt damit zusammen, dass ein höherer fossiler C-Gehalt in den THG-Wirkungen in keinem linearen Verhältnis zu den unterschiedlichen Gutschriften für Strom und Wärme gegenüber der Substitution von Kohle (Primärenergie) steht. Bei den hier gegebenen Kenndaten wirkt sich der höhere fossile C-Gehalt im spezi-

fischen Ergebnis – trotz höherem Heizwert – nachteilig für die Behandlung über MHKW und MBA aus.

Im gewichteten Mittel über alle Behandlungsverfahren ergibt sich das spezifische Ergebnis zu $-319 \text{ kg CO}_2\text{-Äq/Mg Abfallinput}$.

Hochgerechnet auf die hier betrachtete Menge an überlassungspflichtigem HMG, dessen Aufkommen und Verbleib, ergibt sich eine Nettoentlastung von **-7.379 Mg CO₂-Äq für das Jahr 2010**, die in die Gesamtbilanz der Abfallentsorgung in Berlin eingehen.

Der zusätzliche THG-Minderungsbeitrag, der sich durch Anrechnung der C-Senke ergeben würde, beläuft sich auf $-588 \text{ Mg CO}_2\text{-Äq}$.

Wie erwähnt, wurde für die überlassungspflichtigen HMG als Sensitivität untersucht, wie sich die Ergebnisse darstellen, wenn der überlassungspflichtige HMG die gleiche Abfallzusammensetzung hat wie der nicht überlassungspflichtige Gewerbeabfall. Das Ergebnis zeigt Abbildung 2-3. Darin wird der Einfluss der Kenndaten sehr deutlich. Mit dem geringeren fossilen C-Gehalt und geringerem Heizwert zeigt sich nunmehr, dass sich die Spreizung analog zu Haus- und Geschäftsmüll verhält, da hier ein ähnliches Verhältnis aus fossilem C-Gehalt zu Heizwert vorliegt. Im gewichteten Mittel über alle Behandlungsverfahren unterscheidet sich das spezifische Ergebnis der Sensitivitätsbetrachtung aber kaum von dem oben dargestellten, der Wert liegt bei rund $-321 \text{ kg CO}_2\text{-Äq/Mg Abfallinput}$.

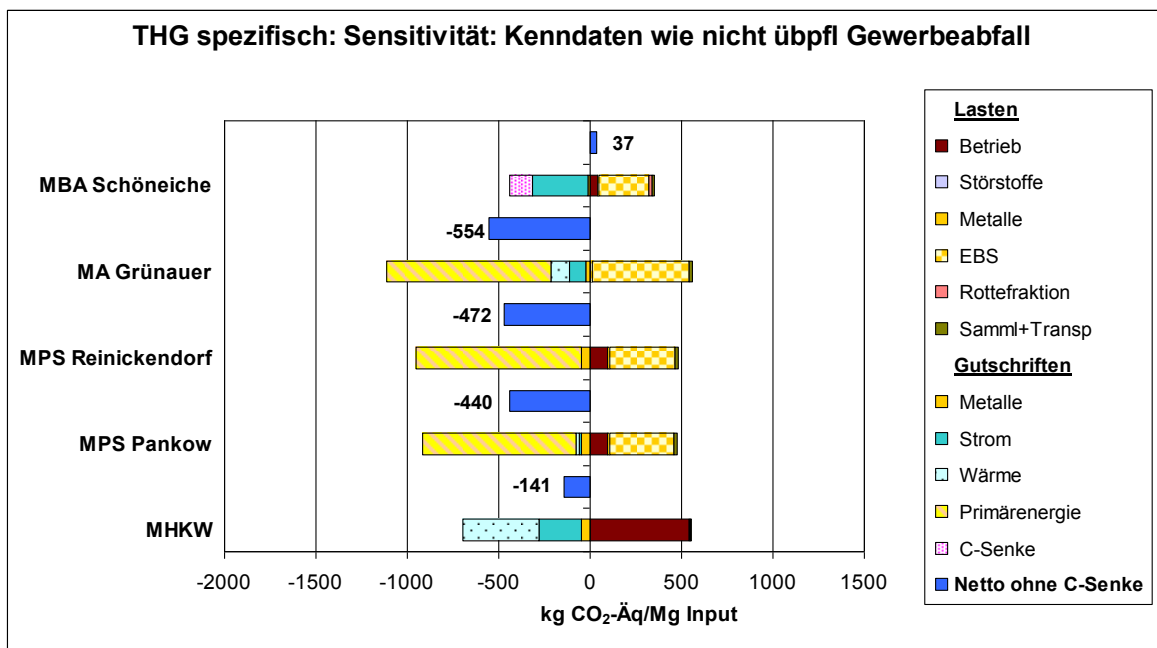


Abbildung 2-3 Sensitivität: spezifisches Ergebnis Entsorgung überlassungspflichtige HMG mit Kenndaten wie nicht überlassungspflichtige Gewerbeabfälle

In Abbildung 2-3 wurde die Skalierung aus Abbildung 2-2 beibehalten. Somit werden die deutlich geringeren THG-Belastungen wegen niedrigerem C-Gehalt und die geringeren THG-Entlastungen (Gutschriften) wegen geringerem Heizwert unmittelbar ersichtlich. Dass das spezifische Ergebnis für die MA gegenüber dem in Abbildung 2-2 gezeigten weitgehend stabil bleibt, ist auf die durchgeführte Abschätzung für EBS aus der EBS-

Aufbereitungsanlage zurückzuführen. Dadurch ergeben sich Unwägbarkeiten, die aufgrund fehlender geschlossener Massen- und Energiebilanzen nicht plausibel aufgelöst werden können.

Optimierungen für die Behandlung in den derzeit genutzten Entsorgungsanlagen werden für die Potenzialanalyse nicht betrachtet. Dagegen wird angenommen, dass die überlassungspflichtigen HMG im Jahr 2020 gemeinsam mit den nicht überlassungspflichtigen Gewerbeabfällen einer entsprechend hochwertigen Verwertung zugeführt werden können. Als Abfallzusammensetzung für die HMG wird angenommen, dass diese den nicht überlassungspflichtigen Gewerbeabfällen entspricht.

Zudem wird für den Ergebnisvergleich 2020 zu 2010 für die überlassungspflichtigen HMG das Ergebnis aus der Sensitivitätsbetrachtung herangezogen, um einen zulässigen Systemvergleich zu gewährleisten. Die Betrachtung dieser Umlenkungsmaßnahme erfolgt in einem Optimierungsszenario (Kap. 4.3). Dies erfolgt aus Gründen der Übersichtlichkeit, da hier zwei – ursprünglich verschiedene – Abfallarten betroffen sind. Da für die Abfälle keine Verschiebung oder Veränderung von Abfallbestandteilen gegeben ist, besteht eigentlich keine Notwendigkeit der gesamtsystematischen Betrachtung.

Sonstige Abfallarten aus Gewerbe und Industrie

Sonstige Abfallarten aus Gewerbe und Industrie sind nach Definition der BSR „sonstige Abfälle, die keine gemischten Siedlungsabfälle sind, jedoch für eine gemeinsame Behandlung über Entsorgungsanlagen zugelassen sind“. Das in dieser Studie betrachtete Abfallaufkommen an sonstigen Abfallarten aus Gewerbe und Industrie im Jahr 2010 entspricht dem durch die Senatsumweltverwaltung berichteten (SenStadtUm 2011).

Von der Gesamtmenge in Höhe von 27.091 Mg sind 20.082 Mg bzw. 74% Krankenhausabfälle (AVV 180104) aus dem Land Berlin. Dies sind Abfälle, die hinsichtlich Infektionsprävention unbedenklich sind wie z.B. Verbände, Wäsche, Einwegkleidung und Windeln. Die Abfälle dürfen auch mit Blut, Sekreten oder Exkrementen behaftet sein, jedoch nicht mit größeren Mengen an Körperflüssigkeiten.

Aus hygienischen Gesichtspunkten ist eine Sortierung oder stoffliche Verwertung dieser Abfälle grundsätzlich zu untersagen, aus Gründen des Arbeitsschutzes sind sie ohne Vorbehandlung einer thermischen Behandlung zuzuführen. Im Jahr 2010 wurden die Krankenhausabfälle vollständig im MHKW Ruhleben behandelt. Ihr Anteil betrug 84% an den gesamten dort behandelten sonstigen Abfallarten aus Gewerbe und Industrie. Bei den weiteren sonstigen Abfallarten aus Gewerbe und Industrie handelt es sich um kleinere Mengenströme (< 1.000 Mg) wie v. a. Farben, Klebstoffe, Kunststoffspäne, etc. (BSR 2011, S.15).

Der Verbleib der sonstigen Abfallarten aus Gewerbe und Industrie ist in (BSR 2011) dokumentiert. Auch hier mussten die Einzelmengen zu den MPS-Anlagen sowie zu MA und MBA prozentual aus den gesamt angelieferten überlassungspflichtigen Siedlungsabfällen abgeleitet werden. Aus der Übersicht zeigt sich, dass nur geringfügige Mengen in die MPS-Anlagen verbracht wurden, diese wurden in der THG-Bilanz vernachlässigt.

Kurzsteckbrief Sonstige Abfallarten Gewerbe und Industrie		Quelle
Aufkommen:	27.091 Mg	(SenStadtUm 2011)
Verbleib:	88% MHKW Ruhleben 0,2% MPS Pankow 0,1% MPS Reinickendorf 7% MA ORS Grünauer Str. 4% MBA Schöneiche	abgeleitet aus (BSR 2011)
Kenndaten	Hu = 14,9 MJ/kg, C fossil = 19%	berechnet

Die Kenndaten für die Krankenhausabfälle wurden als Differenz aus den Angaben in (BSR 2012a) zum gesamten Abfallinput sowie zu den einzelnen im MHKW behandelten Abfallarten (vorwiegend Haus- und Geschäftsmüll) ermittelt. Für die Sammlung liegen keine spezifischen Angaben vor, daher wurde von durchschnittlichen Aufwendungen ausgegangen. Die aufgeführten Entsorgungsanlagen sind in Kapitel 2.6.1 beschrieben. Die Bilanzierung der sonstigen Abfallarten aus Gewerbe und Industrie über die MA und MBA erfolgte analog der Bilanzierung wie für überlassungspflichtige HMG.

Das spezifische Ergebnis für sonstige Abfallarten aus Gewerbe und Industrie wird nicht getrennt nach Entsorgungsanlagen ausgewertet. Aufgrund der Unterschiedlichkeit zwischen den Krankenhausabfällen, die im MHKW behandelt werden, und den sonstigen Abfällen, ist ein Vergleich nicht möglich und auch nicht zielführend.

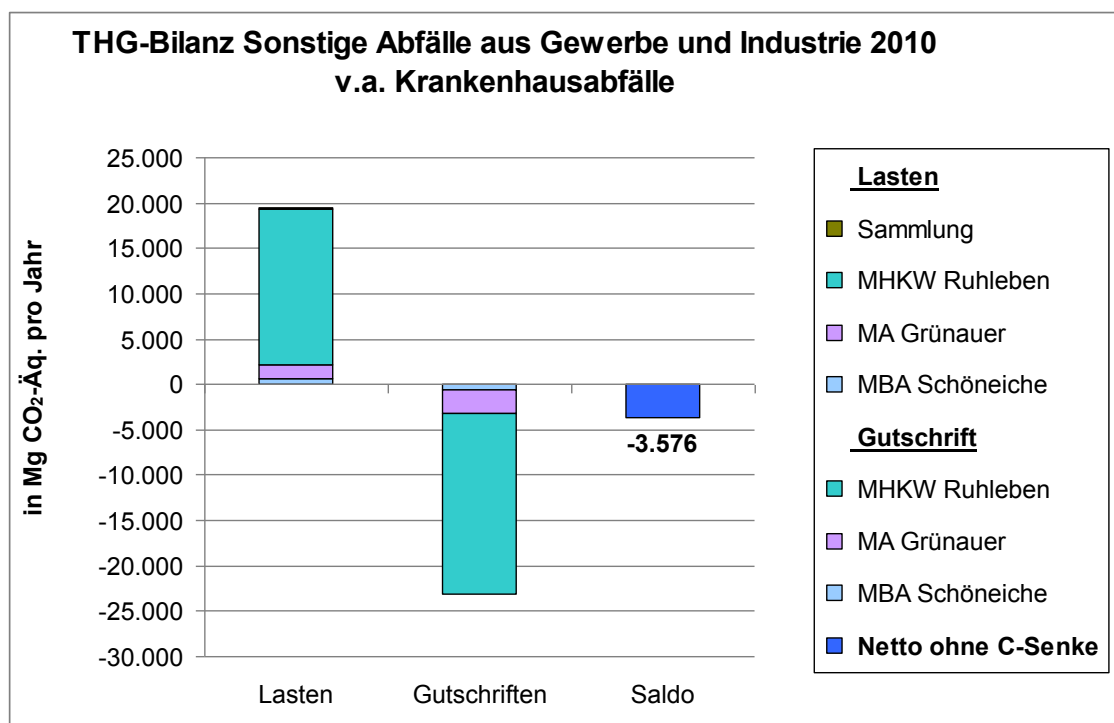


Abbildung 2-4 Absolutes Ergebnis Entsorgung sonstige Abfallarten aus Gewerbe und Industrie

In Abbildung 2-4 ist das absolute Ergebnis für sonstige Abfallarten aus Gewerbe und Industrie dargestellt. Der erste Balken nach oben zeigt die THG-Belastungen („Lasten“) aus den Behandlungsverfahren, der daneben stehende Balken nach unten die sich ergebenden THG-Entlastungen („Gutschriften“). Der „Saldo“ (Netto ohne C-Senke) entspricht der Differenz aus Be- und Entlastungen.

Für die hier betrachtete Menge an sonstigen Abfallarten aus Gewerbe und Industrie ergibt sich eine Nettoentlastung von **-3.576 Mg CO₂-Äq für das Jahr 2010**, die in die Gesamtbilanz der Abfallentsorgung in Berlin eingehen.

Optimierungen werden für die Krankenhausabfälle nicht betrachtet. Da die Abfälle nicht sortiert und stofflich verwertet werden dürfen, kommt ausschließlich eine thermische Behandlung in Frage. In der Potenzialanalyse wird das Ergebnis ausgewiesen, das sich durch die Effizienzsteigerung im MHKW Ruhleben ergibt. Zudem wird wie bei Hausmüll die Beendigung der Behandlung über die MA und die MBA einbezogen.

2.7.2 Nicht überlassungspflichtige gemischte gewerbliche Siedlungsabfälle und gemischte Bau- und Abbruchabfälle

Nicht überlassungspflichtige gemischte gewerbliche Siedlungsabfälle und gemischte Bau- und Abbruchabfälle werden gemeinsam erläutert, da beide Stoffströme im gewerblichen Bereich anfallen, von der stofflichen Zusammensetzung ähnlich sind sowie in der Regel gleiche Entsorgungswege über Sortieranlagen zur Separierung von Wertstoffen und Reststoffen zur stofflichen und energetischen Verwertung aufweisen. Die Ermittlung des Aufkommens und Verbleibs der nicht überlassungspflichtigen gemischten gewerblichen Siedlungsabfälle und gemischten Bau- und Abbruchabfälle erfolgte durch mehrere Recherchen, die nachfolgend erläutert sind. Im Kurzsteckbrief sind die ermittelten Mengen der durchgeführten Sonderabfrage aufgeführt.

Kurzsteckbrief nicht überlassungspflichtige gemischte gewerbliche Siedlungsabfälle und gemischte Bau- und Abbruchabfälle		Quelle
Aufkommen:	347.276 Mg	Auswertung Sonderabfrage bei Vorbehandlungsanlagen in Berlin und Brandenburg (Anhang C)
Output:	312.944 Mg (Diff. Verbleib n.b.)	
Verbleib:	siehe Abbildung 2-6	
Kenndaten	Hu = 12,3 MJ/kg FS, C fossil = 14,4% FS	berechnet

Vorgehen Bestandsaufnahme

Nicht überlassungspflichtige Abfälle werden nicht über die Abfallbilanz der BSR erfasst. Um das Aufkommen und den Verbleib dieser Abfälle zu ermitteln, wurden zunächst die 30 Abfallberichte der Vorbehandlungsanlagen in Berlin ausgewertet.

In den Abfallberichten werden jegliche über diese Anlagen angenommenen und abgegebenen Abfälle tabellarisch dokumentiert. Insgesamt wurden an diesen Anlagen im Jahr 2010 rund 650.000 Mg Abfälle angenommen und aufbereitet. Von dieser Menge waren

101.349 Mg nicht überlassungspflichtige gemischte gewerbliche Siedlungsabfälle sowie 112.342 Mg gemischte Bau- und Abbruchabfälle.

Gegenüber dem Input sind diese beiden relevanten Abfallarten im Output deutlich reduziert, da sowohl eine Separierung von Wertstoffen als auch korrekterweise eine Umschlüsselung nach der mechanischen Behandlung erfolgt. Dieser Sachverhalt ließ keine Schlüsse darüber zu, wie die Verteilung der nicht überlassungspflichtigen gemischten gewerblichen Siedlungsabfälle und gemischten Bau- und Abbruchabfälle auf die Outputfraktionen erfolgt. Eine genauere Dokumentation des ersten Ansatzes zur Bestandsaufnahme findet sich im Zwischenbericht.

Damit erwies sich die Auswertung der Abfallberichte der Vorbehandlungsanlagen zur Ermittlung von Aufkommen und Verbleib der nicht überlassungspflichtigen gemischten gewerblichen Siedlungsabfälle und gemischten Bau- und Abbruchabfälle als nicht zielführend. Zudem stand zu vermuten, dass nennenswerte Anteile dieser beiden in Berlin anfallenden Abfallarten direkt zu Vorbehandlungsanlagen ins Brandenburger Umland verbracht werden.

Daher wurden zunächst stichprobenartig sowohl kleine als auch große Transportunternehmen (Containerdienste) im Großraum Berlin kontaktiert, inwiefern sie relevante Mengen an diesen beiden Abfallarten aus Berlin ohne Vorbehandlung direkt nach Brandenburg transportieren. Des Weiteren wurde das Amt für Statistik Berlin-Brandenburg mit der Bitte nach differenzierten Daten zu Herkunft und Verbleib dieser Abfälle angefragt.

Aus der Abfrage der Containerdienste ergab sich, dass relevante unaufbereitete Mengen direkt zu Brandenburger Anlagen verbracht werden. Die Anfrage beim Amt für Statistik nach differenzierteren Daten konnte nicht positiv beschieden werden, da eine differenzierte Übermittlung von Daten nach AVV Untergruppen aus Gründen des Datenschutzes nicht möglich war.

Um belastbare Angaben über das tatsächliche Aufkommen im Land Berlin, die Wertschöpfung und über den Verbleib der Outputstoffströme zu erhalten, wurde in Folge eine Sonderabfrage ausschließlich zu den beiden Abfallarten bei Betreibern von Vorbehandlungs- und Umschlaganlagen in Berlin und Brandenburg durchgeführt.

Mittels eines Fragebogens wurden Input- und Outputströme sowie der Verbleib der Outputstoffströme (Name und Standort der angelieferten Entsorgungsanlage) abgefragt. Die einzelnen abgefragten Input- und Outputstoffströme sind in Tabelle 2-7 aufgeführt.

Insgesamt wurde der Fragebogen an 17 Berliner und 12 Brandenburger Vorbehandlungsanlagen versendet, die sich alle an der Abfrage beteiligten. Der Rücklauf der Sonderabfrage wurde vom IFEU in eine Exceldatei überführt, die als Matrix für künftige Abfragen dienen kann. Die Eingabemaske für die einzelnen Anlagen zeigt Abbildung 2-5. Die darin eingetragenen Mengen werden über Verknüpfungen automatisch zusammengefasst. Die im Weiteren im Detail vorgenommene Auswertung des Verbleibs nach Outputfraktionen und Einzelanlagen muss allerdings bei Bedarf händisch angepasst werden.

Tabelle 2-7 In Sonderabfrage abgefragte Input- und Outputstoffströme

Input	Output
Gemischte Siedlungsabfälle (200301) und gemischte Bau- und Abbruchabfälle (170904)	Nach Aufbereitung: - Wertstoffe (prozentualer Anteil Kunststoffe, Papier/Pappe/Kartonagen, Holz, Metalle, Mineralische Fraktion, weitere Wertstoffe) - Brennstoffe (191210) - Sortierreste (191212) zu Sortieranlagen - Sortierreste (191212) zur thermischen Beh. - Sortierreste (191209) zur Verwertung - Beseitigung
Gemischte Siedlungsabfälle (200301)	Ohne Sortierung: - zur Sortierung - zur energetischen Verwertung
Gemischte Bau- und Abbruchabfälle (170904)	Ohne Sortierung: - zur Sortierung - zur energetischen Verwertung

Firma	Name Anlage	
Standort	Standort	
Input in t	in t	
200301 gemischte Siedlungsabfälle		
170904 gemischte Bau- und Abbruchabfälle		
Output in t	in t	Verbleib
ohne Aufbereitung		
200301 Sortierung/Aufbereitung		
200301 energetische Verwertung		
170904 Sortierung/Aufbereitung		
170904 energetische Verwertung		
nach Aufbereitung		
Wertstoffe		
		Anteil
Kunststoffe	0	
PPK	0	
Holz	0	
Metalle	0	
mineralische Fraktion	0	
weitere Wertstoffe	0	
Differenz Wertstoffe	0	#DIV/0!
191210 Brennstoffe zur energ. Verw.		
191212 Sortierreste zu Sortieranlagen	0	
191212 Sortierreste zur energ. Verw.	0	
191209 Sortierreste zur Verwertung	0	
Beseitigung		
Input-Output-Check	0	#DIV/0!
"Wertschöpfung"	#DIV/0!	
Abschätzung Aufkommen in t/a		
200301 gemischte Siedlungsabfälle		
170904 gemischte Bau- und Abbruchabfälle		
Anmerkungen		

Abbildung 2-5 Eingabemaske für Auswertung Sonderabfrage

Im Ergebnis der Sonderabfrage ergibt sich eine Differenz zwischen Input- und Outputmenge (vorwiegend Zwischenlagerung), für die kein Verbleib angegeben wurde. Für diese wurde für die THG-Bilanz eine Gleichverteilung auf die Outputfraktionen angenommen.

Prozentual ergibt sich aus der Auswertung folgende Verteilung:

- 27,7% EBS (20% EBS-Aufbereitung)
- 11,9% Sortierreste (Mineralien)
- 10,9% gemischte Bau- und Abbruchabfälle
- 9,6% Mineralische Fraktion
- 9,4% Sortierreste zur energetischen Verwertung
- 6,5% Holz
- 6,4% gemischte gewerbliche Siedlungsabfälle
- 6,1% Sortierreste zur Sortierung
- 5,5% Beseitigung
- 2,5% Metalle
- 1,7% Kunststoffe
- 1,7% PPK
- 0,1% weitere Wertstoffe

In nachfolgender Abbildung werden die beschriebenen Stoffflüsse in anschaulicher Weise dargestellt.

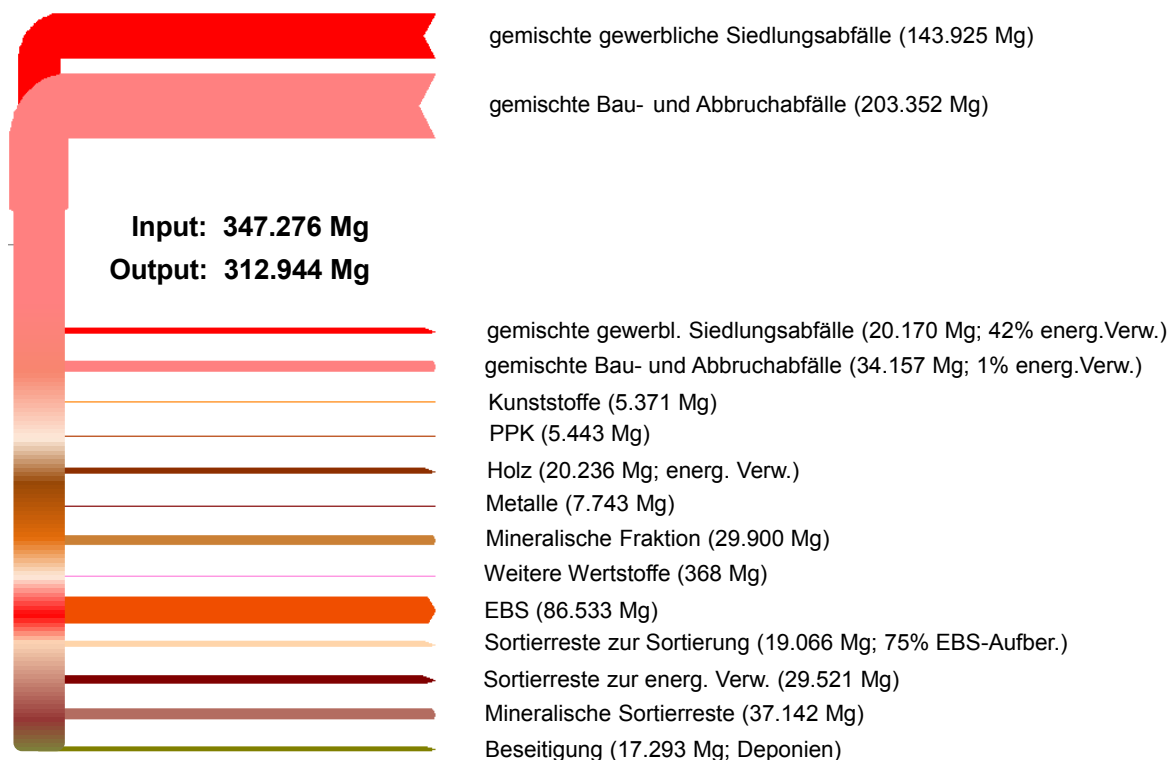


Abbildung 2-6 Sankeydarstellung Zusammenfassung Ergebnis Sonderabfrage

Aus Abbildung 2-6 wird deutlich, dass es durch die Vorbehandlung der Abfälle zu einer Diversifizierung der Inputmengen kommt. Insgesamt gingen die aussortierten Stoffströme

aus den insgesamt 29 Vorbehandlungsanlagen zu einer Vielzahl von thermischen Anlagen, weiteren Sortieranlagen, Deponien, Ablagerungen sowie Verfüllungen von Abgrabungen.

Hauptmenge im Output bilden die EBS. Zusammen mit den Sortierresten zur energetischen Verwertung sowie den Anteilen an gemischten gewerblichen Siedlungsabfällen, die zu einem Anteil von 42% direkt zur energetischen Verwertung gehen, nehmen die Outputmengen zur energetischen Verwertung knapp 40% des Inputs ein.

Eine weitere große Outputgruppe stellen die mineralischen Outputfraktionen dar. In Summe nehmen die mineralische Fraktion und die Sortierreste (Mineralien) einen Anteil von rd. 21,5% am Input ein. Werden auch die mineralischen Abfälle zur Beseitigung, die zu Deponien gehen, hinzugerechnet, sind es 27%.

Der Anteil der aussortierten Wertstofffraktionen Kunststoffe, PPK, Metalle und Holz an der Inputmenge beläuft sich auf 12,4%. Dieser Wert liegt etwas höher als nach derzeitigem Wissenstand für die Wertschöpfung von Sortieranlagen bekannt ist. Bisher wird davon ausgegangen, dass bei der Sortierung (Gewerbeabfallsortieranlagen) typischerweise 5% bis 10% Wertstoffe aussortiert werden, der Rest sind EBS-Fraktion (ca. 70%) und sonstige Reste.

Bei Betrachtung der weiteren Outputfraktionen zur Sortierung zeigt sich, dass die Abfälle überwiegend zu EBS-Aufbereitungsanlagen gelangen. 58% der gemischten gewerblichen Siedlungsabfallmenge zur Sortierung werden zu 85% in EBS-Aufbereitungsanlagen konfektioniert. Bei anfallenden Sortierresten zur weiteren Sortierung wird dieser Entsorgungsweg zu 75% genutzt. Die verbleibenden Mengen gehen zu weiteren Sortieranlagen. Die gemischten Bau- und Abbruchabfälle, die nicht sortiert wurden (34.157 Mg), gehen zu 1% in die energetische Verwertung. Dieser Anteil wurde in der THG-Bilanz vernachlässigt und von einer vollständigen Verbringung zur weiteren Sortierung (Bauabfallsortieranlagen) ausgegangen.

Abschließend verbleiben 5,7% der Mengen zur Sortierung, die zu weiteren Sortieranlagen gehen. Dabei handelt es sich um die verbliebene Menge aus den gemischten gewerblichen Siedlungsabfällen zur Sortierung und den Sortierresten zur Sortierung nach Abzug der o.g. Mengen, die zu EBS-Aufbereitungsanlagen gehen. Da der weitere Entsorgungsweg dieser Abfälle nicht bekannt ist, wurde in der THG-Bilanz davon ausgegangen, dass diese Menge abschließend ebenfalls für eine energetische Verwertung aufbereitet wird.

Damit beläuft sich in Summe mit den o.g. zur energetischen Verwertung ausgewiesenen Abfällen der Anteil am Input, der energetisch verwertet wird, auf insgesamt rund 50%.

Insgesamt ergibt sich aus dieser Analyse folgendes Bild (gerundete Werte):

- 50% energetische Verwertung
- 27% mineralische Fraktionen (inkl. Beseitigung) zu Ablagerung, Verfüllung
- 11% Bau- und Abbruchabfälle zur Aufbereitung (vermutl. für Baumaßnahmen)
- 12% Wertstoffe zur Verwertung

Zur Ermittlung der THG-Bilanz wurde wie folgt vorgegangen:

Die in der Auswertedatei anlagenspezifisch abgebildeten Outputstoffströme wurden – wie oben geschildert – nach Art des Verbleibs zusammengefasst. Ein Anteil der nicht überlassungspflichtigen gemischten gewerblichen Siedlungsabfälle von 30.629 Mg wird in der MPS Reinickendorf vorbehandelt. Dieser Anteil wurde in der THG-Bilanz separat bilanziert, da es sich bei der mechanisch-physikalischen Trocknung um ein anderes Verfahren handelt als bei einer Sortierung. Eine Beschreibung zur MPS findet sich im Kapitel 2.6.1. Möglich ist eine separate Betrachtung, da für die über diese Anlage mitbehandelte Menge eine Massenbilanz vorliegt und Kenndaten abgeleitet werden konnten (Tabelle 2-6).

Für die verbleibende Menge wurde eine einheitliche, durchschnittliche Bilanzierung vorgenommen. Die anteilig energetisch verwertete Outputmenge geht zu 32% zunächst zu einer weitergehenden EBS-Aufbereitung, i.d.R. zur EBS-Aufbereitungsanlage in Wilmersdorf. Dort werden EBS üblicherweise für den Einsatz im Zementwerk Rüdersdorf aufbereitet. Die verbleibenden 68% gehen direkt zu verschiedenen thermischen Behandlungsanlagen. Aus den anlagenspezifischen Angaben wurde folgender Verbleib abgeleitet⁹:

- 6% Einsatz in Zementwerken
- 7% Einsatz in Braunkohlekraftwerken
- 87% Einsatz in 10 verschiedenen EBS-Kraftwerken

Diese Aufteilung wurde für die THG-Bilanz verwendet. Die Anlieferungen an die 10 verschiedenen EBS-Kraftwerke wurden zusammengefasst und entsprechend dem Durchschnitt für EBS-Kraftwerke in Deutschland bilanziert (Öko-Institut/IFEU 2010).

Für die gemischten Bau- und Abbruchabfälle wurde eine vollständige stoffliche Verwertung als mineralische Fraktion in baulichen Maßnahmen auf Deponien, Tagebauen etc. angenommen, da davon ausgegangen wird, dass dieser Sortieranteil der gemischten Bau- und Abbruchabfälle vollständig aus mineralischen Stoffen besteht (s. nächsten Abschnitt). In der THG-Bilanz ist diese Menge analog dem Vorgehen bei den mineralischen Abfällen mit Null bewertet. Auch die mineralischen Fraktionen, die zu Altablagerungen, Verfüllungen und Deponien gehen, sind in der THG-Bilanz bis auf eine Ausnahme konsistent mit Null bewertet. Die Ausnahme bilden die Sortierreste (191209, Mineralien) (s.u.).

Für die aussortierten Wertstoffe Kunststoffe, PPK und Metalle wurde eine stoffliche Verwertung bilanziert. Für PPK wurden zur Bewertung die gleichen Emissionsfaktoren herangezogen wie für die getrennt erfasste PPK-Menge (Kap. 2.11.1). Die Emissionsfaktoren zur Bewertung der Kunststoffverwertung wurden – abweichend zur Bilanzierung für die Kunststofffraktion aus LVP in Kapitel 2.11.3 – (Prognos/IFEU/INFA 2008) entnommen, da hier davon auszugehen ist, dass es sich aufgrund der gewerblichen Herkunft mehrheitlich nicht um die typische Zusammensetzung handelt, wie sie in LVP gegeben ist. In (Prognos/IFEU/INFA 2008) wurden auch gewerbliche Herkünfte analysiert und daraus seitens Prognos eine Aufteilung der Kunststofffraktion in Anteile PE/PP, PET, PVC, PS und Mischkunststoffe vorgenommen. Die dafür durch das IFEU abgeleiteten Emissionsfaktoren wurden hier verwendet.

⁹ Darin nicht berücksichtigt sind die Mengen, die aus der MPS Reinickendorf zum Zementwerk Rüdersdorf und zum Kraftwerk Jänschwalde gingen, da diese separat bilanziert sind.

Für Metalle zur Verwertung ist nicht bekannt, zu welchen Anteilen diese aus Fe- oder NE-Metallen bestehen. Für die Bilanzierung wurde vereinfacht angenommen, dass es sich zu 100% um Fe-Schrott handelt. Des Weiteren wurde konsistent zur sonstigen Bewertung der Metallverwertung (z.B. Metalle aus MPS, MA, MBA) ein Abschlag für die aus der Metallfraktion sortenrein erzeugbaren Sekundärmetalle angesetzt, da auch hier davon auszugehen ist, dass sich an den aussortierten Metallen noch anhaftende Störstoffe befinden. Die Ausbeute für Eisen wurde analog zu den aus MPS-Anlagen, MA und MBA aussortierten Metallen mit 62% angesetzt.

Aussortiertes Holz geht zur energetischen Verwertung. Eine genaue Analyse zum Verbleib von Altholz aus dem Land Berlin findet sich im Kapitel 2.17. Aus dieser Analyse liegt ein Verteilschlüssel vor, nach dem zugeordnet werden kann, zu welchen Anteilen Holz aus Berlin zu welchen Biomasse-HKW gelangte. Dieser Verteilschlüssel wurde hier in der THG-Bilanz verwendet.

Sortierreste (191209, Mineralien)

Im Ergebnis der Auswertung der Sonderabfrage wurden Sortierreste (191209) im Jahr 2010 folgendermaßen entsorgt:

- 51% Deponien
- 19% Verwertung Altablagerung (Großziethen)
- 23% Verfüllungen (Sand- und Kiesgruben)
- 7% zu weiteren Sortieranlagen

Wie oben erwähnt wurde der Verbleib der Sortierreste (191209) in der THG-Bilanz nicht wie bei allen anderen mineralischen Outputfraktionen mit Null bewertet. Hintergrund sind Untersuchungen des Landes Sachsen-Anhalt zur Abgrenzung der Abfallschlüssel 191212 (Sonstige Abfälle) und 191209 (Mineralien, z.B. Sand, Steine), nach denen die untersuchten Outputstoffströme von Vorbehandlungsanlagen aufgrund ihrer qualitativen Zusammensetzung eigentlich nicht als Abfall mit der Abfallschlüsselnummer 191209 eingestuft werden können.

Auch Untersuchungen aus Baden-Württemberg bestätigen diesen Sachverhalt¹⁰. In der zitierten Untersuchung für das Land Sachsen-Anhalt (u.e.c 2010) wurde ermittelt, dass in der Sortierfraktion „Mineralien“ noch nennenswerte nicht-mineralische Anteile enthalten sind. Danach lag der nicht-mineralische Anteil in 191209 im Jahr 2003 zwischen 6% und 50%. Nach Aussage in (u.e.c. 2010) ist dies der Behandlungsart geschuldet: „bei Abfallgemischen kann durch mechanische Aufbereitungstechnik wie z.B. Siebung keine rein mineralische Fraktion entstehen. Der gemessene Glühverlust besteht keineswegs nur aus Kunststoffen oder anderen nicht abbaubaren Komponenten, sondern auch aus biologisch abbaubarer Organik.“ In (u.e.c. 2010) ebenfalls bestimmt wurden der TOC und die Gasbildungsrate in Siebfraktionen. Für die THG-Bilanz wurde aus obiger Bandbreite im Mittel angenommen, dass insgesamt 25% der Sortierreste (191209) hohe nicht-mineralische Anteile aufweisen. Zur Bilanzierung in dieser Studie wurden die Mittelwerte aus (u.e.c. 2010) verwendet:

¹⁰ Mitteilung SenStadtUm Email 3.11.11, Übermittlung des Entwurfs zu „Vorgaben zur Einstufung von Abfallschlüsselnummer 191209 und 191212 bei Vorbehandlungsanlagen im Land Berlin“, Stand 16.3.10

TOC = 18,6%, GB21 = 34,3 l/kg TS

Anhand dieser Werte wurde eine Methangasbildung und -freisetzung aus der Ablagerung dieser Abfälle berechnet, ebenso wie die ebenfalls durch die Ablagerung des organischen Materials ermittelte C-Senke, die auch hier nachrichtlich ausgewiesen ist.

Kenndaten Abfallfraktionen

Zur Ermittlung der Kenndaten für die **nicht überlassungspflichtigen gemischten gewerblichen Siedlungsabfälle** und die gemischten Bau- und Abbruchabfälle wurde für erstere die Zusammensetzung nach (UBA 2011a) herangezogen. Die entsprechende Zusammensetzung ist in Tabelle 2-5 aufgeführt. Die im Weiteren aus der Zusammensetzung für diese Abfälle und für daraus erzeugte EBS nach Aufbereitung (Wilmersdorf) abgeleiteten Kenndaten – Heizwert und fossilen C-Gehalt – zeigt Tabelle 2-6. Eine Beschreibung des Vorgehens zur Ableitung der Kenndaten findet sich in den Kapiteln 2.6.2 und 2.7.1.

Für **gemischte Bau- und Abbruchabfälle** wurden die Angaben in (Kanthak 2001) ausgewertet. Danach bestehen gemischte Bau- und Abbruchabfälle im Land Berlin in der Regel zu 75% aus mineralischen Stoffen. Des Weiteren sind 11% Wertstoffe und 14% Reststoffe (v.a. Holz, Kunststoffe, Teppiche, sonstige) enthalten. Die Summe der zur weiteren Verwertung abgegebenen Sortierreste lag im Untersuchungszeitraum zwischen 6% und 12%. Für diese Sortierreste wurden Heizwerte abgeschätzt. Dabei wurden die Sortierreste im Weiteren unterschieden nach ihrer Anfallart in Reste aus händischer Sortierung, aus Baggersortierung und aus Windsichtung (Leichtfraktion). Die Heizwerte dieser Sortierfraktionen wurden wie folgt eingeschätzt:

- Baggersortierreste im Bereich 13,8 bis 24 MJ/kg
- Handsortierreste im Bereich 11,4 bis 17,4 MJ/kg
- Windsichter-Leichtfraktion >> 14 MJ/kg

Der hohe Wert bei Baggersortierresten resultiert aus einem ungewöhnlich hohen Anteil an Teppichböden und der kleinste Wert bei Handsortierrest aus einem recht hohen Anteil an Holz-Mineral-Verbunden (Fliesen auf Spanplatten). Aus den Angaben in (Kanthak 2001) kann allerdings kein durchschnittlicher Heizwert für Sortierreste abgeleitet werden, da für die Einzelanlagen keine Inputmengen angegeben sind und für den Sortierrestanfall nur Prozentwerte. Damit kann kein gewichtetes Mittel berechnet werden. Schätzungsweise könnte der Heizwert zwischen 12 und 18 MJ/kg liegen.

Dieser Wert kann allerdings nicht den aus der Auswertung ermittelten Sortierrestmengen zugeordnet werden, da diese sich auch aus der Behandlung des gemischten Siedlungsabfalls ergeben. Welche Anteile aus welchem Abfall stammen, lässt sich nicht ermitteln und kann auch von den Betreibern der Vorbehandlungsanlagen nicht beantwortet werden. Dies ist umgekehrt auch der Grund dafür, dass für Sortierreste aus gemischten Siedlungsabfällen keine neue Zusammensetzung berechnet werden kann. Hinzu kommt, dass zu einem abgeschätzten Heizwert auch ein fossiler C-Gehalt geschätzt werden müsste.

Insofern wurde als konservative Näherung für die THG-Bilanz davon ausgegangen, dass aussortierte EBS und Sortierreste zur direkten energetischen Verwertung – unabhängig davon, ob sie aus dem gemischten Bau- und Abbruchabfall oder dem gemischten Siedlungsabfall stammen, – gegenüber dem gemischten Siedlungsabfallinput unveränderte

Kenndaten aufweisen. Für die Outputstoffströme, die zunächst zu einer EBS-Aufbereitung gehen, wurden analog die für nicht überlassungspflichtigen gemischten gewerblichen Siedlungsabfall ermittelten Werte verwendet (Tabelle 2-6).

Ergebnis THG-Bilanz

Das spezifische Ergebnis der THG-Bilanz für die nicht überlassungspflichtigen gemischten gewerblichen Siedlungsabfälle und gemischten Bau- und Abbruchabfälle ist in Abbildung 2-7 vergleichend für die Behandlung über die Vorbehandlungsanlagen sowie für die Behandlung über die MPS Reinickendorf dargestellt.

Auch hier ist das spezifische THG-Ergebnis wesentlich von dem Umfang geprägt, zu dem Sortierfraktionen zur energetischen Verwertung in eine Mitverbrennung in Zement- und Kraftwerke gelangen. Dies ist bei der Behandlung über die MPS zu 98% der Fall bei einem EBS Austrag von knapp 59%. Dagegen ergibt sich dieser Anteil im Mittel bei der Behandlung über die sonstigen Sortieranlagen nur zu 41% bei einem Anteil zur energetischen Verwertung von 44%. Aussortiertes Holz, das ebenfalls energetisch verwertet wird, geht nach dem Verteilschlüssel für den Verbleib von Altholz (Kap. 2.17) ausschließlich in Biomasse-HKW zur Strom- und Wärmeerzeugung.

Außer Metallen werden bei der Behandlung in der MPS keine Wertstoffe ausgeschleust. Die bei der Behandlung über Sortieranlagen aussortierten PPK und Kunststoffe sind in der Abbildung unter „andere Wertstoffe“ subsummiert. Der Beitrag von diesen zum Ergebnis ist allerdings gering. Da mit 3,4% PPK und Kunststoffen auch nur geringe Mengen aussortiert werden, trägt deren Verwertung kaum zum spezifischen THG-Ergebnis bei.

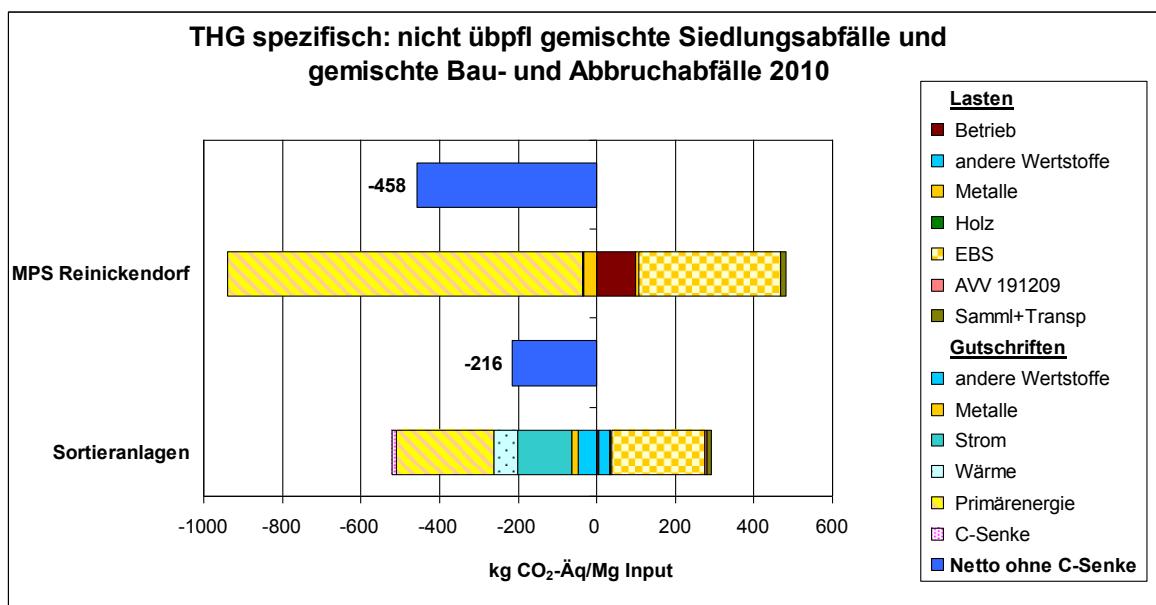


Abbildung 2-7 Spezifisches Ergebnis Entsorgung nicht überlassungspflichtige gemischte Siedlungsabfälle und gemischte Bau- und Abbruchabfälle

Die sich aus der Ablagerung der Sortierreste (191209) ergebenden Methanemissionen durch die nicht-mineralischen Anteile sind in Abbildung 2-7 unter „AVV 191209“ ausgewiesen. Es zeigt sich, dass sowohl diese, als auch die für die Ablagerung des organi-

schen Materials ermittelte C-Senke, aufgrund des geringen Mengenanteils von < 3% der Inputmenge kaum einen Einfluss auf das Ergebnis haben. Dennoch wird für die Potenzialanalyse aufgenommen, dass diese Abfälle mit hohen TOC-Gehalten vor einer Ablagerung über MBA behandelt werden müssen. Dies entspricht auch den rechtlichen Vorgaben (Ablagerungskriterien Deponieverordnung).

Im gewichteten Mittel über beide dargestellten Behandlungsverfahren – die Behandlung über MPS und die Behandlung über Sortieranlagen – ergibt sich der spezifische Emissionsfaktor zu -240 kg CO₂-Äq/Mg Abfallinput.

Hochgerechnet auf die hier betrachtete Menge an nicht überlassungspflichtigen gemischten gewerblichen Siedlungsabfällen und gemischten Bau- und Abbruchabfällen von insgesamt 347.276 Mg ergibt sich eine Nettoentlastung von **-83.306 Mg CO₂-Äq für das Jahr 2010**, die in die Gesamtbilanz der Abfallentsorgung in Berlin eingehen.

Der zusätzliche THG-Minderungsbeitrag, der sich durch Anrechnung der C-Senke ergeben würde, beläuft sich auf -3.478 Mg CO₂-Äq.

Optimierungen für die Behandlung von nicht überlassungspflichtigen gemischten gewerblichen Siedlungsabfällen und gemischten Bau- und Abbruchabfälle sind nachfolgend kurz aufgeführt. Diese werden in der Potenzialanalyse genauer erläutert.

- Steigerung der Wertstoffausbeute durch moderne Sortiertechniken.
- Steigerung der Mitverbrennung in Zement- und Kraftwerken der Sortierfraktionen zur energetischen Verwertung, wodurch direkt Kohle als Regelbrennstoff ersetzt werden kann, was zu höheren Gutschriften führt (Kap. 1.3.2). Die Eignung der Sortierfraktionen ist hierfür zu prüfen.
- Weitergehende Behandlung der Sortierreste (191209) mit nicht-mineralischen Anteilen in einer MBA zur biologischen Stabilisierung dieser Anteile.

Darüber hinaus wird ein Optimierungsszenario dargestellt (Kap. 4), in dem die im Jahr 2010 überlassungspflichtigen HMG gemeinsam mit den hier beschriebenen nicht überlassungspflichtigen gemischten gewerblichen Siedlungsabfällen und gemischten Bau- und Abbruchabfällen verwertet werden.

Die Betrachtung dieser Umlenkungsmaßnahme wird aus Gründen der Übersichtlichkeit in einem Optimierungsszenario durchgeführt, da hier zwei – ursprünglich verschiedene – Abfallarten betroffen sind.

Da für überlassungspflichtige HMG im Systemvergleich die gleiche Abfallzusammensetzung angenommen wird wie für die nicht überlassungspflichtigen, besteht eigentlich keine Notwendigkeit der gesamtsystematischen Betrachtung, da keine Verschiebung oder Veränderung von Abfallbestandteilen gegeben ist.

2.8 Klärschlamm

Klärschlamm fällt bei der biologischen Abwasserreinigung an. Für die hier durchgeführte Studie wurden zur Ableitung der zu betrachtenden Menge an Klärschlamm alle sechs von den Berliner Wasserbetrieben (BWB) betriebenen Kläranlagen einbezogen, da eine Trennung bzw. Isolierung allein der aus Berlin anfallenden Abwassermenge und der daraus resultierenden Klärschlammmenge nicht möglich ist.

Die Berliner Wasserbetriebe behandeln Berliner Abwasser in insgesamt sechs Kläranlagen mit einer Summenleistung von rund 240 Mio. m³/a. Angaben zu den aus diesen Anlagen anfallenden Klärschlammengen und deren Behandlung wurden von den BWB übermittelt (BWB 2011) und sind im Zwischenbericht dokumentiert.

Bei den anfallenden und behandelten Klärschlammengen ist als Besonderheit zu beachten, dass es sich dabei sowohl um ungefaulten als auch um gefaulten Klärschlamm handelt. In der THG-Bilanz müssen diese beiden unterschiedlichen Klärschlammarten getrennt betrachtet werden. Eine gemeinsame bilanzielle Betrachtung wäre nur zulässig, wenn die Bilanzgrenze für die gefaulten Klärschlämme um die Faulung erweitert würde und damit in allen Fällen die Abfallart „ungefaulter Klärschlamm“ einheitlich betrachtet werden könnte. Dies war jedoch nicht Auftrag der vorliegenden Studie. Aus diesem Grund erfolgt eine getrennte Beschreibung und Bilanzierung für ungefaulten und gefaulten Klärschlamm in den nachfolgenden beiden Unterkapiteln.

Eine Übersicht zur bilanziellen Aufteilung der Trockensubstanzmengen der insgesamt betrachteten Klärschlammengen ist in Abbildung 2-1 dargestellt. Generell handelt es sich bei den betrachteten Klärschlämme um entwässerte Klärschlämme. Aus der Abbildung geht auch der Verbleib dieser Klärschlämme hervor. Danach wird ungefaulter Klärschlamm in der Klärschlammverbrennungsanlage (KSVA) Ruhleben behandelt. Dies gilt anteilig auch für gefaulten Klärschlamm. Des Weiteren wird gefaulter Klärschlamm sowohl direkt in Kraftwerken mitverbrannt als auch nach einer zunächst erfolgenden Trocknung. Gefaulte und gefaulte, getrocknete Klärschlämme können gemeinsam bewertet werden, insofern die Bilanzgrenze die Trocknung umfasst und die Ergebnisse sich auf die gleiche Bezugsgröße beziehen. Dies wurde in der vorliegenden Studie beachtet.

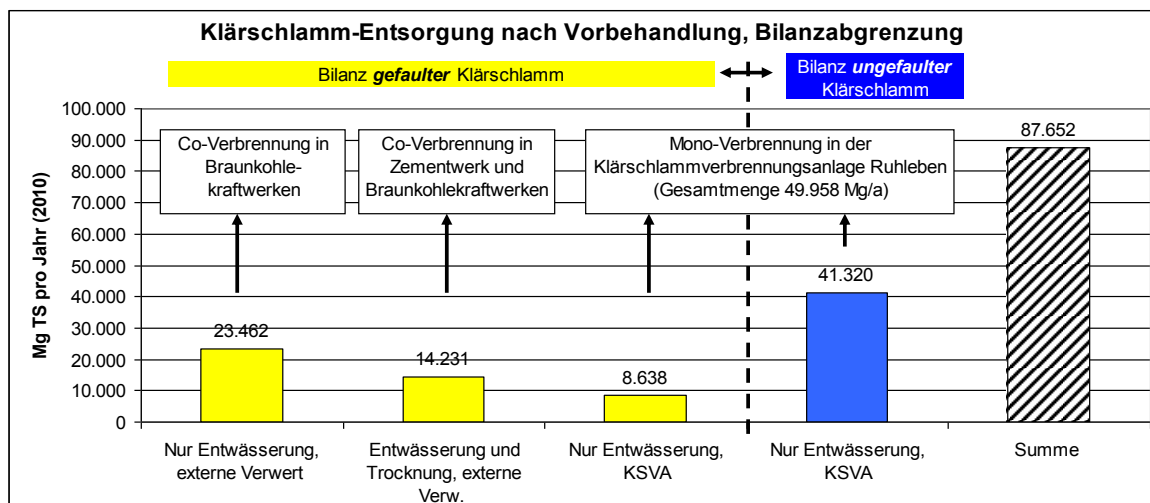


Abbildung 2-8 Zuordnung des Klärschlamms auf die Bilanzbereiche

Eine Übersicht zu den Kenndaten der in dieser Studie betrachteten Klärschlämme zeigt Tabelle 2-8. Die TS-Gehalte wurden aus den Mengenangaben der BWB abgeleitet. Die Heizwerte wurden basierend auf abgeschätzten oTS-Gehalten und einem Heizwert für die aschefreie Trockensubstanz von 22,2 MJ/kg berechnet.

Tabelle 2-8: Kenndaten des aus Berliner Abwasser erzeugten Klärschlamm

Klärschlamm-Kenndaten		Gefaulter Klärschlamm		Ungefaulter Klärschlamm aus Ruhleben	Klärschlamm-input KSVA Ruhleben *)
Parameter	Einheit	entwässert	getrocknet	entwässert	entwässert
TS-Gehalt	% FS	25,5%	93,9%	25,7%	25,7%
oTS-Gehalt	% TS	66%	66%	76%	74%
Hu der TS	MJ/kg	14,8	14,8	17,0	16,7
Hu der FS	MJ/kg	2,0	13,6	2,5	2,4
Hu der FS	kWh/kg	0,55	3,78	0,71	0,68
Jahresmenge	Mg/a	92.061	15.154	160.561	194.397
*) Mischung aus 160.561 Mg/a ungefaultem und 33.836 Mg/a gefaultem Klärschlamm					

Der gefaulte Klärschlamm weist durch den vorausgegangenen Abbau der organischen Substanz (oTS) in der Faulung einen geringeren oTS-Gehalt (66% TS) und Heizwert (2,0 MJ/kg FS) auf als der ungefaulter Klärschlamm mit einem oTS-Gehalt von 76% bezogen auf die Trockensubstanz und einem Heizwert von 2,5 MJ/kg bezogen auf die Frischmasse.

2.8.1 Ungefaulter Klärschlamm

Ungefaulter Klärschlamm fällt ausschließlich aus der Abwasserbehandlung der Kläranlage Ruhleben an. Dieser Schlamm wird vollständig in der benachbarten Mono-Klärschlammverbrennungsanlage (KSVA) Ruhleben behandelt. Das Klärwerk Ruhleben verfügt ebenfalls über Faulbehälter, diese werden jedoch seit Inbetriebnahme der KSVA nicht mehr dafür verwendet, sondern als Klärschlamm-puffer vor der Entwässerung genutzt.

Aufkommen und Verbleib des ungefaulten Klärschlamm zeigt nachfolgende Übersicht. Die darin angegebenen Kenndaten für ungefaulten Klärschlamm wurden berechnet bzw. abgeschätzt (s.o.).

Kurzsteckbrief ungefaulter Klärschlamm		Quelle
Aufkommen:	41.320 Mg Trockensubstanz, 160.561 Mg Frischsubstanz	(BWB 2011)
Verbleib:	KSVA Ruhleben	
Kenndaten	Hu = 2,5 MJ/kg FS, TS = 25,7% FS, oTS = 76% TS	berechnet

Neben ungefaultem Klärschlamm nimmt die KSVA Ruhleben auch gefaulten Klärschlamm zur thermischen Behandlung an. Im Jahr 2010 war dies eine Menge von 8.638 Mg Trockensubstanz bzw. rd. 33.836 Mg/a gefaultem Klärschlamm¹¹ aus anderen Kläranlagen.

¹¹ Nach BWB-Angaben liegt die bei der KSVA angenommene Menge in 2010 um 59 Mg unter der an die KSVA gelieferten. Die Differenz wird als Trocknungsverlust beim Transport des gefaulten Klärschlamm gewertet. Festwert aller Berechnungen sind die TS-Mengen. Durch die begrenzte Anzahl ausgewiesener Nachkommastellen können sich bei Nachberechnung kleine Abweichungen z.B. in den summierten Massenbeiträgen ergeben.

Diese Menge muss wie oben erläutert in der THG-Bilanz separat betrachtet werden (nachfolgendes Kapitel). Jedoch beziehen sich alle Angaben zur KSVa auf das behandelte Inputgemisch. Damit ist es hier wie bei Haus- und Geschäftsmüll erforderlich, die verfügbaren Messdaten für die KSVa den beiden verschiedenen Klärschlammarten zuzuordnen. Dies betrifft zum einen die Kenndaten für die Klärschlämme, die in Tabelle 2-8 aufgeführt sind. Zum anderen betrifft dies aber auch den Bedarf der KSVa an Heizöl bzw. die aus der thermischen Behandlung entstehenden Emissionen, soweit diese durch den Abfall bestimmt werden und für die hier durchgeführte Studie relevant sind. Bei der KSVa ist dies für N₂O-Emissionen der Fall.

Heizölbedarf und N₂O-Emissionen sind abhängig vom jeweiligen oTS-Gehalt bzw. Heizwert der Klärschlämme, die sich bei ungefaultem und gefaultem Klärschlamm unterscheiden (Tabelle 2-8). Eine Aufteilung auf die beiden Klärschlammarten entspricht einer Betrachtung als wenn diese beiden Klärschlammarten in der KSVa jeweils mono-verbrannt würden. Dies wäre in der Praxis durchaus möglich¹². Zur Ableitung der Aufteilung für die beiden Klärschlammarten wird nachfolgend zunächst die KSVa beschrieben und des Weiteren die vorgenommene Zuordnung zu den beiden Klärschlammarten basierend auf deren Kenndaten.

KSVa Ruhleben

Die Klärschlammverbrennung erfolgt bei der KSVa in einer dreisträngigen Wirbelschichtfeuerung, in die 2010 zur Stützfeuerung rund 5.400 m³ Heizöl eingespeist wurden (siehe Tabelle 2-2). Der mit einem Kesselwirkungsgrad von rund 73,8% erzeugte Dampf wird ausschließlich zur werkseigenen Stromerzeugung eingesetzt. Erzeugt wurden 2010 rund 28.000 MWh Strom.

Umgerechnet auf eine Tonne Input ergibt sich der spezifische Heizölbedarf der Klärschlammverbrennung zu rund 283 kWh/Mg Frischmasse Klärschlamminput. Der Energiegehalt des Klärschlammgemischs – bestehend aus 160.561 Mg ungefaultem Klärschlamm und 33.836 Mg gefaulter Klärschlamm – berechnet sich mit den in Tabelle 2-8 aufgeführten Kenndaten zu 671 kWh/Mg Klärschlamminput. Für die Zuordnung des Heizölbedarfs wurde angenommen, dass die aus den beiden Werten resultierende Summe des Energieinputs in die KSVa von 953 kWh/Mg Input auch bei separater Betrachtung der beiden Klärschlammarten erreicht werden muss.

Mit den jeweiligen Heizwerten des ungefaulten und des gefaulten Klärschlammes ergibt sich daraus folgender Heizölbedarf:

Ungefaulter Klärschlamm rund 255 kWh/Mg Input

Gefaulter Klärschlamm rund 413 kWh/Mg Input.

¹² Im Gegensatz zu einer Monoverbrennung einzelner Abfallfraktionen in einer MVA, weswegen für die dortige Betrachtung der Heizölbedarf nicht aufgeteilt wurde, sondern zweckbestimmt für alle Abfälle gleich angenommen wurde.

Tabelle 2-9 Kenndaten der Klärschlammverbrennungsanlage Ruhleben (nach BWB¹³)

Energieträger/-senke	Mengen Mg/a	Energie MWh/a	Anteil %	Bemerkungen
Klärschlamm	194.397	130.425	70,4	41.320 Mg TS/a ungefaulter Schlamm, TS 25,7%, Hu-TS 17 MJ/kg; 8.640 Mg TS/a gefaulter Schlamm, TS 25,7 %, Hu-TS 14 MJ/kg TS; Hu-FS (gesamt) 2,416 MJ /kg OS
Heizöl	4.644	54.954	29,6	5.400 m ³ /a; Dichte 0,860 kg/l; Hu 42,5 MJ/kg
Summe Input		185.379	100	
Dampfproduktion	157.754	146.624		p 46 bar; T 460 °C; 3.346 kJ/kg; Energiegehalt auf 0 °C bezogen
Kondensatenergie	157.754	9.903		p 0,15 bar; T 54 °C; h 226 kJ/kg; Energiegehalt auf 0 °C bezogen
Dampfproduktion netto	157.754	136.720	73,8	Kesselwirkungsgrad
Abgasverluste		48.659	26,2	
Stromproduktion aus TGA		28.256	15,2	Wirkungsgrad, bezogen auf Inputenergie
			20,7	Wirkungsgrad, bezogen auf Dampfenergie, netto
Kondensationsabwärme	Kühlwasser mit ca. 30-35 °C	108.465	58,5	Abwärmeanteil, bezogen auf Inputenergie
			79,3	Abwärmeanteil, bezogen auf Dampfenergie, netto

Insbesondere bei einer Wirbelschichtfeuerung fallen in relevantem Umfang **N₂O-Emissionen** an. Dies ist vor allem auf die Feuerraumtemperatur bei der Wirbelschichtfeuerung zurückzuführen. N₂O entsteht temperaturabhängig anteilig bei der Oxidation stickstoffhaltiger Brennstoffe. Bei hohen Feuerraumtemperaturen > 1000°C, wie sie in Prozessen der Co-Verbrennung vorliegen (Kohlekraftwerke, Zementwerke), ist die Bildungsrate von N₂O sehr gering (siehe nächstes Kapitel). Bei der Monoverbrennung in Wirbelschichtfeuerung überwiegen dagegen Feuerraumtemperaturen unter 900°C.

Abbildung 2-9 zeigt die gemessenen N₂O-Emissionen bei der Verbrennung von Klärschlamm in verschiedenen Wirbelschichtfeuerungsanlagen (ATV 1996). Im Ergebnis der Messungen zeigt sich, dass unterhalb einer Feuerraumtemperatur von 900°C Emissionen zwischen 50 und 300 mg N₂O/m³ auftreten, während bei Temperaturen über 950°C bei vergleichbaren Anlagen mit Wirbelschichtfeuerung nur noch sehr geringe N₂O-Emission gemessen werden.

Für die KSVA Ruhleben lagen im Jahre 1996 gemessene Abgaswerte für N₂O bei 100 - 200 mg N₂O/m³, bei etwa 870°C. Aktuelle Emissionsmessungen zu N₂O liegen laut BWB nicht vor. In (KZWB 2011) wurde aus dieser Bandbreite eine mittlere Fracht abgeschätzt unter der Annahme eines Abgasvolumens von 8.000 Nm³/Mg TS Klärschlamm. Nach der Emissionsbilanz 2010 der BWB sind jedoch Angaben zum spezifischen Abgasvolumen verfügbar, die in dieser Studie zur Ermittlung der N₂O-Fracht herangezogen wurden. Die entsprechenden Werte sind in Tabelle 2-10 aufgeführt. Aus den Angaben zu Abgasvolu-

¹³ Die Angabe der Heizölenergie basiert auf der Nachberechnung der 5.400 m³ Heizöleinsatz lt. BWB. Die Output-Energiemengen wurden nach BWB-Angaben übernommen.

men und Jahresbetriebsstunden je Verbrennungslinie wurde das mittlere spezifische Abgasvolumen im Jahr 2010 zu 10.950 m³/Mg Klärschlamminput berechnet.

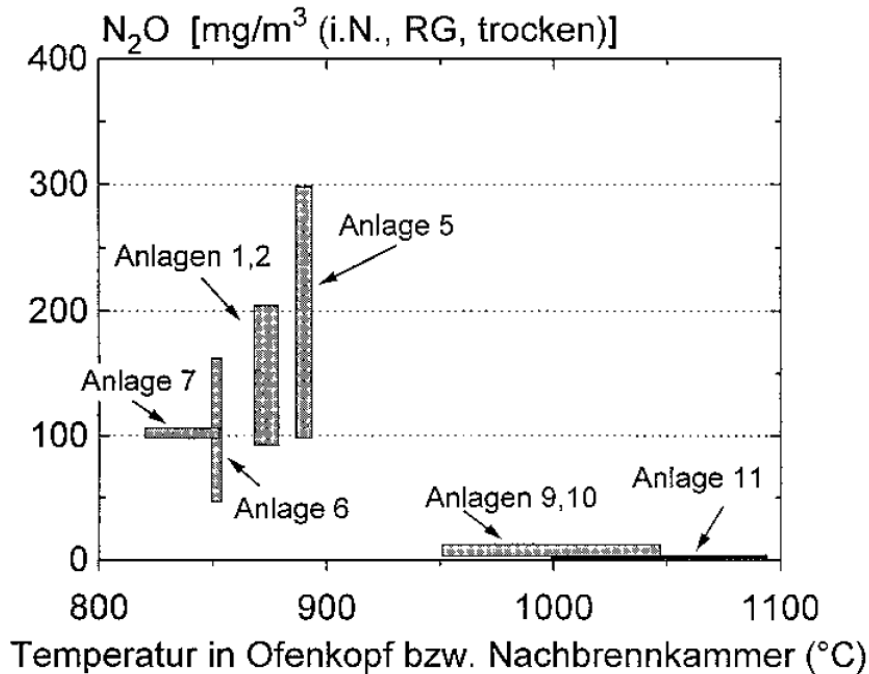


Abbildung 2-9 N₂O-Emissionen der Klärschlammverbrennung bei unterschiedlichen Feuerraum-Temperaturen (ATV 1996)

Tabelle 2-10 Ableitung des spezifischen Abgasvolumens der Ksva im Jahr 2010

Abgasvolumina Ksva Ruhleben nach Emissionsbericht 2010			
Verbrennungslinie	m ³ /h	h/a	Summe m ³
SV 1	28.039	7.511	210.600.929
SV 2	33.009	5.324	175.739.916
SV 3	32.880	4.888	160.717.440
Mittelwert bzw. Summe	30.867	17.723	547.058.285
		Frischmasse	Trockenmasse
Jahresmenge Klärschlamm	Mg/a	194.397	49.958
Je Linie und h Mg	Mg/h	11,0	2,8
Abgasvolumen	m ³ /h	30.867	30.867
spez. Abgasvolumen	m ³ /Mg	2.814	10.950

Als Konzentrationswert im Abgas der Ksva wird aus den o.g. Angaben nach (ATV 1996) der Mittelwert der Bandbreite von 150 mg N₂O/m³ angenommen. Die Jahresfracht an N₂O aus der Ksva berechnet sich mit dieser Konzentration und dem ermittelten spezifischen

Abgasvolumen zu 1,64 kg N₂O/Mg verbrannter Klärschlamm-Trockensubstanz. Dieser Wert gilt für die Mischung der im Jahr 2010 eingesetzten gefaulten und ungefaulten Klärschlämme.

Die Zuordnung dieser Gesamtfracht auf den ungefaulten und den gefaulten Klärschlamm basiert auf den Kenntnissen zum N₂O-Bildungsmechanismus. Abgesehen von der beschriebenen Temperaturabhängigkeit ist die Bildung von N₂O nach (UBA 2011d) vor allem abhängig von der HCN-Menge im Brennstoff. Über NCO- und HCN-Verbindungen erfolgen die bedeutendsten Bildungsreaktionen für N₂O. Angaben zum N-Gehalt in Klärschlamm liegen nicht vor. Allerdings kann davon ausgegangen werden, dass Stickstoff organisch gebunden ist und insofern eine gute Korrelation zum C-Gehalt bzw. oTS-Gehalt besteht.

Basierend auf den oTS-Gehalten für ungefaulten und gefaulten Klärschlamm berechnen sich folgende N₂O-Emissionen für die beiden Klärschlammarten:

Ungefaulter Klärschlamm 1,68 kg N₂O/Mg TS Klärschlamminput

Gefaulter Klärschlamm 1,46 kg N₂O/Mg TS Klärschlamminput.

THG-Bilanz

Aus den geschilderten Ableitungen wurde die THG-Bilanz für die Verbrennung von ungefaultem Klärschlamm berechnet. Abbildung 2-10 zeigt das spezifische Ergebnis bezogen auf eine Tonne Klärschlamm-Trockensubstanz. Durch die Verbrennung von ungefaultem Klärschlamm in der KSVa Ruhleben ergibt sich danach eine Nettobelastung von 392 kg CO₂-Äq/Mg TS Klärschlamminput. Im Wesentlichen ist diese Belastung durch die N₂O-Emissionen geprägt, die umgerechnet in CO₂-Äquivalente 62% der gesamten Treibhausgasemissionen ausmachen. Die für die Klärschlammverbrennung erzielte Stromgutschrift bei einem Nettowirkungsgrad von 15,2% reicht demgegenüber nicht aus, um die Belastungen auszugleichen.

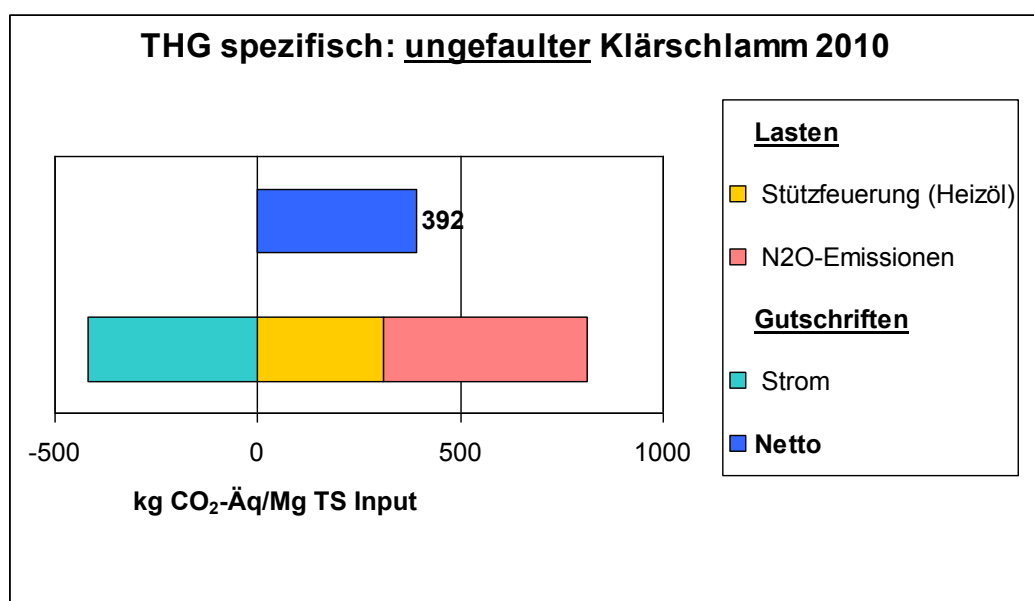


Abbildung 2-10 Spezifisches Ergebnis Entsorgung ungefaulten Klärschlamm

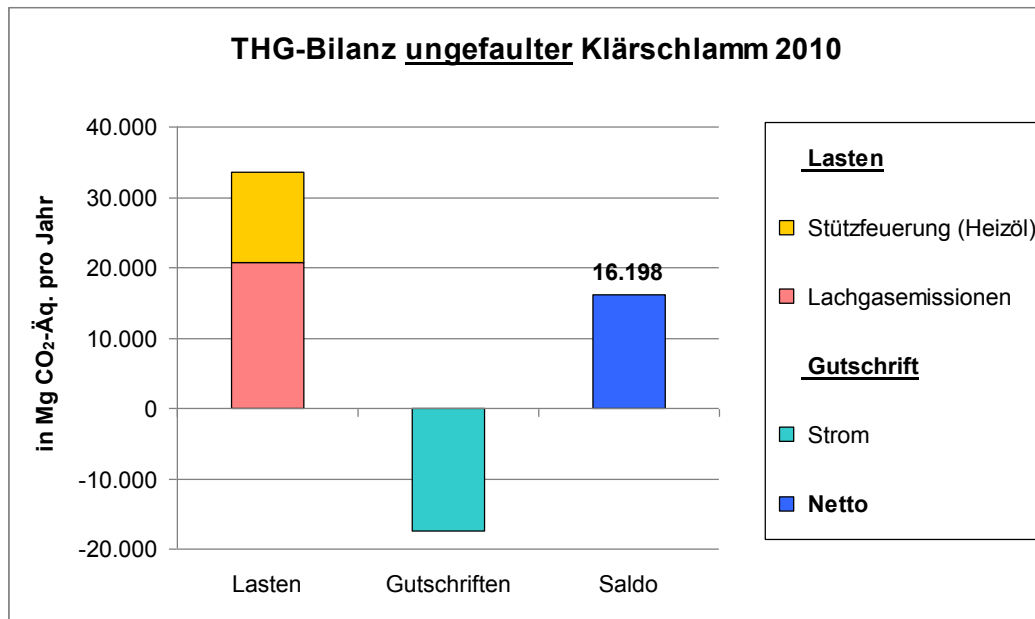


Abbildung 2-11 Absolutes Ergebnis Entsorgung ungefauter Klärschlamm

Abbildung 2-11 zeigt das absolute Ergebnis für die im Jahr 2010 in der KSVa thermisch behandelte Frischmasse an ungefaultem Klärschlamm. Dieses ist inhaltlich identisch mit dem in Abbildung 2-10 gezeigten spezifischen Ergebnis.

Hochgerechnet auf die hier betrachtete Menge an ungefaultem Klärschlamm von 160.561 Mg bei einem TS-Gehalt von 25,7%, ergibt sich eine Nettobelastung von **16.198 Mg CO₂-Äq für das Jahr 2010**, die in die Gesamtbilanz der Abfallentsorgung in Berlin eingehen.

Optimierungspotenziale liegen vor allem in der Verbesserung der KSVa Ruheben, vorrangig im Bereich der N₂O-Minderung, daneben in der Heizöleinsparung und Dampfnutzung. Die hier nachfolgend aufgeführten Optimierungsansätze gelten auch für den im folgenden Kapitel beschriebenen gefaulten Klärschlamm, der im Jahr 2010 in der KSVa thermisch behandelt wurde. So erweist sich die Monoverbrennung als stark verbesserungsbedürftig hinsichtlich folgender Aspekte:

- mit rd. 4.600 Mg/a ist eine erhebliche Menge an Stützfeuerungs-Heizöl erforderlich,
- der Stromwirkungsgrad liegt mit 15,2% niedrig, eine Abwärmenutzung ist am Standort nicht möglich,
- die Emissionen an N₂O liegen durch die niedrige Verbrennungstemperatur (850-880°C) hoch.

Aus den genannten Aspekten wurden für die Potenzialanalyse zu betrachtende Maßnahmen abgeleitet. Dazu zählt auch die Minderung der N₂O-Emissionen durch eine Erhöhung der Feuerraumtemperatur.

Im Gegenzug zu diesen Überlegungen sieht die BWB in ihrer aktuellen Optimierungsplanung vor, die Feuerungstemperatur in den Bereich von 800°C zu senken, um damit auf

den Einsatz des Stützfeuerungs-Öls verzichten zu können und zudem die NO_x-Emissionen zu senken. Mit Blick auf die nachstehende Darstellung (UBA 2011d), die auch von anderen Quellen bestätigt wird (VITOVEC 1991), ist jedoch zu erwarten, dass damit die N₂O-Emissionen ansteigen. Nach Interpretation der beiden Grafiken liegt dieser Anstieg (auch in Abhängigkeit der Luftüberschusszahl) zwischen 100 und 150 mg N₂O/m³.

Eine mögliche Feuerraumtemperatur-Senkung ist daher aus Klimaschutzsicht kritisch zu sehen. Das Ergebnis der THG-Bilanz ist bereits durch die hohen N₂O-Emissionen geprägt. Die Senkung der Feuerraumtemperatur könnte eine Steigerung der N₂O-Emissionskonzentration um 100 mg N₂O/m³ zur Folge haben – das wäre erheblich gegenüber dem abgeschätzten IST-Stand von 150 mg N₂O/m³.

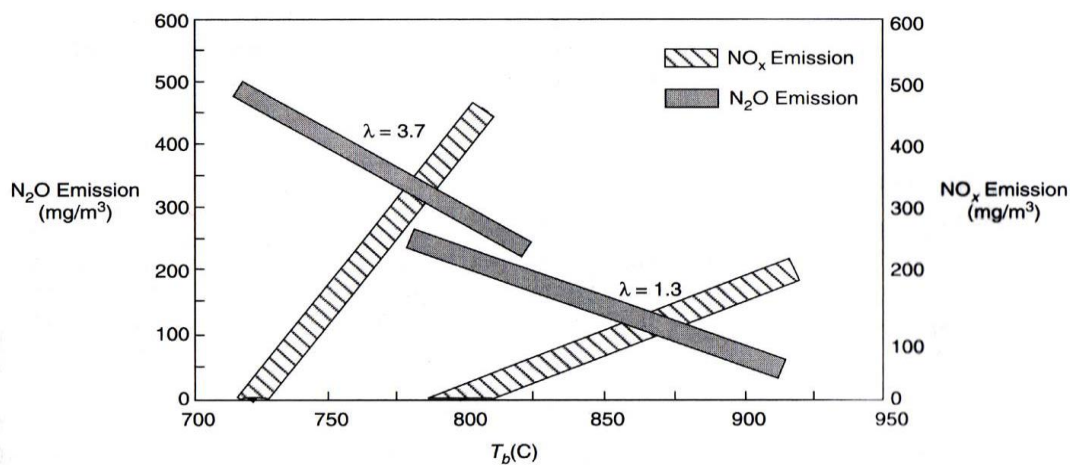


Abbildung 2-12 Temperaturabhängigkeit der N₂O-Bildung bei der Klärschlammverbrennung (UBA 2011)

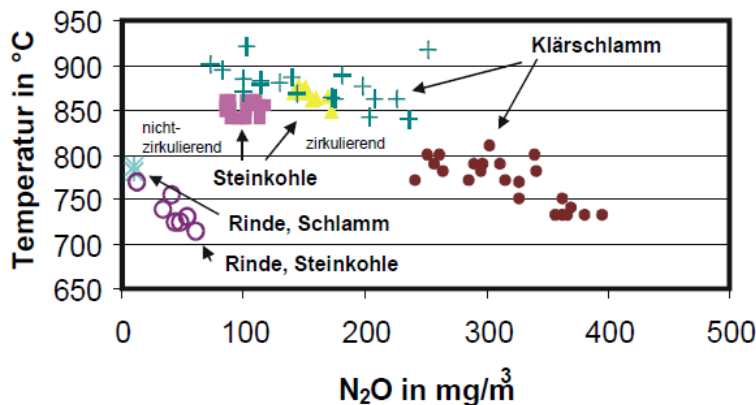


Abbildung 2-13 Temperaturabhängigkeit der N₂O-Bildung bei der Klärschlammverbrennung (VITOVEC 1991)

2.8.2 Gefaulter Klärschlamm

Gefaulter Klärschlamm fällt bei den fünf weiteren Kläranlagen der BWB an. Die genauen Mengen und deren Verbleib sind im Zwischenbericht dokumentiert. Danach wurden für jeden Entsorgungsweg die TS-Mengen und die Frischmassenmengen von BWB übermittelt. Zur Vereinfachung wurden die sich daraus jeweils berechnenden TS-Gehalte, die etwas voneinander abweichen, zu durchschnittlichen TS-Gehalten für gefaulten Klärschlamm und getrockneten, gefaulten Klärschlamm umgerechnet. Basis der THG-Bilanz bildet generell die TS-Masse. Abweichungen in den Frischmassen können sich durch die getroffene Vereinfachung ergeben.

Im Jahr 2010 wurde gefaulter und entwässerter Klärschlamm wie folgt entsorgt (s. a. Abbildung 2-8):

- 8.638 Mg TS thermische Behandlung in der KSVa Ruhleben,
- 23.462 Mg TS direkte Mitverbrennung in Braunkohlekraftwerken,
- 14.231 Mg TS Trocknung und anschließende Mitverbrennung vor allem im Zementwerk Rüdersdorf und ansonsten in verschiedenen Kraftwerken.

Die Kenndaten für gefaulten und gefaulten, getrockneten Klärschlamm sind in Tabelle 2-8 aufgeführt. Nachfolgende Aufstellung gibt eine Übersicht über Verbleib und Kenndaten des gefaulten Klärschlammes.

Kurzsteckbrief gefaulter Klärschlamm		Quelle
Aufkommen:	46.332 Mg Trockensubstanz, 140.998 Mg Frischsubstanz (Summe aus gefaultem und getrocknetem Klärschlamm)	(BWB 2011)
Verbleib (Bezug TS):	19% KSVa Ruhleben 27% Kraftwerk Lippendorf 24% Kraftwerk Boxberg 25% Zementwerk Rüdersdorf (getrockneter Schlamm) 6% Verschiedene Kraftwerke (getrockneter Schlamm)	abgeleitet aus (BWB 2011)
Kenndaten	gefaulter Schlamm: Hu rd. 2 MJ/kg FS, TS = 25,5% FS, oTS = 66% TS gefaulter und getrockneter Schlamm: Hu = 13,6 MJ/kg FS, TS = 93,9% FS, oTS = 66% TS	berechnet

Für den anteilig in der KSVa Ruhleben thermisch behandelten gefaulten Klärschlamm gelten die Angaben und Randbedingungen, die zuvor für ungefaulten Klärschlamm abgeleitet wurden. Für die THG-Bilanz relevant sind der dort ermittelte Heizölbedarf und die dem gefaulten Klärschlamm zuzuordnenden N₂O-Emissionen.

Die Mitverbrennung von gefaultem Klärschlamm erfolgt sowohl direkt als auch nach einer anschließenden Trocknung. Getrocknet wird Klärschlamm über Trommeltrockner auf den beiden Kläranlagen Schönerlinde und Wassmannsdorf. Die Trocknung erfolgt im Klärwerk Wassmannsdorf zu 86,5% mit Erdgas, im Klärwerk Schönerlinde zu 15,8%. Der verbleibende Energiebedarf wird durch Faulgas gedeckt.

Der gesamte Gasbedarf zur Trocknung wurde basierend auf den Angaben der BWB zu den getrockneten Mengen und den dafür eingesetzten Gasmengen berechnet (Tabelle 2-11). Danach ergibt sich der gesamte spezifische Energieaufwand für die Trocknung von Anteilen des gefaulten Klärschlammes zu 615 kWh Gas/Mg, um den Klärschlamm von 25,5% TS auf 93,9% TS zu trocknen. Im gewichteten Mittel der beiden Kläranlagen, die eine Trocknung durchführen, wird diese Energie zu 55,5% aus Faulgas und zu 44,5% aus Erdgas bereitgestellt. Der Strombedarf der Trocknung wurde nach den Angaben in (KZWB 2011) mit 53 kWh/Mg angesetzt.

Die mit der Bereitstellung und dem Einsatz von Faulgas zur Trocknung verbundenen THG-Emissionen wurden nach IFEU mit 44 g CO₂-Äq/kWh Faulgas angenommen. Dies entspricht knapp 20% der THG-Belastungen, die sich aus der Bereitstellung und dem Einsatz von Erdgas ergeben.

Tabelle 2-11: Gasbedarf der Klärschlamm-trocknung nach Erdgas und Faulgas

Erdgas- und Faulgaseinsatz zur Klärschlamm-trocknung	Einheit	TS-Gehalt Klärschlamm	Wert	Quelle
Summe Erdgaseinsatz für Trocknung	kWh/a		15.249.577	(BWB 2011)
Summe Faulgaseinsatz für Trocknung	kWh/a		19.048.944	(BWB 2011)
Summe Energie für Trocknung	kWh/a		34.298.521	
Summe getrockneter Schlamm	Mg/a	93,9%	15.154	(BWB 2011)
Mengenanteil getrockneter Klärschlamm von ungetrocknetem Klärschlamm	%	--	27,2%	berechnet
entspricht Schlammmenge vor Trocknung	Mg/a	25,5%	55.804	berechnet
Spez. Erdgasenergie zur Trocknung	kWh/Mg	25,5%	274	44,5%
Spez. Faulgasenergie zur Trocknung	kWh/Mg	25,5%	341	55,5%
Spez. Gesamtgasenergie zur Trocknung	kWh/Mg	25,5%	615	100,0%

Der Einsatz von getrocknetem Klärschlamm erfolgt überwiegend im Zementwerk Rüdersdorf, in dem ausschließlich getrockneter, gefaulter Klärschlamm mitverbrannt wird. Des Weiteren erfolgt die Mitverbrennung von getrocknetem Klärschlamm in verschiedenen Kraftwerken, um welche es sich dabei handelt, ist nicht bekannt. Für die THG-Bilanz wurde entsprechend eine 50:50 Verteilung für den Einsatz in Steinkohle- und in Braunkohlekraftwerken angenommen.

Die direkte Mitverbrennung von lediglich entwässertem Klärschlamm erfolgt nur in den beiden Kraftwerken Lippendorf und Boxberg. In beiden Fällen handelt es sich um Braunkohlekraftwerke, so dass durch die Mitverbrennung heizwertäquivalent Braunkohle ersetzt wird. Braunkohle wird auch durch die Mitverbrennung im Zementwerk Rüdersdorf substituiert, wobei generell für diese Mitverbrennung ein Effizienz-Abschlag in Höhe von 5% berechnet wurde (s. Kap. 1.3.2). Für die Mitverbrennung in den verschiedenen Kraftwerken wird entsprechend der o.g. Annahme zu 50% Steinkohle und zu 50% Braunkohle ersetzt.

Die Mitverbrennung von Klärschlamm in Zement- und Kraftwerken ist im Gegensatz zur Verbrennung in Wirbelschichtfeuerungen aufgrund der hohen Feuerraumtemperaturen > 1000°C nur mit sehr geringen N₂O-Emissionen verbunden. In (KZWB 2011) ist für diese Mitverbrennung ein Emissionswert von 0,1 kg N₂O pro Mg verbrannter Klärschlamm-Trockensubstanz genannt, der hier übernommen wurde.

Transportaufwendungen für die Verbringung der gefaulten und getrockneten Klärschlämme wurden in der THG-Bilanz mit von den BWB benannten Streckenangaben zu den Verwertungsanlagen berücksichtigt.

Grundsätzlich besteht für gefaulten Klärschlamm das Risiko, dass durch dessen Entwässerung und Lagerung wie bei der Entwässerung und Lagerung von Gärresten (Kap. 2.18) Methanemissionen anfallen. Im Fall der aus den Kläranlagen der BWB anfallenden Klärschlammengen kann dieser Aspekt jedoch vernachlässigt werden. Die Abluft der Klärschlammabpressung wird grundsätzlich auf den Kläranlagen als Verbrennungsluft für Heizungseinrichtungen (bei Anlagen mit Klärschlamm-trocknung insbesondere in den Trommeltrocknern) genutzt. Ggf. in der Abluft enthaltene Methanmengen werden so oxidiert. Mögliche Methanemissionen aus der Lagerung wären nur bei gefaultem Klärschlamm zu befürchten. Jedoch wird dieser nach dem Transport zu den Kraftwerken innerhalb weniger Tage zur Mitverbrennung eingesetzt. In Anbetracht der kurzen Lagerdauer ist mit keinen nennenswerten Methanemissionen zu rechnen.

THG-Bilanz

Aus den geschilderten Ableitungen wurde die THG-Bilanz für die Entsorgung von gefaultem Klärschlamm berechnet. Abbildung 2-14 zeigt das spezifische Ergebnis bezogen auf eine Tonne Klärschlamm-Trockensubstanz.

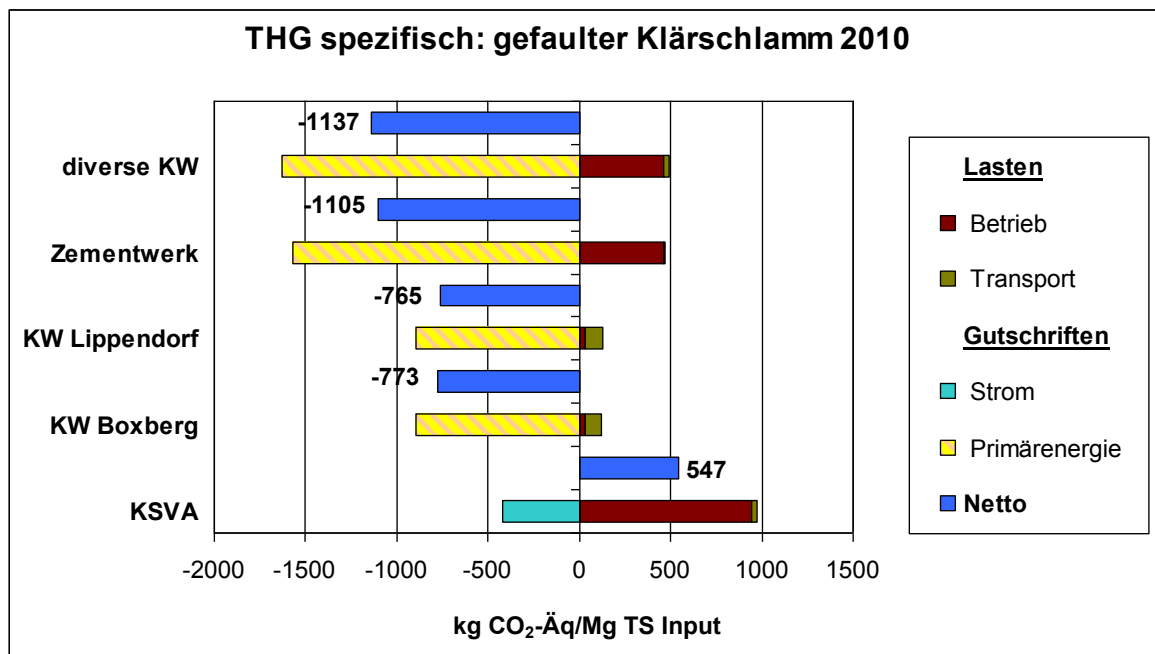


Abbildung 2-14 Spezifisches Ergebnis Entsorgung gefaulter Klärschlamm

Ähnlich wie die Verbrennung von ungefaultem Klärschlamm zeigt auch die Verbrennung von gefaultem Klärschlamm in der KSVa Ruhleben eine Nettobelastung im Ergebnis. Hier überwiegen allerdings die THG-Belastungen aus dem zugeordneten Heizöleinsatz (siehe vorangehendes Kapitel), die 54% der gesamten THG-Belastungen ausmachen. Ein Vergleich zwischen dem Ergebnis für ungefaulten und dem für gefaulten Klärschlamm ist aus den am Anfang des Kapitels Klärschlamm genannten Gründen nicht zulässig.

Die sonstige Behandlung des gefaulten Klärschlammes durch direkte Mitverbrennung oder Mitverbrennung nach Trocknung ist generell mit Nettoentlastungen verbunden. Am höchsten fallen die Nettoentlastungen bei der Mitverbrennung von getrocknetem Klärschlamm aus. Hier überwiegen die mit der Heizwertsteigerung erzielten Substitutionseffekte die durch die Trocknung gegebenen zusätzlichen THG-Belastungen. Die Vorteilhaftigkeit wäre dabei auch gegeben, wenn zur Trocknung 100% Erdgas und kein Faulgas eingesetzt würde. Allerdings trägt der Einsatz von Faulgas zur Trocknung maßgeblich zu dem hohen Abstand im Nettoergebnis zur Mitverbrennung von gefaultem Klärschlamm bei. Das etwas schlechtere Ergebnis bei der Mitverbrennung im Zementwerk ist auf den genannten Effizienz-Abschlag von 5% zurückzuführen. Der Unterschied im Nettoergebnis zwischen der Mitverbrennung von gefaultem Klärschlamm in den Kraftwerken Lippendorf und Boxberg ergibt sich ausschließlich durch die etwas höhere Transportentfernung nach Lippendorf.

Das gewichtete Mittel über alle Entsorgungsverfahren führt für gefaulten Klärschlamm zu einem spezifischen Emissionsfaktor von $-628 \text{ kg CO}_2\text{-Äq/Mg}$ Klärschlamm-Trockensubstanz.

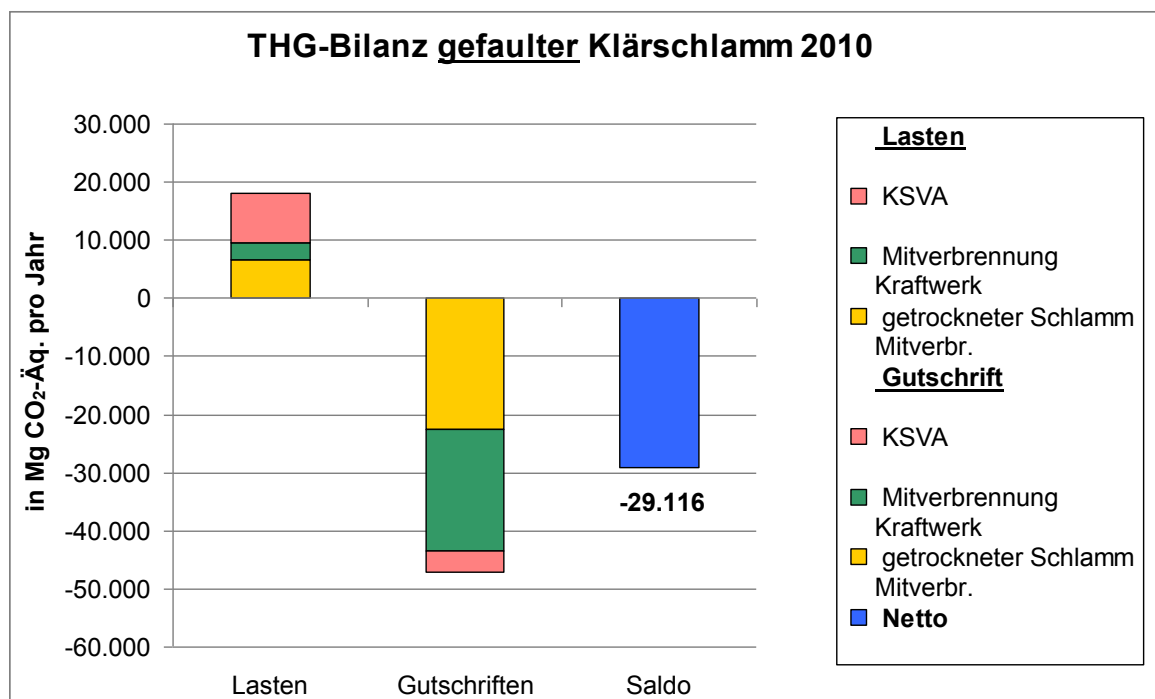


Abbildung 2-15 Absolutes Ergebnis Entsorgung gefaulter Klärschlamm

Abbildung 2-15 zeigt das absolute Ergebnis für die im Jahr 2010 entsorgten Mengen an gefaultem Klärschlamm. Dieses ist inhaltlich identisch mit dem in Abbildung 2-14 gezeig-

ten spezifischen Ergebnis. Hier ist das Ergebnis für die direkte Mitverbrennung von gefaultem Klärschlamm und für die Mitverbrennung von getrocknetem Klärschlamm lediglich zusammengefasst dargestellt. Das absolute Nettoergebnis ergibt sich aus Hochrechnung der spezifischen Nettoentlastung mit der gesamt entsorgten TS-Menge des gefaulten Klärschlammes von 46.332 Mg.

Für die in dieser Studie betrachtete Menge an gefaultem und gefaultem, getrockneten Klärschlamm von insgesamt 140.998 Mg¹⁴ ergibt sich im Mittel eine Nettoentlastung von **-29.116 Mg CO₂-Äq für das Jahr 2010**, die in die Gesamtbilanz der Abfallentsorgung in Berlin eingehen.

Durch die hohe Gutschrift der ersetzten Kohle bei der Mitverbrennung des gefaulten und gefaulten, getrockneten Klärschlammes erweisen sich diese Verwertungswege in Bezug auf die THG-Entlastung als sehr effizient.

Optimierungspotenziale für gefaulten Klärschlamm liegen wie bei ungefaultem Klärschlamm vor allem in der Verbesserung der Klärschlammverbrennungsanlage Ruhleben (siehe vorangehendes Kapitel). Eine entsprechende Untersuchung erfolgt in der Potenzialanalyse.

2.9 Sperrmüll

In dieser Studie wurde für das Jahr 2010 die Menge an häuslichem und gewerblichem Sperrmüll betrachtet, die nach (BSR 2011) ausschließlich einer Sortierung zugeführt wurde (43.526 Mg). Der Anteil häuslichen Sperrmülls daran beläuft sich auf 34.874 Mg. Häuslicher Sperrmüll wird im Land Berlin etwa zu einem Drittel über die BSR Hausratsabfuhr eingesammelt und fällt ansonsten bei den BSR Recyclinghöfen an. Insgesamt liegen zu den Aufwendungen der Sammlung keine spezifischen Angaben vor. Für die Berechnung der Treibhausgasbilanz wurde von einer durchschnittlichen Sammelstrecke für Deutschland ausgegangen.

Kurzsteckbrief Sperrmüll		Quelle
Aufkommen:	43.526 Mg aus Haushalt und Gewerbe (Anteil Haushalte 34.874 Mg)	(BSR 2011)
Verbleib:	Sperrmüllaufbereitungsanlage AAS	(BSR 2011)
Kenndaten	Hu = 15,3 MJ/kg FS, C fossil = 10% FS	(BSR 2012a)

Die erfasste Sperrmüllmenge aus Haushalten und Gewerbe wird gemeinsam über die **Sperrmüllaufbereitungsanlage AAS** einer stofflichen und energetischen Verwertung zugeführt. Daten zum Strom- und Dieselbedarf der AAS wurden von den BSR übermittelt. Die Outputmengen der Sortieranlage sind in (BSR 2011) dokumentiert. Danach fallen folgende Output-Fractionen aus der Sortierung an:

- 94% heizwertreiche Fraktion, davon:
 - 11% Holz zum Holzkontor Preußen

¹⁴ Abweichungen zu Originalangaben der BWB ergeben sich durch die für die THG-Bilanz zur Vereinfachung gemittelten TS-Gehalte.

- 89% EBS (z.B. Kunststoffe) zu IKW Rüdersdorf, EBS-KW Premnitz und Großräschen
- 5,5% Fe-Metalle
- 0,01% NE-Metalle
- 1% Sonstige Fraktionen

Für die Metalle wurde analog dem Vorgehen bei den Behandlungsanlagen für überlassungspflichtige Siedlungsabfälle ein Abschlag für die daraus sortenrein erzeugbaren Sekundärmetalle angesetzt. Da Sperrmüll eine andere Zusammensetzung und Charakteristik aufweist als z.B. Haus- und Geschäftsmüll, wurde die Fe-Ausbeute mit 78% statt 62% angenommen, für NE-Metalle wurde aber von der gleichen Ausbeute von 18% ausgegangen. Die sonstigen Fraktionen wurden in der THG-Bilanz aufgrund der geringen Menge nicht weiter betrachtet.

Die mengenmäßig überwiegend anfallende heizwertreiche Fraktion besteht zu 11% aus Holz, das zunächst im Holzkontor Preußen weiter aufbereitet (Konfektionierung) wird und anschließend zur energetischen Verwertung zu verschiedenen Biomasse-Heizkraftwerken verbracht wird. Eine genaue Analyse zum Verbleib von Altholz aus dem Land Berlin findet sich im Kapitel 2.17. Aus dieser Analyse liegt ein Verteilschlüssel vor, nach dem zugeordnet werden kann, zu welchen Anteilen Holz aus Berlin zu welchen Biomasse-HKW gelangte. Im Wesentlichen sind dies vier verschiedene Biomasse-HKW, zu denen 92% der Holzmenge gingen. Für 8% der Holzmenge konnte keine konkrete Zuordnung zu einer bestimmten Behandlungsanlage erfolgen. Für diesen Anteil wurde daher ein durchschnittliches Biomasse-HKW in Deutschland angenommen.

Für die verbleibende EBS-Fraktion (heizwertreiche Fraktion) wurde der Verbleib aus dem Abfallbericht der AAS entnommen. Darin nicht benannt ist allerdings, welche Mengen zu welcher Anlage gehen. Vereinfacht wurde für die THG-Bilanz von einer Gleichverteilung auf die drei genannten Anlagen – IKW Rüdersdorf, EBS-KW Premnitz und Großräschen – ausgegangen.

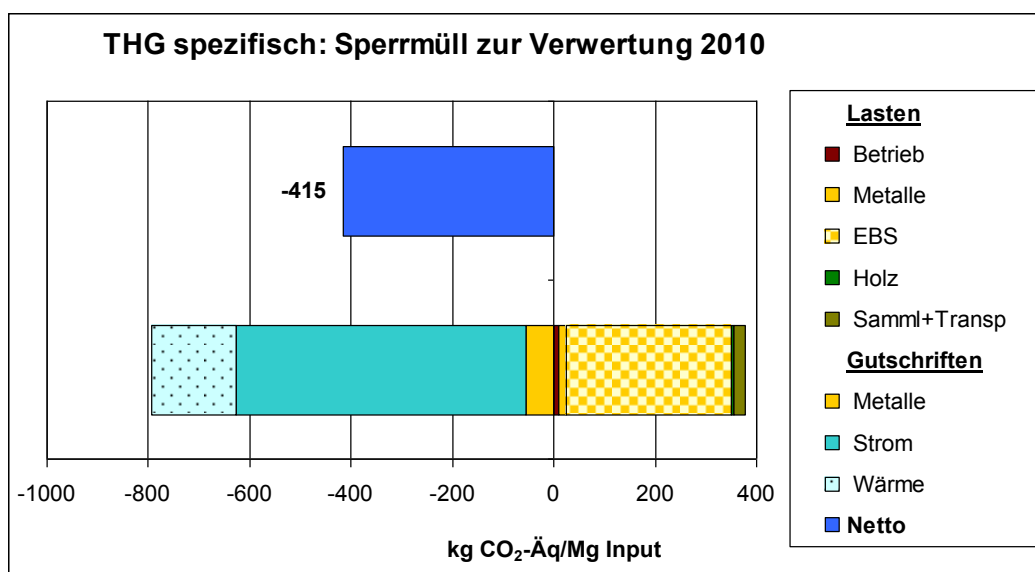


Abbildung 2-16 Spezifisches Ergebnis Verwertung Sperrmüll

Im spezifischen Ergebnis in Abbildung 2-16 zeigt sich, dass mit den gegebenen Kenndaten für Sperrmüll (Heizwert, fossiler C-Gehalt) durch die energetische Behandlung der EBS in EBS-Kraftwerken eine relevante Nettoentlastung erreicht wird. Die ebenfalls erzielte Nettoentlastung durch die Metallverwertung ist von untergeordneter Bedeutung.

Hochgerechnet auf die hier betrachtete Menge an Sperrmüll ergibt sich eine Nettoentlastung von **-18.069 Mg CO₂-Äq für das Jahr 2010**, die in die Gesamtbilanz der Abfallentsorgung in Berlin eingehen.

Optimierungen bestehen in einer Mitverbrennung der EBS in Zement- oder Kraftwerken, wodurch direkt Kohle als Regelbrennstoff ersetzt werden kann, was zu höheren Gutschriften führt (Kap. 1.3.2). Die Eignung der EBS aus Sperrmüll hierfür wäre zu prüfen.

2.10 Straßenkehricht

Das Aufkommen an Straßenkehricht (Hand- und Maschinenkehricht sowie Altstreugut) betrug im Jahr 2010 insgesamt 101.557 Mg. Grundsätzlich handelt es sich bei Straßenkehricht um ein inhomogenes Gemisch aus mineralischen und organischen Bestandteilen, das unterschiedliche Sand- und Kiesfraktionen, Laub, Zweige, Blüten, sonstige Faserstoffe sowie Restabfall enthält. Nach Angaben der BSR wird Straßenkehricht in Handkehricht, Maschinenkehricht und Altstreugut unterschieden.

Bei Altstreugut handelt es sich um Abfälle aus Streumitteln des Winterdienstes, die im Wesentlichen aus mineralischen Bestandteilen bestehen. Maschinenkehricht besteht durchschnittlich aus 80% mineralischen Stoffen (Splitt, Sand, Steine) und aus 20% Störstoffen (Laub, Zweige, hausmüllähnliche Gewerbeabfälle, etc.). Bei Handkehricht liegt die Aufteilung für mineralische Stoffe und Störstoffe etwa bei je 50%¹⁵.

Im Jahr 2010 fiel Straßenkehricht nach Angaben in der BSR-Entsorgungsbilanz (BSR 2011) sowohl zur Beseitigung als auch zur Verwertung an. Aus (BSR 2012a) geht hervor, dass es sich bei der beseitigten Menge (20.407 Mg) um Handkehricht handelt, während die verwertete Menge (81.150 Mg) sich aus Maschinenkehricht und Altstreugut zusammensetzt.

Eine Beseitigung des Handkehrichts ist nicht unbedingt üblich. In den Vorjahren und auch im Jahr 2011 wurde Handkehricht fast vollständig verwertet. Die im Jahr 2010 erfolgte Beseitigung des Handkehrichts stellt eine Ausnahme dar.

Für die Bestandsaufnahme im Jahr 2010 werden die Straßenkehrichtabfälle zur Beseitigung (Handkehricht) und die Straßenkehrichtabfälle zur Verwertung (Maschinenkehricht und Altstreugut) entsprechend ihres unterschiedlichen Verbleibs in den folgenden Unterkapiteln getrennt beschrieben.

2.10.1 Handkehricht

Der Verbleib des im Jahr 2010 beseitigten Handkehrichts ist in (BSR 2011) dokumentiert. Wie auch bei Haus- und Geschäftsmüll erläutert, ist darin nur für das MHKW die genaue angelieferte Menge angegeben. Für die Mengen zu den MPS-Anlagen und zur MA und MBA finden sich nur Summenwerte. Zur Ermittlung der Einzelmengen konnte für Straßen-

¹⁵ <http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/abfallwirtschaft/de/siedlungsabfall/strassenkehricht.shtml>

kehricht auf die Abfallberichte der MPS-Anlagen und der MA zurückgegriffen werden, da Straßenkehricht unter einer eigenen Abfallschlüsselnummer berichtet wird (AVV 200303). Das daraus ermittelte Ergebnis für den Verbleib zeigt nachfolgende Übersicht.

Kurzsteckbrief Handkehricht		Quelle
Aufkommen:	20.407 Mg	(BSR 2011)
Verbleib:	7% MHKW Ruhleben 0,3% MPS Pankow 14% MPS Reinickendorf 0% MA ORS Grünauer Str. 78% MBA Schöneiche	abgeleitet aus (BSR 2011)

Zur Sammlung von Handkehricht liegen keine Informationen vor. Da der Handkehricht in den gleichen Anlagen behandelt wird wie Hausmüll, wurde der Sammelaufwand vereinfacht analog dem durchschnittlichen Sammelaufwand für Hausmüll unterstellt.

Für die Bilanzierung des Handkehrichts wurde entsprechend der o.g. Zusammensetzung davon ausgegangen, dass 50% aus mineralischen Stoffen bestehen und 50% hausmüllähnlichen Charakter haben. Die anteilige Menge zur MPS Pankow wurde aufgrund der Geringfügigkeit (0,3%) in der THG-Bilanz vernachlässigt.

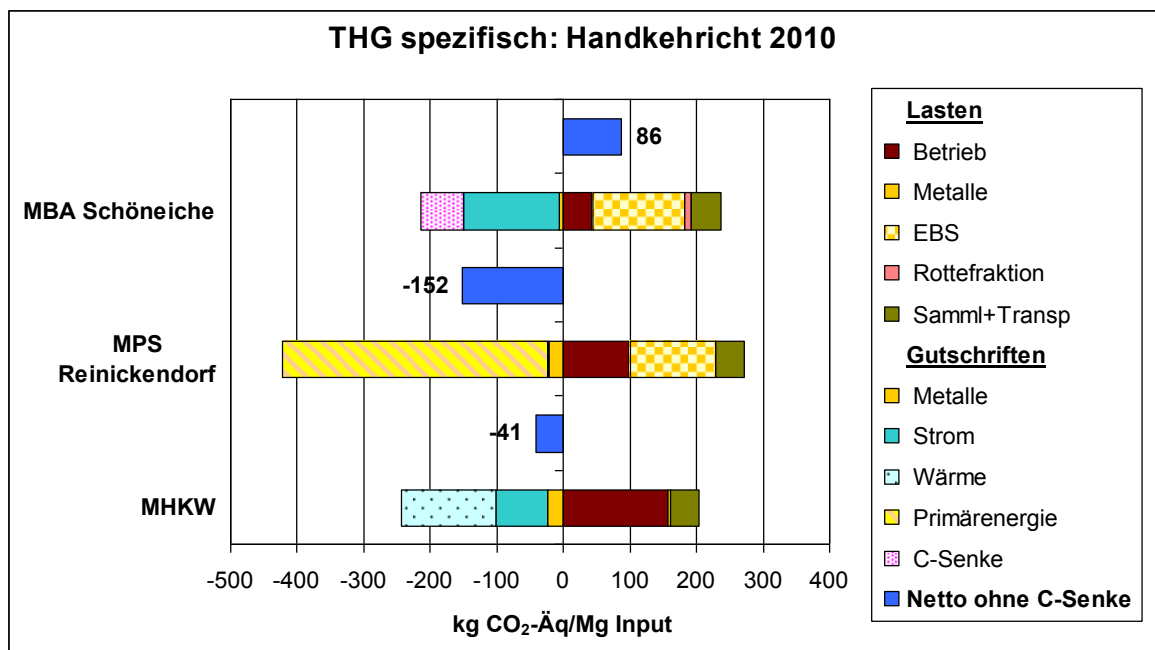


Abbildung 2-17 Spezifisches Ergebnis Beseitigung Handkehricht

Das spezifische Ergebnis für Handkehricht zeigt Abbildung 2-17. In der Tendenz ähnelt dieses Ergebnis für die Einzelanlagen aufgrund der hälftigen hausmüllähnlichen Charakteristik des Handkehrichts dem für Haus- und Geschäftsmüll dokumentierten Ergebnis (Abbildung 2-1). Da die andere Hälfte aus mineralischen Stoffen besteht, ergibt sich für

Handkehricht jedoch ein ungünstigeres Abschneiden der Einzelanlagen aufgrund der Mitbehandlung dieses hohen inerten Anteils in den Anlagen.

Im gewichteten Mittel über die Behandlungsanlagen ergibt sich abweichend zum entsprechenden Ergebnis für Haus- und Geschäftsmüll eine Nettobelastung aufgrund des abweichenden Verteilungssplits der Behandlung. Durch die überwiegende Behandlung des Handkehrichts in der MBA Schöneiche ergibt sich im spezifischen Ergebnis eine Nettobelastung in Höhe von 43 kg CO₂-Äq/Mg Abfall.

Hochgerechnet auf die hier betrachtete Menge an Handkehricht zur Beseitigung ergibt sich eine Nettobelastung von **875 Mg CO₂-Äq für das Jahr 2010**, die in die Gesamtbilanz der Abfallentsorgung in Berlin eingehen.

Der THG-Minderungsbeitrag, der sich durch Anrechnung der C-Senke ergeben würde, beläuft sich auf -1.020 Mg CO₂-Äq.

Optimierungen für den Handkehricht zur Beseitigung sind aufgrund der Behandlung in den gleichen Anlagen und dem häftigen hausmüllähnlichen Charakter grundsätzlich analog zu denen für Haus- und Geschäftsmüll zu sehen. Jedoch wird Handkehricht wie oben ausgeführt üblicherweise nicht einer Beseitigung zugeführt, sondern gemeinsam mit Maschinenkehricht und Altstreugut verwertet. Entsprechend wird eine gemeinsame Verwertung auch für die Potenzialanalyse 2020 angenommen.

2.10.2 Maschinenkehricht und Altstreugut

Das Aufkommen dieser verwerteten Abfälle in Höhe von 81.150 Mg ist in der BSR-Entsorgungsbilanz 2010 (BSR 2011) dokumentiert. Zum Aufwand für die Sammlung der Abfallmenge liegen keine Angaben vor. Der Dieselbedarf für die Kehrmaschine wurde mit 20 l/Mg Abfall angenommen. Aus (BSR 2012a) geht hervor, dass Maschinenkehricht und Altstreugut im Jahr 2010 anteilig über die Bodenwaschanlage gbav in Berlin und die Bauschuttrecyclinganlage GAA in Beeskow entsorgt wurde. Die über die gbav entsorgte Menge konnte dem Abfallbericht der gbav für das Jahr 2010 entnommen werden. Damit ergibt sich die nachfolgend dargestellte Aufteilung für den Verbleib.

Kurzsteckbrief Maschinenkehricht und Altstreugut		Quelle
Aufkommen:	81.150 Mg	(BSR 2011)
Verbleib:	50% gbav Berlin 50% GAA Beeskow	Abfallbericht, (BSR 2012a)

Der Anteil an Mineralik wird durch den Anteil an Altstreugut geprägt. Wie hoch dieser im Jahr 2010 ausfiel ist nicht bekannt. Generell ist das Mengenverhältnis abhängig von den jeweiligen Winterverhältnissen und der entsprechend aufgebrauchten Streugutmenge. Nach Einschätzung der gbav überwiegt in der Regel der Anteil an Maschinenkehricht (inkl. Handkehricht), der jährlich grob bei 60.000 Mg liegen soll, während die Altstreugutmenge zwischen 20.000 Mg und 60.000 Mg schwanken kann. In (BSR 2012a) ist das Aufkommen an Maschinenkehricht und Altstreugut für das erste Halbjahr 2010 angegeben. Aus diesen Angaben und in Anbetracht des Wintereinbruchs mit starkem Schneefall

im Dezember 2010 ist für das Jahr 2010 insgesamt von einem hohen Aufkommen an Altstreugut auszugehen.

Belastbare Informationen zur Art der Entsorgung des Straßenkehrichts konnten bei der **GAA Beeskow** nicht ermittelt werden. Aus einem Schreiben des Landesumweltamts Brandenburg geht lediglich hervor, dass die gewaschene mineralische Fraktion von Straßenkehricht nach Vermischung durch Siebung mit Boden zur Deponieprofilierung eingesetzt werden soll. Nach ebenfalls enthaltenen Mengenangaben würde dies nur den Verbleib von rund 7.000 Mg Straßenkehricht abbilden. In (BSR 2012a) ist für den Output aus der GAA Beeskow angegeben, dass zu rund 95% Mineralik anfällt und zu 5% eine organische Fraktion, die im Weiteren kompostiert wird. Jedoch gelten diese Angaben zum einen nur für das erste Halbjahr 2010 und zum anderen dürfte es sich dabei um Abschätzungen handeln.

Aufgrund der mangelnden Datenlage wurde festgelegt, die über die GAA Beeskow behandelte Menge nicht weiter zu betrachten. In der THG-Bilanz sind lediglich der Transportaufwand und ein Strombedarf für die Behandlung berücksichtigt. Der Strombedarf wurde analog dem abgeschätzten Strombedarf der Behandlung von Straßenkehricht über die gbav mit 10 kWh/Mg Abfall angenommen.

Die **gbav** betreibt an einem gemeinsamen Standort in Berlin-Neukölln eine trockenmechanische Siebanlage für Straßenkehricht und eine Bodenwaschanlage, in der neben Straßenkehricht (dafür genehmigte Kapazität 100.000 Mg) vor allem Bauschutt und Boden behandelt werden. Im Jahr 2010 wurden von der gbav insgesamt rund 227.000 Mg Abfälle angenommen. Die Anlage verfügt über eine Abluftbehandlung (Aktivkohlefilter) und gemäß Auflage im Genehmigungsbescheid erfolgt eine tägliche Aufzeichnung der TOC-Tagesmittelwerte im Rein- und Rohgas (Schwellenwert für TOC 8 mg/Nm³). Angaben zum Strombedarf der Anlage liegen nicht vor, dieser wurde mit 10 kWh/Mg abgeschätzt.

Für die Behandlung des Straßenkehrichts wurden durch die gbav Informationen zu den Massenströmen mitgeteilt, die für die Bilanzierung zugrunde gelegt wurden. Danach wird Straßenkehricht durch Siebung in drei Fraktionen separiert – eine Grob-, eine Mittel- und eine Feinfraktion. Bei der Feinfraktion (< 15 mm) handelt es sich um mineralisches Feinkorn, das zur Altablagerung Großziethen verbracht wurde. Die Mittelfraktion (zwischen 15 und 50 mm) wurde anteilig im Jahr 2010 über die Bodenwaschanlage behandelt und ging je nach den dann gegebenen Eigenschaften ebenfalls zur Altablagerung Großziethen (inerte Anteile) oder zur MBA Schöneiche bzw. zur mikrobiellen Bodenreinigungsanlage Umweltschutz Ost in Berlin. Die Grobfraktion (> 50 mm) wurde zur MBS Niederlehme verbracht.

Insgesamt wurde für das Jahr 2010 folgende Massenverteilung ermittelt:

- 79% mineralische Fraktion zur Altablagerung Großziethen (Fein- und Mittelfraktion)
- 9% Mittelfraktion zur MBA Schöneiche
- 9% Mittelfraktion zur mikrobiellen Bodenreinigungsanlage Umweltschutz Ost Berlin
- 3% Grobfraktion zur MBS ZAB Niederlehme

Bei der mineralischen Fraktion zur Ablagerung Großziethen werden nach Angaben der gbav die Ablagerungskriterien der Deponieverordnung eingehalten. Der Glühverlust wird mit 5% der TS angegeben, die Gasbildungsrate mit 18 l/kg TS. Entsprechend werden für diese Fraktion keine weiteren Treibhausgasemissionen aus der Ablagerung angelastet.

Die anteilige Mittelfraktion, die zur MBA Schöneiche verbracht wurde, hat eine ähnliche Charakteristik wie die Rottefraktion aus der mechanischen Separierung einer MBA. Diese kann aber nicht direkt in die biologische Behandlungsstufe der MBA eingebracht werden, sondern muss gemeinsam mit anderen angenommenen Abfällen die gesamte Anlage durchlaufen. Entsprechend wird der Energieaufwand für die Behandlung in gleicher Höhe angesetzt wie für die Behandlung von Hausmüll, der über die MBA Schöneiche behandelt wurde (s. Kap. 2.6.1). Im Unterschied zur Behandlung von Hausmüll wurde für die Mittelfraktion aufgrund der Charakteristik einer Rottefraktion keine Abtrennung von Störstoffen oder Metallen angenommen. Damit gelangt das Material vollständig in die biologische Behandlungsstufe und wird dort zu MBA-Rest abgebaut. Der Anteil des MBA-Restes sowie Treibhausgasemissionen aus dessen Deponierung wurden wiederum analog der Berechnung für Hausmüll vorgenommen¹⁶. Die danach ebenfalls berücksichtigte mögliche C-Senke aus der Ablagerung des MBA-Restes, wird auch hier aufgrund der Unwägbarkeiten nur nachrichtlich ausgewiesen (vgl. Kap. 1.3.2).

Für den Anteil der Mittelfraktion, der zur mikrobiellen Bodenreinigungsanlage Umweltschutz Ost geht, liegen keine weiteren Informationen zu dessen Qualität vor. Eingesetzt wird die Mittelfraktion in dieser Anlage zur Sanierung von mit organischen Schadstoffen (Mineralölkohlenwasserstoffe, aromatische und polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe) belasteten Böden. Als Träger von gut biologisch abbaubaren Substanzen dient das Material zur Verbesserung der Abbaubedingungen. Durch die Behandlung, die teils geschlossen mit Abluftreinigung erfolgt, werden organische Bestandteile der Mittelfraktion abgebaut. Inwiefern hierbei treibhausgaswirksame Emissionen entstehen und freigesetzt werden ist nicht bekannt. Für die THG-Bilanz wurde davon ausgegangen, dass keine Emissionen in nennenswertem Umfang gegeben sind. Das Produkt der Behandlung ist ein sanierter Boden, der den geltenden Anforderungen für mineralische Reststoffe entspricht und im Landschaftsbau oder zu Rekultivierungsmaßnahmen eingesetzt werden kann¹⁷. Für diese Anwendung wird in der THG-Bilanz kein Nutzen angerechnet, da üblicherweise dadurch keine Primärprodukte ersetzt werden. Aus diesem Grund und wegen der Vergleichbarkeit des Bodenproduktes mit mineralischen Abfällen, wurde diese Teilmenge der Mittelfraktion in der THG-Bilanz mit Null bewertet.

Für die Behandlung der separierten Grobfraktion in der MBS ZAB Niederlehme konnten deren Energiebedarf und die Massenbilanz nach Betreiberangaben abgebildet werden. Informationen zu Inhaltsstoffen oder Kenndaten für die separierte Grobfraktion sind nicht verfügbar. Da die separierte Grobfraktion einen hausmüllähnlichen Charakter aufweist, wurden als Kenndaten für diese und für die erzeugte EBS-Fraktion die verfügbaren Durchschnittswerte der MBS bzw. insofern keine Angaben gemacht werden konnten, die

¹⁶ Daten nach (UBA 2012) für die durchschnittliche Situation in Deutschland.

¹⁷ http://www.zech-umwelt.com/pdfs/leistungsspektrum/ZU_RB_Terraferm_scr.pdf

in (UBA 2012) abgeleiteten Daten für die durchschnittliche Situation in Deutschland verwendet¹⁸.

Die Massenverteilung für die MBS ZAB Niederlehme stellt sich wie folgt dar:

- 60,9% EBS-Fraktion
- 31,0% Verluste (Wasser, abgebaute Organik)
- 4,8% Deponiefraktion (Inertmaterial)
- 3,3% Metalle

Die erzeugte EBS-Fraktion gelangt nach Betreiberangaben zu folgenden Anwendungen:

- 73% Braunkohle-Kraftwerke Vattenfall
- 18% Zementwerk Rüdersdorf
- 5% EBS-Kraftwerk Schwedt
- 5% EBS-Kraftwerk Eisenhüttenstadt

Für das EBS-Kraftwerk Eisenhüttenstadt liegen keine Informationen zu Wirkungsgraden vor. Für die Bilanzierung wurde ein durchschnittliches EBS-Kraftwerk in Deutschland nach (Öko-Institut/IFEU 2010) angenommen. Bei der Deponiefraktion handelt es sich um inertes Material aus dessen Ablagerung keine weiteren THG-Emissionen gegeben sind. Für die separierten Metalle wurde auch hier analog dem Vorgehen der Behandlung von Abfällen über die MPS-Anlagen in Berlin davon ausgegangen, dass diese nicht sortenrein anfallen. Die Ausbeuten wurden gleichermaßen mit 62% für Fe-Metalle und 18% für NE-Metalle angesetzt.

Das spezifische Ergebnis für die Verwertung von Maschinenkehricht und Altstreugut über die GAA Beeskow und die gbav zeigt Abbildung 2-18. Beide Behandlungswege sind mit Nettobelastungen verbunden. Geprägt werden diese wesentlich durch die THG-Belastungen aus dem Einsatz der Kehrmachine. Bei der Behandlung über die gbav kommen weitere Belastungen vor allem aus der Nutzung der EBS-Fraktion hinzu, die in der MBS aus der Grobfraktion erzeugt wurde. Allerdings werden diese THG-Belastungen über die dafür ebenfalls gegebenen Gutschriften aus der Mitverbrennung der erzeugten EBS-Fraktion ausgeglichen.

Für die Behandlung über die GAA Beeskow mussten wie erwähnt Annahmen getroffen werden bzw. wurde der Verbleib des behandelten Straßenkehrichts nicht weiter betrachtet. Insofern in dieser Anlage nicht ausschließlich Bodenmaterial erzeugt wurde und es sich ebenfalls um eine hochwertige Bodenbehandlung handelt, könnte das THG-Ergebnis ansonsten ähnlich dem für die gbav ausfallen.

Im gewichteten Mittel über die beiden Anlagen ergibt sich das spezifische Ergebnis der THG-Bilanz für Straßenkehricht zur Verwertung zu 72 kg CO₂-Äq/Mg Abfall.

¹⁸ Heizwert EBS aus MBS nach Betreiberangaben = 13,5 MJ/kg (Durchschnitt D: 13,4 MJ/kg) und fossiler C-Gehalt im Durchschnitt in Deutschland = 12,4%.

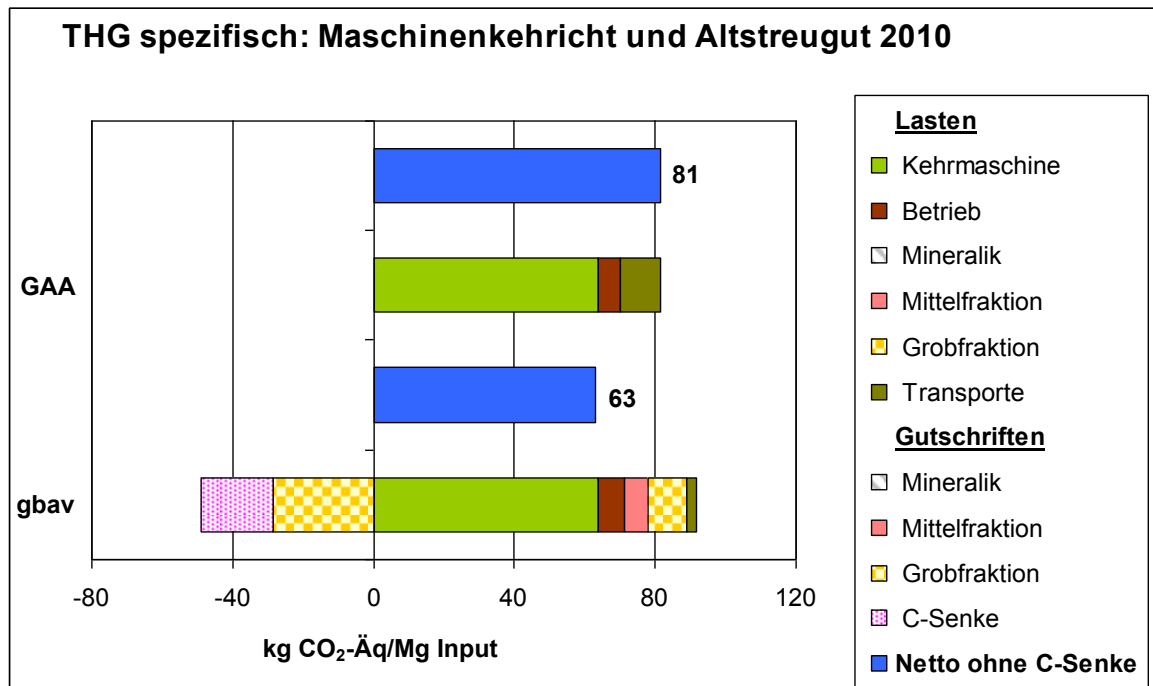


Abbildung 2-18 Spezifisches Ergebnis Verwertung Straßenkehrriecht

Hochgerechnet auf die hier betrachtete Menge an Straßenkehrriecht zur Verwertung ergibt sich eine Nettobelastung von **5.844 Mg CO₂-Äq für das Jahr 2010**, die in die Gesamtbilanz der Abfallentsorgung in Berlin eingehen.

Der THG-Minderungsbeitrag, der sich durch Anrechnung der C-Senke ergeben würde, beläuft sich auf -818 Mg CO₂-Äq.

Optimierungen für die Verwertung von Straßenkehrriecht werden vor allem in einer hochwertigen Behandlung gesehen, in der anteilig soweit möglich nicht mineralische Fraktionen abgetrennt werden, die zu EBS aufbereitet werden können. Im Jahr 2011 wurde Straßenkehrriecht vollständig über die gbav behandelt. Für die Potenzialanalyse wird entsprechend davon ausgegangen, dass Straßenkehrriecht auch im Jahr 2020 vollständig über eine geeignete Aufbereitungsanlage (z.B. gbav) behandelt wird. Es wird zudem angenommen, dass die separierte Mittelfraktion (direkt und nach anteiliger Waschung) nicht mehr über die MBA Schöneiche bzw. die Bodenreinigungsanlage entsorgt wird, sondern für eine Mitbehandlung in einer MBS (z.B. MBS ZAB Niederlehme) geeignet ist.

2.11 Trockene Wertstoffe

2.11.1 Papier/Pappe/Kartonagen

Nach Auskunft von ALBA werden für Papier/Pappe/Kartonagen (PPK) in Berlin folgende durchschnittlichen Sammeltouren angesetzt:

57 km Sammelstrecke und 25 km Strecke zur Behandlungsanlage

Das gesammelte Altpapier wird überwiegend zur Sortierung in die Sortieranlage Hultschiner Damm im Land Berlin verbracht und gelangte von dort aus im Jahr 2010 zu 39 ver-

schiedenen Behandlungsanlagen, bei denen es sich um weitere Zwischenhändler oder um Papierfabriken handelt. Letztverwerter für sortiertes Altpapier sind Papierfabriken.

Kurzsteckbrief PPK		Quelle
Aufkommen:	189.279 Mg	DSD Mengestromnachweis
Verbleib:	V.a. ALBA Sortieranlage Hultschiner Damm Letztverwertung in Papierfabriken	Abfallbericht Annahme

Die Sammlung und Verwertung von Altpapier in Berlin erfolgt durch die ALBA Group¹⁹.

Im Auftrag von ALBA Group wurden in den letzten Jahren mehrere Untersuchungen durch Fraunhofer UMSICHT durchgeführt, um die CO₂-Einsparungen durch die durchgeführten Recyclingmaßnahmen zu ermitteln (ALBA 2011a, ALBA 2011b, ALBA Group 2009, Fraunhofer UMSICHT 2009, Hiebel et al. 2011).

Diese Untersuchungen beziehen sich dabei auf die Sicht eines Abfallentsorgungsunternehmens. Diese kann sich deutlich von einer regionalen bzw. kommunalen Betrachtung der Abfallwirtschaft unterscheiden.

Im Vergleich der Ergebnisse für die ALBA Group ergeben sich Emissionsfaktoren für Wertstoffe wie Altpapier, Altglas und LVP, die sich von den durchschnittlichen Emissionsfaktoren für Deutschland nach (Öko-Institut/IFEU 2010) unterscheiden. Daher wurde in einem Fachgespräch geprüft, inwiefern die Unterschiede ggf. durch regionale Gegebenheiten geprägt sind.

Für Altpapier ergaben sich Unterschiede z.B. durch die Berücksichtigung von Exportanteilen in den Untersuchungen nach Fraunhofer UMSICHT für die ALBA Group. Im Jahr 2010 wurde allerdings Altpapier nach Auskunft von ALBA nur zu einem Anteil von unter 1% über einen Export nach Übersee vermarktet. Ein weiterer wesentlicher Unterschied ist mit der erteilten Gutschrift gegeben. In beiden Fällen, der Untersuchung durch Fraunhofer UMSICHT für die ALBA Group für 2009 und 2010 wie auch für den Durchschnitt Deutschland nach (Öko-Institut/IFEU 2010) erfolgt die Gutschrift auf Faserebene. Allerdings wurde durch Fraunhofer UMSICHT für die ALBA Group als global agierende Firma eine Gutschrift nach dem Weltmarkt abgeleitet, während in (Öko-Institut/IFEU 2010) der Fokus auf der Abfallwirtschaft in Deutschland liegt und somit die in Deutschland durch Altpapierverwertung erzielbare Gutschrift zugrunde gelegt wurde. Für diese ergab sich ein Neufasereinsatzmix in Deutschland von rd. 57% Zellstoff und 43% Holzstoff, während global nach Fraunhofer UMSICHT Zellstoff substituiert wird. Da die Herstellung von Holzstoff mit höheren Treibhausgasbelastungen verbunden ist als die Herstellung von Zellstoff, erklärt sich der höhere Entlastungsfaktor in (Öko-Institut/IFEU 2010).

Für die Bilanzierung der Abfallwirtschaft in Berlin wurden Exportanteile wegen Geringfügigkeit vernachlässigt, für die Gutschrift wurde von einer Verwertung und Neufasersubstitution in Deutschland ausgegangen. Zudem wurden die Emissionsfaktoren nach (Öko-Institut/IFEU 2010) verwendet. Dabei nicht berücksichtigt wurde der Effekt durch eine Holzschonung. Zwar ist weiterhin davon auszugehen, dass ein hoher Nutzungsdruck auf

¹⁹ Hier ALBA und Interseroh, letztere aktuell umfirmiert in ALBA SE

Holz besteht und die stoffliche Nutzung von Altholz dazu führt, dass dadurch geschontes Holz für die Energieerzeugung eingesetzt werden kann, allerdings kann dies nicht konkret belegt werden. Daher wurde konservativ für Berlin auf die entsprechende Annahme und Anrechnung verzichtet.

Im Durchschnitt gelangt Altpapier in Deutschland üblicherweise nach Sortierung (Ausbeute 99%, Rest zur MVA) direkt zur Verwertung in Papierfabriken, wo das Altpapier unter Einsatz von Hilfsstoffen und Energie zu Altpapierfasern aufbereitet wird. Als Abfälle fallen daraus Spuckstoffe (rd. 0,6% des Input) und Papierschlämme (rd. 5,3% des Input) an. Spuckstoffe werden in MVAn verbrannt, Papierschlämme in Kohlekraftwerken, sowohl Belastungen als auch Nutzen daraus sind berücksichtigt. Die gesamten Belastungen für die Aufbereitung zu Altpapierfasern belaufen sich nach (Öko-Institut/IFEU 2010) auf 209 kg CO₂-Äq/Mg Altpapier. Darunter sind die anteiligen Belastungen durch Sortierung und Transport gering.

Für die Gutschrift ist im Weiteren über einen technischen Substitutionsfaktor (SF) berücksichtigt, dass die Sekundärfasern aus Altpapier eine etwas geringere Qualität gegenüber Primärfasern aufweisen (SF = 0,95). Eine Verrechnung der Substitution auf Faserebene ist für Deutschland angemessen, da in Deutschland keine integrierte Papierproduktion erfolgt und ohne Altpapierrecycling, statt des Aufbaus einer Zellstoffindustrie, ein verstärkter Import zu erwarten ist. Wäre dies nicht der Fall und müsste die Substitution auf Ebene des fertigen Papiers durchgeführt werden, würden sich andere Ergebnisse zeigen. Mit der Substitution auf Faserebene ermittelt sich nach (Öko-Institut/IFEU 2010) eine Entlastung von 883 kg CO₂-Äq/Mg Altpapier. Geprägt wird diese zu 71% durch die Gutschrift für Holzstoff (TMP) und zu 27% durch die Gutschrift für Zellstoff. Die verbleibenden 2% resultieren aus der Gutschrift für die Verbrennung der Stör- und Spuckstoffe in MVA und Kohlekraftwerk.

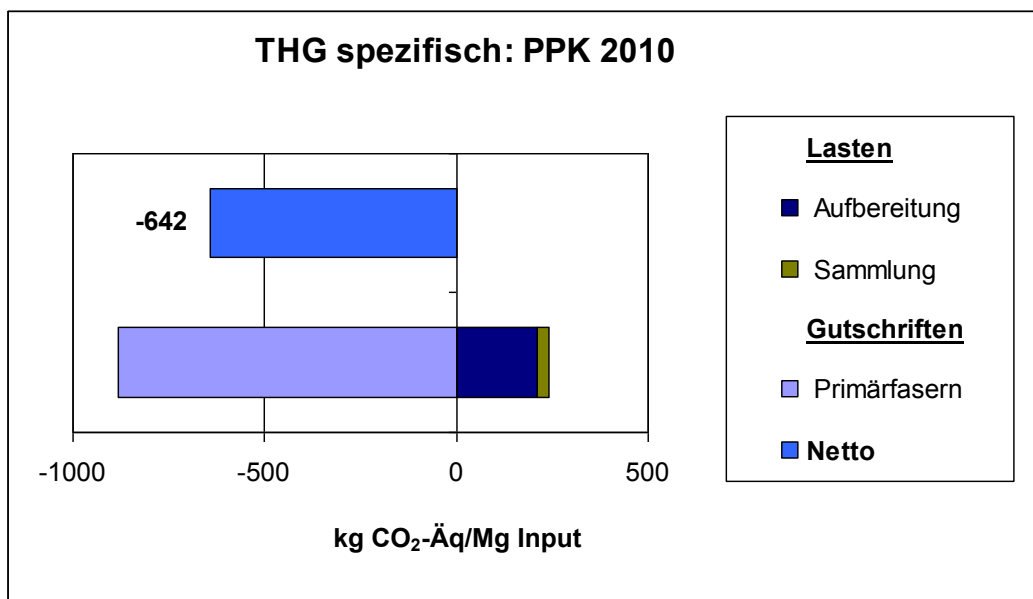


Abbildung 2-19 Spezifisches Ergebnis Verwertung PPK

Im spezifischen Ergebnis in Abbildung 2-19 zeigt, sich, dass durch die Altpapierverwertung eine relevante Nettoentlastung erreicht wird. Die THG-Belastungen aus der Sammlung sind niedrig gegenüber den THG-Belastungen für die Aufbereitung.

Hochgerechnet auf die gesamt entsorgte Menge an Altpapier ergibt sich eine Nettoentlastung von **-121.555 Mg CO₂-Äq für das Jahr 2010**, die in die Gesamtbilanz der Abfallentsorgung in Berlin eingehen.

Optimierungen für das Altpapierrecycling inklusive der Sammellogistik werden nicht gesehen.

2.11.2 Altglas

Die Glassammlung und -entsorgung erfolgt in Berlin über die Unternehmen Berlin Recycling und Rhenus. Genauere Angaben für die durchschnittliche Sammeltour sind nicht verfügbar. Für die Bilanzierung werden nach IFEU durchschnittliche Werte für Deutschland angesetzt.

15 km Sammelstrecke und 75 km Strecke zur Behandlungsanlage

Für die Sortierung des gesammelten Altglases wurde in Berlin ALBA beauftragt. Spezifische Daten für die Altglasverwertung für Berlin liegen nicht vor. Daher wurden für die Bilanzierung durchschnittliche Werte nach (Öko-Institut/IFEU 2010) verwendet.

Gegenüber den Untersuchungen für die ALBA Group (ALBA 2011a, ALBA 2011b, etc.) bestehen höhere Gutschriften, da auch die Substitution von Rohmaterial angerechnet wird. Der daraus resultierende Entlastungsbeitrag prägt zu 85% die gesamte Gutschrift und ist etwa zur Hälfte durch vermiedene mineralische CO₂-Emissionen (z.B. Brennen von Kalk) bedingt.

Kurzsteckbrief Altglas		Quelle
Aufkommen:	67.958 Mg	DSD Mengenstromnachweis
Verbleib:	Sortierung ALBA Letztverwertung in Glashütten	Abfallbericht Annahme

Altglas wird in Deutschland üblicherweise zunächst aufbereitet und im Weiteren in Glashütten verwertet. Der Aufwand der Aufbereitung (Zerkleinerung und Abtrennung Störstoffe: Verschlüsse und Etikette) und der Transportaufwand bedingen typischerweise nur vergleichsweise geringe Treibhausgasbelastungen, die sich nach (Öko-Institut/IFEU 2010) zu 33 kg CO₂-Äq/Mg Altglas ergeben. Dem stehen Gutschriften gegenüber, die sich durch die Einsparung von Energie (in Abhängigkeit des Gesamtscherbeneinsatzes) und die Einsparung von Rohstoffen wie Sand, Kalkstein, Soda, Feldspat, Dolomit ergeben (498 kg CO₂-Äq/Mg Altglas). Die Gutschrift erfolgt dabei nach der physikalischen Funktionalität der Altglasscherben, thermische Energie (Heizöl, Erdgas) kann anteilig durch den Altscherbeneinsatz eingespart werden, Rohmaterialien können 1:1 substituiert werden.

Das spezifische Ergebnis in Abbildung 2-20 zeigt eine deutliche Nettoentlastung für die Altglasverwertung. Die THG-Belastungen für die Sammlung und die Aufbereitung sind gering.

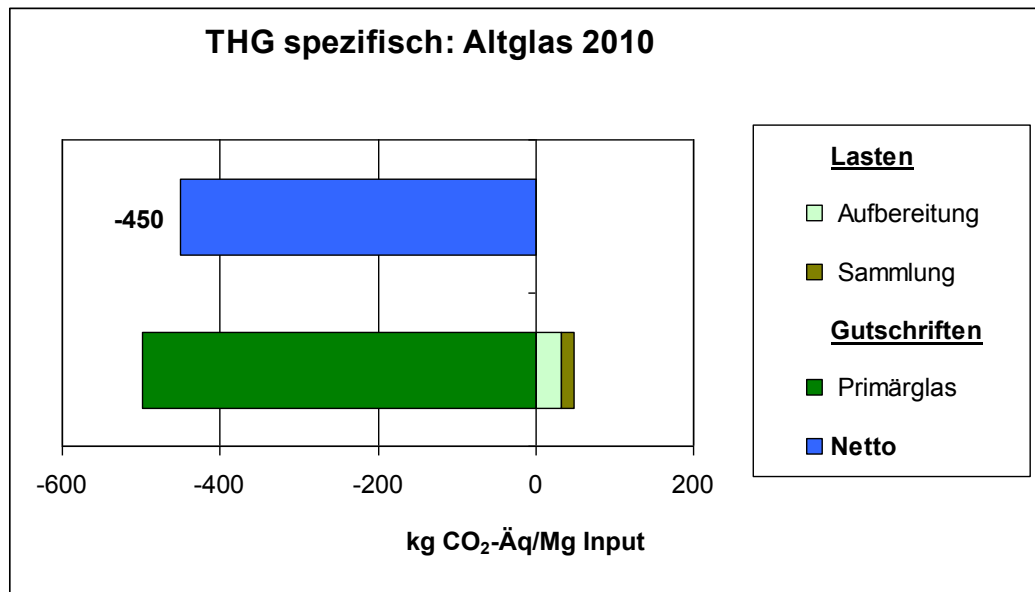


Abbildung 2-20 Spezifisches Ergebnis Verwertung Glas

Hochgerechnet auf die gesamt entsorgte Menge an Altglas ergibt sich eine Nettoentlastung von **-30.568 Mg CO₂-Äq für das Jahr 2010**, die in die Gesamtbilanz der Abfallentsorgung in Berlin eingehen.

Optimierungen für das Altglasrecycling inklusive der Sammellogistik werden nicht gesehen.

2.11.3 Leichtverpackungen im Sammelsystem Gelbe Tonne

Nach Auskunft von ALBA besteht für Leichtverpackungen (LVP) in Berlin folgende durchschnittliche Sammeltour:

28 km Sammelstrecke und 25 km Strecke zur Behandlungsanlage

Laut DSD-Mengenstromnachweis 2010 wurden in Berlin insgesamt 75.545 Mg an LVP erfasst. Diese wurden im Jahr 2010 im Auftrag der neun dualen Systembetreiber in Berlin ausschließlich durch ALBA gesammelt und sortiert. Die Sortierung erfolgte über die Anlage Hultschiner Damm der ALBA Recycling GmbH im Land Berlin.

Kurzsteckbrief LVP		Quelle
Aufkommen:	75.545 Mg	DSD-Mengenstromnachweis 2010
Verbleib:	Hultschiner Damm der ALBA Recycling GmbH s.a. Tabelle 2-12 und Erläuterung im Text	Abfallbericht, Mengenstromnachweis 2010

Im genannten DSD-Mengenstromnachweis wurden 38.172 Mg (aus Einzelpositionen berechnete Summe) an LVP Verwertungszuführungsmengen ausgewiesen. Diese Menge wurden – bis auf eine Ausnahme – im Auftrag von acht Systembetreibern durch das Unternehmen ALBA verwertet. Die Ausnahme bildet die Sortierfraktion Getränkekartons

(FKN), deren Verwertung ausschließlich durch das beauftragte Unternehmen ReCarton erfolgt.

Die über die 38.172 Mg hinausgehenden Mengen an Wertstofffraktionen werden – außer der Fraktion Aluminium – im Auftrag von DSD an der o. g. Sortieranlage abgeholt und entsprechenden Verwertungsanlagen zugeführt. Lediglich die anteilig anfallenden DSD-Sortierrestmengen und EBS-Mengen werden ebenfalls durch ALBA im Auftrag von DSD einer energetischen Verwertung zugeführt.

Die im DSD-Mengenstromnachweis ausgewiesenen LVP Verwertungszuführungsmengen sind in Tabelle 2-12 aufgeführt. Für die weitere Aufteilung der angegebenen Kunststoffmenge konnten die Ergebnisse einer aktuellen Sortieranalyse für die Gelbe Tonne Standard nach (u.e.c. 2011) verwendet werden, die ebenfalls in Tabelle 2-12 aufgeführt sind.

Tabelle 2-12 LVP Verwertungszuführungsmengen gemäß DSD-Mengenstromnachweis 2010 und Aufteilung Kunststoffe nach (u.e.c. 2011)

LVP-Sortierfraktionen	Mengen in Mg	Anteil	Anteil Kunststoffe
Weißblech	4.431	11,6%	
Aluminium	1.270	3,3%	
sonstige PPK Verbunde	744	1,9%	
Getränkekartons (FKN)	2.625	6,9%	
Nichtverpackungen	105	0,3%	
Kunststoffe	27.557	72,2%	
Folien			5,1%
Kunststoffarten			8,9%
Mischkunststoffe (MKS)			37,8%
EBS-Produkte			20,1%
Sortierreste	1.440	3,8%	
Summe (berechnet)	38.172	100%	72%

In der ebenfalls ausgewerteten Abfallbilanz 2010 des DSD-Mengenstromnachweises der Sortieranlage ALBA Werk Berlin (Hultschiner Damm) sind neben angelieferten Mengen auch die abgefahrenen Mengen, untergliedert nach Materialart und mit Angabe der Verwertungsanlagen, aufgeführt. Aus diesen Angaben konnte im Weiteren eine Aufteilung für die Sortierfraktion Kunststoffarten abgeleitet werden, die sich wie folgt ergibt:

- 11,9% Polystyrol (PS)
- 25,2% Polypropylen (PP)
- 54,6% Polyethylen (PE)
- 8,3% Hohlkörper

Die gezeigte Aufteilung für die Sortieranlage Hultschiner Damm wurde für die gesamte in Berlin angefallene und in dieser Anlage sortierte LVP-Menge von 75.545 Mg angenommen.

Für die energiebezogenen Aufwendungen der Sortierung an der Sortieranlage Hultschiner Damm konnten keine Angaben gemacht werden. Bei der Anlage handelt es sich um eine moderne Anlage mit automatisierten Trennsystemen. Der Strombedarf für diese Anlage wird mit 70 kWh/Mg LVP angenommen und damit etwas höher als in (Öko-Institut/HTP 2012) für den Durchschnitt angesetzt (50 kWh/Mg Input).

Insgesamt wurde die weitere Bilanzierung der LVP-Fractionen – soweit verfügbar – an konkreten Angaben orientiert oder ansonsten anhand von dem IFEU vorliegenden Informationen für die durchschnittliche Situation in Deutschland durchgeführt. Die von Fraunhofer UMSICHT für ALBA ermittelten Emissionsfaktoren für die LVP Verwertung²⁰ unterscheiden sich nur wenig von den für den Durchschnitt Deutschland in (Öko-Institut/IFEU 2010) ermittelten (Nettoentlastung 464 kg CO₂-Äq/t LVP gegenüber 443 in (Öko-Institut/IFEU 2010)).

Im Fachgespräch mit ALBA konnte festgestellt werden, dass hier konservative Annahmen seitens Fraunhofer UMSICHT anscheinend zu ähnlichen Gutschriften führen wie die durch IFEU berücksichtigten Substitutionsfaktoren für Sekundärkunststoffe.

Verwertung der Sortierfraktionen

Die über ALBA verwerteten Mengen an **Weißblechverpackungen** gingen im Jahr 2010 an verschiedene Verwerter und werden letztendlich stofflich in der Stahlindustrie verwertet. Allgemein gilt für die Verwertung von Verpackungen aus Weißblech in Deutschland, dass sie gleichermaßen entweder zunächst zu einer weiteren Aufbereitung gelangen oder direkt zur Verwertung ins Stahlwerk. Der erzeugte Nutzen besteht in Sekundär-Weißblech, das vollständig Weißblech aus der Primärherstellung ersetzen kann. Die Bilanzierung erfolgt analog dem Vorgehen in (Öko-Institut/IFEU 2010). Die Ausbeute an Sekundär-Weißblech aus Weißblechverpackungen ist nach (Öko-Institut/HTP 2012) mit 85% angerechnet.

Aluminiumverpackungen wurden im Jahr 2010 durch ALBA einer Verwertung zugeführt. Die überwiegenden Mengen gingen zur stofflichen Verwertung v.a. zur Pyral AG Freiberg, kleinere Mengen wurden auch zur Alunova gefahren. Am Standort der Pyral AG in Freiberg wird sowohl eine Pyrolyseanlage als auch ein Aluminiumschmelzwerk betrieben sowie des Weiteren eine Eigenentwicklung der Pyral zur Wiedergewinnung von Metallen mit organischen Anhaftungen bis zu 70% (Pyradec®).

Die genaue Zusammensetzung der Aluminiumverpackungen aus Berlin ist nicht bekannt. Im Mittel in Deutschland gelangen aluminiumhaltige Verpackungen sowohl zunächst zu einer weiteren Aufbereitung als auch direkt zur Verwertung in die Pyrolyse bzw. direkt in Aluminiumhütten. Letzteres erfolgt bei Verpackungen mit hohem Aluminiumgehalt. Der erzeugte Nutzen ist jeweils die Bereitstellung von Sekundäraluminium, das zu 100% Primäraluminium substituiert. Die Bilanzierung für Aluminiumverpackungen erfolgt auch hier analog dem Vorgehen in (Öko-Institut/IFEU 2010). Der Aluminiumgehalt in Aluminiumverpackungen ist danach im Mittel mit 40% angenommen, die Ausbeute mit 50%.

Die Vermarktung der Sortierfraktion **Getränkekartons (FKN)** erfolgt über das Unternehmen ReCarton. FKN und auch **sonstige PPK-Verbunde** werden stofflich durch diverse

²⁰ Nicht die für Interseroh in (ALBA 2011a) angegebenen, da diese auf die lizenzierten Mengen bezogen wurden und damit keine Aussage mehr über die pro Abfallfraktion erzielten Effekte zulassen.

Papierfabriken verwertet. Die Bilanzierung wird analog der Berechnung in (Öko-Institut/IFEU 2010) vorgenommen.

Die durch ALBA verwerteten Mengen an **Folien** (Polyolefine, PO) gingen im Jahr 2010 zur stofflichen Verwertung zu diversen Kunststoffaufbereitern. Dabei erfolgte für Folien, die in Ballen enthalten sind, eine Agglomerataufbereitung. Über die genauen Anteile der Agglomerataufbereitung oder die Aufwendungen und den Einsatz der erzeugten Sekundärprodukte sind keine Informationen verfügbar. Die Bilanzierung wird daher in Anlehnung an (Öko-Institut/IFEU 2010) vorgenommen. Abweichend dazu wird für die Massenstromverteilung der in (Öko-Institut/HTP 2012) angegebene Split verwendet (s. Tabelle 2-13).

Tabelle 2-13 Ausbeuten und Substitutionspotenzial stoffliche Verwertung

		Folien	Kunststoffarten	Hohlkörper	Mischkunststoffe	EBS
	SF	%	%	%	%	%
Aufbereitungsrest		15	20	20	15	15
Feuchteverlust		13	8	8	5	5
Ausbeute					80	80
Regranulat PO (PE/PP)	0,7	72		72		
Regranulat PE,PP,PS	0,9		72			

SF = Substitutionsfaktor

Kunststoffarten unterteilen sich nach der Anlagenbilanz des DSD-Mengenstromnachweises 2010 für die Anlage Hultschiner Damm wie oben aufgeführt. Ebenfalls kann basierend auf dieser Quelle der Verbleib der jeweiligen Mengen abgebildet werden. Danach gingen alle Kunststoffarten zu diversen Kunststoffaufbereitern.

Polyethylen (PE) ging zu sechs Verwertungsanlagen, darunter ALBA Eisenhüttenstadt. Auch Polypropylen (PP) ging zu sechs verschiedenen Verwertungsanlagen und ebenfalls auch zu ALBA Eisenhüttenstadt. In ALBA Eisenhüttenstadt erfolgt eine Nassaufbereitung und Granulierung von PE und PP. Von dieser Art der Aufbereitung kann auch bei den anderen Anlagen bzw. für die gesamt anfallenden Mengen dieser sortenreinen Kunststoffarten ausgegangen werden.

Polystyrol (PS) ging zu drei, Hohlkörper zu vier verschiedenen Verwertungsanlagen. Genauere Angaben zu der erfolgten Verwertung dieser Berliner Stoffströme sind nicht verfügbar. Für die Bilanzierung wurden daher die Massenstromangaben in (Öko-Institut/HTP 2012) verwendet (s. Tabelle 2-13). Im Gegensatz zu Folien wird bei den Kunststoffarten von einem qualitativ höheren Substitutionspotenzial ausgegangen. Es wird angenommen, dass das erzeugte Regranulat mit einem Substitutionsfaktor von 0,9 Granulat aus Primärkunststoffen ersetzen kann. Konservativ ausgenommen davon wurden Hohlkörper, für die der gleiche Substitutionsfaktor wie bei Folien angenommen wurde, da Hohlkörper selbst wiederum aus verschiedenen Kunststoffarten bestehen (v.a. PE und PP). Für die abgetrennten Aufbereitungsreste wird analog dem Vorgehen in (Öko-Institut/IFEU 2010) angenommen, dass diese zur Mitverbrennung in Zementwerke gehen. Als Verbrennungsparameter sind die durchschnittlichen Werte für EBS aus MBAn angesetzt, da diese als vergleichbare Fraktion eingeschätzt werden (keine Organikanteile, keine Trocknung).

Die über ALBA entsorgten Mengen an **Mischkunststoffen (MKS)** wurden im Jahr 2010 vollständig energetisch verwertet. Über die Verwertungsart der weiteren MKS-Mengen, die im Auftrag der DSD entsorgt werden, sind keine Angaben bekannt. Hier wird analog von einer energetischen Verwertung ausgegangen. Zu Kenndaten der MKS-Fraktion liegen ALBA keine Informationen vor. Es wurden durchschnittliche Werte für eine MKS-Fraktion nach Ecoinvent v2.0 verwendet (Hu rund 31 MJ/kg, C fossil rund 63%). Für die energetische Verwertung der Mischkunststoffe kommt der Einsatz im Hochofen oder im Zementwerk in Frage. In (Öko-Institut/IFEU 2010) wurde als Annahme eine Verteilung von 50:50 angesetzt. Für Berlin ist eine EBS-Verwertung im Hochofen nicht bekannt. Da sowohl Aufwand als auch Gutschrift für den Einsatz im Hochofen oder im Zementwerk sehr ähnlich ausfallen, wird für Berlin vereinfacht ein vollständiger Einsatz im Zementwerk angenommen. Vor Einsatz der Materialien im Zementwerk wird analog dem Vorgehen in (Öko-Institut/IFEU 2010) von einer weiteren Aufbereitung ausgegangen, bei der 15% Aufbereitungsreste abgetrennt werden. Für diese wird die gleiche Behandlung angenommen wie für die zuvor beschriebenen Aufbereitungsreste aus der stofflichen Verwertung. Wasserverluste aus der Konfektionierung wurden nach (Öko-Institut/HTP 2012) mit 5% angenommen (s. Tabelle 2-13).

Die anfallenden **EBS-Produkte** (Anteil Kunststoffe, s. Tabelle 2-12) werden nach Angaben von ALBA i.d.R. im EBS-Kraftwerk IKW Rüdersdorf genutzt. Auch für diese EBS liegen keine Informationen zu Kenndaten vor. Hier wurde vereinfacht angenommen, dass die erzeugten EBS-Produkte als Kunststofffraktion eine ähnliche Charakteristik aufweisen wie MKS. Daher wurden der gleiche Heizwert und fossile Kohlenstoffgehalt wie für MKS verwendet. Ebenfalls wurde von einer weitergehenden Aufbereitung und Abtrennung von 15% Aufbereitungsresten ausgegangen (s. Tabelle 2-13).

Der Anteil an **Sortierresten** liegt mit 3,8% gegenüber den durchschnittlichen Annahmen von rund 40% für 2006 in (Öko-Institut/IFEU 2010) sehr niedrig. Dagegen fällt die gesamt separierte Kunststofffraktion für Berlin im Jahr 2010 höher aus als im Bundesmittel für 2006 nach (Öko-Institut/IFEU 2010).

In (Öko-Institut/HTP 2012) wird der Sortierrestanteil für den Status Quo in Deutschland mit 32% angegeben. Diese werden zu 75% als EBS genutzt, eine EBS-Fraktion ist nicht separat ausgewiesen. Der geringe für Berlin ausgewiesene Wert dürfte sich daraus ergeben, dass die Sortieranlage Hultschiner Damm über moderne automatisierte Trennsysteme verfügt und zudem mittlerweile auch EBS aus der LVP-Sortierung erzeugt werden.

Für die 3,8% Sortierreste in Berlin können keine Angaben über deren Inhaltszusammensetzung gemacht werden. Da der Mengenanteil gering ist, wird vereinfacht davon ausgegangen, dass diese Sortierreste eine ähnliche Zusammensetzung aufweisen wie Hausmüll. Die aus der LVP-Sortierung anfallenden Sortierreste werden nach Auskunft von ALBA in einer MPS-Anlage in Berlin behandelt (nach Abfallberichten MPS Reinickendorf). Für die Bilanzierung der Sortierreste wird eine Entsorgung in dieser Anlage wie für Hausmüll angenommen.

Die nicht weiter spezifizierten **Nichtverpackungen** in Höhe von 0,3% werden aufgrund der Geringfügigkeit der Menge in der Bilanzierung vernachlässigt.

Das spezifische Ergebnis für die LVP-Verwertung ist in Abbildung 2-21 dargestellt. Bestimmt wird das Ergebnis durch die energetische Verwertung der MKS, der EBS-Produkte

sowie der Aufbereitungsreste (auch aus der stofflichen Verwertung der Kunststoffe). Insbesondere der Einsatz im Zementwerk von MKS und von den Aufbereitungsresten führt zu einem hohen Entlastungsbeitrag, da hierdurch der Primärenergieträger Braunkohle heizwertäquivalent ersetzt wird. Bei den EBS, für die angenommen wurde, dass sie als Kunststofffraktion den gleichen Heizwert und fossilen C-Gehalt aufweisen wie die MKS, ist der Entlastungsbeitrag geringer als die fossilen CO₂-Emissionen aus der Verbrennung, da hier ein Einsatz in EBS-Kraftwerken gegeben ist und die Gutschrift bezogen auf die erzeugte Endenergie Strom und Wärme anzurechnen ist.

Bei hohen fossilen Kohlenstoffgehalten von über 60% wie beispielsweise bei Kunststoffen kann i.d.R. durch die Substitution von Endenergie (Strom, Wärme) im Netto kein Entlastungsbeitrag erreicht werden. Wenn Kunststoffe energetisch genutzt werden, sollte dies aus Klimaschutzsicht durch Mitverbrennung in Kohlekraftwerken und Zementwerken erfolgen, um Kohle direkt zu ersetzen.

Hier gilt jedoch generell zu beachten, dass neben der Treibhausgasbetrachtung auch weitere Aspekte zu bedenken sind. Die EBS aus Kunststoffen müssen für die Mitverbrennung geeignet sein und dürfen z.B. keine hohen Chlorgehalte aufweisen. Auch muss darauf geachtet werden, dass keine schädlichen Emissionen aus der Mitverbrennung zu besorgen sind (höhere Frachten bei gleichen Konzentrationswerten möglich sowie ineffizienteres Abgasreinigungssystem als bei Müllverbrennungsanlagen).

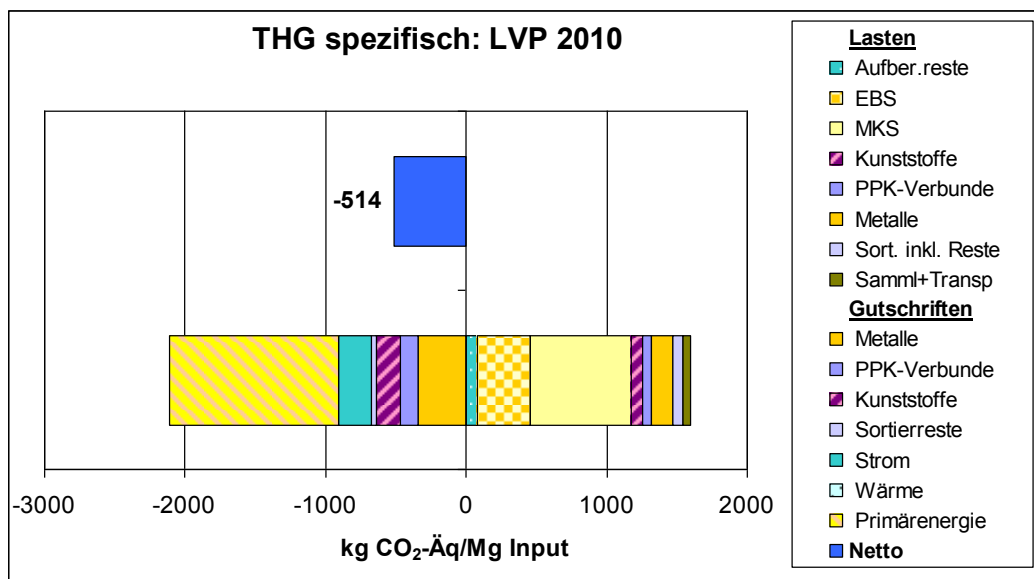


Abbildung 2-21 Spezifisches Ergebnis Verwertung LVP

Hochgerechnet auf die gesamt entsorgte Menge an LVP ergibt sich eine Nettoentlastung von **-38.848 Mg CO₂-Äq für das Jahr 2010**, die in die Gesamtbilanz der Abfallentsorgung in Berlin eingehen.

Optimierungen für die LVP-Verwertung selbst werden im Rahmen dieses Projektes nicht betrachtet. Grundsätzlich besteht die Möglichkeit einer Qualitätssteigerung der Sortierfraktionen, so dass diese generell als Kunststoffersatz eingesetzt werden können und ggf. auch mit einem höheren Substitutionsfaktor anrechenbar sind. Für das reine Sammelsys-

tem Gelbe Tonne werden ebenfalls keine Optimierungen untersucht. Für die Potenzialanalyse 2020 bzw. für die Optimierungsszenarien wird dagegen eine einheitliche Wertstofftonne betrachtet. Die dafür vorgesehenen trockenen Wertstoffe sowie zusätzlich getrennt erfassbaren Mengen sind in Kapitel 3.11 beschrieben.

2.11.4 Wertstoffe im Sammelsystem Gelbe Tonne Plus

Im Sammelsystem Gelbe Tonne Plus (GTP) werden im Unterschied zum Sammelsystem Gelbe Tonne auch stoffgleiche Nichtverpackungen sowie Elektrokleingeräte erfasst.

Die im Jahr 2010 über das Sammelsystem Gelbe Tonne Plus erfasste Wertstoffmenge wird basierend auf der Mitteilung des Senats an das Abgeordnetenhaus von Berlin (Senatsbericht 2010) mit 4.500 Mg angenommen.

Für die Sammlung der Wertstoffe im Sammelsystem Gelbe Tonne Plus wird aus Gründen der Gleichbehandlung die gleiche Sammeltour angenommen wie für die Sammlung von LVP in der Gelben Tonne. Die Sortierung der gesammelten Menge erfolgt analog der über die Gelbe Tonne erfassten LVP-Menge durch die Anlage Hultschiner Damm der ALBA Recycling GmbH.

Kurzsteckbrief Wertstoffe im Sammelsystem GTP		Quelle
Aufkommen:	4.500 Mg	Senatsbericht 2010
Verbleib:	Hultschiner Damm der ALBA Recycling GmbH s.a. Tabelle 2-14 und Erläuterung im Text	Auskunft ALBA

Für die Zusammensetzung der aus der Sortierung resultierenden Fraktionen liegt eine aktuelle Untersuchung vor, die im Auftrag von ALBA durchgeführt wurde (u.e.c. 2011). Die Ergebnisse dieser Analyse der Outputverteilung sind in Tabelle 2-14 aufgeführt. In der Tabelle ebenfalls aufgeführt ist die Aufteilung der in dieser Studie betrachteten LVP, die aus dem DSD Mengenstromnachweis abgeleitet wurde (Tabelle 2-12). In (u.e.c. 2011) wurde zwar auch eine Sortieranalyse für die Gelbe Tonne Standard durchgeführt, diese weicht aber teilweise von der Aufteilung nach dem Mengenstromnachweis ab. Da der Mengenstromnachweis zertifiziert wurde und dieser das Jahr 2010 repräsentiert, wurde für diese Studie nur für die weitere Aufteilung der Kunststoffe auf die Angaben in (u.e.c. 2011) zurückgegriffen, da im Mengenstromnachweis nur der Summenwert ausgewiesen wurde.

Im Vergleich zeigt sich, dass die Unterschiede zwischen den beiden Sammelsystemen bei den Metallen und Kunststoffen tendenziell gering sind, während sich deutlichere Abstände bei den PPK-Verbunden, den FKN und den Sortierresten abzeichnen. Insbesondere letztere fallen im Vergleich deutlich höher aus. Die ebenfalls über die Gelbe Tonne Plus gesammelten Elektrokleingeräte nehmen mit 0,1% nur einen kleinen Anteil ein. Daher wurden diese in der THG-Bilanzierung vernachlässigt.

Tabelle 2-14 Sortiererergebnis Wertstoffe im Sammelsystem GTP nach (u.e.c. 2011) im Vergleich zu Aufteilung LVP im Sammelsystem Gelbe Tonne

LVP-Sortierfraktionen	Aufteilung GTP in %	Vgl. Gelbe Tonne (Tabelle 2-12)
Weißblech	11,3%	11,6%
Aluminium	2,1%	3,3%
sonstige PPK Verbunde	5,6%	1,9%
FKN	4,9%	6,9%
Nichtverpackungen	-	0,3%
Summe Kunststoffe	67,3%	72,2%
Folien	4,0%	5,1%
Kunststoffarten	8,4%	8,9%
Mischkunststoffe (MKS)	35,2%	37,8%
EBS-Produkte	19,7%	20,1%
Sortierreste	8,7%	3,8%
Elektrokleingeräte	0,1%	-
Summe	100%	100%

Der Verbleib der ansonsten aussortierten Fraktionen entspricht dem Verbleib der Sortierfraktionen aus LVP. Auch das Vorgehen der Bilanzierung erfolgt analog dem in Kapitel 2.11.3 beschriebenen Vorgehen. Damit entspricht die THG-Bilanzierung exakt der Bilanzierung für die LVP aus der Gelben Tonne. Der einzige Unterschied besteht in der abweichenden prozentualen Zusammensetzung.

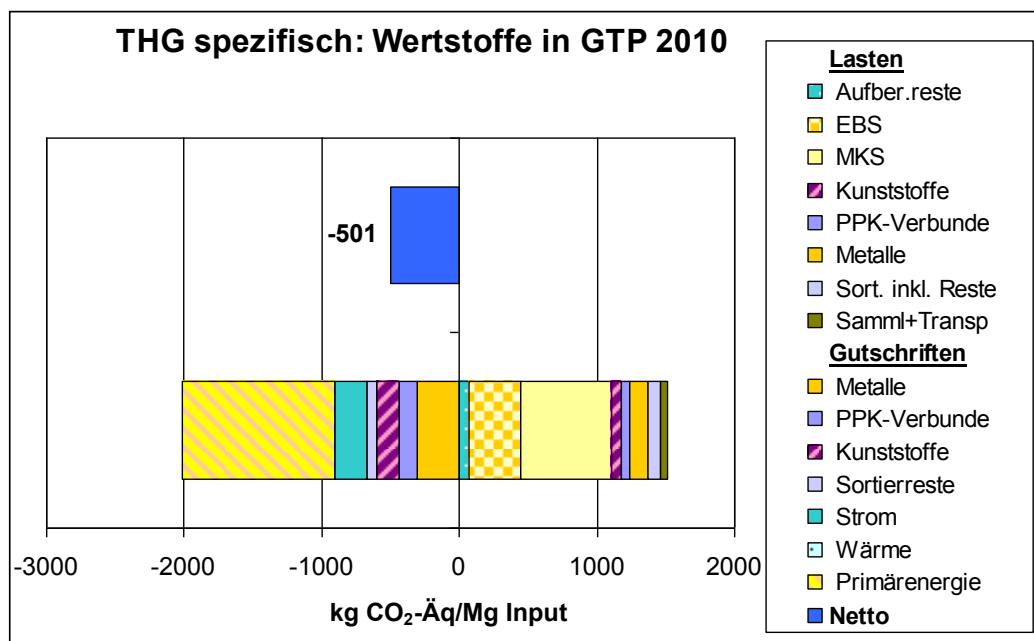


Abbildung 2-22 Spezifisches Ergebnis Verwertung Wertstoffe im Sammelsystem GTP

Im spezifischen Ergebnis in Abbildung 2-22 zeigt sich nur eine kleine Veränderung gegenüber dem Ergebnis für die LVP im Sammelsystem Gelbe Tonne in Abbildung 2-21. Die Nettoentlastung fällt hier etwas geringer aus. Im Wesentlichen ist der Unterschied auf die höhere Menge Sortierreste und umgekehrt niedrigere Menge an MKS zur Mitverbrennung im Zementwerk im System GTP zurückzuführen. Andere Effekte wie der höhere Anteil an PPK-Verbunden, dafür aber geringere Anteil an FKN, sind ebenfalls relevant, gleichen sich aber in etwa aus.

Hochgerechnet auf die gesamt entsorgte Menge an Wertstoffen im Sammelsystem GTP ergibt sich eine Nettoentlastung von **-2.254 Mg CO₂-Äq für das Jahr 2010**, die in die Gesamtbilanz der Abfallentsorgung in Berlin eingehen.

Grundsätzlich ist hier festzuhalten, dass generell die Zusammensetzung in Mischsammlsystemen immer auch Schwankungen unterliegt und insofern der Ergebnisunterschied im Bereich der üblichen Schwankungsbreite liegt. Zudem ist mit der hier durchgeführten THG-Bilanzierung eine Gleichwertigkeit der Sortierfraktionen aus den beiden Sammelsystemen unterstellt. Es ist allerdings durchaus möglich, dass z.B. MKS oder Sortierreste aus verschiedenen Sammelsystemen eine unterschiedliche Charakteristik aufweisen und sich in Heizwert und fossilem Kohlenstoffgehalt unterscheiden. Hier gilt generell zu beachten, dass Untersuchungen wie diese die Realität nur im Modell abbilden können. Eine detaillierte Analyse, die alle diese Aspekte realitätsnah berücksichtigt, ist i.d.R. nicht möglich, da entsprechende Daten – oft auch aus Kostengründen – nicht erhoben werden.

Eine exakte Abbildung ist allerdings auch für den Zweck dieser Studie nicht erforderlich. Die THG-Bilanzen dienen zunächst der Orientierung, um zu erkennen, wo wesentliche Unterschiede liegen bzw. Potenziale zu erwarten sind. Für ein Sammelsystem wie die GTP wird geschlussfolgert, dass der Unterschied im spezifischen Ergebnis nicht signifikant ist. Andererseits können nach Aussage von ALBA durch die GTP bis zu 7 kg/(E*a) zusätzliche Wertstoffe getrennt erfasst werden. Diese Menge wird der Restmülltonne entnommen, was in der Bewertung nicht außer Acht gelassen werden darf. Entscheidend für eine Beurteilung ist das Ergebnis für den Systemvergleich „Ist-Situation versus Einführung z.B. einer Wertstofftonne und Betrachtung des dadurch veränderten Restmülls“. Dieser und andere Systemvergleiche werden in Kapitel 4 diskutiert.

Optimierungen werden für die GTP ebenso wenig betrachtet wie für die Orange Box. Für die Potenzialanalyse 2020 wird dagegen eine einheitliche Wertstofftonne untersucht (Kap. 3.11), die auch nach Vereinbarung zwischen SenStadtUm, BSR und den für die Verpackungsabfälle zuständigen Dualen Systemen ab dem 01.01.13 in Berlin zur Verfügung stehen wird und flächendeckend eingeführt werden soll.

2.11.5 Wertstoffe im Sammelsystem Orange Box

Im Sammelsystem Orange Box werden im Wesentlichen stoffgleiche Nichtverpackungen sowie Elektrokleingeräte eingesammelt. Im Jahr 2010 belief sich die Sammelmenge auf 1.410 Mg (BSR 2011). Für den Sammelaufwand der Wertstoffe im Sammelsystem Orange Box liegen keine Informationen vor. Aus Gründen der Gleichbehandlung wurde die gleiche Sammeltour angenommen wie für die Sammlung von LVP in der Gelben Tonne bzw. von Wertstoffen in der Gelben Tonne Plus.

Kurzsteckbrief Wertstoffe im Sammelsystem Orange Box		Quelle
Aufkommen:	1.410 Mg	(BSR 2011)
Verbleib:	MA ORS Grünauer Straße s.a. Tabelle 2-14 und Erläuterung im Text	Abfallbericht ORS

Die Sortierung der gesammelten Menge erfolgte in der Mechanischen Aufbereitungsanlage (MA) ORS Grünauer Straße. Die Wertstoffe aus der Orange Box wurden über die Linie II (Baumischabfallsortierung) mitbehandelt. Eine genauere Beschreibung der MA findet sich in Kapitel 2.6.1.

Nach Angaben des Betreibers der MA ORS entsprechen die erzielten Sortierfraktionen in etwa den Wertstoffmengen gemäß Genehmigungsantrag aus 2010 für die Mitbehandlung der Wertstoffe aus der Orange Box in der MA. Von den BSR wurden zudem aktuelle Ergebnisse aus der wissenschaftlichen Begleitung der Orange Box zur Verfügung gestellt.

In Tabelle 2-15 sind sowohl die tatsächlich aussortierten Stofffraktionen nach Angaben der MA ORS sowie die Ergebnisse der durch ARGUS im Auftrag der BSR durchgeführten Sortieranalysen aus der wissenschaftlichen Begleitung für die Projektphase II und die Pilotphase dargestellt.

Tabelle 2-15 Sortierergebnisse und Zusammensetzung Wertstoffe im Sammelsystem Orange Box

Sortierfraktionen	Sortierfraktionen Angaben für 2010	Projektphase II 2010/2011	Pilotphase 2010/2009
Metalle	12%	9%	7%
Holz stofflich	8%		
Holz thermisch	11%		
Sperrmüllartiges (Holz, Verbundmöbel)		20%	36%
E-Schrott	6%	17%	16%
Kunststoffe	2%	10%	8%
Mineralien	6%		
Papier/Pappe/Kartonagen	1%		
Ersatzbrennstoffe	54%		
Textilien		9%	8%
Sonstige stoffgleiche Nicht-Verpackungen		11%	7%
Fehlwürfe		15%	14%
Verpackungen		9%	4%
Summe	100%	100%	100%

Es zeigt sich, dass die über die MA ORS aussortierten Mengen für Holz in etwa mit dem Ergebnis der Projektphase II übereinstimmen, für Metalle höher liegen und für Kunststoffe

und E-Schrott dagegen deutlich niedriger. Da die Sortierfraktionen das Sortierergebnis der MA ORS darstellen, wird die THG-Bilanz mit diesen Werten ermittelt.

Für Metalle liegen keine Angaben zu den Anteilen von Fe- und NE-Metallen vor. In der THG-Bilanz wurden die Metalle vollständig wie Eisenmetalle bilanziert. Auch hier wurde davon ausgegangen, dass die aussortierte Metallfraktion noch anhaftende Störstoffe enthält. Dies würde auch erklären, warum der Anteil aus der Sortierung höher ausfällt als bei der Sortieranalyse. Aufgrund der Behandlung über die MA wurde analog dem Vorgehen bei den Behandlungsanlagen für überlassungspflichtige Siedlungsabfälle auch hier von einer Ausbeute von 62% für die aus der Metallfraktion gewinnbaren Sekundärmetalle ausgegangen.

Holz geht zur stofflichen Verwertung nach Angaben der MA ORS zu einem Spanplattenwerk. Die Emissionsfaktoren zur Bewertung der stofflichen Holzverwertung wurden (Prognos/IFEU/INFA 2008) entnommen. Die energetische Verwertung von Holz erfolgt in einem Biomasse-HKW.

Für die in der Orange Box gesammelten Kunststoffe (28 Mg) wird – ähnlich wie bei der Sortierung der gemischten gewerblichen Abfälle – davon ausgegangen, dass deren Zusammensetzung sich von der für LVP typischen Zusammensetzung unterscheidet. Vereinfacht wurden die gewichteten Emissionsfaktoren für Kunststofffraktionen nach (Prognos/IFEU/INFA 2008) für die THG-Bilanz verwendet.

Die Mineralien werden in der THG-Bilanz analog den mineralischen Abfällen mit Null bewertet. Für PPK wurden zur Bewertung die gleichen Emissionsfaktoren herangezogen wie für die getrennt erfasste PPK-Menge (s. Kap. 2.11.1). Ebenso wurden für E-Schrott vereinfacht die gleichen Emissionsfaktoren für die THG-Bilanz verwendet wie für getrennt gesammelten E-Schrott (Kap. 2.15).

Die aussortierten EBS gehen zur weiteren Aufbereitung in die EBS-Aufbereitungsanlage Wilmersdorf und von dort aus zur Mitverbrennung in das Zementwerk Rüdersdorf. Der Heizwert für diese Fraktion wurde nach Angaben der MA ORS mit 20 MJ/kg angesetzt. Angaben für den fossilen C-Gehalt liegen nicht vor. Jedoch enthält die EBS-Fraktion viele Kunststoffe. Entsprechend wurde der fossile C-Gehalt basierend auf dem angegebenen Heizwert aus den Kenndaten für Mischkunststoffe (Kap. 2.11.3) zu 41% abgeschätzt.

Das spezifische Ergebnis in Abbildung 2-23 zeigt eine etwas höhere Nettoentlastung als die Ergebnisse für die LVP im Sammelsystem Gelbe Tonne und die Wertstoffe im Sammelsystem GTP in Abbildung 2-21 bzw. Abbildung 2-22. Aus der Abbildung wird auch ersichtlich, dass neben der energetischen Nutzung der EBS-Fraktion („EBS“, „Primär-energie“) v. a. E-Schrott einen sichtbaren Beitrag zur Nettoentlastung aufweist und wesentlich zu der gegenüber den anderen Sammelsystemen etwas höheren Nettoentlastung beiträgt. Da der hier aussortierte E-Schrott vereinfacht mit den Emissionsfaktoren für getrennt erfassten E-Schrott bewertet wurde, ist eine Überschätzung der Nettoentlastung nicht auszuschließen.

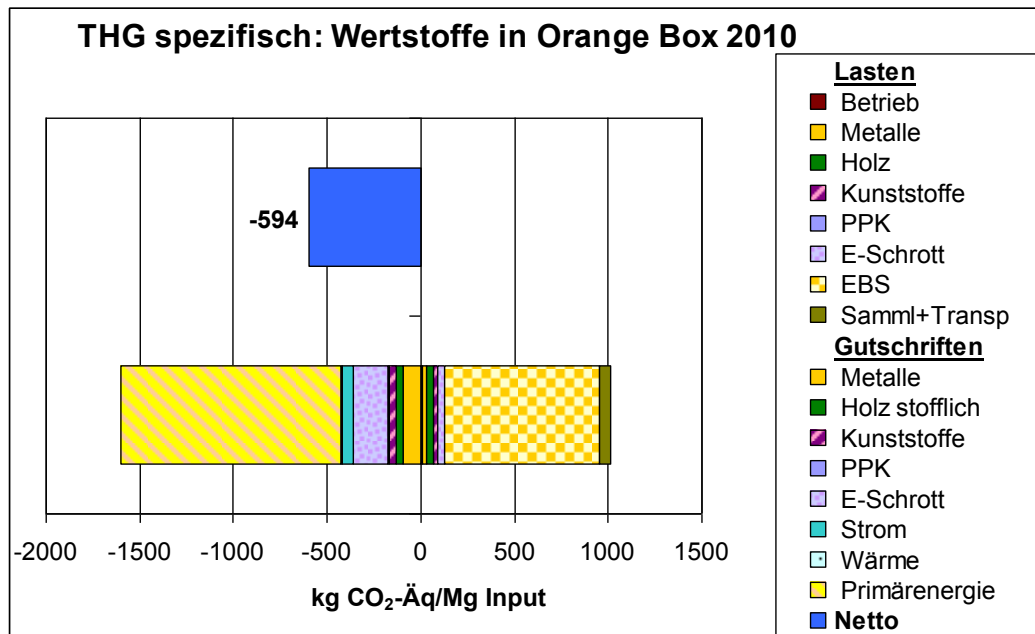


Abbildung 2-23 Spezifisches Ergebnis Verwertung Wertstoffe im Sammelsystem Orange Box

Hochgerechnet auf die gesamt entsorgte Menge an Wertstoffen im Sammelsystem Orange Box ergibt sich eine Nettoentlastung von **-837 Mg CO₂-Äq für das Jahr 2010**, die in die Gesamtbilanz der Abfallentsorgung in Berlin eingehen.

Optimierungen werden für die Orange Box ebenso wenig betrachtet wie für die GTP. Für die Potenzialanalyse 2020 wird dagegen eine einheitliche Wertstofftonne untersucht (Kap. 3.11), die auch nach Vereinbarung zwischen der Berliner Senatsumweltverwaltung, den BSR und den für die Verpackungsabfälle zuständigen Dualen Systemen ab dem 01.01.13 in Berlin zur Verfügung stehen wird und flächendeckend in Berlin eingeführt werden soll.

2.12 Alttextilien

Textilien können nach ihrem Endverwendungszweck in Bekleidungstextilien, Haustextilien, Heimtextilien und Technische Textilien eingeteilt werden. Bekleidungstextilien umfassen im Wesentlichen Oberbekleidung und Leibwäsche. Zu den Haustextilien zählen Bett- und Tischwäsche, Decken und Handtücher. Als Heimtextilien werden textile Bodenbeläge und Gardinen bezeichnet. In dieser Studie werden Bekleidungs- und Haushaltstextilien unter dem Begriff „Alttextilien“ betrachtet.

Derartige Alttextilien werden überwiegend nicht durch die BSR im Land Berlin eingesammelt, sondern über private oder karitative Unternehmen. Entsprechend gering ist die über die BSR erfasste Menge mit 2.304 Mg im Jahr 2010. Insgesamt liegt das Alttextilaufkommen in Berlin deutlich höher. Um dies zu würdigen, wurde das Aufkommen anhand bundesdeutscher Werte abgeleitet.

Nach Angaben des Fachverbandes Textilrecycling (FTR) werden in Deutschland jährlich 750.000 Mg derartiger Alttextilien sortenrein gesammelt (ca. 9 kg/(E*a)). Basierend auf der Einwohnerzahl von Berlin wurde daraus eine Gesamtmenge an sortenrein erfassten

Alttextilien in Höhe von 31.749 Mg im Jahr 2010 berechnet, die in dieser Studie zugrunde gelegt wird.

Über die Entsorgung von erfassten Alttextilien sind kaum Informationen bekannt. Nach der FTR- und bvse-Studie „Textilrecycling in Deutschland“²¹ werden Alttextilien nach Rückmeldungen aus einer Fragebogenaktion wie folgt verwertet:

- 43% Wiederverwendung (Second-Hand, rd. 2% für gemeinnützige Zwecke)
- 16% Weiterverwendung (Verarbeitung zu Putzlappen)
- 21% Weiterverwertung als Sekundärrohstoff
- 10% Weiterverwendung als Ersatzbrennstoff
- 10% Beseitigung

In Berlin wurden die über BSR eingesammelten Alttextilien der Fa. Textil-Recycling-Nord GmbH, Stade überlassen. Konkrete Angaben zum Verbleib dieser Berliner Mengen konnten nicht ermittelt werden. In (BSR 2012a) wurde basierend auf der oben genannten Studie angenommen, dass Alttextilien zu 60% wiederverwendet werden und zu 40% zur Mitverbrennung in Steinkohlekraftwerke gehen. Diese Annahme wurde für diese Studie übernommen.

Kurzsteckbrief Alttextilien		Quelle
Aufkommen:	31.749 Mg	Anteil berechnet
Verbleib:	Annahme: 60% Wiederverwendung, 40% Mitverbrennung im Steinkohlekraftwerk	Auskunft BSR, (BSR 2012a)
Kenndaten	Hu = 15 MJ/kg FS, C fossil = 12% FS	(BSR 2012a)
EF THG-E	12,7 kg CO ₂ -Äq zur Herstellung 1 kg Textil	(IFEU-Datenbank)

Für die Wiederverwendung wurde des Weiteren analog angenommen, dass die Textilien nur zu 50% Textilien aus Primärmaterial ersetzen können, um somit die gegenüber Neutextilien verkürzte Lebensdauer abzubilden. Allerdings wird in (BSR 2012a) betont – und gilt hier gleichermaßen – dass dieser Ansatz in vielfacher Hinsicht vereinfachend ist. Die Nutzung von Alttextilien hat vielschichtige Aspekte, die im Rahmen einer abfallwirtschaftlichen Treibhausgasbilanz nicht umfassend abgebildet werden können.

Für die Aufbereitung der Alttextilien wurde kein Strombedarf angenommen, es wird ausschließlich von einer händischen Sortierung ausgegangen. Die Kenndaten für Alttextilien – Heizwert, fossiler Kohlenstoffgehalt – sind (BSR 2012a) entnommen. In (BSR 2012a) wurde ein Emissionsfaktor für die Herstellung von Textilien ermittelt, der mittlerweile vom IFEU aktualisiert wurde. Daher wird der aktuelle Faktor verwendet. Durch die angenommene Mitverbrennung in Steinkohlekraftwerken wird heizwertäquivalent Steinkohle ersetzt.

²¹ „Textilrecycling in Deutschland“, Kurzfassung unter: http://bvse.de/2/2267/Textilrecycling_in_Deutschland

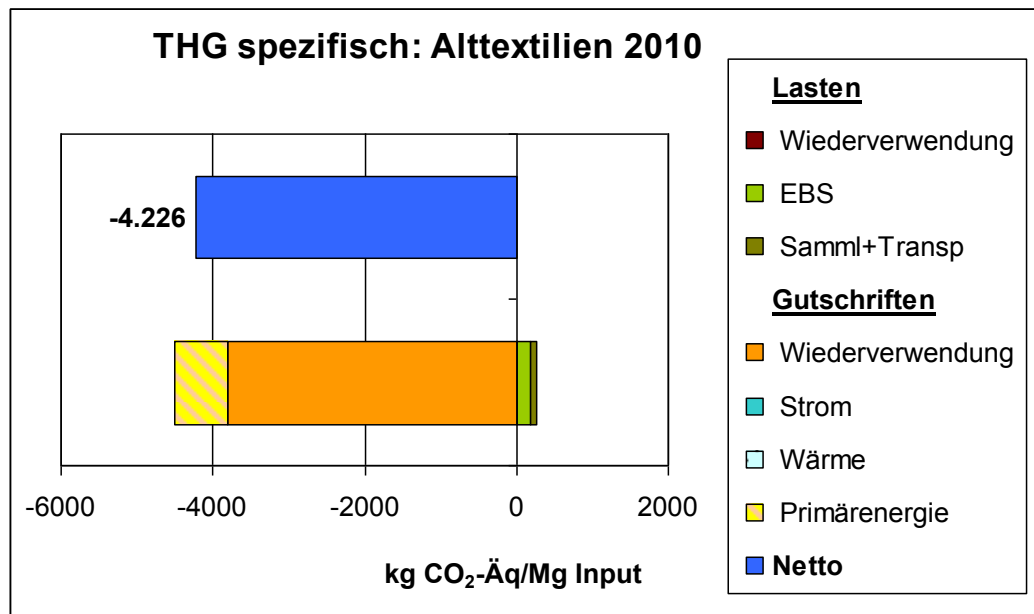


Abbildung 2-24 Spezifisches Ergebnis Verwertung Alttextilien

Im spezifischen Ergebnis zeigt sich, dass die Gutschrift aus der Wiederverwendung der Alttextilien bei weitem einen höheren Einfluss hat als die Treibhausgaswirkungen für die Mitverbrennung im Steinkohlekraftwerk (Abbildung 2-24). Dies ist dem Umstand geschuldet, dass die Herstellung von Textilien – hier angenommen mit 40% aus synthetischen Materialien und 60% aus Baumwolle – mit sehr hohen Treibhausgasbelastungen verbunden ist. Der o.g. spezifische Emissionsfaktor wird dabei zu etwa 60% durch die Produktion der Fasern bedingt und zu 35% durch die eigentliche Textilherstellung. Aus Klimaschutzsicht ist eine möglichst lange Verwendung von Textilien deutlich zu empfehlen.

Allerdings widerspricht dies dem aktuellen Modetrend und zudem sind derartige Trends wie „stone washed“ o.ä. dafür verantwortlich, dass Kleider wie v.a. Jeans bereits bei der Herstellung so sehr strapaziert werden, dass ihre Lebensdauer stark eingeschränkt ist.

Hochgerechnet auf die hier betrachtete Menge an Alttextilien ergibt sich eine Nettoentlastung von **-134.166 Mg CO₂-Äq für das Jahr 2010**, die in die Gesamtbilanz der Abfallentsorgung in Berlin eingehen.

Optimierungen bestehen theoretisch in einer Ausweitung der Wiederverwendung. Diese ist jedoch durch die Qualität der Alttextilien begrenzt. Nach Angaben des Fachverbandes Textilrecycling haben viele Billigtextilien aus Asien nur eine geringe Qualität und sind zum Weitertragen oft nicht geeignet. Die energetische Nutzung ist mit der Annahme der Mitverbrennung in Steinkohlekraftwerken bereits optimal.

2.13 Altteppiche

Als Bestandteil des Hausmülls, Sperrmülls sowie über der gemischten Siedlungsabfälle und gemischten Bau- und Abbruchabfälle werden Altteppiche (schätzungsweise rund 20.000 Mg) entsorgt. Die Stoffstrom- und Treibhausgasbilanzierung dieser Abfälle sind in den entsprechenden Kapiteln dieser Studie dargestellt.

2010 wurden Alteppiche auch durch die BSR als Monofraktion erfasst und zur Vorbehandlungsanlage Veolia Neukölln verbracht. Dort werden die Teppiche geschreddert und zu EBS aufbereitet. Nach Auskunft von Veolia Neukölln sind Verwerter dieser Abfallfraktion verschiedene EBS-Kraftwerke. Konkrete Angaben zum Verbleib dieser Berliner Mengen konnten nicht ermittelt werden.

Kurzsteckbrief Alteppiche		Quelle
Aufkommen:	5.035 Mg	(BSR 2011)
Verbleib:	Aufbereitung zu EBS bei Veolia Neukölln, Verwertung in verschiedenen EBS-Kraftwerken	Veolia Neukölln
Kenndaten	Hu = 30 MJ/kg FS, C fossil = 45% FS*	(BSR 2012a)

*mit Annahme v.a. Polyamid

Der Strombedarf der Aufbereitung der Alteppiche wurde nach Abschätzung von Veolia Neukölln mit 50 kWh/t angesetzt. Die Kenndaten für Alteppiche sind (BSR 2012a) entnommen. Die Werte entsprechen vereinfacht den Kenndaten für Polyamid, da nach einer Studie des Bayerischen Landesamtes für Umweltschutz (BayLfU 2001) über 90% der Teppiche auf synthetischer Basis hergestellt werden, wobei v.a. Polyamid verwendet wird. Für die THG-Bilanz wurde der Einsatz in einem durchschnittlichen EBS-Kraftwerk in Deutschland angenommen, wie es in (Öko-Institut/IFEU 2010) ermittelt wurde (Wirkungsgrade: 18,8% elektrisch und 16% thermisch).

Im spezifischen Ergebnis zeigt sich, dass CO₂-Emissionen aus der Verbrennung aufgrund des hohen fossilen Kohlenstoffgehaltes die erzielbaren Gutschriften aus der Strom- und Wärmeerzeugung überwiegen (Abbildung 2-25). Entsprechend ergibt sich eine spezifische Nettobelastung für die Entsorgung von Alteppichen.

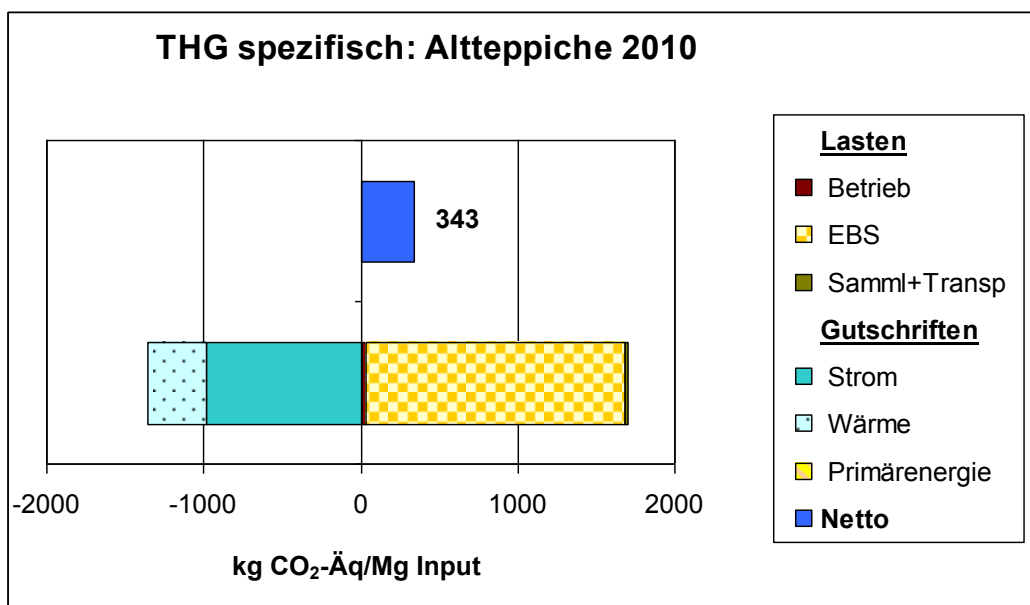


Abbildung 2-25 Spezifisches Ergebnis Verwertung Alteppiche

Hochgerechnet auf die hier betrachtete Menge an Altteppichen ergibt sich eine Nettobelastung von **1.727 Mg CO₂-Äq für das Jahr 2010**, die in die Gesamtbilanz der Abfallentsorgung in Berlin eingehen.

Optimierungen bestehen grundsätzlich in einer stofflichen Verwertung dieser Abfallfraktion mit hohem fossilem Kohlenstoffgehalt, die allerdings bislang weder praktikabel noch wirtschaftlich ist. Die energetische Nutzung kann optimiert werden durch Einsatz der erzeugten EBS-Fraktion zur Mitverbrennung in Kohlekraftwerken oder Zementwerken, da dadurch direkt Kohle ersetzt werden kann, was zu höheren Gutschriften führt (Kap. 1.3.2). Die Eignung der Altteppiche hierfür wäre zu prüfen.

2.14 Altreifen

Über die BSR wurden 2010 in Berlin nur 537 Mg Altreifen erfasst. Auch in den Abfallberichten der Vorbehandlungsanlagen sind nur geringe Mengen an Altreifen ausgewiesen. Insgesamt liegt das Altreifenaufkommen in Berlin deutlich höher. Um dies zu würdigen, wurde das Aufkommen für Berlin anhand bundesdeutscher Kennwerte abgeleitet.

Aus der in Tabelle 2-16 dargestellten Menge zum Aufkommen und basierend auf der Berliner Einwohnerzahl berechnet sich ein Gesamtaufkommen von 25.992 Mg Altreifen im Land Berlin. Von dieser Gesamtmenge wurde in dieser Studie nur der Anteil betrachtet, der einer stofflichen Verwertung über eine Granulierung der Altreifen zugeführt wird sowie der Anteil, der durch Mitverbrennung in Zementwerken energetisch verwertet wird.

Tabelle 2-16 Aufkommen und Verbleib von Altreifen in Deutschland

Verwertung	Mengen in Mg	Anteil
Runderneuerung	45.000	7%
Wiederverwendung im Inland	10.000	2%
Export Wieder-/Weiterverwendung	84.000	14%
Granulate	215.000	35%
Zementindustrie	250.000	41%
Export energetische Verwertung	10.000	2%
Summe	614.000	100%

Die Anteile zur Runderneuerung, Wieder- und Weiterverwendung im In- und Ausland wurden hier nicht betrachtet. Wie bei Alttextilien geschildert wäre eine entsprechende Betrachtung in vielfacher Hinsicht nur vereinfachend möglich. Die Wiederverwendung von Abfällen hat vielschichtige Aspekte, die im Rahmen einer abfallwirtschaftlichen Treibhausgasbilanz nicht umfassend abgebildet werden können. Für Altreifen wurde auf eine entsprechende Betrachtung verzichtet.

Das betrachtete Aufkommen in Höhe von 20.108 Mg wird abgeleitet aus der Verteilung in Tabelle 2-16 wonach rund 45% der Altreifen stofflich recycelt und rund 55% in Zementwerken energetisch verwertet werden. Die Bewertung dieser Verwertung erfolgt nach Ergebnissen einer Studie, die durch das IFEU Heidelberg in Zusammenarbeit mit dänischen Partnern für die Firma Genan durchgeführt wurde (Force/CRI/IFEU 2009). In dieser Stu-

die wurde die stoffliche Verwertung von Altreifen mit der Mitverbrennung in Zementwerken ökobilanziell vergleichend bewertet.

Kurzsteckbrief Altreifen		Quelle
betrachtetes Aufkommen:	20.108 Mg	Anteil berechnet
Verbleib:	45% stoffliche Verwertung, 55% Mitverbrennung im Zementwerk	berechnet
Kenndaten	Hu = 26 MJ/kg FS, C fossil = 51,6% FS	(Force/CRI/IFEU 2009)

Bei dem in der Studie untersuchten Verfahrensprinzip der stofflichen Verwertung werden die Altreifen zerkleinert, gereinigt und getrennt. Im Output entstehen 67% Gummigranulat, 18% Stahl, 14% Textil und <1% mineralische und andere Abfälle. Das Gummigranulat ist zu 75% feinkörnig (<1,4 mm), dieser Anteil wird in gummimodifiziertem Asphalt eingesetzt. Für die verbleibenden 25% (> 1,4 mm) kann ein Einsatz als Füllmaterial in Kunstrasen erfolgen. Stahl wird in der Stahlindustrie recycelt. Für die Textilfraktion gibt es derzeit noch keine stoffliche Anwendungsmöglichkeit, diese geht zur Mitverbrennung in Zementwerke. Der kleine Anteil Inertabfälle wird abgelagert. Die Studie (Force/CRI/IFEU 2009) wurde nach Ökobilanznorm einer kritischen Prüfung unterzogen. Für die THG-Bilanz für das Land Berlin wurden die darin ermittelten Emissionsfaktoren herangezogen.

Im spezifischen Ergebnis der THG-Bilanz zeigt sich, dass bei beiden Verwertungsarten die Gutschriften die Belastungen überwiegen. Die oben beschriebene stoffliche Verwertung erzielt dabei einen höheren Nettoentlastungsbeitrag als die Mitverbrennung im Zementwerk aufgrund der fossilen CO₂-Emissionen aus der Verbrennung, die zu höheren Belastungen führen (Abbildung 2-26).

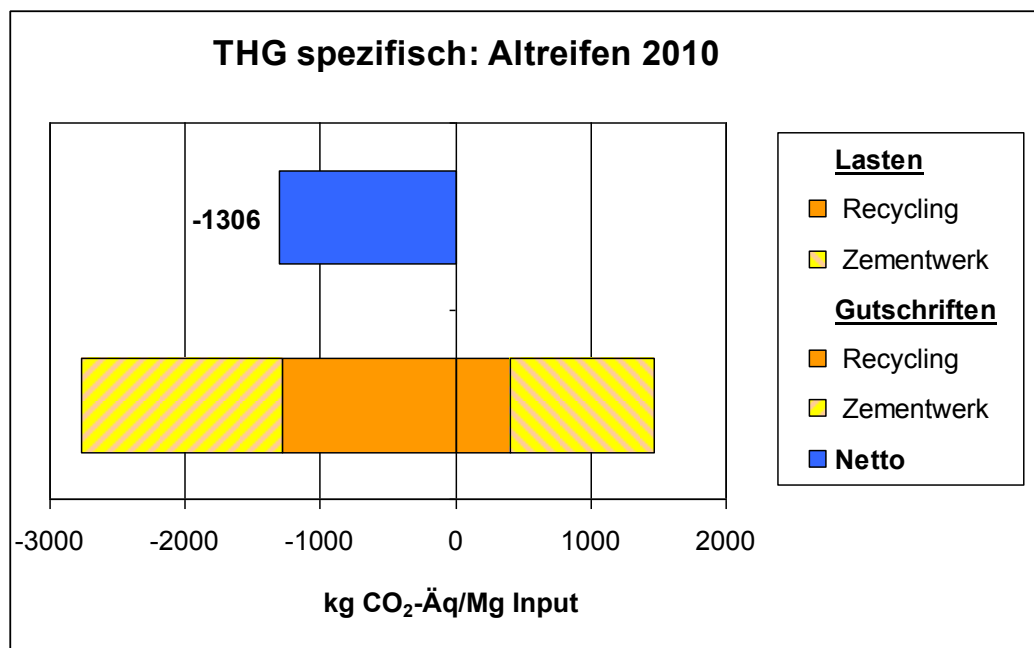


Abbildung 2-26 Spezifisches Ergebnis Verwertung Altreifen

Hochgerechnet auf die hier betrachtete entsorgte Menge an Altreifen ergibt sich eine Nettoentlastung von **-26.257 Mg CO₂-Äq für das Jahr 2010**, die in die Gesamtbilanz der Abfallentsorgung in Berlin eingehen.

Optimierungen bestehen in der Steigerung des Anteils zur stofflichen Verwertung der Altreifen. In der Potenzialanalyse wird dies mit einer Steigerung von den derzeitigen 45% auf 80% untersucht.

2.15 E-Schrott

Nach dem Elektro- und Elektronikgerätegesetz vom 16. März 2005 können Verbraucherinnen und Verbraucher ihre alten Elektro- und Elektronikgeräte kostenlos bei den kommunalen Sammelstellen abgeben. Die Hersteller müssen seitdem die dort gesammelten Geräte zurücknehmen und entsorgen.

In Berlin können getrennt gehaltene Elektro- und Elektronikaltgeräte von den Bürgern auf den Recyclinghöfen der BSR kostenlos abgegeben werden. Im Rahmen dieser Studie werden ausschließlich diese häuslichen Abfallmengen betrachtet, da entsprechende Daten vom Handel nicht vollständig vorliegen und somit nicht belastbar sind.

Zu den Aufwendungen der Sammlung liegen keine spezifischen Angaben vor. Für die Berechnung der Treibhausgasbilanz wurde von einer analogen durchschnittlichen Sammelstrecke ausgegangen wie für Sperrmüll in Deutschland.

In der BSR-Entsorgungsbilanz (BSR 2011) wird E-Schrott unterschieden in Braune Ware, Weiße Ware und Kühlgeräte. Weiße Ware bezeichnet Geräte, die im Zusammenhang mit Hausarbeit stehen wie Kochen, Waschen, etc., Braune Ware steht für Geräte aus dem Wohnbereich (Unterhaltungselektronik). Diese Einteilung ist veraltet, findet sich aber noch in Statistiken und in der Verkehrssprache des Einzelhandels und von Entsorgungsbetrieben.

Kurzsteckbrief E-Schrott		Quelle
Aufkommen:	16.123 Mg; davon 10.418 Mg Braune Ware, 2.502 Mg Weiße Ware, 3.203 Mg Kühlgeräte	(BSR 2011)
Verbleib:	Haushaltsgroßgeräte: Eigenvermarktung, Erstbehandlung durch die TSR Recycling Brandenburg; übriger E-Schrott zur EAR	Auskunft BSR

Nach dem Elektro- und Elektronikgerätegesetz (ElektroG) vom 16.3.2005 wird E-Schrott in 10 Kategorien eingeteilt, die im Weiteren zu fünf Sammelgruppen zusammengefasst sind (Tabelle 2-17). Eine Zuordnung der in der BSR-Entsorgungsbilanz ausgewiesenen Mengen für Weiße Ware, Braune Ware und Kühlgeräte zu den Kategorien nach ElektroG ist nicht möglich. Allerdings wurde nach Auskunft der BSR für Haushaltsgroßgeräte die Eigenvermarktung erklärt, dabei handelt es sich um die als Weiße Ware ausgewiesene Menge. Die Erstbehandlung dieser Menge im Sinne des ElektroG erfolgt durch die Firma TSR Recycling, Brandenburg. Die übrigen E-Schrottmengen werden an die Stiftung Elektro-Altgeräte-Register (EAR) zur Abholung gemeldet.

Tabelle 2-17 Kategorien nach ElektroG und Sammelgruppen nach EAR

Sammelgruppe	Kategorie	Kategorie
1	1	Haushaltsgroßgeräte
5	2	Haushaltskleingeräte
3	3	Geräte der Informations- und Telekommunikationstechnik
3	4	Geräte der Unterhaltungselektronik
5	5	Beleuchtungskörper
5	6	Elektrische und elektronische Werkzeuge
5	7	Spielzeug sowie Sport- und Freizeitgeräte
5	8	Medizinprodukte
5	9	Überwachungs- und Kontrollinstrumente
1	10	Automatische Ausgabegeräte

Informationen zum weiteren Verbleib der E-Schrottfractionen liegen nicht vor. Für die Zerlegung, den dafür erforderlichen Energieaufwand sowie die erzielbaren Trennfractionen wurden Abschätzungen seitens IFEU vorgenommen.

Bei der Braunen Ware handelt es sich nach Masse voraussichtlich überwiegend um Geräte der Unterhaltungselektronik und der Informations- und Telekommunikationstechnik. Der Anteil von Haushaltskleingeräten wird eher niedrig eingeschätzt.

Elektroaltgeräte bestehen im Wesentlichen aus Metallen, Kunststoffen und im Falle von alten Fernsehern und Computerbildschirmen aus Bildschirmglas.

Kühlgeräte werden nach Abtrennung des Kühlmittels vollständig zerlegt. Die Aufteilung der Trennfractionen (Reinfractionen nach mehreren Trennschritten) wurde wie folgt angenommen:

- 44% Fe-Metalle
- 20% Mischkunststoffe
- 17% NE-Metalle
- 14% Polyurethan (PUR)
- 5% Reste

Die NE-Metalle bestehen im Wesentlichen aus Aluminium, Kupfer und Chromstahl, die – ebenso wie Fe-Metalle – einer stofflichen Verwertung zugeführt werden. Für die Mischkunststoffe wurde eine energetische Verwertung durch Mitverbrennung in Kraft- und Zementwerken angenommen, dagegen für die abgetrennte Reinfraction an Polyurethan eine stoffliche Verwertung. Für die anfallenden Reste wurde eine thermische Behandlung über eine durchschnittliche MVA in Deutschland bilanziert.

Die Aufteilung nach Zerlegung für **Weißer Ware** wurde wie folgt angenommen:

- 55% Fe-Metalle
- 32% NE-Metalle
- 8% Schredderleichtfraktion (SLF)
- 3% Kunststoffe
- 2% Schredderschwerfraktion

NE-Metalle bestehen auch hier im Wesentlichen aus Aluminium, Kupfer und Chromstahl, die wie Fe-Metalle einer stofflichen Verwertung zugeführt werden. Für die Schredderleichtfraktion wurde eine Behandlung über eine durchschnittliche MVA in Deutschland bilanziert, für die Schredderschwerfraktion eine Deponierung Untertage. Für die Mischkunststoffe wurde wiederum eine energetische Verwertung durch Mitverbrennung in Kraft- und Zementwerken angenommen.

Für **Braune Ware** wird zu einem kleineren Anteil von einer Wiederverwendung ausgegangen. Das tatsächliche Substitutionspotenzial gegenüber Neuware hängt dabei von der Geräteart ab und von den veränderten Randbedingungen in der Nutzungsphase. Nach (UBA 2012b) kann durch die Wiederverwendung in aller Regel von einer THG-Minderung ausgegangen werden, soweit nicht gravierende technische Veränderungen im Sinne eines Entwicklungssprungs (z.B. Minimierung des Wasserverbrauchs bei Waschmaschinen) den Energie- bzw. Ressourcenverbrauch in der Nutzungsphase drastisch reduzieren. Für die THG-Bilanz wurde eine durchschnittliche THG-Minderung durch eine anteilige Substitution von Neuware abgeschätzt. Eine genauere Analyse des Minderungspotenzials ist im Rahmen dieser Studie nicht möglich.

Insgesamt wurde für die Verwertung und Zerlegung von Brauner Ware von folgender Auftrennung in Fraktionen ausgegangen:

- 27% Reste (inkl. Schredderleichtfraktion)
- 25% NE-Metalle
- 19% Fe-Metalle
- 15% Mischkunststoffe
- 8% Deponie
- 4% Wiederverwendung
- 2% Glas

Die anfallenden Reste sind die abschließend gesamt anfallenden Sortierreste, für die eine Behandlung über MVA angenommen wurde. Die NE-Metalle, im Wesentlichen bestehend aus Aluminium, Nickel, Kupfer, Gold, Silber, Palladium, resultieren sowohl aus der direkten Zerlegung als auch aus der Zerkleinerung von Leiterplatten, Kabeln und Leitungen sowie den Röhrenbildschirmen. Für die Mischkunststoffe wurde auch hier eine energetische Verwertung durch Mitverbrennung in Zement- oder Kraftwerken angenommen. Etwa 8% der zerlegten Braunen Ware sind inertes Material, das auf Deponien abgelagert wird. Rund 4% werden wiederverwendet, und etwa 2% sind Glas aus der weiteren Zerlegung der Röhrenbildschirme.

Insgesamt ergibt sich aus der Bilanzierung der drei Gruppen von E-Schrott das in Abbildung 2-27 gezeigte Ergebnis der THG-Bilanz. Grundsätzlich führt die Zerlegung und Verwertung von E-Schrott zu einer deutlichen Nettoentlastung. Das spezifische Ergebnis der einzelnen Gruppen – Braune Ware, Weiße Ware, Kühlgeräte – unterscheidet sich untereinander wenig. Die Beiträge in Abbildung 2-27 sind vor allem durch die jeweils gesammelte und entsorgte Menge bestimmt, die bei Brauner Ware am höchsten ist.

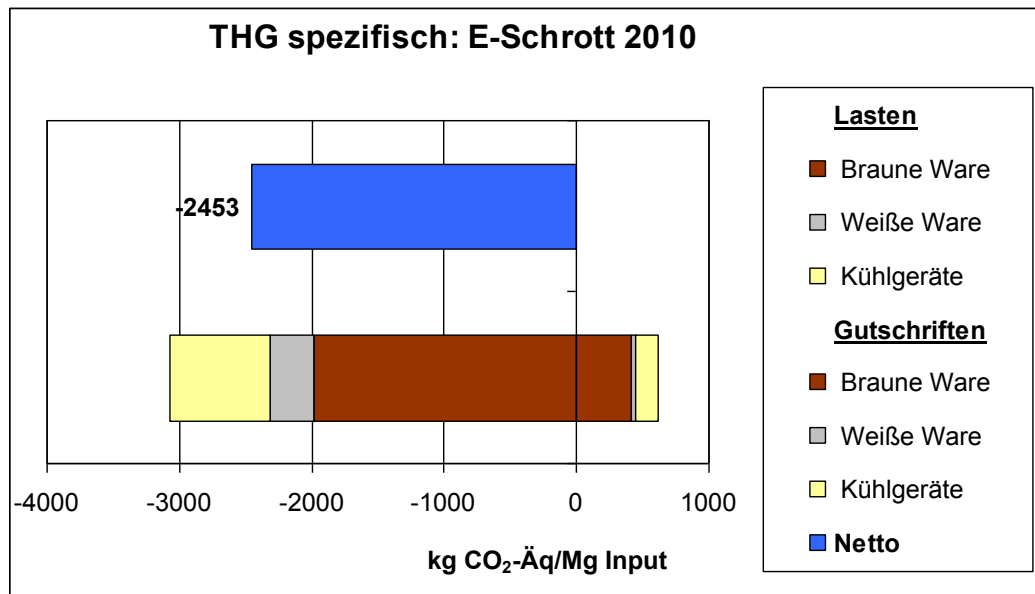


Abbildung 2-27 Spezifisches Ergebnis Verwertung E-Schrott

Hochgerechnet auf die hier betrachtete Menge an E-Schrott ergibt sich eine Nettoentlastung von **-39.552 Mg CO₂-Äq für das Jahr 2010**, die in die Gesamtbilanz der Abfallentsorgung in Berlin eingehen.

Optimierungen für die Verwertung von E-Schrott selbst werden im Rahmen dieses Projektes nicht gesehen. Es besteht jedoch die Möglichkeit einer Steigerung der getrennten Erfassung von E-Schrott. Insbesondere Haushaltskleingeräte werden derzeit noch über die Graue Tonne entsorgt. So enthält der anfallende Restmüll nach (ARGUS 2009b) eine Menge von rund 4.400 Mg Elektroaltgeräten.

2.16 Altmetalle

Die überwiegend in Berlin anfallenden sortenreinen Altmengmengen (Primärabfall) werden über eine Vielzahl privater Metallentsorger erfasst. Aufgrund unzureichender Datennlage konnten diese Metallmengen in Berlin nicht abgebildet werden.

Daneben fallen relevante Metallmengen als Sekundärabfälle bei der Aufbereitung und Behandlung von gemischten Siedlungsabfällen und Bau- und Abbruchabfällen in entsprechenden Vorbehandlungsanlagen (z.B. MHKW Ruhleben, MPS, MA, Sortieranlagen) an. Diese Metallmengen werden nach Menge und Klimawirksamkeit in den jeweiligen Kapiteln dieser Studie bilanziert. Darüber hinaus werden in dieser Studie auch die über die Wertstofftonne erfassten Metalle betrachtet.

In diesem Kapitel werden nur die über die BSR erfassten Metallmengen abgebildet. Von den BSR sortenrein gesammelte Metallmengen (237 Mg) wurden im Straßenland eingesammelt sowie bei weiteren Anfallstellen erfasst. Die überwiegende Menge von 8.501 Mg wurde an den BSR-Recyclinghöfen abgegeben. Eine getrennte Erfassung nach Eisen- und Nichteisenmetallen fand laut BSR nicht statt. Die Gesamtmenge an Altmetall wurde an die Fa. TSR Recycling, Brandenburg zur Separierung und anschließenden Verwertung

in Metallhütten abgegeben. Konkrete Angaben zum Verbleib dieser Berliner Mengen konnten nicht ermittelt werden.

Kurzsteckbrief Schrott		Quelle
Aufkommen:	8.738 Mg	(BSR 2011)
Verbleib:	TSR Recycling Brandenburg, weiterer Verbleib nicht bekannt	Auskunft BSR

Für die Bilanzierung wurde vereinfacht angenommen, dass es sich bei den gesammelten Altmetallen zu 100% um Fe-Schrott handelt. Analog dem Vorgehen bei den Behandlungsanlagen für überlassungspflichtige Siedlungsabfälle wird auch für die erfassten Schrottmengen davon ausgegangen, dass an diesen Störstoffanhaftungen gegeben sind. Die daraus gewinnbare Reifraktion wurde jedoch aufgrund der anderen Charakteristik der getrennt erfassten Altmetalle wie bei Sperrmüll mit 78% statt 62% angenommen. Die Emissionsfaktoren für Lasten und Gutschriften entsprechen den in (Öko-Institut/IFEU 2010) verwendeten. Des Weiteren in der Bilanzierung berücksichtigt sind die Aufwendungen für die Sammlung und Transporte.

Das spezifische Ergebnis in Abbildung 2-28 zeigt eine relevante Nettoentlastung für die Altmetallverwertung.

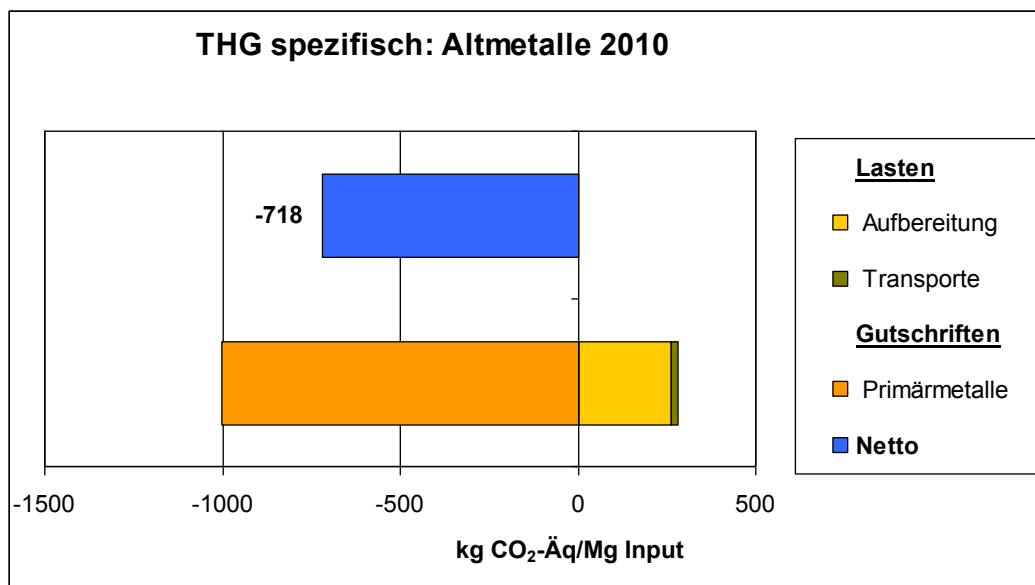


Abbildung 2-28 Spezifisches Ergebnis Verwertung Altmetalle

Hochgerechnet auf die hier betrachtete Menge an Altmetall ergibt sich eine Nettoentlastung von **-6.278 Mg CO₂-Äq für das Jahr 2010**, die in die Gesamtbilanz der Abfallentsorgung in Berlin eingehen.

Optimierungen bestehen grundsätzlich darin NE-Metalle separat zu erfassen, da deren Herstellung mit höheren Belastungen verbunden ist und dadurch umgekehrt durch deren Verwertung höhere Gutschriften erzielt werden könnten. Allerdings ist davon auszugehen,

dass angelieferte Altmetalle überwiegend in Form von Verbunden vorliegen (z.B. Fahrräder), die nicht vor Ort in Fe- und NE-Anteile zerlegt werden können. Aber auch wenn Altmetalle „sortenrein“ aus Fe- oder NE bestehen, bedarf eine getrennte Erfassung über die Wertstoffhöfe eines sehr hohen Kontroll- und Schulungsaufwandes und ist i.d.R. nicht wirtschaftlich durchzuführen. Daher wird kein Optimierungspotenzial für die Altmetallfassung bei den BSR angenommen.

2.17 Altholz

Die Holzmengen der Berliner Vorbehandlungsanlagen (Sortieranlagen und Holzkontore) ergeben sich aus den Anlagenbilanzen, wonach Holz als Monofraktion oder als Bestandteil eines Abfallgemisches im Input angenommen wird. Die Holzmengen dieser Anlagen setzen sich aus Holzmengen aus Berlin und Brandenburg zusammen. Insgesamt werden rund 260.000 Mg sortenreines Holz angenommen, von denen rund 37.000 Mg in die stoffliche Verwertung verbracht werden.

Neben dieser Monofraktion werden aus den eingesetzten gemischten Abfallfraktionen rund 63.000 Mg Altholz aussortiert. Insgesamt werden dadurch rund 285.000 Mg erzeugt, die einer energetischen Verwertung zugeführt werden.

Die in Berlin anfallenden Mengen an Holz sind in Abbildung 2-29 zusammengestellt.

Im Input der o.g. Anlagen werden auch 12.000 Mg Holz, welches gefährliche Stoffe enthält (A4-Holz), als Monofraktion angenommen. Des Weiteren werden über Abfallgemische zusätzliche A4-Holzmengen eingebracht. Dieser Anteil an A4-Holz kann nicht quantifiziert werden, schätzungsweise ergibt sich eine Inputmenge von rund 13.000 Mg an A4-Holz. Aus den Angaben der Vorbehandlungsanlagen ergibt sich dagegen, dass rund 70% des Outputs als Holz mit gefährlichen Stoffen deklariert wird. Diese Outputmenge an A4-Holz mit rund 200.000 Mg übersteigt die Inputmenge an A4-Holz (12.000 Mg als Monofraktion sowie 13.000 Mg an aussortiertem Holz aus Gemischen) um ein Mehrfaches.

Ursache dafür ist, dass bei der Aufbereitung des Holzes für die Kraftwerke durch eine unvermeidbare Vermischung von A4-Holz mit anderen Hölzern (A1-A3) ein Gemisch entsteht, das letztendlich zur Deklaration von A4-Holz führt. Praktisch ist das unproblematisch, da das Holzheizkraftwerk Rudow und das Biomasseheizkraftwerk MVV entsprechendes Holz mit A1- bis A4-Klassifikation verbrennen dürfen. Im Rahmen dieser Studie wird gefährliches Altholz nicht betrachtet.

Von der Gesamtmenge von "Holz zur energetischen Verwertung" werden von den angesetzten 286.000 Mg zunächst rund 25.000 Mg an originärem A4-Holz sowie eine abgeschätzte Holzmenge aus dem Land Brandenburg in Höhe von rund 90.000 Mg abgezogen. Somit ergibt sich eine im Land Berlin anfallende Holzmenge (A1 bis A3) von rund 170.000 Mg für die energetische Verwertung.

Zusätzlich zu diesen aus der Vorbehandlung stammenden Mengen werden von den BSR rund 21.000 Mg getrennt erfasstes Altholz und rund 2.300 Mg Weihnachtsbäume direkt an Kraftwerke geliefert. Die nicht selbst verwerteten Baum- und Strauchschnittmengen der Bezirksämter (rund 20.000 Mg) und der GaLaBau-Betriebe (rund 15.000 Mg) werden den Mengen zur energetischen Verwertung ebenfalls hinzugerechnet, womit sich in Summe eine Menge von rund 230.000 Mg an im Land Berlin anfallendem Holz (A1 bis A3) zur energetischen Verwertung ergibt.

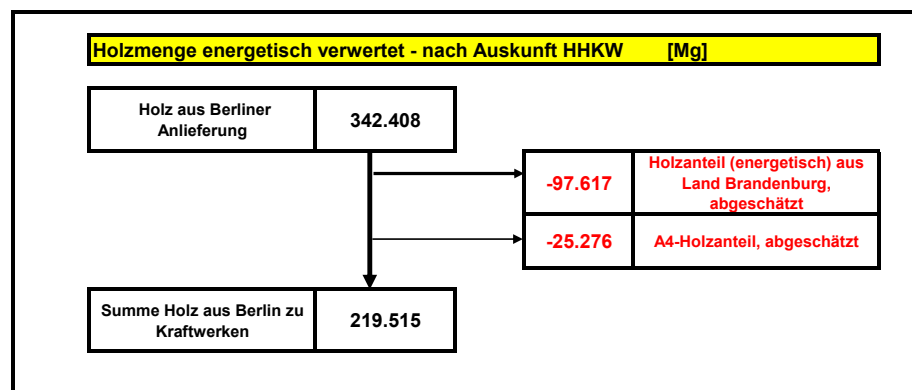
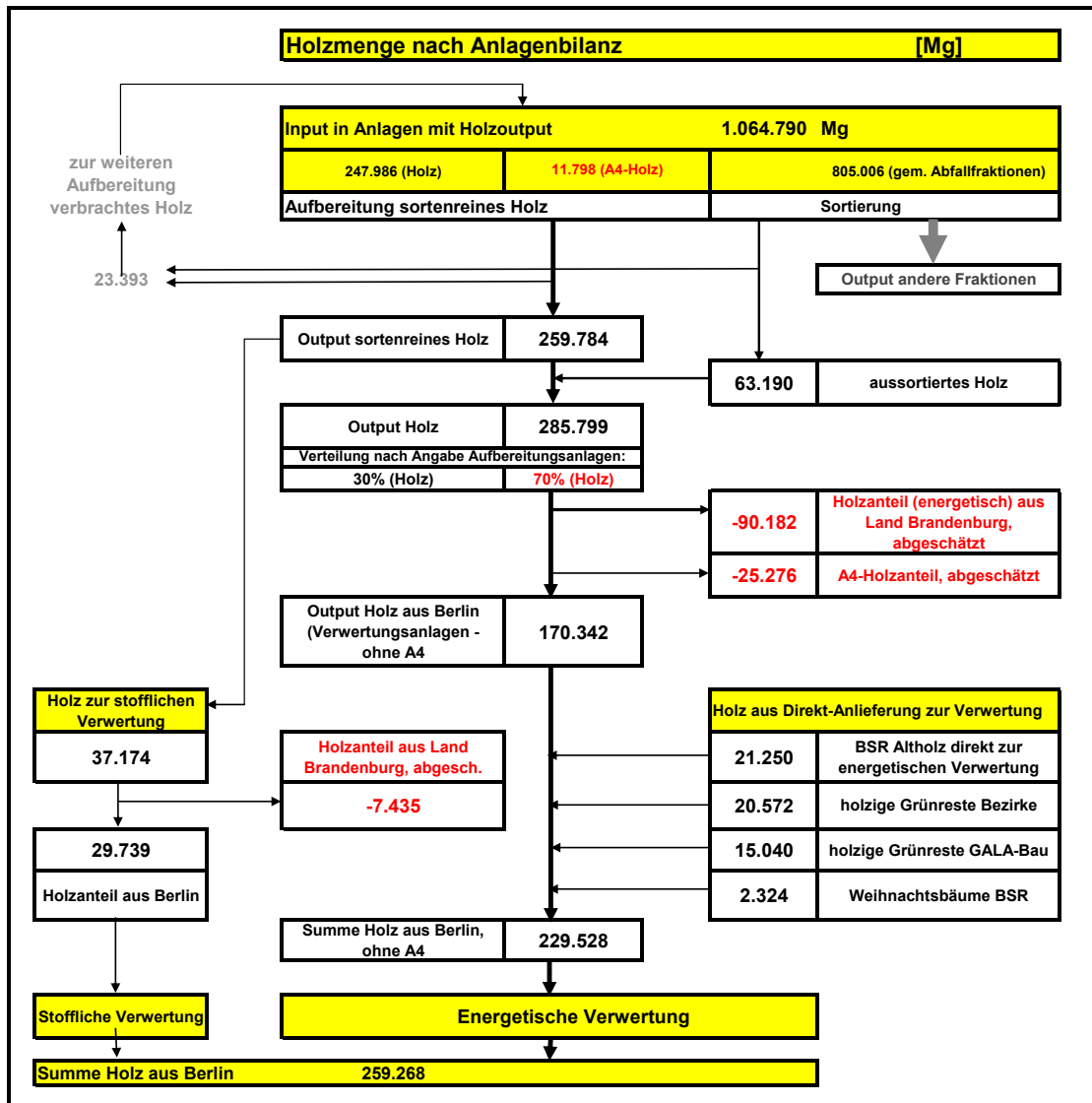


Abbildung 2-29: Gesamt - Holzbilanz

Auf Seiten der stofflichen Verwertung (in der Grafik links) werden analog zum oben beschriebenen Vorgehen als Brandenburger Holzanteil rund 7.500 Mg abgezogen, so dass rund 30.000 Mg Holz aus Berlin stofflich verwertet werden.

In Summe ergibt sich damit für das Jahr 2010 eine im Land Berlin anfallende Holzmenge von rund 260.000 Mg.

Im unteren Teil der Grafik sind die nach Auskunft der Kraftwerksbetreiber aus Berlin angenommenen Holzmenngen dargestellt, von denen wieder der Brandenburger Anteil und der Anteil an A4-Holz abgezogen wird. Hieraus ergibt sich eine Berliner Holzmenge von rund 220.000 Mg, welche von den Kraftwerken im Jahr 2010 angenommen wurde.

Die Berliner Holzmenge aus Vorbehandlungsanlagen zur energetischen Verwertung übersteigt die nach Auskunft der Kraftwerksbetreiber angelieferten Mengen um rund 10.000 Mg und liefert damit einen Unschärfbereich, der sich teils aus Bilanz- und Angabenungenauigkeiten, teils aus kleineren Mengen ergibt, die noch an Aufbereitungsanlagen im Land Brandenburg geliefert werden und deren Holzlieferung an die Kraftwerke wiederum nicht als "Berliner Holz" geführt wird.

Die **Verteilung der ermittelten Holzmenngen auf die Kraftwerke** in Berlin und Umgebung erfolgte nach Auswertung vorliegender Abfallberichte der Entsorger sowie nach Auskünften der Kraftwerksbetreiber. Damit ergibt sich die in Tabelle 2-18 angegebene prozentuale allgemeine Verteilung für die unterschiedlichen Holz-Heiz-Kraftwerke (HHKW), Biomasse-Heiz-Kraftwerke (BHKW) und Kraftwerke (KW).

Diese Verteilung beinhaltet nur die Mengen, die nicht konkret bestimmten Anlagen zugeordnet werden konnten, also nicht zuordenbare Altholzmenngen sowie Baum- und Strauchschnitt-Mengen der Bezirke und Garten- und Landschaftsbau (GaLaBau)-Betriebe.

Tabelle 2-18 Verteilungsschlüssel für Altholz und Baum- und Strauchschnitt

Verteilung für Holz auf Holzkraftwerke - bei nicht benannter Zuordnung								
	Holz-KW MVV BioPower	HKW ORS Wilmer- dorf	Holz-HKW Unitherm Baruth	Biomasse- HKW Ludwigs- felde	Holz- HKW Rudow RWE	HKW Reuter	HKW Klingen- berg	Biomasse- HKW (diverse)
Verteilung	11,9%	14,1%	13,3%	0,0%	53,1%	0,0%	0,0%	7,6%
Verteilungsschlüssel Altholz - mit fest verteilten Mengen								
Altholz	31%	8%	11%	0,0%	42%	0,0%	0,0%	8%
Verteilungsschlüssel Baum und Strauchschnitt - mit fest verteilten Mengen								
Baum-, Strauchschnitt	6%	7%	7%	36%	28%	4%	8%	4%

Die für **Altholz** und **Baum- / Strauchschnitt** angewendeten Verteilungsschlüssel ergeben sich einschließlich der jeweils entweder durch die Kraftwerke (Biomasse) oder durch Entsorger (wie BSR und Holzkontore) gemeldeten, bekannten Zuordnungen, für **Altholz** im mittleren Teil von Tabelle 2-18 und für **Baum- / Strauchschnitt** im unteren Teil.

Die Aufteilung der in den nachfolgenden Kapiteln getrennt betrachteten Holzmengen zeigt die Übersicht in Tabelle 2-19.

Tabelle 2-19 Anlagenbezogene Verteilung des energetisch verwerteten Holzes

Abfallart	Menge 2010	Quelle
Altholz	50.144 Mg	(BSR 2011)
	67.979 Mg	Holz von Entsorgern, das nicht in anderen Stoffströmen enthalten ist-
	29.739 Mg	Holz zur stofflichen Verwertung
Summe Altholz	147.862 Mg	
Baum- und Strauchschnitt	45.892 Mg	Hochgerechnet aus (WI/ICU 2009)
Weihnachtsbäume	2.324 Mg	(BSR 2011)

2.17.1 Getrennt gesammeltes Altholz

Das in Berlin gesammelte Altholz wird über Entsorgungsunternehmen erfasst und ggf. nach einer Vorbehandlung einer entsprechenden Verwertung zugeführt. Die in diesem Kapitel betrachteten Mengen bestehen ausschließlich aus am Anfallort getrennt gesammeltem Altholz (Monofraktionen).

Unter Altholz wurden nur die mit "Holzbezeichnung" angelieferten Holzmengen betrachtet. Um insbesondere Doppelzählungen auszuschließen, wurden folgende Holzströme nicht einbezogen:

- aus Abfallgemischen aussortierte Holzmengen (z.B. aus Sperrmüll oder aus gemischten Bau- und Abbruchabfällen; diese werden in den entsprechenden Kapiteln zu diesen Abfallarten bilanziert),
- Baum- und Strauchschnitt (werden im Kapitel 2.17.2 und Weihnachtsbäume im Kapitel 2.17.3 separat betrachtet),
- Altholzmengen aus dem Land Brandenburg,
- A4-Holz (gefährlicher Abfall),
- Holz, das aus der Aufbereitung von Abfällen entsteht, die nicht in den Bilanzrahmen dieser Studie fallen.

Bei den relevanten Berliner Entsorgern wurde eine Altholzmenge gemäß Tabelle 2-20 ermittelt. Demnach fielen im Jahr 2010 rund 148.000 Mg Altholz als Monofraktion in Berlin an, die einer stofflichen und energetischen Verwertung zugeführt wurden.

Ebenfalls aus Tabelle 2-20 geht hervor, dass rund 30.000 Mg Altholz als Monofraktion bei den Berliner Holzkontoren (Holzkontor Preußen und Holzkontor Interseroh) aufbereitet und anschließend zu entsprechenden Verwertungsbetrieben (z.B. Spannplattenherstellung) zur stofflichen Verwertung geleitet wurden. Der größte Anteil in Höhe von rund 118.000 Mg bzw. 80% wurde einer ausschließlich energetischen Verwertung zugeführt.

Tabelle 2-20: Altholzmengen aus Berlin

Altholz (Monofraktion)	Mengen in Mg	Entsorgungsweg
Anteil vom Holzinput Berliner Holzkontore	29.739 Mg	Stoffliche Verwertung
Altholz der BSR-Recyclinghöfe	50.144 Mg	Energetische Verwertung
Altholz privater Entsorger	67.979 Mg	Energetische Verwertung
Summe Altholz	147.862 Mg	

Die Verteilung der energetisch verwerteten Holzmengen auf die Kraftwerke in Berlin und Umgebung erfolgte nach Auswertung vorliegender Abfallberichte der Entsorger sowie Auskünften der Kraftwerksbetreiber, wie zuvor beschrieben.

Kurzsteckbrief Altholz		Quelle
Aufkommen:	147.862 Mg	Abfallberichte / Betreiber-Auskunft mit Verteilungsberechnung
Verbleib:	34% RWE KAC Holz-HKW Berlin 20% Stoffliche Verwertung 25% MVV BioPower Königs-Wusterhausen 9% Unitherm Baruth Holz-HKW 7% ORS KW Wilmersdorf 6% Sonstige Biomasse-HKW	
Kenndaten	Hu = 14 MJ/kg FS, C fossil = 1% FS (Abschätzung)	(BSR 2012a)

Der jeweilige energetische Verwertungsanteil der verschiedenen Kraftwerke sowie die angesetzten Wirkungsgrade der Holz(heiz)kraftwerke sind Tabelle 2-21 zu entnehmen.

Tabelle 2-21 Mengenanteile und Wirkungsgrade der (Heiz)Kraftwerke für Altholzeinsatz

Mengen-Anteil	Kraftwerk	Wirkungsgrad	
42%	RWE-KAC Holz-HKW Berlin	18,7%	Nettostrom
		39,1%	Nutzwärme
31%	MVV BioPower Königs-Wusterhausen	35,0%	Nettostrom
		0,0%	Nutzwärme
11%	Unitherm Baruth Holz-HKW	14,1%	Nettostrom
		66,4%	Nutzwärme
8%	ORS KW Wilmersdorf	21,7%	Nettostrom
		9,8%	Nutzwärme
8%	Weitere Biomasse-HKW (Annahme für den Wirkungsgrad: Durchschnitt Deutschland)	20,0%	Nettostrom
		20,0%	Nutzwärme

Anteilig geht die Hauptmenge an energetisch verwertetem Altholz gemäß Tabelle 2-21 mit 42% zum RWE-HKW Rudow, gefolgt vom MVV-HKW mit 31% und mit 11% zum HKW

Unitherm Baruth. Diese drei Kraftwerke mit hohen Gesamtwirkungsgraden verarbeiten zusammen **84%** des energetisch verwerteten Altholzes aus Berlin.

Das Kraftwerk MVV BioPower produziert ausschließlich Strom und gibt keine Nutzwärme ab, im Gegensatz dazu produzieren die Kraftwerke RWE-Rudow und Unitherm Baruth im Wesentlichen Nutzwärme und haben daher einen geringeren Stromwirkungsgrad.

THG-Bilanz

Zu den Aufwendungen der Sammlung liegen keine spezifischen Angaben vor. Für die Berechnung der Treibhausgasbilanz wurde von einer analogen durchschnittlichen Sammelstrecke ausgegangen wie für Gewerbeabfall in Deutschland. Der Transport wurde mit einer gewichteten Transportentfernung von rund 35 km und der Aufwand für die Vorzerkleinerung mit 20 kWh/Mg berücksichtigt. Da es sich bei den Altholzfraktionen um sortenreines Altholz handelt, fallen keine Störstoffe aus der Aufbereitung an.

Die **stoffliche Verwertung** erfolgt in der Spanplattenindustrie. Zur Bewertung wurden Emissionsfaktoren nach (Prognos/IFEU/INFAS 2008) verwendet. Danach liegt der spezifische Emissionsfaktor für den Aufwand der Aufbereitung bei 366 kg CO₂-Äq/Mg und der Emissionsfaktor für die Substitution von Primärmaterial bei 431 kg CO₂-Äq/Mg.

Damit ergibt sich für stoffliche Verwertung von Altholz im Nettoergebnis eine vergleichsweise geringe THG-Entlastung. Durch das Recycling wird im Wesentlichen Holz ersetzt. Die Abholzung sowie die Aufwendungen im Sägewerk zur Bereitstellung des Holzes sind mit keinen hohen Treibhausgasemissionen verbunden. Der Vorteil der energetischen Verwertung liegt – wie allgemein bei biogenen Abfällen – darin, dass die aus deren Verbrennung resultierende CO₂-Emissionen als klimaneutral bewertet werden (s. Anhang A). Substituiert werden aber Strom und Wärme, die überwiegend aus fossilen Brennstoffen erzeugt werden. Aus Klimaschutzsicht ist daher die energetische Nutzung von biogenen Abfällen gegenüber einer stofflichen Nutzung vorteilhaft. Hier wird besonders deutlich, wie wichtig es ist, neben Klimaschutzaspekten auch weitere Umweltwirkungen zu betrachten. Die Schonung von Holz ist u. a. aus Sicht des Ressourcenschutzes von großer Bedeutung.

In (Öko-Institut/IFEU 2010) wurde ein neuer Ansatz verfolgt, die Schonung von Holz durch die stoffliche Verwertung auch in der THG-Bilanz darzustellen. Dort wurde im Standardszenario davon ausgegangen, dass der Nutzungsdruck für Holz so hoch ist, dass durch stoffliches Recycling eingespartes Holz dennoch in einem Holz-HKW genutzt wird. Die dadurch erzielte THG-Entlastung wurde der stofflichen Verwertung zugeordnet. Im Standardszenario wurde eine Nutzung am Anfallort des Holzes in Schweden angesetzt. Als Sensitivitäten wurden eine Schonung des Holzes (unberührter Wald verändert sein Wachstum und damit seine CO₂-Aufnahme) und eine energetische Nutzung des geschonten Holzes in Deutschland untersucht. Je nach Fallannahme ergaben sich deutliche Unterschiede im Ergebnis. Generell gilt, dass es sich um Annahmen handelt. Das veränderte Wachstum ist bislang nicht wissenschaftlich über Messwerte gesichert und die energetische Nutzung kann nicht belegt werden. Für die Bewertung der Abfallwirtschaft im Land Berlin wurde diese Annahme aufgrund der damit verbundenen Unwägbarkeiten nicht angewendet.

Als weiterer Bewertungsansatz innerhalb der THG-Bilanz ist auch die Betrachtung einer potenziellen C-Speicherung durch eine stoffliche Verwertung von Altholz denkbar. Bislang

ist es aber nicht gelungen, diese Möglichkeit für Holz- oder auch Papierrecycling annähernd belastbar einzuschätzen (s. Kap. 1.3.2). Daher wurde eine potenzielle C-Senke in dieser Studie nicht ermittelt. Bei anderen betrachteten Abfallarten, in denen eine C-Senke annähernd in Zahlenwerten dargestellt werden kann, erfolgt ausschließlich eine nachrichtliche Ausweisung (z.B. deponierte Abfälle).

Für die THG-Bilanz der **energetischen Verwertung** wurde nach (BSR 2012a) mit einem Heizwert des Altholzes von 14 MJ/kg und einem Anteil von C fossil = 1% für Verunreinigungen (z.B. Kunststoffe) gerechnet. Der Heizwert entspricht auch dem in (WI/ICU 2009) verwendeten Heizwert. Die Gutschriften ergeben sich aus den unterschiedlichen Verwertungsmengen und Wirkungsgraden der Anlagen wie sie Tabelle 2-21 zu entnehmen sind.

In Abbildung 2-30 ist das spezifische Nettoergebnis für die Altholzverwertung von -664 kg CO₂-Äq/Mg Altholz dargestellt; dieses gilt für die gesamt entsorgte Menge von Altholz.

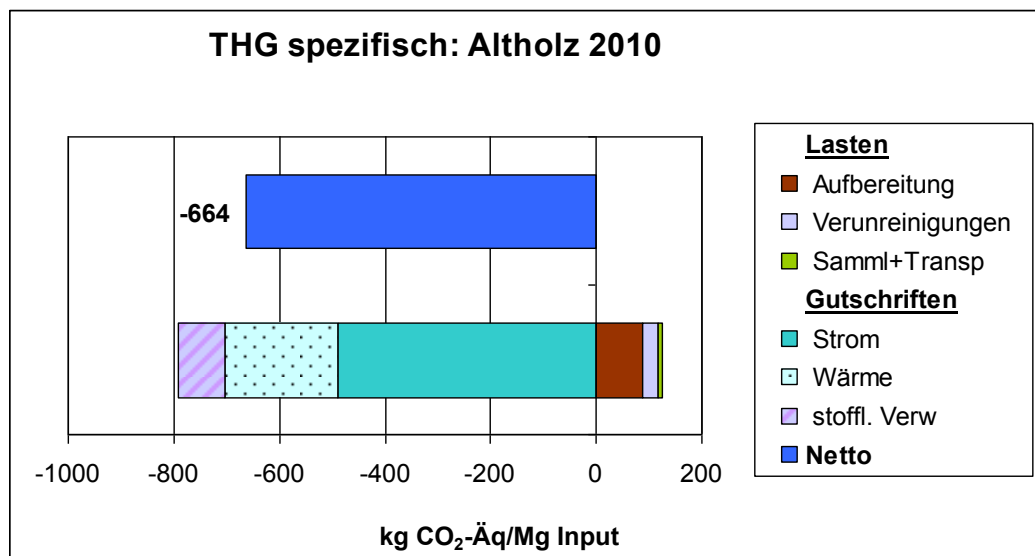


Abbildung 2-30: Spezifisches Ergebnis Verwertung Altholz

Hochgerechnet auf die gesamt entsorgte Menge Altholz ergibt sich eine Nettoentlastung von **-98.175 Mg CO₂-Äq für das Jahr 2010**, die in die Gesamtbilanz der Abfallentsorgung in Berlin eingeht.

Die THG-Bilanz der Altholzverwertung unter Darstellung der Beiträge der verschiedenen Kraftwerke ist in Abbildung 2-31 dargestellt. Sie zeigt die THG-Bilanz für Altholz in absoluten Werten, unterteilt nach den verschiedenen Teilprozessen der Altholzverwertung. Ein Verfahrensvergleich nach einer stofflichen und einer energetischen Verwertung sowie nach einer energetischen Verwertung in verschiedenen Biomasse-Heizkraftwerken wäre nur möglich, wenn die Altholzmengen direkt zu den entsprechenden Anlagen verbracht worden wären. In Berlin ist dies nicht der Fall. Daher kann das Ergebnis nur als Gesamtergebnis dargestellt werden.

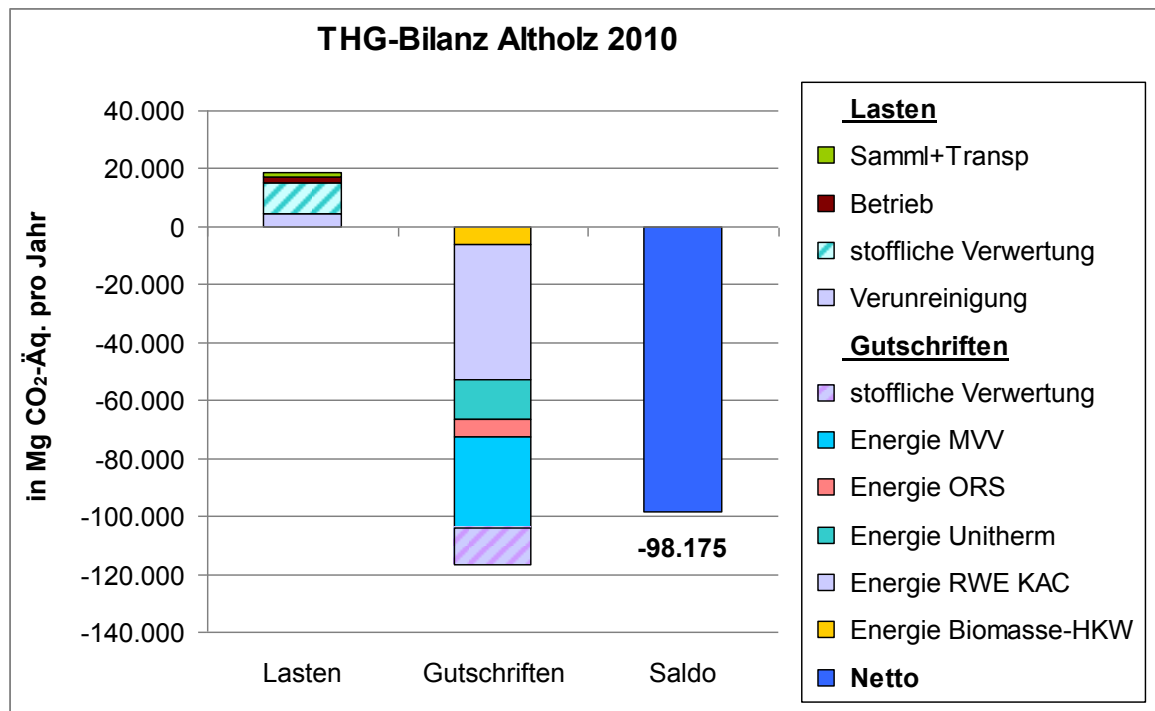


Abbildung 2-31: Absolutes Ergebnis Verwertung Altholz

Optimierungen sind für den Stoffstrom Altholz hinsichtlich der energetischen Verwertung kaum erkennbar, da bereits 84% des entsorgten Altholzes über HKW mit sehr hohem Wirkungsgrad verwertet werden. Die verbleibenden 8% zum HKW der ORS kommen aus Aufbereitungsanlagen der ORS, weitere 8% verteilen sich auf diverse HKW im Umland von Berlin, deren Wirkungsgrade nicht bekannt sind, die aber für die geringe darüber verarbeitete Holzmenge auch nur von untergeordneter Bedeutung sind. In der THG-Bilanz wurde für diese Kraftwerke der Wirkungsgrad des bundesdeutschen Durchschnitts für Biomassekraftwerke nach (Öko-Institut/IFEU 2010) angesetzt.

2.17.2 Baum- und Strauchschnitt

Basierend auf der Berliner Biomassestudie 2009 (WI/ICU 2009) wurde nach den durchgeführten Recherchen bei

- privaten Garten- und Landschaftsbaubetrieben (GaLaBau-Betrieben),
- bezirklichen Grünflächenämtern und
- den BSR bezüglich der auf den Recyclinghöfen erfassten Mengen

für das Jahr 2010 ein Anfall von 45.892 Mg Baum- und Strauchschnitt für Berlin ermittelt.

Tabelle 2-22 gibt die für 2010 hochgerechneten Mengen an, die einer stofflichen (Mulchung) und energetischen Verwertung zugeführt wurden.

Die Verteilung für die einzelnen Herkunftsbereiche nach Verbleib des Baum- und Strauchschnitts sind ebenfalls in Tabelle 2-22 dargestellt. Die Zuordnung der ermittelten Baum- und Strauchschnittmengen auf die Kraftwerke in Berlin und Umgebung erfolgte

nach Auswertung vorliegender Abfallberichte der Entsorger sowie Auskünften der Kraftwerksbetreiber gemäß Tabelle 2-18.

Tabelle 2-22 Baum- und Strauchschnittmengen 2010

Baum- und Strauchschnitt	Mengen in Mg		
	Mulchung	Energetische Verwertung	Summe
Baum- Strauchschnitt BSR	928 Mg	308 Mg	1.236 Mg
Baum- Strauchschnitt GaLaBau	3.671 Mg	15.040 Mg	18.712 Mg
Baum- Strauchschnitt Bezirke	5.372 Mg	20.572 Mg	25.944 Mg
Summe	9.971 Mg	35.921 Mg	45.892 Mg

Rund 78% des erfassten Baum- und Strauchschnitts wurden über Holz(heiz)kraftwerke verwertet, rund 22% vor Ort zu Mulchmaterial aufbereitet und vor Ort belassen. Bei Baum- und Strauchschnitt handelt es sich um naturbelassenes Holz, das auch in reinen Biomasseheizkraftwerken – hier zu einem Mengenanteil von 29% – verwertet wird. 21% des Baum- und Strauchschnitts gehen zum RWE-KAC-Heizkraftwerk in Rudow, 7% ersetzen im Kraftwerk Klingenberg Braunkohle und 4% Steinkohle im Heizkraftwerk Reuter West.

Kurzsteckbrief Baum und Strauchschnitt		Quelle
Aufkommen:	45.892 Mg	(WI/ICU 2009) Mengen und Verteilung aktualisiert
Verbleib: stofflich verwertet	22% zur Mulchung	
Verbleib energetisch verwertet	29% Biomasse-HKW Ludwigsfelde 21% RWE KAC Holz-HKW Berlin 7% Mitverbrennung KW Klingenberg 6% ORS KW Wilmersdorf 5% MVV BioPower Königs-Wusterhausen 5% Unitherm Baruth Biomasse-HKW 4% Mitverbrennung HKW Reuter West 3% Durchschnittliches Biomasse-HKW	
Kenndaten	Hu = 9,0 MJ/kg FS, C fossil = 0%	(WI/ICU 2009)

Die Verwertungsanteile der verschiedenen Kraftwerke vom energetisch verwerteten Baum- und Strauchschnitt sowie die Wirkungsgrade der Heizkraftwerke sind Tabelle 2-23 zu entnehmen.

Dabei werden die Hauptmengen (71%) in Anlagen mit hohen Gesamtwirkungsgraden verwertet – über das Biomasseheizkraftwerk Ludwigsfelde, das RWE-HHKW Berlin, das HKW Unitherm Baruth und MVV BioPower. Die verbleibende Menge von 29% verteilt sich auf weitere Anlagen, davon 12% insgesamt auf die Heizkraftwerke Klingenberg (Braunkohleersatz) und Heizkraftwerk Reuter West (Steinkohleersatz). Die Mitverbrennung in diesen beiden Kraftwerken ergibt die höchste THG-Entlastung, da dadurch heizwertäqui-

valent Kohle ersetzt wird (s. Kap. 1.3.2). Insgesamt werden damit 89% der Mengen in Anlagen mit hohen bis sehr hohen Substitutionspotenzialen geliefert.

Tabelle 2-23 Mengenanteile der energetischen Baum-und Strauchschnittverwertung und Wirkungsgrade der (Heiz)Kraftwerke

Mengen-Anteil	Kraftwerk	Wirkungsgrad/Substitution	
36%	Biomasse-HKW Ludwigsfelde	12,2%	Nettostrom
		73,0%	Nutzwärme
28%	RWE KAC Holz-HKW Berlin	18,7%	Nettostrom
		39,1%	Nutzwärme
8%	Mitverbrennung HKW Klingenberg		Braunkohle
7%	ORS KW Wilmersdorf	21,7%	Nettostrom
		9,8%	Nutzwärme
7%	Unitherm Baruth Holz-HKW	14,1%	Nettostrom
		66,4%	Nutzwärme
6%	MVV BioPower Königs-Wusterhausen	35,0%	Nettostrom
		0,0%	Nutzwärme
4%	Mitverbrennung HKW Reuter West		Steinkohle
4%	Weitere Biomasse-HKW (Annahme für den Wirkungsgrad: Durchschnitt Deutschland)	20,0%	Nettostrom
		20,0%	Nutzwärme

THG-Bilanz

Im Gegensatz zu Altholz wird der stofflich verwertete Anteil von Baum- und Strauchschnitt nicht gemeinsam mit dem Anteil zu energetischen Verwertung erfasst, sondern wird direkt vor Ort separat verarbeitet. Entsprechend kann die THG-Bilanz hier getrennt für die stoffliche und energetische Verwertung dargestellt werden.

Beim Mulchen (stoffliche Verwertung) wird Baum- und Strauchschnitt am Anfallort gehäckselt und als Mulchmaterial eingebracht. Für den langfristig erfolgenden biologischen Abbau des Materials wird von keinen klimawirksamen Emissionen ausgegangen, da die Mulchung in der Regel durch eine flächige Verteilung erfolgt und somit nicht von anaeroben Bedingungen auszugehen ist. Da zudem durch die Mulchung keine anderen Primärmaterialien (z.B. Torf oder Düngemittel) ersetzt werden, erfolgt auch keine Anrechnung eines Nutzens. In der THG-Bilanz kommt damit ausschließlich das Häckseln zum Tragen, das mit einem Dieselbedarf von 1,2 l/Mg für einen mobilen Häcksler berechnet wurde.

Für die THG-Bilanz der energetischen Verwertung wurde mit einem Heizwert von 9 MJ/kg gerechnet (C fossil-Anteil 0%, da keine Verunreinigungen). Zu den Aufwendungen der Sammlung liegen keine spezifischen Angaben vor. Für den Sammelaufwand wurde angenommen, dass dieser einer durchschnittlichen Sammlung von Grünabfall in Deutschland entspricht (nach (Öko-Institut/IFEU 2010)). Für die Aufbereitung des Baum- und Strauch-

schnitts zur Verbrennung (Zerkleinerung) wurden 20 kWh/Mg berücksichtigt. Die Wirkungsgrade der Kraftwerke für die THG-Bilanz wurden nach Tabelle 2-23 eingerechnet.

Das spezifische Ergebnis für die stoffliche und die energetische Verwertung von Baum- und Strauchschnitt zeigt Abbildung 2-32. Dadurch, dass für die stoffliche Verwertung kein Nutzen angerechnet werden kann, zeigt sich die energetische Verwertung klar vorteilhaft. Im gewichteten Mittel ergibt sich für die Verwertung von Baum- und Strauchschnitt im Jahr 2010 eine spezifische Nettoentlastung von -509 kg CO₂-Äq/Mg Abfall.

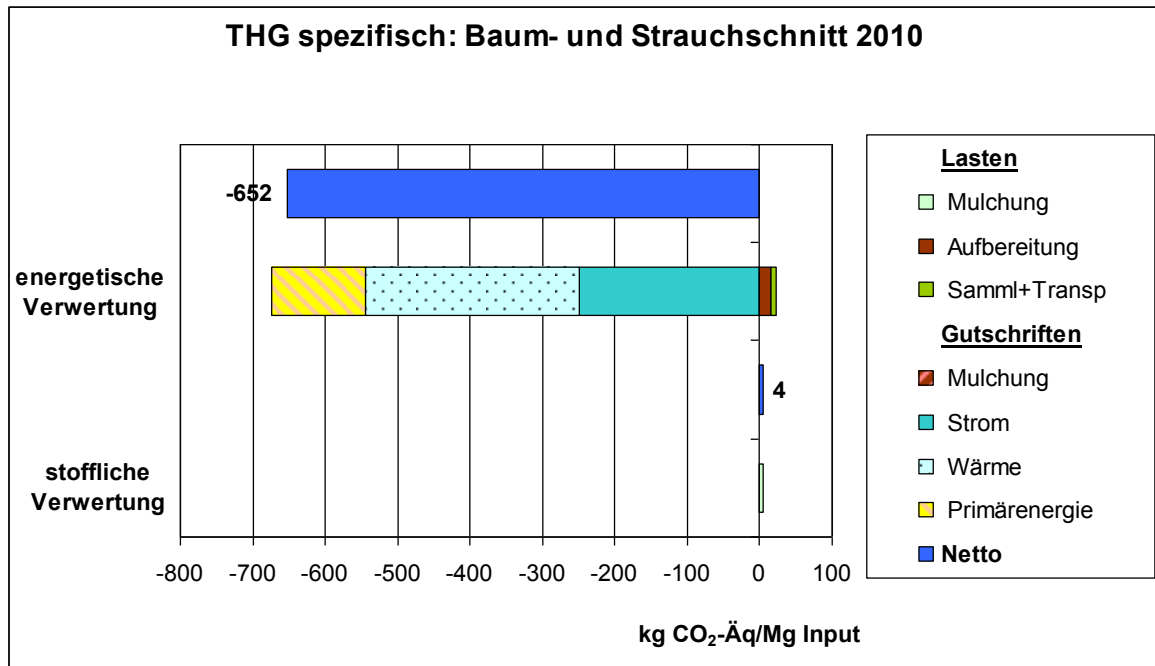


Abbildung 2-32: Spezifisches Ergebnis Verwertung Baum- und Strauchschnitt

Hochgerechnet auf die gesamt entsorgte Menge an Baum und Strauchschnitt ergibt sich eine Nettoentlastung von **-23.371 Mg CO₂-Äq für das Jahr 2010**, die in die Gesamtbilanz der Abfallentsorgung in Berlin eingehen.

Das absolute Ergebnis der THG-Bilanz mit Beiträgen der unterschiedlichen Kraftwerke ist Abbildung 2-33 zu entnehmen. Entsprechend den Mengenanteilen und Substitutionspotenzialen ergeben sich die unterschiedlichen Beiträge. Hier gilt wie bei Altholz, dass Baum- und Strauchschnitt überwiegend bereits in Anlagen mit hohen Wirkungsgraden bzw. Substitutionspotenzialen energetisch verwertet werden.

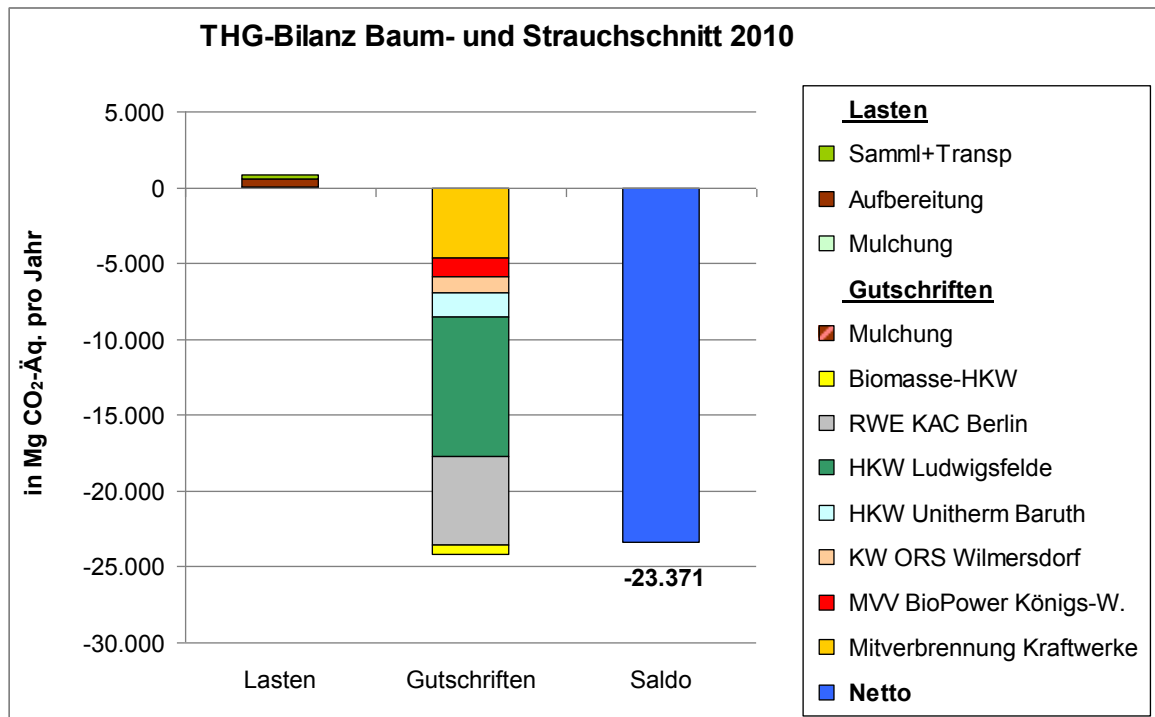


Abbildung 2-33: Absolutes Ergebnis Verwertung Baum- und Strauchschnitt

Optimierungen sind für den Stoffstrom Baum- und Strauchschnitt hinsichtlich der energetischen Verwertung nicht erkennbar, da bereits 89% entweder über HKW mit hohem Wirkungsgrad verwertet oder in Kohlekraftwerken zur Mitverbrennung eingesetzt werden. Von den verbleibenden 11% gehen 7% zum HKW der ORS (über ORS-eigene Erfassungswege), weitere 4% verteilen sich auf diverse HKW im Umland von Berlin. Eine Erhöhung der Menge zur energetischen Verwertung unter Verminderung der Menge zur Mulchung ist nicht zu erwarten. Mulchmaterial wird in der Regel dort eingesetzt, wo nur geringe Mengen anfallen, so dass es sich nicht lohnt, diese zu sammeln und zur Verwertung zu transportieren.

2.17.3 Weihnachtsbäume

Im Jahr 2010 wurden 2.324 Mg an Weihnachtsbäumen in Berlin gesammelt, die durch die BSR an das Vattenfall-Heizkraftwerk Reuter geliefert und dort energetisch verwertet wurden. Durch die Mitverbrennung in diesem Kraftwerk wird heizwertäquivalent der Regelbrennstoff Steinkohle ersetzt. Die Mitverbrennung und damit einhergehende Substitution von Primärenergieträgern ist mit hohen THG-Entlastungen verbunden (s. Kap. 1.3.2).

Kurzsteckbrief Weihnachtsbäume		Quelle
Aufkommen:	2.324 Mg	(BSR 2011)
Verbleib:	Mitverbrennung KW Reuter West	
Kenndaten	Hu = 10,5 MJ/kg FS, C fossil = 1% FS	(BSR 2012a)

Zu den Aufwendungen der Sammlung liegen keine spezifischen Angaben vor. Für den Sammelaufwand wurde angenommen, dass dieser einer durchschnittlichen Sammlung von Grünabfall in Deutschland entspricht (nach (Öko-Institut/IFEU 2010)). Ein zusätzlicher Transportaufwand entsteht nicht. Für die Aufbereitung der Weihnachtsbäume zur Mitverbrennung (Zerkleinerung) wurde ein Strombedarf von 20 kWh/Mg angesetzt.

Die Mitverbrennung wurde nach den Angaben in (BSR 2012a) mit einem Heizwert von 10,5 MJ/kg und einem Anteil von C fossil = 1% für Verunreinigungen (z.B. Kunststoffe) gerechnet.

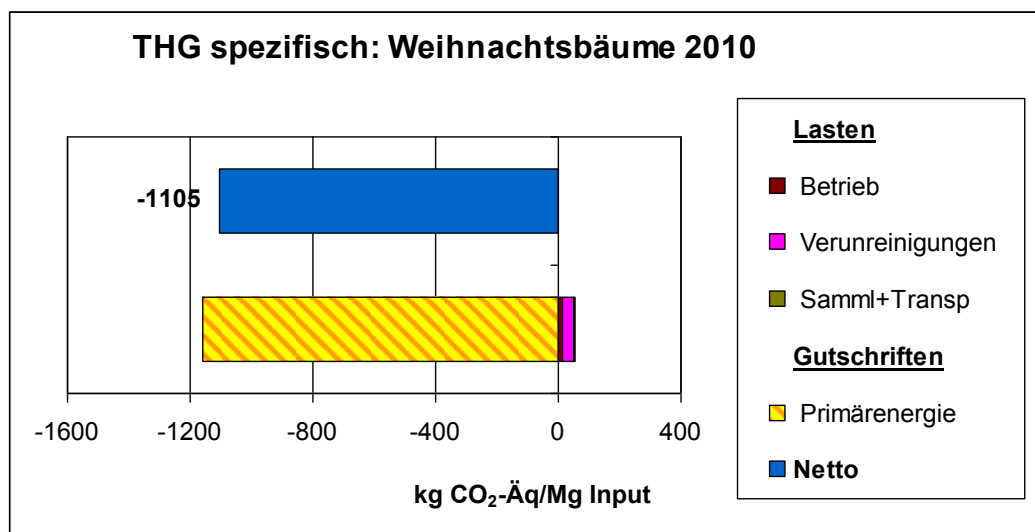


Abbildung 2-34: Spezifisches Ergebnis Verwertung Weihnachtsbäume

Bei der Mitverbrennung im Heizkraftwerk Reuter ergibt sich je Tonne Weihnachtsbäume nach Abbildung 2-34 eine spezifische Nettoentlastung von -1.105 kg CO₂-Äq/Mg.

Hochgerechnet auf die gesamt entsorgte Menge Weihnachtsbäume ergibt sich eine Nettoentlastung von **-2.567 Mg CO₂-Äq für das Jahr 2010**, die in die Gesamtbilanz der Abfallentsorgung in Berlin eingehen.

Optimierungen für die Abfallfraktion Weihnachtsbäume sind nicht erkennbar, da die Substitution von Steinkohle durch die Mitverbrennung in der THG-Bilanz bereits mit die höchsten Nettoentlastungen bei einer energetischen Verwertung erbringt. Leicht höher würde lediglich die Nettoentlastung bei einem Ersatz von Braunkohle liegen.

2.18 Organikabfälle aus Haushalten

Die bei Haushalten anfallenden Organikabfälle umfassen die über die Biotonne sortenrein erfassten organischen Küchen- und Gartenabfälle, Laubsackinhalte, eigenkompostierte Küchen- und Gartenabfälle (inkl. Mengen in privaten Kleingartenkolonien) sowie die über den Hausmüll mit erfassten organischen Abfälle.

Die aus den Berliner Haushalten im Jahr 2010 insgesamt angefallenen Organikmengen zeigt Tabelle 2-24.

Tabelle 2-24 Organikmengen aus Haushalten in Berlin 2010

Abfallart	Mg/a	Entsorgung	Quelle
Organik im Hausmüll	295.033	Bestandteil von Haus- und Geschäftsmüll (Kap. 2.6)	(ARGUS 2009b)
Eigenkompostierung	100.939	Hausgärten und Kleingartenkolonien	aktualisiert aus (WI/ICU 2009)
Bioabfall (BIOGUT)	58.155	Einfach-Kompostierung im Land Brandenburg	(BSR 2011)
Laubsäcke	15.855	Einfach-Kompostierung im Land Brandenburg	(BSR 2011)
Summe	469.982		

Von den insgesamt rund 470.000 Mg wurde der größte Anteil mit rund 300.000 Mg bzw. etwa 63% im Hausmüll über die Graue Tonne erfasst. Die Bestandsaufnahme von Haus- und Geschäftsmüll ist in Kapitel 2.6 beschrieben. Darüber hinaus wird jedoch nachfolgend auch eine Betrachtung allein der Entsorgung der Organikfraktion im Hausmüll vorgenommen.

Dieses Vorgehen dient der Einschätzung, wie sich die Mitbehandlung von Organikabfall im Hausmüll im Land Berlin gegenüber der Verwertung der getrennt erfassten Organikabfälle darstellt und wird als Orientierung für die Ableitung der Optimierungspotenziale herangezogen. Die entsprechende Auswertung ist als nachrichtliche Information zu verstehen, da es sich um eine isolierte Betrachtung handelt. Für die gesamte THG-Bilanz für das Land Berlin ist das Ergebnis für Haus- und Geschäftsmüll heranzuziehen, da für eine korrekte Abbildung der Abfallwirtschaft in Berlin und zur Beurteilung der Optimierungsmaßnahmen der Hausmüll in seiner Gesamtheit berücksichtigt werden muss.

Entsprechend erfolgt die Untersuchung einer gesteigerten getrennten Erfassung von Organikabfall aus Hausmüll in einem Optimierungsszenario (vgl. Kap. 4.1). Die Bewertung dieser Maßnahme erfordert eine gesamtsystematische Betrachtung, da durch die Entnahme von Organikabfall der verbleibende Restabfall in seinen Eigenschaften verändert wird und damit auch das Ergebnis in der THG-Bilanz. Darüber hinaus ist die Betrachtung nur einer Teilfraktion in Hausmüllbehandlungsanlagen i.d.R. nur mit Annahmen möglich (Verhalten des Organikanteils im Hausmüll muss abgeschätzt werden²²) und daher eingeschränkt belastbar.

Von den des Weiteren in Tabelle 2-24 aufgeführten Organikabfällen stellt den nächstgrößeren Anteil nach Organik im Hausmüll die Eigenkompostierung mit rund 101.000 Mg dar. Diese Menge besteht aus rund 73.000 Mg, die in Hausgärten kompostiert werden und rund 28.000 Mg, die in privaten Kleingartenkolonien anfallen und dort eigenkompostiert werden.

²² Restmüllbehandlungsanlagen sind auf inhomogene Gemische ausgelegt und müssen i.d.R. strenge Emissionsanforderungen erfüllen. Keine dieser Anlagen würde in der gegebenen Konstellation sortenreine Organikabfälle behandeln. Bei einer MVA wäre eine entsprechende Behandlung nur von Organikabfall aufgrund des niedrigen Heizwertes nicht sinnvoll. Empirische Daten für eine Behandlung rein der Organikfraktion gibt es nur vereinzelt für MBA oder MBS-Anlagen, die entsprechende Versuche durchgeführt haben (z.B. MBS ZAB Niederlehme).

Des Weiteren fielen rund 58.000 Mg an getrennt gesammeltem Bioabfall an, der über Einfach-Kompostierung in Brandenburg stofflich verwertet wurde. Zusätzlich wurden rund 16.000 Mg Organik in Laubsäcken gesammelt und ebenfalls in einfachen offenen Kompostierungsanlagen kompostiert.

Die Entsorgung und Bewertung der einzelnen organischen Abfallarten wird in den nachfolgenden Kapiteln erläutert.

2.18.1 Organik im Hausmüll

Wie zuvor geschildert wird zur Einschätzung, wie sich die Mitbehandlung von Organikabfall im Hausmüll im Land Berlin gegenüber der Verwertung der getrennt erfassten Organikabfälle darstellt, hier eine gesonderte THG-Modellrechnung durchgeführt.

Die organischen Abfälle werden als Bestandteil des Haus- und Geschäftsmülls über das MHKW Ruhleben, die MBA Schöneiche, die MA Grünau sowie über die beiden MPS-Anlagen entsorgt. Bei allen Anlagen wird auf die im Kapitel 2.6 (Haus- und Geschäftsmüll) verwendeten Kenndaten zurück gegriffen.

Kurzsteckbrief Organik im Hausmüll		Quelle
Aufkommen:	295.033 Mg/a	(ARGUS 2009b)
Verbleib:	Beseitigung mit dem Haus- und Geschäftsmüll	s. Kapitel 2.6
Kenndaten	Hu = 3,1 MJ/kg FS, TS = 33-37% FS, oTS = 64-67% TS, C fossil = 1% FS aus 3,6% Störstoffanteil	(Kanthak & Adam 2009), (BSR 2012a)

Die im Hausmüll enthaltene Organik wird für die Modellberechnung mit 35% TS und 65% oTS sowie einem Heizwert von 3,1 MJ/kg FS angesetzt.

Die abgeleiteten Stoffflüsse und Kenndaten für den Teilstrom Organikabfall in den Behandlungsanlagen sind in Tabelle 2-25 zusammengefasst. Im Einzelnen wurden folgende Randbedingungen ermittelt:

MPS-Anlagen: Die im Restabfall enthaltene Organik mit einem Heizwert von rd. 3.100 kJ/kg FS wird über die Trocknung zu 43,7% in Brennstoff mit einem Heizwert von 10,3 MJ/kg umgewandelt. Rund 0,75 kWh Erdgasenergie je kg verdampften Wassers ist für diese Trocknung erforderlich²³. Angesetzt wird ein Anteil von 10% der getrockneten Organikmasse, der in die abgetrennten Inertstoffe überführt wird

MA-Anlage: Wie in Kapitel 2.6 beschrieben, wird bei der MA ein deutlich größerer Anteil der Organik in den EBS überführt als bei einer MBA. Der genutzte Energieanteil wird mit

²³ Berechnet aus der für die Berliner Hausmüllentsorgung ermittelten Erdgasenergie (199 kWh/Mg), bezogen auf die aus Hausmüll verdampfte Wassermenge (270 kg).

74% abgeschätzt²⁴: Die Verwertungswege des erzeugten EBS wurden in den Mengenteilen analog zum Hausmüll-EBS angesetzt.

Tabelle 2-25 Organikentsorgung über den Hausmüll

Organisches Material in MPS	Input	Output	Differenz
Gesamt	1.000 kg	437 kg	563 kg
Trockensubstanz	350 kg	350 kg	0
Wasser	650 kg	88 kg	563 kg
TS-Anteil	35%	80%	
Wassergehalt	65%	20%	
Heizwert in MJ/kg	3,10	10,3	
Verdampfungsenergie in kJ/kg Wasser	2.700	für 563 kg Wasser:	
Trocknungsenergie in MJ/Mg Input	1.519		
Anteil EBS zur Verwertung	90%	394 kg	
Organisches Material in M(B)A		MA ORS	MBA
Elektrische Energie	kWh/Mg Input	16,0	31
Gasverbrauch Abluftreinigung	kWh/Mg Input	14,6	56
Energienutzungsanteil Organik	Anteil	74%	13%
Organisches Material in MHKW Ruhleben			
Nettowirkungsgrade für	Mischabfall	Organik	<i>Organik v.</i>
Strom	9,1%	7,7%	<i>Mischabfall</i>
Wärme	47,7%	40,5%	85%

MBA-Anlage: Hinsichtlich der Energienutzung der im Organikabfall enthaltenen Energie wird auf den von (IFEU 2012) mit 13% berechneten, zur energetischen Verwertung verfügbaren Anteil eines virtuell die Aerob-MBA durchlaufenden Bioabfalls zurückgegriffen²⁵. Die sonstigen Energieparameter entsprechen den im Kapitel 2.6 (Haus- und Geschäftsmüll) dargestellten Ansätzen.

MHKW Ruhleben: Die Wirkungsgrade dieser Anlage entsprechen denen aus dem Kapitel 2.6 (Haus- und Geschäftsmüll). Da die beim MHKW eingesetzte Verfahrensenergie eine Konstante darstellt, muss die aus der Organik gewonnene Energie anteilig reduziert werden. Es wird daher ein Wirkungsgrad für die Organik in Höhe von rund 85% angesetzt.

²⁴ Berechnungsweg: Die Energiemenge im Unterkorn – vollständig als aus Organik stammend angesetzt – ergibt sich aus der Differenz zwischen der Input-Energie des Rohmülls und der als EBS ausgebrachten Energiemenge = "Energieverlust Organik" in MJ/a. Die Energiemenge der Organik im Anlageninput kann ebenfalls berechnet werden, aus 3.100 MJ/Mg (Heizwert Organik) x Anteil Organik im Hausmüll (42,5%) x MA-Input (Mg/a). Der "Energieverlust Organik" beträgt 26% der Energie des Organik-Inputs, somit beträgt die verwertete Energie 74%.

²⁵ Stoffflussdiagramm Abb. D-9 im Anhang: EBS ausgewiesen mit 412 MJ/Mg Bioabfallinput, dies bezogen auf 3.100 MJ/Mg Organik-Input.

Dieser Wert entspricht in etwa dem in (UBA 2012a) aufgrund des höheren Stromeigenbedarfs angegebenen verminderten Stromwirkungsgrad für die Mitverbrennung von Bioabfall im Restmüll.

THG-Bilanz

In Tabelle 2-26 sind entsprechende Mengenverteilungen bzw. Energiewirkungsgrade mit den Energieeinsätzen der Aufbereitung sowie Rahmenwerte zur THG-Bilanz dargestellt.

Bei den MPS- und MBA-Anlagen ergeben sich die THG-Belastungen aus den eingesetzten Energiebeträgen insbesondere für Strom und Gas. Aufgrund des hohen Erdgaseinsatzes bei den MPS-Anlagen sind vergleichsweise hohe THG-Belastungen von 106 kg CO₂-Äq/Mg zu verzeichnen. Hinzu kommen mit 14 kg CO₂-Äq/Mg die THG-Belastungen aus der energetischen Verwertung der C fossil-haltigen Verunreinigungen des Bioabfalls in Höhe von 3,6%. Diese werden bei der Verwertung getrennt gesammelten Bioabfalls berücksichtigt, insofern müssen sie auch hier bei allen Verfahren mit eingerechnet werden.

Durch den als Braunkohle-Substitut eingesetzten Organik-EBS erreicht die MPS die höchsten Gutschriften, so dass sie mit -290 kg CO₂-Äq/Mg Organik den höchsten Nettoentlastungswert aller betrachteten Verfahren liefert.

Durch den hohen direkt als Braunkohle-Ersatz eingesetzten EBS-Anteil und durch den sehr hohen Anteil der in den EBS überführten Organik weist auch die MA eine sehr hohe THG-Nettoentlastung von -163 kg CO₂-Äq/Mg auf.

Die MBA weist dagegen einen geringen energetisch verwerteten Organik-Anteil auf. So werden 87% der Organik in die Verrottung geführt, deren Luftbedarf und damit Gas- und Stromverbrauch sie bestimmen. In der Summe liegt die MBA nach diesen Berechnungsansätzen bei einer Nettobelastung von 63 kg CO₂-Äq/Mg.

Mit -124 kg CO₂-Äq/Mg Nettoentlastungswirkung liegt das MHKW auf einer mittleren Position.

Tendenziell zeichnet sich damit für die Verfahren ein ähnliches Profil der spezifischen Nettoergebnisse ab wie nach Abbildung 2-1 für Haus- und Geschäftsmüll. Die hohe THG-Nettoentlastung der MPS bei der Organikverwertung entsteht daraus, dass die THG-Belastung zur Wasserverdampfung durch Trocknung mit Erdgas (niedriger spezifischer THG-Emissionsfaktor) durch die Gutschrift praktisch desselben Energiebetrages durch Substitution von Braunkohle (hoher spezifischer THG-Emissionsfaktor) deutlich übertroffen wird. Je höher der Wassergehalt einer Abfallfraktion – wie hier Organik – umso stärker wirkt sich dieser Effekt spezifisch aus.

Im gewichteten Mittel ergibt sich nach dieser Modellrechnung für die Entsorgung der im Hausmüll enthaltenen Organik über die vier betrachteten Verfahren eine THG-Entlastung von -172 kg CO₂-Äq/Mg Organik.

Tabelle 2-26 THG-Bilanz der Organikentsorgung über den Hausmüll

Energie-Aufwand je Tonne Organik:	Einheit	MPS	MA	MBA	MHKW	
Strom und mech. Energie	kWh/Mg	57	16	31	Stromertrag Netto 67 kWh/Mg bei einem Wirkungsgrad von 7,7%	
Gas Trocknung	kWh/Mg	422	0	0		
Gas Abluftreinigung	kWh/Mg	42	15	56		
Transport-Diesel	kWh/Mg	38	45	29		
Summe Aufwand	kWh/Mg	569	75	116		
Energieertrag:						
Menge Brennstoff	kg/Mg Input	394	74% von Inputenergie	13% von Inputenergie.	Wärmeertrag. Netto 349 kWh/Mg bei einem Wirkungsgrad von 40,5%	
spez. Heizwert	kWh/kg	2,86				
Summe Energieertrag	kWh/Mg Input	1.127	636	112		416
THG-Bilanz nach Energieträgern	Faktor kg CO ₂ -Äq/kWh	MPS	MA	MBA		MHKW
kg CO ₂ -Äq/Mg						
Strom (regionale Zuordnung)	0,744/0,629	42	10	20	<i>in Netto- Erträgen berücksichtigt</i>	
Erdgas	0,228	106	3	13		
Diesel	0,314	12	14	9		
Fossiles CO ₂ aus Verunreinigungen		14	14	14	14	
Emissionen Deponiegut		0	8	27	0	
Summe Lastschrift		174	50	83	14	
Braunkohle	-0,412	-464	-179	0,0	0	
Strom (regionale Zuordnung)	-0,744/-0,629	0	-16	-20	-50	
Hauswärme (regionale Zuordnung)	-0,254/-0,281	0	-18	0,0	-89	
Summe Gutschrift		-464	-213	-20	-138	
Netto (kg CO₂-Äq je Mg Input)		-290	-163	63	-124	
Verfahrensanteil		32,5%	9,3%	5,3%	52,9%	
Gewichteter Anteil	kg CO ₂ -Äq/Mg	-94,2	-15,2	3,3	-65,7	
Gewichtete Netto Gutschrift für Organik im Hausmüll				kg CO₂-Äq/Mg	-172	

Um bei der geplanten Steigerung der getrennten Erfassung der Bioabfallverwertung gegenüber der derzeitigen Organikentsorgung über den Hausmüll einen Klimaschutzvorteil zu erzielen, wäre es aus Sicht der isolierten Betrachtung der Teilfraktion Organikabfall im

Hausmüll notwendig, den oben ermittelten THG-Referenzwert zu überschreiten. Für eine weitergehende Einschätzung allein der Auswirkungen durch die Verwertung des Teilstroms Organikabfall wird in der Potenzialanalyse das Ziel verfolgt, diesen Wert möglichst deutlich zu übertreffen, um die bestmögliche THG-Minderung zu erreichen. Da es sich jedoch hierbei um eine Modellberechnung handelt, fließt dieser Referenzwert – wie zuvor erläutert – nicht in die Gesamtbilanz für das Land Berlin ein.

2.18.2 Bioabfall (BIOGUT)

Bei Bioabfall handelt es sich um organische Küchen- und Gartenabfälle, die sortenrein im Holsystem gesammelt werden. Der Bioabfall innerstädtischer Bereiche ist durch die höheren Küchenabfall-Anteile feuchter und von höherem Gehalt an leicht abbaubarer Organik. Der in den Außenbezirken erfasste Bioabfall besteht in größerem Umfang aus Gartenabfällen, deren Anteil, den Vegetationsperioden folgend, in Mengen und Qualität größeren Schwankungen unterliegt.

Kurzsteckbrief Bioabfall		Quelle
Aufkommen:	58.155 Mg/a	(BSR 2011)
Verbleib:	Offene Kompostierung	
Kenndaten	Störstoffanteil = 3,6% (mit Hu = 20 MJ/kg, C fossil = 25%)	(BSR 2012a)

Im Jahr 2010 wurden 58.155 Mg Bioabfall getrennt gesammelt. Die Aufteilung nach Herkunft der Bioabfälle ist in Tabelle 2-27 für die in Berlin bestehenden drei Siedlungsstrukturtypen – Blockbebauungen, Großwohnanlagen und Außenbezirke – zusammengestellt.

Die zugeordneten Einwohnerzahlen von Blockbebauung und Großwohnanlagen sowie für Gesamtberlin wurden der Hausmüllanalyse (ARGUS 2009b) entnommen.

Basis der einwohnerspezifischen Mengen sind die Angaben von (ARGUS 2009b) und (ICU 2008). ARGUS attestierte den Bewohnern der innerstädtischen Blockbebauung höhere getrennt gesammelte Bioabfallmengen als den Bewohnern von Großwohnanlagen. Demgegenüber basiert die einwohnerspezifische Menge aus den Außenbezirken auf einer Untersuchung im Auftrag der Senatsumweltverwaltung (WI/ICU 2009).

Aus Blockbebauung und Großwohnanlagen resultiert eine Teilmenge des gesammelten Bioabfalls von rund 46.000 Mg/a. Die Differenzmenge zur Gesamtmenge stammt aus den Außenbezirken.

Bezogen auf die an die Bioabfallsammlung angeschlossenen Bewohner werden je Einwohner rund 21 kg pro Jahr an Bioabfall gesammelt, bezogen auf die Gesamteinwohnerzahl Berlins rund 17 kg.

Der im Jahr 2010 gesammelte Bioabfall wurde vollständig über offene, nicht TA Luftkonforme Kompostierungsanlagen im Land Brandenburg verwertet.

Tabelle 2-27 Herkunft der Bioabfallmengen

BLOCKBEBAUUNG: Verteilung Organik mit und ohne Bioabfallsammlung		Ohne Bioabfall-sammlung	Mit Bioabfallsammlung	
Herkunft Organik	Einheit		als Bioabfall	in den Frakt. verbleibend
Organik im/aus Hausmüll	kg/(E*a)	100	19,8	80
Summe Organik-Abfälle	kg/(E*a)	100	19,8	80
Anteil Bioabfall-Organik aus Restmüll				100%
GROSSWOHNANLAGEN: Verteilung Organik mit und ohne Bioabfallsammlung		Ohne Bioabfall-sammlung	Mit Bioabfallsammlung	
Herkunft Organik	Einheit		als Bioabfall	in den Frakt. verbleibend
Organik im/aus Hausmüll	kg/(E*a)	109	8,4	101
Summe Organik-Abfälle	kg/(E*a)	109	8,4	101
Anteil Bioabfall-Organik aus Restmüll				100%
AUSSENBEZIRKE - Verteilung der Organik mit und ohne Bioabfallsammlung		Ohne Bioabfall-sammlung	Mit Bioabfallsammlung	
Herkunft Organik	Einheit		als Bioabfall	in den Frakt. verbleibend
Organik im/aus Hausmüll	kg/(E*a)	101	47	54
Laubsackmengen	kg/(E*a)	20	20	0
Eigenkompostierung	kg/(E*a)	144	65	79
Summe Organik-Abfälle	kg/(E*a)	265	132	133
Mengen Bioabfall IST	Ew.-Anteil%	Einwohnerzahl	kg/(E*a)	Mg/a
Blockbebauung	61%	2.049.262	19,8	40.575
Großwohnanlagen	19%	644.164	8,4	5.411
Summe Innenstadt	80%	2.693.426	17,1	45.986
Außenbezirke	3%	92.187	132	12.169
Summe bez. auf Teilnehmer	83%	2.785.613	20,9	58.155
Summe bez. auf Gesamtbev.	100%	3.353.857	17,3	58.155

THG-Bilanz

Die aus der Sammlung resultierende THG-Belastung wurde basierend auf Angaben zur Luftschadstoffbelastung der Bioabfallsammlung in der Innenstadt im Jahr 2010 abgeleitet²⁶. Der danach angegebene Wert von 890 Mg CO₂ wurde vereinfachend auf die gesamte Bioabfallsammlung übertragen. Der resultierende Emissionsfaktor ergibt sich zu 19 kg CO₂-Äq/Mg.

²⁶ Auskunft Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Umwelt- und Verbraucherschutz Berlin - Berechnung Luftschadstoffbelastung Bioabfallsammlung Innenstadt - vom 25.8.11

Angaben zum Verbleib der gesammelten Bioabfallmenge wurde anlagenspezifisch von den BSR übermittelt. Daraus konnten mittlere Transportentfernungen abgeleitet werden und die jeweils produzierte Kompostart eingeschätzt werden. Anhand der Angaben zu den angelieferten Kompostierungsanlagen wurde abgeleitet, dass insgesamt etwa zu 80% Fertigungskompost erzeugt wurde und zu 20% Frischkompost.

Die Transporte mit im Durchschnitt 40 km für den Bioabfall und angenommenen 65 km für die 3,6% aus dem Bioabfall abgetrennten Störstoffe ergeben einen Verbrauch von 16 kWh Diesel und damit eine spezifische THG-Belastung von rund 5 kg CO₂-Äq/Mg.

Die Bedarfswerte für den Energieeinsatz im Betrieb sind nach (IFEU 2002) mit 0,5 kWh Strom/Mg und 2,5 l Diesel/Mg angesetzt. Die THG-Belastungen aus der einfachen offenen Kompostierung wurden anhand der Emissionsfaktoren nach (gewitra 2009) für die Erzeugung von Frisch- und Fertigungskompost berechnet.

Über die Anwendung der erzeugten Komposte sind keine Informationen verfügbar. Hier wurden durchschnittliche Werte für Deutschland nach (UBA 2012a) herangezogen. Sowohl die Berechnung der aus der Kompostanwendung resultierenden THG-Belastungen als auch die durch die Anwendung gegebenen Nutzen wurden wie in (UBA 2012a) beschrieben bilanziert. Die Kompostgutschrift folgt dabei der im Durchschnitt erzeugten Menge an Kompost, die für Frischkompost bei rund 44% und bei Fertigungskompost bei rund 42% der Inputmenge liegt.

Durch die Abscheidung des Störstoffanteils in Höhe von 3,6% und dessen Verbrennung in einer MVA ergibt sich zwar eine Gutschrift für die dabei erzeugte Energie, jedoch bestehen demgegenüber höhere THG-Belastungen durch bei der Verbrennung entstehende fossile CO₂-Emissionen, die durch den hohen Kunststoffanteil in den Störstoffen verursacht werden. Ohne den Störstoffanteil würde sich eine Nettoentlastung in Höhe von -15 kg CO₂-Äq/Mg Bioabfall im Gesamtergebnis ergeben.

Eine potenzielle C-Senke aus der Kompostanwendung wird wie in Kapitel 1.3.2 erläutert nur nachrichtlich ausgewiesen.

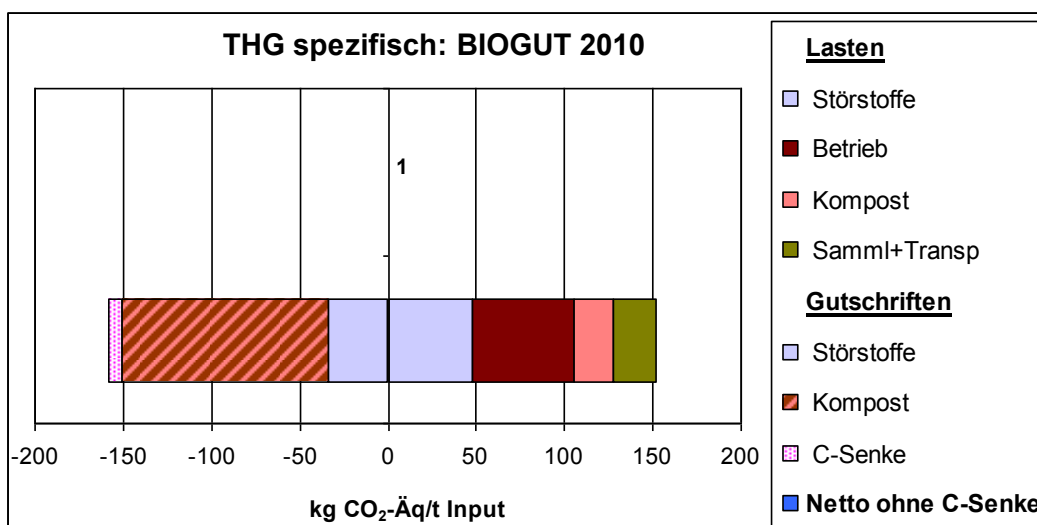


Abbildung 2-35: Spezifisches Ergebnis Verwertung Bioabfall (BIOGUT)

Im spezifischen Ergebnis der THG-Bilanz in Abbildung 2-35 zeigt sich, dass die Behandlung von getrennt erfasstem Bioabfall im Jahr 2010 in etwa gleich hohe Entlastungen wie Belastungen aufweist. Im spezifischen Nettoergebnis ergibt sich eine geringe spezifische THG-Belastung von 1 kg CO₂-Äq/Mg.

Hochgerechnet auf die gesamt entsorgte Menge an getrennt erfasstem Bioabfall ergibt sich eine Nettobelastung von **53 Mg CO₂-Äq für das Jahr 2010**, die in die Gesamtbilanz der Abfallentsorgung in Berlin eingehen.

Der THG-Minderungsbeitrag, der sich durch Anrechnung der C-Senke ergeben würde, beläuft sich auf -437 Mg CO₂-Äq.

Optimierung: Die BSR lassen derzeit eine Vergärungsanlage für BIOGUT am Standort Berlin-Ruhleben errichten. Die jährliche Verarbeitungsleistung wird nach Fertigstellung im Jahr 2013 rund 60.000 Mg/a betragen. Das erzeugte Biogas wird zu Erdgasqualität aufgearbeitet, in das Gasnetz eingespeist und dient der Betankung der BSR-Sammel Fahrzeuge. Der feste Gärrest wird aerobisiert und zur weiteren Behandlung sowie nachfolgender Kompostverwertung an Kompostierbetriebe im Berliner Umland abgegeben. Die anfallenden flüssigen Gärreste sollen nach einer Zwischenlagerung landwirtschaftlich verwertet werden. In der Potenzialanalyse (Kap. 3.18.2) wird die Behandlung von Bioabfall über die BSR-Vergärungsanlage dargestellt sowie für eine, hinsichtlich der nachgelagerten Schritte der Gärrestverwertung, weiter optimierte Vergärung.

Des Weiteren wird die Intensivierung der Bioabfallsammlung und deren Ausweitung betrachtet. Diese beiden Maßnahmen werden neben einer Mehr-Erfassung von Hausmüll-Organik auch eigenkompostierte Materialien und Grünabfälle (Laubsack) im Bioabfall aufnehmen. Die Behandlung der zusätzlich erfassten Menge wird in modernen TA Luftkonformen Behandlungsanlagen (z.B. Vergärung und HTC-Verfahren) bezüglich ihrer THG-Bilanz untersucht. Die abschließende Bilanzierung dieser Maßnahme erfolgt in einem Optimierungsszenario in Kapitel 4.1.2. Diese gesamtsystematische Bewertung ist erforderlich, da mehrere Abfallarten betroffen sind und insbesondere die Entsorgung des veränderten Restabfalls zu berücksichtigen ist.

2.18.3 Eigenkompostierung Bio- und Grünabfälle

Die Eigenkompostierung von organischen Küchen- und Gartenabfällen hat einen relevanten Anteil an der Verwertung von Organikmengen in Berlin.

Die Mengen der Eigenkompostierung sind quantitativ nicht erfassbar. Sie können jedoch als eine Mengen-Differenz abgeschätzt werden zwischen

- den **Quellen**, das sind die hochgerechneten Primärmengen an Küchenabfall-Organik und Gartenabfällen, wobei letztere aus den Garten-Grünflächen (in ha) multipliziert mit einem "Nachwuchsfaktor" von Grünmasse (in Mg/(ha*a)) berechnet werden,
- und den **Senken**, das sind sämtliche extern entsorgten Organikmengen, in Form von Organik im Hausmüll, Biogut, Laubsäcken und Eigenanlieferungen an die BSR-Recyclinghöfe.

Kurzsteckbrief Eigenkompostierung Bio- und Grünabfälle			Quelle
Aufkommen:	100.939 Mg	davon 72.857 Mg aus Wohngebieten 28.082 Mg aus Kleingartenkolonien	(WI/ICU 2008) angepasst auf 2010
Verbleib:	Eigenkompostierung		
Kenndaten	Wie Laubsackinhalt gewertet: Hu = 4,7 MJ/kg FS, TS = 46% FS, oTS = 65% TS, C fossil = 0%, keine Störstoffe		(Kanthak & Adam 2008)

In der Biomasse-Studie 2009 (WI/ICU 2009) wurden die unversiegelten Gartenflächen ermittelt – rund 100 km² für Hausgärten und rund 22 km² für Kleingartenkolonien. Zu dieser Quelle an Grünabfällen sind die anfallenden Küchenabfallmengen zu addieren. Abzuziehen sind davon die oben genannten Senken für Organikabfälle, vorrangig die über den Hausmüll entsorgte Organik, die Laubsackinhalte sowie der derzeit bereits getrennt gesammelte Bioabfall. Die Differenz stellt die eigenkompostierte Organikmenge im Land Berlin dar.

Die grünproduktiven Flächen der Wohngebiete wurden aus dem Umweltatlas der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, die Flächen der Kleingartenkolonien aus den detaillierteren Angaben des Statistischen Landesamtes entnommen. Die extern entsorgten Mengen wurden der BSR-Bilanz 2011 sowie den von den BSR beauftragten Haus- und Bioabfall-Untersuchungen (Kanthak & Adam 2008), (ARGUS 2009b) entnommen. Die Berechnungsergebnisse sind in Tabelle 2-28 zusammengestellt.

Insgesamt gibt es demnach rund 151.000 Mg/a Gartenabfälle und rund 43.000 Mg/a Küchenabfälle. Im Bereich der Senken dominiert der Organikanteil im beseitigten Hausmüll in den gartenreichen Gebieten mit rund 64.000 Mg/a, gefolgt von der Laubsackmenge mit 16.000 Mg/a. Unter Einschluss von getrennt gesammeltem Bioabfall der Außenbereiche und dem eingesammelten Baum- und Strauchschnitt der BSR werden insgesamt rund 93.000 Mg/a an Organikmassen extern entsorgt.

Nach Abzug der extern entsorgten Mengen errechnet sich die Gesamtleistung der (Haus)Gartenkompostierung zu rund 101.000 Mg/a, davon entfallen rund 73.000 Mg/a auf Hausgärten und rd. 28.000 Mg/a auf Kleingartenkolonien. Die Eigenkompostierung wertet damit rund 52% des in diesen Bereichen auftretenden Organik-Aufkommens.

Eine Nutzung der in den gut 101.000 Mg/a gebundenen regenerativen Energie findet nicht statt. Zu würdigen ist die integrierte Humus- und Nährstoffversorgung der Gartenböden. Kennzeichnend ist allerdings nach den Untersuchungen des Pflanzenschutzamtes Berlin aus (WI/ICU 2009) für die Berliner Gartenböden

- eine weitgehend gute Humusversorgung,
- eine **Überdüngung mit Phosphat in 70% der Proben.**

Die Phosphat-Überdüngung ist kein spezielles Berliner Phänomen, sondern wurde in ähnlichen Untersuchungen bundesweit festgestellt.

Tabelle 2-28 Herleitung der Eigenkompostierungsmenge in Hausgärten und Kleingartenkolonien

Quellen	Mg/a	Anteil	Bemerkungen
Wohngebiete Gartenabfall	123.535	63,7%	9.883 ha x 12,5 Mg/ha*a
Wohngebiete Küchenabfall	41.211	21,3%	610.532 x 62,4 kg/Ew*a
Kleingärten Gartenabfall	27.713	14,3%	2.217 ha x 12,5 Mg/ha*a
Kleingärten Küchenabfall	1.341	0,7%	Hochrechnung Aufenthalt
Summe Quellen	193.800	100,0%	
Senken	Mg/a	Anteil	Bemerkungen
Organik im Restmüll	63.601	68,5%	einschl. Biotonnen-Nutzer
Organik als Biogut	12.169	13,1%	Aus (ARGUS 2009b) berechnet
Laubsack-Inhalte	15.855	17,1%	(BSR 2011)
- Eigenanlieferung	1.236	1,3%	(BSR 2011)
Summe Senken	92.861	100,0%	
Eigenkompostierung	100.939	52,1%	Komposterzeugung
- davon in Hausgärten	72.857	entspricht	25.500 Mg/a
- davon in Kleingartenkolonien	28.082	entspricht	9.829 Mg/a
Erzeugter Kompost bei 65% Rotteverlust			35.329 Mg/a

THG-Bilanz

Für die Eigenkompostierung fallen keine Sammelaufwendungen an. Für den Kompostierungsprozess selbst wurden Emissionsfaktoren nach den Untersuchungen von (Amlinger & Peyr 2002) verwendet, die sich in der Biomassestudie 2009 (WI/ICU 2009) zitiert finden. Daraus treibhausgasrelevant sind die aufgeführten Methan- und Lachgasemissionen, die mit 1.490 g CH₄/Mg Abfall und 224 g N₂O/Mg Abfall angegeben sind. Diese Faktoren liegen deutlich höher als entsprechende Faktoren nach (gewitra 2009) für zentralisierte offene Kompostierungsanlagen (1.000 g CH₄/Mg und 110 g N₂O/Mg für Fertigkompost) und weisen darauf hin, dass die entsprechende Eigenkompostierung nicht den Regeln der guten fachlichen Praxis folgt.

Die erzeugte Kompostmenge wurde anhand der Kenndaten zu 35% bezogen auf den Input ermittelt und es wurde angenommen, dass es sich um Fertigkompost handelt. Für die THG-Bilanz wurden zur Berechnung der weiteren Emissionen und der erzeugten Nutzen aus der Kompostanwendung die Werte nach (UBA 2012a) für Grünabfall-Fertigkompost für den Durchschnitt in Deutschland verwendet.

Mit dieser Annahme erfolgt eine vollständige Anrechnung der Nährstoffe, auch wenn diese im Fall von Phosphat – wie oben geschildert – nicht auf einen entsprechenden Bedarf treffen. Allerdings wird die Gutschrift für Mineraldüngersubstitution im Wesentlichen durch substituierten Stickstoffdünger geprägt, so dass der Einfluss dieser Vereinfachung auf das Ergebnis von untergeordneter Bedeutung ist.

Im spezifischen Ergebnis der THG-Bilanz in Abbildung 2-36 zeigt sich, dass die gegenüber einer zentralen offenen Kompostierung höheren Emissionen entsprechend gegenüber dem Ergebnis für Bioabfall zu einer höheren spezifischen Nettobelastung führen.

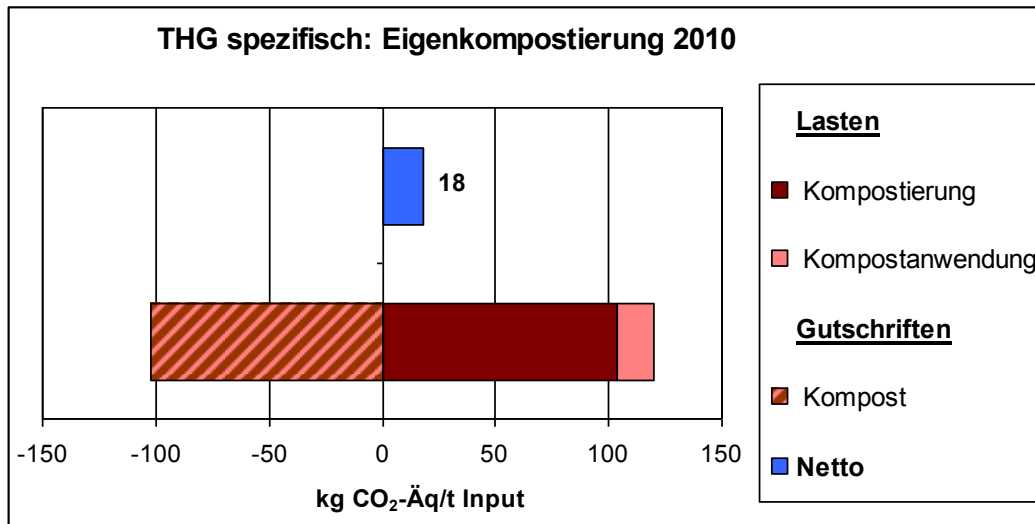


Abbildung 2-36: Spezifisches Ergebnis Verwertung Eigenkompostierung

Eine C-Senke wird für eine Anwendung von Kompost in Hausgärten nicht angerechnet (vgl. UBA 2012a).

Hochgerechnet auf die gesamt entsorgte Menge eigenkompostierten Materials ergibt sich eine Nettobelastung von **1.801 Mg CO₂-Äq für das Jahr 2010**, die in die Gesamtbilanz der Abfallentsorgung in Berlin eingehen.

Optimierungen im Bereich der Eigenkompostierung liegen im Wesentlichen in ihrer Umlenkung auf alternative Verwertungsformen, die zu verminderten Emissionen aus der Behandlung führen und zusätzlich den Energiegehalt erschließen. Durch die flächendeckende Einführung der Biotonne könnten schätzungsweise max. 50% der derzeit eigenkompostierten Mengen erfasst und einer hochwertigen Verwertung zugeführt werden. Auch bei diesen Annahmen wäre die Humusversorgung der Gärten gewährleistet.

Das Potenzial allein bezogen auf den Organikabfall wird in der Potenzialanalyse dargestellt. Die gesamtsystematische Betrachtung der Umlenkung und gemeinsame Behandlung mit Organikabfall aus Hausmüll erfolgt im Optimierungsszenario in Kapitel 4.1.2.

2.18.4 Organikabfälle im Sammelsystem Laubsack

Die Laubsacksammlung steht in Berlin als Holsystem zur Verfügung und dient der Erfassung von Grünresten aus Haushalten. Die Laubsackinhalte richten sich nach den Vegetationsperioden (Beet-Putzabfälle im Frühjahr, Rasenschnitt im Sommer, Laub im Herbst etc.).

Kurzsteckbrief Organikabfall im Sammelsystem Laubsack		Quelle
Aufkommen:	15.855 Mg	(BSR 2011)
Verbleib:	Einfachkompostierung Brandenburg	
Kenndaten	Hu = 4,7 MJ/kg FS; TS = 46% FS, oTS = 65% TS; C fossil = 0,2% FS aus PE-Säcken	(Kanthak & Adam 2008) (BSR 2012a)

Über das System "Laubsack" wurden 2010 von den BSR 15.855 Mg an Grünabfällen erfasst, die nach vorausgegangenen Untersuchungen (ICU 2008) zu rd. 85% aus Wohngebieten und 15% aus Kleingartenkolonien stammen.

Erfasst werden die Grünabfälle mit PE-Säcken, die an den Betriebshöfen der BSR erworben werden können, bis 2010 für 3 €, ab 2011 für 4 € pro Stück.

Zur Dämpfung der erheblichen Kosten durch eigene Sammlung sind die BSR dazu übergegangen, für jeden angelieferten Laubsack dem Lieferanten 1 €/Sack zu vergüten. Die damit ausgelöste Laubsackeinsammlung durch private Unternehmen umfasst damit den größten Anteil der Laubsäcke, lediglich ein kleiner Rest wird ergänzend über Fahrzeuge der BSR erfasst.

Die Verwertung erfolgt über Einfachkompostierung im Land Brandenburg, in 2010 zu 100% über die Hennickendorfer Kompost GmbH, wobei die Aufsetzung von sehr hohen Mieten (> 4 m) Praxis ist.

THG-Bilanz

Zu den Aufwendungen der Sammlung liegen keine spezifischen Angaben vor. Für den Sammelaufwand wurde angenommen, dass dieser einer durchschnittlichen Sammlung von innerstädtischem Bioabfall in Deutschland entspricht (nach (Öko-Institut/IFEU 2010)). Die Transportentfernung zur Kompostierungsanlage wurde mit 40 km angesetzt.

Der Störstoffanteil wurde nach (BSR 2012a) mit 0,4% angenommen. Dabei handelt es sich zu 80% um Kunststoffanteile (Plastiksäcke) und im weiteren v. a. um Steine. Für die Störstoffe wurde eine Abtrennung und Entsorgung über eine MVA angenommen. Daraus ergibt sich eine geringe THG-Gutschrift für die erzeugte Energie (Strom bzw. Wärme), jedoch eine höhere THG-Lastschrift durch die Freisetzung fossilen Kohlenstoffs.

Der Energiebedarf für die Kompostierung wurde auch hier wie für die einfache offene Kompostierung von Bioabfall nach (IFEU 2002) mit 0,5 kWh Strom/Mg und 2,5 l Diesel/Mg angesetzt. Die daraus resultierenden THG-Belastungen haben einen Anteil von unter 10% der auf der Anlage entstehenden THG-Emissionen.

Zur Bewertung der Emissionen wurden hier abweichend nicht die Emissionsfaktoren nach (gewirtra 2009) verwendet. Laubsackinhalte werden in der Kompostierungsanlage Hennickendorfer Kompost zu meterhohen Haufen aufgeschichtet und erst nach acht Wochen umgeschichtet²⁷. In der Rottezeit kommt es zu hoher Selbsterhitzung, und die sechs Meter hohen Mieten sind ungeschützt der Witterung ausgesetzt. Insbesondere bei Vernäsung nach Regenfällen ist mit der Ausbildung anaerober Zonen und folglich hohen Methan- und Lachgasemissionen zu rechnen.

²⁷ Artikel in der BZ vom 9.11.2007: „Hier lagert der Herbst“

Für die Bewertung wurden aus diesem Grund die gleichen Emissionsfaktoren herangezogen wie in (WI/ICU 2009). Die Werte – 1.800 g CH₄/Mg Abfall und 190 g N₂O/Mg Abfall – entsprechen Messwerten, die von der Firma gewitra an einer Kompostierungsanlage erfasst wurden, die eine ungünstige betriebliche Praxis aufwies (hohe Tafelmieten ohne Belüftung, vernässte Zonen). Die Werte wurden nicht in (gewitra 2009) aufgenommen, da sie als Ausreißerwerte klassifiziert wurden. Durch die analogen Randbedingungen – fehlende Belüftung, voraussichtliche Vernässung – wird die Verwendung dieser Werte für die hier erfolgende Kompostierung der Laubsackinhalte für angemessen erachtet. Zur Ermittlung der tatsächlichen Freisetzung von Methan und Lachgas an dieser Anlage wären entsprechende Messungen erforderlich.

Die erzeugte Kompostmenge wurde anhand der Kenndaten zu 45% bezogen auf die Inputmenge berechnet. Aufgrund der langen Rottedauer wurde davon ausgegangen, dass es sich bei dem Produkt um Fertigkompost handelt. Für die THG-Bilanz wurden zur Berechnung der weiteren Emissionen und der erzeugten Nutzen aus der Kompostanwendung – wie bei der Eigenkompostierung – die Werte nach (UBA 2012a) für Grünabfall-Fertigkompost für den Durchschnitt in Deutschland verwendet.

Im spezifischen Ergebnis der THG-Bilanz in Abbildung 2-37 zeigt sich, ähnlich wie bei der Eigenkompostierung, dass die höheren THG-Emissionen gegenüber dem Ergebnis für Bioabfall zu einer höheren spezifischen Nettobelastung führen.

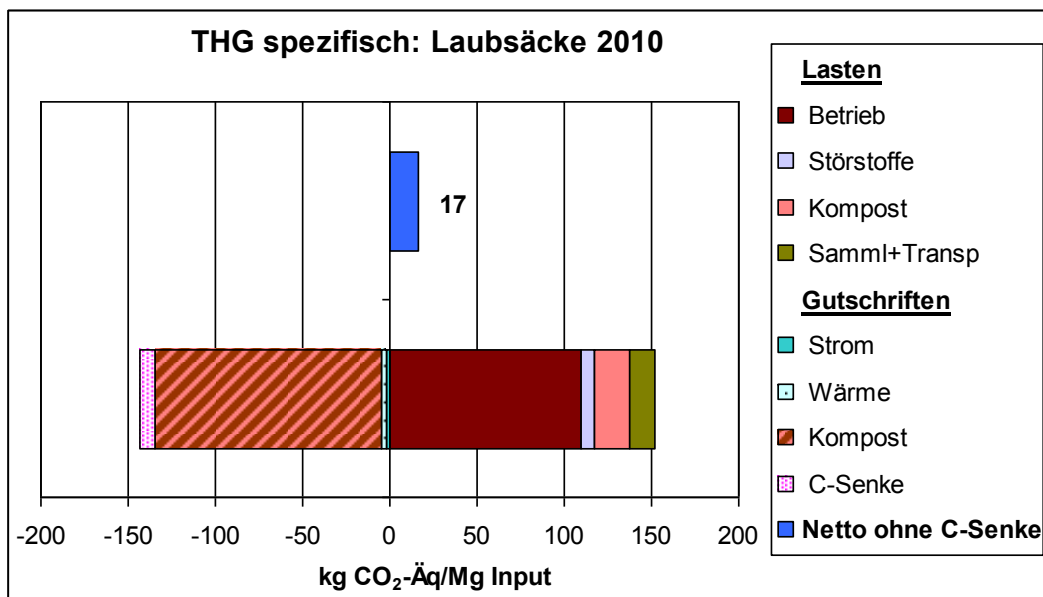


Abbildung 2-37: Spezifisches Ergebnis Verwertung Organikabfall im Sammelsystem Laubsack

Hochgerechnet auf die gesamt entsorgte Menge aus der Laubsacksammlung ergibt sich eine Nettobelastung von **263 Mg CO₂-Äq für das Jahr 2010**, die in die Gesamtbilanz der Abfallentsorgung in Berlin eingehen.

Der THG-Minderungsbeitrag, der sich durch Anrechnung der C-Senke ergeben würde, beläuft sich auf -134 Mg CO₂-Äq.

Optimierungen für 2020 werden analog den Optimierungen für die eigenkompostierte Menge in der Miterfassung des Großteils der Laubsackinhalte in die dann ausgeweitete Bioabfallsammlung sowie einer nachgeschalteten emissionsarmen Verwertung gesehen. Das Potenzial allein bezogen auf den Organikabfall wird in der Potenzialanalyse dargestellt. Die gesamtssystematische Betrachtung der Umlenkung und gemeinsame Behandlung mit Organikabfall aus Hausmüll erfolgt im Optimierungsszenario in Kapitel 4.1.2. Für die verbleibende Menge an Organikabfall im Sammelsystem Laubsack werden in der Potenzialanalyse verschiedene energetische Behandlungsverfahren untersucht.

2.19 Laub, Straßenlaub

Die stoffliche Qualität von Laub variiert je nach Niederschlag undkehrmethode bei Straßenlaub (z.B. durch verstärkte Mitnahme von Erdanteilen) und weist somit erhebliche Schwankungen auf.

Kurzsteckbrief Laub und Straßenlaub		Quelle
Aufkommen:	56.395 Mg	(BSR 2011), (WI/ICU 2009), (ICU 2011)
Verbleib:	Einfachkompostierung im Land Brandenburg	
Kenndaten	Hu = 3,8 MJ/kg FS, TS = 35-80% FS, oTS = 67-78% TS, C fossil = 0%	Analysen BSR 2006

Die Mengen an entsorgtem Straßenlaub und sonstigen Laub aus den verschiedenen Quellen sind in Tabelle 2-29 zusammen gestellt.

Tabelle 2-29 Herkunft Laubmengen

Abfallart	Menge 2010	Aktuelle Entsorgung	Quelle
Straßenlaub BSR	32.253 Mg	Einfache Kompostierung im Land Brandenburg	(BSR 2011)
Laub der Grünflächenämter der Bezirke	13.133 Mg	Einfache Kompostierung im Land Brandenburg	(WI/ICU 2009) (ICU 2011)
Laub über GaLaBau erfasst	11.009 Mg	Einfache Kompostierung im Land Brandenburg	(WI/ICU 2009) (ICU 2011)
Summe Laub	56.395 Mg		

Das Straßenlaub der BSR wurde 2010 mit rund 18.600 Mg an die Hennickendorfer Kompost GmbH und zu rund 12.600 Mg an die RETERRA Service GmbH zur Kompostierung übergeben. Die restlichen Mengen (unter 1.000 Mg/a) verteilten sich auf drei weitere Kompostierungsanlagen.

Bei den bezirklichen Grünflächenämtern wird von einem Gesamtaufkommen an Laub von 13.133 Mg ausgegangen, das erfasst und entsorgt wird (ICU 2011). Beim GaLaBau wurde zusätzlich eine erfassbare Laubmenge von 11.009 Mg ermittelt (ICU 2011). Die insgesamt rund 56.000 Mg/a stellen die im Jahr 2010 erfasste und entsorgte Laubmenge dar, die vollständig in Einfachkompostierungsanlagen im Land Brandenburg verarbeitet wird.

THG-Bilanz

Wegen der stofflichen Ähnlichkeit der betrachteten Laubmengen und derselben genutzten Verwertungsverfahren erfolgt eine gemeinsame THG-Bilanzierung:

Zu den Aufwendungen der Sammlung liegen keine spezifischen Angaben vor. Für den Sammelaufwand wurde angenommen, dass dieser einer durchschnittlichen Sammlung von Grünabfall in Deutschland entspricht (nach (Öko-Institut/IFEU 2010)). Der durchschnittliche Transportweg zu den Kompostierungsanlagen wurde mit 40 km angesetzt.

Aufgrund der Losesammlung von Laub und Straßenlaub wurde im Gegensatz zu Organikabfall in Laubsäcken kein Störstoffanteil angenommen. Der Energiebedarf für die einfache, offene Kompostierung wurde auch hier wiederum nach (IFEU 2002) mit 0,5 kWh Strom/Mg und 2,5 l Diesel/Mg angesetzt.

Für die anteilige an die Hennickendorfer Kompostanlage verbrachte Menge (18.606 Mg) wurde von den gleichen Randbedingungen ausgegangen wie zuvor für die Organikabfälle aus Laubsäcken beschrieben. Die weiteren kompostierten Mengen gehen überwiegend zur RETERRA-Anlage, bei der eine regelmäßige Belüftung durch Mietenumsetzung erfolgt. Entsprechend wird für die verbleibende Menge von einer durchschnittlichen Kompostierung ausgegangen. Die Bewertung erfolgt anhand der Emissionswerte nach (gewitra 2009) für eine offene Grünabfallkompostierung zu Fertigkompost (850 g CH₄/Mg und 72 g N₂O/Mg Abfall).

Die erzeugte Kompostmenge wurde anhand der Kenndaten zu 38% bezogen auf die Inputmenge berechnet. Informationen zum erzeugten Kompost sind nicht verfügbar. Für die THG-Bilanz wurden zur Berechnung der weiteren Emissionen und der erzeugten Nutzen aus der Kompostanwendung – wie bei der Eigenkompostierung und bei den Organikabfällen im Sammelsystem Laubsack – die Werte nach (UBA 2012a) für Grünabfall-Fertigkompost für den Durchschnitt in Deutschland verwendet.

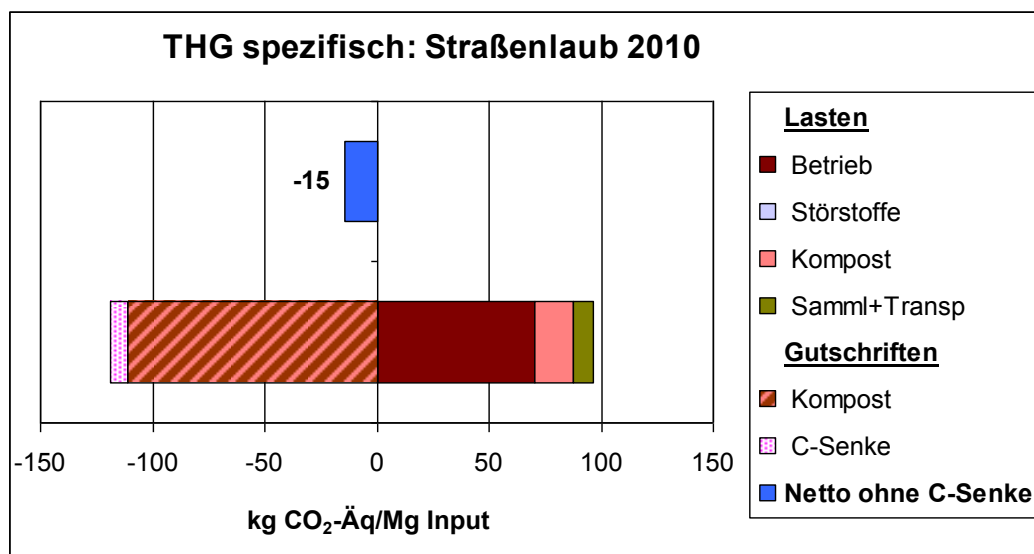


Abbildung 2-38: Spezifisches Ergebnis Verwertung Laub/Straßenlaub

Im spezifischen Ergebnis in Abbildung 2-38 zeigt sich nun im Gegensatz zur Kompostierung von Bioabfall, Organikabfall aus Laubsäcken und der Eigenkompostierung eine Nettoentlastung.

Diese ergibt sich zum einen, da für zwei Drittel der Abfälle von einer durchschnittlichen Grünabfallkompostierung ausgegangen wird, mit entsprechend geringeren Methan- und Lachgasemissionen, und zum anderen, da für Laub und Straßenlaub keine Störstoffe gegeben sind. Die Entsorgung der Störstoffanteile über eine MVA trägt bei den anderen Abfallarten zur Nettobelastung bei, da die aus der Verbrennung erzielte Gutschrift für erzeugte Energie geringer liegt als die ebenfalls entstehenden THG-Belastungen durch fossile CO₂-Emissionen (Störstoffe bestehen überwiegend aus Kunststoffen).

Hochgerechnet auf die gesamt entsorgte Menge Straßenlaub ergibt sich eine Nettoentlastung von **-821 Mg CO₂-Äq für das Jahr 2010**, die in die Gesamtbilanz der Abfallentsorgung in Berlin eingehen.

Der zusätzliche THG-Minderungsbeitrag, der sich durch Anrechnung der C-Senke ergeben würde, beläuft sich auf -405 Mg CO₂-Äq.

Optimierungen können vorrangig in der energetischen Behandlung nach vorheriger Konfektionierung erschlossen werden. In Kapitel 3.19 werden entsprechende Ausführungen dazu vorgenommen. So wird auf die Möglichkeit der energetischen Verwertung nach einer Trocknung oder der Behandlung nach dem Verfahren der Hydrothermalen Karbonisierung (HTC) verwiesen. Wegen seines niedrigen Anteils anaerob zugänglicher Stoffe ist Laub für eine Vergärung nicht geeignet.

2.20 Grasschnitt

Grasschnitt stammt zur kleineren Menge aus der Pflege von Straßenbegleitgrün durch die BSR²⁸ und zum deutlich größeren Anteil aus Mähgut von bezirklichen Grünflächenämtern und den Garten- und Landschaftsbaubetrieben (GaLaBau-Betriebe).

Tabelle 2-30 Mengen an Straßenbegleitgrün und Mähgut

Abfallart	Mg/a 2010	Aktuelle Entsorgung
Straßenbegleitgrün der BSR	4.758	Einfache Kompostierung im Land Brandenburg
Mähgut der Bezirke	27.738	Einfache Kompostierung im Land Brandenburg
Mähgut der GalaBau-Betriebe	15.862	Einfache Kompostierung im Land Brandenburg
Summe Mähgut	48.357	

Die THG-Bilanz wird in Kapitel 2.20.2 für Mähgut und Straßenbegleitgrün zusammen betrachtet, da diese Stoffströme die gleichen Verwertungswege gehen und weitgehend ähnliche stoffliche Eigenschaften haben.

²⁸ „Kehricht Organikfraktion“ in (BSR 2011).

2.20.1 Straßenbegleitgrün

Bei Straßenbegleitgrün handelt es sich um ein ähnliches Material wie bei Mähgut der anderen Herkunftsbereiche, mit einem höheren Anteil an Erde und teilweise Verunreinigungen sowie bei der Frühjahrsreinigung - je nach Winterbedingungen - mit aufgenommenen Streugutanteilen. Das Material wird in einfachen Kompostieranlagen in Brandenburg verwertet; im Jahr 2010 zu 29% durch den Kompostierbetrieb proflor GmbH und zu 71% über die Hennickendorfer Kompost GmbH.

Kurzsteckbrief Straßenbegleitgrün		Quelle
Aufkommen:	4.758 Mg	(BSR 2011)
Verbleib:	Einfache Kompostierung im Land Brandenburg	
Kenndaten	Hu = 2,2 MJ/kg FS, wie Mähgut bewertet (zwar erhöhter TS-Gehalt, dafür geringerer oTS-Anteil. Somit ergibt sich ein ähnlicher oTS-Anteil je Mg FS); C fossil = 0%	Annahme

Wie oben erwähnt wird das Material wie Mähgut bewertet und bilanziert (s. folgendes Kapitel 2.20.2).

Hochgerechnet auf die gesamt entsorgte Menge Straßenbegleitgrün ergibt sich eine Netobelastung von **70 Mg CO₂-Äq für das Jahr 2010**, die in die Gesamtbilanz der Abfallentsorgung in Berlin eingehen.

Optimierungen für das Straßenbegleitgrün sind durch die Verwertung in modernen emissionsarmen Behandlungsverfahren möglich, die den Energiegehalt des organischen Materials nutzen. Dies kann die Vergärung – auch in Co-Vergärung mit dem Bioabfall – oder alternativ z.B. die Hydrothermale Karbonisierung (HTC) sein. Entsprechende Ausführungen dazu finden sich in der Potenzialanalyse.

2.20.2 Mähgut

Bei den bezirklichen Grünflächenämtern sowie den GaLaBau-Betrieben fallen neben relevanten Laubmengen auch große Mengen an Mähgut zur externen Entsorgung an, da eine Mulchung auf den gemähten Flächen wegen deren Nutzung nicht möglich ist.

Kurzsteckbrief Mähgut		Quelle
Aufkommen:	43.600 Mg	(ICU 2011)
Verbleib:	Einfache Kompostierung im Land Brandenburg	
Kenndaten	Hu = 2,2 MJ/kg FS, TS = 25% FS, oTS = 85% TS; C fossil = 0%	Arbeitswert in (ICU 2011)

Die bei bezirklichen Ämtern anfallenden Mengen und Qualitäten an Mähgut wurden in (ICU 2011) zur optimierten Verwertung von Rasenschnitt und Laub untersucht. Die entsprechenden Grünflächen werden nach der Art der Nutzung und Häufigkeit des Schnitts in sogenannte Pflegekategorien unterteilt, die in Tabelle 2-31 aufgeführt sind.

Tabelle 2-31 Mähgut der Berliner Bezirke nach Pflegekategorien (PK) (ICU 2011)

PK	Nutzung	Mengen in Mg/a	Reinheit (Sauberkeit) / Pflanzenbestand	Schnitte pro Jahr
1	Park- u. Zierrasen	Sehr gering	gut bis sehr gut / relativ homogener Rasenbestand	Mahd 25-30x
2	Sportrasen	Sehr gering	sehr gut / homogener Rasenbestand	Mahd bis 48x
3	Gebrauchsrasen	8.748	mittel / durch mittleren Unkrautbewuchs gekennzeichnete Rasenbestände	Mahd ca. 12x
4	Landschaftsrassen	12.845	gering / durch starken Unkrautbewuchs gekennzeichnete Rasenbestände	Mahd 3-4x
5	Wiesen, Sukzessions- und Biotopflächen	6.145	gut / durch Sukzession stark differenziert	Mahd 1-2x

Aus der Tabellenübersicht wird deutlich, dass das Mähgut der Bezirke in Höhe von insgesamt 27.738 Mg überwiegend aus den Pflegekategorien 3, 4 und 5 resultiert.

Die bei GaLaBau-Betrieben anfallenden Mengen wurden grundsätzlich aus (WI/ICU 2009) übernommen. Nach Rücksprache mit dem Fachverband Garten-, Landschafts- und Sportplatzbau Berlin und Brandenburg wurde aufgrund neuer Erkenntnisse die Menge auf 70% des ursprünglichen Wertes angepasst und ergibt sich zu 15.862 Mg. Von dieser Menge fallen nach Aussage des Verbandes rund 70% der als Dienstleistung gemähten Rasenflächen im Bereich der kommunalen Wohnungsbaugesellschaften an (11.078 Mg).

Die Grünschnittmengen aller Herkunftsbereiche werden kompostiert, bei den Bezirken nach (ICU 2011) mit stetig sinkenden Anteilen auf eigenen Kompostplätzen. Die dominierenden Mengen werden außerhalb Berlins über 10-15 Einfachkompostierungsanlagen verwertet.

THG-Bilanz

Mähgut wird bei der Einfachkompostierung hinsichtlich der THG-Emissionen anhand der Emissionsfaktoren nach (gewitra 2009) für eine offene Grünabfallkompostierung bewertet.

Für den Sammelaufwand wurde angenommen, dass dieser einer durchschnittlichen Sammlung von Grünabfall in Deutschland entspricht (nach (Öko-Institut/IFEU 2010)). Der Transport wird mit durchschnittlich 40 km Fahrstrecke abgeschätzt. Analog dem Vorgehen für Organikabfälle aus Haushalten wurden auch hier die Bedarfswerte für den Energieeinsatz im Betrieb nach (IFEU 2002) mit 0,5 kWh Strom/Mg und 2,5 l Diesel/Mg angesetzt. Die resultierenden THG-Emissionen machen etwa 13% der gesamten THG-Belastungen aus.

Zur Berechnung der weiteren Emissionen und der erzeugten Nutzen aus der Kompostanwendung wurden auch hier die Werte nach (UBA 2012a) für Grünabfall-Fertigkompost für den Durchschnitt in Deutschland verwendet. Die Gutschrift für Kompost fällt hier im Vergleich zu den Organikabfällen aus Haushalten geringer aus, da aufgrund des hohen Wassergehaltes des Materials von 75% nur geringe Kompostmengen von rund 18% bezogen auf die Inputmenge erwartet werden.

Im spezifischen Ergebnis in Abbildung 2-39 zeigt sich, trotz der Bewertung der THG-Emissionen anhand der durchschnittlichen Emissionsfaktoren nach (gewitra 2009), eine Nettobelastung in Höhe von 15 kg CO₂-Äq/Mg und damit in ähnlicher Höhe wie bei der Laubsackkompostierung und der Eigenkompostierung. Verursacht wird die Nettobelastung durch die erwähnte geringere Kompostgutschrift.

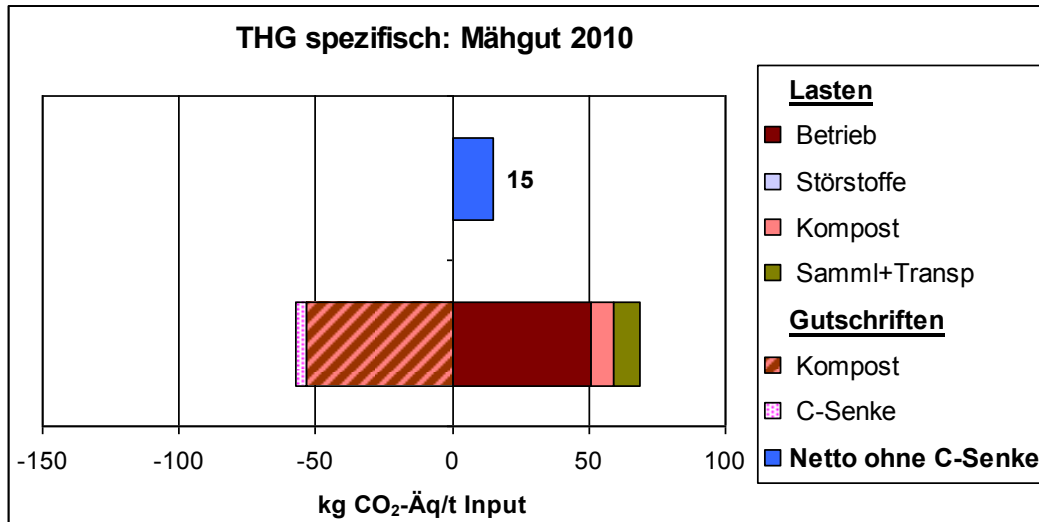


Abbildung 2-39: Spezifisches Ergebnis Verwertung Mähgut

Hochgerechnet auf die gesamt entsorgte Menge Mähgut ergibt sich eine Nettobelastung von **644 Mg CO₂-Äq für das Jahr 2010**, die in die Gesamtbilanz der Abfallentsorgung in Berlin eingehen.

Der THG-Minderungsbeitrag, der sich durch Anrechnung der C-Senke ergeben würde, beläuft sich auf -151 Mg CO₂-Äq.

Optimierungen sind – wie für Straßenbegleitgrün – durch die Verwertung von Mähgut in modernen emissionsarmen Behandlungsverfahren möglich, die den Energiegehalt des organischen Materials nutzen. In der Potenzialanalyse wird eine Verwertung durch Vergärung und durch Hydrothermale Karbonisierung (HTC) untersucht.

2.21 Organikabfälle aus Gewerbe

Die hier betrachteten und getrennt erfassten Organikabfälle aus Gewerbebetrieben umfassen Speisereste, überlagerte Lebensmittel sowie Fettabscheiderinhalte. Fettabscheiderinhalte und Speiseabfälle fallen vorwiegend bei lebensmittelverarbeitenden Betrieben wie Restaurants, Kantinen usw. an. Überlagerte Lebensmittel stammen überwiegend aus dem Handel.

Die 2010 erfassten Organikmengen (Speisereste, überlagerte Lebensmittel und Fettabscheiderinhalte) aus dem Gewerbe sind in Tabelle 2-32 wiedergegeben. Die Entsorgung der drei genannten Abfallarten wird in den folgenden Unterkapiteln getrennt beschrieben.

Tabelle 2-32 Organikabfall aus Gewerbe

Abfallart	Menge 2010	Aktuelle Entsorgung
Speisereste	37.325 Mg	Vergärung
Überlagerte Lebensmittelabfälle	24.106 Mg	
Fettabscheider	12.873 Mg	
Summe	74.304 Mg	

Diese Organikabfälle aus Gewerbe wurden 2010 ausschließlich über die Vergärung verwertet, sowohl in Gülle-Co-Vergärungsanlagen als auch in speziellen Vergärungsanlagen. Die Verwertung von Organikabfällen aus Gewerbe schließt die ordnungskonforme Hygienisierung mit ein.

Bei der Vergärung entstehen als Produkte Biogas und Gärrest – bei einigen Anlagen mit Feststoffabscheidung aus dem Vergärungsoutput wird auch ein fester Gärrest erzeugt. Dieser fällt jedoch – bezogen auf die hier betrachteten Abfallströme – nur in marginalen Mengen an und wird daher in der THG-Bilanz nicht berücksichtigt.

Rund 50% der Organikabfälle werden in Vergärungsanlagen mit Nachgärern verwertet. Der Nachgärer dient nach dem primären Vergärungsprozess der weiteren Erfassung des Restgaspotenzials über einen Zeitraum von mindestens 10 Tagen. Nachgärer sind gasdicht ausgeführt, das erfasste Gas wird über die installierte Biogasnutzung der Vergärungsanlage mit verwertet. Damit wird die Freisetzung u.a. von klimaschädlichem Methan aus der nachfolgenden Lagerung der flüssigen Gärreste gemindert.

Die drei Abfallarten sind sich in der Verfahrensführung der Vergärung weitgehend ähnlich. Ausgehend von den unterschiedlichen spezifischen Biogas- und erzeugten Energiemengen wird daher in der THG-Bilanz mit konstanten Faktoren für Energieverbrauch und Methanverluste gerechnet:

Die BHKW-Wirkungsgrade sind nach (IFEU et al. 2008) elektrisch mit 37,5% und thermisch mit 43% angesetzt. Von der im BHKW erzeugten Energie werden 20% des erzeugten Stroms und 25% der erzeugten Wärme konstant als Eigenbedarf angesetzt. Die damit getroffenen Ansätze beziehen sich auf Durchschnittswerte deutscher Bioabfallvergärungsanlagen.

Von der gesamten Methanbildung werden bei der Vergärung nach den Ansätzen von (IFEU et al. 2008) 2,5% für die offene Gärrestlagerung, 1% für diffuse Quellen der Biogasanlage und 0,5% für BHKW-Verluste in der THG-Bilanz als Emissionen berücksichtigt. Für die Nachgärer wird ein Methanabbau von 1%-Restgaspotential der Gärreste angesetzt, so dass sich die verbleibende Methanemission für die anschließende offene Lagerung bei Anlagen mit Nachgären auf 1,5% bezogen auf die produzierte Methanmenge vermindert.

Diese Methanemissionen führen zu den maßgeblichen Belastungen der THG-Bilanz für die Vergärung der Organikabfälle aus Gewerbe.

Grundsätzlich gelten für nach Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) genehmigungsbedürftige Anlagen die Vorgaben der TA Luft (2002)²⁹. Nach TA Luft, Ziffer 5.2.5, dürfen organische Schadstoffe im Abgas den Massenstrom von 0,5 kg/h³⁰ oder die Massenkonzentration von 50 mg/m³, jeweils angegeben als Gesamtkohlenstoff (TOC), insgesamt nicht überschreiten.

Zur Einhaltung der TA Luft-Grenzwerte bezüglich der TOC-Frachten oder Konzentrationen in der gefassten Abluft liegen keine Daten seitens der befragten Vergärungsanlagen-Betreiber vor. Verfügbare Messwerte nach (gewitra 2009) sprechen den Bereich nur in Bezug auf die Emissionen von Vergärungsanlagen für Bioabfälle an. Die darin abgeleiteten Mittelwerte liegen höher als der TOC-Konzentrationswert nach TA Luft.

Abluft fällt bei den hier betrachteten Vergärungsanlagen im Wesentlichen bei der Entlüftung des Annahme- und Aufbereitungsbereiches an und ist dort nach den Ergebnissen von (gewitra 2009) für Bioabfälle vergleichsweise gering belastet (Bereich 8,6-44 mg TOC/m³). Zudem lassen die zugehörigen Methan- und NMVOC-Messwerte erkennen, dass der TOC etwa zu 50% durch NMVOC-Emissionen gebildet wird, die über Biofilter gut abbaubar sind.

Für die Abpressung des Gärrestes geht (gewitra 2009) für Bioabfall von einer TOC-Belastung von 370 mg/m³ aus, die zu rd. 75% aus im Biofilter kaum abbaubarem Methan besteht.

Sieben von neun der hier betrachteten Vergärungsanlagen für gewerbliche organische Abfälle betreiben *keine* Abpressung des Gärrestes, damit wird als gefasste Abluft nur die Abluft aus der Annahme und Aufbereitung nach Passage des Biofilters abgegeben. Hier ist bei den o.g. Konzentrationsverhältnissen im Rohgas von einer Einhaltung der TA Luft-Grenzwerte auszugehen.

Eine Abpressung des festen Gärrestes erfolgt nur bei zwei der betrachteten Anlagen. Die Abluft wird bei beiden Anlagen über Biofilter geführt.

Der aus dem Bereich der Abpressung stammende Abluftstrom macht abgeschätzt ein Zehntel der Abluftmenge der Gesamtanlage aus. Mit einer Belastung von 370 mg TOC/m³ aus der Abpressung nach (gewitra 2009) und gemittelt 27 mg TOC/m³ aus der Aufbereitung ergäbe sich in einem Mischungsverhältnis von 1:10 eine Konzentration der Abluft vor Biofilter von rd. 61 mg TOC/m³. Bei einem angenommenen TOC-Abbau von 30% im Biofilter würden *unter diesen Ansätzen* rechnerisch Reinluftwerte von 43 mg TOC/m³ erreicht. Die Spannweite der Einzelparameter lässt aber erkennen, dass insbesondere bei Anlagen mit Entwässerung der Gärreste nicht gesichert von einer Einhaltung der TA Luft-Grenzwerte für TOC auszugehen ist.

Zu beachten ist zudem, dass durch obige Betrachtung die Methanemissionen aus der offenen Gärrestlagerung nicht umfasst sind, da die Abluft nicht gefasst wird. Die offene Gärrestlagerung ist jedoch eine der Hauptquellen für Methanemissionen (2,5% des pro-

²⁹ Die TA Luft ist eine Verwaltungsvorschrift und richtet sich entsprechend an Behörden, in deren Ermessen es steht, die Vorgaben der TA Luft z.B. im Rahmen der Genehmigung einzufordern. Anforderungen aus der TA Luft sind weder rechtsverbindlich noch einklagbar.

³⁰ Bzw. 1,5 kg TOC/h bei Altanlagen (Genehmigung vor 1.10.2002) mit einem jährlichen Massenstrom bis 1,5 Mg TOC.

duzierten Methans, s.o.). In (gewitra 2009) wird für die Lagerung von abgepresstem flüssigen Gärrest aus Bioabfall eine Emissionsfracht ausgewiesen, die um das Dreieinhalbfache höher liegt als die TOC-Fracht aus der Abpressung (Fest-Flüssig-Trennung). Entsprechend wird in der Potenzialanalyse eine vollständige gasdichte Lagerung des Gärrestes mit Restgasnutzung untersucht. Dadurch würden die entsprechenden Emissionen vermieden.

Gasdichte Gärrestlager sind zunehmend in der Praxis üblich, da in der Regel ein Nutzen aus der Restgasnutzung gegeben ist und sie auch eine technische Vorgabe nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG 2009/2012)³¹ sind.

2.21.1 Speisereste

Speisereste sind Abfälle, die bei der Produktion von Speisen in Restaurants, Kantinen, Catering usw. anfallen. Speiseabfälle sind nach der Gewerbeabfallverordnung getrennt zu erfassen und anschließend gesondert nach den Vorgaben der Hygieneverordnung zu verwerten.

Im Rahmen dieser Studie wurden Entsorger und Betreiber von Vergärungsanlagen im Großraum Berlin befragt, die Berliner Speiseabfälle annehmen und vergären. Als Ergebnis wurde für 2010 eine aus Berlin entsorgte Speiserestmenge von 37.325 Mg ermittelt.

Kurzsteckbrief Speisereste		Quelle
Aufkommen:	37.325 Mg	Betreiber-Auskunft 2012
Verbleib:	92% Vergärung mit Nachgärer u. offenem Gärrestlager 8% Vergärung mit offenem Gärrestlager	
Kenndaten	TS = 18% FS, oTS = 87% TS, C fossil = 0%, Biogasertrag = 106 m ³ /Mg FS, Methan-Anteil = 60 Vol%	(Archea 2011)

Die mit Speiseresten belieferten Vergärungsanlagen bestehen aus Annahmehbereich, Vergärungsreaktoren sowie Gasfassung, -Speicherung und -Verwertung in Blockheizkraftwerken (BHKW) und der Lagerung der flüssigen Gärreste.

Bei der Gärrestlagerung wird unterschieden nach:

- Anlagen mit offenem Gärrestlager,
- Anlagen mit Nachgärer und anschließendem offenen Gärrestlager,
- Anlagen mit vollständig gasdichter Gärrestlagerung und Restgasnutzung.

Lediglich 8% der Anlagen, die Speisereste verarbeiteten, sind nur mit offenem Gärrestlager ausgestattet. 92% der Speisereste werden in Vergärungsanlagen mit Nachgärer verarbeitet. Nach einer Verweilzeit von mindestens 10 Tagen im Nachgärer werden diese bis zur Ausbringung in offenen Gärrestlagern gelagert (bis zu 170 Tage). Vollständig geschlossene Systeme werden bei der Entsorgung der Berliner Speisereste nicht genutzt.

³¹ Nach EEG 2009 für BImSchG genehmigungspflichtige Anlagen; nach (EEG 2012) für alle neuen Gärrestlager am Standort von Biogasanlagen (hydraulische Verweilzeit im gasdichten System muss, außer bei Gülleanlagen, 150 Tage betragen).

Der bei der Vergärung erzeugte Gärrest wird nach der Lagerung auf landwirtschaftlichen Nutzflächen ausgebracht.

Das entstehende Biogas wird über Blockheizkraftwerke zu Strom und Wärme umgesetzt. Die entstehende Wärme ist im Allgemeinen nur betriebsintern einsetzbar (für Hygienisierung, Heizung der Fermenter, Heizung der betrieblichen Gebäude). Einige Anlagen geben die Überschusswärme an benachbarte Abnehmer ab, dies ist jedoch nicht in die Bilanzierung eingerechnet, da es sich um einen vernachlässigbaren Anteil handelt. Die Überschusswärme der BHKW wird über Luftkühler in die Umgebung abgegeben. Die erzeugte Strommenge wird unter Abzug des Eigenbedarfs in das Stromnetz des Energieversorgers eingespeist.

THG-Bilanz

Für die THG-Bilanz der Speiseresteverwertung wurde – wie Tabelle 2-33 zu entnehmen – nach den mittleren Kennwerten von (Archea 2011) mit einem Biogasertrag von 106 m³/Mg und einem Methananteil von 60 Vol% gerechnet.

Tabelle 2-33 Speiserestmengen und Biogasertrag bei der Vergärung

Abfallart	Menge Berlin [Mg/a]	Biogasertrag [m ³ /Mg]	Biogasmenge [m ³ /a]	Methanmenge [m ³ /a]	Methananteil [Vol%]
Speisereste	37.325	106,5	3.975.113	2.385.068	60

Zu den Aufwendungen der Sammlung liegen keine spezifischen Angaben vor. Für die Berechnung der Treibhausgasbilanz wurde von einer durchschnittlichen Sammelstrecke ausgegangen wie für Bioabfall in Deutschland nach (Öko-Institut/IFEU 2010). Der Transport ist mit einer gewichteten Transportentfernung von 83 km zu den Verwertungsanlagen angesetzt.

Im spezifischen Ergebnis in Abbildung 2-40 sind unter „Betrieb“ die Methanemissionen aus diffusen Quellen, die Methanverluste über die offene Gärrestlagerung und der Methanschlupf aus dem BHKW-Betrieb zusammengefasst. Die Methanverluste über die Gärrestlagerung sind mit dem jeweiligen Mengenanteil der unterschiedlichen Anlagentypen (offene Lagerung mit/ohne Nachgärer) in der Bilanz berücksichtigt. Die Emissionen aus offener Gärrestlagerung bedingen 52% der unter „Betrieb“ ausgewiesenen THG-Belastung. Ebenfalls unter „Betrieb“ eingebunden sind nach (IPCC 2006) 1% Lachgasemissionen der Gärrestanwendung bezogen auf den ausgebrachten Stickstoff, die durch Denitri- und Nitrifikationsprozesse entstehen. Werte für den Stickstoffgehalt und weitere Nährstoffe im Gärrest wurden aus Inhaltsstoffangaben für Speisereste in (IFEU 2001) abgeleitet.

Gutschriften ergeben sich vor allem aus der Netzeinspeisung des über die anlageneigenen BHKW aus dem erzeugten Biogas produzierten Stroms abzüglich des Eigenbedarfs. Die im BHKW anfallende Wärme kann in der Regel nur anlagenintern genutzt werden und führt damit zu keinen Gutschriften.

Für die Anwendung des Gärrestes in der Landwirtschaft wurde auf Basis der o.g. Nährstoffgehalte die Substitution von Mineraldünger angerechnet. Die entsprechende Gutschrift ist unter „Mineraldünger“ ausgewiesen. Ebenfalls berücksichtigt wurden in Anleh-

nung an (UBA 2012a) eine Humusreproduktionswirkung und eine erosionsmindernde Wirkung bezogen auf die mit dem Gärrest aufgebrachte TS-Menge. In der Abbildung sind die entsprechenden THG-Entlastungen unter „Kompostwirkung“ zusammengefasst.

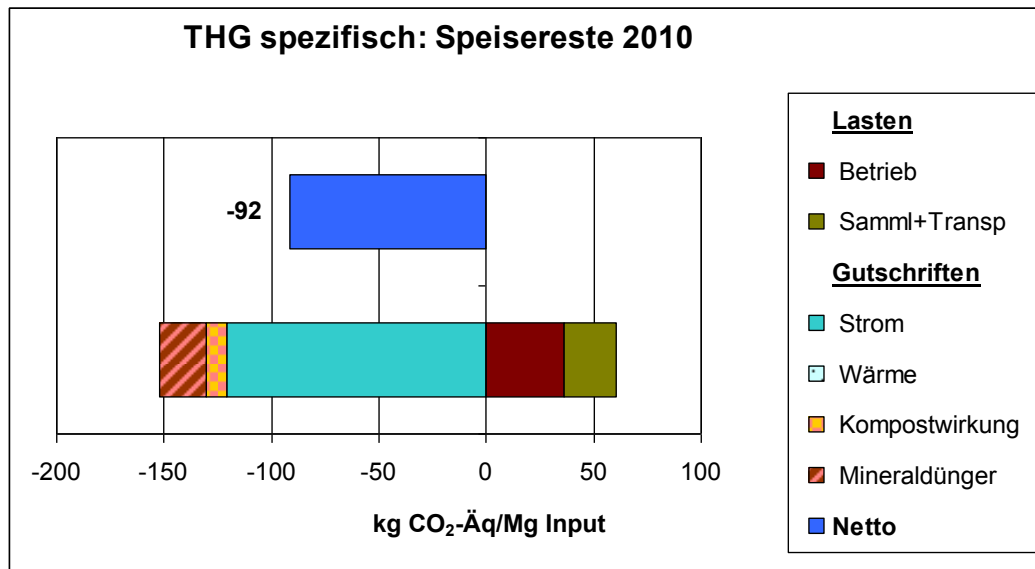


Abbildung 2-40: Spezifisches Ergebnis Verwertung Speisereste

Insgesamt zeigt sich, dass die Gutschrift für den eingespeisten Nettostrom und die Gärrestanwendung bei der Vergärung von Speiseresten die Treibhausgasbelastungen aus der Vergärungsanlage, der Gärrestausrückführung und den Sammlungs- und Transportaufwendungen übersteigt. Somit ergibt sich eine spezifische THG-Nettoentlastung von -92 kg CO₂-Äq/Mg.

Hochgerechnet auf die gesamt entsorgte Menge an Speiseresten ergibt sich eine Nettoentlastung von **-3.425 Mg CO₂-Äq für das Jahr 2010**, die in die Gesamtbilanz der Abfallentsorgung in Berlin eingehen.

Optimierungen bei der Speiserestverwertung können durch die Nutzung von Anlagen erfolgen, die über eine gasdichte Lagerung der Gärreste, zumindest mit Abfackelung der darin anfallenden Methangasmengen, verfügen.

Weitere Potenziale liegen bei Speiseresten in einer Mengensteigerung durch erhöhte Erfassungsquoten. Dieser Aspekt wird in einem Optimierungsszenario in Kapitel 4.1.2 betrachtet, da die entsprechende Menge bislang im Haus- und Geschäftsmüll entsorgt wird, wodurch eine gesamtsystematische Betrachtung erforderlich wird.

2.21.2 Überlagerte Lebensmittelabfälle

Überlagerte Lebensmittelabfälle fallen vor allem im Einzelhandel getrennt an und werden anschließend über Vergärungsanlagen verwertet. Solche Anlagen, die überlagerte Lebensmittel annehmen, müssen diese in der Regel zunächst von Verpackungsgebinden trennen, dies erfolgt durch eine entsprechende Aufbereitung vor der Vergärung. Einige Vergärungsanlagen erhalten bereits über externe Aufbereitungsanlagen entpackte überlagerte Lebensmittelabfälle.

Im Rahmen dieser Studie wurden Entsorger und Betreiber von Vergärungsanlagen im Großraum Berlin befragt, die Berliner Speise- und Lebensmittelabfälle annehmen und vergären. Bei den hier betrachteten Mengen handelt es sich um überlagerte Lebensmittel ohne Verpackungsmaterial. Als Ergebnis wurde für 2010 eine Menge von 24.106 Mg ermittelt.

Kurzsteckbrief überlagerte Lebensmittelabfälle		Quelle
Aufkommen:	24.106 Mg	Betreiber-Auskunft 2012
Verbleib:	50% Vergärung im vollständig geschlossenem System mit vollständiger Gasnutzung 35% Vergärung mit offenem Gärrestlager 15% Vergärung mit Nachgärer u. offenem Gärrestlager	
Kenndaten	TS = 18% FS, oTS = 87% TS, C fossil = 0%, Biogasertrag = 106 m ³ /Mg FS, Methan-Anteil = 60 Vol%	(Archea 2011)

Die mit überlagerten Lebensmitteln belieferten Vergärungsanlagen bestehen aus einem Annahme-/Aufbereitungsbereich, Vergärungsreaktoren, Gasfassung, -Speicherung und -Verwertung (BHKW) sowie einer Lagerung der flüssigen Gärreste.

Bei der Gärrestlagerung wird analog zur Verarbeitung von Speiseresten nach dem Grad der Kapselung und Gasfassung unterschieden.

Überlagerte Lebensmittel werden zu 35% in Anlagen mit offenem Gärrestlager verarbeitet, bei 15% erfolgt die Verarbeitung in Vergärungsanlagen mit Nachgärer (inkl. Gasnutzung des bei der Lagerung anfallenden Biogases). Nach einer Verweilzeit von mind. 10 Tagen im Nachgärer werden diese bis zur Ausbringung in offenen Gärrestlagern (bis zu 170 Tage) gelagert.

Vollständig geschlossene Systeme verarbeiten 50% des Anteils von überlagerten Lebensmitteln. Dies sind zum einen Anlagen mit Co-Vergärung über Faultürme einer Kläranlage mit vollständig gastechnisch gefasster Gärrestabpressung (und anschließender landwirtschaftlicher Nutzung) und zum anderen Vergärungsanlagen mit Gärrestlagern, die vollständig in die Gasverwertung der Vergärungsanlage eingebunden sind.

Die Ansätze für Strom- und Wärmeproduktion und die Verwertung des erzeugten Gärrestes folgen denselben Grundansätzen wie bei Speiseresten.

THG-Bilanz

Für die THG-Bilanz für überlagerte Lebensmittel wurde der gleiche Biogasertrag und Methangehalt wie für Speisereste angenommen, dies ist Tabelle 2-34 zu entnehmen.

Tabelle 2-34 Mengen überlagerter Lebensmittel und Biogasertrag bei der Vergärung

Abfallart	Menge Berlin [Mg/a]	Biogasertrag [m ³ /Mg]	Biogasmenge [m ³ /a]	Methanmenge [m ³ /a]	Methangehalt [Vol%]
Überlagerte Lebensmittelabfälle	24.106	106,5	2.567.289	1.540.373	60

Zu den Aufwendungen der Sammlung liegen keine spezifischen Angaben vor. Für die Berechnung der Treibhausgasbilanz wurde von einer analogen durchschnittlichen Sammelstrecke ausgegangen wie für innerstädtischen Bioabfall in Deutschland nach (Öko-Institut/IFEU 2010). Der Transport ist mit einer gewichteten Transportentfernung von 143 km zu den Verwertungsanlagen in die Bilanz eingegangen.

Wie bei Speiseresten umfasst der Sektor „Betrieb“ in Abbildung 2-41 die Methanemissionen aus diffusen Quellen, die Methanverluste über die offene Gärrestlagerung und den Methanschluß aus dem BHKW-Betrieb. Die Methanverluste der Gärrestlagerung wurden mit dem jeweiligen Mengenanteil der Verarbeitung in den unterschiedlichen Anlagentypen angesetzt. Im Stromeigenbedarf wurde zusätzlich der Aufwand für die Entpackung und Aufbereitung von überlagerten Lebensmitteln mit rund 5 kWh/Mg berücksichtigt durch Erhöhung des Strombedarfs um 2% auf 22% des produzierten Stroms.

Die Methanemissionen aus offener Gärrestlagerung bei Anlagen für die Verarbeitung von überlagerten Lebensmitteln tragen zu 43% zu der unter „Betrieb“ zusammengefassten THG-Belastung bei. Ebenfalls hier unter „Betrieb“ sind Lachgasemissionen aus der Gärrestanwendung enthalten, die in gleicher Höhe wie bei Speiseresten anfallen, da für überlagerte Lebensmittel die gleichen Kennwerte angesetzt wurden.

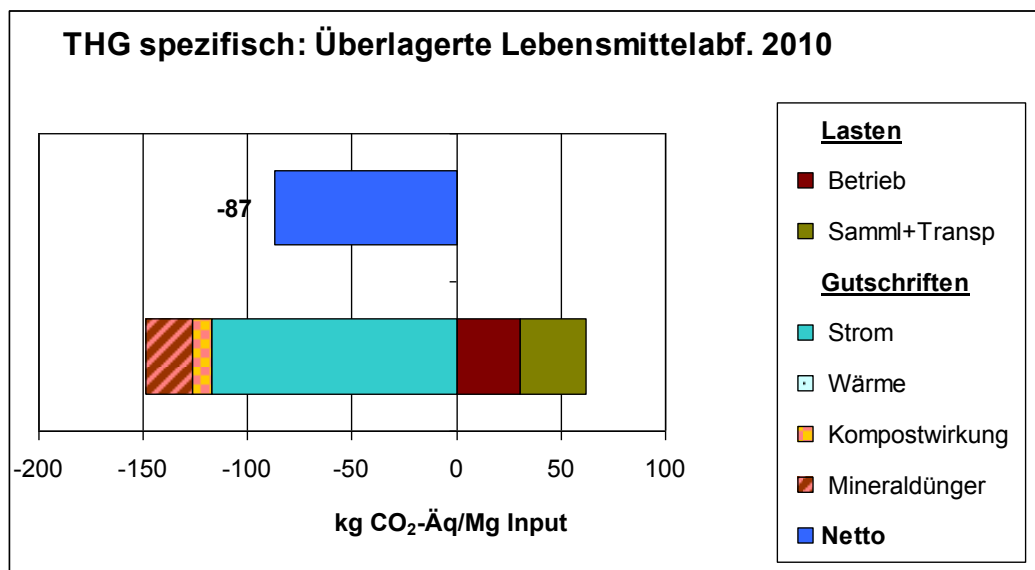


Abbildung 2-41: Spezifisches Ergebnis Verwertung überlagerte Lebensmittel

Gutschriften ergeben sich aus der Netzeinspeisung des über die anlageneigenen BHKW aus dem erzeugten Biogas produzierten Stroms abzüglich des Eigenbedarfs. Die im BHKW anfallende Wärme kann in der Regel nur anlagenintern genutzt werden (mangels externer Nutzung), damit erfolgen keine Wärmegutschriften.

Wiederum analog zu den Speiseresten ergibt sich die Gutschrift für die Anwendung des Gärrestes in der Landwirtschaft durch Substitution von Mineraldünger und die ebenfalls angerechneten Humusreproduktionswirkung und erosionsmindernde Wirkung bezogen auf die mit dem Gärrest aufgebrauchte TS-Menge („Kompostwirkung“).

Im spezifischen Ergebnis zeigen sich ähnliche Verhältnisse wie bei den Speiseresten. Allein die Gutschrift aus erzeugtem Strom übersteigt alle Lastschriften. Unter Einrechnung sämtlicher Gutschriften ergibt sich eine spezifische THG-Nettoentlastung von $-87 \text{ kg CO}_2\text{-Äq/Mg}$.

Hochgerechnet auf die gesamt entsorgte Menge an überlagerten Lebensmitteln ergibt sich eine Nettoentlastung von **$-2.094 \text{ Mg CO}_2\text{-Äq}$ für das Jahr 2010**, die in die Gesamtbilanz der Abfallentsorgung in Berlin eingehen.

Optimierungen bei der Verwertung von überlagerten Lebensmitteln ergeben sich aus der Nutzung von Anlagen mit gasdichter Lagerung der Gärreste und mindestens Abfackelung der darin anfallenden Methangasmengen.

2.21.3 Fettabscheiderinhalte

Fettabscheiderinhalte fallen bei lebensmittelverarbeitenden Betrieben wie Restaurants und Kantinen an, soweit diese mit Fettabscheidern ausgerüstet sind und diese ordnungsgemäß betrieben werden. Ein ordnungsgemäßer Betrieb bedeutet, dass regelmäßig die angesammelten abgeschiedenen Fettemulsionen über Fachunternehmen abgepumpt und entsorgt werden. Die gesammelten Fettabscheiderinhalte haben einen niedrigen TS-Gehalt und bestehen weitgehend aus Wasser. Sie werden in Aufbereitungsanlagen in der Nähe Berlins weiter aufkonzentriert und anschließend in Vergärungsanlagen oder Faulbehältern von Kläranlagen verwertet. In dieser Studie wird die aufbereitete Fettkonzentratmenge betrachtet, die 2010 zu Vergärungs- und Kläranlagen geliefert wurde.

Als Ergebnis einer Befragung von Entsorgern und Betreibern von Vergärungsanlagen wurde für 2010 eine Fettabscheidermenge von rd. 13.000 Mg mit einem TS-Gehalt von 20% ermittelt.

Kurzsteckbrief Fettabscheiderinhalte		Quelle
Aufkommen:	12.873 Mg	Betreiber-Auskunft 2012
Verbleib:	51% Vergärung mit offenem Gärrestlager 47% Co-Vergärung im Faulturm Kläranlage Wassmannsdorf ohne stoffliche Nutzung 2% Vergärung mit Nachgärer u. offenem Gärrestlager	
Kenndaten	TS = 20% FS, oTS = 90% TS, C fossil = 0%, Biogasertrag = 180 m ³ /Mg FS, Methan-Anteil = 68 Vol%	aufgearbeitet nach (Archea 2011)

Ein Anteil von 51% der verarbeiteten Fettabscheiderinhalte wird über Vergärungsanlagen mit offenem Gärrestlager und ein Anteil von etwa 2% in Vergärungsanlagen mit Nachgärer und Gasnutzung des dort anfallenden Biogases verarbeitet. Die mit Fettabscheidern belieferten Vergärungsanlagen bestehen aus Annahmebereich, Vergärungsreaktoren sowie Gasfassung, -Speicherung und -Verwertung in Blockheizkraftwerken (BHKW) und einer Lagerung der flüssigen Gärreste.

47% der Fettabscheiderinhalte wurden durch Co-Vergärung in den Faultürmen der Kläranlage Wassmannsdorf verwertet. Die Fettabscheiderinhalte werden in die Klärschlamm-

faulung zugegeben und dort mitgefaut. Anschließend wird der ausgefaulte Gärrest zusammen mit dem Klärschlamm behandelt.

Das bei der Vergärung in Vergärungsanlagen und in den Faultürmen entstehende Biogas wird über Blockheizkraftwerke zu Strom und Wärme umgesetzt. Die entstehende Wärme ist im Allgemeinen nur betriebsintern einsetzbar (für Hygienisierung, Heizung der Fermenter, Heizung der betrieblichen Gebäude). Die Überschusswärme der BHKW wird über Luftkühler in die Umgebung abgegeben.

Der bei Vergärungsanlagen erzeugte Gärrest wird in Gärrestlagern zwischengelagert und (innerhalb der zulässigen Ausbringungszeiträume) auf landwirtschaftliche Nutzflächen ausgebracht.

Der in der Kläranlage Wassmannsdorf anfallende Gärrest aus den Faultürmen wird zusammen mit Klärschlamm energetisch verwertet (siehe Klärschlammbehandlung Kapitel 2.8). Der aus der Co-Vergärung von Fettabscheiderresten verbliebene, sehr geringe Feststoffanteil ist Bestandteil des gefauten Klärschlammes. Der Einfluss durch diese sehr geringe Menge wurde in der THG-Bilanz für gefauten Klärschlamm vernachlässigt. Analog wird auch hier die energetische Verwertung des geringen Klärschlammanteils aus der Mitbehandlung der Fettabscheider nicht weiter betrachtet.

Die Grundansätze in der THG-Bilanz für Strom – und Wärmeproduktion sind die gleichen wie bei Speiseresten und überlagerten Lebensmitteln. Die Verwertung des erzeugten Gärrestes wurde mit den Ansätzen analog Speiseresten und überlagerten Lebensmitteln gerechnet.

THG-Bilanz

Für die THG-Bilanz wurde für Fettabscheiderinhalte – wie Tabelle 2-35 zu entnehmen – nach mittleren Werten der Angaben von (Archea 2011) mit einem Biogasertrag von 180 m³/Mg und einem Methananteil von 68% gerechnet.

Tabelle 2-35 Mengen Fettabscheiderinhalte und Biogasertrag bei der Vergärung

Abfallart	Menge Berlin [Mg/a]	Biogasertrag [m ³ /Mg]	Biogasmenge [m ³ /a]	Methanmenge [m ³ /a]	Methan gehalt [Vol%]
Fettabscheiderinhalte	12.873	180	2.317.140	1.575.655	68

Zu den Aufwendungen der Sammlung liegen keine spezifischen Angaben vor. Für die Berechnung der Treibhausgasbilanz wurde von einer analogen durchschnittlichen Sammelstrecke ausgegangen wie für innerstädtischen Bioabfall in Deutschland nach (Öko-Institut/IFEU 2010). Der Transport ist mit einer gewichteten Transportentfernung von 79 km zu den Verwertungsanlagen berücksichtigt.

Im spezifischen Ergebnis in Abbildung 2-42 sind – wie bei Speiseresten und überlagerten Lebensmittelabfällen – unter „Betrieb“ die Methanemissionen aus diffusen Quellen, die Methanverluste über die offene Gärrestlagerung und des BHKW-Betriebs angesetzt. Bei dem über Vergärungsanlagen verwerteten Anteil wurden die Methanverluste über die Gärrestlagerung mit dem jeweiligen Mengenanteil der unterschiedlichen Anlagentypen abgebildet. Bei der Co-Vergärung in Wassmannsdorf fallen entsprechende Methanemis-

sionen wegen der gastechnisch gefassten Entwässerung der Gärreste und anschließenden Mitverbrennung nicht an.

Im Stromeigenbedarf wurde zusätzlich der Aufwand für die Aufkonzentration von Fettabscheiderinhalten mit rund 1 kWh/Mg berücksichtigt durch Erhöhung des Strombedarfs um 1% auf 21% des produzierten Stroms.

Die Methanemissionen aus offener Gärrestlagerung bei Anlagen für die Verarbeitung von Fettabscheiderinhalten tragen zu 47% zu der unter „Betrieb“ zusammengefassten THG-Belastung bei. Im Vergleich zu Speiseresten und überlagerten Lebensmittelabfällen liegt diese THG-Belastung aufgrund des höheren Biogasertrages von Fettabscheiderinhalten und den davon abhängigen prozentualen Methanemissionen entsprechend höher.

Nährstoffe im Gärrest wurden ebenfalls nach (IFEU 2001) abgeleitet. Lachgasemissionen aus der Gärrestanwendung sind auch hier unter „Betrieb“ zugeordnet.

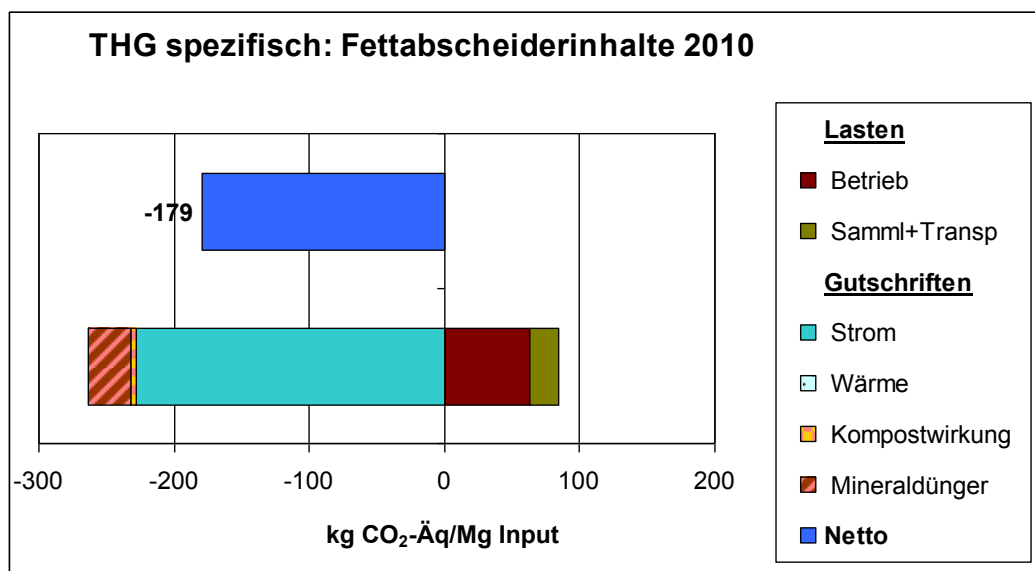


Abbildung 2-42: Spezifisches Ergebnis Verwertung Fettabscheiderinhalte

Über die Netzeinspeisung des Nettostroms resultiert der hauptsächliche Gutschriftenbeitrag. Dieser liegt aufgrund des höheren Biogasertrages der Fettabscheiderinhalte deutlich höher als bei Speiseresten und überlagerten Lebensmittelabfällen. Für Wärme erfolgt keine Gutschrift mangels externer Nutzung. Gutschriften für die landwirtschaftliche Verwertung sind – wie bei Speiseresten und überlagerten Lebensmitteln beschrieben – eingerechnet („Mineraldünger“ und „Kompostwirkung“). Die energetische Verwertung des mit Klärschlamm anfallenden Gärrestes wurde nicht weiter betrachtet (s.o.).

Insgesamt ergibt sich eine spezifische THG-Nettoentlastung von -179 kg CO₂-Äq/Mg, die wegen des höheren spezifischen Biogasertrags etwa das Doppelte der Nettoentlastung von Speiseresten und überlagerten Lebensmitteln beträgt.

Hochgerechnet auf die gesamt entsorgte Menge von Fettabscheiderinhalten ergibt sich eine Nettoentlastung von **-2.303 Mg CO₂-Äq für das Jahr 2010**, die in die Gesamtbilanz der Abfallentsorgung in Berlin eingehen.

Optimierungen der Verwertung von Fettabscheiderinhalten sind bei den Vergärungsanlagen, die 53% der Mengen verarbeiten, durch Nachrüstung auf gasdichte Lagerung der Gärreste zu sehen. Diese Optimierung wird in der Potenzialanalyse beschrieben.

Weitere Potenziale liegen in einer Mengensteigerung durch erweiterten Einbau von Fettabscheidern bei den noch nicht damit ausgerüsteten Betrieben sowie der Sicherung einer regelmäßigen Leerung. Dieser Aspekt wird im Rahmen dieser Studie jedoch nur nachrichtlich gewürdigt, da die bisher erfolgende Entsorgung der Fettabscheiderinhalte über das Abwasser nicht Bestandteil dieser Studie ist.

2.22 Altfette

Altfette fallen in der Gastronomie, bei Kantinen, Imbissen usw. an. Sie werden von Entsorgungsunternehmen gesammelt und einer Verwertung zugeführt. Derzeit wird eine Menge von ca. 5.500 Mg Altfett pro Jahr bei Berliner Gewerbebetrieben getrennt erfasst. Diese Altfette bestehen aus einem Gemisch von pflanzlichen Frittierfetten und tierischen Fetten.

Kurzsteckbrief Altfette		Quelle
Aufkommen:	5.500 Mg	Entsorger-Auskunft 2011
Verbleib:	Herstellung von Altfettmethylester (AME) Biodiesel	
Kenndaten	TS = 95% FS, oTS = 87% TS, C fossil = 0%	abgeleitet aus (Archea 2011)

Eingesammelte Altfette werden außerhalb Berlins in entsprechenden Aufbereitungsanlagen zu Biodiesel verarbeitet.

In (IFEU 2002) wurde eine ökologische Bewertung der Entsorgung von tierischem Altfett vorgenommen, darunter die Aufbereitung zu Altfettmethylester zum Einsatz als Biodiesel. Die entsprechenden Emissionswerte für den Treibhauseffekt werden hier herangezogen. Die gesamten THG-Belastungen wurden zu 466 kg CO₂-Äq/Mg ermittelt. Darin sind die Sammlung, der Transport und der Aufbereitungsaufwand berücksichtigt.

Die Aufbereitung beinhaltet die mechanische Reinigung (1% Störstoffabtrennung, Strombedarf 30 kWh/Mg TS), die Umesterung des gereinigten Fettes (mit 110 kg Methanol pro Tonne Rohfett, AME-Ausbeute 97%, 10% Minderausbeute für Glycerin, Rückgewinnung von überschüssigem Methanol) und die Destillation des Altfettmethylesters (Deckung Wärmebedarf über Destillationssumpf, keine Abtrennung von Palmitinsäuremethylester). Der so produzierte Altfett-Biodiesel mit einem Heizwert von 37,2 MJ/kg ersetzt heizwertäquivalent fossilen Diesel in Fahrzeugen (Hu = 42,6 MJ/kg). Pro Tonne Altfett können durch die Aufbereitung rund 0,85 Mg Diesel ersetzt werden. Daraus berechnet sich die THG-Entlastung zu -3.144 kg CO₂-Äq/Mg.

Abbildung 2-43 zeigt das spezifische Ergebnis für die Altfettverwertung. Aus den genannten Emissionsfaktoren resultiert eine spezifische THG-Nettoentlastung von -2.678 kg CO₂-Äq/Mg.

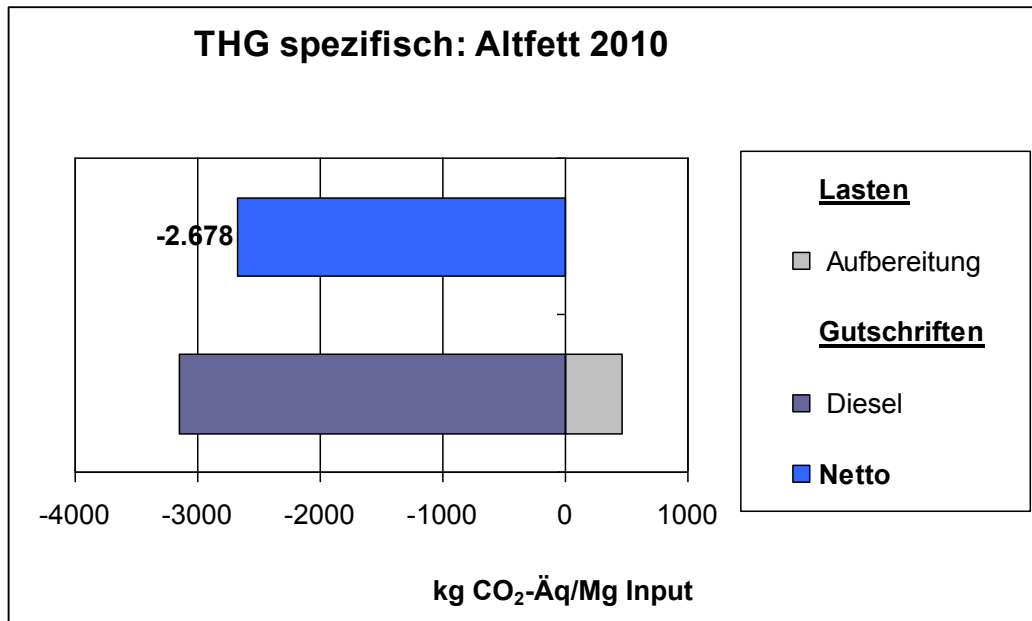


Abbildung 2-43: Spezifisches Ergebnis Verwertung Altfette

Hochgerechnet auf die gesamt entsorgte Menge an Altfetten ergibt sich eine Nettoentlastung von **-14.728 Mg CO₂-Äq für das Jahr 2010**, die in die Gesamtbilanz der Abfallentsorgung in Berlin eingehen.

Optimierungen für die Verwertung der Altfette selbst werden nicht gesehen. Grundsätzlich besteht jedoch ein Optimierungspotenzial in einer Mengensteigerung durch eine Intensivierung der getrennten Erfassung von Altfetten. Dieser Aspekt wird im Rahmen dieser Studie jedoch nur nachrichtlich gewürdigt. Die Altfettpotenziale werden nach (WI/ICU 2009) vorrangig bei Kleinanfallstellen wie vor allem Imbiss-Läden gesehen, bei denen Frittierfette teilweise in die Kanalisation „entlassen“ werden. Die Entsorgung von Abfällen über das Abwasser ist nicht Bestandteil dieser Studie.

2.23 Pferdemit

Pferdemist fällt bei den Trabrennbahnen Mariendorf und Karlshorst sowie bei diversen Reitställen an. Basierend auf der Berliner Biomassestudie (WI/ICU 2009) wurde für 2010 ein Bestand von rd. 1.000 Pferden in Berlin sowie ein Mengenanfall Pferdemit inklusive Einstreu von rund 9.300 Mg angesetzt. Der ausgewiesene Bestand an Pferden wurde auf Nachfrage beim Landesamt für Verbraucherschutz, Landwirtschaft und Flurneuordnung Ref. 45, Tierzucht und Tierhaltung, Brandenburg im Oktober 2012 bestätigt.

Kurzsteckbrief Pferdemit		Quelle
Aufkommen:	9.282 Mg	(WI/ICU 2009)
Verbleib:	Verrottung Misthaufen, Landwirtschaft, Substratherstellung, Privatabnehmer	
Kenndaten	TS = 30% FS, oTS = 85% TS, C fossil = 0%	

Der Pferdemist wird vor der Anwendung bei der Zwischenlagerung an den Ställen bzw. am Verwendungsort offen kompostiert. Aufwendungen für eine Sammlung fallen somit nicht an.

Die Bewertung der offenen Kompostierung bzw. Verrottung des Pferdemistes wurde anhand der Emissionsfaktoren nach (gewitra 2009) für die offene Grünabfallkompostierung vorgenommen. Der Energiebedarf wurde analog den Annahmen für eine einfache, offene Kompostierung von organischen Abfällen aus Haushalten bzw. von Laub und Grasschnitt nach (IFEU 2002) mit 0,5 kWh Strom/Mg und 2,5 l Diesel/Mg angesetzt.

Die erzeugte Pferdemist-Kompostmenge wurde anhand der Kenndaten zu 50% bezogen auf den Input ermittelt und es wurde angenommen, dass es sich um Fertigkompost handelt. Für die THG-Bilanz wurden zur Berechnung der weiteren Emissionen für die Anwendung die Werte nach (UBA 2012a) für den Durchschnitt in Deutschland verwendet.

Die Gutschriften wurden für den Pferdemistkompost entsprechend dessen Haupteinsatzgebieten berechnet. Rund 70% des Komposts aus Pferdemist gehen zur Verwertung in die Landwirtschaft und rund 30% zur Erden- bzw. Substratherstellung. Nur ein geringer Teil geht an Kleinabnehmer zur Hausgartendüngung. Die THG-Entlastungen für die Verwertung ergaben sich zu -92 CO₂-Äq/Mg. Die C-Senke wird nach methodischer Festlegung nur nachrichtlich ausgewiesen.

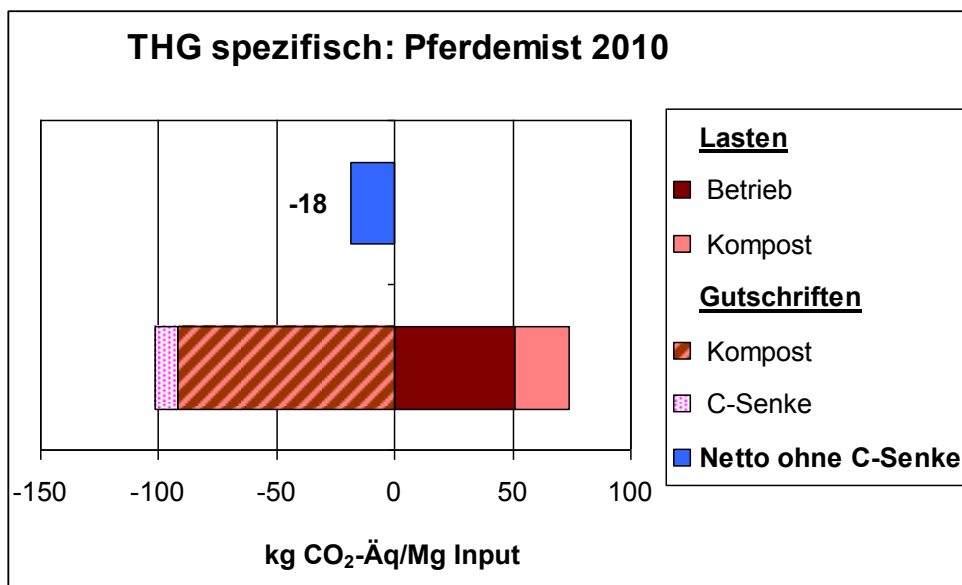


Abbildung 2-44: Spezifisches Ergebnis Verwertung Pferdemist

Im spezifischen Ergebnis in Abbildung 2-44 zeigt sich auch hier wie bei Laub/Straßenlaub im Gegensatz zur Kompostierung von Bioabfall, Organikabfall aus Laubsäcken und der Eigenkompostierung eine Nettoentlastung. Diese ergibt sich da die Rotte analog einer durchschnittlichen Grünabfallkompostierung bewertet wurde und da keine Störstoffe gegeben sind. Ebenfalls günstig wirkt die Kompostausbeute von 50%.

Hochgerechnet auf die gesamt entsorgte Menge an Pferdemist ergibt sich eine Nettoentlastung von **-170 Mg CO₂-Äq für das Jahr 2010**, die in die Gesamtbilanz der Abfallentsorgung in Berlin eingehen.

Der zusätzliche THG-Minderungsbeitrag, der sich durch Anrechnung der C-Senke ergeben würde, beläuft sich auf -87 Mg CO₂-Äq.

Optimierungen für die Behandlung von Pferdemist können über eine Vergärung erreicht werden, diese wird in der Potenzialanalyse untersucht.

2.24 Rechengut

Rechengut fällt im Einlaufbereich der Kläranlagen an, wobei das Abwasser im Einlaufbauwerk über eine Rechenanlage von mittransportiertem Grobmaterial getrennt wird. Rechengut besteht hauptsächlich aus Toilettenpapier, Fäkalien, Hygieneartikeln, Lebensmittelresten und Laub und damit überwiegend aus nativ organischen Substanzen. Bei den Berliner Wasserbetrieben fielen im Jahr 2010 insgesamt 6.864 Mg Rechengut an. Der Wassergehalt kann nach mechanischer Vorbehandlung mit etwa 66%, der organische Substanzgehalt mit rd. 95% angesetzt werden.

Kurzsteckbrief Rechengut		Quelle
Aufkommen:	6.864 Mg	statistisches Landesamt 2010
Verbleib:	MBS ZAB Niederlehme	
Kenndaten	TS = 34% FS, oTS = 95,2% TS, C fossil = 6,2%	(ZAB 2012)

Tabelle 2-36 Spezifische Mengenbilanz der MBS-Behandlung von Rechengut

Parameter	Einheit	Input	Verlust	Brennstoff
TS-Anteil	%	34,0%		75,0%
Wassergehalt	%	66,0%		25,0%
oTS-Anteil	%	95,2%		94,4%
Gesamt	kg	1.000	611	389
Wasser	kg	660	563	97
Trockensubstanz	kg	340	49	291
davon oTS-Anteil	kg	324	49	275
davon Asche/Inert-Anteil	kg	16	0	16
Heizwert	kJ/kg	4.824		13.535

Das Rechengut wird derzeit über die mechanisch-biologische Stabilisierung (MBS) beim ZAB in Niederlehme zu Ersatzbrennstoff aufgearbeitet und anschließend energetisch verwertet. Da die entsprechende Massenbilanz nicht vorliegt, wurde die erzeugte Brennstoffmenge basierend auf den Kenndaten für Rechengut berechnet. Die angesetzten Annahmen und Berechnungsweise zeigt Tabelle 2-36.

Rund 39% des Rechengutes werden nach einer entsprechenden Aufbereitung als Brennstoff mit einem Heizwert von rund 13,5 MJ/kg einer energetischen Verwertung zugeführt. Der erzeugte Brennstoff weist nur geringe Anteile an Inertstoffen auf.

Zu 90% erfolgt eine Mitverbrennung in Braunkohlekraftwerken und im Zementwerk Rüdersdorf, wodurch in beiden Fällen heizwertäquivalent Braunkohle ersetzt wird. Zu 10% erfolgt eine energetische Verwertung in EBS-Kraftwerken, wodurch die durchschnittliche Erzeugung von Netzstrom und Hausheizungswärme substituiert wird.

THG-Bilanz

Bezogen auf eine Tonne Rechengut (Input) werden – analog zur üblichen Hausmüllbehandlung in der MBS-Anlage – ein spezifischer Strombedarf in Höhe von 85 kWh für die Aufbereitung sowie eine Erdgasmenge von 15 kWh für den Betrieb der RTO eingerechnet. Der Transportaufwand des Rechengutes zur ZAB ist mit 40 km berücksichtigt, der weitere Transport des erzeugten EBS zur Verwertung in verschiedenen Anlagen wurde mit 100 km angenommen.

Der erzeugte Brennstoff, mit vergleichsweise geringem Gehalt an fossilem Kohlenstoff, führt im Braunkohlekraftwerk und Zementwerk durch die direkte Substitution von Braunkohle zur THG-Entlastung. Die Verwertung über die EBS Kraftwerke führt durch Gutschriften für Strom und Nutzwärme zu weiteren THG-Entlastungen, die hier jedoch wegen des geringen Anteils dieses Verwertungsweges niedrig ausfallen.

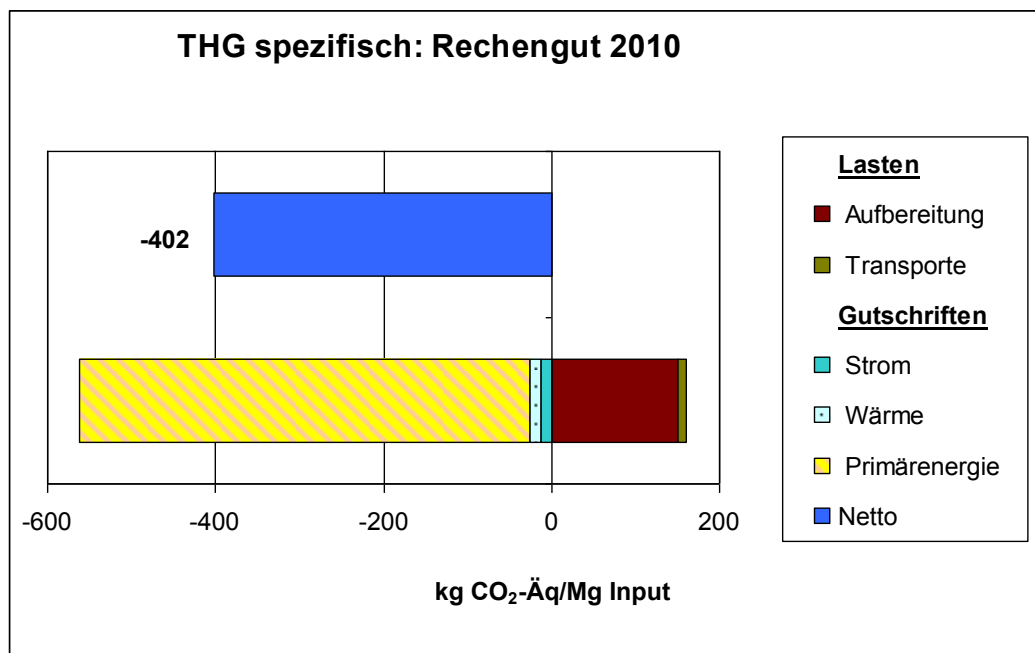


Abbildung 2-45: Spezifisches Ergebnis Verwertung Rechengut

Hochgerechnet auf die gesamt entsorgte Menge Rechengut ergibt sich eine Nettoentlastung von **-2.760 Mg CO₂-Äq für das Jahr 2010**, die in die Gesamtbilanz der Abfallentsorgung in Berlin eingehen.

Optimierungen sind bei dem bestehenden Verwertungsverfahren nicht erkennbar.

2.25 Zusammenfassung Bestandsaufnahme Ist-Situation

Insgesamt wurde mit den 36 untersuchten Abfallarten für das Land Berlin im Jahr 2010 eine Abfallmenge von rund 6,7 Mio. Tonnen gesammelt und entsorgt. Den größten Anteil an dieser Abfallmenge haben die mineralischen Abfälle mit insgesamt rund 4 Mio. Tonnen. Weitere mengenrelevante Abfallfraktionen mit einem Aufkommen > 300.000 Mg/a sind Haus- und Geschäftsmüll, gemischte gewerbliche Siedlungsabfälle und gemischte Bau- und Abbruchabfälle, die Summe der trockenen Wertstoffe PPK, LVP und Glas sowie Klärschlamm (Mischung aus Rohschlamm, gefaultem Schlamm sowie gefaultem und getrocknetem Schlamm).

Ein Aufkommen von mehr oder weniger deutlich unter 300.000 Mg/a haben die Summe der überwiegend kommunalen organischen Abfälle, die Summe der nicht kommunalen organischen Abfälle und die Einzelfraktionen Sperrmüll, Kehricht, Holzabfälle, Alttextilien, Altteppiche, Altmetalle, Altreifen und E-Schrott. Die genannte Verteilung der Mengenströme zeigt das Sankeydiagramm in Abbildung 2-46. Die Abweichung zwischen Input- und Outputmenge ergibt sich vor allem aus den ermittelten Input-Output-Mengen für mineralische Abfälle aus der Auswertung der Jahresabfallberichte der Brech- und Klassieranlagen. Diese Abweichungen sind durch Lagerbestände bedingt, die sich bei den mineralischen Abfällen besonders bemerkbar machen.

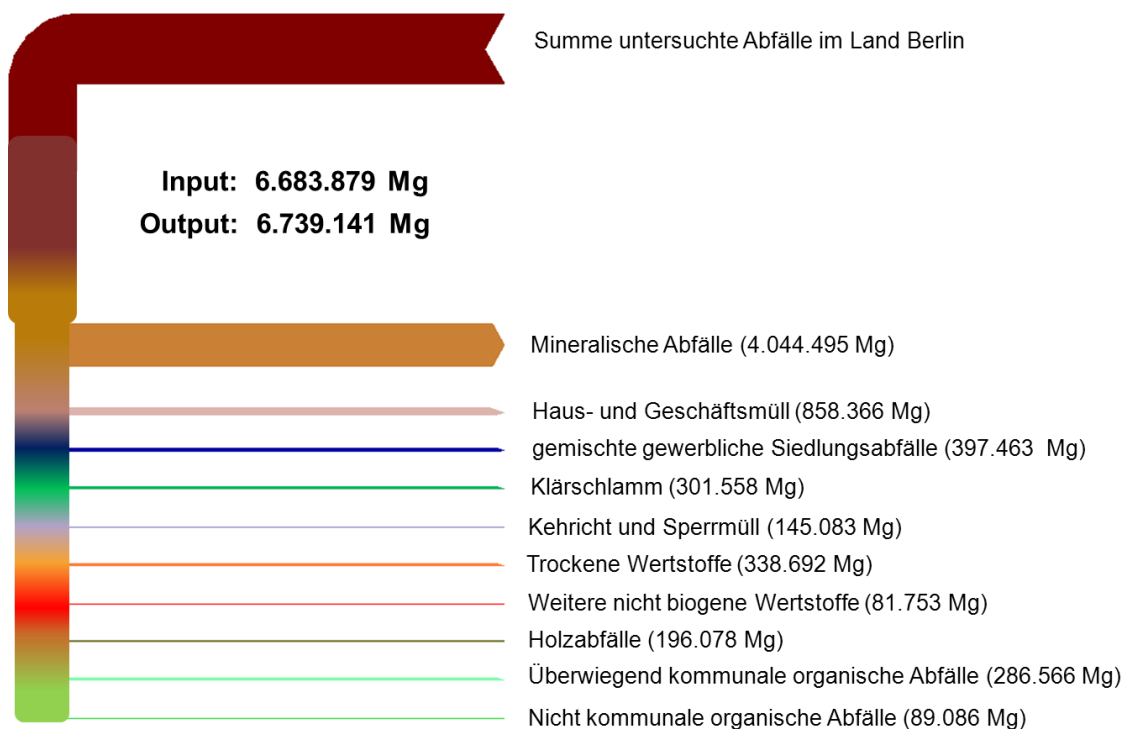


Abbildung 2-46 Sankeydiagramm Mengenströme

In Abbildung 2-47 sind die Mengen aufgeteilt nach den 36 untersuchten Abfallarten dargestellt. Darin wird deutlich, dass die mineralischen Abfälle vor allem durch die Abfallarten Boden und Steine und im Weiteren durch Beton bestimmt werden. Die Menge an Haus- und Geschäftsmüll liegt in ähnlicher Höhe wie die in 2010 angefallene Menge an Bau-

schutt. Alle weiteren Abfallarten liegen mit ihrem Aufkommen im Bereich um 300.000 Mg oder deutlich darunter. Bei 10 der untersuchten 36 Abfallarten liegt das Aufkommen unter 10.000 Mg.

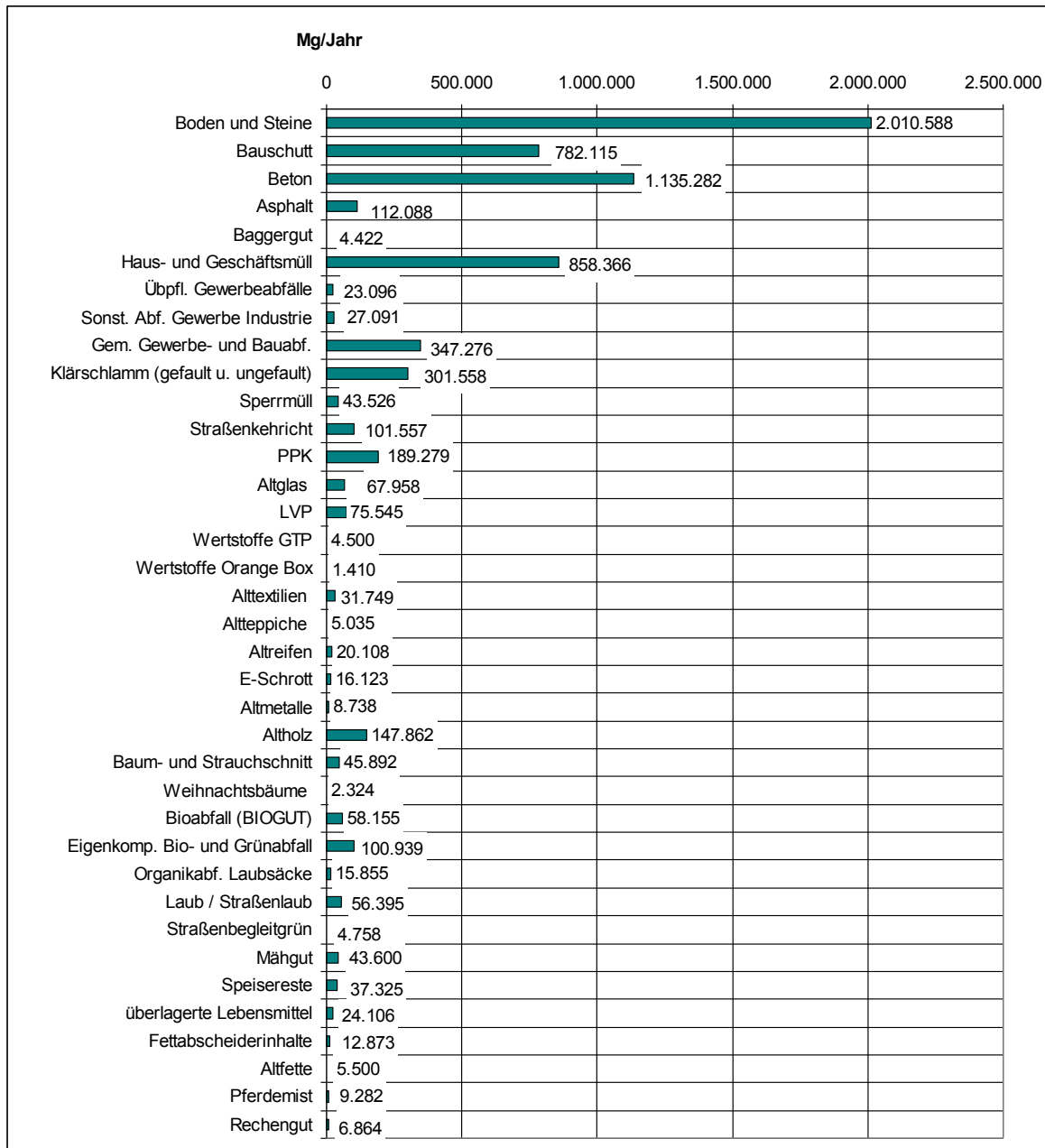


Abbildung 2-47 Überblick entsorgte Mengen der Abfallarten

Unter den organischen Abfällen weist Altholz die höchste entsorgte Abfallmenge auf. Die zweithöchste Menge liegt im Potenzial, das der Eigenkompostierung von Bio- und Grünabfällen zugeordnet wurde. Im Bereich um die 50.000 Mg liegt das Abfallaufkommen von getrennt erfassten Bioabfällen und Straßenlaub, etwas darunter das ermittelte Aufkommen an Baum- und Strauchschnitt und an Mähgut. Fünf der o.g. 10 Abfallarten mit einem Aufkommen unter 10.000 Mg sind organische Abfälle.

Das Ergebnis der Bestandsaufnahme hinsichtlich des Verbleibs und der THG-Bilanzen für die 36 Abfallarten ist in Tabelle 2-37 aufgeführt. Das Ergebnis der THG-Bilanzen ist als absolutes Nettoergebnis dargestellt. Das negative Vorzeichen steht für eine Nettoentlastung, das Pluszeichen für eine Nettobelastung. Es zeigt sich, dass nur bei sieben der 36 untersuchten Abfallarten eine Nettobelastung in der THG-Bilanz gegeben ist. Die Entsorgung der restlichen 29 Abfallarten bewirkt bereits in der Bestandsaufnahme einen Beitrag zum Klimaschutz.

Tabelle 2-37 Überblick Ergebnisse Bestandsaufnahme

Abfallart	entsorgte Menge	Entsorgung 2010	Netto-THG-Beitrag
	Mg/a		Mg CO₂-Äq/a
Boden und Steine	2.010.588	58% Baumaßnahmen, 29% Deponie, 13% Tagebau	0
Bauschutt davon getrennt angelieferte Gipsabfälle	782.115 13.700	34% Straßenbau, 59% Deponie, 7% Tagebau	0
Beton	1.135.282	99% Straßenbau, 1% Deponie, Tagebau	0
Asphalt	112.088	38% Asphaltmischwerk, 61% Tagebau, 1% Deponie	-554
Baggergut	4.422	70% Deponie, 30% n.b.	0
Haus- und Geschäftsmüll	858.366	53% MHKW, 33% MPS, 9% MA, 5% MBA	-234.754
Überlassungspflichtige hausmüllähnliche Gewerbeabfälle	23.096	22% MHKW, 23% MPS, 35% MA, 20% MBA	-7.379
Sonstige überlassungspflichtige Abfallarten aus Gewerbe und Industrie	27.091	88% MHKW, 7% MA, 4% MBA	-3.576
Nicht überlassungspflichtige gemischte gewerbliche Siedlungsabfälle und Bau- und Abbruchabfälle	347.276	Sonderabfrage: 45% energetische Verw., 27% Ablagerung, 11% bauliche Maßnahmen, 12% Wertstoffe, 5% Beseitigung	-83.306
Klärschlamm (29% TS)	301.558 ¹⁾		-12.918
davon Rohschlamm (25,7% TS)	160.561	KSVA	+16.198
davon gefaulter und getrockneter Schlamm (25,5% und 93,3% TS)	140.998 (TS: 46.332)	Bezug TS: 19% KSVA, 51% Mitverbrennung Kraftwerke, 31% Trocknung, Mitverbrennung Kraftwerke	-29.116
Sperrmüll	43.526	94% EBS-KW, 5,5% Metalle, Rest sonstige	-18.069

Abfallart	entsorgte Menge	Entsorgung 2010	Netto-THG-Beitrag
	Mg/a		Mg CO ₂ -Äq/a
Straßenkehrricht	101.557		+6.719
davon Handkehricht	20.407	7% MHKW, 14% MPS, 78% MBA	+875
davon Maschinenkehricht und Altstreugut	81.150	50% gbav, 50% GAA	+5.844
PPK	189.279	Verwertung Papierfabrik	-121.555
Altglas	67.958	Verwertung Glashütte	-30.568
LVP	75.545	Verwertung Fraktionen	-38.848
Wertstoffe in GTP	4.500	Verwertung Fraktionen	-2.254
Wertstoffe in Orange Box	1.410	Verwertung Fraktionen	-837
Alttextilien	31.749	60% Wiederverwendung, 40% energetische Verw. Kohle-KW	-134.166
Altteppiche	5.035	energetische Verw. EBS-KW	+1.727
Altreifen	20.108	45% stoffliche Verwertung, 55% Zementwerk	-26.257
E-Schrott	16.123	Verwertung Fraktionen	-39.552
Altmetalle	8.738	Verwertung Metallhütten	-6.278
Getrennt gesammeltes Altholz	147.862	80% energetische Verw. EBS-KW, 20% stoffliche Verwertung	-98.175
Baum-, Strauchschnitt	45.892	22% Kompostierung, 78% energetische Verw. diverse	-23.371
Weihnachtsbäume	2.324	energetische Verw. KW Reuter	-2.567
Bioabfall (BIOGUT)	58.155	Offene Kompostierung	+53
Eigenkompostierung Bio- und Grünabfälle	100.939	Eigenkompostierung	+1.801
Organikabfälle in Laubsäcken	15.855	Offene Kompostierung	+263
Laub, Straßenlaub	56.395	Offene Kompostierung	-821
Straßenbegleitgrün	4.758	Offene Kompostierung	+70
Mähgut	43.600	Offene Kompostierung	+644
Speisereste	37.325	Vergärung	-3.425
Überlagerte Lebensmittel	24.106	Vergärung	-2.094
Fettabscheiderinhalte	12.873	Vergärung	-2.303
Altfette	5.500	Altfettmethylester-Biodiesel	-14.728
Pferdemist	9.282	Landwirtschaft	-170
Rechengut	6.864	MBS	-2.760
Summe	6.739.141		-900.006

1) Summe der Frischmassen aus Rohschlamm (TS 25,7%), gefaultem Schlamm (TS im Mittel 25,5%) und getrocknetem Schlamm (TS im Mittel 93,9%)

Des Weiteren finden sich in Tabelle 2-37 Angaben zum Verbleib der Abfälle. Bei den mineralischen Abfällen sind Entsorgungswege überwiegend Baumaßnahmen, Deponien und Tagebaue. Die überlassungspflichtigen nicht-biogenen Abfälle werden in der Regel über das MHKW Ruhleben, die MPS-Anlagen, die MA ORS Grünauer Straße und die MBA Schöneiche entsorgt. Die gemischten gewerblichen Siedlungsabfälle und gemischte Bau- und Abbruchabfälle werden über Vorbehandlungsanlage sortiert, die Outputfraktionen je nach Eigenschaften energetisch genutzt, stofflich verwertet oder beseitigt. Klärschlamm wird energetisch genutzt. Die trockenen Wertstoffe PPK, Glas, LVP, Altmetalle, E-Schrott werden einer stofflichen Verwertung zugeführt. Alttextilien und Altreifen werden sowohl stofflich als auch energetisch verwertet, Alteppiche werden ausschließlich energetisch genutzt. Die holzigen biogenen Abfallarten werden überwiegend energetisch genutzt, Bio- und Gartenabfälle dagegen vor allem in offenen Kompostierungsanlagen behandelt. Die gewerblichen organischen Abfälle Speisereste, überlagerte Lebensmittel und Fettabscheiderinhalte werden vergoren. Die restlichen Abfallarten gehen in spezielle Entsorgungswege.

Farblich markiert sind in der Tabelle diejenigen Abfallarten, bei denen es sich größtenteils bzw. vollständig um kommunale Abfälle (inkl. überlassungspflichtige Abfälle an den öffentlich-rechtlichen Berliner Entsorgungsträger) handelt. Die Unterscheidung nach kommunalen und nicht-kommunalen Abfällen entscheidet maßgeblich den Handlungsspielraum für die erfolgreiche Umsetzung des Maßnahmenkataloges. Entsprechend werden im Kapitel 5 die Maßnahmen unter Berücksichtigung der kommunalen Einflussnahme beschrieben.

Das Ergebnis der THG-Bilanzen der Bestandsaufnahme für die untersuchten 36 Abfallarten ist auch in Abbildung 2-48 in Form der Nettoergebnisse dargestellt. Gegenüber den jeweils entsorgten Abfallmengen (Abbildung 2-47) zeigt sich sehr deutlich, dass Mengen und Nettoergebnis der THG-Bilanz nur teilweise zusammenhängen.

Die nach Menge dominierenden mineralischen Abfälle haben keine Treibhausgasrelevanz, bedingt durch ihren inerten Charakter und durch den Umstand, dass durch ihre Entsorgung in der Regel entweder keine Primärmaterialien ersetzt werden oder ebenfalls mineralische Stoffe wie Kies und Sand.

Ein Zusammenhang zwischen Menge und THG-Bilanzergebnis zeigt sich dagegen bei Haus- und Geschäftsmüll. Das hohe Aufkommen und die Entsorgung dieser Abfallart ergibt für das Land Berlin mit Abstand die höchste anteilige Nettoentlastung in der THG-Bilanz. Erreicht wird die Nettoentlastung vor allem durch die Entsorgung des Haus- und Geschäftsmülls über die MPS-Anlagen, die MA und auch das MHKW.

Hohe Nettoentlastungsbeiträge im Bereich um -100.000 Mg CO₂-Äq ergeben sich ansonsten durch die Entsorgung der nicht überlassungspflichtigen Gewerbeabfälle und gemischte Bau- und Abbruchabfälle, der Papier/Pappe/Kartonagen, der Alttextilien und von Altholz. Nach der Aufkommenshöhe haben von diesen Abfallarten die nicht überlassungspflichtigen Gewerbeabfälle und gemischten Bau- und Abbruchabfälle das höchste Aufkommen, dann PPK und Altholz in etwa ähnlicher Höhe, während das betrachtete Aufkommen von Alttextilien vergleichsweise niedrig liegt.

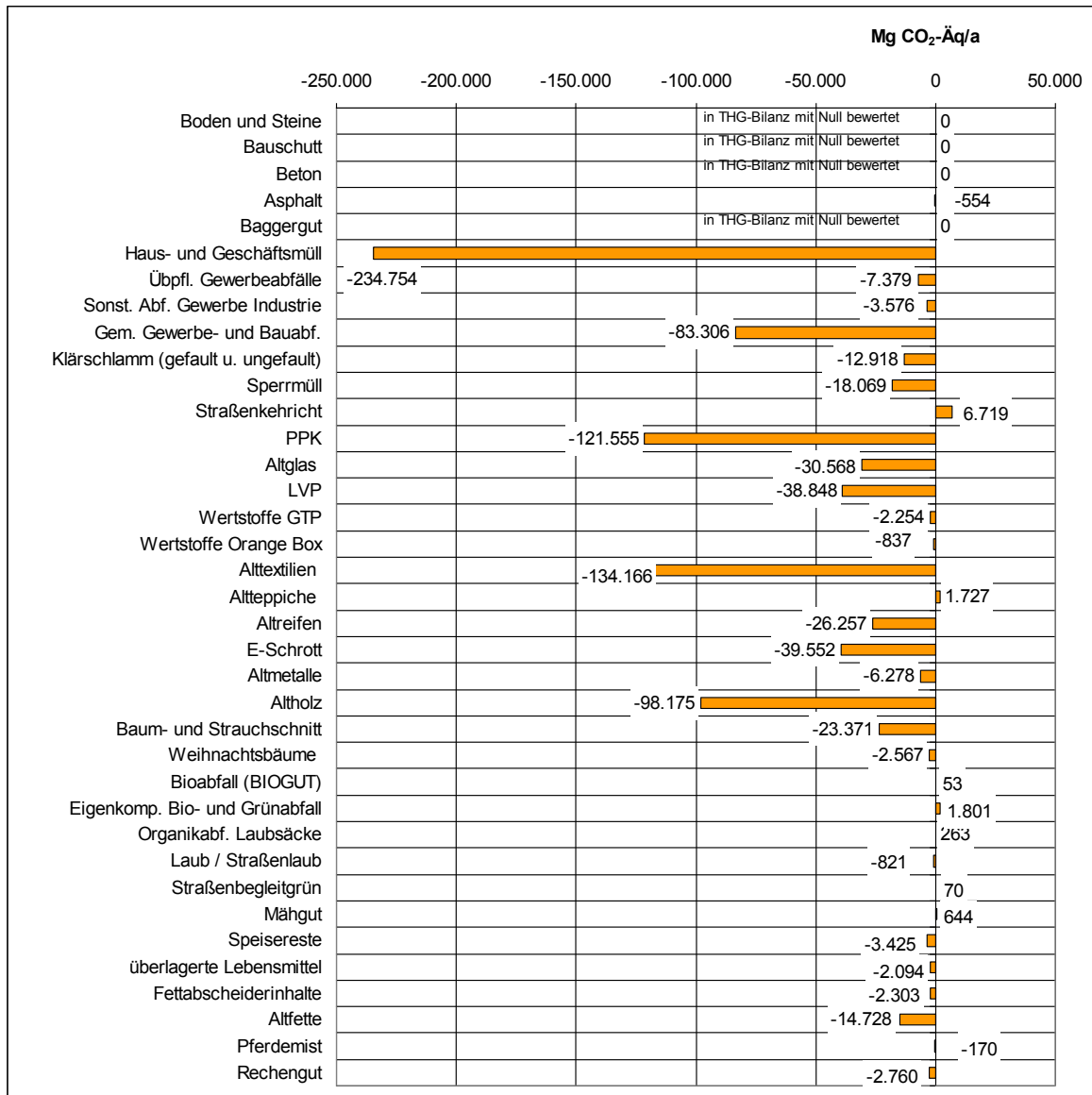


Abbildung 2-48 Überblick absolute Nettoergebnisse THG-Bilanz der Abfallarten

Alttextilien gehören zu den Abfallarten mit einer sehr hohen spezifischen THG-Relevanz, das heißt, trotz vergleichsweise geringer Abfallmengen ergibt sich ein hoher Nettoentlastungsbeitrag in der THG-Bilanz. Bedingt ist diese hohe THG-Nettoentlastung durch die Substitution der Herstellung von Primärtextilien aus synthetischen Fasern oder aus Baumwolle, die mit sehr hohen THG-Belastungen verbunden ist. Das spezifische THG-Nettoergebnis für Alttextilien wurde zu $-4.226 \text{ kg CO}_2\text{-Äq/Mg}$ ermittelt. Allerdings gilt hier einschränkend, dass die Bewertung der Weiterverwendung von Alttextilien im Rahmen einer abfallwirtschaftlichen THG-Bilanz nicht umfassend abgebildet werden kann und insofern der Bewertungsansatz eine Vereinfachung darstellt.

Das zweithöchste spezifische Nettoergebnis weist Altfett mit $-2.678 \text{ kg CO}_2\text{-Äq/Mg}$ auf. Altfett wurde zu Altfettmethylester (AME) für den Einsatz in Dieselfahrzeugen aufbereitet, wodurch Dieselmotoren ersetzt wird. Hier ist aber einschränkend festzuhalten, dass die

erforderlichen Qualitäten nur im Sommer erreicht werden, im Winter ist AME nicht kältebeständig und müsste durch den Zusatz von Additiven konditioniert werden. Dies ist in der THG-Bilanz nicht berücksichtigt.

Ein ähnlich hohes spezifisches THG-Nettoergebnis wie bei Altfett wurde für die Entsorgung von E-Schrott mit $-2.453 \text{ kg CO}_2\text{-Äq/Mg}$ ermittelt. Bedingt ist dieses hohe Entlastungsergebnis v. a. durch die zurückgewonnenen und verwerteten Metallmengen aus dem E-Schrott, deren Anteil bei Brauner Ware bei 45% liegt, bei Kühlgeräten bei 61% und bei Weißer Ware bei 87%.

Neben diesen drei Abfallarten wurden für die Entsorgung von Altreifen und von Weihnachtsbäumen ebenfalls vergleichsweise hohe spezifische THG-Nettoergebnisse ermittelt, die über $-1.000 \text{ kg CO}_2\text{-Äq/Mg}$ Abfallinput liegen. Bei Weihnachtsbäumen ergibt sich dies aufgrund der 100%igen Mitverbrennung im Kraftwerk Reuter West ohne einen nennenswerten Aufbereitungsaufwand, wodurch heizwertäquivalent Steinkohle ersetzt wird. Bei Altreifen ergibt sich der hohe spezifische THG-Minderungsbeitrag v. a. durch die anteilige hochwertige stoffliche Verwertung.

Spezifische THG-Nettoentlastungen im mittleren Bereich zwischen -500 und $-1.000 \text{ kg CO}_2\text{-Äq/Mg}$ Abfall wurden für die Abfallarten PPK, LVP (in allen drei betrachteten Sammelssystemen), Altmetalle, Altholz und Baum- und Strauchschnitt berechnet.

Bei spezifischen THG-Nettoentlastungen von weniger als $-500 \text{ kg CO}_2\text{-Äq/Mg}$ Abfall ergab sich folgendes Ranking: Altglas > Sperrmüll > Rechengut > überlassungspflichtige Gewerbeabfälle > Haus- und Geschäftsmüll > nicht überlassungspflichtige Gewerbeabfälle und gemischte Bau- und Abbruchabfälle > Fettabscheiderinhalte > Speisereste > überlagerte Lebensmittel > Laub/Straßenlaub > Pferdemit > Asphalt.

Bei den Ergebnissen mit spezifischer THG-Nettobelastung besteht folgende Reihenfolge von niedrig nach hoch: Bioabfall (BIOGUT) < Straßenbegleitgrün und Mähgut < Organikabfall in Laubsäcken < Eigenkompostierung Bio- und Grünabfälle < Alteppiche. Alteppiche weisen dabei mit $+343 \text{ kg CO}_2\text{-Äq/Mg}$ Abfall mit Abstand das höchste Nettobelastungsergebnis auf.

Nicht in dieser Aufzählung erwähnt sind Klärschlamm und sonstige Abfälle aus Industrie und Gewerbe. Für diese beiden ist die Darstellung eines spezifischen THG-Ergebnisses nicht sinnvoll. Bei sonstigen Abfällen aus Industrie und Gewerbe handelt es sich um unterschiedliche Abfallarten (Krankenhausabfälle und haumüllähnliche Gewerbeabfälle), die für die Darstellung eines spezifischen Ergebnisses getrennt betrachtet werden müssten. Bei Klärschlamm handelt es sich sowohl um Rohschlamm als auch um gefaulten Schlamm, die nur in einem spezifischen Ergebnis zusammengefasst werden dürften, wenn für den gefaulten Schlamm die Faulung Bestandteil des Systemraums wäre, was jedoch im Rahmen dieser Studie nicht gegeben ist.

Nach dem absoluten Ergebnis zeigt sich für Klärschlamm, dass dieser gegenüber der vergleichsweise hohen Menge einen geringen THG-Entlastungsbeitrag aufweist. Bedingt ist dies durch das schlechte Abschneiden (THG-Nettobelastung) der anteiligen Verbrennung von Klärschlamm in einer Wirbelschichtfeuerungsanlage mit vergleichsweise hohen N_2O -Emissionen.

Bei den sonstigen Abfallarten aus Industrie und Gewerbe überwiegen die Krankenhausabfälle, die im MHKW Ruhleben verbrannt werden und u. a. aufgrund des günstigen Ver-

hältnisses aus Heizwert und fossilem C-Gehalt zu dem absoluten Nettoentlastungsergebnis der THG-Bilanz beitragen.

In Summe zeigt die Bestandsaufnahme der 36 untersuchten Abfallarten eine THG-Nettoentlastung in Höhe von **-900.006 Mg CO₂-Äq für das Jahr 2010**.

Trotz dieses bereits beachtlichen Beitrags zum Klimaschutz durch die Berliner Abfallwirtschaft zeigten sich in der Bestandsaufnahme weitere Optimierungsmöglichkeiten, die in der nachfolgenden Potenzialanalyse untersucht werden.

3 Potenzialanalyse – Stoffstrom und Treibhausgasbilanz 2020

In der Potenzialanalyse wird ausgehend von den Erkenntnissen der Bestandsaufnahme das Optimierungspotenzial der 36 Abfallarten untersucht. Die Gliederung dieses Kapitels entspricht der Gliederung der Bestandsaufnahme, um bei Bedarf den Bericht schnell für eine Abfallart querlesen zu können. Nicht für alle Abfallarten konnte ein Optimierungspotenzial ermittelt werden. Diese Abfälle werden hier dennoch in der Kapitelstruktur mit einer kurzen Erläuterung aufgeführt.

Grundsätzlich werden in der Potenzialanalyse ausschließlich die Abfallarten in ihrer Menge und Charakteristik untersucht, wie sie in der Bestandsaufnahme beschrieben sind. In den Fällen, in denen Optimierungen in Mengenumlenkungen bestehen, erfolgt die Betrachtung als Optimierungsszenario in Kapitel 4. Dies dient zum einen der besseren Übersichtlichkeit und ist zum anderen dann erforderlich, wenn durch Mengenverschiebungen die Charakteristik einer Abfallart verändert wird. Dies ist bei der Entnahme von Wertstoffen aus Haus- und Geschäftsmüll der Fall. Eine alleinige Betrachtung nur der entnommenen Wertstoffe dient hier nur zur Einschätzung, wie es für Organikabfall aus Haushalten in Kapitel 3.18 vorgenommen wurde. Die korrekte Abbildung entsprechender Maßnahmen erfordert eine gesamtsystematische Betrachtung, die wie erwähnt in Kapitel 4 erfolgt.

Bei den in der Potenzialanalyse betrachteten Verfahren handelt es sich in der Regel um in der Praxis etablierte Verfahren, deren Verfahrensprinzip sich bereits vielfach in Studien beschrieben findet. Insofern sind diese Verfahren, wie beispielsweise die Vergärung, nur in den Teilen näher erläutert, in denen sie in der technischen Konzeption von durchschnittlichen Anlagen abweichen. Eine Ausnahme bildet das Verfahren der Hydrothermalen Karbonisierung (HTC), bei dem es sich um ein innovatives Verfahren handelt, für das bislang keine Praxisanlagen bestehen. Dieses Verfahren wird ausführlicher im Anhang E beschrieben.

3.1 Boden und Steine

Die Bestandsaufnahme für das Land Berlin zu Boden und Steinen (Kap. 2.1) ergab, dass diese im Jahr 2010 zu 58% in Baumaßnahmen gingen, zu 29% zu Deponien und 13% in den Tagebau. Optimierungsmöglichkeiten im Jahr 2020 könnten bei einem entsprechenden Bedarf in einer Steigerung des Einsatzes in Baumaßnahmen bestehen. Inwiefern dies möglich ist, hängt u.a. von den künftigen rechtlichen Vorgaben – insbesondere durch die geplante Mantelverordnung – ab. Inwiefern hier die Anforderungen an die stoffliche Verwertung verschärft werden, ist derzeit nicht absehbar.

Aus Klimaschutzsicht sind Optimierungen für Boden und Steine nicht relevant. In der THG-Bilanz ist diese Abfallart aufgrund ihrer untergeordneten Bedeutung hinsichtlich Treibhausgasauswirkungen mit Null bewertet.

Umlenkungsmaßnahmen könnten aber im Zusammenhang mit Ressourcenschutzaspekten von Bedeutung sein. Dieser Aspekt wird im Rahmen der anstehenden Umweltbilanzierung im Jahr 2012/2013 für das Land Berlin untersucht.

3.2 Bauschutt

Die Bestandsaufnahme für das Land Berlin zu Bauschutt (ohne Beton, dieser wird nachfolgend separat betrachtet) (Kap. 2.2) ergab, dass Bauschutt im Jahr 2010 zu 34% in Straßenbaumaßnahmen gingen, zu 59% zu Deponien und 7% in den Tagebau. Optimierungsmöglichkeiten könnten in einer Steigerung des Einsatzes in Straßenbaumaßnahmen bestehen, vorausgesetzt die rechtlichen Vorgaben im Jahr 2020 lassen eine entsprechende Verwertung zu.

Aus Klimaschutzsicht sind Optimierungen für Bauschutt weitgehend nicht relevant, sie sind analog Boden und Steinen in der THG-Bilanz mit Null bewertet. Dennoch sollte die Sinnhaftigkeit entsprechender Maßnahmen aus Gründen des Ressourcenschutzes geprüft werden. Die Nachfrage zum Einsatz von Bauschutt in Straßenbaumaßnahmen könnte durch eine Umlenkung der Nutzung von Beton in Richtung RC-Beton im Hochbau gestärkt werden.

Eine Ausnahme bei der Klimaschutzbetrachtung stellen Baustoffe auf Gipsbasis dar. Bei einer sortenreinen Getrenntsammlung von nicht verunreinigtem Material könnten derartige Gipsabfälle einer stofflichen Verwertung in Gipswerken zugeführt werden.

Durch eine entsprechend optimierte Getrenntsammlung könnte die bisher getrennt gesammelte Menge (2010: 13.700 Mg zur Altablagerung und Deponierung) auf rund 30.000 Mg/a gesteigert und künftig einer stofflichen Verwertung unterzogen werden.

Nach einer englischen Studie³², in der die Herstellung von Gipsplatten untersucht wurde, kann pro recycelter Tonne Gips eine THG-Einsparung von 180 kg CO₂ erreicht werden. Die Studie liegt nicht im Original vor. Es konnte daher innerhalb der Projektlaufzeit nicht abschließend ausgewertet werden, ob die der Berechnung zugrunde gelegten Randbedingungen und Annahmen auch für das Land Berlin übertragbar sind. Aus diesem Grund wird das mögliche THG-Minderungspotenzial durch die stoffliche Verwertung an dieser Stelle nur nachrichtlich aufgeführt. Die durch eine stoffliche Verwertung mögliche THG-Minderung wäre vollständig für das Jahr 2020 anrechenbar, da im Jahr 2010 die THG-Auswirkungen durch Bauschutt und die darin enthaltenen Abfälle auf Gipsbasis mit Null bewertet wurden.

Durch die stoffliche Verwertung von 30.000 Mg getrennt gesammelten Abfällen auf Gipsbasis in Gipswerken könnte unter Verwendung des o.g. Emissionsfaktors eine THG-Minderung von **-5.400 Mg kg CO₂-Äq für das Jahr 2020** erreicht werden.

Voraussetzung für diese Minderung ist, dass – wie erwähnt – die Übertragbarkeit des Emissionsfaktors auf die Berliner Situation gegeben ist und dass die Gipsabfälle für eine stoffliche Verwertung geeignet sind. Beides wird zu prüfen sein.

Grundsätzlich ist ein derartiges stoffliches Recycling getrennt erfasster Gipsbaustoffe gegenüber der derzeitigen Verwertung auf einer Altablagerung zu befürworten, zumal davon auszugehen ist, dass Gipskarton zunehmend eine wichtige Rolle beim Bauen spielen wird.

³² Zitiert auf: http://www.gipsrecycling.de/14145-1_CO2Reduktion/

3.3 Beton

Die Bestandsaufnahme für das Land Berlin zu Beton (Kap. 2.3) ergab, dass Betonabfälle im Jahr 2010 zu 99% in Straßenbaumaßnahmen sowie zu 1% zu Deponien und Tagebaubetrieben gingen.

Optimierungsmöglichkeiten bestehen in einer alternativen sortenreinen Erfassung der Betonabfälle insbesondere aus Rückbaumaßnahmen von Gebäuden und deren Aufbereitung zu RC-Beton für Hochbaumaßnahmen. Aus Klimaschutzsicht ist diese Optimierung für Beton jedoch nicht relevant, dies gilt auch für eine Aufbereitung zu RC-Beton (s.u.). Beton ist entsprechend Boden und Steinen und Bauschutt in der THG-Bilanz mit Null bewertet. Dagegen sollten aus Gründen des Ressourcenschutzes die genannten Optimierungsmaßnahmen umgesetzt werden.

Die Einsatzmöglichkeit von RC-Beton in Gebäuden ist in Deutschland seit Jahren umfassend reglementiert. Nach DIN Normen und DAfStb Richtlinien sind Anforderungen an die RC-Gesteinskörnung und die Betondruckfestigkeiten einzuhalten. Im Rahmen verschiedener Projekte für die DBU (IFEU 2011) und für das Land Baden-Württemberg wurde der Einsatz von RC-Beton erfolgreich nachgewiesen. Voraussetzungen dafür sind:

- Erzeugung von sortenreinem Betonbruch, d.h. es dürfen keine Verunreinigungen mit Holz oder Kunststoff enthalten sein und der anhaftende Zement muss weitgehend abgetrennt sein; wird die Anforderung nicht eingehalten, können ggf. die Normvorgaben nicht erfüllt werden,
- geordneter Rückbau zur Gewinnung einer sortenreinen Fraktion,
- Benutzung von stationären Aufbereitungsanlagen,
- das Produkt RC-Beton muss zertifiziert werden. Entsprechend müssen Hersteller von RC-Beton in Vorleistung gehen. Begünstigend für die Hersteller wirkt sich der zu erwartende Wettbewerbsvorteil am Markt aus, da RC-Betone bisher nur in geringem Umfang erzeugt werden³³,
- Motivation der entsprechenden Akteure, um die Herstellung von RC-Beton zu bewerben (s. Maßnahmenkatalog)
- Herstellung von RC-Beton mit gleichem Zementanteil wie für konventionelle Betone, um eine Gleichwertigkeit in der THG-Bilanz zu erzielen.

THG-Bilanz RC-Beton

In Kap. 2.3 wurde bereits beschrieben, dass die Herstellung von primärer und sekundärer Gesteinskörnung in ihren Umweltauswirkungen nach (IFEU 2011) in etwa vergleichbar ist. Aus diesem Grund wird auch für die Potenzialanalyse keine THG-Bilanz erstellt, sondern Betonabfälle werden weiterhin mit Null bewertet. Kleinere Schwankungen können sich je nach Aufbereitungsverfahren ergeben. So liegt der Energieaufwand bei einer nassen Aufbereitung nach Datenlage in (IFEU 2011) etwas höher als bei einer trockenen Aufberei-

³³ In einem durch das IFEU Heidelberg begleiteten Vorhaben in Stuttgart haben Betonhersteller entsprechende Eigeninvestitionen geleistet. Fördergelder gab es nicht, allerdings erhielt das Projekt große Unterstützung aus der Politik durch z.B. Veranstaltungen mit hochrangiger politischer Besetzung, die zu Werbezwecken genutzt werden konnten.

tung. Allerdings ist eine nasse Aufbereitung nicht zwingend erforderlich, um die Qualitätsanforderungen einzuhalten. Dies zeigen die Erfahrungswerte in Stuttgart und auch die umfangreichen Erfahrungen in der Schweiz.

Entscheidend für die Gleichwertigkeit der THG-Bilanz ist allerdings, dass für die Herstellung von RC-Beton im Vergleich zu konventionellem Beton Art und Menge an eingesetztem Zement als Bindemittel gleich ist. Wird bei der Herstellung von RC-Beton eine andere Zementart oder mehr Zement eingesetzt, führt dies zu einer Verschlechterung der THG-Bilanz für RC-Beton, da die Herstellung von Zement mit CO₂-Emissionen verbunden ist (mineralische CO₂-Emissionen aus dem Kalkbrennen). Auf die Rezeptur ist dahingehend entsprechend unbedingt zu achten.

In (IFEU 2011) sind als Beispiel Beton-Rezepturen dargestellt, nach denen sowohl für RC-Beton als auch für konventionellen Beton 360 kg Bindemittel/m³ Beton eingesetzt werden. Als Bindemittel ist für beide Fälle die Zementart CEM II/B-V42,5R angegeben. Dabei handelt es sich um einen Portlandkompositzement, der anteilig mit Flugasche hergestellt wird. Diese Art Zement bzw. generell Zement, der anteilig mit Abfallstoffen hergestellt wird, ist in Deutschland weit verbreitet und ist in seiner Herstellung gegenüber zusatzfreiem Zement mit geringeren CO₂-Emissionen verbunden. Nach Auskunft des Zementherstellers TBS Zemente Mannheim können je nach Zementart 35% bis 55% gebrannter Kalksteinklinker mit einer entsprechenden Reduktion der THG-Emissionen ersetzt werden³⁴. Nur Portlandzement (CEM I) ist frei von Zusätzen. Welche Art Zemente produziert werden können, hängt von der jeweiligen Rohstoffsituation ab.

Unabhängig davon, dass Flugasche keine in dieser Studie untersuchte Abfallart ist, wurde dennoch überschlägig für das Land Berlin geprüft, inwiefern dort ein Einsatz von **Flugasche zur Zementherstellung** bereits erfolgt oder darin ein weiteres Optimierungspotenzial gegeben wäre. Im Zementwerk Rüdersdorf wird z.B. Flugasche aus Kraftwerken eingesetzt³⁵, und insgesamt erzeugt der Betreiber Cemex überwiegend CEM II und CEM III Zemente. Nach den Umweltberichten des Vereins Deutscher Zementwerke (VDZ) wurden in den letzten Jahren (ab 2006) um die 400.000 Mg Flugasche eingesetzt, in den beiden letzten berichteten Jahren 2009 und 2010 nur noch etwa 300.000 Mg. Inwiefern sich hier ein Sättigungstrend abzeichnet oder eine zufällige Rückläufigkeit der Einsatzmengen, lässt sich überschlägig nicht beurteilen. Für eine genauere Einschätzung sollten u. a. die nächsten Berichte 2011 und 2012 ausgewertet werden.

3.4 Asphalt

Die Bestandsaufnahme für das Land Berlin zu Asphalt (Kap. 2.4) ergab, dass Asphaltabfälle im Jahr 2010 zu 38% in Asphaltmischwerken eingesetzt wurden, 61% gingen in den Tagebau und nur ein kleiner Anteil von 1% auf Deponien. Optimierungsmöglichkeiten bestehen in einer vollständigen sortenreinen Erfassung der Asphaltabfälle mit anschließender Aufbereitung in Asphaltmischwerken zum Einsatz im Straßenbau.

Grundsätzlich lässt sich Asphalt zum Teil mehrfach wiederverwenden, da es sich um einen thermoplastischen Baustoff handelt. Wichtig hierbei ist die Vortrennung von Deck-, Binder- und Tragschichten, da die Qualität von oben nach unten abnimmt und Mischas-

³⁴ Email an SenStadtUm vom 30.5.2012

³⁵ <http://www.cemex.de/zement/produktionsverfahren-Ruedersdorf.htm>

phalt nur noch für die Tragschicht eingesetzt werden kann. Für diese gibt es aber perspektivisch keinen ausreichenden Markt, da die Tragschicht bei der Instandsetzung i.d.R. erhalten bleibt.

Zur Rückgewinnung wird der Asphalt durch Abfräsen (Fräsasphalt) und Aufbrechen (Aufbruchasphalt) ausgebaut und – ggf. nach Aufbereitung durch Brechen – erneut dem Herstellungsprozess beigegeben (Asphaltmischwerk). Voraussetzung dafür ist, dass der Ausbauasphalt frei von Fremdstoffen und gesundheitsschädlichen Substanzen ist (z.B. Teer). Über die Einhaltung der geforderten Stoffparameter hinaus gibt es keine rechtliche Einschränkung zum Einsatz von RC-Asphalt.

In Berlin wurden im Jahr 2010 nach Auskunft der vier in Berlin betriebenen Asphaltmischwerke rund 450.000 Mg Asphaltprodukte erzeugt, die v.a. im Straßen- und Wegebau eingesetzt wurden. Die darin bereits eingesetzte Menge an Asphaltabfällen nimmt einen Anteil von rd. 9% ein. Für das Jahr 2012 wird bereits ein RC-Anteil in Asphaltprodukten von 19% erwartet. Um die gesamte im Jahr 2010 angefallene Menge an Asphaltabfall auf diesem Wege verwerten zu können, müsste der Anteil von RC-Asphalt auf rd. 25% ansteigen. Die Logistik hierfür ist in Berlin gegeben, die bestehenden Asphaltmischwerke können die anfallenden Mengen mitbehandeln, und auch kostenseitig ist der Einsatz im Asphaltmischwerk lukrativer als die Verbringung in den Tagebau. Nach Auskunft von Herrn Meurer (DEUTAG) ist technisch auch ohne größere Probleme ein RC-Anteil von rd. 50% im Jahr 2020 machbar. Voraussetzungen sind, dass eine Paralleltrommel gegeben ist sowie ein entsprechendes Management. Technisch möglich ist auch die Erzeugung und der Einsatz von 100% RC-Asphalt. Eine entsprechende Anlage ist seit 2008 in Norddeutschland in Betrieb. Langzeiterfahrungen stehen allerdings noch aus.

→ Für die Potenzialanalyse 2020 wird angenommen, dass die in Berlin anfallenden Asphaltabfälle vollständig in Asphaltmischwerken eingesetzt werden.

Ausgehend von den Annahmen zur Bilanzierung, wie sie in der Bestandsaufnahme geschildert sind, ergibt sich damit für das Jahr 2020 das spezifische Ergebnis für die Entsorgung von Asphalt zu $-13 \text{ kg CO}_2\text{-Äq/Mg Asphalt}$ und damit um $-8 \text{ kg CO}_2\text{-Äq/Mg}$ besser als in der Bestandsaufnahme.

Hochgerechnet auf die gesamt entsorgte Menge an Asphalt ergibt sich daraus eine Nettoentlastung von **$-1.457 \text{ Mg CO}_2\text{-Äq}$ für das Jahr 2020**, die in die Zusammenfassung der Potenzialanalyse für die Abfallentsorgung in Berlin eingehen. Gegenüber der Ist-Situation im Jahr 2010 entspricht dies einem THG-Minderungsbeitrag von **$-904 \text{ Mg CO}_2\text{-Äq/a}$** .

Aussagen zu möglichen Kosteneinsparungen für die Erzeugung von RC-Asphalt anstelle von neuem Asphalt sind nicht verfügbar. Die Kosten für den Materialeinsatz werden auf 30 Euro/Mg Asphalt geschätzt. Bitumen wird stetig teurer, da dieses vom ehemaligen „Abfallprodukt“ der Raffinerie mittlerweile in das Produktportfolio der Raffinerien mit aufrückt und zu Schiffsdiesel aufbereitet wird. Derzeit kostet eine Tonne Bitumen rund 600 Euro.

Mit diesen Gegebenheiten besteht vermutlich ein wirtschaftliches Interesse, Asphaltabfall verstärkt in Asphaltmischwerken einzusetzen. Voraussetzung ist allerdings, dass der Abtrag des Asphalts sorgfältig (schichtweise) erfolgt, um dessen Qualität sicherzustellen.

3.5 Baggergut

Die Bestandsaufnahme für das Land Berlin zu Baggergut (Kap. 2.5) ergab, dass Baggergut im Jahr 2010 zu 70% auf Deponien ging und zu 30% zu Bodenbehandlungsanlagen. Optimierungsmöglichkeiten werden für die Abfallfraktion Baggergut nicht gesehen. Aufgrund des Ressourcenschutzes sollte zukünftig Baggergut möglichst vollständig einer Bodenverwertung zugeführt werden. Die Abfallfraktion wird in der Potenzialanalyse auch aufgrund der geringen Menge nicht weiter betrachtet.

3.6 Hausmüll inkl. Geschäftsmüll

Die Bestandsaufnahme für das Land Berlin zu Haus- und Geschäftsmüll (Kap. 2.6) ergab, dass diese im Jahr 2010 zu 53% ins MHKW Ruhleben gingen, zu 19% und zu 14% in die MPS-Anlagen, zu 9% zur MA ORS Grünauer Str. und zu 5% in die MBA Schöneiche. In den spezifischen Ergebnissen der THG-Bilanz für das Jahr 2010 zeigt sich die Behandlung über MBA nachteilig. Dagegen werden hohe Nettoentlastungen durch die Behandlung über die MPS-Anlagen und über die MA erzielt. Rein rechnerisch wäre eine Umlenkung der über MBA behandelten Mengen zu einer dieser Anlagen aus Klimaschutzsicht vorteilhaft. Allerdings endet der Entsorgungsvertrag mit der MA spätestens zum 31.12.2015 und die Mengen werden dann entweder in betriebseigenen BSR-Anlagen behandelt oder neu ausgeschrieben. Unabhängig davon ist der Entsorgungsweg über die MA mit möglichen Umweltbelastungen behaftet (keine Verpflichtung gemäß 30. BImSchV bezüglich Abluftreinigung) und daher unter Vorbehalt zu sehen (s. Bestandsaufnahme).

Entsprechend diesen Rahmenbedingungen wird für 2020 nur noch eine Behandlung des Haus- und Geschäftsmülls über die MPS-Anlagen und das MHKW betrachtet. Die Verteilung auf diese Anlagen erfolgt in erster Linie auf die MPS-Anlagen in Höhe der BSR-eigenen Kapazitäten (273.125 Mg) und in zweiter Linie auf das MHKW.

Für die Potenzialanalyse wird die gleiche Gesamtmenge an Haus- und Geschäftsmüll betrachtet wie in der Bestandsaufnahme (858.366 Mg). Für diese ergibt sich mit der o.g. Verteilung folgende prozentuale Verteilung auf die drei Behandlungsanlagen:

- 68% MHKW
- 22% MPS Pankow
- 10% MPS Reinickendorf

Die gegebene Effizienzsteigerung durch die Inbetriebnahme des Kessels A ist in der Potenzialanalyse berücksichtigt (Kap. 2.6.1). Dies äußert sich in einem geringeren Heizölbedarf und einem geringeren Eigenverbrauch von Dampf. Letzteres wird rechnerisch über einen höheren Nettostromwirkungsgrad abgebildet.

→ Für die Potenzialanalyse 2020 wird angenommen, dass

- die im Jahr 2010 über MBA und MA entsorgte Menge auch über die MPS-Anlagen und das MHKW entsorgt wird und
- der Nettostromwirkungsgrad des MHKW um zwei Prozentpunkte höher liegt und der Heizölbedarf geringer ausfällt

Die für Haus- und Geschäftsmüll in der Bestandsaufnahme ermittelten Kenndaten bleiben von den hier betrachteten Maßnahmen unberührt und werden für die Potenzialanalyse beibehalten.

Das in Abbildung 3-1 dargestellte spezifische Ergebnis der Potenzialanalyse zeigt entsprechend keine Veränderung bei den MPS-Anlagen. Für das MHKW ergibt sich aufgrund der Effizienzsteigerung ein um $-25 \text{ kg CO}_2\text{-Äq/Mg}$ besseres Ergebnis.

Im gewichteten Mittel über die jetzt betrachteten Verfahren mit o.g. Verteilungssplit ergibt sich die spezifische Nettoentlastung für die Entsorgung von Haus- und Geschäftsmüll zu **$-276 \text{ kg CO}_2\text{-Äq/Mg}$** und damit um $-3 \text{ kg CO}_2\text{-Äq/Mg}$ besser als in der Bestandsaufnahme. Eine C-Senke ist in der Potenzialanalyse nicht mehr nachrichtlich ausgewiesen, da im Jahr 2020 keine Mengen mehr über MBA oder MA behandelt werden.

Die verhältnismäßig geringe Verbesserung der THG-Entlastung bedingt sich durch das gute Abschneiden der über die MA behandelten Menge in der Ist-Situation (79.482 Mg), die jetzt vollständig über das MHKW behandelt wird. Die Verbesserung durch die analoge Umlenkung der im Jahr 2010 über die MBA behandelten Menge (45.368 Mg), die in der Potenzialanalyse ebenfalls vollständig über MHKW behandelt wird, wird dadurch nahezu kompensiert.

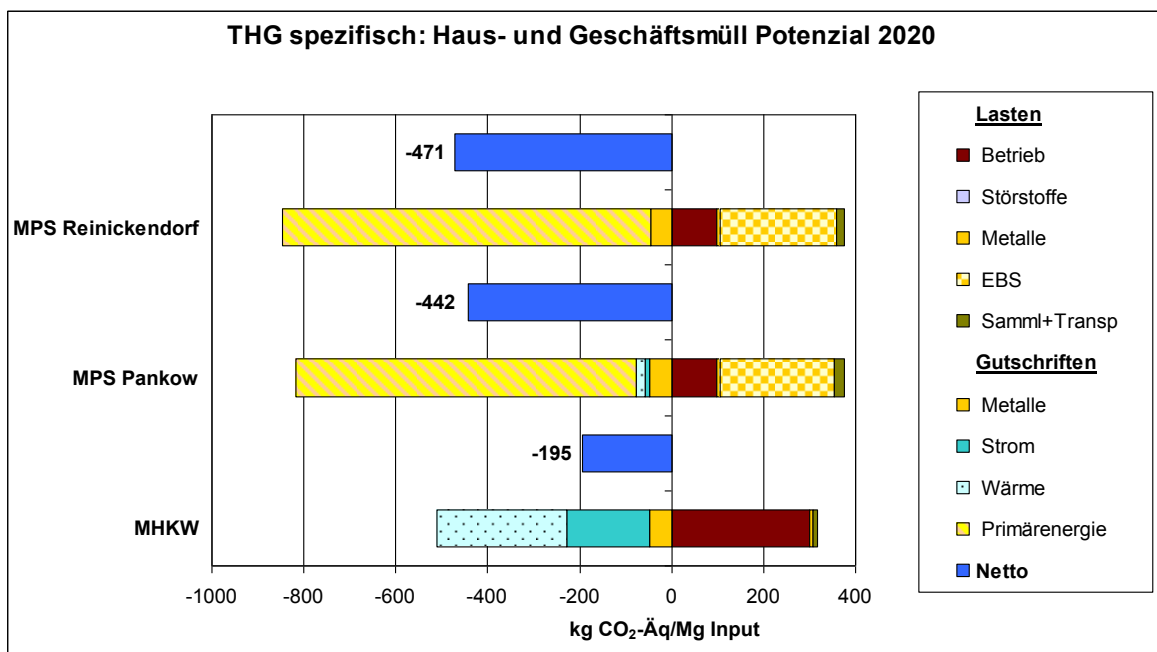


Abbildung 3-1 Potenzialanalyse Entsorgung Haus- und Geschäftsmüll

Hochgerechnet auf die gesamt entsorgte Menge an Haus- und Geschäftsmüll von 858.366 Mg ergibt sich aus der Potenzialanalyse eine Nettoentlastung **für das Jahr 2020** von **$-237.017 \text{ Mg CO}_2\text{-Äq}$** . Gegenüber der Ist-Situation im Jahr 2010 entspricht dies einem THG-Minderungsbeitrag von **$-2.263 \text{ Mg CO}_2\text{-Äq/a}$** .

Dieses Ergebnis steht unter dem Vorbehalt, dass die entsprechenden Kapazitäten im Jahr 2020 zur Verfügung stehen.

In Kapitel 4.1 werden im Weiteren die Auswirkungen auf den Treibhauseffekt untersucht, die sich aus der Steigerung der Getrennterfassung von trockenen Wertstoffen und Organik ergeben. Die Bewertung dafür erfordert eine gesamtsystematische Betrachtung, da mehrere Abfallarten betroffen sind und eine Veränderung von Abfallqualitäten erfolgt.

Belastbare Aussagen zu Kosten für die beschriebenen Maßnahmen sind im Rahmen dieser Studie nicht möglich.

3.7 Gewerbeabfälle und gemischte Bau- und Abbruchabfälle

Aus der Bestandsaufnahme zu Gewerbeabfällen und gemischten Bau- und Abbruchabfällen (Kap. 2.7) ergeben sich je nach Abfallart unterschiedliche bzw. nur eingeschränkt Optimierungsmöglichkeiten, die nachfolgend beschrieben sind.

3.7.1 Überlassungspflichtige Gewerbeabfälle

Für die **überlassungspflichtigen hausmüllähnlichen Gewerbeabfälle (HMG)** ergab die Bestandsaufnahme, dass diese im Jahr 2010 zu 22% ins MHKW Ruhleben, zu 13% und zu 10% in die beiden Berliner MPS-Anlagen, zu 35% zur MA ORS Grünauer Str. und zu 20% in die MBA Schöneiche gingen. Optimierungen bestehen grundsätzlich analog dem Vorgehen zu Haus- und Geschäftsmüll darin, die in 2010 über die MBA und die MA entsorgten Mengen zur Behandlung in das MHKW umzulenken (Begründung s. Haus- und Geschäftsmüll). In der Tendenz wird allerdings davon ausgegangen, dass diese Abfälle zunehmend außerhalb der Überlassungspflicht verwertet werden.

Nach den Empfehlungen in (UBA 2011a) wird zur Stärkung der stofflichen Verwertung solcher gemischter gewerblicher Siedlungsabfälle vorgeschlagen, die unmittelbare Verbrennung dieser Gemische durch rechtliche Vorgaben (Novellierung Gewerbeabfallverordnung) zukünftig auszuschließen und diese stattdessen Vorbehandlungsanlagen mit technischen Mindeststandards zuzuweisen.

Aus diesem Grund werden für die Verwertung dieser Abfälle die Auswirkungen untersucht, die sich ergeben, wenn überlassungspflichtige HMG im Jahr 2020 gemeinsam mit den nicht überlassungspflichtigen Gewerbeabfällen hochwertig verwertet werden. Der entsprechende Systemvergleich wird aus Gründen der Übersichtlichkeit in einem Optimierungsszenario untersucht und ist in Kapitel 4.3 beschrieben.

Für die **sonstigen Abfälle aus Gewerbe und Industrie** ergab die Bestandsaufnahme, dass diese im Jahr 2010 zu 88% ins MHKW Ruhleben, zu 7% zur MA ORS Grünauer Str. und zu 4% in die MBA Schöneiche gingen. Die anteiligen Krankenhausabfälle sind aus hygienischen und arbeitsschutzrechtlichen Gründen ausschließlich thermisch zu behandeln. Im Rahmen dieser Potenzialanalyse wurde untersucht, wie sich die Effizienzsteigerung beim MHKW Ruhleben auf das Ergebnis auswirkt. Zudem wurde für die Potenzialanalyse angenommen, dass eine Behandlung über MBA und MA nicht mehr erfolgt (s. Hausmüll). Die Mengen wurden vereinfacht der thermischen Behandlung über das MHKW zugeordnet.

Für das Jahr 2020 berechnet sich dann das spezifische Ergebnis zu $-153 \text{ kg CO}_2\text{-Äq/Mg}$ und damit um $-21 \text{ kg CO}_2\text{-Äq/Mg}$ besser als in der Bestandsaufnahme.

Hochgerechnet auf die gesamt entsorgte Menge ergibt sich damit eine Nettoentlastung von **-4.156 Mg CO₂-Äq für das Jahr 2020**, die in die Zusammenfassung der Potenzialanalyse für die Abfallentsorgung in Berlin eingeht. Gegenüber der Ist-Situation im Jahr 2010 entspricht dies einem THG-Minderungsbeitrag von **-580 Mg CO₂-Äq/a**.

3.7.2 Nicht überlassungspflichtige gemischte gewerbliche Siedlungsabfälle und gemischte Bau- und Abbruchabfälle

Die Bestandsaufnahme für die nicht überlassungspflichtigen gemischten gewerblichen Siedlungsabfälle und gemischten Bau- und Abbruchabfälle zeigte, dass diese Abfälle zu 50% energetisch verwertet wurden, zu 11% stofflich (Mineralik), dass zu 12% sortenreine Wertstoffe aussortiert wurden und 27% als mineralische Fraktionen zur Ablagerung gingen (inkl. Beseitigung).

Als Optimierungsmöglichkeiten für diese Abfallfraktionen wird ein Maßnahmenbündel betrachtet. Nach dem Abfallwirtschaftskonzept für das Land Berlin ist aus Gründen des Klima- und des Ressourcenschutzes erklärtes Ziel, vor allem die stoffliche Verwertung weiter auszubauen.

Nach der Bestandsaufnahme in (UBA 2011a) bestehen deutliche Potenziale, die Wertstoffausbeute durch moderne Sortiertechnik weiter zu steigern. Die für das Land Berlin im Jahr 2010 ermittelte Wertstoffausbeute von rd. 12% entspricht der erreichbaren Ausbeute aus Vorbehandlungsanlagen mittlerer Komplexität nach (UBA 2011a). Diese Anlagen, die über Aggregate zur maschinell unterstützten manuellen Sortierung sowie zur Metallabscheidung verfügen, können je nach Aufgabegut und Marktbedingungen zwischen 5% und 20% als Wertstofffraktion abtrennen.

„Einfachst“-Vorbehandlungsanlagen (Baggersortierung und Umschlag) erreichen erfahrungsgemäß nur geringere Wertstoffausbeuten von unter 5%. Dagegen können Vorbehandlungsanlagen hoher Komplexität – mit zusätzlichen automatischen Kläubungstechniken wie Nahinfrarot (NIR)-Geräte oder Röntgensortiergeräte – Wertstoffausbeuten von bis zu 40% erzielen. Bei letzterem Anlagentyp übernehmen Sortierkräfte v. a. die Nachsortierung der Wertstofffraktionen. Über individuelle Einstellung der NIR-Geräte und die Anzahl der Sortierkräfte kann eine solche Anlage flexibel auf wechselnde Marktanforderungen reagieren.

Grundsätzlich ist auch nach einer Baggersortierung eine Steigerung der Wertstoffausbeute möglich, wenn anfallende Sortierreste (191212) aus (vorabgesiebten) Überläufen der manuellen Sortierung stammen. Diese können noch ein nutzbares Wertstoffpotenzial aufweisen und zu einer weitergehenden Sortierung verbracht werden. Nur wenn es sich bei dem Sortierrest 191212 um Unterkornfraktionen aus Klassierprozessen handelt, ist das Material nicht mehr sortierfähig (u.e.c. 2010).

Für die Potenzialanalyse wird davon ausgegangen, dass entweder durch direkte Behandlung von überlassungspflichtigen Gewerbeabfällen und gemischten Bau- und Abbruchabfällen in Anlagen mit technischen Mindeststandards oder durch Nachsortierung des Siebüberlaufs, eine Steigerung der Wertstoffausbeute auf 20% im Jahr 2020 erfolgen kann. Die entsprechenden Stoffmengen werden der Sortierfraktion 191212 entnommen.

Die Aufteilung der insgesamt zusätzlich zu entnehmenden Wertstoffmenge auf die Abfallfraktionen wurde ausgehend von der ermittelten Wertstoffausbeute aus der Sonderauswertung und Wertstoffausbeuten nach (UBA 2011a) abgeleitet. In (UBA 2011a) sind zwei Fälle unterschieden:

- die Potenziale, wenn alle gemischten gewerblichen Siedlungsabfälle prinzipiell mechanischen Vorbehandlungsanlagen zugeführt würden³⁶, und
- die Potenziale, die sich bei zusätzlicher Erhöhung der Ausbeute ergeben.

Beide Wertstoffausbeuten sind in Tabelle 3-1 aufgeführt, ebenso wie die Ergebnisse der Sonderauswertung und die für diese Studie abgeleiteten Zielwerte.

Bei der Gegenüberstellung der Werte ist zu beachten, dass in (UBA 2011a) nur die nicht überlassungspflichtigen gemischten gewerblichen Siedlungsabfälle (AVV 200301) betrachtet wurden, nicht aber die gemischten Bau- und Abbruchabfälle (AVV 170904). Da letztere zu 75% aus mineralischen Stoffen bestehen (s. Bestandsaufnahme), erklärt sich, dass sich aus der Sonderauswertung mit 12,4% eine geringere Wertstoffausbeute zeigt als nach (UBA 2011a) für den Bundesdurchschnitt (16,5%). Entsprechend wäre es auch nicht sinnvoll, die maximale Wertstoffausbeute nach (UBA 2011a) von 30% für Berlin anzusetzen, die gesetzten 20% für beide Abfallarten dürften für 2020 durchaus anspruchsvoll sein.

Tabelle 3-1 Sekundärrohstoffausbeuten (UBA 2011a) und Ergebnis Sonderauswertung sowie Zielwerte Potenzialanalyse 2020

Abfallfraktionen	Ergebnis Sonderauswertung	Wertstoffausbeute durch Sortierung	Wertstoffausbeute durch optimierte Sortierung	Zielwerte Berlin 2020
PPK	1,7%	7,7%	11%	6%
Kunststoffe	1,7%	2,6%	5%	4%
Metalle	2,5%	3,3%	5%	3%
Holz	6,5%	2,9%	9%	7%
Summe	12,4%	16,5%	30%	20%

Für die Aufteilung der gesamten Wertstoffausbeute wurde die Steigerung der Ausbeuten für PPK und Kunststoffe ambitioniert gesetzt (ausgehend vom gleichen „niedrigen“ Niveau auf 4% bzw. 6% in Anlehnung an die Zielwerte für maximale Ausbeuten). Dagegen moderat gesetzt wurde die Steigerung für Metalle und für Holz, da hier die Potenziale als geringer eingeschätzt werden. Die bereits im Ergebnis der Sonderauswertung vergleichsweise hohe Ausbeute für Holz dürfte sich ebenfalls durch die gemeinsame Betrachtung mit den gemischten Bau- und Abbruchabfällen ergeben.

Eine weitere Optimierungsmöglichkeit besteht in der Behandlung der Sortierfraktionen zur energetischen Verwertung. Diese gingen im Jahr 2010 zur Hälfte zur Mitverbrennung in Zement- und Kraftwerken. Hier ist theoretisch eine Ausweitung auf 100% bis 2020 mög-

³⁶ bundesweit zum Stand der Untersuchung nur 43% zu Sortieranlagen, Rest v. a. energetische/thermische Behandlung

lich. In (UBA 2011a) wird die Erzeugung einer hochwertigen und schadstoffarmen EBS-Fraktion beschrieben. Voraussetzung für deren Einsatz in Zement- und Kraftwerken ist eine gleichbleibende Beschaffenheit, die sich v. a. durch höhere Heizwerte (je nach Einsatzzweck 11-26 MJ/kg), niedrige Schad- und Störstoffgehalte und geringe Korngrößen (< 30 mm) auszeichnet. Nach Aussage in (UBA 2011a) lassen sich die Qualitätsanforderungen der Abnehmer nur durch komplexe Aufbereitungstechnik in den Vorbehandlungsanlagen realisieren. Die dafür höheren Kosten werden durch geringere Verwertungskosten (ggf. Erlöse) ausgeglichen. Rechnerisch kann der EBS-Anteil nach einer optimierten Wertstoffentnahme rd. 38% – bezogen auf die Inputmenge – betragen. Da durch die Wertstoffentnahme insbesondere heizwertreiche Anteile entnommen werden, wird in (UBA 2011a) – je nach Qualitätsanforderungen – von mind. 30% ausgegangen, die als EBS-Fraktion bereitgestellt werden kann.

Für diese Studie ergibt sich nach Entnahme der zusätzlichen Wertstoffe (Steigerung Wertstoffausbeute auf 20%) ein Anteil an Sortierfraktionen zur energetischen Verwertung von insgesamt 38% bezogen auf den Input. Auch wenn diese Menge den nach (UBA 2011a) eingeschätzten Wert von 30% zu einer hochwertigen energetischen Verwertung überschreitet, wird hier für die Potenzialanalyse das gesamte energetische Potenzial einer entsprechenden Umlenkung betrachtet.

Für die Potenzialanalyse wird davon ausgegangen, dass die gesamte Sortierfraktion zur energetischen Verwertung nach einer weitergehenden EBS-Aufbereitung vollständig zur Mitverbrennung in das Zementwerk Rüdersdorf verbracht werden kann.

Als weitere Optimierung im Rahmen der Potenzialanalyse wird für die Sortierreste (191209) angenommen, dass der zu 25% angesetzte Anteil mit hohen TOC-Werten (hohe nicht-mineralische Anteile) künftig nicht direkt abgelagert wird, sondern zunächst über MBA stabilisiert wird. Für eine thermische Nutzung sind diese Abfälle aufgrund des geringen Heizwertes nicht geeignet (u.e.c. 2010).

→ Insgesamt wird für die Potenzialanalyse 2020 angenommen, dass

- die Wertstoffausbeute von sortenreinen Wertstoffen auf 20% gesteigert wird,
- die verbleibende Sortierfraktionen zur energetischen Verwertung vollständig nach einer EBS-Aufbereitung zur Mitverbrennung ins Zementwerk Rüdersdorf gehen und
- die Sortierreste (191209), die nicht-mineralische Anteile mit hohen TOC-Werten aufweisen, über eine MBA behandelt werden.

Durch diese Maßnahmen, die damit einhergehenden Substitutionspotenziale und resultierenden Gutschriften für Wertstoffe sowie für die heizwertäquivalente Substitution von Braunkohle, ergibt sich eine höhere THG-Entlastung. Bei der Substitution von Braunkohle ist die THG-Entlastung der Mitverbrennung höher als beim Einsatz in EBS-Kraftwerken (vgl. Kap. 1.3.2).

Das spezifische Ergebnis für die Entsorgung von nicht überlassungspflichtigen gemischten gewerblichen Siedlungsabfällen und gemischten Bau- und Abbruchabfällen berechnet sich zu -401 kg CO₂-Äq/Mg für das Jahr 2020 und damit um -161 kg CO₂-Äq/Mg besser als in der Bestandsaufnahme.

Hochgerechnet auf die gesamt entsorgte Menge ergibt sich daraus eine Nettoentlastung von **-139.241 Mg CO₂-Äq für das Jahr 2020**, die in die Zusammenfassung der Potenzialanalyse für die Abfallentsorgung in Berlin eingehen. Gegenüber der Ist-Situation im Jahr 2010 entspricht dies einem THG-Minderungsbeitrag von **-55.935 Mg CO₂-Äq/a**.

Voraussetzung für einen entsprechenden Klimaschutzbeitrag ist allerdings, dass die Sortierfraktionen zur energetischen Verwertung so aufbereitet werden, dass sie die Qualitätsanforderungen der Abnehmer erfüllen und somit für eine entsprechende Mitverbrennung geeignet sind. Im Rahmen der anstehenden Umweltbilanzierung werden weitere Umweltwirkungen (z.B. Luftschadstoffe) untersucht. Ein weiterer Vorbehalt für die Optimierung ist die Verfügbarkeit entsprechender Kapazitäten zur Mitverbrennung im Zementwerk Rüdersdorf bzw. einem anderen Zementwerk.

3.8 Klärschlamm

Im Jahr 2010 wurden insgesamt 301.558 Mg Klärschlämme entsorgt, mit 87.652 Mg Trockensubstanz. Davon stammten 46.332 Mg TS gefaulte Klärschlämme aus fünf Kläranlagen und 41.320 Mg TS ungefaulte Klärschlämme aus der Kläranlage Ruhleben. Menge und Zusammensetzung werden zur Gewährleistung der Vergleichbarkeit der Ergebnisse für 2020 als gleich angesetzt.

Die THG-Bilanz für Klärschlamm muss analog zu Kapitel 2.8 aus systematischen Gründen getrennt für ungefaulten und gefaulten Klärschlamm durchgeführt werden, da es sich bei diesen um verschiedene Abfallarten handelt. Eine gemeinsame bilanzielle Betrachtung wäre nur zulässig, wenn die Bilanzgrenze für die gefaulten Klärschlämme um die Faulung erweitert würde und damit in allen Fällen die Abfallart „ungefaulter Klärschlamm“ einheitlich betrachtet werden könnte.

Das maßgebliche Optimierungspotenzial liegt im Bereich der Klärschlammverbrennungsanlage Ruhleben (KSVA), in der gefaulte und ungefaulte Schlämme gemeinsam verbrannt werden.

Die Übersicht der betrachteten Optimierungspotenziale zeigt Tabelle 3-2

Tabelle 3-2 Übersicht der Optimierungspotenziale für Klärschlämme

Bereich der Optimierung	Ungefauter Klärschlamm	Gefauter Klärschlamm
Externe Verwertung über Mitverbrennung	keine	keine
KSVA: Vorbehandlung der entsorgten Schlämme	Höhere Entwässerung	HTC ³⁷ -Vorbehandlung; HTC-Kohle als Ersatz für Heizöl als Stützfeuerung
KSVA: Verbrennungsbedingungen	Minderung der N ₂ O-Bildung durch höhere Verbrennungstemperatur mit ggf. höherem Heizölverbrauch zur Stützfeuerung	
KSVA: Dampfnutzung	Energetisch effizientere Dampfverwertung	

³⁷ Hydrothermale Karbonisierung, die HTC ist ein Verfahren zur Umwandlung organischer Abfallstoffe in einen kohleartigen Brennstoff. Nähere Beschreibungen finden sich im Kapitel 3.8.2 und im Anhang E.

Im Jahr 2010 wurden über die KSVa 160.561 Mg ungefaulten Klärschlamm (25,7% TS) und 33.836 Mg gefaulten Klärschlamm (25,5% TS) entsorgt.

Die auf *beide* Klärschlammarten wirkenden Optimierungsansätze der KSVa stellen auf folgende Bereiche ab:

- Minderung der N₂O-Emissionen bei der KSVa durch Erhöhung der Verbrennungstemperatur,
- Verbesserung der Dampfnutzung durch Einbindung in die Kraft-Wärme-Kopplung des Kraftwerkes Reuter.

Einfluss auf die Verfahrensbedingungen der KSVa und die verbundenen THG-Wirkungen haben dabei die Vorbehandlungen der Klärschlämme vor der Verbrennung in der KSVa:

- Erhöhte Entwässerung des ungefaulten Schlammes,
- Umwandlung des gefaulten Schlammes über HTC in HTC-Kohle als Heizöl-Ersatz.

Die Einzelberechnungen zu den o.g. Optimierungsschritten sind im Anhang D zusammengestellt, dort neben der abfallspezifischen Wirkung für gefaulten und ungefaulten Klärschlamm auch die zusammengefasste Gesamtwirkung in der KSVa.

3.8.1 Ungefaulter Klärschlamm

Die Bestandsaufnahme ergab, dass der ungefaulte Klärschlamm der Kläranlage Ruhleben vollständig über die KSVa entsorgt wird. Diese Behandlung ist durch hohe THG-Emissionen aus Heizöleinsatz und Lachgasbildung gekennzeichnet.

Die spezifische THG-Belastung nach den durchgeführten Betrachtungen zum Stand 2010 betrug 392 kg CO₂-Äq pro Mg Trockensubstanz ungefaulten Klärschlammes.

Für den ungefaulten Klärschlamm werden die folgenden drei Optimierungsmaßnahmen in der KSVa Ruhleben betrachtet:

1. Erzeugung höherer TS-Gehalte,
2. Minderung der N₂O-Emissionen,
3. Verbesserte Dampfnutzung.

Diese werden als aufeinander aufbauende Maßnahmen betrachtet, das heißt, zuerst erfolgt eine Erhöhung des TS-Gehaltes, dann eine Senkung der N₂O-Emissionen und abschließend eine verbesserte Dampfnutzung. Die resultierenden Ergebnisse der THG-Bilanz sind zusammengefasst am Ende des Kapitels in Abbildung 3-2 aufgeführt.

1. Erzeugung höherer TS-Gehalte vor der Verbrennung in der KSVa

Eine höhere Entwässerung des Klärschlammes führt durch dessen Heizwerterhöhung zur Einsparung von Stützfeuerungsöl. Die BWB setzen bereits höher effiziente Zentrifugen bei der Klärschlamm-Entwässerung ein. Als erzielbar wird von den BWB ein TS-Anteil von 29,0% (statt derzeit 25,7%) eingeschätzt, so dass die ungefaulte Klärschlamm-Frischmasse von 161.561 Mg auf 142.483 Mg sinkt.

Wie in der Bestandsaufnahme gezeigt, beträgt der spezifische Heizölbedarf für den ungefaulten Klärschlamm rund 255 kWh/Mg Klärschlamm-Frischmasse. Der gesamte für die Verbrennung erforderliche Energieeintrag – Klärschlamm und Heizöl – wurde zu

953 kWh/Mg Frischmasse-Input ermittelt. Es wurde veranschlagt, dass dieser spezifische Brutto-Energiegehalt vorhanden sein muss, um die Feuerung gesichert aufrechterhalten zu können.

Durch die verbesserte Entwässerung steigt der Heizwert des ungefaulten Schlammes von rund 700 auf rund 880 kWh/Mg FS, damit sinkt sein Bedarf an Stützfeuerungs-Öl auf rund 76 kWh/Mg FS und damit um rund 29.900 kWh/a.

→ Für die Potenzialanalyse 2020 wird angenommen, dass die verbesserte Entwässerung des ungefaulten Klärschlammes zu einer Einsparung von rund 29.900 kWh/a an Stützfeuerungsöl führt.

Durch die weiter entwickelte Technik ist laut Mitteilung der BWB für die verbesserte Entwässerung kein zusätzlicher Strombedarf erforderlich. Die insgesamt verbrauchte Ölmenge der KSVA sinkt rechnerisch auf 46% des Verbrauchs im Jahr 2010. Allerdings sinkt durch den eingesparten Ölbetrag auch die freigesetzte Energiemenge der Verbrennung um rd. 11%, was sich in einen Minderbetrag an erzeugtem Strom von 2.628 MWh/a umsetzt.

Die N₂O-Bilanz bleibt unbeeinflusst, da die Feuerungstemperatur und die Trockensubstanzmenge des Klärschlammes konstant bleiben.

Die Maßnahme ist von BWB initiiert, bereits eingeleitet und wird weiter umgesetzt.

2. Minderung der N₂O-Emissionen

Nach den in der Bestandsaufnahme dargestellten Ansätzen wurde unter der Annahme, dass derzeit die Abgaskonzentration der KSVA bei 150 mg/m³ N₂O liegt, die spezifische Fracht je Tonne gemischter Klärschlamm-TS zu 1,64 kg N₂O ermittelt. Durch den höheren oTS-Anteil des ungefaulten Klärschlammes wurde für diesen der spezifische Wert zu 1,68 kg N₂O/Mg TS berechnet.

Wie in Kapitel 2.8 ausgeführt, ist die Bildung von N₂O sehr stark von der Feuerraumkopf-Temperatur bestimmt. Bei Temperaturen über 950°C werden nur noch sehr geringe N₂O-Emissionen gemessen (Abbildung 2-9).

Zur Reduzierung der N₂O-Emission wird eine **Erhöhung der Feuerraumtemperatur auf rd. 950°C** vorgeschlagen, wodurch angenommen wird, dass die Abgaskonzentration auf 25 mg N₂O/Nm³ sinkt. Dies stellt ein Sechstel des für den derzeitigen Stand abgeschätzten Wertes von 150 mg/m³ dar.

Angesetzte Prämissen und Annahmen der folgenden Betrachtung sind:

1. die N₂O-Emissionen sinken auf rd. 1/6 des derzeitigen Wertes,
2. **der Kessel ist den höheren Temperaturen gewachsen,**
3. **die ansteigenden NO_x-Werte halten die Grenzwerte der 17. BImSchV ein** (aktuell 200 mg/m³),
4. bei höherer Feuerraumtemperatur steigt die relative Dampfausbeute und damit die Stromerzeugung um einen Prozentpunkt von 15,2% auf 16,2% Netto-Stromwirkungsgrad.

→ Für die Potenzialanalyse 2020 wird angenommen, dass die Erhöhung der Feuerraumkopftemperatur auf 950°C eine Minderung der N₂O-Emission auf ein Sechstel des IST-Wertes ermöglicht.

Bei einer Reduzierung der N₂O-Emissionen auf ein Sechstel berechnet sich die N₂O-Emission für den ungefaulten Klärschlamm zu 0,28 kg/Mg TS.

Durch entsprechende Versuche an der KSVa Ruhleben sollte zeitnah ermittelt werden, unter welchen Verfahrensbedingungen die Temperaturerhöhung von derzeit rd. 870°C auf 950°C erreicht werden kann. Zunächst kann eine ggf. noch vorhandene Toleranz im Luftüberschuss überprüft werden. Sollte diese gegeben sein, wäre eine Temperaturerhöhung auch ohne den Einsatz von Zusatzenergie möglich. In der Ergebnisübersicht ist dieses Ergebnis als „Temp.-Erhöhung ohne Zusatz-Öl“ dargestellt.

Davon unabhängig wird abgeschätzt, dass der insgesamt eingesetzte Energiebetrag um 10% erhöht werden muss, um die Temperaturerhöhung zu erreichen, also von 0,95 auf 1,05 MWh/Mg Klärschlamm-FS. Die notwendige Zusatzenergie würde durch Öl bereitgestellt, insgesamt für die KSVa in Höhe von 16.814 MWh, von denen 13.587 MWh/a bzw. 95 kWh/Mg FS (nach erhöhter Entwässerung) auf den ungefaulten Klärschlamm entfallen. Insgesamt beträgt der Heizölbedarf für die thermische Behandlung von ungefaultem Klärschlamm dann 172 kWh/Mg Klärschlamm-Frischmasse. In der Ergebnisübersicht ist dieses Ergebnis als „Zusatz-Öl für Temp.-Erhöhung“ dargestellt.

Mit den BWB wurden Gespräche zur Machbarkeit dieser Maßnahme geführt. In einer Stellungnahme der BWB wies diese auf die NO_x-Problematik hin, dass durch eine Erhöhung der Feuerraumtemperatur, die bisherigen Überschreitungen der gesetzlichen NO_x-Grenzwerte der 17. BImSchV weiter zunehmen würden (2011: Tagesmittelwert-Überschreitung 11x). Darüber hinaus ist eine Anhebung der Verbrennungstemperatur durch den Ascherweichungspunkt limitiert.

Laut Berliner Genehmigungsbehörde werden die bisherigen Überschreitungen als unerheblich eingestuft. In diesem Kontext ist jedoch die zu erwartende Verschärfung des NO_x-Grenzwertes auf 150 mg/m³ zu beachten.

Darüber hinaus haben die BWB der Senatsumweltverwaltung mitgeteilt, dass allgemein N₂O Emissionen nur ca. 6-7% Anteil am anthropogenen Treibhauseffekt einnehmen (Hauptemittent Landwirtschaft) und der Anteil N₂O an der stationären Verbrennung unter 5% liegt. Zudem gebe es keinen N₂O-Grenzwert und wäre auch in naher Zukunft nicht vorgesehen, so dass keine Verpflichtung zur Minimierung von Lachgasemissionen besteht.

Zu der NO_x-Problematik und den technischen Begrenzungen stimmen die Gutachter vorbehaltlos zu, dass die Einhaltung der vorgeschriebenen Emissionsgrenzwerte für NO_x unstrittig geboten ist und der Kessel höheren Temperaturen gewachsen sein muss. Grundsätzlich scheint es aber dringend geboten, N₂O-Emissionsmessungen durchzuführen, da nur so die tatsächliche Relevanz eingeschätzt werden kann. Sollten sich die hohen N₂O-Emissionen bestätigen, sollten im Weiteren – wie hier geschildert – Versuche zur Minderung der N₂O-Emissionen durchgeführt werden. Der Vorschlag der BWB, dies ggf. im Rahmen von bundesdeutschen Forschungsvorhaben durchzuführen, ist ausdrücklich zu begrüßen.

3. Verbesserte Dampfnutzung

Die aktuelle Nutzung des Dampfes im "Inselbetrieb" lediglich zur Stromerzeugung liefert bei den gegebenen Dampfparametern derzeit nur einen geringen energetischen Gesamtwirkungsgrad von 15,2% Stromerzeugung aus der eingesetzten Energie.

→ Für die Potenzialanalyse 2020 wird angenommen, dass eine verbesserte Dampfverwertung durch Auslagerung der Dampfverwertung in eine Kraft-Wärme-Kopplung am Standort des Kraftwerks Reuter erfolgt.

Es erscheint perspektivisch vorteilhaft, die Eigenstromerzeugung aufzugeben und den Dampf in eine Kraft-Wärme-Kopplung am Standort eines bestehenden oder eines geplanten Heizkraftwerks am Standort Ruhleben einzuspeisen. Die Kraft-Wärme-Kopplung des Dampfes des MHKW Ruhleben wird dort derzeit mit Wirkungsgraden von 9,1% elektrisch und 47,7% thermisch betrieben. Die damit erzielbaren Netto-Wirkungsgrade sind für den niedriger erhitzten Dampf der KSVA nicht überprüft. Es wird angesetzt, dass in Kraft-Wärme-Kopplung für die KSVA Netto-Wirkungsgrade von 7% elektrisch und 41% thermisch nicht überschätzt sind. Dies würde – bezogen auf den Zustand der erhöhten Feuerraumtemperatur bei zusätzlicher Ölzugabe zur Temperaturerhöhung – bei 168.140 MWh/a gesamter Feuerungsleistung eine Strommenge von 11.770 kWh und eine Wärmemenge von 68.937 kWh bereitstellen lassen. Diese Energiemengen treten an die Stelle der derzeit von der KSVA erzeugten 28.256 MWh Strom. Bezogen auf den ungefaulten Klärschlamm ergibt sich gegenüber dem Stand 2010 eine Minderung des erzeugten Stroms in Höhe von -13.995 MWh und eine zusätzliche gewonnene Nutzwärmemenge von 55.708 MWh/a.

Vattenfall teilte nach Vorlage eines Erstentwurfes zu den möglichen Nutzungsoptionen des KSVA-Dampfes mit, dass eine Wirkungsgrad-Spanne für Strom von minimal 12% bis maximal 16% elektrisch bei Auskopplung von konstant 25% Netto-Wärme das volle Optimierungspotential (unter günstigen Bedingungen) darstellt und in der Praxis dieses in der Regel nicht zu 100% ausgeschöpft werden kann. Vor diesem Hintergrund wurden die Annahmen modifiziert und der o.g. konservative Ansatz für die Dampfnutzung (Wirkungsgrad für Strom von 7% und für Wärme von 41%) zu Grunde gelegt. Diese Annahmen sollten in Form einer Machbarkeitsstudie verifiziert werden.

Übersicht der Optimierungspotenziale für ungefaulten Klärschlamm

Abbildung 3-2 stellt die absoluten Ergebnisse der Optimierungsmaßnahmen an der KSVA für ungefaulten Klärschlamm zusammen:

- Im linken Bereich sind die Einzelwirkungen der aufeinander aufbauenden Maßnahmen dargestellt,
- in der Mitte die kumulierten Ergebnisse,
- im rechten Bereich die Entwicklung bezogen auf den IST-Stand (Differenz aus kumuliertem Ergebnis der Maßnahmen zum Ergebnis der Bestandsaufnahme).

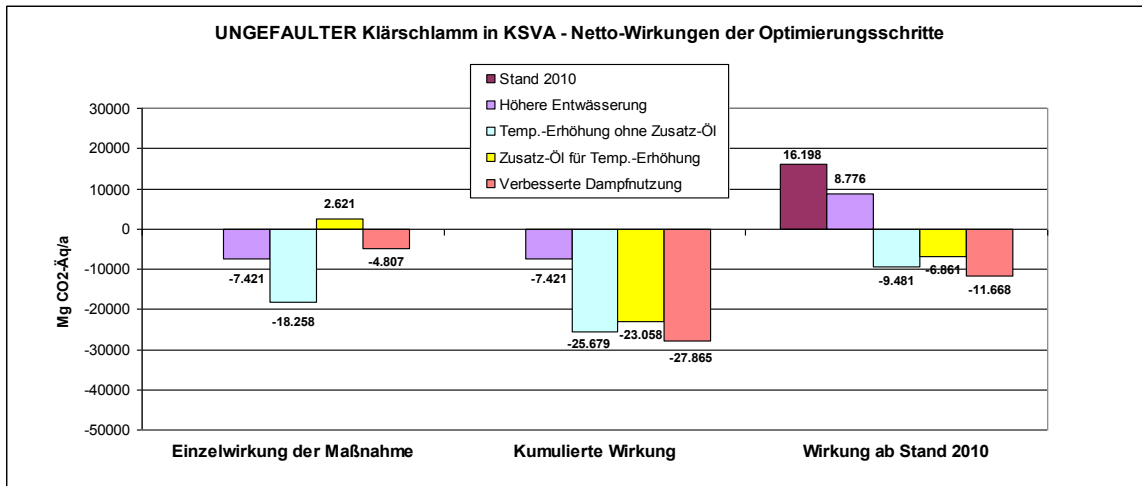


Abbildung 3-2 Potenzialanalyse Entsorgung ungefaulten Klärschlamm in der KSVa

Die kumulierte THG-Wirkung für ungefaulten Klärschlamm erreicht bei Umsetzung aller Maßnahmen auch bei erhöhtem Öleinsatz eine Nettoentlastung von -27.865 Mg CO₂-Äq/a. Diese Summenentlastung verteilt sich zu:

- 26,6% auf die verbesserte Entwässerung,
- 56,1% auf die N₂O-mindernde Temperaturerhöhung einschließlich erhöhtem Ölbedarf,
- 17,3% auf die verbesserte Dampfnutzung.

Unter Umsetzung der Maßnahmen ändert sich die Wirkung der Entsorgung von ungefaultem Klärschlamm von einer THG-Belastung von 16.198 Mg CO₂-Äq/a zu einer THG-Entlastung von -11.668 Mg CO₂-Äq/a.

Hochgerechnet auf die gesamt entsorgte Menge an **ungefaultem Klärschlamm** ergibt sich eine Nettoentlastung von **-11.668 Mg CO₂-Äq für das Jahr 2020**. Gegenüber der Ist-Situation im Jahr 2010 entspricht dies einem THG-Minderungsbeitrag von **-27.866 Mg CO₂-Äq/a**.

3.8.2 Gefaulter Klärschlamm

Die Bestandsaufnahme ergab, dass im Jahr 2010 von den 141.051 Mg FS gefaultem Schlamm bezogen auf die Trockenmasse von 46.332 Mg rund 81% über Mitverbrennung in Zement- und Kraftwerken verwertet wurden. Mit 8.638 Mg TS wurden rund 19% über die KSVa-Ruhleben entsorgt.

Aus Klimaschutzsicht ist für die Mitverbrennung gefaulten Klärschlamm in Kraft- und Zementwerken derzeit kein Optimierungspotenzial erkennbar. Das Optimierungspotenzial beschränkt sich auf die in der KSVa beseitigte Menge an gefaultem Klärschlamm.

Die Optimierungsansätze für die thermische Behandlung von gefaultem Klärschlamm in der KSVa teilen sich auf in:

1. Minderung der N₂O-Emissionen,

2. Verbesserte Dampfnutzung,
3. Erzeugung von HTC-Kohle als Ölersatz für die KSVA.

Wie bei ungefaultem Klärschlamm werden diese Maßnahmen als aufeinander aufbauende Maßnahmen betrachtet, das heißt, zuerst erfolgt eine Senkung der N₂O-Emissionen, dann eine verbesserte Dampfnutzung und abschließend die Erzeugung von HTC-Kohle. Die resultierenden Ergebnisse der THG-Bilanz sind zusammengefasst am Ende des Kapitels in Abbildung 3-3 aufgeführt.

1. Minderung der N₂O-Emissionen

Nach den in Kapitel 2.8 dargestellten Ansätzen werden unter der Annahme, dass derzeit die Abgaskonzentration der KSVA bei 150 mg/m³ N₂O liegt, je Tonne gemischter Klärschlamm-TS 1,64 kg N₂O bei der Verbrennung freigesetzt. Durch den niedrigeren oTS-Anteil des gefaulten Klärschlammes liegt dieser Wert bei 1,46 kg/Mg TS.

→ Für die Potenzialanalyse 2020 wird angenommen, dass die Erhöhung der Feuerraumkopftemperatur auf 950°C eine Minderung der N₂O-Emission auf ein Sechstel des IST-Wertes ermöglicht.

Die Optimierungsansätze zur Minderung des N₂O-Ausstoßes in der KSVA wurden in Kapitel 3.8.1 für ungefaulten Klärschlamm dargestellt. Die Temperaturerhöhung wirkt für den gefaulten Klärschlamm wie folgt:

Bei erhöhter Feuerraum-Temperatur sinkt die spezifische N₂O-Emission für gefaulten Klärschlamm auf 0,243 kg/Mg TS.

Eine für die Temperaturerhöhung aufzuwendende Heizölmenge zur Erhöhung der in die KSVA eingetragenen Gesamtenergie um 10% erfordert für den gefaulten Klärschlammanteil 3.227 MWh Öl bzw. 95 kWh/Mg Klärschlamm-FS. Insgesamt beträgt der Heizölbedarf für die thermische Behandlung von gefaultem Klärschlamm dann 515 kWh/Mg Klärschlamm-Frischmasse. In der Ergebnisübersicht ist dieses Ergebnis als „Zusatz-Öl für Temp.-Erhöhung“ dargestellt.

2. Verbesserte Dampfnutzung

→ Für die Potenzialanalyse 2020 wird angenommen, dass eine verbesserte Dampfverwertung durch Auslagerung der Dampfverwertung in eine Kraft-Wärme-Kopplung am Standort des Kraftwerks Reuter erfolgt.

Es wird identisch mit den Vorgaben für ungefaulten Klärschlamm angesetzt, dass künftig in Kraft-Wärme-Kopplung für die KSVA Netto-Wirkungsgrade von 7% elektrisch und 41% thermisch erzielt werden. Bezogen auf den gefaulten Klärschlamm ergibt sich gegenüber dem Stand 2010 eine Minderung des erzeugten Stroms in Höhe von -2.699 MWh und eine zusätzliche gewonnene Nutzwärmemenge von 13.229 MWh/a.

3. Hydrothermale Karbonisierung (HTC)

Die HTC ist ein geeignetes Verfahren, die Energiedichte des gefaulten Klärschlammes zu erhöhen und mit der erzeugten HTC-Kohle Primärenergieträger effizienter zu ersetzen als mit unbehandeltem Klärschlamm.

Dieses Verfahren nutzt die chemisch-physikalische Eigenschaft organischer Abfallstoffe, sich bei hohem Druck und hoher Temperatur (ca. 20 bar und 210°C) zu zersetzen. Die langkettige organische Substanz zerfällt in 3 - 6 Stunden, wobei anteilig Sauerstoff und Wasserstoff als Reaktionswasser abgespalten werden. In der Feststoffmasse reichert sich damit heizwertreicher Kohlenstoff an. Das kohleähnliche Material wird nachfolgend mechanisch entwässert und bildet einen Brennstoff mit einem mehrfach höheren Heizwert als der eingesetzte Klärschlamm. Die HTC-Behandlung von Klärschlämmen hat sich als effektiv erwiesen, um den in der Trockensubstanz gebundenen Energiegehalt des Klärschlammes auf rd. ein Viertel der Ausgangsmasse des entwässerten Klärschlammes zu konzentrieren. Das Verfahren ist energetisch vorteilhafter als die rein thermische Trocknung, da der Wassergehalt nicht durch Verdampfung, sondern in flüssiger Form mechanisch reduziert werden kann. Details zum Verfahren sind Anhang E zu entnehmen.

Eine industrielle HTC-Anlage der Fa. TerraNova zur Herstellung von Biokohle arbeitet seit 2010 erfolgreich auf der Kläranlage Kaiserslautern mit einem Durchsatz von 2.000 Mg/a (Buttmann 2010) Eine großtechnische Anlage zur Behandlung von 8.000 Mg TS/a bzw. rd. 35.000 Mg FS wurde 2012 in der Schweiz für die Kläranlage Oftringen ausgeschrieben.

Aus Angaben der Hersteller von HTC-Anlagen wurde eine spezifische Massen- und Energiebilanz in Tabelle 3-3 für den hier vorliegenden gefaulten und entwässerten Klärschlamm entwickelt.

Tabelle 3-3 Mengen- und Energiebilanz der HTC-Behandlung gefaulten Klärschlammes

Mengen und Energie HTC für Klärschlamm	Einheit	Spezifische Werte	
		HTC-Kohle	Klärschlamm
FS-Anteil v. KS-Input	%	26,7%	100%
Frischmasse	kg	267	1.000
Wassergehalt	%	30,0%	74,5%
Aschegehalt	% d.TS	37,1%	34,0%
spez. Heizwert Frischmasse	GJ/Mg FS	10,7	1,9
spezifischer Strombedarf	kWh/Mg FS	123	33
spezifischer Gasbedarf	kWh/Mg FS	625	125
Abwasser	m ³ /Mg FS	3,16	0,76

Ziel ist dabei, einen Heizölanteil der Stützfeuerung durch Kohle aus der hydrothermalen Karbonisierung von gefaultem Klärschlamm zu ersetzen. Mit der HTC vorbehandelt werden die rd. 33.836 Mg FS/a an gefaultem Klärschlamm, die derzeit zur KSVa Ruhleben extern angeliefert werden.

→ Für die Potenzialanalyse 2020 wird angenommen, dass der in der KSVa Ruhleben verbrannte gefaulte Klärschlamm mittels hydrothormaler Karbonisierung vorbehandelt wird, um mit der gewonnenen HTC-Kohle das eingesetzte Stützfeuerungsöl zu ersetzen.

Bei den hier vorliegenden Mengen gefaulten Klärschlammes sind gemäß Tabelle 3-3 rund 9.050 Mg FS/a an Klärschlamm-HTC-Kohle mit einem Heizwert von 2,98 kWh/kg erzeugbar. Bereitgestellt werden damit 26.980 MWh/a als Ersatz für Heizöl.

Die Emission von Lachgas in der Verbrennung der Kohle (in technisch optimiertem Zustand) wird als unbeeinflusst gegenüber dem unbehandelten Klärschlamm eingeschätzt, ebenso der Transportaufwand.

Als Standort der HTC empfehlen sich die Kläranlagen mit Faulung, da nach (Blöhse 2012) das mit TOC in der Größenordnung von 10 - 30 g/l belastete Abwasser aus der HTC gut vergärbar ist und dafür die Faultürme im Rahmen der vorhandenen Kapazität genutzt werden können.

Als Verfahren der Wasseraustrennung und Erhöhung der Energiedichte kommt grundsätzlich auch weiterhin die solare Trocknung in Frage, die in (WI/ICU 2009) für die Berliner Verhältnisse näher betrachtet wurde. Diese Option kann ebenfalls unter Bewertung der Standortbedingungen verfolgt werden. Die wesentlichen kritischen Punkte sind die jahreszeitlich stark unterschiedliche Sonneneinstrahlung und der hohe Flächenbedarf von rund 1 m²/Mg FS. Demgegenüber sind für die HTC für dieselbe Leistung zwischen 5 und max. 10% dieses Flächenbedarfs zu erwarten.

HTC-Verfahren für gefaulten Klärschlamm zur Mitverbrennung statt Trocknung

Grundsätzlich kommt das HTC-Verfahren auch für den derzeit thermisch getrockneten Klärschlamm vor der Trocknung und Mitverbrennung in Betracht. Da die technische Nutzungsdauer der bestehenden thermischen Klärschlamm-trocknung durch ein relativ hohes Alter der Trommeltrockner perspektivisch beschränkt ist, sollte bei Neueinrichtung einer Trocknung auch die Nutzung der hydrothermalen Karbonisierung als Alternative überprüft werden.

Das Verfahren wäre einsetzbar für die 55.805 Mg FS/a (25,5% TS) entwässerten gefaulten Klärschlämme der Kläranlagen Wassmannsdorf und Schönerlinde, die derzeit thermisch getrocknet werden. Derzeit werden dazu je Mg Klärschlamm-FS 615 kWh an Gasenergie eingesetzt, die zu 55,5% (341 kWh) aus Faulgas und zu 44,5% (274 kWh) aus Erdgas stammen. Für den Energiebedarf der HTC-Behandlung würde das Angebot an Faulgas nicht nur ausreichen, sondern noch einen über BHKW-Verstromung nutzbaren Überschuss an Faulgas von 216 kWh/Mg FS verfügbar machen. Diese freigesetzte Faulgasenergie würde bei Verstromung (unter Einsatz des mittleren BHKW-Wirkungsgrades der Faulgas-BHKW der BWB von 32%) eine zusätzliche Gutschrift erwirken.

Die THG-Bilanz für diese Maßnahme wurde berechnet und mit der Ist-Situation verglichen. Dabei zeigte sich nur eine geringfügige Veränderung gegenüber dem Ergebnis für die Klärschlamm-trocknung mit anschließender Mitverbrennung. Würde das Faulgas der Kläranlage vollständig über ein BHKW verstromt und damit sowohl für die HTC wie auch für die thermische Trocknung ausschließlich Erdgas eingesetzt, läge die Entlastungswirkung des HTC-Verfahrens um rund -75 kg CO₂-Äq/Mg FS höher als die der thermischen Trocknung. Da die derzeit praktizierte Faulgasverwertung auf den Kläranlagen nicht Gegenstand dieser Studie ist, wird vom IST-Stand der Gasverwertung ausgegangen. Da dafür die THG-Wirkung bei beiden Verfahrensweisen nahezu gleich ist, wird eine mögliche Umstellung auf HTC *nicht* weiter betrachtet.

Übersicht der Optimierungspotenziale für gefaulten Klärschlamm in der KSVa

Abbildung 3-3 stellt die Ergebnisse der Optimierungsmaßnahmen an der KSVa für gefaulten Klärschlamm zusammen. Wie bei Abbildung 3-2 gilt folgende Aufteilung: Links die Einzelwirkung der Maßnahme, in der Mitte die kumulierten Ergebnisse, rechts die Entwicklung, bezogen auf den IST-Stand.

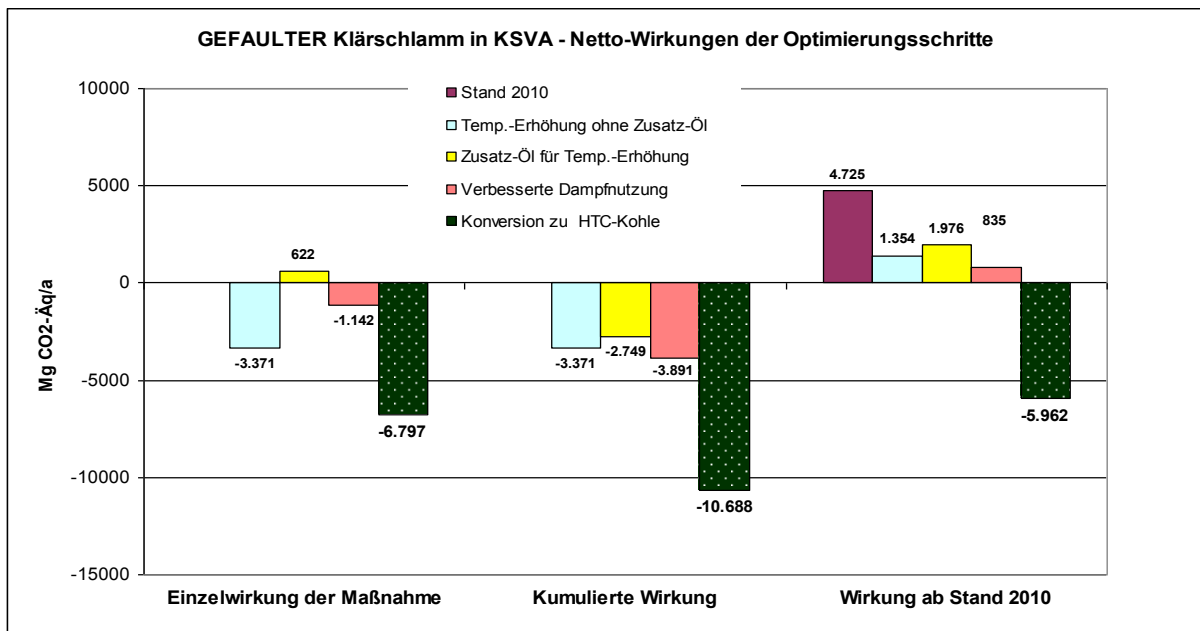


Abbildung 3-3 Potenzialanalyse Entsorgung gefaulten Klärschlamm in der KSVa

Die kumulierte THG-Wirkung bei den gefaulten Schlammern erreicht bei Umsetzung aller Maßnahmen auch bei erhöhtem Öleinsatz eine Entlastung von mindestens -10.688 Mg CO₂-Äq/a. Diese Summenentlastung verteilt sich zu

- 63,6% auf den Ersatz von Heizöl für die Stützfeuerung durch HTC-Kohle aus dem in der KSVa beseitigten gefaulten Schlammanteil,
- 25,7% auf die N₂O-mindernde Temperaturerhöhung einschließlich erhöhtem Ölbedarf,
- 10,7% auf die verbesserte Dampfnutzung.

Unter Umsetzung der Maßnahmen ändert sich Wirkung der Entsorgung des gefaulten Klärschlammes in Höhe von 8.638 Mg TS über die KSVa von einer THG-Belastung von 4.725 Mg CO₂-Äq/a zu einer THG-Entlastung von -5.962 Mg CO₂-Äq/a.

Für die gesamt entsorgte Menge an **gefaultem Klärschlamm** in Höhe von 46.332 Mg TS ergibt sich – unter Einschluss der Wirkung der Mitverbrennung in Kraft- und Zementwerken – eine Nettoentlastung von **-39.804 Mg CO₂-Äq für das Jahr 2020**. Gegenüber der Ist-Situation im Jahr 2010 entspricht dies einem THG-Minderungsbeitrag von **-10.688 Mg CO₂-Äq/a**.

3.8.3 Zusammenfassung der Optimierungspotenziale im Bereich der Klärschlamm Entsorgung

In den voranstehenden Kapiteln wurden die Optimierungspotenziale für Klärschlamm unterschieden nach den unterschiedlichen Abfalltypen ungenäuerter und genäuerter Klärschlamm betrachtet. Die getrennte Betrachtung ist notwendig, da die Klärschlämme aus unterschiedlichen Anfallstellen stammen. Eine gemeinsame bilanzielle Betrachtung wäre nur zulässig, wenn die Bilanzgrenze für die genäueren Klärschlämme um die Genäuerung erweitert würde und damit in allen Fällen die Abfallart „ungenäuerter Klärschlamm“ einheitlich betrachtet werden könnte.

Jedoch können die absoluten Ergebnisse der Einzelbilanzen addiert werden, um das Gesamtergebnis für Klärschlämme im Land Berlin darzustellen. Da die Optimierungspotenziale sowohl für ungenäueren als auch für genäueren Klärschlamm ausschließlich in der Optimierung der thermischen behandelten Mengen über die KSWA liegen und die betrachtete gesamte Klärschlammmenge den Gesamtdurchsatz dieser Anlage darstellt, entspricht das nachfolgend aufgezeigte additive Ergebnis dem Optimierungspotenzial für diese Anlage.

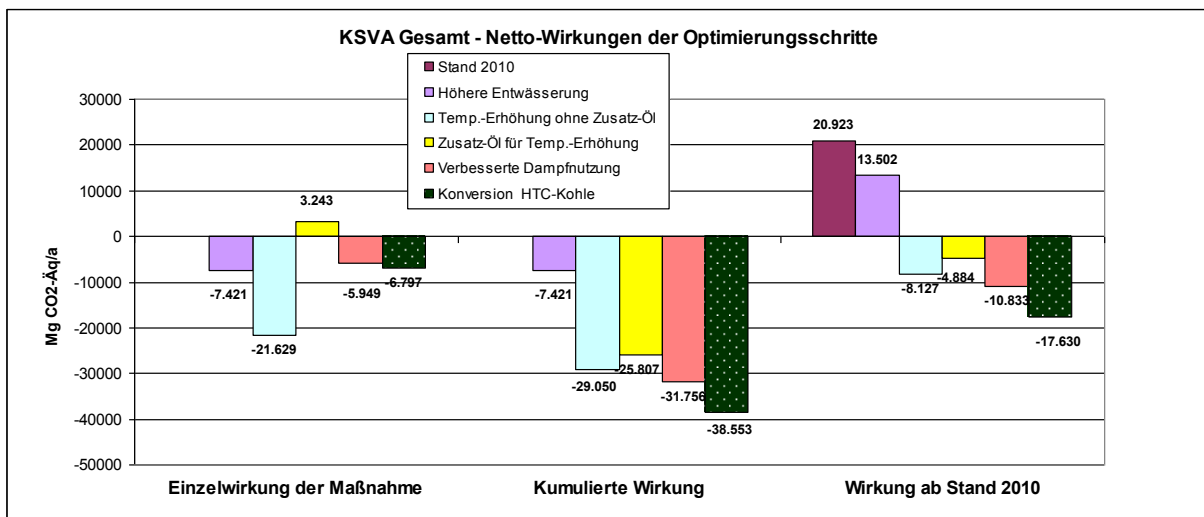


Abbildung 3-4 Potenzialanalyse Summe Entsorgung Klärschlamm in der KSWA

Die kumulierte THG-Wirkung bei den in der KSWA beseitigten Klärschlämmen erreicht insgesamt, bei Umsetzung aller Maßnahmen auch bei erhöhtem Öleinsatz, eine Entlastung von -38.553 Mg CO₂-Äq/a. Diese Summenentlastung verteilt sich zu

- 19,2% auf die verbesserte Entwässerung der ungenäueren Schlämme,
- 17,6% auf den Ersatz von Stützfeuerungsöl durch HTC-Kohle, hergestellt aus dem in der KSWA beseitigten genäueren Schlammanteil,
- 47,8% auf die N₂O-mindernde Temperaturerhöhung einschließlich erhöhtem Ölbedarf,
- 15,4% auf die verbesserte Dampfnutzung.

Die genannten Optimierungspotenziale liegen ausschließlich im Bereich der Klärschlammverbrennungsanlage Ruhleben bzw. der Konditionierung der dort verbrannten Klärschlämme. Die KSVA hat sowohl bei der Klärschlamm Entsorgung Berlins wie auch im Vergleich zu den Optimierungspotenzialen an anderen im Rahmen dieser Studie untersuchten Konzepten und Anlagen damit eine absolut herausragende Bedeutung.

Für die insgesamt hier betrachteten entsorgten Klärschlämme ergibt sich – unter Einschluss der Wirkung der Mitverbrennung in Kraft- und Zementwerken – eine Nettoentlastung von **-51.472 Mg CO₂-Äq für das Jahr 2020**, die in die Zusammenfassung der Potenzialanalyse für die Abfallentsorgung in Berlin eingehen. Gegenüber der Ist-Situation im Jahr 2010 entspricht dies einem THG-Minderungsbeitrag von **-38.553 Mg CO₂-Äq/a**.

3.9 Sperrmüll

Die Bestandsaufnahme für das Land Berlin zu Sperrmüll (Kap. 2.9) ergab, dass im Jahr 2010 Sperrmüll nach Abtrennung einer Holz-, Metall- und sonstigen Fraktion und Aufbereitung zu EBS in drei verschiedene EBS-Kraftwerke verbracht wurde. In Ermangelung genauerer Informationen wurde eine Gleichverteilung angenommen. Optimierungsmöglichkeiten bestehen aus Klimaschutzsicht in einer Umlenkung der energetischen Verwertung von den EBS-Kraftwerken hin zu einer Mitverbrennung der EBS-Fraktion in Zement- oder Kohlekraftwerken.

→ Für die Potenzialanalyse 2020 wird angenommen, dass EBS aus Sperrmüll (rund 83%) vollständig zur Mitverbrennung in das Zementwerk Rüdersdorf geht.

Durch diese Maßnahme und die damit einhergehende heizwertäquivalente Substitution von Braunkohle ergibt sich eine höhere THG-Entlastung als dies bei einem Einsatz in EBS-Kraftwerken möglich ist (vgl. Kap. 1.3.2). Für das Jahr 2020 berechnet sich das spezifische Ergebnis für die Entsorgung von Sperrmüll zu **-1.234 kg CO₂-Äq/Mg Sperrmüll** und damit um **-819 kg CO₂-Äq/Mg** besser als in der Bestandsaufnahme.

Hochgerechnet auf die gesamt verwertete Menge an Sperrmüll ergibt sich daraus eine Nettoentlastung von **-53.700 Mg CO₂-Äq für das Jahr 2020**, die in die Zusammenfassung der Potenzialanalyse für die Abfallentsorgung in Berlin eingehen. Gegenüber der Ist-Situation im Jahr 2010 entspricht dies einem THG-Minderungsbeitrag von **-35.631 Mg CO₂-Äq/a**.

Voraussetzung für einen entsprechenden Klimaschutzbeitrag ist, dass die erzeugte EBS-Fraktion aus Sperrmüll qualitativ so aufbereitet wird, dass diese für eine entsprechende Mitverbrennung geeignet ist. Das heißt, dass sie die Mindestanforderungen für EBS-Qualitäten nach Liste der Bundesgütegemeinschaft Sekundärrohstoffe einhalten. Vorteilhaft für Zement- und Kohlekraftwerke wären hohe Heizwerte (18-20 MJ/kg) oder ein Organikanteil von rund 70%. Im Rahmen der anstehenden Umweltbilanzierung werden weitere Umweltwirkungen (z.B. Luftschadstoffe) untersucht. Ein weiterer Vorbehalt für die Optimierung ist die Verfügbarkeit entsprechender Kapazitäten zur Mitverbrennung.

3.10 Straßenkehricht

Straßenkehricht wurde im Jahr 2010 im Land Berlin anteilig beseitigt (Handkehricht) und verwertet (Maschinenkehricht und Altstreugut) (Kap. 2.10). Die Bestandsaufnahme für

Handkehricht ergab, dass dieser zu 7% ins MHKW Ruhleben ging, zu 14% und zu 0,3% in die MPS-Anlagen und zu 78% in die MBA Schöneiche. Im spezifischen Nettoergebnis der THG-Bilanz ergibt sich aus diesem Behandlungssplit eine THG-Belastung. In der Bestandsaufnahme wurde auch erläutert, dass die Beseitigung von Straßenkehricht nicht unbedingt üblich ist. Für die Potenzialanalyse wird entsprechend eine vollständige gemeinsame Verwertung mit Maschinenkehricht und Altstreugut angenommen.

Die Bestandsaufnahme für Maschinenkehricht und Altstreugut ergab, dass diese im Jahr 2010 hälftig über die GAA Beeskow und die gbav in Berlin behandelt wurden. Über die GAA Beeskow liegen kaum Informationen vor. Vorteil der Behandlung über die gbav ist, dass in dieser Anlage auch Fraktionen separiert werden, die durch eine weitergehende Behandlung zu EBS aufbereitet werden können. Im Jahr 2011 wurde Straßenkehricht bereits vollständig über die gbav behandelt. Für die Potenzialanalyse wird entsprechend angenommen, dass Straßenkehricht auch im Jahr 2020 vollständig über die gbav oder eine vergleichbare Anlage behandelt wird. Im Unterschied zur Bestandsaufnahme wird dabei für die separierte Mittelfraktion angenommen, dass diese nicht mehr wie in 2010 über die MBA Schöneiche bzw. eine Bodenreinigungsanlage entsorgt wird, sondern zur Aufbereitung zu EBS in eine geeignete Aufbereitung, wie z.B. über die MBS ZAB Niederlehme, verbracht werden kann.

→ Insgesamt wird für die Potenzialanalyse 2020 angenommen, dass

- Handkehricht mit Maschinenkehricht und Altstreugut verwertet wird,
- der gesamte Straßenkehricht über die gbav oder eine vergleichbare Anlage behandelt wird, wobei die daraus separierte Mittelfraktion zu EBS aufbereitet wird und überwiegend zur Mitverbrennung in Kraft- und Zementwerke gelangt.

Eine Schwierigkeit bei der vorgesehenen Potenzialanalyse besteht darin, dass die Zusammensetzung von Altstreugut von Jahr zu Jahr variiert, je nach Winterverhältnissen ändert sich der Anteil Altstreugut. Für die Potenzialanalyse muss jedoch aus Gründen der Gleichbehandlung für eine Vergleichbarkeit die gleiche Menge an Altstreugut betrachtet werden wie in der Bestandsaufnahme. Der Anteil an Altstreugut wird, ausgehend von den Überlegungen in der Bestandsaufnahme, auf 45.000 Mg geschätzt.

Für die gemeinsame Behandlung von Handkehricht mit Maschinenkehricht und Altstreugut in der gbav liegen Betreiberinformationen vor, die auf den bestehenden Erfahrungswerten aus dem Jahr 2011 beruhen. Die danach gegebene Massenbilanz umfasst als Optimierung gegenüber der Bestandsaufnahme bereits eine permanente Behandlung eines Teils der Mittelfraktion über die Bodenwaschanlage, um eine bessere Trennung mineralischer und organischer Anteile zu erreichen.

Der Behandlungsprozess für Hand- und Maschinenkehricht stellt sich nach Angaben der gbav folgendermaßen dar: Zunächst erfolgt – wie für die Bestandsaufnahme geschildert – eine Siebung des Kehrichts, bei der über eine 50 mm Lochung eine Grob- und eine Mittelfraktion separiert werden. Die Grobfraktion (8% des Input) entspricht qualitativ der Grobfraktion aus der Bestandsaufnahme und wird entsprechend gleich in der THG-Bilanz bewertet. Ein Teil der Mittelfraktion wird im Weiteren gewaschen. Outputfraktionen sind eine gewaschene Organikfraktion (20%), eine gewaschene Mineralikfraktion (75%) und Feinstschlamm < 63 µm (5%) mit einem Glühverlust < 5%. Altstreugut kann vollständig als mineralische Fraktion abgelagert werden.

Bezogen auf die gesamt für die Potenzialanalyse betrachtete Menge von 101.557 Mg ergibt sich mit diesen Angaben folgende Massenverteilung aus der Behandlung über die gbav:

- 44,3% Altstreugut (45.000 Mg) z.B. zur Altablagerung
- 26,9% gewaschene Mineralikfraktion z.B. zur Altablagerung
- 15,4% Mittelfraktion, die ohne Waschung zu einer MBS verbracht werden kann
- 7,2% gewaschene Organikfraktion zu einer MBS (z.B. ZAB Niederlehme)
- 4,5% Grobgut zu einer MBS (z.B. ZAB Niederlehme)
- 1,8% Feinstschlamm zur Ablagerung auf einer DK II Deponie

Für Altstreugut und die gewaschene Mineralfraktion wird analog der Bestandsaufnahme von keinen weiteren Emissionen aus der Ablagerung ausgegangen. Analoges gilt für die Ablagerung des Feinstschlammes auf einer DK II Deponie. Das Grobgut wird – wie erwähnt – gleich bewertet wie in der Bestandsaufnahme. Für die Mittelfraktion, die direkt weiter behandelt werden kann, und für die aus der Mittelfraktion gewaschene Organikfraktion wurden für die Potenzialanalyse genauere Kerndaten für die Behandlung in der MBS ZAB Niederlehme bestimmt. Basierend auf Messungen aus dem Jahr 2003 für die Mittelfraktion sowie Abschätzungen für die gewaschene Organikfraktion wurde ein mittlerer TS- und oTS-Gehalt ermittelt und basierend darauf bestimmt, dass aus der Behandlung in der MBS 32% des Input als Inertfraktion anfallen, die abgelagert wird, und zu 41% eine EBS-Fraktion erzeugt werden kann. Die restlichen Anteile stellen Verluste dar.

Der Heizwert für diese EBS-Fraktion wurde zu 9,5 MJ/kg ermittelt, der fossile C-Gehalt wurde zu 6,2% geschätzt (Annahme: Hälfte des Gehaltes im EBS aus Grobgut, da deutlich weniger Kunststoffe im EBS aus der Mittelfraktion resultieren).

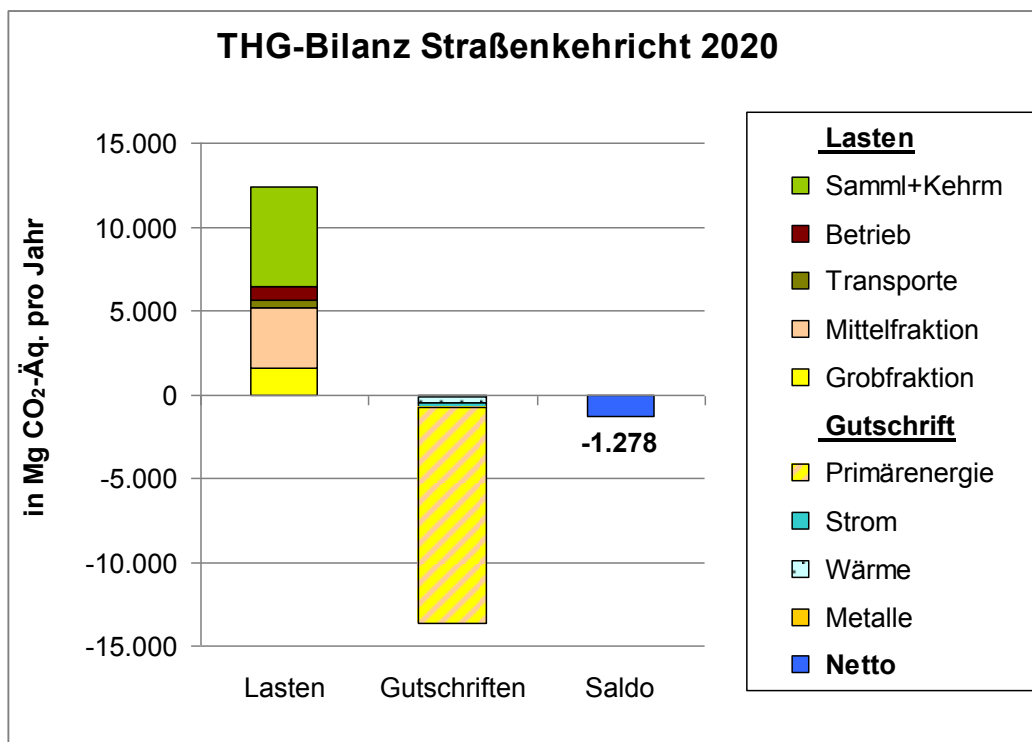


Abbildung 3-5 Potenzialanalyse Entsorgung Straßenkehrriecht

Das sich aus den geschilderten Randbedingungen ergebende absolute Ergebnis für die Verwertung von Straßenkehrriech ist in Abbildung 3-5 dargestellt. Gegenüber der Bestandsaufnahme zeigt sich, dass die in 2010 gegebene THG-Belastung im Nettoergebnis mit der Potenzialanalyse in eine knappe THG-Entlastung umgewandelt werden kann. Dies ergibt sich durch die Annahme, dass der gesamte Straßenkehrriech über die gbav oder eine ähnliche Anlage verwertet wird und dabei durch die weitere Behandlung der erzeugten Grobfraktion und anteilig der erzeugten Mittelfraktion über eine MBS nunmehr eine deutlich höhere Menge an EBS erzeugt werden kann (insgesamt rund 11.500 Mg gegenüber rund 640 Mg in 2010). Da die erzeugte EBS-Fraktion zu 90% zur Mitverbrennung in Braunkohlekraftwerke und ins Zementwerk geht, ergibt sich eine entsprechend hohe THG-Entlastung, die die THG-Belastung – vor allem aus dem Einsatz der Kehrmaschine und durch fossile CO₂-Emissionen der Mitverbrennung – überwiegt. Eine C-Senke ist in der Potenzialanalyse nicht mehr nachrichtlich ausgewiesen, da keine Mengen mehr über eine MBA behandelt werden.

Das absolute Ergebnis für die in der Potenzialanalyse gesamt betrachtete Menge an Straßenkehrriech von 101.557 Mg beläuft sich **für das Jahr 2020 auf -1.278 Mg CO₂-Äq.** Gegenüber der Ist-Situation im Jahr 2010 für die gleiche Menge entspricht dies einem THG-Minderungsbeitrag von **-7.998 Mg CO₂-Äq/a.**

3.11 Trockene Wertstoffe

In der Bestandsaufnahme für trockene Wertstoffe (Kap. 2.11) sind Papier/Pappe/Kartonagen (PPK), Altglas, Leichtverpackungen (LVP), Wertstoffe im Sammelsystem Gelbe Tonne Plus (GTP) und Wertstoffe im Sammelsystem Orange Box entsprechend ihrer getrennten Erfassung einzeln beschrieben.

Für die ausschließliche Verwertung der trockenen Wertstoffe PPK, Glas und LVP werden keine Optimierungen betrachtet. Einflussmöglichkeiten der Kommune liegen auch weniger im Bereich der letztendlichen Verwertung von z.B. PPK in der Papierfabrik als vielmehr in der Förderung einer Steigerung der getrennten Erfassung von Wertstoffen.

Als dafür in Frage kommende Maßnahmen werden in dieser Studie die flächendeckende Einführung einer einheitlichen Wertstofftonne sowie die Einführung von Müllschleusen – bzw. zumindest eines entsprechenden Abfallmanagements – in Blockbebauungen und Großwohnanlagen betrachtet.

3.11.1 Sammelsystem Wertstofftonne und Potenzial gesteigerte getrennte Erfassung von Wertstoffmengen

Die einheitliche Wertstofftonne wird sich bundesweit als neues Sammelsystem etablieren. So ist beispielsweise vorgesehen, die Verpackungsverordnung zu einem Wertstoffgesetz fortzuentwickeln. Zentrales Element ist das Konzept einer einheitlichen Wertstofftonne, in der Verpackungswertstoffe und Nichtverpackungswertstoffe mit dem Ziel einer effizienten Verwertung gemeinsam erfasst werden.

Im Kreislaufwirtschaftsgesetz ist zur Einführung einer rechtlichen Vorgabe zur Erfassung eine Ermächtigungsklausel für den Erlass einer Rechtsverordnung enthalten (§ 10 (1)), in der Anforderungen an das Bereitstellen, Überlassen, Sammeln und Einsammeln von Abfällen in einer einheitlichen Wertstofftonne oder eine einheitliche Wertstofffassung fest-

gelegt werden können. Derzeit ist allerdings auf Bundesebene noch offen, wann eine entsprechende Gesetzesvorlage zu erwarten ist.

Für das Land Berlin hat sich die Situation mittlerweile in Richtung einer einheitlichen Wertstofftonne geklärt. Mitte 2012 wurde eine Vereinbarung zwischen der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt, den Berliner Stadtreinigungsbetrieben und den für die Verpackungsabfälle zuständigen Dualen Systemen getroffen, nach der ab dem 01. Januar 2013 eine einheitliche Wertstofftonne in Berlin flächendeckend eingeführt wird.

Damit werden die bisherigen parallelen Sammelsysteme zur zusätzlichen Erfassung von Nichtverpackungen, die Gelbe Tonne Plus und die Orange Box, zusammengeführt. In der Wertstofftonne werden ausschließlich Verpackungsabfälle und stoffgleiche Nichtverpackungen (StNVP) gesammelt³⁸. Elektrokleingeräte, Holz und Alttextilien müssen ab Januar 2013 wieder über die BSR-Recyclinghöfe bzw. BSR-Sperrmüllabfahren entsorgt werden.

Über die Wertstofftonne ausschließlich Verpackungen und stoffgleiche Nichtverpackungen zu sammeln, entspricht den Empfehlungen aus (UBA 2011b), wonach die Sammlung und Verwertung von weiteren Wertstoffen als stoffgleiche Nichtverpackungen als bedenklich oder nicht zu empfehlen eingestuft wird³⁹. Im Rahmen dieser Studie wird diesen Empfehlungen ebenfalls gefolgt, was auch im Einklang mit der o. g. Vereinbarung steht. Zumal beispielsweise der Mengenanteil an Elektrokleingeräten, der über die GTP im Jahr 2010 miterfasst wurde, mit 0,1% bzw. 5 Mg gering war und in der THG-Bilanz dieser Studie nicht weiter betrachtet wurde.

Grundsätzlich zu beachten gilt, dass die Verwertung der gesammelten Wertstoffe den Anforderungen der Verpackungsverordnung entsprechen muss (Verwertungsquoten). Daher sollte die Sortierung in Sortieranlagen nach dem Stand der Technik erfolgen. Zudem empfiehlt sich eine möglichst lokale Verwertung zur Vermeidung überflüssiger Transportemissionen.

Die Anforderungen aus einem künftigen Wertstoffgesetz sind derzeit noch nicht absehbar. Basierend auf einer im Auftrag des Umweltbundesamtes durchgeführten Untersuchung (Öko-Institut/HTP 2012) wurden entsprechende Empfehlungen abgeleitet. Danach wird ein zweigeteiltes Quotensystem vorgeschlagen:

- zum einen soll eine pauschale Pro-Kopf-Erfassungsmenge vorgegeben werden, die größer sein soll als der Vorjahreswert mit einem Startwert von mindestens 22 kg/(E*a) und
- zum anderen sollen spezifische Verwertungsquoten für Wertstofffraktionen festgelegt werden (berechnet als Masse der zugeführten spezifischen Wertstofffraktionen im Eingang der Verwertung – vorbehaltlich Eignungsnachweis – dividiert durch eben diese Menge zzgl. der korrespondierenden Wertstoffinhalte in Sortierresten). Die vorgeschlagenen Verwertungsquoten (Startwerte) betragen für:

³⁸ <http://www.berlin.de/special/immobilien-und-wohnen/nachrichten/2497039-2340281-muell-berlin-bekommt-einheitliche-wertst.html>

³⁹ Insbesondere für die Elektrokleingeräte kommt das Vorhaben zum Ergebnis, dass für diese Fraktion im Grundsatz die Monoerfassung (wie nach ElektroG) einer gemischten Erfassung in einer Wertstofftonne vorzuziehen ist.

- Fe-Metalle 95%
- NE-Metalle 72%
- Kunststoffbeschichtete Kartonverpackungen 80%
- Kunststoffe 90%, davon 60% werkstofflich

Eine Prüfung der empfohlenen Quoten für Berlin ergab, dass der Startwert in Berlin durch die bestehende LVP-Erfassung bereits im Jahr 2010 fast erreicht wurde, gesammelt wurden 21,8 kg/(E*a). Auch eine Einschätzung der empfohlenen Verwertungsquoten für die oben aufgeführten Wertstofffraktionen ergab, dass diese bereits nahezu erreicht werden. Einzige Ausnahme bildet die Anforderung der 60%igen werkstofflichen Verwertung von Kunststoffen.

Kunststoffverpackungen bilden mit etwa 70% die Hauptfraktion der in Berlin gesammelten LVP (Tabelle 2-14). Aus dieser Kunststofffraktion werden zu rund 80% Mischkunststoffe (MKS) und EBS aussortiert. Da MKS in Berlin im Jahr 2010 vollständig energetisch verwertet werden⁴⁰, würde das Ziel einer 60%igen stofflichen Verwertung nicht erreicht werden.

Im Rahmen der Potenzialanalyse wird eine entsprechende Umlenkung nicht untersucht, da keine repräsentativen Informationen zur Verfügung stehen, welche alternative werkstoffliche Verwertung für MKS und EBS in Frage käme und mit welchem höherem Aufwand die Sortierung ggf. verbunden wäre.

Eine Umlenkung der MKS ist aus Sicht des Klimaschutzes sinnvoll, wenn die MKS hochwertig verwertet werden können, d.h. möglichst eine weitergehende Separierung in Kunststoffarten erfolgen kann. Da für die energetische Verwertung der MKS aus dem Land Berlin eine vollständige Mitverbrennung in Zementwerken angenommen wurde, wird durch die dabei entsprechend angerechnete Kohlesubstitution auch eine vergleichsweise hohe THG-Entlastung erreicht, die voraussichtlich nur durch eine hochwertige werkstoffliche Verwertung übertroffen werden könnte.

Generell sollte die Sortierung von LVP bzw. StNVP in Sortieranlagen nach dem Stand der Technik erfolgen, wie es in Berlin bei der Anlage Hultschiner Damm gegeben ist. Die Sortierung der Mengen aus der Orange Box, die im Pilotversuch über die MA ORS Grünauer Str. erfolgte, ist aus gutachterlicher Sicht wenig geeignet für die Sortierung von Wertstoffen aus der Wertstofftonne. Die Anlage verfügt über zwei Verfahrenslinien, die beide im Wesentlichen eine Siebung durchführen und ansonsten Aufgabezerkleinerung, Magnetabscheider und Sortierung des Siebüberlaufs in PPK, PE/PP, E-Schrott, Holz und MKS. Entsprechend gering ist die Wertschöpfung im Vergleich zu den Potenzialen nach den durchgeführten Sortieranalysen des Materials (vgl. Kap. 2.11.5).

Ab 2013 sollten die Inhalte der Wertstofftonne vollständig einer Sortierung in Sortieranlagen nach dem Stand der Technik zugeführt werden. Eine schematische Darstellung einer solchen Sortierung findet sich in (Öko-Institut/HTP 2012), die hier in Abbildung 3-6 aufgrund der guten Anschaulichkeit einkopiert ist.

⁴⁰ Die durch ALBA im Auftrag der Dualen Systeme behandelten MKS (50% der gesamten Menge) werden nur dann stofflich verwertet, wenn die Verwertungsquoten von Kunststoffen nicht erreicht werden, was bisher nicht der Fall war. Für die weiteren 50% durch die DSD verwertete Menge wurde analoges angenommen (s. Bestandsaufnahme).

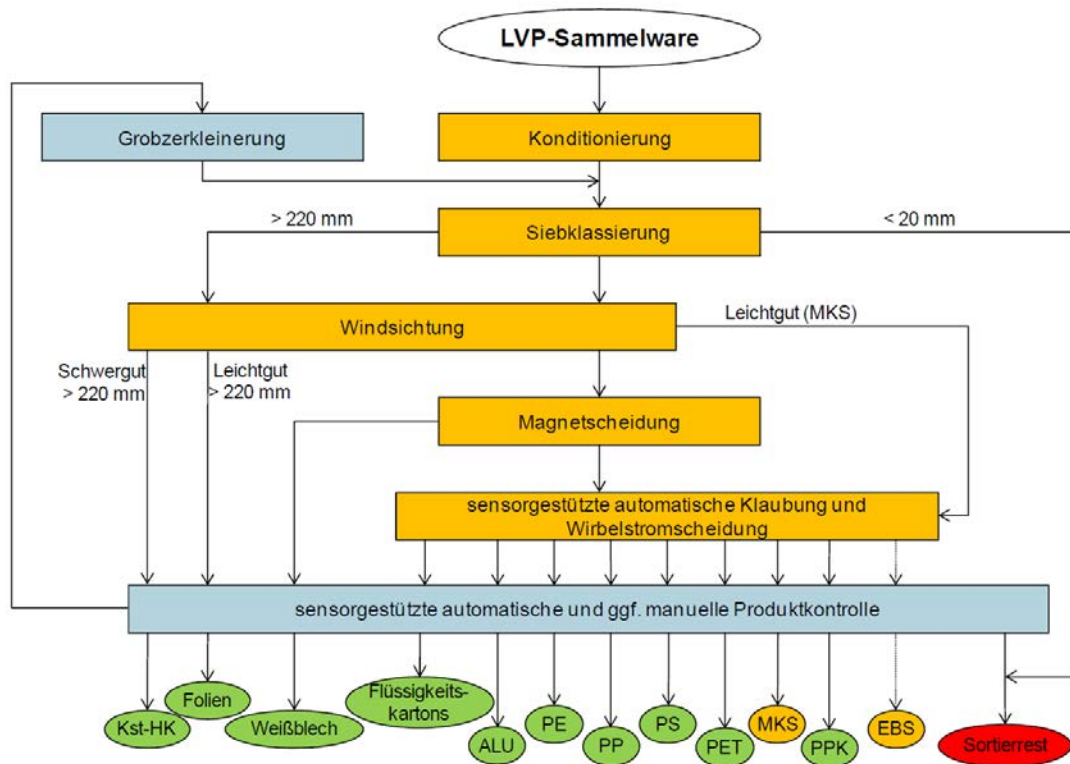


Abb. 3.2: Schematische Darstellung der LVP-Sortierung nach Stand der Technik

Abbildung 3-6 Schematische Darstellung der LVP-Sortierung nach Stand der Technik
Quelle: (Öko-Institut/HTP 2012)

Ebenfalls in (Öko-Institut/HTP 2012, S.16) sind Faktoren für einen Sortiererfolg genannt wie beispielsweise

- Windsichtung der Siebfraction zur Auftrennung in folienartige und sonstige Komponenten,
- Nachreinigung der Metallfraction über automatische Klaubesysteme mit Hilfe spektrometrischer Detektion,
- Sortierung formstabiler Kunststoffe nach Kunststoffart zur Minimierung der Mischkunststofffraction in Abstimmung an die Anforderungen hochwertiger Recyclate, usw.

Die insgesamt genannten Faktoren sollten für eine künftige Sortierung der Wertstoffe aus der Wertstofftonne in Berlin beachtet werden.

Potenzial gesteigerte getrennte Erfassung von Wertstoffen im Sammelsystem Wertstofftonne

Die grundsätzliche Steigerungsfähigkeit der Getrenntsammlung ist bereits im Abfallwirtschaftskonzept 2010 für Berlin (SenGUV 2010a) beschrieben. Darin zitiert wird die Berliner Hausmülluntersuchung (Argus 2009b), wonach im Jahr 2008 folgende Gewichtsanteile getrennt erfasst wurden:

- PPK mit einem Anteil von 67%
- Glas mit einem Anteil von 54%
- LVP mit einem Anteil von 53%
- Organik mit einem Anteil von 13%

Für das Jahr 2010 findet sich diese Situation weitgehend unverändert, lediglich für die getrennt erfassten Organikmengen ermittelt sich ein Anteil zu 17% (im Weiteren s. Kap. 3.18). Im Abfallwirtschaftskonzept ist dargelegt, dass durch eine Optimierung und den Ausbau des vorhandenen Getrenntsammlersystems für Verpackungen durch die Miterfassung insbesondere von stoffgleichen Nicht-Verpackungen eine zusätzliche relevante Erfassung angestrebt wird.

Für die in der Bestandsaufnahme beschriebenen Erfassungssysteme für trockene Wertstoffe, die Gelbe Tonne Plus und die Orange Box, werden folgende Aussagen zugrunde gelegt:

Nach einer aktuellen Untersuchung zur Gelben Tonne Plus im Auftrag von ALBA (u.e.c. 2011), können durch die haushaltsnahe Erfassung von LVP zusammen mit stoffgleichen Nichtverpackungen (i.d.R. Kunststoffen, Metallen) und sonstigen Wertstoffen (v.a. Elektrokleingeräte) in einem Sammelgefäß bis zu 7 kg/(E*a) zusätzlich erfasst werden.

Nach aktuellen Ergebnissen aus der wissenschaftlichen Begleitung zur Einführung der Wertstofftonne in Berlin im Auftrag der BSR ergaben Auswertungen für die Orange Box (Projektphase II) ein Umlenkungspotenzial aus dem Hausmüll von 5-8 kg/(E*a)⁴¹.

Hochgerechnet auf die Berliner Einwohnerzahl (Stand 31.12.2010) in Höhe von rund 3,46 Mio. ergäbe sich aus den genannten Zahlen im Mittel eine zusätzlich getrennt erfassbare Menge von etwa 23.000-24.000 Mg.

Für die Potenzialanalyse sowie für das Optimierungsszenario zur Steigerung der getrennten Erfassung von trockenen Wertstoffen wird von einer Steigerungsmöglichkeit durch Einführung einer flächendeckenden Wertstofftonne von **25.000 Mg** im Jahr 2020 ausgegangen. Bezogen auf die Berliner Einwohnerzahl entspricht dies einem Pro-Kopf-Aufkommen von 7,2 kg/(E*a).

3.11.2 Müllschleusenprojekt und Abfallmanagement

Ein weiteres Potenzial zur Steigerung der getrennten Erfassung leitet sich aus den Ergebnissen einer kürzlich abgeschlossenen Untersuchung zu Müllschleusen in Berliner Wohnanlagen ab.

Durchgeführt wurde das Projekt von der Innotec Abfallmanagement GmbH in Zusammenarbeit mit dem Öko-Institut Berlin und einem großen Berliner Wohnungsbauunternehmen. An neun Standorten in Berlin-Wedding wurden 2009 intensiv betreute Müllschleusen zur Verbesserung der Mülltrennung mit dem Ziel einer Reduktion des Restmüllaufkommens eingeführt.

⁴¹ Mitteilung der BSR an SenStatUm per Email 28.11.2011

Zur Dokumentation des Reduktionserfolges wurden 2009 vor der Umstellung über 2 Wochen und 2012 über 6 Wochen die Behälterinhaltsgewichte vor jeder Leerung gewogen. Betrachtete Fraktionen waren: Restmüll, Bioabfall, LVP, PPK, Weiß- und Buntglas.

Nach Auswertungen des Öko-Institutes zeigen sich deutliche Mengensteigerungen durch die Einführung der Müllschleusen.

- für Biomüll von 23,1 kg/(E*a) auf 65,2 (im Weiteren s. Kap. 3.18)
- für Buntglas von 2,6 auf 6,8 kg/(E*a); für Weißglas von 0,8 auf 13,5 kg/(E*a)
- für PPK von 24,6 auf 33,1 kg/(E*a)
- für LVP von 4,5 auf 42,3 kg/(E*a)

Die Steigerungen für Glas sind allerdings wahrscheinlich keine Entnahmen aus der Restmülltonne, sondern Umlenkungen aus dem Bringsystem in das Holsystem, da zu Versuchsbeginn 2009 nur wenige Glas-Sammelbehälter bereit standen.

Für PPK überraschen die niedrigen Mengen. Zum Vergleich: Im Jahr 2010 wurden berlinweit bereits rd. 54 kg/(E*a) getrennt erfasst. Hier könnte sich bemerkbar machen, dass relevante PPK-Mengen an gewerbliche Sammler abgegeben werden.

Für LVP dagegen überrascht die Steigerung der getrennten Erfassung um das 10-fache. Allerdings liegt das Ausgangsniveau mit 4,5 kg/(E*a) auch sehr niedrig. Hier könnte sich ein neues Phänomen in Großstädten bemerkbar machen, das „waste picking“ in Abfallbehältern auf der Suche nach Pfandflaschen, wobei „nicht brauchbare“ Verpackungsabfälle beim Aussortieren in andere Tonnen (Restmüll, Bioabfall) geworfen werden. Der Endwert von 42,3 kg/(E*a) ist gegenüber den berlinweit im Jahr 2010 erfassten Mengen von rund 22 kg/(E*a) doppelt so hoch. Allerdings waren im Berliner Projekt bereits Gelbe Tonnen Plus vorhanden, so dass die Steigerung auch durch die zusätzliche getrennte Erfassung von StNVP geprägt ist. Zudem liegt der Endwert im Vergleich zu Müllschleusenprojekten in anderen deutschen Städten etwa im mittleren Bereich. In den Städten Erfurt, Hamburg und Dresden wurden Endwerte für LVP (ohne GTP) zwischen 32 und 64 kg/(E*a) erreicht.

Das Ziel des Versuchs, die Reduktion des Restmüllaufkommens, wurde durch die Einführung der Müllschleusen erreicht und in den Erwartungen übertroffen. Dabei muss berücksichtigt werden, dass diese Versuche in problematischen Wohnanlagen durchgeführt wurden.

Aufgrund von positiven Ergebnissen aus verschiedenen Pilotprojekten haben die vier größten kommunalen Berliner Wohnungsbauunternehmen ein Abfallmanagement (inkl. intensive Beratung) bei rund 138.000 Wohneinheiten (WE) beauftragt. Durch dieses Abfallmanagement soll bei diesen WE ein spezifisches Restmüllbehältervolumen von rund 40-50 Liter pro Wohneinheit und Woche mit der einhergehenden Kosteneinsparung zwischen 39,4 und 52,24 Prozent bis 2015 erreicht werden.

Basierend auf diesen Ergebnissen wird für die Potenzialanalyse sowie das Optimierungsszenario zur gesteigerten getrennten Erfassung von trockenen Wertstoffen im Jahr 2020 angenommen, dass Müllschleusen bzw. ein umfassendes Abfallmanagement bei Großwohnanlagen (GWA) vollständig und bei Blockbebauungen zumindest anteilig umgesetzt werden. Insbesondere den kommunalen Wohnungsbauunternehmen kommt dabei eine Vorbildfunktion nach dem Berliner Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz zu (GWA gehören vorwiegend kommunalen Berliner Wohnungsbauunternehmen). In diesem Zusam-

menhang wird darauf hingewiesen, dass derartige Systeme auch zu deutlichen Kosteneinsparungen von rund 20% bei den Bürgern führen.

Anhand der Versuchsergebnisse und der gegebenen Situation in Berlin 2010 (bereits getrennte Erfassung, Potenzial im Haus- und Geschäftsmüll) wird von folgenden Steigerungsmöglichkeiten der getrennten Erfassung von trockenen Wertstoffen durch die Einführung von Müllschleusen bzw. Abfallmanagement in Großwohnanlagen und Blockbebauungen für 2020 ausgegangen:

PPK: Aufgrund der geringen Mengen im Versuch wird die dokumentierte Steigerung vollständig angesetzt. Absolut entspricht dies einer Entnahme aus dem Haus- und Geschäftsmüll von **22.894 Mg** bzw. einer Steigerung der getrennten Erfassung von PPK um 12%.

LVP: Aufgrund der sehr hohen Steigerung im Versuch um den Faktor 10 wird die dokumentierte Steigerung nur anteilig angesetzt. Als Zielwert wird davon ausgegangen, dass Pro Kopf etwa die doppelte Menge erfasst werden kann wie durch die Einführung der Wertstofftonne. Die im vorangehenden Kapitel dargestellten rund 7 kg/(E*a), die durch die Wertstofftonne zusätzlich erfasst werden können, sind in der Steigerungsmenge des Müllschleusenprojektes enthalten. Absolut wurde die Entnahme aus dem Haus- und Geschäftsmüll zu rund **41.000 Mg für die beiden Siedlungsgebietsstrukturen** Großwohnanlagen und Blockbebauungen ermittelt. Bezogen auf die Einwohnerzahl in den Berliner Blockbebauungen und GWA entspricht dies einer spezifischen Erfassung für diese Wohngebiete von rund 15 kg/(E*a).

Glas: Es wird keine Steigerung angesetzt, da vermutlich überwiegend eine Umlenkung aus dem Bringsystem erfolgte.

Für die Potenzialanalyse sowie das Optimierungsszenario wird von einer Steigerungsmöglichkeit durch die Einführung von Müllschleusen bzw. Abfallmanagement von 41.000 Mg LVP und 22.894 Mg PPK im Jahr 2020 ausgegangen.

3.11.3 Optimierungspotenzial Steigerung getrennte Erfassung

Die gesamte Steigerungsmenge für eine getrennte Erfassung von trockenen Wertstoffen in Berlin setzt sich aus den Mengen zusammen, die sich aus der Einführung der Wertstofftonne ergeben und den Mengen, die sich durch Müllschleusen bzw. Abfallmanagement erzielen lassen. In der zuvor abgeleiteten Menge an LVP aus dem Müllschleusenprojekt sind neben LVP auch Mengen an StNVP enthalten, da im Berliner Projekt bereits das Sammelsystem GTP vorhanden war. Das heißt, die im Kapitel 3.11.1 abgeleitete Menge von 25.000 Mg ist darin zum Großteil enthalten. Aus dieser Menge sind lediglich noch die zusätzlichen Erfassungspotenziale aus den Außenbezirken zusätzlich zu berücksichtigen, die sich auf rund 5.500 Mg belaufen⁴².

Zusammengefasst ergeben sich daraus folgende Steigerungsmengen, die für das Optimierungsszenario 2020 (Kap. 4.1.1) angesetzt werden:

PPK: 22.894 Mg

LVP: 46.500 Mg (41.000 Mg + 5.500 Mg)

⁴² 7,2 kg/(E*a) mal Einwohnerzahl Außenbezirke

Bezogen auf die Berliner Einwohnerzahl entspricht dies einer spezifischen zusätzlichen Erfassung für PPK von 6,6 kg/(E*a) und für LVP von 13,4 kg/(E*a).

Die Aufteilung der Menge LVP und StNVP in Wertstofffraktionen erfolgt in Anlehnung an die Daten zum Potenzial trockener Wertstoffe im Berliner Hausmüll (Stand 2008 in (SenGUV 2010b)).

Betrachtet werden ausschließlich die LVP- bzw. StNVP-Materialien Kunststoffe, Metalle und Verbunde (ohne Verbundmöbel), da nur diese für das Sammelsystem Wertstofftonne vorgesehen sind. Denkbar wäre auch die Betrachtung der Fraktion Holz, da anteilig auch Holzverpackungen gegeben sind. Allerdings ist der Holzanteil im Restmüll vergleichsweise gering (0,4%) und ebenso die nach (SenGUV 2010b) angegebenen Potenziale (0,7 kg/(E*a)). Entsprechend wurde für das Optimierungsszenario 2020 keine Steigerung der getrennten Erfassung von Holz angenommen. Die Potenziale nach (SenGUV 2010b) und die daraus abgeleiteten Mengen an entnehmbaren Wertstofffraktionen sind in Tabelle 3-4 aufgeführt.

Tabelle 3-4 Potenziale und Entnahme LVP und StNVP aus dem Haus- und Geschäftsmüll nach Abfallarten

Fraktionen	spez. im Restmüll nach (SenGUV 2010b) in kg/(E*a)	spez. Entnahme für Szenario in kg/(E*a)	absolut Entnahme für Szenario in Mg
Kunststoffe	14,0	6,4	22.000
Metalle	4,4	2,0	7.000
Holz	0,7	0	0
Verbunde	11,3	5,1	17.500
Summe	30,4	13,4	46.500

Die weitere Aufteilung dieser Wertstofffraktionen in Unterfraktionen wurde für das Optimierungsszenario 2020 nach der bestehenden Aufteilung für die Gelbe Tonne Plus vorgenommen, da diese weitgehend dem Prinzip der einheitlichen Wertstofftonne entspricht. Die ebenfalls über die GTP gesammelten Elektrokleingeräte hatten im Jahr 2010 nur einen geringen Anteil von 0,1%. Analog der Zusammensetzung der GTP wurde für die zusätzlich getrennt erfassbare Wertstoffmenge angenommen, dass diese mit dem gleichen höheren Sortierrestanteil verbunden ist. Die im Ergebnis resultierende Zusammensetzung der Wertstofftonne für das Optimierungsszenario 2020 zeigt Tabelle 3-5. Ebenfalls in der Tabelle aufgeführt sind zum Vergleich die Zusammensetzungen für die Gelbe Tonne und die GTP im Jahr 2010.

Tabelle 3-5 Ableitung Zusammensetzung Wertstofftonne für das Optimierungsszenario 2020 im Vergleich zu Zusammensetzung Gelbe Tonne und GTP 2010

LVP-Sortierfraktionen	Gelbe Tonne 75.545 Mg	GTP + Steigerung 4.500 + 75.000 Mg	Wertstofftonne 155.045 Mg
Weißblech	11,6%	11,3%	11,6%
Aluminium	3,3%	2,1%	2,9%
sonstige PPK Verbunde	1,9%	5,6%	8,1%
FKN	6,9%	4,9%	10,2%
Nichtverpackungen	0,3%	-	-
Summe Kunststoffe	72,2%	67,3%	61,2%
Folien	5,1%	4,0%	4,1%
Kunststoffarten	8,9%	8,4%	7,6%
Mischkunststoffe (MKS)	37,8%	35,2%	32,1%
EBS-Produkte	20,1%	19,7%	17,3%
Sortierreste	3,8%	8,7%	5,8%
Elektrokleingeräte	-	0,1%	-
Summe	100%	100%	100%

Das Optimierungsszenario zur gesteigerten getrennten Erfassung von trockenen Wertstoffen ist in Kapitel 4.1.1 dargestellt.

3.12 Alttextilien

Die Bestandsaufnahme zu Alttextilien (Kap. 2.12) ergab, dass Alttextilien nur zu einem kleinen Anteil über die öffentliche Entsorgung erfasst werden (2.304 Mg). Daher wurde basierend auf bundesdeutschen Kennwerten die gesammelte Menge für das Land Berlin abgeleitet (31.749 Mg). Für diese Menge wurde im Jahr 2010 angenommen, dass sie zu 60% wiederverwendet wird und zu 40% zur Mitverbrennung in Steinkohlekraftwerke geht.

Optimierungsmöglichkeiten bestehen aus Klimaschutzsicht in einer Steigerung des Anteils zur Wiederverwendung. Die Textilherstellung – angenommen ist eine Mischung aus 40% synthetischem Material und 60% Baumwolle – ist mit vergleichsweise sehr hohen Treibhausgasbelastungen verbunden (12.700 kg CO₂-Äq/Mg Textil). Und auch wenn für eine Wiederverwendung nur die halbe Lebensdauer von neuen Textilien angerechnet werden könnte, würde dies einem erheblichen Klimaschutzbeitrag entsprechen, wie das Ergebnis der Bestandsaufnahme zeigt.

Allerdings kann zu der Qualität der erfassten Alttextilien keine gesicherte Aussage gemacht werden. Aktuelle Modetrends wie „stone washed“ Jeans und mindere Qualitäten neuen Materials verkürzen die Lebensdauer maßgeblich. Da keine belastbare Einschätzung zur Steigerungsmöglichkeit der Wiederverwendung gemacht werden kann, wird von einer Bilanzierung der damit verbundenen THG-Entlastung im Rahmen der Potenzialanalyse abgesehen.

3.13 Altteppiche

Die Bestandsaufnahme zu Altteppichen (Kap. 2.13) ergab, dass Altteppiche im Jahr 2010 vollständig in verschiedenen EBS-Kraftwerken eingesetzt wurden. Basierend auf den durchschnittlichen Wirkungsgraden für die EBS-Kraftwerke in Deutschland und aufgrund des hohen fossilen Kohlenstoffgehaltes in Altteppichen (v.a. Polyamid) führt diese Art der Entsorgung im Nettoergebnis zu einer THG-Belastung.

Optimierungsmöglichkeiten bestehen aus Klimaschutzsicht in einer Umlenkung der energetischen Verwertung von den verschiedenen EBS-Kraftwerken hin zu einer Mitverbrennung der Altteppiche in Zement- oder Kohlekraftwerken. Eine stoffliche Verwertung dieser Abfallfraktion ist bislang wirtschaftlich nicht darstellbar.

→ Für die Potenzialanalyse 2020 wird angenommen, dass Altteppiche vollständig zur Mitverbrennung in das Zementwerk Rüdersdorf gehen.

Durch diese Maßnahme und die damit einhergehende heizwertäquivalente Substitution von Braunkohle ergibt sich trotz des hohen fossilen Kohlenstoffgehaltes eine Nettoentlastung. Für das Jahr 2020 berechnet sich das spezifische Ergebnis für die Entsorgung von Altteppichen zu $-1.565 \text{ kg CO}_2\text{-Äq/Mg Altteppich}$ und damit um $-1.908 \text{ kg CO}_2\text{-Äq/Mg}$ besser als in der Bestandsaufnahme (dort Nettobelastung).

Hochgerechnet auf die gesamt entsorgte Menge an Altteppichen ergibt sich daraus eine Nettoentlastung von **$-7.878 \text{ Mg CO}_2\text{-Äq}$ für das Jahr 2020**, die in die Zusammenfassung der Potenzialanalyse für die Abfallentsorgung in Berlin eingehen. Gegenüber der Ist-Situation im Jahr 2010 entspricht dies einem THG-Minderungsbeitrag von **$-9.605 \text{ Mg CO}_2\text{-Äq/a}$** .

Voraussetzung für einen entsprechenden Klimaschutzbeitrag ist, dass Altteppiche qualitativ so aufbereitet sind, dass sie einer entsprechenden Mitverbrennung zugeführt werden können. Das heißt, dass sie die Mindestanforderungen für EBS-Qualitäten nach Liste der Bundesgütegemeinschaft Sekundärrohstoffe einhalten. Vorteilhaft für Zement- und Kohlekraftwerke wären hohe Heizwerte ($18\text{-}20 \text{ MJ/kg}$) oder ein Organikanteil von rund 70%. Im Rahmen der anstehenden Umweltbilanzierung werden weitere Umweltwirkungen (z.B. Luftschadstoffe) untersucht. Ein weiterer Vorbehalt für die Optimierung ist die Verfügbarkeit entsprechender Kapazitäten zur Mitverbrennung.

3.14 Altreifen

Die Bestandsaufnahme zu Altreifen (Kap. 2.14) ergab, dass Altreifen nur zu einem kleinen Anteil über die öffentliche Entsorgung anfallen. Für Berlin wurde basierend auf bundesdeutschen Kennwerten die anfallende verwertete Menge abgeleitet (20.108 Mg). Diese Menge wurde im Jahr 2010 zu 45% stofflich verwertet und ging zu 55% in Zementwerke.

Optimierungsmöglichkeiten bestehen aus Klimaschutzsicht in einer Steigerung des Anteils zur stofflichen Verwertung. In der THG-Bilanz zugrunde gelegt wurde dabei ein bestimmtes Verfahren, nach dem Altreifen in ihre Bestandteile zerlegt werden (Gummi, Stahl, Textil, Rest) und das erzeugte Gummigranulat hochwertig stofflich verwertet wird (Gummiasphalt, Füllmaterial in Kunstrasen). Dieses Verfahren wurde in einer normkonformen Ökobilanz mit einer Mitverbrennung von Altreifen in Zementwerken verglichen (Force/CRI/IFEU 2009). Die daraus verfügbaren Ergebnisse wurden für diese Studie verwendet. Da-

nach führt die betrachtete stoffliche Verwertung zu einer höheren THG-Minderung als die Mitverbrennung in Zementwerken.

Das beschriebene Aufbereitungsverfahren ist in Anlagen der Firma Genan realisiert, die u.a. eine Anlage in Oranienburg bei Berlin betreibt. Diese Anlage hat eine Kapazität von 65.000 Mg/a Altreifen und ist nach Angaben der Firma Genan nicht ausgelastet. Grundsätzlich gilt für eine Umlenkung hin zu einer stofflichen Verwertung, dass diese bestimmte Kriterien erfüllen muss – wie insbesondere die Erzeugung einer hochwertigen Fraktion Gummigranulat, das zur Substitution von synthetischem Gummi oder thermoplastischen Polymeren eingesetzt wird. Zur Gleichwertigkeit anderer Verfahren müsste der Klimavorteil erst untersucht werden.

→ Für die Potenzialanalyse 2020 wird angenommen, dass 80% der Altreifen stofflich verwertet werden, während die verbleibenden 20% weiterhin in Zementwerke gehen.

Mit dieser Annahme würden knapp 7.000 Mg Altreifen zusätzlich stofflich verwertet. Für diese Menge kann davon ausgegangen werden, dass ausreichend Kapazitäten zur Verfügung stehen. Ein weiterer Vorteil der Umlenkung wäre, dass Kapazitäten in Zementwerken frei werden, die für andere Abfallarten, die nicht so hochwertig stofflich verwertet werden können wie Altreifen, genutzt werden könnten.

Ausgehend von den Annahmen zur Bilanzierung, wie sie in der Bestandsaufnahme geschildert sind, ergibt sich damit für das Jahr 2020 das spezifische Ergebnis für die Entsorgung von Altreifen zu -1.697 kg CO₂-Äq/Mg Altreifen und damit um -391 kgCO₂-Äq/Mg besser als in der Bestandsaufnahme.

Hochgerechnet auf die gesamt betrachtete Menge an Altreifen ergibt sich daraus eine Nettoentlastung von **-34.125 Mg CO₂-Äq für das Jahr 2020**, die in die Zusammenfassung der Potenzialanalyse für die Abfallentsorgung in Berlin eingehen. Gegenüber der Ist-Situation im Jahr 2010 entspricht dies einem THG-Minderungsbeitrag von **-7.867 Mg CO₂-Äq/a**.

3.15 E-Schrott

Die Bestandsaufnahme für das Land Berlin zu E-Schrott ergab, dass getrennt erfasste Elektro- und Elektronikaltgeräte im Jahr 2010 vollständig einer Aufbereitung und anschließenden Verwertung zugeführt wurden. Optimierungsmöglichkeiten bestehen aus Klimaschutzsicht in einer Steigerung der getrennten Erfassung von E-Schrott.

Nach den bislang geltenden Anforderungen des ElektroG sind pro Jahr und Einwohner mindestens 4 kg E-Schrott zu erfassen. Die in Berlin im Jahr 2010 getrennt erfasste Menge von 16.123 Mg entspricht einer Pro-Kopf-Sammelmenge von 4,7 kg/(E*a).

Durch die Neufassung der WEEE Richtlinie⁴³, die bis zum 14. Februar 2014 in nationales Recht umzusetzen ist, ist bis zum Jahr 2020 eine höhere Sammelmenge zu erfassen. Nach Vorgaben der WEEE Richtlinie müssen ab 2019 mindestens 85% der anfallenden Elektro- und Elektronik-Altgeräte eingesammelt werden oder mindestens 65% der in den drei Vorjahren in Verkehr gebrachten Elektro- und Elektronikgeräte.

⁴³ Richtlinie 2012/19/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 4. Juli 2012 über Elektro- und Elektronik-Altgeräte (Neufassung). Amtsblatt der Europäischen Union, L 197/38, 24.07.2012

Im Jahr 2006 wurden in Deutschland rund 1,8 Millionen Tonnen Neugeräte auf den Markt gebracht und rund 754.000 Mg bzw. rd. 9 kg/(E*a) eingesammelt (UBA 2010). Das aktuelle Aufkommen an E-Schrott in Deutschland wird auf 17 kg/(E*a) geschätzt. Bezogen auf diese beiden Werte müssten ab 2019 mindestens 14 kg/(E*a) an E-Schrott getrennt erfasst werden⁴⁴.

Für Berlin kann nach aktuellem Kenntnisstand nicht eingeschätzt werden, wie hoch das tatsächliche Aufkommen an E-Schrott liegt und über welche Wege die bislang nicht getrennt erfassten Mengen verwertet werden. Aus einer Untersuchung für Haus- und Geschäftsmüll (ARGUS 2009b) ist jedoch bekannt, dass darin insgesamt noch 4.418 Mg an E-Schrott entsorgt werden. Dabei handelt es sich um 3.515 Mg Kleingeräte und 79 Mg Großgeräte im Hausmüll sowie 824 Mg im Geschäftsmüll.

Eine Steigerung der getrennten Erfassung über die Wertstofftonne, die ab nächstem Jahr in Berlin flächendeckend eingeführt wird, ist entsprechend der getroffenen Vereinbarung zwischen der Senatsumweltverwaltung, den BSR und den Dualen Systemen nicht möglich und aus ökologischer Sicht auch nicht zu befürworten (vgl. Kap. 3.11).

Dagegen kann und sollte eine Steigerung der getrennten Erfassung von E-Schrott durch eine Monoerfassung erfolgen, die durch ein erweitertes Angebot ermöglicht wird. So könnte durch ein flächendeckendes Holsystem für Elektrokleingeräte zusätzlich zu den vorhandenen BSR-Recyclinghöfen die bisher getrennt erfasste Menge deutlich gesteigert werden. Die Elektrokleingeräte könnten beispielsweise zukünftig über die BSR-Sperrmüllabfuhr auf Bestellung mit erfasst und anschließend einer geordneten Verwertung zugeführt werden. Die Stadtreinigung Hamburg hat ein derartiges Erfassungssystem im Rahmen der Sperrmüllsammlung im letzten Jahr in Hamburg eingeführt. Dieses neue System wurde mittlerweile von den Bürgern gut angenommen. So konnten mittels dieses neuen Sammelsystems mehr als 10.000 Elektrokleingeräte und Energiesparlampen von Oktober 2008 bis Dezember 2008 eingesammelt werden.

Eine weitere Möglichkeit zur Steigerung der getrennten Erfassung besteht in der Aufstellung von Sammeltonnen an hierfür geeigneten Stellen. So hat beispielsweise die Stadt Mainz Sammeltonnen für Elektrokleingeräte an den Arbeitsstellen in öffentlichen Gebäuden aufstellen lassen. Die Abholung der Sammeltonnen übernehmen die Entsorgungsbetriebe Mainz. Eine analoge Aufstellung von Sammelgefäßen für die Sammlung von Elektrokleingeräten wie Handys, Kameras, Rasierapparate, etc. wäre auch für Berlin zu überlegen ggf. auch an anderen/weiteren Stellen wie z.B. an Großwohnanlagen (Abfuhrturnus z.B. alle 6 Wochen). Entsprechende Ideen und Überlegungen sollten mit den BSR diskutiert werden.

Als Optimierungsszenario wird in dieser Studie angenommen, dass durch entsprechende Maßnahmen – die Einrichtung eines Holsystems bei Großwohnanlagen und die Miterfassung über Sperrmüll – bis zum Jahr 2020 insgesamt 2.000 Mg Haushaltskleingeräte zusätzlich getrennt erfasst werden können. Die Bilanzierung dieser Optimierung erfordert eine gesamtsystematische Betrachtung, da mehrere Abfallarten betroffen sind. Das entsprechende Optimierungsszenario ist separat in Kapitel 4 beschrieben.

⁴⁴ 65% von 1,8 Mio. Mg = 1,17 Mio. Mg bzw. 14,3 kg/(E*a); 85% von 17 kg/(E*a) = 14,5 kg/(E*a)

3.16 Altmetalle

Die Bestandsaufnahme für das Land Berlin zu Altmetallen ergab, dass Altmetalle im Jahr 2010 vollständig einer Sortierung und anschließenden Verwertung zugeführt wurden. Eine getrennte Erfassung nach Fe- und NE-Metallen fand laut BSR nicht statt. In der THG-Bilanz wurden die Altmetalle zu 100% als Fe-Metalle bewertet. Optimierungsmöglichkeiten bestehen grundsätzlich in einer separaten Erfassung der NE-Metalle, da deren Herstellung mit höheren Belastungen verbunden ist und dadurch umgekehrt durch deren Verwertung höhere Gutschriften erzielt werden könnten. Allerdings ist davon auszugehen, dass angelieferte Altmetalle überwiegend in Form von Verbunden vorliegen (z.B. Fahrräder), die nicht vor Ort in Fe- und NE-Anteile zerlegt werden können. Aber auch wenn Altmetalle „sortenrein“ aus Fe- oder NE bestehen, bedarf eine getrennte Erfassung über die Wertstoffhöfe eines sehr hohen Kontroll- und Schulungsaufwandes und ist i.d.R. nicht wirtschaftlich durchzuführen. Daher wird kein Optimierungspotenzial für die Altmetallfassung bei den BSR angenommen.

3.17 Altholz

In der Bestandsaufnahme für Altholz (Kap. 2.17) wurden die gesamten Stoffströme an Altholz in Berlin erhoben und daraus diejenigen abgeleitet, die Bestandteil dieser Studie sind (Holz, das in Berlin anfällt und das keine gefährlichen Stoffe enthält). Die Auswertung der Ist-Situation erfolgte aufgrund der unterschiedlichen Qualitäten getrennt nach den Holzabfallarten getrennt gesammeltes Altholz, Baum- und Strauchschnitt und Weihnachtsbäume. Diese getrennte Betrachtung wird auch im Folgenden in der Potenzialanalyse fortgeführt. Die Verwertung von getrennt gesammeltem Altholz, Baum- und Strauchschnitt sowie Weihnachtsbäumen erfolgte im Jahr 2010 überwiegend energetisch. Optimierungen waren aus der Bestandsaufnahme kaum oder nicht erkennbar. Nachfolgend wird die Optimierungsmöglichkeit der energetischen Verwertung ausführlich diskutiert.

3.17.1 Getrennt gesammeltes Altholz

Die Bestandsaufnahme für das Land Berlin für getrennt gesammeltes Altholz (Kap. 2.17.1) ergab, dass eine Holzmenge von rund 118.000 Mg im Jahr 2010 energetisch verwertet wurde.

Die THG-Belastungen aus der Aufbereitung von Altholz sind gegenüber den erzielten THG-Entlastungen bei der energetischen Verwertung gering. Die THG-Entlastungen werden durch die energetische Verwertung in den verschiedenen Biomasse-Heizkraftwerken (HKW) und die jeweils erzeugte Menge an Strom und Wärme bestimmt. Unterschiede ergeben sich durch die unterschiedlichen Wirkungsgrade der verschiedenen Anlagen. Im absoluten Ergebnis sind Unterschiede zudem durch die jeweils eingesetzten Altholzmenge bedingt. Unterschiede aus dem eingesetzten Abfall ergeben sich hier nicht, da ausschließlich die Abfallart „getrennt gesammeltes Altholz“ mit den in der Bestandsaufnahme beschriebenen Kenndaten betrachtet wird.

Zur Darstellung der Auswirkungen auf den Treibhauseffekt durch unterschiedliche Wirkungsgrade ist in Abbildung 3-7 ausschließlich die erzielbare THG-Entlastung pro Tonne aufbereitetem Altholz dargestellt. In dieser Abbildung sind die anlagenspezifischen THG-Entlastungen in CO₂-Äquivalenten je Mg Holzinput (aus Wärme- und Stromgutschrift) für

die belieferten altholzverarbeitenden Kraftwerke gegenübergestellt. Diese Darstellung entspricht nicht der Ist-Situation in Berlin, sondern soll lediglich zeigen, dass je höher die energetischen Wirkungsgrade sind, desto höher ist der spezifische THG-Entlastungsbeitrag, der aus der energetischen Verwertung von Altholz erzielt werden kann.

Zur Einschätzung der bereits im Jahr 2010 erreichten THG-Entlastungen wurde zum Vergleich das in (Öko-Institut/IFEU 2010) im Zukunftsszenario 2020 T definierte Altholz-HKW mit gesteigerter Wärmeauskopplung gegenübergestellt. Für dieses, gegenüber der Ist-Situation⁴⁵ energieeffizientere Holz-HKW, beträgt der Nettostromwirkungsgrad 18% und der Nettowärmewirkungsgrad 40%. Für den Vergleich wurden diese Wirkungsgrade mit den in dieser Studie verwendeten Emissionsfaktoren für Strom und Wärme⁴⁶ verknüpft.

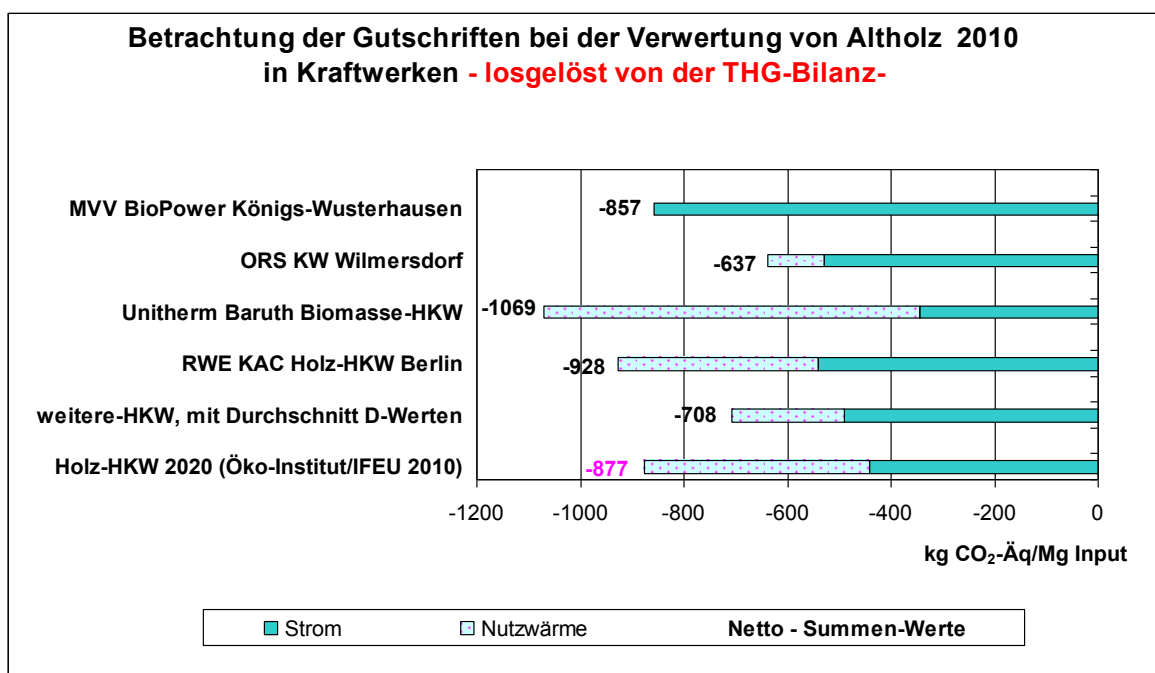


Abbildung 3-7 Gutschriften energetische Verwertung aufbereitetes Altholz über HKW

Das Ergebnis des Gutschriftenvergleichs zeigt Abbildung 3-7. Insgesamt liegen die THG-Entlastungen für aufbereitetes Altholz im Bereich von -637 bis -1.069 kg CO₂-Äq/Mg. Der Vergleichswert für ein energieeffizientes Holz-HKW nach (Öko-Institut/IFEU 2010) ist hervorgehoben dargestellt und liegt bei einer THG-Entlastung von -877 kg CO₂-Äq/Mg für eingesetztes Altholz.

Erwartungsgemäß das beste Ergebnis zeigen die Holz-HKW mit Kraft-Wärme-Kopplung und jeweils hohen Wirkungsgraden. So das Biomasse-HKW Unitherm Baruth mit 14% Nettostromwirkungsgrad und 66% Wärmenutzungsgrad, gefolgt vom Holz-HKW RWE

⁴⁵ Für den Durchschnitt in Deutschland wurden in (Öko-Institut/IFEU 2010) sowohl der Nettostrom- als auch der Nettowärmewirkungsgrad zu 20% ermittelt. Diese Werte wurden für ein durchschnittliches Holz-HKW auch in dieser Studie verwendet.

⁴⁶ Emissionsfaktor Strommix Deutschland 629 g CO₂-Äq/kWh bzw. innerhalb Berlins Emissionsfaktor für Vattenfallstrom 744 g CO₂-Äq/kWh; Emissionsfaktor für Heizwärme in bundesdeutschen Haushalten 281 g CO₂-Äq/kWh bzw. für Heizwärme in Berliner Haushalten 254 g CO₂-Äq/kWh (s. Kap. 1.3.2).

KAC Berlin mit 19% Nettostromwirkungsgrad und 39% Wärmenutzungsgrad. Da letzteres in Berlin ansässig ist, wurden für die Berechnung die Emissionsfaktoren für Berlin verwendet (s. Fußnote 46). Würde alternativ die Strom- und Wärmesubstitution generell mit den Emissionsfaktoren für Deutschland bewertet werden, würde sich die THG-Entlastung für dieses HKW auf -884 kg CO₂-Äq/Mg Holzinput reduzieren und auch damit die THG-Entlastung für das zum Vergleich herangezogene energieeffiziente Holz-HKW nach (Öko-Institut/IFEU 2010) übertreffen.

Ebenfalls eine hohe Gutschrift erzielt das Holz-Kraftwerk MVV BioPower, in dem mit sehr hohem Nettowirkungsgrad von 35% ausschließlich Strom erzeugt wird. Die dafür berechnete THG-Entlastung erreicht den o.g. Vergleichswert fast.

In den drei genannten Anlagen wurden im Jahr 2010 insgesamt 84% des energetisch verwerteten Altholzes eingesetzt:

- 42% im Holz-HKW RWE KAC Berlin,
- 31% im Holz-KW MVV BioPower Königs-Wusterhausen,
- 11% im Biomasse-HKW Unitherm Baruth.

Von den weiteren HKW, in denen 2010 Altholz aus Berlin energetisch verwertet wurde, ist namentlich noch das Holz-Kraftwerk ORS Wilmersdorf bekannt. Dieses erzielt aufgrund eines geringen Wärmenutzungsgrades von 10% trotz des Nettostromwirkungsgrades von 22% eine geringere Gutschrift gegenüber dem Vergleichswert. Für 7,5% der Altholzmenge ist der konkrete Verbleib nicht bekannt. Diese wurden in der Bestandsaufnahme mittels der Wirkungsgrade für ein durchschnittliches Holz-HKW in Deutschland bewertet (s. Fußnote 45), wodurch sich entsprechend auch für diese eine gegenüber dem Vergleichswert geringere THG-Entlastung ergibt.

→ Für die Potenzialanalyse 2020 sind keine weiteren relevanten Optimierungen erkennbar, da bereits derzeit 84% der energetisch verwerteten Altholzmenge in effizienten Holz-HKW verwertet werden.

Anzuerkennend ist, dass auch künftig die energetische Verwertung vorwiegend in diesen oder anderen effizienten Holz-HKW erfolgt. Als Kriterium für eine hochwertige energetische Verwertung in Kraft-Wärme-Kopplung kann ein Gesamtnutzungsgrad von etwa 60% als Orientierung herangezogen werden. Bei einer reinen Stromauskopplung sollte der Nettostromwirkungsgrad bei 35% liegen.

3.17.2 Baum- und Strauchschnitt

Die Bestandsaufnahme zu Baum- und Strauchschnitt (Kap. 2.17.2) ergab, dass eine Holzmenge von rund 36.000 Mg energetisch verwertet wurde.

Analog zum Vorgehen im vorangegangenen Kapitel zu getrennt gesammeltem Altholz wurde auch für Baum- und Strauchschnitt eine vergleichende Betrachtung der anlagen-spezifischen Gutschriften vorgenommen und auch hier dem Vergleichswert für ein energieeffizientes Holz-HKW nach (Öko-Institut/IFEU 2010) gegenübergestellt. Das Ergebnis zeigt Abbildung 3-8.

Die gegenüber den in Abbildung 3-7 dargestellten Gutschriften für getrennt gesammeltes Altholz bei den gleichen Verwertungsanlagen geringeren spezifischen THG-Entlastungs-

werte ergeben sich ausschließlich durch den niedrigeren Heizwert von Baum- und Strauchschnitt (9 MJ/kg FS gegenüber 14 MJ/kg FS bei Altholz). Entsprechend fällt auch der Vergleichswert für das „Holz-HKW 2020“ nach (Öko-Institut/IFEU 2010) mit -564 kg CO₂-Äq/Mg geringer aus.

Ebenfalls abweichend zur energetischen Verwertung von getrennt gesammeltem Altholz wird Baum- und Strauchschnitt anteilig auch in den Berliner Kohlekraftwerken Reuter West und Klingenberg mitverbrannt. Möglich ist dies, da der Baum- und Strauchschnitt als naturbelassenes Holz (Altholzkategorie A I) kein Abfall im Sinne des Kreislaufwirtschaftsgesetzes ist und somit als Regelbrennstoff in derartigen Kraftwerken eingesetzt werden kann. Ansonsten wäre eine Mitverbrennung von Altholz (Altholzkategorie A I bis A IV) nur möglich, wenn die Anlagen über eine Genehmigung nach 17. BImSchV verfügen. Dies ist bei den in Berlin betriebenen Stein- und Braunkohlekraftwerken nicht der Fall.

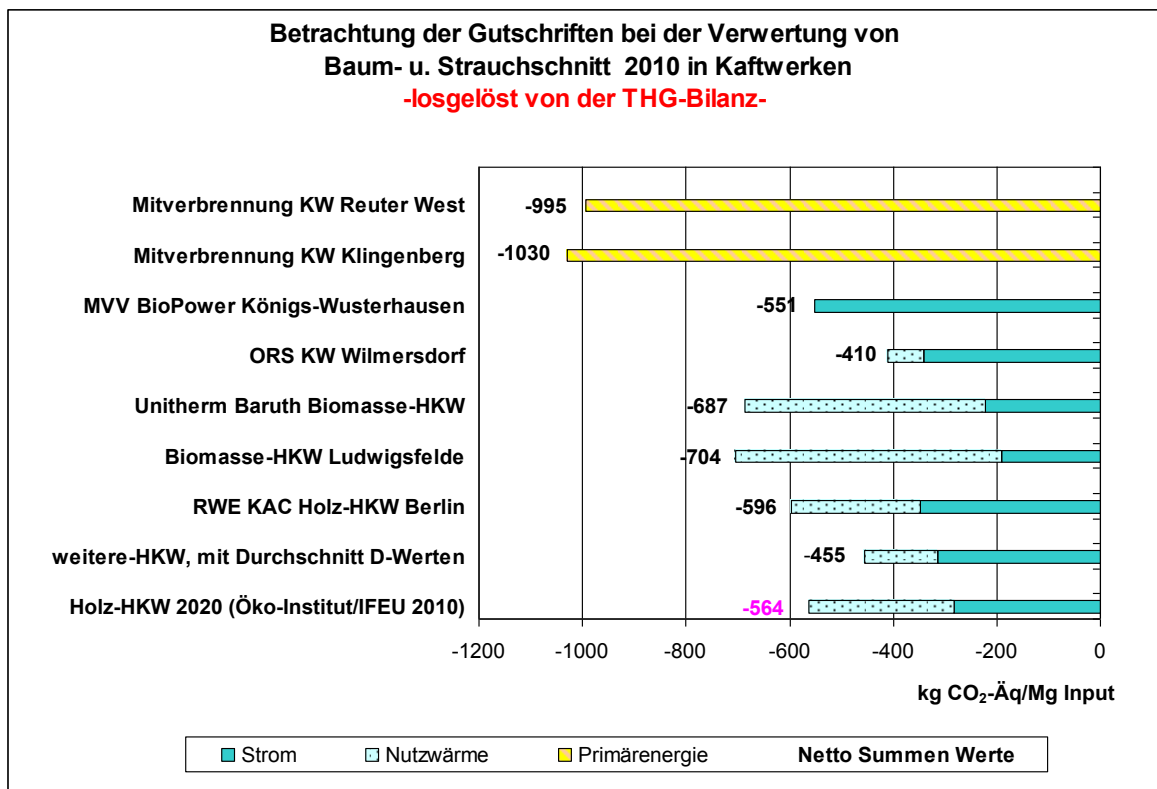


Abbildung 3-8 Gutschriften energetische Verwertung Baum- und Strauchschnitt über Holz-HKW und Kohlekraftwerke

Die Mitverbrennung in Kohlekraftwerken erzielt die höchste Gutschrift, da hierdurch heizwertäquivalent der Primärenergieträger Kohle ersetzt wird. Hintergründe zur methodischen Bewertung sowie zu Vor- und Nachteilen der Mitverbrennung finden sich in Kapitel 1.3.2. Der Unterschied im Ergebnis für die beiden Kraftwerke liegt darin, dass im KW Reuter West Steinkohle als Regelbrennstoff eingesetzt wird und im KW Klingenberg Braunkohle. Die Braunkohlebereitstellung und -verbrennung ist mit etwas höheren THG-Belastungen verbunden.

Insgesamt liegen die anlagenspezifischen Gutschriften für Baum- und Strauchschnitt im Bereich von -410 bis -1.030 kg CO₂-Äq/Mg. Abgesehen von der Mitverbrennung in Kohlekraftwerken ergibt sich für die Holz-HKW, die auch Altholz verwerten, das gleiche Bild wie für Altholz:

Das Biomasse-HKW Unitherm Baruth und das Holz-HKW RWE KAC Berlin übertreffen die Gutschrift für den Vergleichswert des „Holz-HKW 2020“ nach (Öko-Institut/IFEU 2010). Zudem ist dies beim Naturholz- bzw. Biomasse-HKW Ludwigsfelde der Fall, das mit 12% Nettostromwirkungsgrad und 73% Wärmenutzungsgrad im Vergleich der Holz-HKW die höchste spezifische Gutschrift erzielt. Wiederum erreicht das Holz-KW MVV BioPower fast den Vergleichswert für das „Holz-HKW 2020“, während die Gutschrift für das Holz-HKW ORS Wilmersdorf deutlich geringer ausfällt und auch geringer als die Gutschrift für ein durchschnittliches Holz-HKW nach (Öko-Institut/IFEU 2010).

Damit überschreiten von acht genutzten Verwertungswegen fünf bereits den genannten Vergleichswert, ein weiterer erreicht diesen fast. In diesen sechs Anlagen wurden im Jahr 2010 insgesamt 83% des energetisch verwerteten Baum- und Strauchschnitts eingesetzt:

- 36% im Biomasse-HKW Ludwigsfelde,
- 28% im Holz-HKW RWE KAC Berlin,
- 8% im Braunkohle-Kraftwerk Klingenberg (Mitverbrennung),
- 7% im Biomasse-HKW Unitherm Baruth,
- 4% im Steinkohle-Kraftwerk Reuter West (Mitverbrennung).

→ Für die Potenzialanalyse 2020 sind keine weiteren Optimierungen erkennbar, da bereits derzeit 83% der energetisch verwerteten Baum- und Strauchschnittmengen in effizienten Holz-HKW verwertet werden.

Anzuerkennen ist auch hier, dass die energetische Verwertung auch künftig vorwiegend durch Mitverbrennung in Kohlekraftwerken oder durch Einsatz in effizienten Holz-HKW erfolgt. Als Orientierungswert für eine hochwertige energetische Verwertung in Holz-HKW kann ein Gesamtnutzungsgrad von etwa 60% herangezogen werden. Bei einer reinen Stromauskopplung sollte der Nettostromwirkungsgrad bei 35% liegen.

3.17.3 Weihnachtsbäume

Die Bestandsaufnahme zu Weihnachtsbäumen (Kap. 2.17.3) ergab eine verwertete Menge an Weihnachtsbäumen von 2.324 Mg, die im Jahr 2010 vollständig im Steinkohle befeuerten Heizkraftwerk Reuter West mitverbrannt wurde.

Für die Verwertung der Abfallfraktion Weihnachtsbäume sind keine Optimierungen erkennbar. Die heizwertäquivalente Substitution von Steinkohle durch Weihnachtsbäume mit einem Heizwert von 10,5 MJ/kg FS führt zu einer anlagenspezifischen Gutschrift von -1.160 kg CO₂-Äq/Mg (spezifischen Nettoergebnis der THG-Bilanz -1.105 kg CO₂-Äa/Mg) und damit zur mitunter höchsten erreichbaren THG-Entlastung durch die energetische Verwertung.

3.18 Organikabfälle aus Haushalten

In der Bestandsaufnahme für das Land Berlin zu Organikabfall aus Haushalten (Kap. 2.18) wurden Organikabfall im Hausmüll, Bioabfall aus der getrennten Bioabfallsammlung, Organikabfall aus der Eigenkompostierung und aus dem Sammelsystem Laubsack jeweils in Unterkapiteln beschrieben. Dies erfolgt hier nachfolgend auch für die Potenzialanalyse.

3.18.1 Organik im Hausmüll

In Kapitel 2.18.1 wurde eine gesonderte THG-Modellrechnung für die Entsorgung des Anteils Organikabfall im Hausmüll durchgeführt. Diese Berechnung dient der Einschätzung, wie sich die Mitbehandlung von Organikabfall im Hausmüll im Land Berlin gegenüber der Verwertung der getrennt erfassten Organikabfälle darstellt und wird als Orientierung für die Ableitung einer gesteigerten getrennten Erfassung von Organikabfall aus Hausmüll herangezogen.

Für die Entsorgung der im Hausmüll enthaltenen Organikmenge über die verschiedenen Behandlungsverfahren im Jahr 2010 wurde eine THG-Entlastung von -172 kg CO₂-Äq/Mg berechnet.

Bei der Potenzialanalyse wird das Ziel verfolgt, diesen Wert möglichst deutlich zu übertreffen, um die bestmögliche THG-Entlastung zu erreichen.

Die abschließende Berechnung des Optimierungspotenzials einer gesteigerten getrennten Erfassung von Organikabfällen im Jahr 2020 erfolgt in Kapitel 4.1.2. Die Bewertung dieser Maßnahme erfordert eine gesamtsystematische Betrachtung, da durch die Entnahme von Organikabfall der verbleibende Restabfall in seinen Eigenschaften verändert wird und damit auch das Ergebnis in der THG-Bilanz. Entsprechend ist zur korrekten Beurteilung der Optimierungsmaßnahmen der Hausmüll in seiner Gesamtheit zu berücksichtigen.

3.18.2 Bioabfall (BIOGUT)

Nach der Bestandsaufnahme für Bioabfall (Kap. 2.18.2) wurden von den BSR 58.155 Mg Bioabfall im Jahr 2010 gesammelt, die in offenen Kompostierungsanlagen im Land Brandenburg verwertet wurden.

Bei der Entsorgung dieses Bioabfalls bestehen folgende Optimierungspotenziale, die betrachtet werden:

- a) Minimierung der THG-Emissionen aus der Gärrestbehandlung bei der im Bau befindlichen Vergärungsanlage,
- b) Intensivierung der bereits bestehenden Bioabfallsammlung und flächendeckende Ausweitung der Bioabfallsammlung auf die Gesamtstadt (inkl. Außenbezirke)
- c) Behandlung der zusätzlich erfassten Organikmengen in emissionsarmen TA Luftkonformen Behandlungsanlagen (Vergärungsanlage und HTC-Verfahren).

Die Hydrothermale Karbonisierung (HTC) ist ein Verfahren zur Umwandlung organischer Abfallstoffe in einen kohleartigen Brennstoff. Eine nähere Beschreibung zu diesem Verfahren findet sich in Anhang E.

Zu a) Minimierung der THG-Emissionen aus der Gärrestbehandlung der im Bau befindlichen Vergärungsanlage

BSR Vergärungsanlage nach Planungsstand 2012

Die BSR lassen derzeit eine Vergärungsanlage für die Bioabfälle am Standort Berlin-Ruhleben errichten. Die jährliche Verarbeitungsleistung wird nach Fertigstellung im Jahr 2013 rund 60.000 Mg/a betragen. Das erzeugte Biogas wird zu Erdgasqualität aufgearbeitet und mittelbar nach Durchleitung durch das Gasnetz als Treibstoff für die Abfallsammel-fahrzeuge verwendet werden. Der feste Gärrest wird aerobisiert und zur weiteren Behandlung an Kompostierbetriebe im Berliner Umland abgegeben. Die Lagerung und Verwertung der flüssigen Gärreste soll außerhalb Berlins erfolgen.

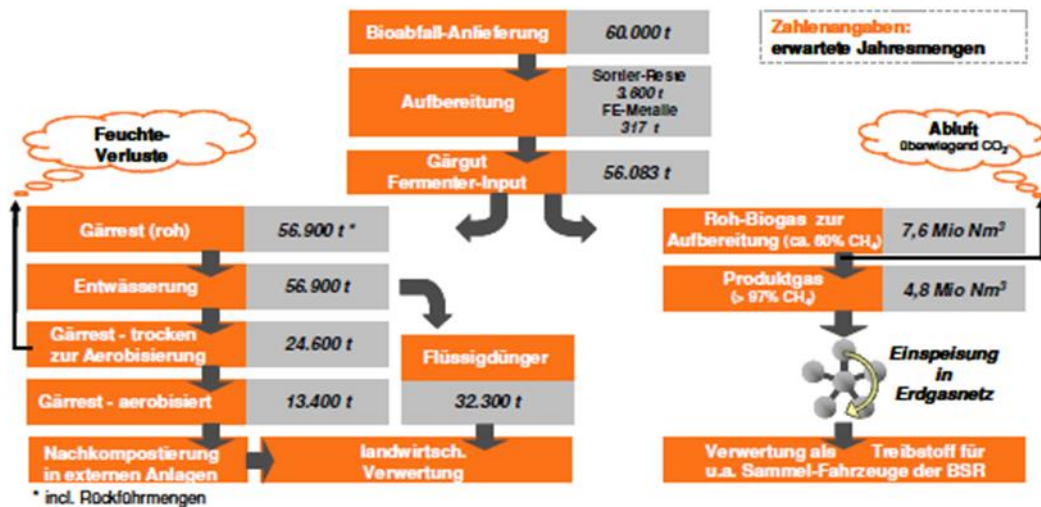
Die Anlagentechnik am Standort der Vergärungsanlage besteht im Einzelnen aus:

- dem Annahme- und Aufbereitungsbereich, in dem Störstoffe aus dem Bioabfall entfernt werden,
- der thermophilen Trocken-Vergärung im Pflropfenstromverfahren,
- der Gärrestentwässerung mit Zwischenlagerung der flüssigen Gärreste vor Verbringung zur externen Lagerung und Verwertung,
- der Aerobisierung des festen Gärrestanteils vor Verbringung zur externen Nachkompostierung,
- der Abluftbehandlung über Biofilter mit vorgeschaltetem saurem Wäscher und Ableitung der Reinaluft über Kamin; der Abluft-Volumenstrom wird rund 40.000 m³/h betragen,
- der gesonderten Behandlung der Abluft aus der Zwischenlagerung des flüssigen Gärrestes über die Gasaufbereitung,
- der Aufbereitung des Biogases auf Erdgasqualität mittels Aminwäsche.

Die Entwässerung der Gärreste erfolgt über Schneckenpressen, die im Austrag einen festen und einen flüssigen Gärrest produzieren. Der Trockensubstanzgehalt der flüssigen Gärreste wird im Bereich von 13% bis 15% TS erwartet.

Die geplante externe Nachrotte für die festen Gärreste soll in bestehenden Kompostierungsanlagen in Brandenburg erfolgen. Die flüssigen Gärreste werden ebenfalls ins Umland Berlins verbracht und dort im Bereich der späteren landwirtschaftlichen Nutzung in Speicherbehältern ohne gasdichte Abdeckung und Gasfassung/-behandlung bis zu 170 Tage gelagert.

Abbildung 3-9 zeigt die Massenbilanz der geplanten Vergärungsanlage aus dem Genehmigungsantrag der BSR, die weitgehend für die THG-Bilanz zugrunde gelegt wurde. Einzige Ausnahme bildet der Störstoffanteil (3,6% des Input), der gegenüber der Bestandsaufnahme aus Gründen der Gleichbehandlung nicht verändert wurde. Ebenfalls nicht verändert wurde der Sammelaufwand für BIOGUT.


 Abbildung 3-9 Massenbilanz der Vergärungsanlage Ruhleben⁴⁷

Für die Erstellung der THG-Bilanz wurden folgende weitere Ansätze zu Grunde gelegt:

Der Energieverbrauch beträgt nach Angaben der BSR 60 kWh Strom und 136 kWh Erdgas je Tonne Fermenter-Input (der nach Abtrennung der Störstoffe 96,4% des Inputs aufnimmt).

Für Transporte zu den weiteren Verwertungs- und Entsorgungsstandorten wurden 20 km für die ausgetragenen flüssigen und 40 km für die aerobisierten festen Gärreste, sowie 65 km für die zu entsorgenden Störstoffe abgeschätzt.

Der Biogasertrag liegt nach BSR-Angaben bei 120 m³/Mg Fermentereintrag (nach Abzug der Störstoffe von 3,6% des Inputs) mit 62 Vol% Methangehalt. Fackelverluste sind mit rund 2% angegeben. Für die Aufbereitung auf Erdgasqualität mittels Aminwäsche liegt der Methanverlust bei 0,1%⁴⁸.

Des Weiteren in der THG-Bilanz berücksichtigt sind Aufwendungen und Emissionen, die sich aus der Verteilung des erzeugten Biomethans im Erdgasnetz ergeben (IFEU/BBH 2010). Die THG-Belastungen daraus sind in Abbildung 3-10 dem Sektor „Samml+Transp“ zugeordnet.

Für den Biomethaneinsatz in Abfallsammelfahrzeugen wird als Nutzen die Substitution von Dieselmotoren angerechnet. Der energetische Mehrverbrauch der Erdgasfahrzeuge gegenüber Dieselfahrzeugen wurde von den BSR mit 15% eingeschätzt. Dieser Wert wurde für die THG-Bilanz übernommen.

Die treibhausgasrelevanten Emissionen der Anlage wurden basierend auf den Untersuchungen von (gewitra 2009) an Bioabfall-Vergärungsanlagen abgeleitet. Die für die THG-Bilanz verwendeten Werte zeigt Tabelle 3-6. Für die Anlage selbst wurden Emissionswerte nach (gewitra 2009) für den Bereich der Anlieferung und der Entwässerung des Gärrest-

⁴⁷ Genehmigungsantrag nach § 4 BImSchG, Kurzbeschreibung für die öffentliche Auslegung,

<http://www.bsr.de/9495.html>

⁴⁸ mit 0,1% Methanverlust ist die eingesetzte Aminwäsche das verlustärmste Aufbereitungsverfahren.

tes übernommen. Aus der gasdichten Zwischenlagerung des flüssigen Gärrestes fallen keine THG-Emissionen auf der Anlage an, da die entstehende Abluft über Pendelleitung in die Gasaufbereitung gelangt.

Dagegen wird die Abluft aus der Aerobisierung über sauren Wäscher und Biofilter geführt. Emissionsfaktoren für diesen Abluftstrom sind nicht aus (gewitra 2009) verfügbar. Für die THG-Bilanz wurden die Emissionen aus diesem Bereich und der im Anschluss erfolgenden externen Nachrotte des festen Gärrestes aus den Werten in (gewitra 2009) für die Nachrotte abgeleitet (1.100 g CH₄/Mg und 98 g N₂O/Mg Abfall). Für Methan wurde angenommen, dass es gegenüber dem in (gewitra 2009) berichteten Wert in Summe zu keiner Veränderung kommt. Die anteilig auf der Vergärungsanlage aus der Aerobisierung emittierte Menge wurde auf 470 g CH₄/Mg Abfallinput geschätzt. Dieser Wert entspricht den Methanemissionen, die bei der Erzeugung von Frischkompost anfallen. Die restlichen 630 g CH₄/Mg Abfallinput wurden der Nachrotte in einfachen Kompostierungsanlagen zugeordnet.

Für N₂O-Emissionen wurde dagegen angenommen, dass durch die Aerobisierung eine Minderung der Bildung von N₂O in der Nachrotte erreicht werden kann. In (Cuhls 2010) ist als eine der Maßnahmen durch die eine N₂O-Bildung präventiv verhindert werden kann, die aerobe Stabilisierung nach Vergärung genannt. In welcher Höhe eine Reduzierung möglich ist, ist nicht bekannt. Für die THG-Bilanz wurde angenommen, dass durch die Aerobisierung die N₂O-Emissionen der Nachrotte um 50% geringer ausfallen.

Tabelle 3-6: Verwendete THG-Emissionsfaktoren für die Bioabfallvergärung nach Planungsstand

in g/Mg Abfallinput	Methan	Lachgas
Anlieferung	100	12
Entwässerung	460	17
Aerobisierung	470	2
Nachrotte aerobisierter fester Gärrest	630	48
Externe Lagerung Gärprodukt flüssig	2.000	2
Summe	3.660	81

Für den festen Gärrest wurde angenommen, dass dieser nach der Nachrotte als kompostierter Gärrest (kGR) zu 50% in der Landwirtschaft und zu 50% im Gartenbau eingesetzt werden kann. Die Bewertung der daraus erzielbaren Nutzen erfolgte nach (UBA 2012a), wobei angenommen wurde, dass die Anwendung in der Landwirtschaft ausschließlich der Humusreproduktion dient. Eine C-Senke ergibt sich entsprechend rechnerisch nicht. Dafür ist umgekehrt der im Gärrest gebundene Stickstoff zu 89% als mineraldüngeräquivalent angerechnet. Ebenfalls berücksichtigt für die Anwendung in der Landwirtschaft ist der Nutzen aus der Organikzufuhr (Substitution Zwischenfruchtanbau und Stroh) und der Zufuhr an Mineralboden. Für die Anwendung des festen Gärrestes im Gartenbau wird entsprechend der im Gärrest enthaltenen oTS-Menge (berechnet aus Kenndaten Bioabfall) zu 50% Torf und zu 50% Rindenhumus ersetzt. Die Mineraldüngerwirkung ist ebenfalls angerechnet. Unabhängig von der Art der Anwendung ist wie in (UBA 2012a) die anteilige

Freisetzung von 1% des gebundenen Stickstoffs als N_2O durch Denitrifizierung/Nitrifizierung berücksichtigt.

Mit Inbetriebnahme der im Bau befindlichen Vergärungsanlage Ruhleben mit der derzeit geplanten Technologie wird basierend auf den zuvor erläuterten Annahmen das in Abbildung 3-10 dargestellte spezifische Ergebnis erreicht.

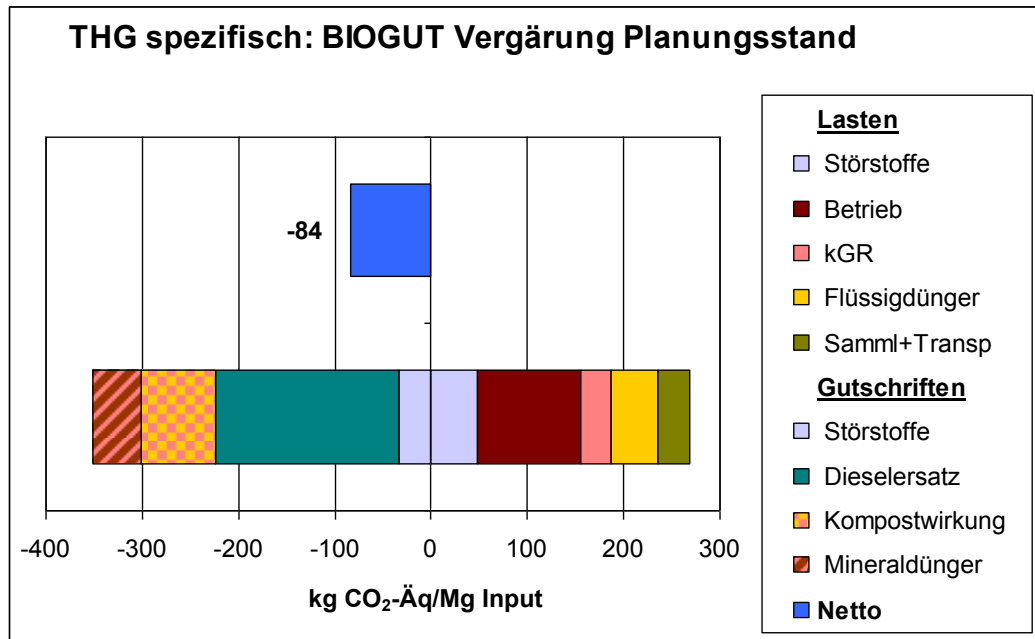


Abbildung 3-10 Spezifisches Ergebnis zur BIOGUT Vergärung – Planungsstand 2012

Emissionen aus dem Energieverbrauch der Anlage tragen mit 73 kg CO_2 -Äq/Mg Bioabfall, ergänzt um 35 kg CO_2 -Äq/Mg aus den THG-Emissionen von Anlieferung, Entwässerung, Aerobisierung und Methanschluß der Aufbereitung zu den THG-Lastungen "Betrieb" bei.

Den bedeutendsten beeinflussbaren Anteil der THG-Lastungen bildet die offene Lagerung der flüssigen Gärreste mit 49 kg CO_2 -Äq/Mg („Flüssigdünger“). Hinzu kommen die Emissionen der Nachrotte des Gärrestes mit rund 30 kg CO_2 -Äq/Mg („kGR“), wobei dieser Betrag – wie oben beschrieben – die präventive Wirkung der Aerobisierung berücksichtigt.

Der gesamten THG-Lastung von 268 kg CO_2 -Äq/Mg steht eine THG-Entlastung von insgesamt -352 kg CO_2 -Äq/Mg gegenüber, darunter die Gutschrift für die Nutzung des Biomethans mit -190 kg CO_2 -Äq/Mg („Dieseltersatz“). Die Summe der Gutschriften aus der stofflichen Verwertung („Kompostwirkung“ und „Mineraldünger“) liegt bei -128 kg CO_2 -Äq/Mg.

Insgesamt lässt die Vergärungsanlage eine THG-Entlastung von -84 kg CO_2 -Äq/Mg erwarten.

Hochgerechnet auf die gesamt entsorgte Menge an Bioabfall ergibt sich durch die Inbetriebnahme der Vergärungsanlage eine Nettoentlastung von -4.879 Mg CO_2 -Äq/Mg. Gegenüber der Ist-Situation im Jahr 2010 entspricht dies einem THG-Minderungsbeitrag von -4.932 Mg CO_2 -Äq/a.

Optimierung Gärrestbehandlung aus BSR Vergärung

Wie zuvor erläutert wird für die Vergärungsanlage ein weiteres Optimierungspotenzial hinsichtlich der Lagerung des flüssigen Gärrestes und der Nachrotte des festen Gärrestes gesehen.

- Für die Potenzialanalyse 2020 wird angenommen, dass nach Errichtung der Bioabfall-Vergärungsanlage Ruhleben
- die Lagerung des Gärprodukt flüssig gasdicht erfolgen kann mit Gasbehandlung über Schwachgasfackel und
 - die Nachrotte des festen Gärrestes durch verbesserte Betriebsführung optimiert werden kann.

So kann durch eine gasdichte Lagerung des flüssigen Gärrestes mit Gasbehandlung über Schwachgasfackel die Freisetzung der THG-Emissionen unterbunden werden. Dadurch ließen sich die der Lagerung zugeordnete Treibhausgasemissionen in Höhe von -49 kg CO₂-Äq/Mg vermeiden.

In der Machbarkeit eingeschränkt wird diese Optimierung durch den erwarteten TS-Gehalt des Gärrestes von 15%, der die mechanische Durchmischung des Gärrestes in abgedecktem Zustand deutlich erschwert. Abhilfe könnte geschaffen werden durch eine zusätzliche Teilstrom-Aufbereitung des flüssigen Gärrestes auf der Anlage in Ruhleben. Geeignet wären Dekanter, Bandfilter oder Winkelpressen, die im Filtrat TS-Gehalte unter 2% erreichen. In Mischung mit dem nicht weiter aufbereiteten Flüssig-Gärrest aus den Schneckenpressen kann ein TS-ärmerer flüssiger Gärrest eingestellt werden, der in geschlossenen Tanks bei Rührwerksumwälzung zwischengelagert werden kann. Für die THG-Bilanz in der Potenzialanalyse wird ein auf 5% eingestellter TS-Gehalt angesetzt.

Ein Beispiel für die Aufbereitung der flüssigen Gärreste ist auf der Bioabfallvergärungsanlage Leppe umgesetzt (dort auf die Qualität zur Einleitung in eine spez. Kläranlage), die die Flüssiggärreste aus der Abpressung der Schneckenpressen (mit rund 15% TS) über nachgeschaltete Bandfilterpressen auf einen Trockensubstanzanteil von 2% bringen.

Ein weiteres Beispiel für die Nachentwässerung von Flüssiggärrest aus der Trockenvergärung findet sich beim Maschinenhersteller für Entwässerungssysteme Bellmer Kufferat, der dafür, wie Abbildung 3-11 zu entnehmen, eine Winkelpresse einsetzt und damit ebenso niedrige TS Gehalte im Klarlauf (Zentrat) erreicht.

Praxisbeispiele für die vollständige Kapselung und damit Emissionsminimierung finden sich u.a. im Bereich moderner Speiserest-Co-Vergärungsanlagen, wie z.B. der Anlage der Parumer Bioenergie. Dort wurden die bei Bau der Anlage offen ausgeführten drei Gärrestlagerbehälter nachgerüstet: In einen Nachgärer und zwei gasdicht in die Gasfassung der Gesamtanlage einbezogene Lagertanks. Diese Variante wurde dort vorrangig aus wirtschaftlichen Aspekten umgesetzt, da das im Gärrestlager entstehende Biogas mit im Gassystem der Anlage erfasst und verstromt wird. Ein solches Konzept ist optimal, aber hinsichtlich der Gasverwertung nur an Lagerstandorten mit bereits existierender Verstromung umsetzbar.

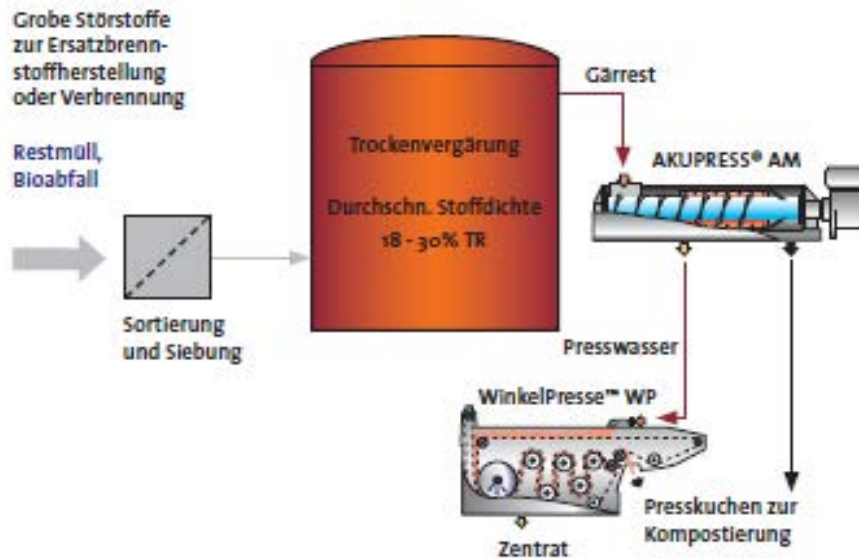


Abbildung 3-11 Grafik zur Nachentwässerung von Abwasser aus der Trockenvergärung – aus: Prospekt von BELLMER KUFFERATH Machinery GmbH

Für die hier betrachtete Optimierung von „stand-alone“ Lagertanks wird statt einer Verstromung die Behandlung über Gasfackel angenommen. Diese Variante bewirkt die Oxidation des ausgasenden Methans zu CO_2 , das als klimaneutral bewertet ist (s. Anhang A).

Die zusätzlichen Energieaufwendungen in Form von Strom für die zusätzliche Separation die Rührwerke und Fackeln an den Gärrestlagern sind mit rund 5 kWh/Mg flüssigen Gärrestes so gering, dass sie in der Bilanz vernachlässigt wurden.

Somit kann die Nettoentlastung der Vergärung durch die gasdichte Lagerung der flüssigen Gärreste auf -133 kg CO_2 -Äq/Mg gesteigert werden.

Zur weiteren Optimierung wird eine in der Praxis verbesserte Betriebsführung (inkl. aktiver Belüftung) bei der Nachkompostierung des festen Gärrestes vorgesehen.

Dies folgt den Hinweisen nach (gewitra 2011), wonach der Nachrotte der Gärreste eine wichtige Bedeutung insbesondere bei der Bildung von N_2O -Emissionen zukommt.

Die Lachgasbildung wird begünstigt durch:

- niedriges C:N Verhältnis,
- hohes Angebot von NH_3 / NH_4^+ ,
- aerobe Bedingungen,
- Rotte-Temperaturen unter 45°C .

Die Aufgabe einer optimierten Nachrotteführung besteht also darin,

- die Rotte-Temperatur über 45°C zu halten,
- das C/N Verhältnis durch Zuschlag organischer Kohlenstoffträger zu erhöhen, um damit die Verfügbarkeit und Entstehung von Ammonium zu mindern,

- eine erneute Methanbildung durch aerobe Verhältnisse zu unterbinden,

Die offene Nachrotte von Gärresten ist nach (gewitra 2011) ohne aktive Belüftung nicht akzeptabel. Für die Potenzialanalyse wurde eine entsprechende gute fachliche Praxis unterstellt und es wurde angenommen, dass dadurch die in Tabelle 3-6 aufgeführten N_2O -Emissionen bei der Nachrotte des aerobisierten festen Gärrestes weiter auf 24 g N_2O /Mg Bioabfallinput halbiert werden können.

Aus den Ausführungen ergeben sich folgende Anforderungen für die Nachrotte der festen Gärreste:

Zunächst erfolgt nach Anlieferung der Gärreste am Standort der Nachkompostierung ein homogenes Einmischen eines kohlenstoffhaltigen Materials (z.B. Stroh, Siebreste der Grünrestkompostierung o.ä.). Anschließend wird das entstandene Gemisch auf der Bodenplatte zu Dreiecksmieten aufgesetzt und abgedeckt. Die Membranabdeckung soll dafür sorgen, dass die Wärmeabgabe des gering biologisch reaktiven Materials reduziert wird, um damit die Temperatur bis in die Randbereiche über 45°C zu halten.

Zur Vermeidung anaerober Zonen muss für eine Durchlüftung der Nachrotte gesorgt werden, ohne dass dadurch der Mietenkörper unter das Temperaturniveau der N_2O -Bildung abkühlt.

Die Eckdaten für eine solche Nachrotte sind in Tabelle 3-7 dargestellt. Für eine Nachrottendauer von 6 Wochen und eine Mietenhöhe von durchschnittlich 1,5 m ist von einer befestigten Rottefläche von rund 1.300 m² auszugehen. Unter den Nachrottemieten sind bodenverlegte Lüftungsrinnen angeordnet. Die Rottebelüftung ist auf eine stündliche spezifische Belüftungsrate von 2 m³/m³ Rottegut (maximal) ausgelegt. Für die Nachrottebelüftung entsteht dadurch ein spezifischer (auf den gesamten Bioabfall-Input) bezogener Strombedarf von 0,57 kWh/Mg. Dieser zusätzliche Strombedarf ist gering und wird in der THG-Bilanz vernachlässigt.

Tabelle 3-7 Eckdaten für eine belüftete Nachrotte der aerobisierten festen Gärreste

Nachrotte der aerobisierten Gärreste	Einheit	Wert
Gärrestmenge nach Aerobisierung	Mg/a	9.844
Volumen Gärrest, Dichte 0,6 m ³ /Mg	m ³ /a	16.407
Lagervolumen bei 6-wöchiger Nachrotte	m ³	1.893
Befestigte Rottefläche, 1,5 m Mietenhöhe	m ²	1.262
Volumenstrom Belüftung der Nachrotte (druckbelüftet)		
spez. Belüftungsmenge je Rottevolumen	m ³ /m ³ ,h	2,0
Volumenstrom zur Belüftung	m ³ /h	3.786
Energiebedarf zur Belüftung der Rotte		
spez. Strombedarf	kWh/1.000 m ³	1,00
Strombedarf Nachrotte	kWh	3,8
Jahresstrombedarf	kWh	33.167
spez. Strombedarf bez. auf Bioabfall-Input	kWh/Mg	0,57

Durch die Nutzung von Lagern für die flüssigen Gärreste mit gasdichter Abdeckung und automatischer Fackel sowie durch die angenommene Minderung der N₂O-Emissionen durch den optimierten Betrieb der Nachrotte für feste Gärreste kann die spezifische THG-Nettoentlastung für die Bioabfallvergärung auf -147 Mg CO₂-Äq/a gesteigert werden.

Hochgerechnet auf die gesamt entsorgte Menge an Bioabfall ergibt sich aus der Potenzialanalyse für die Vergärung der Bioabfälle einschließlich der Optimierungen eine Nettoentlastung **für das Jahr 2020** von **-8.558 Mg CO₂-Äq**. Gegenüber der Ist-Situation im Jahr 2010 entspricht dies einem THG-Minderungsbeitrag von **-8.611 Mg CO₂-Äq**

Zu b) Intensivierung und flächendeckende Ausweitung der Bioabfallsammlung

Die Intensivierung der bestehenden Bioabfallsammlung auch im Innenstadtbereich (Blockbebauung und Großwohnanlagen) erscheint grundsätzlich möglich.

In einem wissenschaftlich begleiteten Projekt konnten durch den Einsatz von Müllschleusen an den Restmüllbehältern ab dem Jahr 2009 im Bezirk Wedding ("Brunnenviertel") bei den rund 900 angeschlossenen Einwohnern deutliche Mehrmengen an Wertstoffen, darunter Bioabfall, erfasst werden.

Details zu diesem Projekt finden sich im Kapitel 3.11.2 bezogen auf die trockenen Wertstoffe LVP, PPK und Glas. Nach Auswertung des Öko-Instituts konnte bei konsequenter Einführung von Müllschleusen der Bioabfall-Erfassungswert von 23,1 kg/(E*a) auf 65,2 kg/(E*a) gesteigert werden.

Basierend auf diesen Ergebnissen wird für die Potenzialanalyse zur gesteigerten getrennten Erfassung von Wertstoffen im Jahr 2020 angenommen, dass Müllschleusen bzw. ein umfassendes Abfallmanagement bei Großwohnanlagen (GWA) vollständig und bei Blockbebauungen zumindest anteilig umgesetzt werden. Insbesondere den kommunalen Wohnungsbauunternehmen kommt dabei eine Vorbildfunktion nach dem Berliner Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz zu (GWA gehören vorwiegend kommunalen Berliner Wohnungsbauunternehmen).

Für die prognostische Abschätzung der erfassbaren Bioabfallmengen wurden konservative Annahmen zu Grunde gelegt, wonach die Erfassungsmenge von Bioabfall bei der Blockbebauung auf 30 kg/(E*a) (zuvor 19,8) und beim Geschosswohnungsbau auf 20 kg/(E*a) (zuvor 8,4) bis 2020 gesteigert werden kann.

Weiterhin konnten in einem Versuch der BSR zur Ausgabe von bioabbaubaren Kunststoffbeuteln (Kanthak/Söling 2012) die erfassten Mengen um 11% bis 30% gesteigert werden (je nach verglichenem Versuchszeitraum). Dieses Projekt stellte als Motivationskomponente vorrangig auf die Komfortsteigerung der Sammlung von Bioabfällen ab.

Die verstärkte Motivation zur Getrenntsammlung wird speziell bei Einsatz von Müllschleusen und Abfallmanagement (inkl. Abfallberatung) durch die Aspekte "Umweltentlastung", vor allem aber "wirtschaftlicher Vorteil" für den Benutzer" erzeugt.

Einen derzeit nicht quantifizierbaren, aber wichtigen zusätzlichen Effekt auf die Motivation zur Bioabfallsammlung durch "Visualisierung des Sammelerfolges" wird das von den BSR realisierte Vergärungskonzept haben. Die künftige Aufschrift auf etwa jedem zweiten Müllfahrzeug, sinngemäß "Wir fahren mit Biogas aus Ihrem BIOGUT" wird eine intensive Iden-

tifikation mit der Getrenntsammlung schaffen. Die Wertschöpfung aus dem getrennt gesammelten BIOGUT findet damit nicht mehr fernab in einem eher abstrakten Prozess statt, sondern wird unmittelbar und täglich erlebbar. Diese Motivationskomponente erscheint von hoher Bedeutung, auch und gerade für die Akzeptanz und Funktion einer Ausweitung der Getrenntsammlung von Bioabfall auf die Gesamtstadt.

In Tabelle 3-8 werden die für 2020 geschätzten Bioabfallmengen dargestellt. Die in diesen beiden Siedlungsgebietsstrukturen (Innenstadt) zusätzlich erfassbare Bioabfallmenge beträgt rund 28.000 Mg/a.

Tabelle 3-8 Herkunft der Bioabfallmengen – Abschätzung für 2020

BLOCKBEBAUUNG: Verteilung Organik mit und ohne Bioabfallsammlung		Ohne Bioabfall	Mit Bioabfall		
Herkunft Organik	Einheit		Als Bioabfall	In den Frakt. verbleibend	
Organik im/aus Hausmüll	kg/(E*a)	100	30,0	70	
Summe Organik-Abfälle	kg/(E*a)	100	30,0	70	
GROSSWOHNANLAGEN: Verteilung Organik mit und ohne Bioabfallsammlung		Ohne Bioabfall	Mit Bioabfall		
Herkunft Organik	Einheit		Als Bioabfall	In den Frakt. verbleibend	
Organik im/aus Hausmüll	kg/(E*a)	109	20,0	89	
Summe Organik-Abfälle	kg/(E*a)	109	20,0	89	
AUSSENBEZIRKE - Verteilung der Organik mit und ohne Bioabfallsammlung		Ohne Bioabfall	Mit Bioabfall		
Herkunft Organik	Einheit		Als Bioabfall	In den Frakt. verbleibend	
Organik im/aus Hausmüll	kg/(E*a)	101	47	54	
Laubsackmengen	kg/(E*a)	20	20	0	
Eigenkompostierung	kg/(E*a)	144	65	79	
Summe Organik-Abfälle	kg/(E*a)	265	132	133	
Mengen Bioabfall 2020	Ew.-Anteil %	Einwohnerzahl	kg/(E*a)	Gesamt Mg/a	Zuwachs Mg/a
Blockbebauung	61%	2.049.262	30	61.478	20.902
Großwohnanlagen	19%	644.164	20	12.883	7.472
Summe Innenstadt	80%	2.693.426	28	74.361	28.375
Außenbezirke	20%	660.431	132	87.177	75.008
Summe Berlin (2008)	100%	3.353.857	48	161.538	103.383

Darüber hinaus wird durch die Ausweitung der Sammlung auf die Außenbezirke davon ausgegangen, dass die dort lebenden Einwohner weitestgehend an die Bioabfallsammlung angeschlossen werden und allein in diesen Bereichen rund 75.000 Mg/a zusätzlich erfasst werden. Für die erwarteten Mengen von 132 kg/(E*a) werden die gesammelten einwohnerspezifischen Bioabfallmengen zu Grunde gelegt.

Dass eine entgeltfreie Biotonne die hier angesetzten Mengen von 132 kg/(E*a) (unter Aufnahme von 65 kg/(E*a) aus der Eigenkompostierung) erreichen und noch deutlich überschreiten kann, stellten u.a. die aktuellen Sammelversuche der BSR in ausgewählten Außenbezirksgebieten unter Beweis. Hierbei wurden erfasste Bioabfallmengen von 140 bis 210 kg/(E*a) erreicht (Kanthak 2011). Das Handbuch zur Bioabfallsammlung (BGK 2009) spricht im städtischen Gebiet von 144 kg/(E*a).

→ Für die Potenzialanalyse 2020 wird angenommen, dass durch Müllschleusen bzw. Abfallmanagement im Innenstadtbereich sowie durch Ausweitung der Bioabfallsammlung auf die gartenreichen Gebiete insgesamt 103.383 Mg/a an Bioabfall zusätzlich getrennt erfasst werden.

Eine in den gartenreichen Außenbezirken eingeführte Bioabfallsammlung soll bewusst auch relevante Anteile an eigenkompostierten Materialien erfassen. Dazu erscheint eine entgeltfreie Biotonne die bestgeeignete Lösung, flankiert durch eine entsprechende Aufklärung, dass auch die Überführung eigenkompostierter Gartenabfälle in die Biotonne einen erheblichen Klimaschutzbeitrag leisten kann.

Das Berliner Abfallwirtschaftskonzept 2010 sieht die zusätzliche Erfassung von 95.000 Mg/a an Bioabfällen durch Ausweitung und Intensivierung der Sammlung bis 2015 vor. Die Menge entspricht etwa der hier genannten Mehrmenge und bildet ähnliche Anteile von getrennt gesammelter Hausmüll-Organik sowie in die Biotonnen umgelenkter Laubsackinhalte und eigenkompostierter Materialien ab.

Unter Einrechnung der im Jahr 2010 bereits getrennt erfassten Bioabfallmenge von 58.155 Mg kann die erfasste Bioabfallmenge insgesamt damit auf 161.538 Mg/a gesteigert werden.

Die THG-Entlastung der zusätzlichen Bioabfallsammlung ist für die erfassten Mengen in ihrer aktuellen Entsorgungsform und in ihrer künftigen Verwertung als Bioabfall in Abbildung 3-12 zusammengestellt. Die Darstellung ist mit gerundeten Werten aufgebaut und nimmt ebenfalls die Ergebnisse der gesonderten THG-Modellrechnung für die Mitbehandlung von Organikabfall im Hausmüll im Jahr 2010 auf (vgl. Kap. 2.18.1).

Vorrangig soll daran erkennbar werden, in welchem Bereich umgelenkter Organikmengen die Intensivierung sowie die Ausweitung der Sammlung die größte Wirkung erzielt.

Mit der Erweiterung der Bioabfallsammlung werden 55.082 Mg an Organik aus dem Hausmüll, 11.365 Mg an Laubsackinhalten und 36.936 Mg eigenkompostierter Materialien erfasst, in Summe 103.383 Mg.

In Summe ergibt sich rechnerisch dafür eine THG-Entlastung von -8.602 Mg CO₂-Äq/a, die durch das Ergebnis aus der THG-Modellrechnung für die Mitbehandlung im Hausmüll geprägt wird. Die derzeitige Verwertung von Organik über Laubsack und Eigenkompostierung geht dagegen mit einer leichten THG-Nettobelastung in den Wert ein (die spezifischen Werte wurden den Kapiteln 2.18.1, 2.18.3 und 2.18.4 entnommen.)

Bei Ausweitung der Sammlung wird der Bioabfall über hochwertige emissionsarme Anlagen verwertet – hier mit einer TA Luft-konformen Vergärung gerechnet mit einer Netto-Entlastungswirkung von -193 kg CO₂-Äq/Mg, die weiter unten unter Punkt „zu c)“ beschrieben wird. Das Ergebnis für die Vergärung ist nicht für alle Abfallarten gleich. Dies folgt dem Ansatz, dass Gartenabfälle, wie in Laubsack und Eigenkompostierung verwer-

tet, einen Methanertrag von 48 m³/Mg erwarten lassen (aus 80 m³/Mg Gasertrag und 60% Methananteil (nach (WI/ICU 2009)), dagegen sind wegen der höheren Abbaubarkeit von Küchenabfällen 78,5 m³ Methanertrag je Tonne Hausmüllorganik zu erwarten⁴⁹. Die unterschiedlichen Gaserträge sind Ursache für die unterschiedlichen spezifischen Nettoergebnisse für Organik aus Hausmüll und Gartenabfall aus Laubsack/Eigenkompostierung in Abbildung 3-12.

Entsorgung 2010		Entsorgung	Kompost.	Kompost.	Summe/Mittel
Netto-Wirkung pro Jahr	Mg CO ₂ -Äq/a	-9.461	193	665	-8.602
Netto-Wirkung spezifisch	kg CO ₂ -Äq/Mg	-172	17	18	-83
Umgelenkte Organik, Art und Menge		↑	↑	↑	↑
		Hausmüll-Organik 55.082 Mg	Laubsack-inhalte 11.365 Mg	Eigenkomp. Materialien 36.936 Mg	Summe 103.383 Mg
		↓	↓	↓	↓
Verwertung 2020		Bioabfallsammlung und -vergärung			
Netto-Wirkung spezifisch	kg CO ₂ -Äq/Mg	-215	-168	-168	-193
Netto-Wirkung pro Jahr	Mg CO ₂ -Äq/a	-11.843	-1.909	-6.205	-19.957
THG-Entlastung 2020/2010	Mg CO ₂ -Äq/a	-2.382	-2.103	-6.870	-11.355
Anteil an der Entlastung		21,0%	18,5%	60,5%	100%
Anteil an den umgelenkten Mengen		53,3%	11,0%	35,7%	100%

Abbildung 3-12 Ableitung der THG-Entlastungsbeiträge für die Mengen der Sammlungs- ausweitung

Die zusätzlich gesammelten Mengen verteilen sich mit 53% zu 47% nahezu gleich auf Hausmüllorganik einerseits und Laubsack-/Eigenkompostierungsmengen andererseits. Der in Abbildung 3-12 zur Orientierung ermittelte zusätzliche THG-Minderungsbeitrag durch Ausdehnung der Sammlung wird zu rund 61% aus den umgelenkten Eigenkompostierungsmengen erzeugt. Da die umgelenkte Menge an Organikabfällen aus Laubsack nur etwa ein Drittel der Menge aus der Eigenkompostierung ausmacht, ergibt sich der Beitrag zur THG-Minderung ebenfalls auf ein Drittel des Wertes der Eigenkompostierung (rund 19%). Die Erfassung von Hausmüllorganik trägt mit rund 21% zum Entlastungseffekt bei. Davon stammen rund 10%-Punkte aus der Hausmüll-Organik der Außenbezirke, die verbleibenden rund 11% werden von der intensivierten Sammlung in den bestehenden Sammlungsgebieten bewirkt.

Diese Betrachtung dokumentiert im Vorgriff auf die nachfolgende detailliertere Beschreibung der für die Potenzialanalyse angesetzten Verwertungsverfahren, welchen deutlichen

⁴⁹ Diese Werte wurden bereits für die Bestandsaufnahme verwendet. Die 58.155 Mg BIOGUT setzen sich nach (WI/ICU 2009) aus 50.319 Mg Bioabfall, 1.844 Mg Laubsack und 5.992 Mg Material aus der Eigenkompostierung zusammen; im Mittel ergibt sich daraus der verwendete Methanertrag von 74,4 m³/Mg Fermenter-Input (aus 120 m³ Biogas/Mg Fermenter-Input und 62 Vol% Methan).

THG-Entlastungseffekt speziell die Ausweitung der Bioabfallsammlung auf die gartenreichen Außenbezirke hat.

Zu c): Behandlung der zusätzlich erfassten Organikmengen in emissionsarmen TA Luft-konformen Behandlungsanlagen (Vergärungsanlage und HTC-Verfahren)

Bei flächendeckender Ausweitung der Bioabfallsammlung auf Gesamt-Berlin ist eine weitere Behandlungskapazität für die Mehrmengen von 103.383 Mg/a bereitzustellen.

Als Behandlungsverfahren kommen insbesondere eine kombinierte energetische und stoffliche Verwertung durch Vergärung und die nur energetisch verwertende Hydrothermale Karbonisierung (HTC-Verfahren) in Frage. Für eine zukunftsweisende Behandlung wurde als Anforderung gesetzt, dass entsprechende Behandlungsanlagen geschlossen ausgeführt und TA Luft-konform sein müssen sowie einen möglichst energieeffizienten Einsatz der erzeugten Brennstoffe aufweisen (Biogas in KWK-Nutzung, s. Tabelle 3-9; HTC-Kohle zur Kohlesubstitution).

→ Für die Potenzialanalyse 2020 wird angenommen, dass die zusätzlich getrennt erfasste Menge an Organikabfall von 103.383 Mg über TA Luft-konforme Vergärung oder HTC-Behandlung mit effizientem Einsatz der erzeugten Brennstoffe erfolgt.

Für die THG-Bilanz werden folgende Annahmen zu Grunde gelegt:

- Sammlung und Störstoffabtrennung und -entsorgung bleiben gegenüber der Bestandsaufnahme unverändert,
- Transportwege bleiben gegenüber der Bestandsaufnahme unverändert,
- Bioabfall mit 35% TS, 65% oTS (Bezug TS) und einem Heizwert von 3.100 kJ/kg.
- Gartenabfall aus Laubsack und Eigenkompostierung mit den unter 2.18.3 und 2.18.4 genannten Stoffwerten und einer Methanbildung von 48 m³ /Mg Fermenter-Input.

Die verwendeten Eckwerte für die beiden Verfahren werden nachfolgend aufgeführt.

TA Luft-konforme Vergärungsanlage mit Biogasnutzung über BHKW

Das für die Behandlung in einer TA Luft-konformen Vergärungsanlage vorgesehene Gemisch weist – wie zuvor erwähnt – durch den höheren Anteil an Gartenabfall in Summe einen niedrigeren Methanertrag auf als das unter Punkt „zu a)“ beschriebene derzeit bereits getrennt erfasste Material. Der Methanertrag des Gemischs beläuft sich auf 64,3 statt 74,4 m³/Mg Fermenter-Input.

Für die Anlage selbst wurde eine kombinierte energetische und stoffliche Verwertung angenommen mit den Produktionszielen Biogas und kompostierter Gärrest (kGR). Für das erzeugte Biogas wird im Gegensatz zur BSR-Anlage keine Aufbereitung auf Erdgasqualität angenommen, sondern eine direkte Nutzung in einem BHKW. Die energetischen Wirkungsgrade wurden analog den Werten in (UBA 2012a) angenommen. Auch sonst entspricht die angenommene Anlage weitgehend der in (UBA 2012a) definierten Anlage nach dem Stand der Technik, einzige Ausnahme bildet die Einhaltung der Emissionsrichtwerte

nach TA Luft. Die insgesamt für die TA Luft-konforme Vergärungsanlage angesetzten Kenndaten sind in Tabelle 3-9 aufgeführt.

Tabelle 3-9: Randbedingungen TA Luft-konforme Vergärung

Parameter	TA Luft-konforme Vergärung
Methanertrag	64,3 Nm ³ /Mg Abfall
Fackelverluste	2%
Wirkungsgrade Biogas-BHKW	
elektrisch	40%
thermisch	43%
Methanemissionen Biogas-BHKW	0,5% des Methaninput
Energieeigenbedarf	
Strom	20% d. prod. Stroms
Wärme	25% d. prod. Wärme
Stromüberschuss	Netzeinspeisung
Wärmeüberschuss	40% Nutzung
Emissionen Biogasanlage	
Methan	300 g/Mg
Lachgas	85 g/Mg

Darin entspricht der Emissionswert für Methan von 300 g CH₄/Mg Organikabfallinput der Vorgabe nach TA Luft, dass die Massenkonzentration von TOC den Wert von 50 mg/m³ nicht überschreiten darf. Berechnet ist der Wert mit einem angenommenen Abgasvolumen von 6.000 Nm³/Mg Abfallinput und einem CH₄-Anteil im TOC von 75%. Die 75% Methananteil sind aus Angaben nach (gewitra 2009) für TOC und Methanemissionen für die Vergärung berechnet. Das Abgasvolumen entspricht etwa dem für die BSR-Vergärungsanlage prognostiziertem Abgasvolumen (40.000 m³/h für 60.000 Mg/a). Bei einem höheren Abgasvolumen würde sich rechnerisch eine höhere zulässige Methanfracht ergeben.

Die Fackelverluste wurden analog der BSR-Vergärungsanlage zu 2% gesetzt. Über das BHKW werden 40% der Biogasenergie als Strom gewonnen und 43% als Wärme. Der Eigenbedarf an Strom liegt bei 20%, der an Wärme bei 25% bezogen auf die jeweils produzierten Mengen. Für die verbleibende Überschusswärme wird angenommen, dass 40% extern genutzt werden können.

Die weiteren Annahmen für die Vergärungsanlage entsprechen weitgehend denen für die optimierte BSR-Vergärungsanlage: flüssiger Gärrest wird gasdicht gelagert, entstehendes Gas abgefackelt; kompostierter Gärrest wird zu 50% in der Landwirtschaft und zu 50% im Gartenbau eingesetzt. Die Substitutionspotenziale entsprechen den für die BSR-Vergärungsanlage beschriebenen.

Zur Erreichung der o.g. Abluftgrenzwerte der TA Luft ist eine Abluffassung und -behandlung erforderlich. Ein Biofilter ist hierfür nicht geeignet, da Methan im Biofilter nicht bzw. kaum abgebaut wird. Die Abluftbehandlung muss zumindest anteilig eine ther-

mische Oxidation in Form einer (Nach)Verbrennung beinhalten. Die technischen Ansatzpunkte dazu sind nachstehend skizziert.

Verbrennung der Gesamtabluft: Möglich wäre dies beispielsweise durch eine geeignete Standortwahl in unmittelbarer Nachbarschaft zu einem großindustriellen Feuerungsprozess mit einem ausreichend hohen Verbrennungsluftbedarf, der die Abluft der Vergärung aufnehmen kann. Die TOC-Emissionen über die Verfahrensablufte wären damit praktisch auf Null reduzierbar. Bevorzugt geeignet erscheinen dafür Kraftwerke mit bereits bestehender Kraft-Wärme-Kopplung, die zusätzlich die Abwärme des BHKW in das Fernwärmenetz einspeisen lassen.

Teilstrombehandlung mittels RTO⁵⁰: Analog zur etablierten, wenn auch in der Pflege und Betriebsführung nicht unproblematischen RTO-Abluftreinigung auf MBA-Anlagen ist dieses Verfahren zumindest geeignet, die TA Luft-Emissionswerte deutlich zu unterschreiten. Sinnvoll einsetzbar ist die RTO nur für möglichst konzentriert gehaltene, hoch methanbelastete Abluftteilströme, so z.B. die Abluft aus der Gärrest-Abpressung und Aerobisierung, die etwa die Hälfte der gesamten Anlagenablufte darstellen und zudem wegen der hohen organischen Belastung mit deutlich niedrigerem Stützgasbedarf gereinigt werden können als bei Reinigung der Gesamtabluft der Anlage. Die *gesamte* Ablufte einer Vergärung per RTO zu reinigen stellte (CUTEC 2010) für die BSR-Vergärung Ruhleben zutreffend als nicht zielführend dar. In Mischung des RTO-Abgases mit der Reinflufte aus der mit Biofilter gereinigten Ablufte, der niedriger TOC-belasteten Hallenluft der Annahme und Aufbereitung ist die Einhaltung der TA Luft-Emissionswerte plausibel.

Teilstrombehandlung über BHKW: Die Reinigung methanbelasteter Ablufte als Verbrennungslufte eines BHKW ist sinnvoll, kann aber nur eine Teillösung darstellen. Der Verbrennungsluftbedarf liegt bei rund 1,1 - 1,2 m³/kWh Biogas⁵¹, somit zwischen 700 – 800 m³/Mg Bioabfall (bei max. 650 kWh Biogas-Energie je Mg Input). Der Anfall von Ablufte mit hohem Methangehalt aus Abpressung und Gärrest-Aerobisierung liegt dagegen bei rund 3.000 m³/Mg Input, so dass ein Überschuss an thermisch behandlungsbedürftiger Ablufte verbleibt. Für das BHKW selbst besteht derzeit keine technische Lösung zur Minderung der Methanemissionen aus ständiger Verbrennung. Messungen nach einem Oxidationskatalysator ergaben keine Reduzierung (Aschmann et al. 2010).

Hydrothermale Karbonisierung (HTC)

Eine detailliertere Beschreibung des HTC-Verfahrens ist Anhang E dieser Studie zu entnehmen. Nach Aufbereitung analog zur Vergärung erfolgt eine Inertstoffaustrennung und Konversion zu HTC-Kohle. Der Eigenbedarf wird einschließlich Aufbereitung mit 50 kWh/Mg an Strom und 150 kWh/Mg an Erdgas abgeschätzt. 23% des Inputgewichtes werden als Kohle ausgebracht, bei einem Wassergehalt der Kohle von 25% und einem Heizwert von 3,87 kWh/kg. THG-Emissionen entstehen nur aus der Absaugung der Anlieferung und Aufbereitung und sind hier als gleich mit der Vergärung angesetzt. Die HTC-Kohle ersetzt heizwertäquivalent Braunkohle.

⁵⁰ RTO = Regenerative Thermische Oxidation; Ablufteverbrennung mit Wärmerückgewinnung von 95-97% über in den Roh- und Reingasstrom eingesetzte keramische Wärmespeicher.

⁵¹ nach Herstellerangaben für BHKW, z.B. http://www.lenzbiopower.com/lenzbhkw.de/-images/stories/PDF_file/Produkte/Lenz-BioPower%20160BG/Tech-Daten_LBP160BG.pdf

Vergleich der Behandlungsverfahren

Die Ergebnisse der THG-Bilanz sind in Abbildung 3-13 dargestellt.

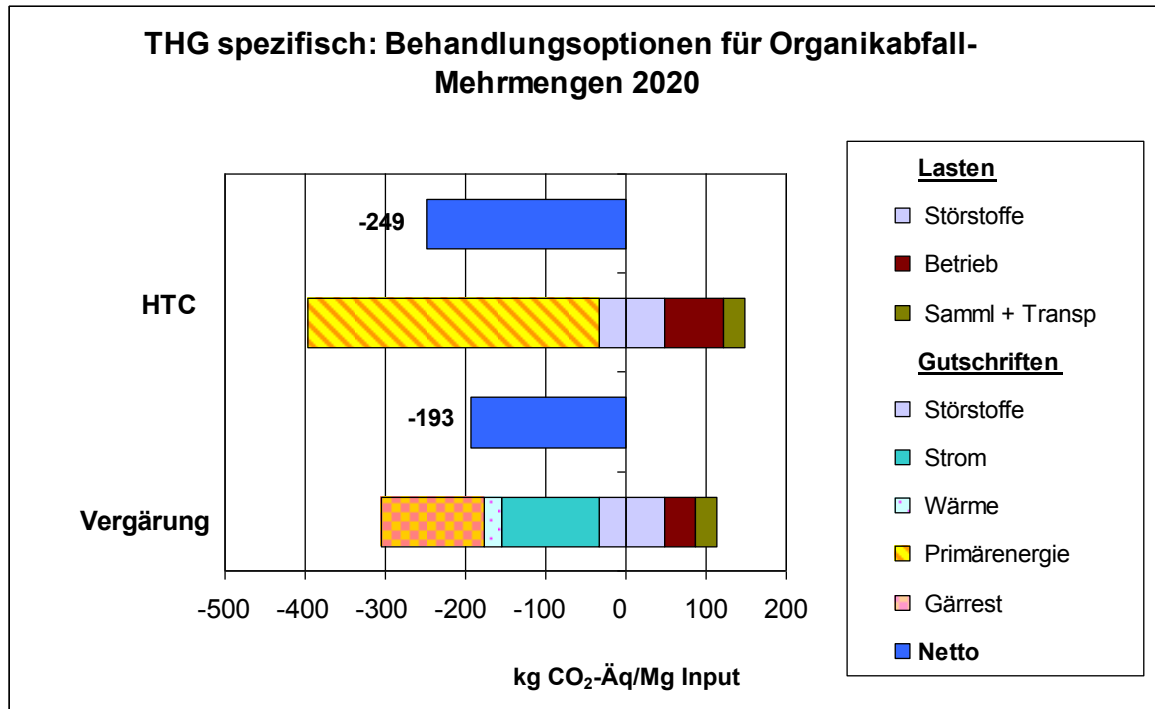


Abbildung 3-13 Spezifisches Ergebnis Behandlungsverfahren zusätzlich getrennt erfasseter Organikabfälle

Die TA Luft-konforme Vergärung mit Biogasnutzung über BHKW benötigt einen Standort, der eine 40%ige Nutzung der Überschusswärme ermöglicht. Unterschiede zur optimierten BSR-Vergärungsanlage ergeben sich im Wesentlichen durch die andere Biogasnutzung (inkl. Deckung Energieeigenbedarf) und das optimierte Abluftreinigungssystem. Die wesentliche THG-Gutschrift wird etwa zu gleichen Anteilen durch die Verstromung des Biogases über BHKW erreicht und die Anwendung des Gärrestes (kompostierter Gärrest und Flüssigdünger). Insgesamt ergibt sich eine Nettoentlastung von -193 kg CO₂-Äq/Mg Input.

Eine höhere spezifische Nettoentlastung als die Vergärung liefert rechnerisch die HTC-Variante. Da verfahrensimmanent kaum eine Methan- und Lachgasbildung erfolgt, ist eine TA Luft-konforme Anlage mit weniger Unsicherheiten zu erstellen als bei der Vergärung, für die die Belastungsreduzierung auf 50 mg TOC/m³ Abluft noch erschlossen werden muss bzw. von einer geeigneten Standortwahl abhängt. Nicht abschließend quantifiziert sind die TOC-Emissionen im Abgas der HTC-Reaktoren. Verfahrenstypisch ist Methan jedoch kein relevantes Reaktions(zwischen)produkt des Prozesses, das Abgas besteht mit 95-97% fast ausschließlich aus Kohlendioxid sowie zu 2-5% aus Kohlenmonoxid, mit Restverunreinigungen an Methan, Schwefelwasserstoff und anderen organischen Verbindungen. Zudem fällt Abgas nur in vergleichsweise geringen Mengen an. Überschlägig ist laut dem HTC-Anbieter SunCoal – der auch die o.g. Abgaszusammensetzung mitteilte – für das "Carboren"-Verfahren je Tonne Frischmasse-Input mit 5 Gew-% Abgas zu rech-

nen, das entspräche 25 m³/Mg Input. Das Abgas könnte damit problemlos in die Zuluft einer Erdgas-Dampferzeugung eingebracht und dort mit oxidiert werden.

Die THG-Belastungen von insgesamt 114 kg CO₂-Äq/Mg sind überwiegend aus dem Energieverbrauch bestimmt.

Auf der Gutschriftenseite weist das HTC-Verfahren über den heizwertäquivalenten Braunkohleersatz durch die erzeugte HTC-Kohle mit -363 kg CO₂-Äq/Mg einen höheren Entlastungsbetrag auf als die Vergärung für Energie- und Gärrestgutschriften. Eine stoffliche Verwertung erfolgt nicht und erzeugt demzufolge keine Gutschrift. Die Nettoentlastung des HTC-Verfahrens für den hier betrachteten Organikabfall liegt nach dieser Berechnung bei -249 kg CO₂-Äq/Mg.

Beide Verfahrensalternativen realisieren mit spezifischen THG-Nettoentlastungen von -193 kg CO₂-Äq/Mg (Vergärung) bzw. -249 kg CO₂-Äq/Mg (HTC-Behandlung) durch TA Luft-konforme Abluftreinigung und hocheffiziente Brennstoffnutzung einen relevanten Klimaschutzbeitrag für die Verwertung der künftig zusätzlich getrennt gesammelten Organikabfälle.

Die abschließende Betrachtung des erzielbaren Klimaschutzbeitrages durch die gesteigerte getrennte Erfassung von Organikabfällen aus Haushalten erfolgt im Optimierungsszenario in Kapitel 4.1.2, da die Entnahme des Organikabfalls aus Hausmüll eine gesamt-systematische Betrachtung erfordert.

Die hier durchgeführten Berechnungen und Gegenüberstellungen zeigen orientierend, dass die beiden betrachteten Verwertungsverfahren gegenüber der bisherigen Mitbehandlung von Organikabfall im Hausmüll sich aus Klimaschutzsicht vorteilhaft darstellen.

3.18.3 Eigenkompostierung Bio- und Grünabfälle

In der Bestandsaufnahme (Kap. 2.18.3) wurde für Berlin eine über Eigenkompostierung verwertete Menge von 100.939 Mg/a ermittelt. Davon entfallen auf die Hausgärten 72.857 Mg/a. Die verbleibende Eigenkompostierungsleistung ist nach Flächenanteil den Kleingartenkolonien zugeordnet.

Optimierungspotenziale im Bereich der Eigenkompostierung liegen im Wesentlichen in ihrer Umlenkung auf alternative Verwertungswege, die zu verminderten THG-Emissionen aus der Behandlung führen und zusätzlich den Energiegehalt erschließen.

→ Für die Potenzialanalyse 2020 wird für die eigenkompostierten Mengen angenommen, dass durch die Ausweitung der getrennten Bioabfallsammlung in den Wohngebieten davon 36.936 Mg/a erfasst und über die Bioabfallbehandlung verwertet werden.

Für die Hausgärten der Wohngebiete würde die Umlenkung eigenkompostierter Mengen bei Ausdehnung der Bioabfallsammlung auf die Außenbezirke erfolgen. Je Einwohner werden dort 65 kg pro Jahr an umgelenkter Eigenkompostierungsmasse erwartet. Es würden dabei 36.936 Mg/a über die geplante flächendeckende Einführung der Biotonne erfasst, das sind rd. 50% der bislang in Hausgärten eigenkompostierten Mengen.

Zum Nutzwert des Kompostes im eigenen Garten dokumentieren die Bodenanalysen der Berliner Hausgärten (ICU 2009) deutlich, dass im Mittel die aktuelle Menge an selbst erzeugtem Kompost zumindest für die Humusversorgung nicht vollständig erforderlich und

für die Phosphatversorgung überflüssig ist. Die Berliner Gartenböden sind mehrheitlich phosphatüberdüngt. Hier geht ein in der Landwirtschaft benötigter und ressourcenbegrenzter Nährstoff ungenutzt verloren. Phosphat ist zwar nicht Gegenstand dieser Studie, sei aber trotzdem erwähnt, da auch vor diesem Hintergrund z.B. im Leitfaden zur Bioabfallsammlung des Landes Baden-Württemberg (LUBW 2010) das Überdüngungsrisiko der Hausgärten angesprochen und demzufolge die zumindest anteilige Umlenkung von eigenkompostierten Mengen in die Biotonne empfohlen wird. Diese Umlenkung soll auch hier nur anteilig – zu rd. 50% – erfolgen, so dass die Grundversorgung der Gärten mit Humus und Nährstoffen aus der (reduzierten) Eigenkompostierung erhalten bleibt.

Die in Kleingartenkolonien eigenkompostierten Materialien kommen für eine derartige Umlenkung nicht in Betracht:

- a) Der Nutzgartenanteil der Koloniegärten muss mindestens ein Drittel⁵² der Gesamtfläche betragen, ist also für den Anbau von Obst und Gemüse für den Eigenbedarf vorgeschrieben. Über Bewirtschaftung und Verzehr der Erzeugnisse findet ein Humus- und Nährstoffentzug statt, der durch eigenerzeugten Kompost wieder ausgeglichen wird. Nach Aussage des Vorstandes des Landesverbandes Berlin der Gartenfreunde⁵³ wird die Vorschrift zum Nutzgartenanteil in den Kolonien nicht nur in der Satzung, sondern auch in der Praxis befolgt und führt zu einem entsprechend höheren Bedarf an eigenerzeugtem Kompost.
- b) Die Kleingartenkolonien können wegen der nur zeitweisen Nutzung der Gärten (Nutzung als Wohnsitz ist nicht gestattet) nicht zur Annahme der Biotonne gezwungen werden.

Daher wird davon ausgegangen, dass die Eigenkompostierung in den Kleingartenkolonien Berlins unberührt bleibt. Für vorhandene Überschussmengen an Gartenabfällen steht zukünftig weiterhin die Laubsacksammlung zur Verfügung, um diese zu erfassen und einer hochwertigen Verwertung zuzuführen.

Die Auswirkungen der Umlenkung der eigenkompostierten Mengen auf die THG-Bilanz wird, aufgrund der angenommenen gemeinsamen Verwertung mit Organikabfall aus Hausmüll, gesondert im Optimierungsszenario in Kapitel 4.1.2 betrachtet.

3.18.4 Organikabfälle im Sammelsystem Laubsack

Die Bestandsaufnahme für das Land Berlin (Kap. 2.18.4) ergab 15.855 Mg an Organikabfällen im Sammelsystem Laubsack, die derzeit in einfachen Kompostierungsanlagen im Land Brandenburg verwertet werden.

→ Für die Potenzialanalyse 2020 wird angenommen, dass eine Laubsackmenge von 11.365 Mg über die künftig erweiterte Bioabfallsammlung erfasst wird. Für die verbleibenden 4.490 Mg wird eine energetische Verwertung untersucht.

Die Auswirkungen der Umlenkung der Laubsackmenge von 11.365 Mg zur gemeinsamen Verwertung mit Organikabfall aus Hausmüll auf die THG-Bilanz wird gesondert im Optimierungsszenario in Kapitel 4.1.2 betrachtet, da hierbei verschiedene Abfallarten betref-

⁵² Nach in die Satzungen umgesetztem BGH-Urteil 2004 zum Bundeskleingartengesetz (BKleingG).

⁵³ Gespräch am 7.2.2009 beim Vorsitzenden des Landesverbandes, Berlin-Spandau.

fen sind und die Entnahme von Organikabfall aus Hausmüll eine gesamtsystematische Bewertung erfordert. Die Auswirkungen der energetischen Verwertung für die verbleibenden 4.490 Mg werden nachfolgend untersucht.

Eine Fortsetzung der Laubsacksammlung wird als notwendig angesehen, um einerseits saisonale Überschussmengen aufzunehmen und andererseits insbesondere die Grünabfälle an Standorten zu erfassen, die nicht an die Bioabfallsammlung angeschlossen sind (z.B. Kleingartenkolonien). Erfasst werden damit im Jahr 2020 weiterhin 4.490 Mg/a.

Als höherwertige Alternative zur derzeitigen Kompostierung eignen sich die weiterhin über den Laubsack gesammelten Grünreste vorzugsweise für eine energetische Verwertung, der eine Trocknung vorgeschaltet ist, oder für die hydrothermale Karbonisierung (HTC). Unverzichtbar ist in beiden Fällen die Abtrennung von Inertstoffen und natürlich der PE-Säcke. Verfahrenstechnisch benötigen alle Varianten auch eine Vorzerkleinerung.

Betrachtet werden die Varianten

- a) Verwertung über eine neu zu errichtende HTC-Anlage
- b) Mitbehandlung über die MPS (Standorte Berlin-Reinickendorf und Berlin-Pankow)
- c) Mitbehandlung über die MBS (Standort Niederlehme, südöstlich von Berlin)

Die Verwertung der anfallenden Laubsäcke soll vorrangig über eine HTC-Anlage nach a) erfolgen. Für die Behandlung der 4.490 Mg/a kommt eine gemeinsame Behandlung mit Straßenlaub und Bioabfall in Frage (s. Kap. 5.4).

Optional stünde auch die Behandlungsoption b) über die MPS-Anlagen grundsätzlich zur Verfügung. Die tatsächlich dort verarbeitbaren Laubsackmengen stehen in Abhängigkeit von freien Behandlungskapazitäten.

Auch zur Verarbeitung der Laubsäcke über die MBS-Anlage c) liegt die grundsätzliche Zusage der Betriebsleitung der ZAB-Niederlehme zur Abnahme vor.

Als weitere Alternative käme noch die Mitverarbeitung in der mechanischen Aufbereitung der ORS GmbH & Co KG in Frage, die hier jedoch nicht näher verfolgt wird, da für die vergleichsweise geringen Laubsackmengen im Gegensatz zu Laub, Straßenlaub keine Notwendigkeit besteht, sämtliche verfügbaren Anlagenkapazitäten auszuschöpfen. Eine vergleichende Betrachtung findet sich in Kapitel 3.19 für Laub, Straßenlaub und zeigt, dass die Behandlung über MA im Vergleich zu den oben genannten die geringste THG-Entlastungswirkung erreicht.

Der THG-Bilanz der drei alternativen Verfahren zur Behandlung der Laubsackmenge liegen folgende Ansätze zugrunde:

Die Kenndaten für Organikabfälle im Sammelsystem Laubsack entsprechen denen der Bestandsaufnahme: 54% Wassergehalt, oTS = 65% TS, $H_u = 1,3 \text{ kWh/kg FS}$; 0,4% Störstoffe mit 50% fossilem C-Gehalt und einem Heizwert von 25 MJ/kg FS . Die Werte sind in allen Varianten gleich bewertet, ebenso der Sammlungsaufwand.

MPS: Stromverbrauch 67 kWh/Mg (wie Hausmüll), Trocknung auf 20% Rest-Wassergehalt; Erdgasverbrauch $0,75 \text{ kWh/Mg}$ verdampftes Wasser; 48% vom Input als erzeugter EBS mit $H_u = 3,23 \text{ kWh/kg FS}$; 90 kg/Mg ausgetrennte Inertstoffe; EBS-Verwertung und Transportentfernungen analog zu Hausmüll-EBS.

MBS: Stromverbrauch 85 kWh/Mg (wie Hausmüll); 20% oTS-Abbau, Gasverbrauch RTO wie bei Hausmüll; 43% vom Input als erzeugter EBS mit $H_u = 3,05 \text{ kWh/kg FS}$; 110 kg/Mg ausgetrennte Inertstoffe; EBS-Verwertung und Transportentfernungen analog zu Hausmüll-EBS.

HTC-Behandlung: Stromverbrauch 40 kWh/Mg, Erdgasverbrauch 130 kWh/Mg; 34% vom Input als erzeugte Biokohle mit $H_u = 4,0 \text{ kWh/kg FS}$; 200 kg/Mg ausgetrennte Inertstoffe.

Die vergleichenden Ergebnisse der THG-Bilanzierung stellt Abbildung 3-14 zusammen.

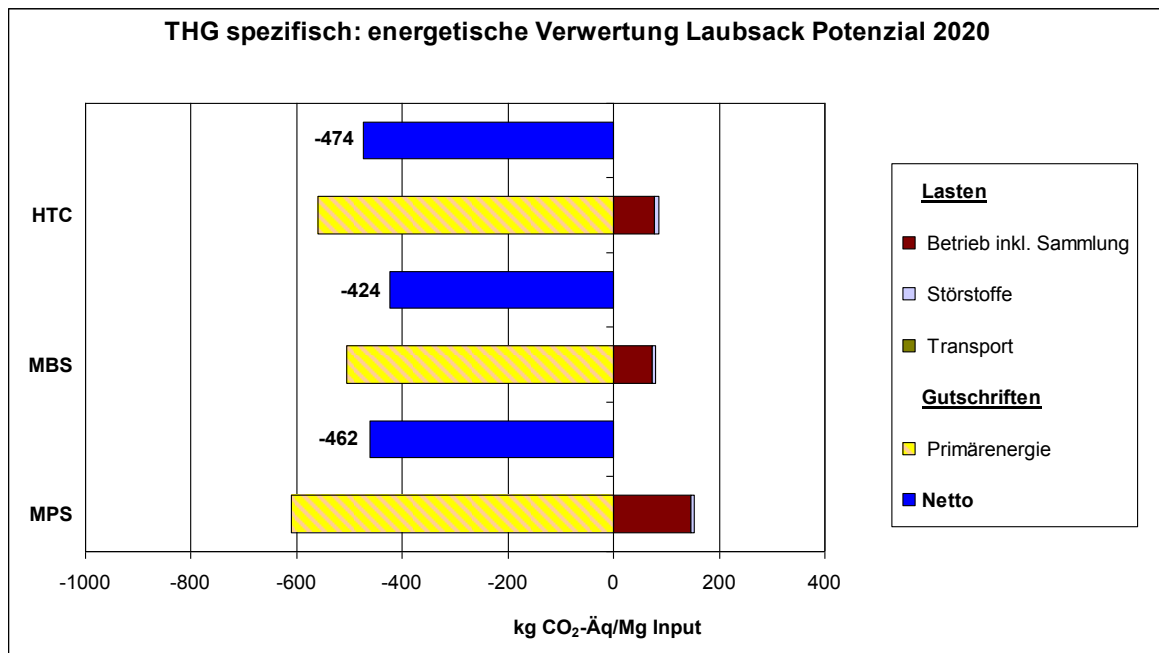


Abbildung 3-14: Potenzialanalyse Entsorgung Teilstrom Laubsack

Dass die drei untersuchten Varianten mit energetischer Nutzung eine sehr hohe THG-Entlastung bewirken, liegt an der hohen Gutschrift für den heizwertäquivalenten Kohleersatz aus der Nutzung der erzeugten EBS bzw. der Biokohle. Der Vorsprung der HTC gegenüber MPS und MBS fällt hier bei Laubsackinhalten gering aus – dies liegt an dem z.B. im Vergleich zu Laub geringeren Wassergehalt der Laubsackinhalte, der den Gasverbrauch bei der MPS zur thermischen Trocknung deutlich stärker senkt als den Gasverbrauch der HTC. Entscheidend für den Unterschied zwischen HTC und thermischer Trocknung ist auch der Wirkungsgrad der thermischen Trocknung. Es wurden hier für die MPS die empirischen Ergebnisse der Hausmülltrocknung mit $0,75 \text{ kWh/Mg}$ verdampften Wassers angesetzt.

Die Behandlung per HTC erscheint aus Klimaschutzsicht als das favorisierte Verfahren für die Laubsackmengen, die nicht von der Biotonne erfasst werden. Die anderen Verfahren MBS und MPS sind jedoch Optionen mit ähnlichem THG-Minderungsbeitrag.

Für die Gesamtbilanz wird die HTC-Behandlung mit der spezifischen Nettoentlastung von $-474 \text{ kg CO}_2/\text{Mg}$ angesetzt.

Hochgerechnet auf die entsorgte Teilmenge an Laubsäcken von 4.490 Mg ergibt sich eine Nettoentlastung von **-2.128 Mg CO₂-Äq für das Jahr 2020**. Gegenüber der Ist-Situation im Jahr 2010 entspricht dies einem THG-Minderungsbeitrag von **-2.203 Mg CO₂-Äq/a**.

3.19 Laub, Straßenlaub

Die Bestandsaufnahme zu Laub, Straßenlaub (Kap. 2.19) ergab ein Jahresaufkommen in Höhe von 56.395 Mg an Laub und Straßenlaub, das derzeit in einfachen Kompostierungsanlagen im Land Brandenburg verwertet wird. Davon entfallen 45.386 Mg auf Straßenlaub der BSR sowie Laub der Grünflächenämter der Bezirke. Weitere 11.009 Mg werden über Unternehmen des Garten- und Landschaftsbaus erfasst. Die letztgenannten Mengen stammen wiederum zu rd. 70% aus der Grünflächenpflege für kommunale Wohnungsbauunternehmen. Somit ergibt sich ein Aufkommen von 53.092 Mg aus kommunalen Einrichtungen und weiteren 3.303 Mg/a aus dem privaten Bereich (u.a. private Wohnungsbauunternehmen). Die spezifische THG-Nettoentlastung der derzeitigen Laubkompostierung liegt bei rund -15 kg CO₂-Äq/Mg.

Laub ist generell nicht zur Vergärung geeignet, weil das Gasbildungspotenzial mit unter 20 m³/Mg (WI/ICU 2010) stoffbedingt zu gering ist. Die Anforderungen an eine künftige optimierte Verwertung von Laub wurden in der von der Senatsumweltverwaltung veranlassten Studie (ICU 2011) erarbeitet und in einen Handlungsleitfaden für die Grünflächenämter der Bezirke umgesetzt. Danach kommen für eine höherwertige Verwertung von Laub nur folgende energetische Verwertungsverfahren in Betracht:

- Verbrennung im unbehandelten Zustand,
- thermische bzw. biologische Trocknung zur Erzeugung eines Ersatzbrennstoffes,
- HTC-Behandlung zur Erzeugung von Biokohle.

Die technischen Optionen dazu werden nachstehend beschrieben.

3.19.1 Technische Optionen zur Behandlung von Laub, Straßenlaub

Verbrennung im unbehandelten Zustand

Die Möglichkeit zur direkten Einspeisung von Laub in das von RWE betriebene Holzheizkraftwerk (Holz-HKW) Rudow wurde mit der dortigen Betriebsleitung erörtert. Es wurde daraufhin auf Anregung der Senatsumweltverwaltung in 2011/2012 ein Versuch mit Straßenlaub durchgeführt, bei dem das angelieferte Laub an der Lkw-Entladestelle (Aufgabebunker) des Kraftwerks auf die Fördereinrichtungen aufgegeben wurde.

Nach Aufgabe in den Dosierbunker wird das routinemäßig verarbeitete Altholz über Trogkettenförderer (TKF) zu einem Stangensizer zur Abtrennung von langen und sperrigen Anteilen gefördert. Deren Anteil am aufbereiteten Holz ist sehr gering. Nach Passage der Grobstoffaustrennung wird das Material über weitere Trogkettenförderer auf sechs Vorlagesilos verteilt, von denen aus die Beschickung der Kessel über weitere TKF erfolgt.

Mit dem separat aufgegebenen Laub kam es bei der Trenneinrichtung und an weiteren Übergabestellen zu Verstopfungsproblemen durch Brückenbildung oder Ablagerungen, die zum automatischen Abschalten der Fördereinrichtungen führte. Wegen seiner geringen Dichte fällt das Laub im Gegensatz zu kompaktem Altholz nicht in das Feingut der

Grobgutaustrennung, sondern schwebt über die Siebeinrichtung und blockiert wegen seines großen Volumens umgehend den dafür nicht ausgelegten Austrag des Grobgutes. Der Versuch wurde daraufhin abgebrochen. Es lässt sich feststellen, dass eine separate Verarbeitung von Laub im Holz-HKW Rudow wegen der nicht dafür ausgelegten Förder- und Lagereinrichtungen ohne größere Anpassungen der Aufbereitungs- und Fördertechnik nicht möglich ist. Denkbar wäre lediglich eine Zumischung des Laubs unter das angelieferte zerkleinerte Holz, was aber laut RWE mangels Mischeinrichtungen am Standort des Holz-HKW nicht möglich ist.

Feuchtes Laub hat in den Hauptparametern ähnliche analytische Qualitäten wie gefaulter Klärschlamm (TS 25-30%, oTS 60-85% TS, Heizwert um 2 MJ/kg). Es wurde daher bei Vattenfall angefragt, ob feuchtes Laub in den Braunkohlekraftwerken ähnlich wie gefaulter Klärschlamm verarbeitet werden könnte. Laut Vattenfall ist dies technisch nicht möglich, da die Förderung für Klärschlamm über Dickstoffpumpen erfolgt. Für deren Betriebssicherheit würde die Einspeisung von Laub ein zu hohes Risiko darstellen. Vattenfall wies jedoch darauf hin, dass aufbereitetes, getrocknetes Laub mit einem Heizwert von 9 MJ/kg in den Braunkohlekraftwerken eingesetzt werden könnte. Das Laub könnte dort in die EBS-Linie eingespeist und verwertet werden. Vattenfall wäre bereit, dies über entsprechende Versuche zu prüfen.

Thermische / biologische Trocknung zur Erzeugung eines Ersatzbrennstoffes

Die thermische Trocknung von Laub vor der Verbrennung ist generell z.B. in einem Trommeltrockner technisch analog zur MPS-Behandlung möglich. Innerhalb der Trocknung, nach Passage der Trommel, kann das getrocknete Laub pneumatisch abgezogen werden und lässt dabei die Erd- und Sandbestandteile als Schwergut zurück. Aus Interesse, organische Abfälle in Berlin nutzbar zu machen, hat Vattenfall die Option der Grünrest- und Laubtrocknung mit Verwertung über Mitverbrennung im Steinkohlekraftwerk Reuter auf technische und wirtschaftliche Machbarkeit untersuchen lassen. Die technische Realisierbarkeit erwies sich dabei als das nachrangige Problem. Das maßgebliche Hindernis ist rechtlicher Art: Laub hat nach alleiniger Trocknung nach Kreislaufwirtschaftsgesetz seine Abfalleigenschaft nicht verloren und darf danach nur in Anlagen mit Genehmigung nach 17. BImSchV verbrannt werden – über diese Genehmigung verfügen die in Berlin betriebenen Steinkohle- und Braunkohlekraftwerke nicht.

An der MPS-Anlage Berlin-Reinickendorf wurde im Herbst 2011 ein Versuch zur Mitverarbeitung von Straßenlaub durchgeführt (Petruschke 2011). Zum verarbeiteten Haus- und Geschäftsmüll im Zeitraum vom 17.-20.10.2011 von rund 3.000 Mg wurden rd. 770 Mg Straßenlaub eingespeist. Der Laubanteil lag damit bei 20% des Gesamt-Inputs. Stoffdaten des Laubes sind nicht dargestellt, es wurden stets die Mischungen mit dem Abfall beprobt und untersucht. Daten zu verändertem Energieeinsatz wurden nicht erhoben. Probleme in der Verarbeitung traten nicht auf, bis auf das nicht vollständig ausfüllbare Ladegewicht der EBS-Container. Im TS-Gehalt des Inputs und Outputs des Trockners war kein Unterschied gegenüber dem Betrieb mit 100% Restabfall festzustellen. Die vier vom EBS des Laubversuches gezogenen Proben zeigten keinen signifikanten Unterschied gegenüber dem ebenfalls vierfach beprobten Restabfallbetrieb der Vorwoche, auch nicht in den Anteilen fossilen Kohlenstoffs. Als wesentliche Aussage des Versuchs ist festzuhalten: Laub kann in Anteilen von 20% in der MPS mitverarbeitet werden. Nach (WI/ICU 2009) kann konservativ eine in den Herbstmonaten mitverarbeitete Menge von rund 5.000 Mg je

MPS-Anlage abgeschätzt werden, unter dem Vorbehalt, dass freie Behandlungskapazitäten vorhanden sind, so dass die vorrangige Behandlung von Siedlungsabfällen nicht beeinträchtigt wird. Der bei den MPS-Anlagen erzeugte EBS wird vorrangig im Braunkohlekraftwerk Jänschwalde eingesetzt (s. Kap. 2.6.1).

In der MBS Niederlehme südöstlich von Berlin ist die Mitverarbeitung von Laub ebenfalls möglich. Die Verarbeitungsmenge wurde von der Betriebsleitung mit 5.000 Mg Laub in den 8 Wochen der Spitzenanfallzeit angegeben. Das Laub durchläuft gemeinsam mit dem Restabfall die biologische Trocknung und nachfolgende Aufbereitung zu EBS. Der erzeugte EBS wird ebenfalls vorrangig in Braunkohlekraftwerken eingesetzt (s. Kap. 2.10.2).

Die Fa. ORS sieht sich ebenfalls in der Lage, im Spitzenanfallzeitraum rund 4.000 Mg Laub anzunehmen, der Anfallmenge folgend rd. 1.000 Mg im Oktober, 2.000 Mg im November und 1.000 Mg im Dezember. Das Laub würde dem EBS beigemischt, wobei ein Anteil von 20% Laub im Rahmen der Qualitätstoleranzen des EBS (insbesondere des Heizwertes) als akzeptabel angesehen wird.

HTC-Behandlung zur Erzeugung von Biokohle

Die HTC-Behandlung ist ein weiteres geeignetes Verfahren. Insbesondere die beiden HTC-Anbieter im Süden Berlins haben in ihren Technikumsanlagen in Teltow und Ludwigsfelde mehrfach Versuche mit verschiedensten Grünabfällen aus Berlin durchgeführt, darunter auch Laub, und die Funktionsfähigkeit der Technik auch im Dauerbetrieb unter Beweis gestellt. Für die erzeugte Biokohle – aus Laub oder anderen organischen Stoffen – lässt sich der Nachweis wesentlich schlüssiger führen, dass der organische Rohstoff rechtlich seine Abfalleigenschaft verloren hat und als Produkt gewertet wird. Hier steht als Präzedenzfall die diesbezügliche Entscheidung der Genehmigungsbehörde zu einer von der Fa. SunCoal beantragten HTC-Anlage in Ludwigsfelde an.

Im Zusammenhang dieser Erfolg versprechenden Entwicklung initiieren die Berliner Stadtreinigungsbetriebe (BSR) die ersten Schritte zur Errichtung einer HTC-Pilotanlage mit einer Kapazität von rund 10.000 Mg Durchsatz pro Jahr. Nach erfolgreichem Betrieb dieser Pilotanlage streben die BSR die Errichtung einer großtechnischen HTC-Anlage mit einer Kapazität von rund 30.000-40.000 Mg/a an. In dieser geplanten Anlage soll vorrangig Straßenlaub behandelt werden.

→ Für die Potenzialanalyse 2020 wird angenommen, dass die in Berlin anfallende Laubmenge vollständig nach entsprechender Vorbehandlung energetisch verwertet wird.

THG-Bilanz

Zur Darstellung, wie sich die Behandlung von Laub über die einzelnen beschriebenen Verfahren hinsichtlich der Auswirkungen auf den Treibhauseffekt darstellen, wird nachfolgende ein Vergleich vorgenommen.

In der Untersuchung nicht berücksichtigt wird die direkte Verbrennung von Laub aufgrund der oben geschilderten Problematik. Die verwendeten Daten für die fünf verbleibenden Verfahren – HTC, Mitverbrennung nach Trocknung und Mitbehandlung über MPS, MBS und MA – sind nachfolgend beschrieben:

Für alle Verfahren gleichermaßen wurden die folgenden Kenndaten für Laub, Straßenlaub verwendet:

Wassergehalt = 60%; oTS = 73% TS, Hu = 1,05 kWh/Mg, keine Störstoffe

Der Sammlungsaufwand für Laub ist verfahrensunabhängig und identisch mit dem Stand 2010.

Die Eckdaten der einzelnen Verfahren sind:

HTC-Behandlung: Stromverbrauch 40 kWh/Mg, Erdgasverbrauch 130 kWh/Mg, 29% vom Input als erzeugte Biokohle mit Hu = 4,4 kWh/kg bei 25% Rest-Wassergehalt; angenommen für den EBS wird Braun- und Steinkohleersatz zu je 50%. Weitere Informationen zum HTC-Verfahren finden sich in Anhang E.

Trocknung und Mitverbrennung im Kohlekraftwerk: Stromverbrauch 40 kWh/Mg, Trocknung auf 20% Rest-Wassergehalt, Gasverbrauch 0,75 kWh/Mg verdampftes Wasser, Heizwert des getrockneten Laubs 3,35 kWh/kg FS; direkter Einsatz als Steinkohleersatz bei Mitverbrennung im Kraftwerk, damit keine zusätzlichen Transportaufwendungen.

MPS: Stromverbrauch 52 kWh/Mg (wie Hausmüll abzgl. 15 kWh für geminderte Aufbereitungsleistung), Trocknung auf 20% Rest-Wassergehalt; Erdgasverbrauch 0,75 kWh/Mg verdampftes Wasser; EBS Heizwert 3,35 kWh/kg FS; EBS-Verwertung und Transportentfernungen analog zu Hausmüll-EBS.

MBS: Stromverbrauch 70 kWh/Mg (wie Hausmüll abzgl. 15 kWh für geminderte Aufbereitungsleistung); 20% oTS-Abbau, Gasverbrauch RTO wie bei Hausmüll, EBS Heizwert 3,05 kWh/kg FS; EBS-Verwertung und Transportstrecken analog zu Hausmüll-EBS.

MA: Stromverbrauch 8 kWh/Mg (wie Hausmüll), keine weitere Aufbereitung/Trocknung; 100% rohfeuchtes Laub als EBS ausgebracht mit Hu = 1,05 kWh/Mg FS. EBS-Verwertung und Transportstrecken analog zu Hausmüll-EBS (mittelkalorische Fraktion).

Basierend auf diesen Eckdaten ergeben sich die in Abbildung 3-15 dargestellten spezifischen Ergebnisse für die fünf betrachteten Verfahren.

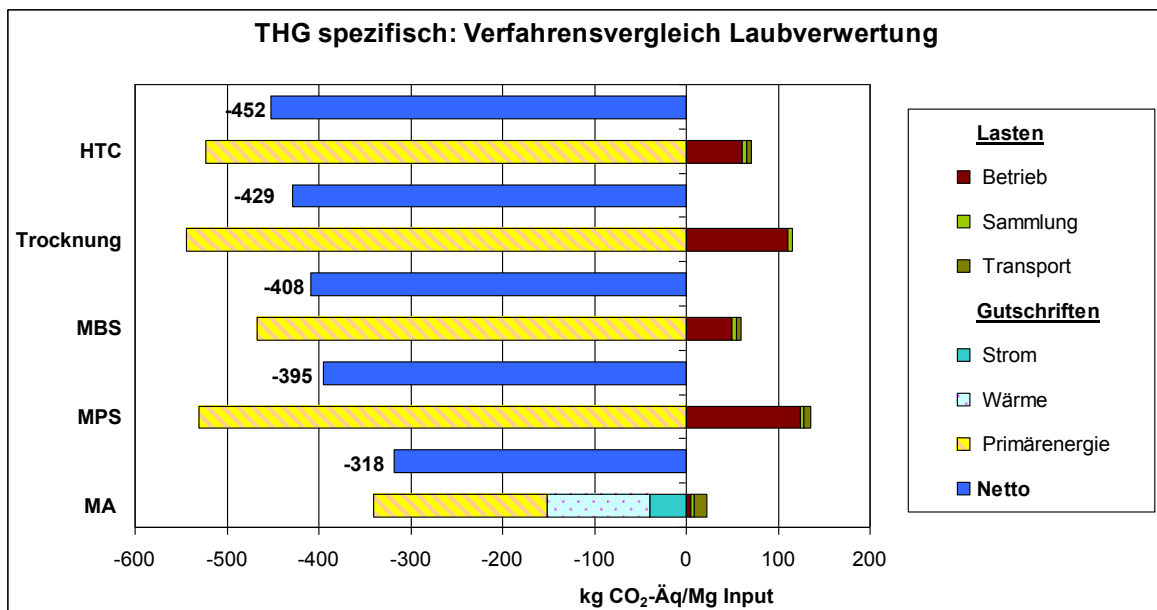


Abbildung 3-15: Verfahrensvergleich optimierte Laubverwertung

Den höchsten spezifischen Entlastungseffekt erreicht die Behandlung über das HTC-Verfahren. Die HTC produziert mit der ausgebrachten Kohlemenge mit einem Energiegehalt von rund 1.350 kWh/Mg Input fast dieselbe Energiemenge wie das Trocknungskonzept über das getrocknete Laub, profitiert aber von geringeren THG-Belastungen aus dem Energieeinsatz. Die Nettoentlastung ergibt sich zu -452 kg CO₂-Äq/Mg.

Mit thermischer Trocknung und direkter Verbrennung des getrockneten Materials im Steinkohlekraftwerk wird durch die heizwertäquivalente Substitution von Steinkohle eine Nettoentlastung von -429 kg CO₂-Äq/Mg erreicht.

Für die Behandlung des Laubes über die MPS-Anlagen berechnet sich eine THG-Entlastung von -395 kg CO₂-Äq/Mg. Vorrangig durch die THG-Belastungen aus dem Erdgaseinsatz bei der physikalischen Stabilisierung liegt das Ergebnis für die Behandlung über MPS damit etwas unter dem für die Behandlung über MBS mit -408 kg CO₂-Äq/Mg, dies trotz deren höheren Stromverbrauchs und Verlusts an oTS durch den biologischen Abbau.

Die Verwertung über die rein mechanische Aufbereitung (MA) lässt -318 kg CO₂-Äq/Mg Laub erwarten. Die aus dem Energieverbrauch stammenden THG-Emissionen fallen deutlich geringer aus, da sich der Stromverbrauch auf die reine Siebung reduziert und mangels Trocknung und RTO-Abluftreinigung kein Erdgas verbraucht wird. Die Gutschrift für EBS fällt geringer aus als bei den anderen Optionen, da nur 38% des mittelkalorischen EBS direkt als Braunkohleersatz eingesetzt werden, für 62% des EBS wird die Gutschrift für die Erzeugung von Strom und Wärme aus dem Einsatz im EBS-HKW Leipa in Schwedt angerechnet.

Im Fazit des Verfahrensvergleichs lässt sich aussagen, dass alle betrachteten Verfahren zu einer signifikanten Nettoentlastung führen. Die letztendliche Konzeption der Verteilung der Anfallmengen an Laub, Straßenlaub auf verschiedene Anlagen kann sich demnach an anderen Faktoren ausrichten, ohne dass dies zu einer relevanten Veränderung im THG-Minderungsbeitrag der Optimierung durch eine energetische Verwertung der Laubabfälle führen würde.

3.19.2 Zwischenlagerung und Ballierung

Das generelle Problem bei der zukünftigen Verwertung in den einzelnen Behandlungsanlagen stellt der Jahresgang des Laubanfalles dar. Da technische Anlagen aus Gründen der Wirtschaftlichkeit auf eine gleichmäßige Beschickung angewiesen sind, ist es zwingend erforderlich, das Laub zwischen zu lagern.

In der Praxis besteht die Möglichkeit, das Laub anteilig auch über die MPS, MBS und MA zu behandeln. Nach den obigen Ausführungen könnten direkt im Anfallzeitraum des Laubes über rund drei Monate (Oktober, November, Dezember) über diese Anlagen folgende Mengen aufgenommen werden:

- 10.000 Mg über die beiden MPS Reinickendorf und Pankow,
- 5.000 Mg über die MBS Niederlehme,
- 4.000 Mg über die MA der ORS in Berlin Köpenick.

Dies entspricht insgesamt 19.000 Mg Laub. Die zusätzliche zu errichtende Verwertungs-kapazität – hier als HTC angenommen – für die verbleibenden Mengen an Laub von

37.395 Mg pro Jahr würde je Monat 3.116 Mg verarbeiten, somit weitere 9.348 Mg in den drei anfallstarken Monaten. Nach Angaben der BSR zur Anfall-Verteilung fallen insgesamt in diesen drei Monaten 53.575 Mg bzw. 95% der gesamten Laubmenge an. Somit verbleiben in diesem Zeitraum 25.227 Mg, die zwischengelagert und über die Monate Januar bis September verarbeitet werden müssen. Prinzipiell kommen für die spätere Verwertung zwischengelagerten Laubes ebenfalls die MPS, MBS und MA in Betracht. Für die Mitverarbeitung auf den Beseitigungsanlagen ist allerdings Bedingung, dass die mitverarbeiteten Laubmengen keine Restabfallmengen verdrängen. Das Laub darf also nur Kapazitätslücken füllen. Die über MPS, MBS und MA verwertete Laubmenge würde die zur alternativen Behandlung verbleibenden Laubmengen mit definieren.

Den Jahrgang des Laubfalls, die Kapazitäten der Verwertung und den Verlauf des Lagerbestandes zeigt Abbildung 3-16.

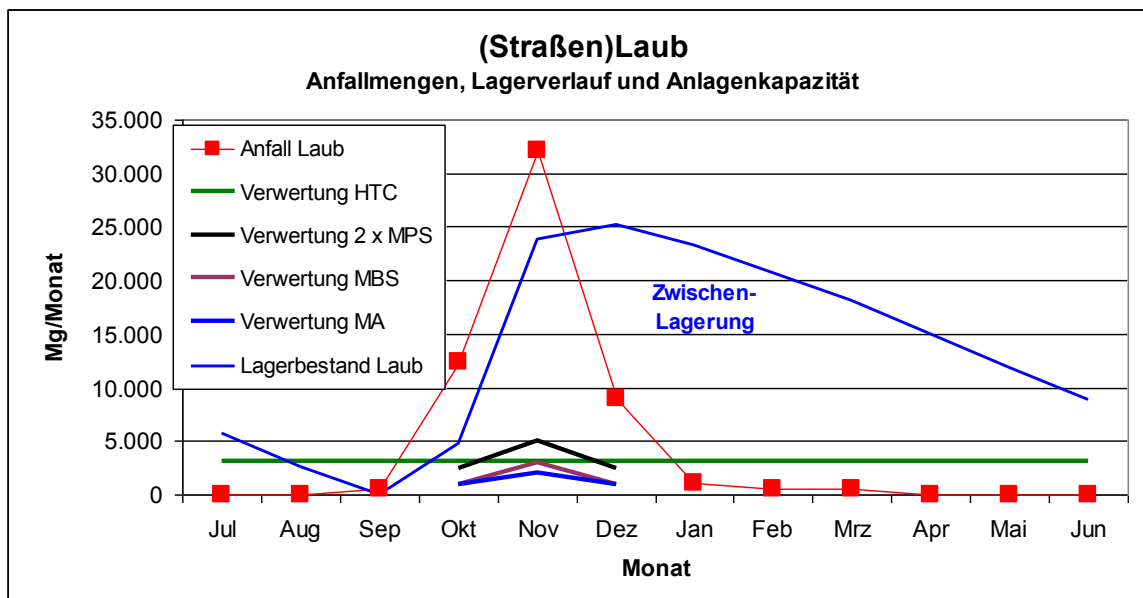


Abbildung 3-16: Fallbeispiel: Mengenanfall, Verarbeitungskapazitäten und Lagerbedarf für Laub

Die Zwischenlagerung würde in Folienballen erfolgen. Das Maximum des Lagerbestandes beträgt im Dezember rd. 25.000 Mg. Die Ballierung von Ernteprodukten und -rückständen (Stroh, Gras, Heu) ist langjährige landwirtschaftliche Praxis, allerdings noch nicht für Laub eingesetzt. (Bönig 2006) ermittelte in seinen Versuchen zur Verdichtung von Laub in Rundballenpressen eine erzielbare Dichte von rd. 550 kg/m³. Zum Ausschluss von Witterungseinflüssen bei der Lagerung erscheinen Folienballen unverzichtbar. Durch die gasdichte Folienhülle kommt durch Säurebildung der biologische Abbauprozess zum Erliegen. Es ist z.B. nach den Untersuchungen von (Morscheck 2005) praktisch keine Methanentwicklung in Folienballen mit zwischengelagertem Restmüll festzustellen (der biologisch wesentlich reaktiver ist als Laub). Diese ausbleibende Methanbildung wird hier für Laub ebenfalls angenommen.

Die Technik der Laub-Ballierung steht derzeit am Markt noch nicht mit vollständiger Reife zur Verfügung. Insbesondere bei der Ballierung von trockenem Laub sehen Hersteller von

standardisierten Ballenpressen Probleme für den Einsatz, da der bislang technisch realisierte Verdichtungsprozess faseriges, langhalmiges Material (wie Stroh, Gras oder Heu) voraussetzt. Laub hat diese Eigenschaften nicht, daher ist es schwierig, einen erzeugten Ballen so lange stabil zu halten, bis die Folienumhüllung aufgebracht ist.

Die Firma Teltower Baustoffrecycling T.B.R. GmbH hat in Zusammenarbeit mit SunCoal Industries über einen Zeitraum von drei Jahren die Ballierung von Laub weiter entwickelt. Die T.B.R. hat dabei Ballenpressen für den Einsatz mit Laub technisch so angepasst, dass Laub-Ballen mit einem Volumen von 1,1 m³ hergestellt werden können.

Auf Grundlage dieser Entwicklung wird angenommen, dass die technische Entwicklung der Laubverpressung zu einem Stand führt, nach dem sich das Laub ballieren lässt.

Die Ballierung und Zwischenlagerung soll an den Standorten der derzeitigen Kompostierungsanlagen erfolgen. Dafür sind, wie Tabelle 3-10 zu entnehmen, fünf Pressstationen zur Herstellung von folienumwickelten-Rundballen erforderlich. Eine Pressenanlage besteht aus Aufgabe-/Dosierbunker und Pressenanlage mit Folienwickler.

Tabelle 3-10 Auslegung Ballierung von Laub

Auslegungsrechnung Pressen für Laub					
Arbeitstage	d/Monat	21	<i>Erfahrungswert Betreiber</i> <i>Ansatz aus 500-800 kg/m³</i>		
Leistung je Presse	Ballen/h	20			
Ballendichte für Laub	kg/m ³	650			
Ballenvolumen	m ³	1,1			
Ballengewicht	Mg	0,715			
Anzahl Pressen	Stück	5			
Ermittlung der täglichen Arbeitsstunden	Laub Mg/Monat	Ballen pro Monat	Ballen pro Tag	Ballen pro Presse und Tag	tägliche Betriebsstunden je Presse
Okt	4.791	6.701	319	64	3,2
Nov	19.029	26.614	1.267	253	12,7
Dez	1.407	1.968	94	19	0,9

Aus Laub lassen sich Ballen mit einem Volumen von 1,1 m³ und einem Gewicht von 600 bis 800 kg erzeugen. Die Leistung der Ballenpressen ist nach Auskunft der T.B.R. mit einer stündlichen Durchsatzleistung von 20 Ballen pro Stunde angesetzt. Hieraus ergibt sich nach dem maximalen Anfall von Laub im Monat November, dass mit fünf Pressstationen eine arbeitstägliche Betriebszeit von rechnerisch 12,7 h erforderlich wäre, um das anfallende Laub sofort zu ballieren. Unter Berücksichtigung der Entwicklungspotenziale der Pressenleistung und der anteiligen Vor- oder Nachverlagerung der Laubsammlung in den Oktober oder Dezember dürfte diese Pressenanzahl ausreichen, um im (auf den Monat November beschränkten) 2-Schichtbetrieb die Laubmenge zu verarbeiten. Die von den Ballenpressen fertig gestellten Laubballen werden vor Ort gelagert und in Abhängigkeit der freien Verarbeitungskapazität zur weiteren Verwertung zu den o.g. Anlagen transportiert.

Da die Ballierung von Laub nur in den Monaten Oktober, November und Dezember erfolgt, steht die Ballierungstechnik in den Monaten Mai bis September für die Ballierung von Grasschnitt zur Verfügung, die vor der Mitverarbeitung ebenfalls zwischengelagert werden müssen (siehe dazu Kapitel 3.20). Als Standorte von Ballierung und Zwischenlagerung bieten sich die Kompostierbetriebe im Umfeld Berlins an. Eine Vorstellung über ein solches Zwischenlager gibt Abbildung 3-17.

Um maximal 25.227 Mg Laub nach Ballierung zwischen zu lagern, ist bei 5 m mittlerer Lagehöhe in der Summe eine Fläche von etwa einem Hektar erforderlich.



Abbildung 3-17: Beispiel eines Ballen-Zwischenlagers (TOMM+C 2006)

THG-Belastungen der Ballierung und Zwischenlagerung:

Für die Ballierung fallen verfahrensunabhängig weitere THG-Belastungen an. Zur Einschätzung dieser zusätzlichen THG-Belastungen wurde von folgenden Randbedingungen ausgegangen:

Stromverbrauch 3 kWh/Mg; Beschickung Ballierung zusätzlich 5 kWh/Mg Diesel; Transport im Mittel 40 km zu den Kompostierungsanlagen zur Ballierung und weitere 20 km zur Verwertung (tatsächliche Entfernung abhängig vom Standort der Behandlungsanlagen); 2,5 kg LDPE-Folie pro Tonne balliertem Material.

Die Folie wird für die Verpackung der gepressten Ballen benötigt. Daten zur Herstellung der Folie sind nicht verfügbar. Vereinfacht wurde hierzu der THG-Emissionsfaktor für die Herstellung von LDPE nach Angaben von PlasticsEurope herangezogen. Nach Auswertungen dieser Daten (IFEU Datenbank) ergibt sich ein Wert von 2,14 kg CO₂-Äq/Mg LDPE. Nach dem Einsatz der verpackten Laubmenge zur Verarbeitung fällt die Folie als sortenreiner Kunststoffabfall an. Über die übliche Entsorgung dieser Folien in der Praxis liegen keine Informationen vor. Es ist allerdings davon auszugehen, dass die Folien einer hochwertigen stofflichen Verwertung zugeführt werden können. Sollte es zudem möglich sein aus dem Material – in einem quasi closed loop – wiederum Folien herzustellen, würde sich die THG-Belastung durch die Verwendung der Folien in der THG-Bilanz deutlich vermindern. Aufgrund der genannten Unwägbarkeiten werden für die Einschätzung des

Minderungspotenzials für die künftige Laubverwertung die Entlastungseffekte durch das Recycling der Folien hier nicht angerechnet.

Mit den oben genannten Eckdaten für die Folienherstellung und Ballierung berechnet sich der THG-Emissionsfaktor der Ballierung zu 15,9 kg CO₂-Äq/Mg Laub.

3.19.2 Anlagenkonzepte

Für die künftig mögliche Behandlung von Laub, Straßenlaub kommen verschiedene Konstellationen in Frage. Eine der Möglichkeiten wurde bereits vorangehend beschrieben, wonach nach den derzeit verfügbaren Kapazitäten 19.000 Mg Laub über MPS, MBS und MA verwertet werden könnten, die verbleibenden 37.395 Mg über eine HTC-Anlage.

Allerdings ist zum einen nicht absehbar, inwiefern die derzeit genannten freien Kapazitäten auch künftig zur Verfügung stehen und zum anderen ist auch die jeweilige Herkunft der Abfälle zu beachten, da nicht vorauszusetzen ist, dass die Abfälle unterschiedlicher Herkunft in einer gemeinsamen Anlage behandelt werden können.

Auch interessant ist die Betrachtung einer Variante, die völlig unabhängig von bestehenden Kapazitäten realisiert werden könnte. Dies vor allem, da beispielsweise bei der Potenzialanalyse für Haus- und Geschäftsmüll bereits eine Vollausslastung der BSR-eigenen MPS-Kapazitäten angesetzt wurde.

Insgesamt werden hier folgende drei Konstellationen betrachtet:

- a) Die derzeitigen freien Kapazitäten der MPS, MBS und MA können genutzt werden, (MPS 10.000 Mg, MBS 5.000 Mg, MA 4.000 Mg), damit können 19.000 Mg der im Herbst anfallenden Menge direkt, ohne Zwischenlagerung verarbeitet werden; die verbleibenden 37.395 Mg werden über eine neu zu errichtende HTC-Anlage behandelt; zur Gewährleistung einer gleichmäßigen Anlagenbeschickung müssen 25.227 Mg zwischengelagert und balliert werden.
- b) Wie a) jedoch Berücksichtigung der Abfallherkunft: nur 32.253 Mg im Regime der BSR werden über eine neu zu errichtende HTC-Anlage verwertet, von den restlichen 24.142 Mg (von Bezirksämtern und über GaLaBau erfasste Menge) können die o.g. 19.000 Mg direkt verwertet werden, 5.142 Mg werden zwischengelagert, balliert und später über MPS, MBS und MA verwertet. Die insgesamt zu ballierende Menge ändert sich nicht (25.227 Mg).
- c) Unabhängig von den Kapazitäten der MPS, MBS und MA wird die gesamte Laubmenge von 56.395 Mg trotz unterschiedlicher Abfallherkunft in einer neu zu errichtenden HTC-Anlage behandelt. Damit muss zur Gewährleistung einer gleichmäßigen Anlagenbeschickung eine maximale Menge von 39.477 Mg zwischengelagert und balliert werden.

Mit den spezifischen THG-Ergebnissen aus Abbildung 3-15 und unter Berücksichtigung der jeweils zu ballierenden Menge, ergeben sich folgende absolute Nettoergebnisse der THG-Bilanz für die drei untersuchten Fälle:

Variante a) = -23.762 Mg CO₂-Äq pro Jahr

Variante b) = -23.402 Mg CO₂-Äq pro Jahr

Variante c) = -24.864 Mg CO₂-Äq pro Jahr

Obwohl bei einer vollständigen Verwertung über HTC die größte Menge balliert werden muss (Variante c)), ergibt sich für diese Variante die höchste THG-Nettoentlastung. Allerdings ist der Abstand zwischen den Ergebnissen der drei untersuchten Varianten gering.

Für die Gesamtbilanz wird das THG-Ergebnis für die Variante b) herangezogen, nach der die Abfallherkunft berücksichtigt ist und die den geringeren Entlastungseffekt erbringt.

Für die gesamt entsorgte Menge an Laub von 56.395 Mg ergibt sich aus der Potenzialanalyse eine Nettoentlastung **für das Jahr 2020** von **-23.402 Mg CO₂-Äq**. Gegenüber der Ist-Situation im Jahr 2010 entspricht dies einem THG-Minderungsbeitrag von **-22.581 Mg CO₂-Äq/a**.

Generell hängt die Ausschöpfung des vollständigen THG-Minderungsbeitrags der höherwertigen Laubverwertung maßgeblich von einer funktionierenden Ballierung und Zwischenlagerung der Laubmengen ab, die nicht direkt verarbeitet werden können.

3.20 Grasschnitt

Die Bestandsaufnahme zu Grasschnitt (Kap. 2.20) ergab für Berlin im Jahr 2010 eine Menge von 48.357 Mg an Grasschnitt, die in einfachen Kompostierungsanlagen im Land Brandenburg verwertet wurde. Dieser Verwertungsweg führt zu einer spezifischen THG-Nettobelastung von 15 kg CO₂-Äq/Mg Input.

Die Grasschnittmenge verteilt sich zu 4.758 Mg auf Straßenbegleitgrün (BSR) und 43.599 Mg Mähgut (Bezirke und Privatunternehmen).

Für beide Abfallarten bestehen technisch dieselben Optimierungspotenziale, die – bezogen auf eine Tonne Input – zu denselben Ergebnissen der THG-Bilanz führen, da der das Ergebnis bestimmende oTS-Gehalt in beiden Abfallarten, wie in Kapitel 2.20 dargestellt, bezogen auf die Frischmasse, als gleich angenommen wird. Daher werden nachstehend für beide Abfallarten als Summen-Stoffstrom "Grasschnitt" zunächst die technischen Optimierungspotenziale und spezifischen THG-Bilanzen entwickelt. Diese werden in den folgenden Unterkapiteln für Straßenbegleitgrün und Mähgut verwendet und führen dort für die jeweilige Abfallart nach Menge und favorisierter Behandlungsart zu den absoluten THG-Nettoentlastungen, die in der Gesamtbilanz berücksichtigt werden.

Grasschnitt ist grundsätzlich zur Vergärung geeignet, bei einem Gasbildungspotenzial von 90 m³/Mg mit 60% Methananteil (u.a. WI/ICU 2010). Das bei der Vergärung von Grasschnitt anfallende Biogas steht dann für die energetische Nutzung über BHKW zur Verfügung. Bei der Verwertung von Grasschnitt über das HTC-Verfahren (ausführliche Beschreibung s. Anhang E) wird Biokohle erzeugt, die beim Einsatz im Kraftwerk – durch die Substitution von fossiler Kohle – zu hohen THG-Entlastungen führt.

Für die direkte Verwertung als Brennstoff im Kraftwerk ist das in den Mengen dominierende Mähgut wegen des hohen Wassergehalts von 75% weniger geeignet.

Als Verfahren zur Verwertung des in Berlin anfallenden Grasschnitts stehen für eine Optimierung die Vergärung und die HTC-Technologie zur Verfügung; diese werden nachfolgend gegenübergestellt.

→ Für die Potenzialanalyse 2020 wird angenommen, dass die in Berlin anfallende gesamte Grasschnittmenge von 48.357 Mg über zusätzliche neue Anlagenkapazitäten in Form von Vergärung oder HTC-Behandlung verwertet wird.

Das generelle Problem bei der zukünftigen Verwertung stellt bei Grasschnitt wie bei Laub der Jahresgang dar. Grasschnitt fällt maßgeblich in den Monaten April bis Oktober an. Zur gleichmäßigen Zuführung des anfallenden Grasschnitts in Verwertungsanlagen ist es daher erforderlich, die Mengen an Grasschnitt zwischen zu lagern, die nicht direkt verarbeitet werden können.

Die Summensituation für Grasschnitt mit Anfall, Anlagenkapazitäten, Ballierungs- und Lagerbedarf ist in Abbildung 3-18 zusammengefasst.

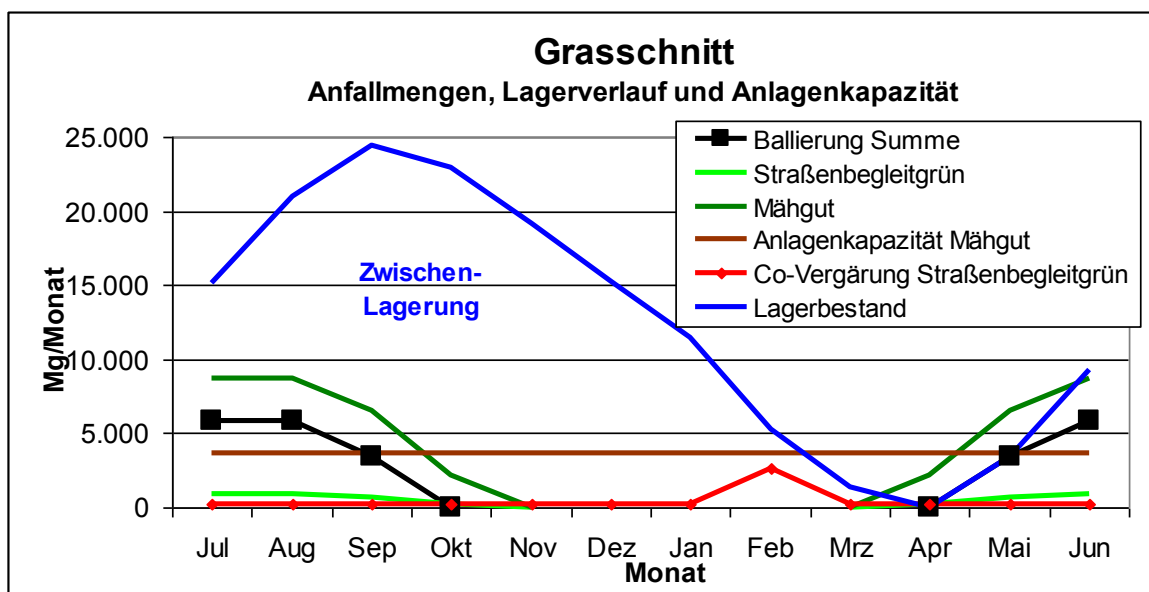


Abbildung 3-18: Anfallmengen, Lagerverlauf und Anlagenkapazitäten für Grasschnitt

Die Verwertung des Grasschnitts erfolgt – wie in den nachfolgenden Kapiteln erläutert – für das Straßenbegleitgrün abschließend zusammen mit der Bioabfallbehandlung, für das Mähgut in einer eigenen, neu zu errichtenden Anlage (s. Kap. 5.4). Damit wird die gesamte Grasschnittmenge von 48.357 Mg verwertet. In den Anlagen können monatlich rund 4.000 Mg verarbeitet werden. Die monatlich darüber hinaus gehende Menge wird siliert und zwischengelagert und über die Monate November bis März, in denen kein Grasschnitt anfällt, verarbeitet. Der maximale Lagerbestand beträgt rund 24.000 Mg.

Die Silierung und Zwischenlagerung würde in Folienballen, mit einem Volumen von jeweils rd. 1,1 m³ und einen Gewicht von rd. 800 kg erfolgen. Die hierfür vorgesehene Ballierung mit einer stündlichen Durchsatzleistung von 20 Ballen/ist in Kapitel 3.19 beschrieben, wobei sich Grasschnitt im Unterschied zu Laub leichter ballieren lässt und in der Folienverpackung siliert. Durch die Silierung wird der Grasschnitt bis zur späteren Verarbeitung konserviert, ein Massenverlust ist durch die Silierung nicht gegeben bzw. vernachlässigbar. Die fertiggestellten Grasschnittballen werden vor Ort gelagert und in Abhängigkeit der freien Verarbeitungskapazität zur weiteren Verwertung zu den jeweiligen Behandlungsanlagen transportiert.

Die Ballierung und Zwischenlagerung kann vorzugsweise an den Standorten derzeitiger Kompostierungsanlagen erfolgen. Dabei können die Pressstationen für die Ballierung von Laub auch für die Ballierung von Grasschnitt genutzt werden. Der maximale Ballierungsbedarf für Grasschnitt beträgt rund 6.000 Mg pro Monat.

THG-Bilanz

Wie in Kapitel 2.20 beschrieben werden Mähgut und Straßenbegleitgrün durch den annähernd gleichen Gehalt an oTS bezogen auf die Frischmasse gleich bewertet und als Grasschnitt identisch bilanziert. Eigenschaften und Mengen des Grasschnitts werden wie in der Bestandaufnahme ermittelt beibehalten. Für Sammlung und Transport wurden die gleichen Ansätze wie bei der Bestandaufnahme angesetzt.

Die THG- Entlastungen fallen bei der Grasschnitt-Verwertung über Vergärung und HTC-Verfahren verfahrensspezifisch unterschiedlich aus:

Für die Vergärung von Grasschnitt wird in der Bilanz eine optimierte, TA Luft-konforme Vergärungsanlage mit BHKW-Gasnutzung angesetzt, bei gleichen Wirkungs- und Nutzungsgraden wie bei der BIOGUT-Vergärung. Bei der Berechnung ist das Gasbildungspotenzial von Grasschnitt mit 90 m³/Mg bei 60 Vol%-Methananteil berücksichtigt. Für den aus Gärrest (kompostierter Gärrest und Flüssigdünger) gelten die Annahmen wie bei der BIOGUT-Vergärung, jedoch angepasst auf den niedrigeren oTS-Gehalt des Grasschnitts in der Frischmasse.

HTC (Hydrothermale Karbonisierung): Der Stromverbrauch des HTC-Prozesses wurde mit 40 kWh/Mg, der Erdgasverbrauch mit 150 kWh/Mg angesetzt. Ein Anteil von 21% des Inputs wird als Biokohle mit einem Heizwert von 4,6 kWh/kg bei 25% Rest-Wassergehalt erzeugt. Angenommen wird, dass die HTC-Kohle zu je 50% als Braunkohle- und Steinkohleersatz eingesetzt wird. Eine detaillierte Beschreibung des HTC-Verfahrens findet sich in Anhang E.

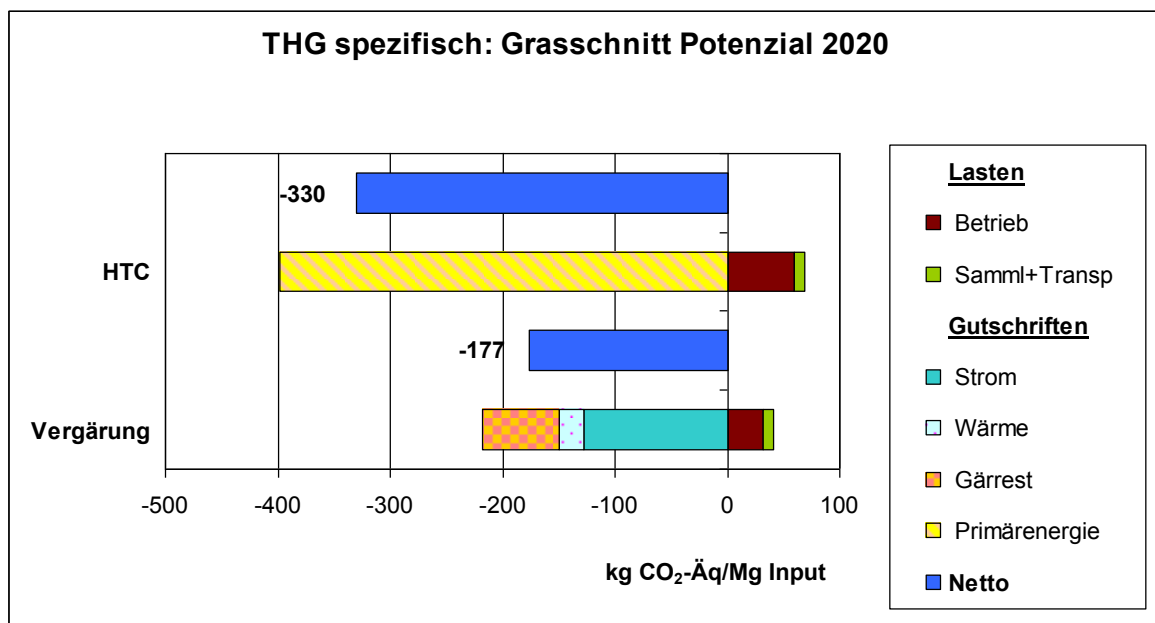


Abbildung 3-19 Potenzialanalyse Verwertung Grasschnitt

Die spezifische THG-Entlastung für die Verwertung von Grasschnitt über die Vergärung beträgt $-177 \text{ kg CO}_2\text{-Äq/Mg}$. Die HTC-Behandlung führt über die erzeugte Kohlemenge mit einem Energiegehalt von rund 984 kWh/Mg Input zu einer THG-Nettoentlastung für Grasschnitt von $-330 \text{ kg CO}_2\text{-Äq/Mg}$.

Das HTC-Verfahren erzielt durch die Kohlesubstitution eine höhere Gutschrift als die Vergärung für die Energieerzeugung und die Gärrestanwendung. Eine stoffliche Verwertung ist beim HTC-Verfahren nicht gegeben, lediglich der abgetrennte Inertanteil wird abgelagert oder verfüllt, woraus keine Auswirkungen auf den Treibhauseffekt gegeben sind (wie mineralische Abfälle mit Null bewertet). Die Nettoentlastung der Grasschnittverwertung über das HTC-Verfahren liegt um $-153 \text{ kg CO}_2\text{-Äq/Mg}$ höher als bei der Vergärung.

Die notwendige Ballierung und Zwischenlagerung von Grasschnitt wird inkl. dem zusätzlichen Transport zu einer Verwertungsanlage wie in Kapitel 3.19 für Laub mit einer zusätzlichen THG-Belastung von $15,9 \text{ kg CO}_2\text{-Äq}$ pro Tonne balliertes Material angesetzt.

3.20.1 Straßenbegleitgrün

Die Bestandsaufnahme für Straßenbegleitgrün der BSR (Kap. 2.20.1) ergab eine Menge von 4.758 Mg , die derzeit über einfache Kompostierungsanlagen verarbeitet wird. Generell kommt für die optimierte Behandlung im Jahr 2020 die Verwertung in einer Vergärungs- oder HTC-Anlage in Betracht.

Für beide möglichen Verwertungsverfahren ergeben sich unter Aufnahme der o.g. spezifischen Nettoergebnisse unterschiedliche THG-Entlastungen:

Die Verwertung von Straßenbegleitgrün über die HTC-Behandlung führt zu einer Netto-Entlastung von $-1.570 \text{ Mg CO}_2\text{-Äq/a}$.

Bei Verwertung über die Vergärung beträgt die THG-Entlastung $-841 \text{ Mg CO}_2\text{-Äq/a}$.

Für Straßenbegleitgrün wird trotz des geringeren THG-Entlastungsbeitrages eine Verarbeitung zusammen mit BIOGUT in einer TA Luft-konformen Vergärungsanlage empfohlen. Ausführungen dazu finden sich in Kapitel 5.4.

→ Für die Potenzialanalyse 2020 wird angenommen, dass die in Berlin anfallende Menge an Straßenbegleitgrün von 4.758 Mg über eine TA Luft-konforme Vergärung durch Mitbehandlung mit Organikabfall aus Haushalten verwertet wird.

Es wird ferner angenommen, dass das Straßenbegleitgrün insbesondere zum Ausgleich der sehr geringen Bioabfallmenge im Februar überwiegend in diesem Monat verwendet wird. Für die damit erforderliche Zwischenlagerung von 3.380 Mg/a Straßenbegleitgrün ergibt sich für die Ballierung und Zwischenlagerung eine THG-Belastung von $54 \text{ Mg CO}_2\text{-Äq/a}$.

In Summe berechnet sich damit die THG-Entlastung für eine künftige Mitbehandlung des Straßenbegleitgrüns über eine TA Luft-konforme Vergärung zu $-787 \text{ Mg CO}_2\text{-Äq/a}$.

Für die gesamt entsorgte Menge an Straßenbegleitgrün von 4.758 Mg ergibt sich aus der Potenzialanalyse eine Nettoentlastung **für das Jahr 2020** von **$-787 \text{ Mg CO}_2\text{-Äq}$** . Gegenüber der Ist-Situation im Jahr 2010 entspricht dies einem THG-Minderungsbeitrag von **$-858 \text{ Mg CO}_2\text{-Äq/a}$** .

3.20.2 Mähgut

Die Bestandsaufnahme für Mähgut (Kap. 2.20.2) ergab eine Menge von 43.600 Mg. Davon stammen 38.816 Mg aus kommunalen Einrichtungen (Grünflächenämter der Bezirke sowie kommunale Wohnungsbauunternehmen) sowie 4.784 Mg von privaten Wohnungsbauunternehmen. Von diesen Mengen werden 15.862 Mg über GaLaBau-Unternehmen eingesammelt. Das Mähgut wird derzeit über einfache Kompostierungsanlagen verarbeitet.

Generell kommt für die optimierte Behandlung im Jahr 2020 die Verwertung in einer Vergärungs- oder HTC-Anlage in Betracht. Die künftige Verarbeitungskapazität für Mähgut müsste bei 43.600 Mg/a eine monatliche mittlere Kapazität von 3.633 Mg aufweisen. Da der Anfall an Mähgut nach Abbildung 3-18 diese konstante Monatskapazität übersteigt, ist der überschüssige Anteil zwischen zu lagern. Dies sind beim Mähgut 21.073 Mg/a. Die aus der Ballierung und Zwischenlagerung resultierenden absoluten THG-Belastungen ergeben sich mit dem dafür abgeleiteten Emissionsfaktor (s.o.) zu 336 Mg CO₂-Äq/a.

Für beide möglichen Verwertungsverfahren ergeben sich unter Aufnahme der o.g. spezifischen Nettoergebnisse unterschiedliche THG-Entlastungen:

Mit der für Grasschnitt ermittelten spezifischen THG-Entlastung für die HTC-Behandlung von -330 kg CO₂-Äq/Mg, ergibt sich die absolute THG-Entlastung zu -14.391 Mg CO₂-Äq bzw. zu -14.055 Mg CO₂-Äq/a unter Berücksichtigung der THG-Belastung für die Ballierung.

Mit der für Grasschnitt ermittelten spezifischen THG-Entlastung für die Vergärung von -177 kg CO₂-Äq/Mg, ergibt sich die absolute THG-Entlastung zu -7.709 Mg CO₂-Äq bzw. zu -7.373 Mg CO₂-Äq/a unter Berücksichtigung der THG-Belastung für die Ballierung.

Da eine Verarbeitung des Mähgutes über das HTC-Verfahren die höhere THG-Nettoentlastungen ergibt, wird in der Gesamtbilanz für das Mähgut von der THG-Entlastung des HTC-Verfahrens ausgegangen.

Für die gesamt entsorgte Menge an Mähgut von 43.600 Mg ergibt sich aus der Potenzialanalyse eine Nettoentlastung **für das Jahr 2020** von **-14.055 Mg CO₂-Äq**. Gegenüber der Ist-Situation im Jahr 2010 entspricht dies einem THG-Minderungsbeitrag von **-14.699 Mg CO₂-Äq/a**.

3.21 Organikabfälle aus Gewerbe

Die Bestandsaufnahme der Organikabfälle (Kap. 2.21) ergab für Speisereste eine verwertete Menge von 37.325 Mg, für überlagerte Lebensmittel von 24.106 Mg und für Fettabscheiderinhalte von 12.873 Mg für das Jahr 2010. Die Verwertung erfolgt über Vergärungsanlagen und anteilig auch durch Co-Vergärung in Faulbehältern von Kläranlagen. Bei allen drei Abfallarten erfolgt anteilig eine offene Lagerung der anfallenden Gärreste, wodurch relevante Methanemissionen freigesetzt werden. Für die Potenzialanalyse wird aus diesem Grund eine vollständige Behandlung der Organikabfälle aus Haushalten über Anlagen mit gasdichten Gärrestlagern und Gasbehandlung betrachtet.

Für Speisereste besteht zudem ein Optimierungspotenzial durch eine gesteigerte getrennte Erfassung aus der ansonsten über den Haus- und Geschäftsmüll entsorgten Menge. In

(WI/ICU 2009) wurde das Erfassungspotenzial zu 17.000 Mg ermittelt. Die Betrachtung dieser Maßnahme erfolgt in einem Optimierungsszenario in Kapitel 4.1.2, da die Entnahme des Speiserestes aus dem Geschäftsmüll eine gesamtsystematische Bewertung erfordert.

Grundsätzlich ließe sich auch die Menge an getrennt erfassbaren Fettabscheiderinhalten erhöhen. Nach (WI/ICU 2009) haben die Berliner Wasserbetriebe (BWB) erhebliche Probleme mit Fettablagerungen im Kanalisationssystem, bedingt durch nicht installierte oder nicht regelmäßig gereinigte Fettabscheider. Das jährlich zusätzliche Erfassungspotenzial beläuft sich gemäß BWB, umgerechnet auf einen TS-Gehalt von 20%, auf 4.500 Mg. Im Rahmen dieser Studie erfolgt jedoch keine Bewertung einer gesteigerten Erfassung, da die bisherige Praxis der Entsorgung über die Kanalisation nicht Bestandteil des Untersuchungsrahmens ist. Diese müsste für eine korrekte Abbildung des Optimierungspotenzials ebenfalls bewertet werden. In Kapitel 3.21.3 wird als Einschätzung das mögliche THG-Entlastungspotenzial nachrichtlich ausgewiesen.

Die Optimierungsmöglichkeiten durch die Verminderung der Methanverluste bei der offenen Gärrestlagerung umfassen eine Nachrüstung der entsprechenden Vergärungsanlagen oder eine Umlenkung der Entsorgung der Organikabfälle aus Berliner Gewerbe in Anlagen, die über eine entsprechende Ausstattung verfügen. Vergärungsanlagen mit offenem Gärrestlager wären in Zukunft mit Nachgärern (soweit nicht bereits vorhanden) und gasdicht geschlossenen Gärrestlagern, Gasfassung und automatischer Fackel nachzurüsten. Die Kombination aus Nachgärer und „stand alone“ Gärrestlager mit Schwachgasfackel ergibt sich aus den Randbedingungen der bestehenden Anlagen. In der Regel haben diese am Anlagenstandort nicht die Möglichkeit große Speichervolumina vorzuhalten. Die erforderliche Lagerung, bis die Gärreste ausgebracht werden dürfen, erfolgt in separaten Gärrestlagern in der Landwirtschaft.

Die Installation von Nachgärern, in denen die Gärreste für mindestens 10 Tage gelagert werden, ermöglicht wenigstens eine anteilige Nutzung des Restgaspotenzials durch Fassung und Zufuhr zur energetischen Verwertung. Dies führt zu zusätzlichen Gutschriften aus der Stromproduktion.

Bei der künftig gasdichten externen Lagerung werden Methanemissionen gefasst und über eine automatische Fackel (automatische Regelung in Abhängigkeit vom Gasanfall) verbrannt. Das Konzept entspricht dem bereits in Kapitel 3.18.2 beschriebenen Vorgehen. Bei der Lagerung gebildetes Biogas wird damit verbrannt, womit die derzeit anfallenden THG-Belastungen aus der Methanfreisetzung entfallen.

Der Strombedarf für die zusätzliche Gasfassung und die Fackel trägt mit weniger als 1% zur Erhöhung der THG-Belastungen bei und wird daher vernachlässigt.

Für Vergärungsanlagen mit bereits vollständig geschlossenen Systemen werden keine anlagentechnischen Optimierungsmöglichkeiten gesehen. Theoretisch besteht ein Optimierungspotenzial in der externen Nutzung der erzeugten Wärme. In der Regel ist es jedoch selten möglich am Anlagenstandort oder im näheren Umfeld Wärmeabnehmer zu finden. Die diffusen Methanemissionen aus Vergärungsanlagen von 1% des produzierten Methans sind ein abgeschätzter Durchschnittswert. In der Praxis empfiehlt sich für Anlagenbetreiber die Anlage regelmäßig auf Leckagen zu prüfen (z.B. mit Gaswarngerät oder Infrarotdetektor).

Bei der hier betrachteten Co-Vergärung in Faultürmen von Kläranlagen erfolgt die Klärschlammbehandlung bereits im gasdichten System. Die potenzielle Emissionsquelle der Gärrest-/Faulschlammabpressung ist vollständig gekapselt. Die dort gefasste belastete Luft wird als Zuluft für die Verbrennungsaggregate (BHKW, Brenner der Trockner) eingesetzt. Methanemissionen könnten maximal auf dem Transportweg von der Kläranlage zur Klärschlammabpressung anfallen, deren Umfang wird jedoch als vernachlässigbar erachtet.

Die jeweiligen abfallspezifischen Optimierungen werden in den nachfolgenden Unterkapiteln beschrieben.

3.21.1 Speisereste

Die Bestandsaufnahme für Speisereste (Kap. 2.21.1) ergab, dass diese zu verschiedenen Vergärungsanlagen verbracht wurden. Bei der Betrachtung der Einflussfaktoren auf die THG-Bilanz unterscheiden sich die Anlagen vor allem in den Methanemissionen aus der Art der Lagerung der Gärreste, die nach der Vergärung anfallen. Speisereste gehen zu 92% in Vergärungsanlagen mit Nachgärer und anschließender offener Gärrestlagerung und zu 8% in Vergärungsanlagen mit nur offenem Gärrestlager. Ein weiteres Optimierungspotenzial besteht in der Steigerung der getrennten Erfassung von Speiseresten. In (WI/ICU 2009) wurde das Erfassungspotenzial zu 17.000 Mg ermittelt.

→ Für die Potenzialanalyse 2020 wird angenommen, dass

- bei Vergärungsanlagen mit nur offener Gärrestlagerung (3.141 Mg) diese zusätzlich mit Nachgärer und mit externem geschlossenen Gärrestlager mit Fackel nachgerüstet werden,
- bei Vergärungsanlagen mit Nachgärer und offener Gärrestlagerung (34.184 Mg) die Gärrestlager gasdicht ausgestattet und mit Fackel nachgerüstet werden.
- 17.000 Mg zusätzliche Speisereste aus dem Geschäftsmüll entnommen und in o.g. optimalen Vergärungsanlagen behandelt werden.

Die für Speisereste in der Bestandsaufnahme ermittelten Kenndaten bleiben von den hier betrachteten Maßnahmen unberührt und werden für die Potenzialanalyse beibehalten.

Optimierungspotenziale durch Behandlung in emissionsarmen Anlagen

Die genannten Maßnahmen reduzieren die Freisetzung von gebildetem Methan bei Anlagen:

- mit offener Gärrestlagerung von 2,5% auf 0% (für 8% des Mengenanteils an Speiseresten),
- mit Nachgärer und offener Gärrestlagerung von 1,5% auf 0% (für 92% des Mengenanteils an Speiseresten).

Diese Reduzierung wird ergänzt um eine weitere THG-Entlastung durch Verstromung des über die nachgerüsteten Nachgärer zusätzlich gewonnenen Methans.

Unter Einrechnung der Mengenanteile der unterschiedlichen Anlagen ergibt sich ein THG-Minderungsbeitrag durch die Umrüstung bei Anlagen mit nur offenem Gärrestlager von 12% und bei Anlagen mit offenem Gärrestlager bei vorhandenem Nachgärer von 88%.

Die spezifische THG-Entlastung für Speisereste berechnet sich zu $-109 \text{ kg CO}_2\text{-Äq/Mg}$ für das Jahr 2020 und damit um $-17 \text{ kg CO}_2\text{-Äq/Mg}$ besser als in der Bestandsaufnahme.

Hochgerechnet auf die gesamt entsorgte Menge an Speiseresten von 37.325 Mg ergibt sich aus der Potenzialanalyse eine Nettoentlastung **für das Jahr 2020** von **-4.058 Mg CO₂-Äq**. Gegenüber der Ist-Situation im Jahr 2010 entspricht dies einem THG-Minderungsbeitrag von **-632 Mg CO₂-Äq/a**.

Optimierungspotenziale durch Intensivierung der Sammlung

Für Speisereste wurde in der Biomassestudie (WI/ICU 2009) eine Mengensteigerung von 17.000 Mg, durch erhöhte Erfassungsquoten bei Gastronomie (15.000 Mg/a) und sonstigen Anfallstellen wie z.B. Lebensmittelhandel (2.000 Mg/a), prognostiziert.

Die Mengensteigerung erfolgt über eine Erfassung von bisher nicht erfassten Anfallstellen bei Gastronomie, Imbissen und z.B. kleinen Lebensmitteläden. Speiseabfälle sind nach der Gewerbeabfallverordnung getrennt zu erfassen. Nach der Geschäftsmülluntersuchung von (ARGUS 2009a) trifft dies nur für 50% der erfassten Speiserest-Mengen zu. Die Mengensteigerung bei Speiseresten erfordert also eine konsequente Information und Kontrolle der Umsetzung der Gewerbeabfall-Verordnung durch die zuständigen Stellen der Bezirksämter.

Die Bewertung der gesteigerten getrennten Erfassung von Speiseresten durch Entnahme aus dem Geschäftsmüll wird in einem Optimierungsszenario in Kapitel 4.1.2 beschrieben. Die Bewertung dafür erfordert eine gesamtsystematische Betrachtung, da mehrere Abfallarten betroffen sind und eine Veränderung von Abfallqualitäten erfolgt.

3.21.2 Überlagerte Lebensmittelabfälle

Die Bestandsaufnahme für überlagerte Lebensmittel (Kap. 2.21.2) ergab, dass diese zu verschiedenen Vergärungsanlagen und in Faultürme von Kläranlagen verbracht wurden. Hinsichtlich der Auswirkungen auf die THG-Bilanz wird die THG-Belastung insbesondere durch Methanemissionen aus der offenen Lagerung der Gärreste verursacht, die nach der Vergärung anfallen. Von den überlagerten Lebensmitteln gehen 50% in Anlagen mit vollständig geschlossenem Vergärungssystem und Verwertung des entstehenden Biogases. 35% werden in Vergärungsanlagen mit nur offenem Gärrestlager und 15% in Vergärungsanlagen mit Nachgärer und offener Gärrestlagerung behandelt.

Bei den Anlagen mit vollständig geschlossenem System (12.000 Mg) sind keine weiteren Optimierungen erkennbar.

→ Für die Potenzialanalyse 2020 wird angenommen, dass:

- bei Vergärungsanlagen mit nur offener Gärrestlagerung (8.506 Mg) diese zusätzlich mit Nachgärer und mit externem geschlossenem Gärrestlager mit Fackel nachgerüstet werden,
- bei Vergärungsanlagen mit Nachgärer und offener Gärrestlagerung (3.600 Mg) die Gärrestlager gasdicht ausgestattet und mit Fackel nachgerüstet werden.

Die für überlagerte Lebensmittel in der Bestandsaufnahme ermittelten Kenndaten bleiben von den hier betrachteten Maßnahmen unberührt und werden für die Potenzialanalyse beibehalten.

Die genannten Maßnahmen können die Freisetzung von gebildetem Methan bei Vergärungsanlagen wie folgt reduzieren:

- mit offener Gärrestlagerung von 2,5% auf 0% (für 35% des Mengenanteils),
- mit Nachgärer und offener Gärrestlagerung von 1,5% auf 0% (für 15% des Mengenanteils).

Diese Reduzierung wird ergänzt um eine weitere THG-Entlastung durch Verstromung des über die nachgerüsteten Nachgärer zusätzlich gewonnenen Methans.

Unter Einrechnung der Mengenanteile der unterschiedlichen Anlagen ergibt sich ein THG-Minderungsbeitrag durch die Umrüstung bei Anlagen mit nur offenem Gärrestlager von 77% und bei Anlagen mit offenem Gärrestlager bei vorhandenem Nachgärer von 23%.

Die spezifische THG-Entlastung für überlagerte Lebensmittel berechnet sich zu -98 kg CO₂-Äq/Mg für das Jahr 2020 und damit um -11 kg CO₂-Äq/Mg besser als in der Bestandsaufnahme.

Hochgerechnet auf die gesamt entsorgte Menge an überlagerten Lebensmitteln von 24.106 Mg ergibt sich aus der Potenzialanalyse eine Nettoentlastung **für das Jahr 2020** von **-2.361 Mg CO₂-Äq**. Gegenüber der Ist-Situation im Jahr 2010 entspricht dies einem THG-Minderungsbeitrag von **-267 Mg CO₂-Äq/a**.

3.21.3 Fettabscheiderinhalte

Die Bestandsaufnahme für Fettabscheiderinhalte (Kap. 2.21.3) ergab, dass diese in unterschiedlichen Vergärungsanlagen verwertet werden, deren überwiegende THG-Belastung aus der Art der Lagerung der Gärreste nach der Vergärung resultiert.

Von den Fettabscheiderinhalten gehen 51% in Vergärungsanlagen mit nur offenem Gärrestlager, 47% in die Faultürme der Kläranlage Wassmannsdorf (vollständig geschlossenes Vergärungssystem) und 3% in Vergärungsanlagen mit Nachgärer und offener Gärrestlagerung.

Bei der Co-Vergärung in der Kläranlage Wassmannsdorf (6.000 Mg) sind keine weiteren Optimierungen erkennbar.

→ Für die Potenzialanalyse 2020 wird angenommen, dass:

- bei Vergärungsanlagen mit nur offener Gärrestlagerung (6.523 Mg) diese zusätzlich mit Nachgärer und mit externem geschlossenem Gärrestlager mit Fackel nachgerüstet,
- bei Vergärungsanlagen mit Nachgärer und offener Gärrestlagerung (350 Mg) die Gärrestlager gasdicht ausgestattet und mit Fackel nachgerüstet werden.

Die für Fettabscheiderinhalte in der Bestandsaufnahme ermittelten Kenndaten bleiben von den hier betrachteten Maßnahmen unberührt und werden für die Potenzialanalyse beibehalten.

Die genannten Maßnahmen können die Freisetzung von gebildetem Methan bei Vergärungsanlagen wie folgt reduzieren:

- mit offener Gärrestlagerung von 2,5% auf 0% (für 51% des Mengenanteils),
- mit Nachgärer und offener Gärrestlagerung von 1,5% auf 0% (für 3% des Mengenanteils).

Diese Reduzierung wird ergänzt um eine weitere THG-Entlastung durch die Verstromung des über die nachgerüsteten Nachgärer zusätzlich gewonnenen Methans.

Unter Einrechnung der Mengenanteile der unterschiedlichen Anlagen ergibt sich ein THG-Minderungsbeitrag durch die Umrüstung bei Anlagen mit nur offenem Gärrestlager von 97% und bei Anlagen mit offenem Gärrestlager bei vorhandenem Nachgärer von 3%.

Das spezifische Ergebnis für Fettabscheiderinhalte berechnet sich zu -204 kg CO₂-Äq/Mg für das Jahr 2020 und damit um -25 kg CO₂-Äq/Mg besser als in der Bestandsaufnahme.

Hochgerechnet auf die gesamt entsorgte Menge an Fettabscheiderinhalten von 12.873 Mg ergibt sich aus der Potenzialanalyse eine Nettoentlastung **für das Jahr 2020 von -2.627 Mg CO₂-Äq**. Gegenüber der Ist-Situation im Jahr 2010 entspricht dies einem THG-Minderungsbeitrag von **-324 Mg CO₂-Äq/a**.

Wie eingangs erwähnt besteht für Fettabscheiderinhalte grundsätzlich ein weiteres Optimierungspotenzial in einer gesteigerten getrennten Erfassung durch stringente Installation und Wartung von Fettabscheidern. Das daraus resultierende THG-Minderungspotenzial kann in dieser Studie nur nachrichtlich aufgeführt werden, da die bisherige Praxis der Entsorgung über die Kanalisation nicht Bestandteil des Untersuchungsrahmens ist.

Es kann jedoch davon ausgegangen werden, dass bei einer Steigerung der getrennten Erfassung mit einem weiteren nennenswerten THG-Minderungsbeitrag zu rechnen ist. Für die anteilig über die Kanalisation entsorgten Mengen kann davon ausgegangen werden, dass diese nicht vollständig in Klärschlamm und Rechengut als energetisch verwertete Rückstände überführt werden. Fette und insbesondere emulgierbare Speiseöle sind anteilig biologisch abbaubar. Durch die Veratmung zu CO₂ und Wasser gehen diese Anteile einer energetischen Nutzung verloren. Insofern wird eine intensiviertere getrennte Erfassung in der gesamtsystematischen Betrachtung aller Voraussicht nach einen THG-Minderungsbeitrag bewirken.

Als Einschätzung der Größenordnung des potenziellen Minderungsbeitrages wird der oben ermittelte Emissionsfaktor für eine hochwertige Vergärung auf die nach BWB erfassbare Mehrmenge von 4.500 Mg/a angewendet.

Danach könnte durch die gesteigerte getrennte Erfassung von 4.500 Mg/a Fettabscheiderinhalten durch die oben beschriebene hochwertige Vergärung eine THG-Minderung von **-918 Mg CO₂-Äq für das Jahr 2020** erreicht werden.

3.22 Altfette

Die Bestandsaufnahme zu Altfetten (Kap. 2.22) ergab, dass 5.500 Mg/a Altfette im Jahr 2010 erfasst und vollständig zu Altfettmethylester (AME) aufbereitet wurden, wodurch heizwertäquivalent Dieselkraftstoff ersetzt wird. Diese Verwertung erzielt mit -2.678 kg CO₂-Äq/Mg Altfett das zweithöchste spezifische Nettoergebnis unter den insgesamt 36

untersuchten Abfallarten. Optimierungspotenziale für die Verwertung werden nicht gesehen.

Grundsätzlich besteht jedoch ein Optimierungspotenzial in einer Mengensteigerung durch eine Intensivierung der getrennten Erfassung von Altfetten. In (WI/ICU 2009) wurde von einem jährlich zusätzlich erfassbaren Potenzial von 3.000 Mg ausgegangen, unter Umständen könnte eine noch höhere Menge von rund 5.000 Mg erfasst werden. Die Altfett-potenziale werden nach (WI/ICU 2009) vorrangig bei Kleinanfallstellen wie vor allem Im-biss-Läden gesehen, bei denen Frittierfette teilweise in die Kanalisation „entlassen“ werden. Demnach ist davon auszugehen, dass nennenswerte Mengen bislang über das Ab-wasser entsorgt werden. Wie bei Fettabscheiderinhalten gilt hier, dass die Entsorgung über die Kanalisation nicht Bestandteil des Untersuchungsrahmens ist. Diese müsste für eine korrekte Abbildung des Optimierungspotenzials ebenfalls bewertet werden.

Wie bei den Fettabscheiderinhalten geschildert kann jedoch auch bei Altfetten davon aus-gegangen werden, dass bei einer Steigerung der getrennten Erfassung mit einem weite-ren nennenswerten THG-Minderungsbeitrag zu rechnen ist und eine intensivierte getrenn-te Erfassung in der gesamtsystematischen Betrachtung aller Voraussicht nach einen THG-Minderungsbeitrag bewirken wird.

Zur Einschätzung der Größenordnung des potenziellen Minderungsbeitrages wird der für die Bestandsaufnahmen ermittelte Emissionsfaktor angewendet. Als zusätzlich erfassbare Menge wird im Mittel von 4.000 Mg/a ausgegangen.

Danach könnte durch die gesteigerte getrennte Erfassung von 4.000 Mg Altfetten durch die oben beschriebene hochwertige Verwertung eine THG-Minderung von **-10.711 Mg CO₂-Äq für das Jahr 2020** erreicht werden.

Praktisch ist eine gesteigerte getrennte Erfassung von Altfett möglich, wenn Kleinanfall-stellen – wie vorwiegend Imbisse – stärker als bisher mit in die Sammelaktivitäten einbe-zogen werden. Für Altfett werden nach (WI/ICU 2009) etwa 150 €/Mg an Vergütung be-zahlt. Dies dürfte auch für Kleinanfallstellen einen hohen Anreiz darstellen. In Synergie mit der gesteigerten getrennten Erfassung von Speiseresten könnten Altfette über gesonderte Gebinde erfasst werden.

3.23 Pferdemit

Die Bestandsaufnahme für Pferdemit (Kap. 2.23) ergab, dass eine Menge von 9.282 Mg/a durch Verrottung bzw. einfache offene Kompostierung zu Pferdemit-Kompost verwertet wurde und dieser zu 70% in der Landwirtschaft und zu 30% in der Erden- und Substratherstellung eingesetzt wurde.

→ Für die Potenzialanalyse 2020 wird angenommen, dass der Pferdemit in optimierten Vergärungsanlagen mit Nachgärer und externem gasdichten Gärrestlager mit Fackel ver-wertet wird.

Damit kann das aus dem Pferdemit gebildete Biogas über BHKW verstromt und die an-fallenden Gärreste einer landwirtschaftlichen Nutzung zugeführt werden. Durch die Vergä-rung mit anschließender landwirtschaftlicher Nutzung können relevante THG-Ent-lastungen erzielt werden.

Für die THG-Bilanz der Abfallart Pferdemist wurde mit den analogen Ansätzen wie bei der optimierten Vergärung von Organikabfällen aus Gewerbe gerechnet (Kap. 3.21).

Für die Biogasproduktion wurde für Pferdemist – nach Angaben von (Archea 2011) – mit einem Biogasertrag von 63 m³/Mg und einem Methananteil von 55 Vol% gerechnet. Als weitere Kenndaten wurde ein TS-Gehalt von 28% FS und ein oTS-Gehalt von 75% TS für die Bilanzierung verwendet. Der Transport zur Vergärungsanlage wurde mit einer mittleren Transportentfernung von 83 km (entsprechend der Transportentfernung für Speiserestverwertung) veranschlagt.

Im spezifischen Ergebnis in Abbildung 3-20 sind unter „Betrieb“ die Methanemissionen aus diffusen Quellen und der Methanschluß aus dem BHKW-Betrieb zusammengefasst. Ebenfalls darin zugeordnet sind hier Lachgasemissionen aus der Anwendung des Pferdemist-Kompostes, die jedoch aufgrund des geringen N-Gehaltes im Pferdemist-Kompost (0,5% TS) sehr gering sind.

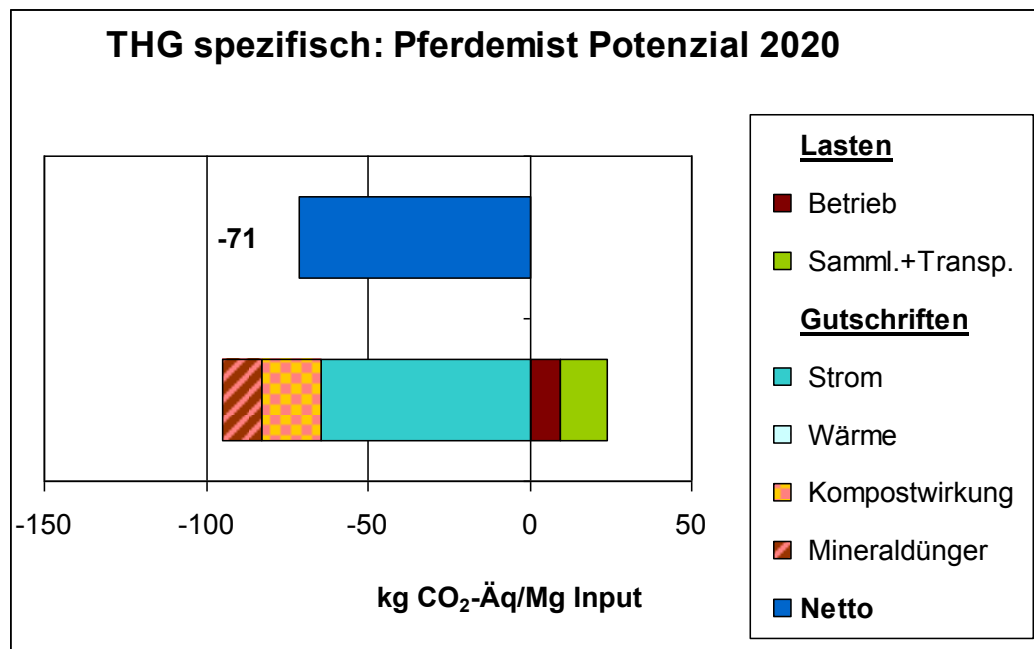


Abbildung 3-20: Potenzialanalyse Verwertung Pferdemist

Gutschriften ergeben sich vor allem aus der Netzeinspeisung des über BHKW erzeugten Stroms abzüglich des Eigenbedarfs. Die im BHKW anfallende Wärme kann in der Regel nur anlagenintern genutzt werden und führt damit zu keinen Gutschriften.

Für die Anwendung des Gärrestes in der Landwirtschaft wurde die Substitution von Mineraldünger angerechnet („Mineraldünger“). Ebenfalls berücksichtigt wurden in Anlehnung an (UBA 2012a) eine Humusreproduktionswirkung und eine erosionsmindernde Wirkung bezogen auf die mit dem Gärrest aufgebrauchte TS-Menge („Kompostwirkung“).

Insgesamt zeigt sich, dass die Gutschrift für den eingespeisten Nettostrom und die Gärrestanwendung bei der Vergärung von Pferdemist die THG-Lastungen aus der Vergärungsanlage, der Gärrestausbringung und den Sammlungs- und Transportaufwendungen

übersteigt. Die spezifische THG-Nettoentlastung ergibt sich zu $-71 \text{ kg CO}_2\text{-Äq/Mg}$ und damit um $-53 \text{ kg CO}_2\text{-Äq/Mg}$ besser als in der Bestandsaufnahme.

Hochgerechnet auf die gesamt entsorgte Menge an Pferdemist von 9.282 Mg ergibt sich aus der Potenzialanalyse eine Nettoentlastung **für das Jahr 2020 von $-660 \text{ Mg CO}_2\text{-Äq}$** . Gegenüber der Ist-Situation im Jahr 2010 entspricht dies einem THG-Minderungsbeitrag von **$-490 \text{ Mg CO}_2\text{-Äq/a}$** .

3.24 Rechengut

Die Bestandsaufnahme für Rechengut (Kap. 2.24) ergab, dass das bei den Kläranlagen Berlins anfallende Rechengut nach mechanischer Vorbehandlung in der MBS Niederlehme zu Ersatzbrennstoff aufbereitet und in dieser entsprechend der Verteilung von EBS aus Hausmüll verwertet wird. Optimierungsmöglichkeiten sind für die Verwertung von Rechengut nicht erkennbar. Das zu EBS aufbereitete Rechengut geht zu 90% zur Mitverbrennung in Braunkohlekraftwerke und in das Zementwerk Rüdersdorf, wodurch in beiden Fällen heizwertäquivalent Braunkohle ersetzt wird. Diese Art der energetischen Verwertung erzielt den höchsten THG-Minderungsbeitrag (s. Kap. 1.3.2).

3.25 Zusammenfassung Potenzialanalyse Berlin 2020

In der Bestandsaufnahme in Kapitel 2 konnte in der Zusammenfassung gezeigt werden, dass die Entsorgung der 36 als relevant erachteten und untersuchten Abfallarten im Land Berlin überwiegend bereits im Jahr 2010 zu einer nennenswerten Treibhausgasentlastung führte. In Summe beziffert sich diese Entlastung auf rund $-900.000 \text{ Mg CO}_2\text{-Äq}$ bei einer gesamten Abfallmenge von rund 6,7 Mio. Tonnen. Den höchsten Entlastungsbeitrag mit einem Anteil von 26% leistet die Entsorgung von Haus- und Geschäftsmüll, der auch einen relevanten Massenanteil einnimmt (13%). Dagegen weisen die nach Masse relevantesten Abfallarten, die mineralischen Abfälle (Massenanteil 60%), kaum einen Beitrag zur THG-Entlastung auf, da diese Abfälle weder in ihrer Entsorgung noch nach ihrem Potenzial Primärprodukte zu ersetzen mit relevanten THG-Emissionen verbunden sind.

Alle weiteren untersuchten Abfallarten haben nach Masse nur einen geringen Anteil von unter 5% bezogen auf die Gesamtabfallmenge. Den nach der Entsorgung von Haus- und Geschäftsmüll zweithöchsten Beitrag zur THG-Entlastung haben die Entsorgung von Alttextilien (15% bei Massenanteil von 0,5%) und von Papier, Pappe, Kartonagen (14% bei Massenanteil von 3%). Weitere relevante THG-Minderungsbeiträge weist die Entsorgung von Altholz (11% bei Massenanteil von 2%) und gemischten gewerblichen Siedlungsabfällen und gemischten Bau- und Abbruchabfällen (9% bei Massenanteil von 5%) auf. Die THG-Entlastungsbeiträge aller weiteren Abfallarten liegen unter 5%.

Für sieben der 36 untersuchten Abfallarten wurde in der Bestandsaufnahme eine THG-Belastung ermittelt. Dabei handelt es sich neben Straßenkehricht und Altteppichen ausschließlich um organische Abfälle, die im Jahr 2010 in einfachen offenen Kompostierungsanlagen behandelt oder eigenkompostiert wurden. Des Weiteren in diesem Zusammenhang zu nennen ist die Entsorgung von ungefaultem Klärschlamm, dessen Entsorgung über die KSVa Ruhleben für sich betrachtet ebenfalls zu einer THG-Belastung führt. Hier ergibt sich nur durch die gemeinsame Betrachtung mit der Entsorgung von gefaultem

Klärschlamm, der nach Entwässerung und anteiliger Trocknung in Kraftwerken mitverbrannt wird, in Summe ein THG-Entlastungsbeitrag.

In der Potenzialanalyse wurde insbesondere für diese Abfallarten, deren Entsorgung im Jahr 2010 noch eine THG-Belastung ergab, ein Optimierungspotenzial erkannt, daneben aber auch für einige weitere Abfallarten.

Einen Überblick über die gesamt erkannten und in der Potenzialanalyse untersuchten Optimierungspotenziale und die dafür ermittelten THG-Entlastungsbeiträge 2020 sowie die entsprechenden Minderungsbeiträge („Mehr zu IST“) zeigt Tabelle 3-11. Ebenfalls enthalten in der Tabelle sind einige potenzielle THG-Minderungsbeiträge, die nur nachrichtlich ausgewiesen werden konnten (in kursiv).

Für einige Abfallarten war keine Optimierung erkennbar bzw. wurde insbesondere bei trockenen Wertstoffen nicht die Optimierung des Verwertungsweges selbst, sondern die Ausweitung einer getrennten Erfassung untersucht. Bei Organikabfall aus Haushalten wurde sowohl die Optimierung des Entsorgungsweges als auch eine gesteigerte getrennte Erfassung betrachtet.

Dieser Aspekt der gesteigerten getrennten Erfassung von Wertstoffen durch Entnahme aus dem Haus- und Geschäftsmüll wurde separat in Optimierungsszenarien untersucht, die in Kapitel 4 beschrieben sind. Erforderlich ist diese gesamtsystematische Betrachtung, da durch die Entnahme von Wertstoffen der verbleibende Restabfall in seinen Eigenschaften verändert wird und entsprechend auch das Ergebnis der THG-Bilanz.

Aus Tabelle 3-11 wird ersichtlich, dass insgesamt für 18 der 36 untersuchten Abfallarten eine Optimierung und ein daraus resultierender weiterer THG-Minderungsbeitrag ermittelt werden konnte. Insgesamt beläuft sich die dadurch **zusätzlich** gegenüber der Bestandsaufnahme erzielbare **THG-Minderung auf -210.000 Mg CO₂-Äq für das Jahr 2020**.

Zusammen mit der in der Bestandsaufnahme ermittelten o.g. THG-Entlastung würde sich damit **im Jahr 2020** eine **gesamte THG-Entlastung** durch die Entsorgung der 36 Abfallarten in Höhe von **-1.110.006 Mg CO₂-Äq** ergeben.

Der höchste Beitrag zur weiteren THG-Minderung ergibt sich aus der betrachteten Optimierung für die Entsorgung der gemischten gewerblichen Siedlungsabfälle und gemischten Bau- und Abbruchabfälle, der zu 27% zum gesamten weiteren Minderungspotenzial beiträgt. Erreicht werden könnte dies v. a. durch eine Steigerung der Wertstoffaussortierung auf 20% durch moderne Sortiertechnik und die Erzeugung einer hochwertigen EBS-Fraktion, die für eine Mitverbrennung in Zementwerken geeignet ist.

Der zweithöchste Minderungsbeitrag ergibt sich aus den verschiedenen in Tabelle 3-11 aufgeführten Optimierungsmaßnahmen bei der Verbrennung von ungefaultem und gefaultem Klärschlamm in der KSVA Ruhleben (18%). Ein ähnlich hoher Minderungsbeitrag würde sich durch die künftige Mitverbrennung von EBS aus Sperrmüll in einem Zementwerk ergeben anstelle der im Jahr 2010 erfolgten energetischen Verwertung in EBS-HKW (17%). Als weiterer wesentlicher Beitrag zu nennen ist die mögliche künftige Entsorgung von Laub, Straßenlaub durch eine hochwertige energetische Verwertung (HTC-Verfahren, anteilige Mitbehandlung in MPS, MBS, MA) anstelle der bisherigen Behandlung in einfachen offenen Kompostierungsanlagen. Der Anteil durch diese Optimierung an der gesamten ermittelten THG-Minderung beträgt 11%.

Tabelle 3-11 Überblick Ergebnisse Potenzialanalyse

Abfallart	Maßnahme 2020	THG-Beitrag in Mg CO ₂ -Äq/a	
		2020	Mehr zu IST
Boden und Steine	Steigerung Anteil Entsorgung in Baumaßnahmen (IST: 58%, Rest Deponie, Tagebau)	kein Einfluss THG-Bilanz aber ggf. aus Gründen des Ressourcenschutzes anzustreben	
Bauschutt	Steigerung Anteil Entsorgung in Straßenbaumaßnahmen (IST: 34%, Rest Deponie, Tagebau)	kein Einfluss THG-Bilanz aber ggf. aus Gründen des Ressourcenschutzes anzustreben	
Gipsabfälle	<i>Getrennte Erfassung und stoffliche Verwertung von 30.000 Mg ABER Eignung und Übertragbarkeit für Berlin offen, deswegen nur nachrichtlich (nicht in Summe)</i>	-5.400	-5.400
Beton	Sortenreine Erfassung und Aufbereitung zu RC-Beton (IST: 99% Straßenbau, 1% Deponie)	kein Einfluss THG-Bilanz, aber aus Gründen des Ressourcenschutzes anzustreben -> Pilotprojekt geplant	
Asphalt	Vollständige Entsorgung in Asphaltmischwerken (IST: 38%)	-1.457	-904
Baggergut	Kein Einfluss auf THG-Bilanz -> keine Optimierung betrachtet		
Haus- und Geschäftsmüll	Entsorgung über MPS-Anlagen und MHKW (mit neuem Kessel)	-237.017	-2.263
	Entnahme Wertstoffe	erfordert Betrachtung mehrerer Abfallarten (Kap. 4)	
Überlassungspflichtige hausmüllähnliche Gewerbeabfälle	Umlenkung zur Entsorgung mit nicht überlassungspflichtigen gemischten gewerblichen Siedlungsabfällen und Bau- und Abbruchabfällen	wegen Betrachtung mehrere Abfallarten in Optimierungsszenario (Kap. 4)	
Sonstige überlassungspflichtige Abfallarten aus Gewerbe und Industrie	MHKW neuer Kessel	-4.156	-580
Nicht überlassungspflichtige gemischte gewerbliche Siedlungsabfälle und Bau- und Abbruchabfälle	- Steigerung Wertstoffsartierung von rd. 12 auf 20% (aus 191212) durch moderne Sortiertechnik - 100% energetische Verwertung nach EBS-Aufbereitung im Zementwerk - Behandlung 191209 über MBA	-139.241	-55.935

Abfallart	Maßnahme 2020	THG-Beitrag in Mg CO ₂ -Äq/a	
		2020	Mehr zu IST
Klärschlamm	Optimierung KSWA Ruhleben:	-51.469	-38.553
davon Rohschlamm	- Höhere Entwässerung - Minderung N ₂ O-Emissionen - Verbesserte Dampfnutzung	-11.668	-27.866
davon gefaulter Schlamm	- Minderung N ₂ O-Emissionen - Verbesserte Dampfnutzung - Einsatz von HTC-Kohle	-39.804	-10.688
Sperrmüll	Mitverbrennung EBS-Fraktion im Zementwerk (IST: EBS-KW)	-53.700	-35.631
Straßenkehrriecht	Vollständige Entsorgung über gbav mit optimierter Behandlung: Waschen Mineralik und gesamter Rest zu MBS	-1.278	-7.998
PPK	In dieser Studie keine Optimierung für Verwertung betrachtet, aber gesteigerte getrennte Erfassung aus Restmüll (Kap. 4)		
Altglas	In dieser Studie keine Optimierung für Verwertung betrachtet		
LVP	In dieser Studie keine Optimierung für Verwertung betrachtet, aber gesteigerte getrennte Erfassung aus Restmüll (Kap. 4)		
Wertstoffe GTP	Wertstofftonne, gemeinsam mit gesteigerter getrennter Erfassung aus Restmüll betrachtet (Kap. 4)		
Wertstoffe Orange Box	Wertstofftonne, gemeinsam mit gesteigerter getrennter Erfassung aus Restmüll betrachtet (Kap. 4)		
Alttextilien	Grundsätzlich Optimierungsmöglichkeit durch Steigerung der Wiederverwendung, aber keine gesicherte Aussage hierzu möglich		
Altteppiche	Mitverbrennung Zementwerk (IST: EBS-KW)	-7.878	-9.605
Altreifen	Steigerung stoffliche Verwertung von 45% auf 80%	-34.125	-7.867
E-Schrott	In dieser Studie keine Optimierung für Verwertung betrachtet		
Altmetalle	In dieser Studie keine Optimierung für Verwertung betrachtet		
Getrennt gesammeltes Altholz	Keine Optimierung erkennbar, IST: 84% Einsatz in effizienten Biomasse-Heizkraftwerken		
Baum-, Strauchschnitt	Keine Optimierung erkennbar, IST: 83% Einsatz in effizienten Biomasse-Heizkraftwerken		
Weihnachtsbäume	Keine Optimierung erkennbar, IST: 100% Mitverbrennung im Kraftwerk		
Bioabfall (BIOGUT)	Vergärung in BSR-Anlage mit optimierter Gärrestbehandlung	-8.558	-8.611
Eigenkompostierung Bio-, Grünabfälle	Teilweise Miterfassung mit Steigerung getrennte Erfassung Bioabfall	wegen gemeinsamer Betrachtung mehrerer Abfallarten in Optimierungsszenario (Kap. 4)	

Abfallart	Maßnahme 2020	THG-Beitrag in Mg CO ₂ -Äq/a	
		2020	Mehr zu IST
Organikabfälle in Laubsäcken	11.365 Mg Miterfassung mit Steigerung getrennte Erfassung Bioabfall	wegen gemeinsamer Betrachtung mehrerer Abfallarten in Optimierungsszenario (Kap. 4)	
	4.490 Mg HTC-Verfahren	(-2.128)	(-2.203)
	Summe für gesamt 15.855 Mg	-1.940	-2.203
Laub, Straßenlaub	32.253 Mg (BSR) HTC-Verfahren und 24.142 Mg energetische Verwertung über MPS, MBS, MA	-23.402	-22.581
Straßenbegleitgrün	Mitbehandlung in TA Luftkonformer Vergärungsanlage	-787	-858
Mähgut	HTC-Verfahren	-14.055	-14.699
Speisereste	Bei Anlagen mit Nachgärer Nachrüstung gasdichte Gärrestlager mit Fackel; bei offener Lagerung Nachrüstung Nachgärer und gasdichtes Gärrestlager mit Fackel	-4.058	-632
Überlagerte Lebensmittel		-2.361	-267
Fettabscheiderinhalte		-2.627	-324
<i>Gesteigerte getrennte Erfassung 4.500 Mg Fettabscheiderinhalte</i>	<i>Verwertung wie Potenzialanalyse ABER nur Einschätzung weil bisherige Entsorgung nicht in Bewertung umfasst, deswegen nur nachrichtlich (nicht in Summe)</i>	-918	-918
Altfette	In dieser Studie keine Optimierung für Verwertung betrachtet		
<i>Gesteigerte getrennte Erfassung 4.000 Mg Altfette</i>	<i>Verwertung wie Bestandsaufnahme ABER nur Einschätzung weil bisherige Entsorgung nicht in Bewertung umfasst, deswegen nur nachrichtlich (nicht in Summe)</i>	-10.711	-10.711
Pferdemist	Behandlung in optimierter Vergärungsanlage	-660	-490
Rechengut	In dieser Studie keine Optimierung für Verwertung betrachtet		
Summe			-210.000

Die optimierte Entsorgung der weiteren Abfallarten führt zu THG-Minderungsbeiträgen unter 10%. Für diese ergibt sich folgendes Ranking: Mähgut (7%) > Altteppiche (5%) > Bioabfall (BIOGUT) (4%) > Straßenkehricht (4%) > Altreifen (4%) > Haus- und Geschäftsmüll (1%) > Organikabfall aus Laubsack (1%). Der Beitrag aus der optimierten Entsorgung der restlichen Abfallarten liegt unter 0,5%. Gegenüber der Bestandsaufnahme würden die Optimierungen dazu führen, dass die Entsorgung aller 36 untersuchten Abfallarten eine THG-Entlastung aufweist.

Die Reihenfolge der genannten THG-Minderungsbeiträge der 36 Abfallarten zeigt sich auch in Abbildung 3-21. Darin ist neben der zusätzlich durch die Optimierungen erreichbaren THG-Minderungswirkung („zus. 2020“) die für die Bestandsaufnahme ermittelte THG-Entlastung („2010“) und die in Summe erreichbare THG-Entlastung im Jahr 2020 („Sum-

me 2020“) für die 18 Abfallarten dargestellt für deren Entsorgung eine Optimierung ermittelt wurde.

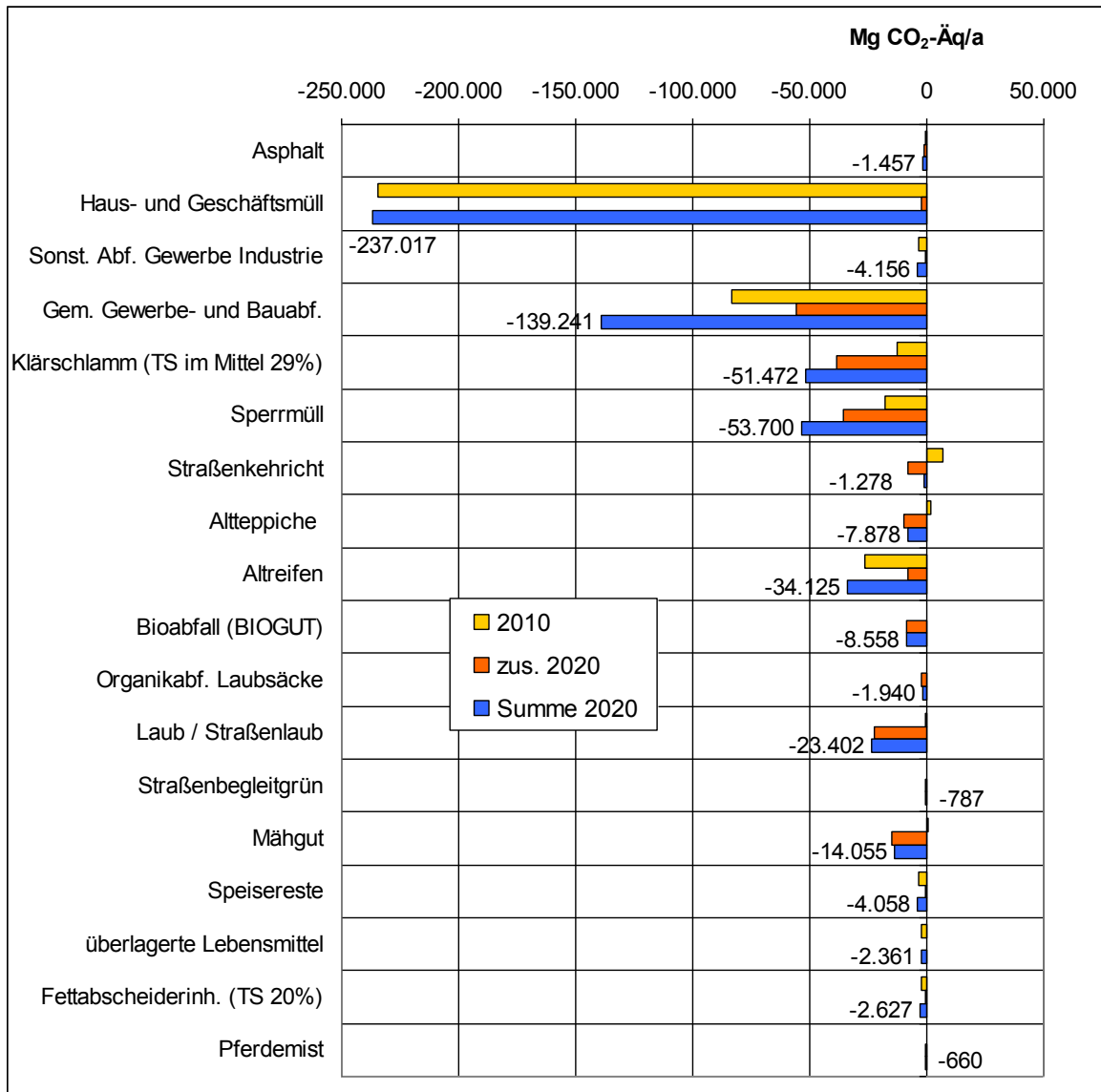


Abbildung 3-21 Überblick absolute Nettoergebnisse Potenziale 2020

Bei der Betrachtung der Gesamtsituation durch Optimierungen im Jahr 2020 weist weiterhin die Entsorgung von Haus- und Geschäftsmüll den höchsten THG-Entlastungseffekt auf, obwohl der zusätzliche THG-Minderungsbeitrag nur 1% an der gesamten THG-Minderung einnimmt. Ursächlich ist der hohe Massenanteil in Verbindung mit der Entsorgung vorwiegend über die MPS-Anlagen, wodurch EBS ausgebracht und v. a. in Kraft- und Zementwerken mitverbrannt wird, und die Entsorgung über das MHKW. Der Anteil am gesamten THG-Entlastungsbeitrag reduziert sich allerdings auf 21%.

Den zweithöchsten Anteil am ermittelten THG-Minderungsbeitrag in 2020 würde mit 13% die Entsorgung der gemischten gewerblichen Siedlungsabfälle und gemischten Bau- und Abbruchabfälle einnehmen. Es folgt der THG-Entlastungsbeitrag aus der unveränderten

Entsorgung von Alttextilien mit 12% und von Papier, Pappe, Kartonagen mit 11% (nicht in Abbildung, da keine Optimierung untersucht). Der anteilige THG-Minderungsbeitrag aller weiteren Abfallarten liegt unter 10% (Altholz 9%, alle weiteren unter 5%).

Zu den genannten THG-Minderungsbeiträgen kommen die Entlastungsbeiträge hinzu, die sich aus einer gesteigerten getrennten Erfassung von Wertstoffen durch Entnahme aus dem Haus- und Geschäftsmüll ergeben. Diese werden im nachfolgenden Kapitel betrachtet. Abziehen in der Endsumme ist dann der hier ausgewiesene THG-Minderungsbeitrag für Haus- und Geschäftsmüll, da sich dieser ändert und im Ergebnis des Optimierungsszenarios enthalten ist. Ebenfalls zu beachten ist, dass der hier ausgewiesene Beitrag aus der Entsorgung von Bioabfall (BIOGUT) auch in der folgenden gesamtsystematischen Betrachtung einbezogen wurde, um eine Gegenüberstellung mit der Behandlung der zusätzlich getrennt erfassten Organikabfallmenge aus Haushalten zu ermöglichen. Entsprechend ist für die Endsumme auch dieser Minderungsbeitrag abzuziehen.

4 Optimierungsszenarien 2020 und Vergleich zum Ist-Stand 2010 unter Berücksichtigung der Klimaeffekte

Als Optimierungsszenarien werden in dieser Studie im Wesentlichen drei Stoffstromgruppen betrachtet:

1. Die gesteigerte getrennte Erfassung von trockenen Wertstoffen (Wertstofftonne, Müllschleusen bzw. Abfallmanagement) und Organik durch Entnahme aus dem Haus- und Geschäftsmüll sowie durch Umlenkung von Organik aus Haushalten (Eigenkompostierung, Laubsacksammlung) in die getrennte Bioabfallerfassung mit hochwertiger Verwertung dieser in TA Luft-konformen Behandlungsanlagen.
2. Die Umlenkung von überlassungspflichtigen hausmüllähnlichen Gewerbeabfällen zur gemeinsamen Entsorgung mit nicht überlassungspflichtigen gemischten gewerblichen Siedlungsabfällen und gemischten Bau- und Abbruchabfällen sowie Aufbereitung nach dem Stand der Technik mit nachgeschalteter stofflicher und energetischer Verwertung in effizienten Behandlungsanlagen.
3. Die Umlenkung von organischen Abfällen wie Grasschnitt und Laub in moderne emissionsarme Verwertungsanlagen.

Diese Optimierungsszenarien werden hier zum einen aus Gründen der Übersichtlichkeit gesondert betrachtet, da durch die Umlenkungsmaßnahmen mehrere Abfallarten betroffen sind. Insbesondere aber ist bei der Entnahme und Umlenkung von Abfallstoffen aus dem Haus- und Geschäftsmüll zu beachten, dass durch die Steigerung der getrennten Erfassung die Abfalleigenschaften des verbleibenden Restmülls verändert werden, was in einer gesamtsystematischen Betrachtung berücksichtigt werden muss. Die Optimierungsszenarien sind nachfolgend beschrieben.

4.1 Entnahme von Wertstoffen aus dem Restmüll und Umlenkung von Organikabfällen aus Haushalten

Wertstoffe, die für eine Entnahme aus dem Haus- und Geschäftsmüll in Frage kommen, sind zum einen trockene Wertstoffe und zum anderen organische Abfälle. Des Weiteren finden sich im Haus- und Geschäftsmüll auch Mengen an E-Schrott, die über die Graue Tonne entsorgt werden. Diese Mengen werden in Kapitel 4.2 gesondert beschrieben.

Die beiden Möglichkeiten zur Entnahme von trockenen Wertstoffen und Organikabfällen aus dem Haus- und Geschäftsmüll werden in diesem Kapitel zunächst getrennt und abschließend zusammengefasst betrachtet. Jede Entnahme aus dem Haus- und Geschäftsmüll bedeutet eine Veränderung des verbleibenden Restmülls und eine Veränderung für dessen Kenndaten, Heizwert und fossilen C-Gehalt, die für die THG-Bewertung mitunter maßgeblich sind.

Um getrennt aufzeigen zu können, welcher Beitrag durch die Entnahme von trockenen Wertstoffen und welcher durch die Entnahme von Organikabfällen erreicht werden kann, werden im Folgenden insgesamt drei getrennte Berechnungen durchgeführt:

1. Entnahme von trockenen Wertstoffen aus dem Haus- und Geschäftsmüll,

2. Entnahme Organikabfall aus Haus- und Geschäftsmüll und Umlenkung von weiteren Organikabfällen aus Haushalten (Laubsack, Eigenkompostierung),
3. Zusammenfassend: Entnahme trockener Wertstoffe und von Organikabfall aus Haus- und Geschäftsmüll und Umlenkung weiterer Organikabfälle aus Haushalten.

Zur Bewertung des durch die Entnahme von trockenen Wertstoffen veränderten Haus- und Geschäftsmülls wurde folgendermaßen vorgegangen: Ausgehend von der für diese Studie definierten Abfallzusammensetzung des Haus- und Geschäftsmülls (Rechenwerte in Tabelle 2-3) werden zunächst die entnommenen Wertstoffmengen abgezogen und für den dann verbleibenden Restmüll mit Hilfe der Kenndaten für die Abfallfraktionen im Hausmüll nach Tabelle 2-2 der Heizwert und der fossile C-Gehalt dieses „neuen“ Restmülls berechnet. Zur Bewertung der Behandlung über die MPS-Anlagen mit einer veränderten Abfallzusammensetzung wurden aus der Bestandsaufnahme Transferfaktoren abgeleitet (u. a. für die in den MPS-Anlagen aussortierten Metalle) und für den jeweils neu berechneten Restmüll spezifisch nach dessen Abfallfraktionen angesetzt. Analog wurden die Kenndaten für die erzeugten EBS über Transferfaktoren neu berechnet.

Die Behandlung des verbleibenden Haus- und Geschäftsmülls nach Entnahme der Wertstoffe erfolgt wie in der Potenzialanalyse ausschließlich über die MPS-Anlagen und das MHKW. Für die Verteilung auf diese drei Anlagen wurde analog vorgegangen: In erster Linie erfolgt eine Behandlung in den MPS-Anlagen in Höhe der BSR-eigenen Kapazitäten (273.125 Mg) und in zweiter Linie im MHKW. Entsprechend ist die über die MPS-Anlagen behandelte Menge in allen drei betrachteten Szenarien gleich. Da die verbleibende Gesamtmenge an Haus- und Geschäftsmüll je nach Umfang der entnommenen Wertstoffe in den drei Szenarien unterschiedlich ist, gelangen jeweils unterschiedliche Mengen in das MHKW, und der Verteilungssplit auf die drei Behandlungsanlagen ist in jedem der drei Optimierungsszenarien anders.

Für die THG-Bilanz bedeutet dies, dass aufgrund der höheren THG-Entlastung bei der Behandlung über die MPS-Anlagen im Vergleich zur Behandlung über das MHKW (s. Potenzialanalyse) sich durch den veränderten Verteilungssplit auch jeweils ein unterschiedliches spezifisches Ergebnis für die Restmüllbehandlung in den Szenarien ergibt. Die spezifische Nettoentlastung ist umso höher, je höher der über die MPS-Anlagen behandelte Anteil ausfällt. Des Weiteren unterscheidet sich das spezifische Ergebnis der Restmüllbehandlung durch die jeweilige Charakteristik des Restmülls (Heizwert, fossiler C-Gehalt) nach Entnahme der Wertstoffe.

4.1.1 Entnahme von trockenen Wertstoffen

Das Potenzial zur Entnahme von trockenen Wertstoffen aus dem Haus- und Geschäftsmüll ist in der Potenzialanalyse zu trockenen Wertstoffen abgeleitet (Kap. 3.11). Eine Steigerung der getrennten Erfassung ist zum einen möglich durch die Einführung einer einheitlichen Wertstofftonne und zum anderen durch die Einführung von Müllschleusen bzw. Abfallmanagement in Großwohnanlagen und teils in Blockbebauungen. Insgesamt wurde das Potenzial zur gesteigerten getrennten Erfassung von trockenen Wertstoffen ermittelt. Dies besteht zu 22.894 Mg aus PPK und 46.500 Mg aus LVP und StNVP.

Aus der Potenzialanalyse ergibt sich damit insgesamt eine Menge von **69.394 Mg Wertstoffe**, für die im Optimierungsszenario angenommen wird, dass sie künftig aus dem Haus- und Restmüll entnommen, getrennt erfasst und verwertet wird.

Im Optimierungsszenario 2020 wird sowohl diese Menge als auch die bereits im Jahr 2010 getrennt erfasste Menge an LVP und StNVP für die Erfassung in einer einheitlichen Wertstofftonne betrachtet. Abbildung 4-1 zeigt schematisch die Umlenkung und Zusammenführung der Wertstofffraktionen. Ebenfalls dargestellt ist die sich ergebende Veränderung des Haus- und Geschäftsmülls durch die Entnahme der Wertstoffe.

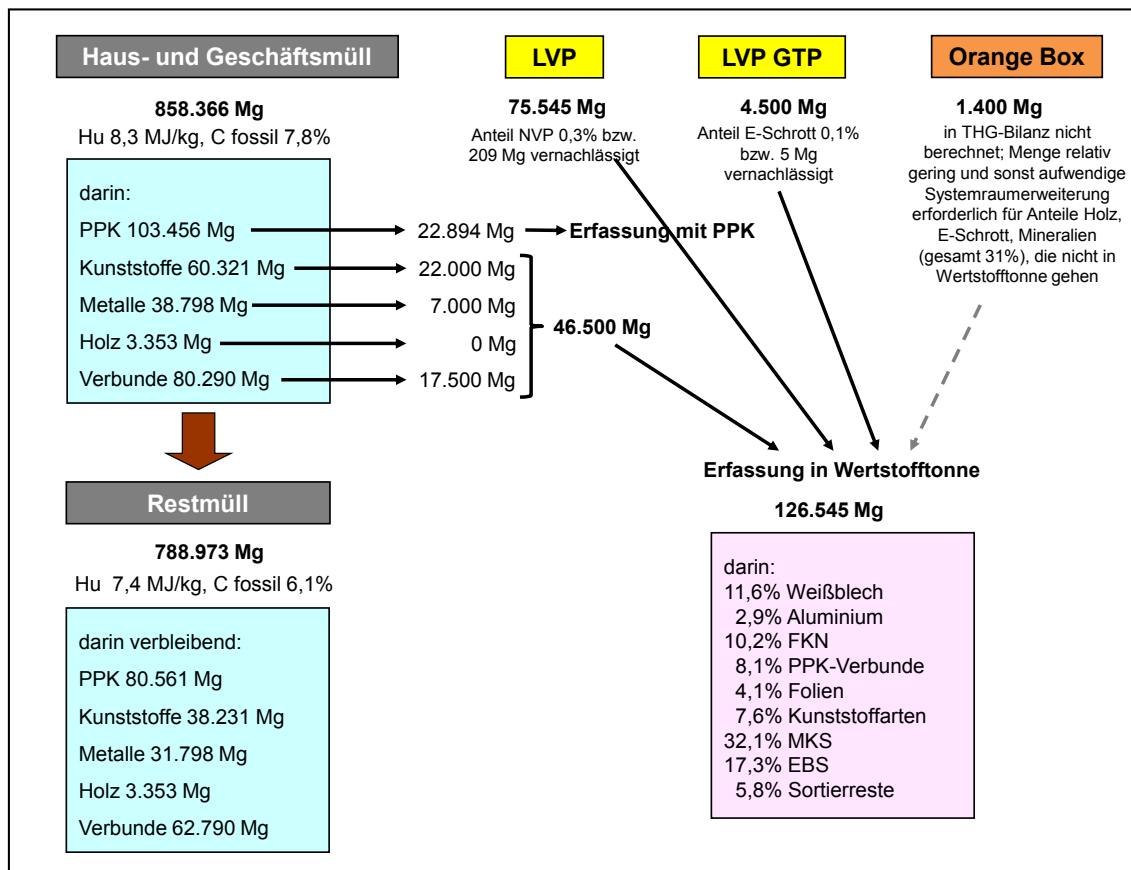


Abbildung 4-1 Schematische Darstellung Entnahme trockener Wertstoffe aus Haus- und Geschäftsmüll

In der Zusammenführung nicht berücksichtigt wurden die im Jahr 2010 in der Orange Box gesammelten Mengen. In dieser wurden neben den Wertstofffraktionen, die in die einheitliche Wertstofftonne gehen, auch andere Wertstoffe gesammelt wie Holzabfälle, E-Schrott und Mineralien (31% der Gesamtmenge). Für einen korrekten Systemvergleich müsste für diese Mengen deren alternative Entsorgung im Jahr 2020 mitbetrachtet werden. Da insgesamt die über die Orange Box im Jahr 2010 eingesammelte Menge gering ist und der dafür erforderliche Aufwand zur Bilanzierung unverhältnismäßig hoch wäre, wurden diese vernachlässigbaren Mengen der Orange Box von der Betrachtung ausgenommen. Ebenfalls ausgenommen wurden die geringen Mengen an Nichtverpackungen der Gelben Tonne (0,3% bzw. 209 Mg) und die geringen Mengen an E-Schrott, die über die GTP eingesammelt wurden (0,1% bzw. 5 Mg). Die sich dann ergebende Zusammensetzung der ein-

heitlichen Wertstofftonne, die in Abbildung 4-1 dargestellt ist, ist in der Potenzialanalyse zu den trockenen Wertstoffen näher erläutert.

Die insgesamt für den Systemvergleich „Ist-Situation 2010“ und „gesteigerte Entnahme trockene Wertstoffe aus dem Haus- und Geschäftsmüll 2020“ betrachteten Mengen sind in Abbildung 4-2 grafisch dargestellt. Entscheidend für den Systemvergleich ist, dass die gesamte Abfallmenge in beiden betrachteten Systemen gleich sein muss (vgl. Kap. 1.3). Aus der Abbildung wird aber auch deutlich, dass die Gesamtmenge v. a. durch Haus- und Geschäftsmüll geprägt wird – sowohl vor wie auch nach der Entnahme der trockenen Wertstoffe.

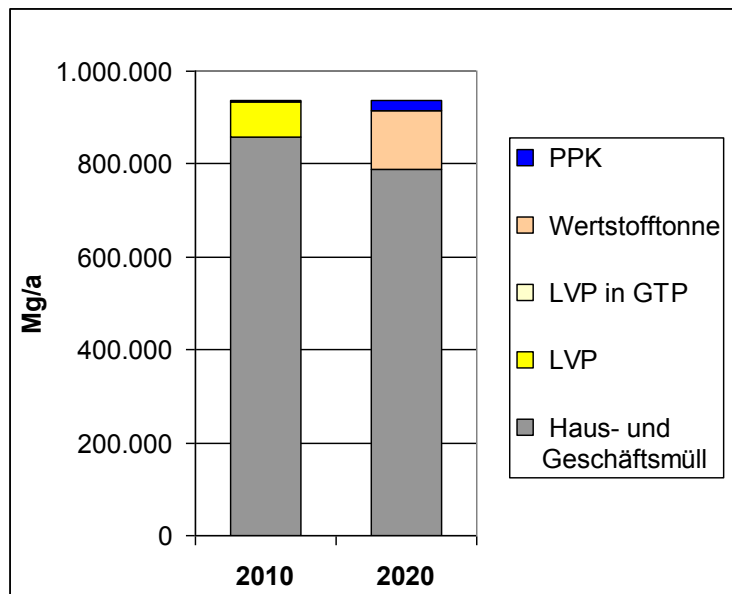


Abbildung 4-2 Abfallmengen Systemvergleich „trockene Wertstoffe“ 2010 zu 2020

Zur Bewertung der hier betrachteten Abfallmengen wurde analog der in der Bestandsaufnahme beschriebenen Systematik vorgegangen. Die Ergebnisse für die Ist-Situation 2010 entsprechen denen in der Bestandsaufnahme für die hier betrachteten Abfallarten.

Für das Optimierungsszenario 2020 wurden Optimierungen, die in der Potenzialanalyse aufgezeigt wurden, berücksichtigt. Relevant ist dies hier für die Entsorgung von Haus- und Geschäftsmüll, der 2020 nur noch über die MPS-Anlagen und das MHKW (mit effizienterem Kessel) behandelt wird. Der Verteilungssplit auf die drei Behandlungsanlagen ergibt sich für die nach Entnahme der Wertstoffe verbleibende Restmüllmenge von 788.973 Mg hier zu 65% MHKW, 24% MPS Pankow und 11% MPS Reinickendorf. Gegenüber der Potenzialanalyse gelangen damit nur unwesentlich mehr Mengen zu einer Behandlung über die MPS-Anlagen, und das spezifische Ergebnis für die Restmüllbehandlung ist demgegenüber mit -278 kg CO₂-Äq/Mg nur unwesentlich höher.

Die Wertstoffe in der Wertstofftonne wurden genauso bewertet wie die LVP bzw. die LVP in der GTP in der Bestandsaufnahme und auch die zusätzlich getrennt erfasste PPK-Menge wird im Szenario 2020 genauso bewertet wie in der Ist-Situation.

Das daraus resultierende Ergebnis der THG-Bilanz für den Systemvergleich zeigt Abbildung 4-3. Dargestellt sind im jeweils ersten Balkensegment in den Balken nach oben (positive Werte) die THG-Belastungen aus der Entsorgung und in den Balken nach unten (negative Werte) die zugehörigen erzielten THG-Entlastungen (Gutschriften). Farblich gekennzeichnet darin ist der jeweilige Anteil der betrachteten Abfallarten (Sektoren gemäß Legende). Rechts neben dem ersten Balkensegment ist das jeweilige Nettoergebnis – die Differenz aus Be- und Entlastungen – dargestellt.

Aus dem Systemvergleich zeigt sich, dass im Optimierungsszenario 2020 zur gesteigerten getrennten Erfassung trockener Wertstoffe aus dem Haus- und Geschäftsmüll eine um **-25.189 Mg CO₂-Äq höhere Nettoentlastung** erreicht wird.

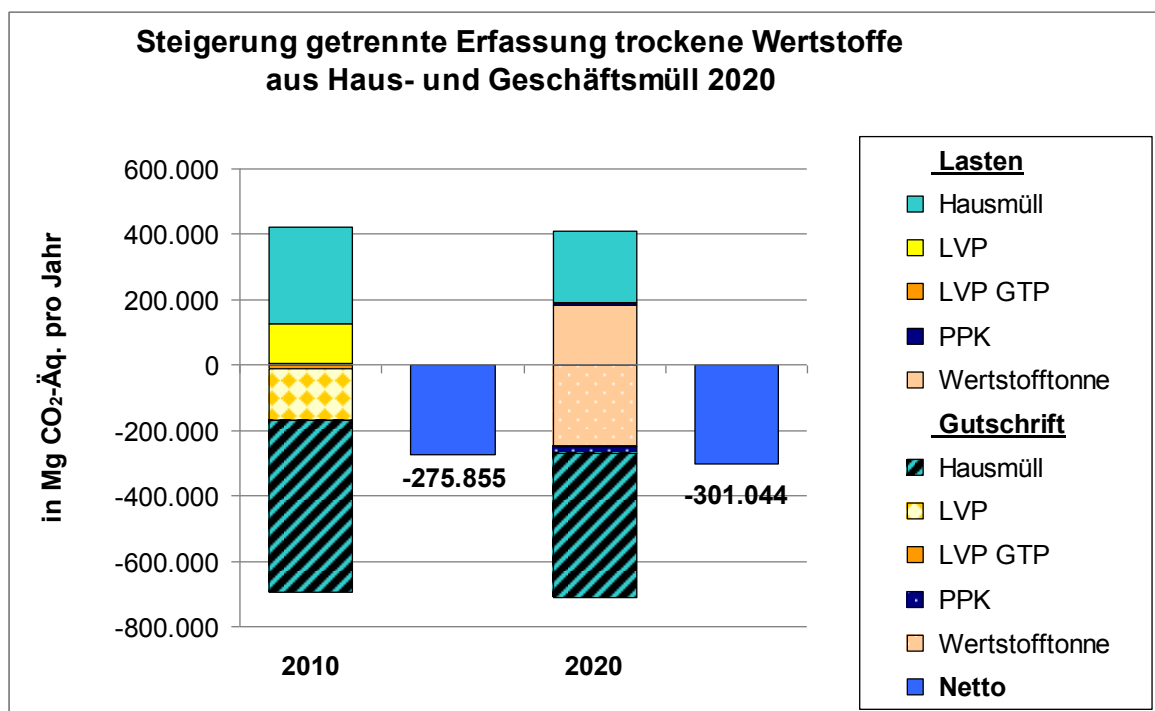


Abbildung 4-3 THG-Ergebnis Optimierungsszenario 2020 zur Steigerung getrennte Erfassung trockener Wertstoffe aus dem Haus- und Geschäftsmüll

Im Wesentlichen wird diese höhere Nettoentlastung durch höhere erzielte Gutschriften im Optimierungsszenario 2020 erreicht. Die THG-Belastungen sind in den beiden verglichenen Systemen in etwa gleich hoch. Für den Haus- und Geschäftsmüll zeigt sich, dass dieser nach der Entnahme der trockenen Wertstoffe geringere THG-Belastungen aus der Behandlung aufweist. Dies ist v. a. auf den geringeren fossilen C-Gehalt im verbleibenden Restmüll zurückzuführen (6,1% statt 7,8%). Umgekehrt führt die Entnahme der trockenen Wertstoffe auch zu einer Reduzierung des Heizwertes von 8,3 auf 7,4 MJ/kg, wodurch auch geringere Gutschriften aus der Restmüllbehandlung erzielt werden. In Summe halten sich die verminderten CO₂-Emissionen und die verringerten THG-Entlastungen durch Gutschrifteneinbußen in etwa die Waage.

Insgesamt kann für das gezeigte Ergebnis ausgesagt werden, dass – trotz der durch die erforderlichen Modellannahmen bestehenden Unsicherheiten – durch die gesteigerte ge-

trennte Erfassung und Verwertung von trockenen Wertstoffen durch Entnahme aus dem Haus- und Geschäftsmüll ein nennenswerter Klimaschutzbeitrag geleistet werden kann. Für die Praxis wäre hierbei sicherzustellen, dass

- die Sortierung der Wertstoffe nach dem Stand der Technik erfolgt,
- für die Behandlung des verbleibenden Restmülls keine Stützfeuerung erforderlich wird, d.h. der Heizwert weiterhin für eine selbstgängige Verbrennung ausreichend hoch bleibt,
- für die Behandlung des verbleibenden Restmülls in den MPS-Anlagen sich keine verfahrensbedingten Nachteile durch die Veränderung ergeben (z.B. durch steigenden Feuchteanteil, veränderte Sortierbarkeit).

Entsprechende Aspekte wären in Pilotprojekten zu prüfen und bilanziell neu zu bewerten, insofern die Veränderung des Haus- und Geschäftsmülls einen zusätzlichen Energieeinsatz oder veränderte Massenbilanzen bedingen würde.

4.1.2 Entnahme von Organikabfall aus Haus- und Geschäftsmüll und Umlenkung von Organikabfall aus Haushalten

Das Potenzial zur Entnahme von Organikabfall aus dem Haus- und Geschäftsmüll ist in der Potenzialanalyse zu Bioabfall (BIOGUT) beschrieben. Die im Weiteren abgeleiteten Mengen zur Umlenkung von Organikabfall aus Haushalten – aus der Laubsacksammlung und aus der Eigenkompostierung – sind in den jeweiligen Kapiteln zu den Abfallarten ebenfalls in der Potenzialanalyse beschrieben.

Aus der Potenzialanalyse ergibt sich insgesamt eine Menge von **72.082 Mg Organikabfall**, für die im Optimierungsszenario angenommen wird, dass sie künftig aus dem Haus- und Geschäftsmüll entnommen, getrennt erfasst und in TA Luft-konformen Anlagen verwertet wird. Im Optimierungsszenario werden zudem anteilige Mengen aus der **Laubsacksammlung (11.365 Mg)** und aus der **Eigenkompostierung (36.936 Mg)** betrachtet, für die angenommen wird, dass sie mit der Ausweitung der getrennten Erfassung über die Biotonne mit erfasst werden.

Zudem betrachtet wird die Menge von **58.155 Mg BIOGUT**, die bereits im Jahr 2010 getrennt erfasst und verwertet wurde. Für diese wurde in der Potenzialanalyse (Kap. 3.18.2) eine Betrachtung durchgeführt, nach der die gesamte Menge in der im Bau befindlichen BSR-Vergärungsanlage verwertet wird, mit einer weitergehenden Optimierung der Gärrestbehandlung.

Abbildung 4-4 zeigt schematisch die Umlenkung und Zusammenführung der Organikabfälle. Ebenfalls dargestellt ist die sich ergebende Veränderung des Haus- und Geschäftsmülls durch die Entnahme der Organikabfälle.

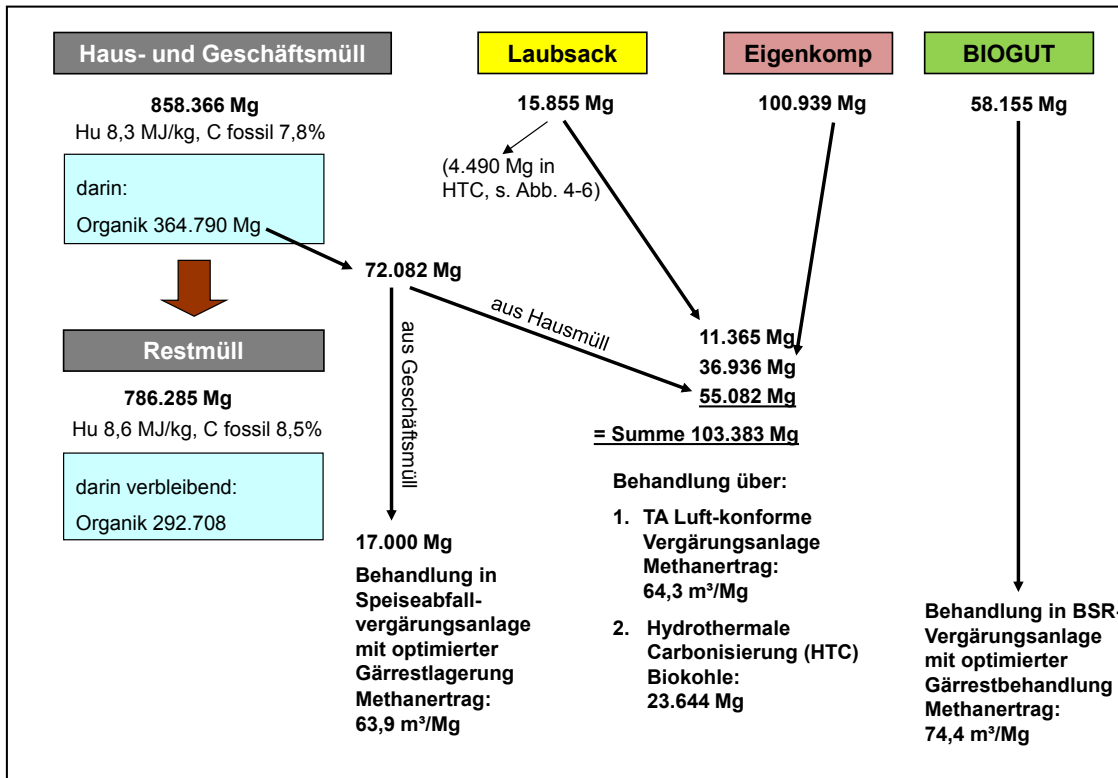


Abbildung 4-4 Schematische Darstellung Entnahme Organikabfall aus Haus- und Geschäftsmüll und Umlenkung Organik aus Haushalten

Die Gesamtmenge von 72.082 Mg entnommene Organikabfälle unterteilt sich in **17.000 Mg Speisereste** aus dem Geschäftsmüll (s. Potenzialanalyse Speisereste) und **55.082 Mg Bioabfall aus dem Hausmüll**, für den angenommen wird, dass er aus der Grauen Tonne in die Bioabfalltonne verlagert werden kann.

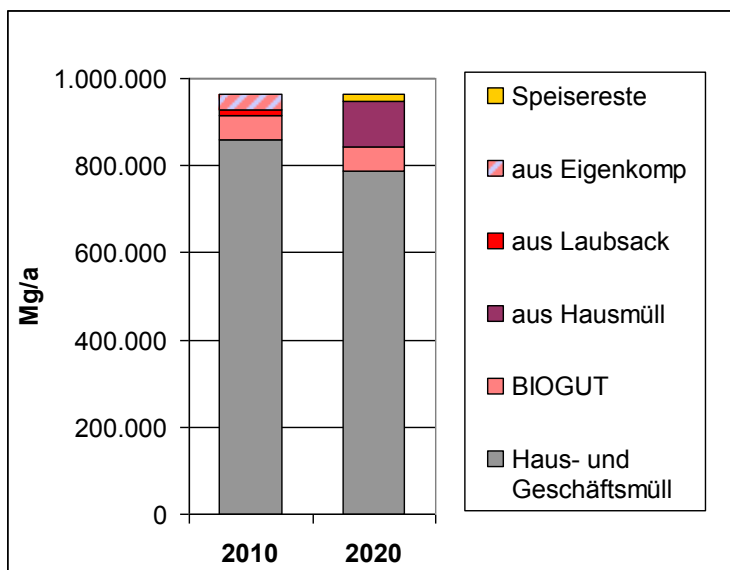


Abbildung 4-5 Abfallmengen Systemvergleich „Organikabfälle“ 2010 zu 2020

Die insgesamt für den Systemvergleich „Ist-Situation 2010“ und „gesteigerte Entnahme Organikabfälle sowie Umlenkung Organikabfälle 2020“ betrachteten Mengen sind in Abbildung 4-5 grafisch dargestellt. Entscheidend für den Systemvergleich ist, dass die gesamte Abfallmenge in beiden betrachteten Systemen gleich sein muss (vgl. Kap. 1.3). Aus der Abbildung wird aber auch deutlich, dass die Gesamtmenge v. a. durch Haus- und Geschäftsmüll geprägt wird – sowohl vor wie auch nach der Entnahme der trockenen Wertstoffe.

Zur Bewertung der hier betrachteten Abfallmengen wurde analog der in der Bestandsaufnahme beschriebenen Systematik vorgegangen. Die Ergebnisse für die Ist-Situation 2010 entsprechen denen in der Bestandsaufnahme für die hier betrachteten Abfallarten.

Für das Optimierungsszenario 2020 wurden Optimierungen, die in der Potenzialanalyse aufgezeigt wurden, berücksichtigt. Für die aus dem Geschäftsmüll entnommene Speiserestmenge wurde eine künftige Vergärung angenommen. Als Optimierung für die entsprechende Speiseabfallvergärung wurde von einer gasdichten Lagerung der anfallenden Gärreste ausgegangen (s. Potenzialanalyse).

Die im Jahr 2020 getrennt erfasste Menge an Bioabfall (BIOGUT) wird auch im Optimierungsszenario weiterhin getrennt betrachtet mit der o.g. Annahme, dass die gesamte Menge in einer hinsichtlich der Gärrestbehandlung optimierten BSR-Vergärungsanlage behandelt wird.

Für die verbleibende Organikmenge von insgesamt 103.383 Mg – bestehend aus Organikabfall aus Hausmüll, aus dem Laubsack und aus der Eigenkompostierung – wird im Optimierungsszenario 2020 angenommen, dass diese Mengen in einer künftigen TA Luft-konformen Vergärungsanlage eingesetzt werden. Wesentliche Elemente für diese sind die Einhaltung des in der TA Luft (2002) für eine Abfallbehandlung geforderten TOC-Emissionswertes von 50 mg/m^3 und dass keine Aufbereitung zu Biomethan erfolgt, sondern eine Direktnutzung im BHKW. Alternativ zu dieser Vergärung wird eine Behandlung der Menge nach dem Verfahren der Hydrothermalen Karbonisierung (HTC-Verfahren) betrachtet. Genauere Erläuterungen zu den betrachteten emissionsarmen Anlagenkonzepten (Vergärung, HTC) finden sich in Kapitel 3.18.2.

Für die Vergärung des Organikgemischs wurde berücksichtigt, dass dieses gegenüber der 2010 getrennt erfassten BIOGUT-Menge stärker durch Mengen aus dem Laubsack und der Eigenkompostierung geprägt ist und sich mit den darin überwiegend enthaltenen Gartenabfällen der Biogasenertrag vermindert. Gegenüber dem im Jahr 2010 getrennt erfassten BIOGUT erzielt das Organikgemisch einen um knapp 9% niedrigeren Methanertrag (Abbildung 4-4).

Die Behandlung der nach Entnahme der Organikabfälle verbleibenden Menge an Haus- und Geschäftsmüll erfolgt wie in der Potenzialanalyse ausschließlich über die MPS-Anlagen und das MHKW Ruhleben mit dem effizienteren Kessel A. Der Verteilungssplit auf die drei Behandlungsanlagen ist für die verbleibende Restmüllmenge von 786.285 Mg nahezu identisch mit dem für das Szenario „Entnahme trockene Wertstoffe“ ermittelten Split und ergibt sich gerundet analog zu 65% MHKW, 24% MPS Pankow und 11% MPS Reinickendorf. Trotzdem verändert sich hier das spezifische Ergebnis der THG-Bilanz für die Restmüllbehandlung aufgrund der veränderten Abfalleigenschaften.

Mit dem gegenüber dem Optimierungsszenario „Entnahme trockene Wertstoffe“ höheren fossilen C-Gehalt und höherem Heizwert erzielt die Behandlung über die MPS-Anlagen ein besseres Ergebnis als bei einem niedrigeren Heizwert (trotz analog niedrigerem fossilen C-Gehalt). Dieses Phänomen ist anschaulich bei den Ergebnissen für überlassungspflichtige hausmüllähnliche Gewerbeabfälle beschrieben (Kap. 2.7.1). Aufgrund des mit den gegebenen Kenndaten besseren Abschneidens⁵⁴ der Behandlung über die MPS-Anlagen, ergibt sich das spezifische Ergebnis für die Restmüllbehandlung hier zu -282 kg CO₂-Äq/Mg und damit um -4 kg CO₂-Äq besser als im Optimierungsszenario „Entnahme trockene Wertstoffe“.

Für die grafische Darstellung des Ergebnisses wurde für die Behandlung des Organikgemischs die Verfahrensvariante der TA Luft-konformen Vergärungsanlage gewählt. Das Ergebnis der THG-Bilanz für den Systemvergleich zeigt Abbildung 4-6. Die Darstellungsweise entspricht der zu Abbildung 4-5 erläuterten.

Aus dem Systemvergleich zeigt sich, dass im Optimierungsszenario 2020 zur gesteigerten getrennten Erfassung von Organikabfällen aus dem Haus- und Geschäftsmüll und der Umlenkung von Organikabfall aus Haushalten bei Behandlung des zusätzlichen Organikabfalls in einer TA Luft-konformen Vergärungsanlage eine um -17.930 Mg CO₂-Äq höhere Nettoentlastung erreicht werden kann.

In diesem Wert enthalten ist der THG-Minderungsbeitrag, der sich aus der für das Jahr 2020 angenommenen Behandlung von Bioabfall (BIOGUT) in einer optimierten Behandlung über die BSR-Vergärungsanlage ergibt. Dieser beläuft sich auf eine um -8.611 Mg CO₂-Äq gegenüber 2010 höhere Nettoentlastung, so dass für die **Umlenkung der 103.383 Mg Organikabfall** ein THG-Minderungsbeitrag in Höhe von **-9.319 Mg CO₂-Äq** verbleibt.

Im Wesentlichen wird die höhere Nettoentlastung wie beim Optimierungsszenario zu trockenen Wertstoffen durch höhere erzielte Gutschriften im Optimierungsszenario 2020 erreicht. Die gesamten THG-Belastungen unterscheiden sich auch hier in den beiden verglichenen Systemen wenig. Im Gegensatz zum Optimierungsszenario für trockene Wertstoffe zeigen sich hier nur geringe Veränderungen für Haus- und Geschäftsmüll. Dies erklärt sich v. a. durch die analog geringe Veränderung der Abfalleigenschaften des verbleibenden Restmülls. Heizwert und fossiler C-Gehalt sind nur etwas höher als im ursprünglichen Haus- und Geschäftsmüll (s. Abbildung 4-4).

Die anteiligen Beiträge zum Ergebnis durch die Behandlung der Organikabfälle sind gering gegenüber der Restmüllbehandlung. In der Bestandsaufnahme 2010 sind die Beiträge kaum sichtbar, da auch die Einzelergebnisse für die Abfallarten BIOGUT, organische Abfälle aus dem Laubsack und aus der Eigenkompostierung geringe THG-Belastungen ergaben. Im Optimierungsszenario 2020 werden die Beiträge durch die BIOGUT-Vergärung in der BSR-Vergärungsanlage mit optimierter Gärrestbehandlung und die Vergärung der zusätzlich getrennt erfassten Organikabfälle in einer TA Luft-konformen Ver-

⁵⁴ Ein höherer fossiler C-Gehalt steht in den THG-Wirkungen in keinem linearen Verhältnis zu den unterschiedlichen Gutschriften für Strom und Wärme gegenüber der Substitution von Kohle (Primärenergie). Mit den gegebenen Kenndaten wirkt sich der höhere fossile C-Gehalt günstig für die Behandlung über MPS-Anlagen aus.

gärungsanlage deutlicher. Der Beitrag durch die Umlenkung und künftige Vergärung der Speisereste ist gering aufgrund der geringen betrachteten Menge.

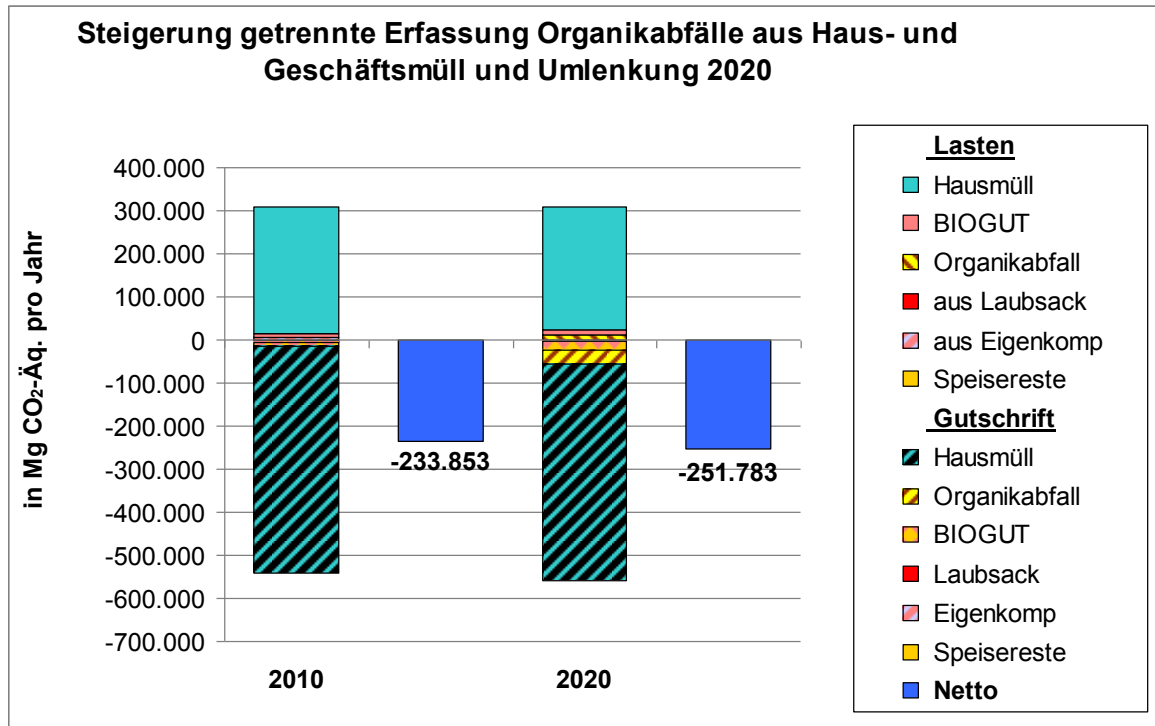


Abbildung 4-6 THG-Ergebnis Optimierungsszenario 2020 zur Steigerung getrennte Erfassung und Umlenkung Organikabfälle

Werden die zusätzlich getrennt erfassten Organikabfälle alternativ zur Behandlung in einer TA Luft-konformen Vergärungsanlage nach dem HTC-Verfahren behandelt, ergibt sich ein höherer gesamter THG-Minderungsbeitrag von -23.167 Mg CO₂-Äq/a (Differenz -5.237 Mg CO₂-Äq/a). Hier zeigt sich, dass insbesondere die Behandlung von Gartenabfällen über das HTC-Verfahren vorteilhaft ist, aufgrund des vergleichsweise geringen Gasertrages bei der Vergärung. Abzüglich des THG-Minderungsbeitrages der optimierten BIOGUT-Vergärung verbleibt für die für die Umlenkung der 103.383 Mg Organikabfall ein THG-Minderungsbeitrag in Höhe von -14.556 Mg CO₂-Äq.

Für die Umsetzung des Optimierungsszenarios in Berlin wird es als sinnvoll erachtet, die zusätzlich aus dem Hausmüll entnommene Menge an Organikabfall von 103.383 Mg auf zwei neu zu errichtende Behandlungsanlagen zu verteilen, die auch andere Abfallmengen aufnehmen können. Dadurch werden eine Diversifizierung der Abfalleigenschaften erreicht sowie eine Entkopplung vom jahreszeitlichen Anfall von Abfallmengen und eine gleichmäßigere Auslastung der Anlagen.

In Kapitel 5.4 werden die entsprechenden Anlagenkonzepte erläutert. Danach ist für die Menge an zusätzlich getrennt erfasstem Organikabfall folgende Aufteilung vorgesehen:

- 70.805 Mg werden über eine TA Luft-konforme Vergärungsanlage behandelt,
- 32.578 Mg über eine HTC-Anlage.

Für diese Anlagenkonzeption würde sich gegenüber der IST-Situation ein THG-Minderungsbeitrag in Höhe von **-19.581 Mg CO₂-Äq/a** ergeben, der sich zu **-8.611 Mg CO₂-Äq/a auf die optimierte BIOGUT-Vergärung** und zu **-10.970 Mg CO₂-Äq/a auf die Umlenkung der 103.383 Mg Organikabfall** auf die beiden TA Luft-konformen Anlagen verteilt.

Insgesamt kann für das gezeigte Ergebnis ausgesagt werden, dass – trotz der durch die erforderlichen Modellannahmen bestehenden Unsicherheiten – durch die gesteigerte getrennte Erfassung und Verwertung von Organikabfällen durch Entnahme aus dem Haus- und Geschäftsmüll und durch die Umlenkung von Organikabfällen aus Haushalten ein nennenswerter Klimaschutzbeitrag geleistet werden kann. Für die Praxis wäre hierbei sicherzustellen, dass

- bei der künftigen Vergärung der bereits getrennt erfassten Bioabfallmenge die Gärrestbehandlung optimiert wird,
- die zusätzlich getrennt erfassten Organikabfälle in entsprechenden noch zu errichtenden optimierten TA Luft-konformen Anlagen behandelt werden (Vergärung, HTC) und die Speisereste in hinsichtlich der Gärrestlagerung optimierten Anlagen,
- das Organikabfallgemisch tatsächlich die erforderlichen Abfalleigenschaften aufweist (v. a. Vergärungseignung, Methanertrag),
- der verbleibende Restmüll in seinen Abfalleigenschaften nicht nachteilig verändert wird, so dass dessen Behandlung in MPS und MHKW keine verfahrensbedingten Nachteile erfährt.

Entsprechende Aspekte wären in Pilotprojekten zu prüfen und bilanziell neu zu bewerten, insofern die Veränderung des Haus- und Geschäftsmülls einen zusätzlichen Energieeinsatz oder veränderte Massenbilanzen bedingen würde und für den Fall, dass das Organikabfallgemisch von den hier getroffenen Annahmen abweicht (v. a. Methanertrag).

4.1.3 Zusammenfassung: Entnahme trockene Wertstoffe und Organikabfall

Werden die zuvor beschriebenen Umlenkungsmaßnahmen beide gleichermaßen durchgeführt, muss dies wiederum hinsichtlich des verbleibenden Restmülls neu bewertet werden. Die gesamt zu betrachtenden Abfallmengen in den beiden Systemen „Ist 2010“ und „Optimierung 2020“ stellen sich dann wie in Abbildung 4-7 gezeigt dar. Es gilt wie gehabt, dass die gesamt betrachtete Abfallmenge für den Vergleich gleich sein muss.

Für den verbleibenden Restmüll berechnen sich bei einer Entnahme der trockenen Wertstoffe und der Organikabfälle folgende neue Kenndaten:

Heizwert: 7,7 MJ/kg; C fossil: 6,7%

Der Verteilungssplit auf die drei Behandlungsanlagen ergibt sich nach Entnahme sowohl der trockenen Wertstoffe als auch der Organikabfälle zu 62% MHKW, 27% MPS Pankow und 12% MPS Reinickendorf. Das spezifische Ergebnis für die Restmüllbehandlung liegt mit -285 kg CO₂-Äq/Mg höher als bei den getrennten Betrachtungen für trockene Wertstoffe und Organikabfälle. Hier überlagern sich Effekte der günstig veränderten Abfalleigenschaften mit prozentual höheren Mengen, die über die MPS-Anlagen behandelt werden.

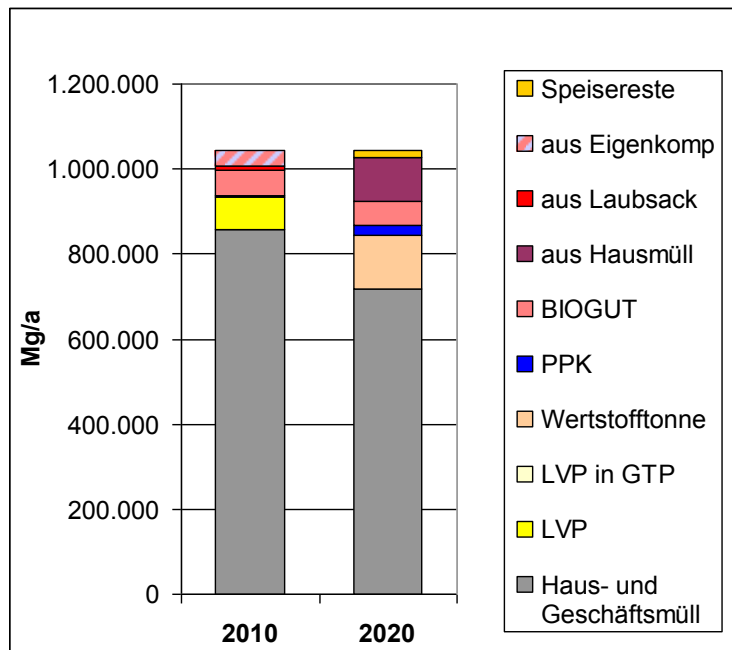


Abbildung 4-7 Abfallmengen Systemvergleich „trockene Wertstoffe und Organikabfälle“ 2010 zu 2020

Die Bilanzierung entspricht der in den beiden vorausgehenden Kapiteln beschriebenen. Für die Behandlung der zusätzlich erfassten Menge an Organikabfällen wurde wieder der Fall der Behandlung in einer TA Luft-konformen Vergärungsanlage gewählt. Das resultierende Ergebnis zeigt Abbildung 4-8. Darin ist die Behandlung von BIOGUT und der zusätzlich getrennt erfassten Menge an Organikabfällen aus Gründen der Übersichtlichkeit unter „Biotonne“ zusammengefasst und die Ergebnisse für LVP und LVP GTP unter „LVP u. StNVP“.

Aus dem Systemvergleich zeigt sich, dass im kombinierten Optimierungsszenario 2020 zur gesteigerten getrennten Erfassung von trockenen Wertstoffen und Organikabfällen aus dem Haus- und Geschäftsmüll (inkl. Umlenkung Organikabfall aus Haushalten) eine um **-41.204 Mg CO₂-Äq höhere Nettoentlastung** erreicht werden kann.

Würde die zusätzlich getrennt erfasste Organikabfallmenge statt über eine TA Luft-konforme Vergärungsanlage über das HTC-Verfahren behandelt werden, würde sich eine um **-46.441 Mg CO₂-Äq** höhere Nettoentlastung ergeben (Differenz wie bei Optimierungsszenario „Organikabfälle“).

Für die Anlagenkonzeption, nach der 70.805 Mg der zusätzlich über die Biotonne erfassten Organikabfallmenge über eine TA Luft-konforme Vergärungsanlage behandelt werden und 32.578 Mg über eine HTC-Anlage, würde sich gegenüber der IST-Situation ein THG-Minderungsbeitrag in Höhe von **-42.854 Mg CO₂-Äq/a** ergeben. Dieser Wert wird in der abschließenden Darstellung des Gesamtergebnisses verwendet, unter Berücksichtigung, dass darin der anteilige THG-Minderungsbeitrag enthalten ist, der sich durch die angenommene künftige Behandlung des BIOGUTs in einer hinsichtlich der Gärrestbehandlung optimierten BSR-Vergärungsanlage ergibt (-8.611 Mg CO₂-Äq/a).

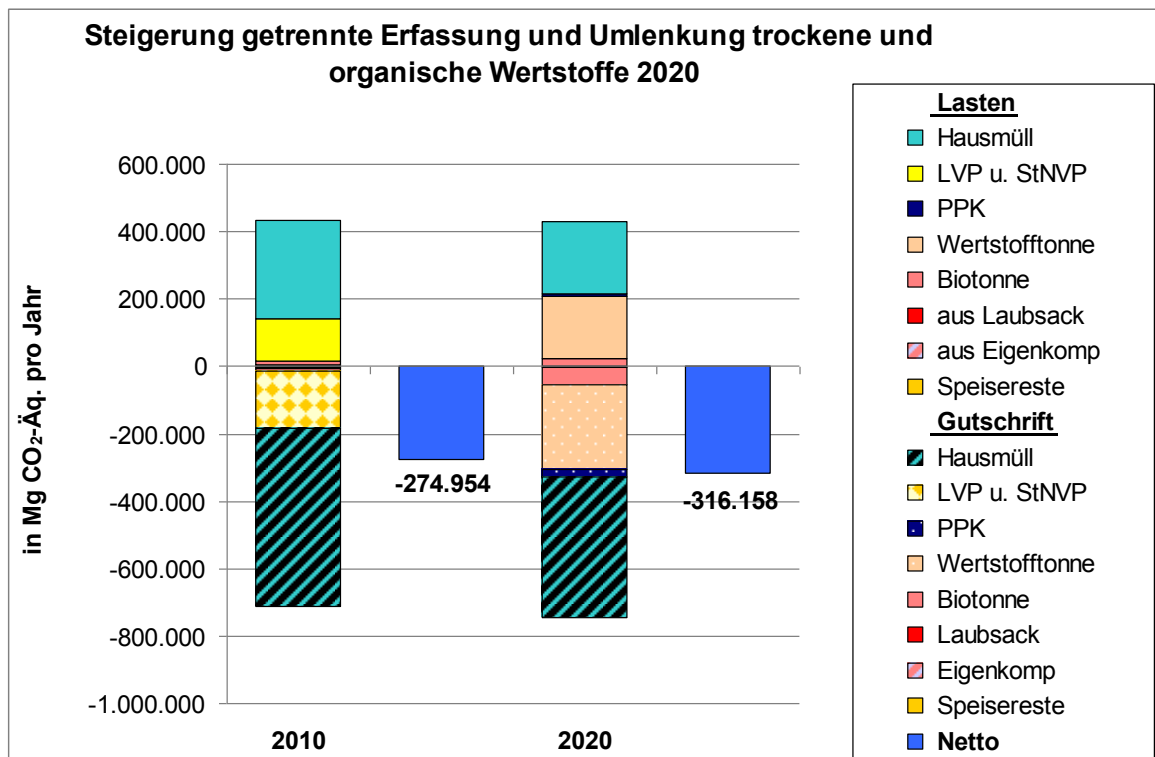


Abbildung 4-8 THG-Ergebnis Optimierungsszenario 2020 Steigerung getrennte Erfassung trockene Wertstoffe, Organikabfälle und Umlenkung Organikabfälle

Grundsätzlich gilt wie in den vorangehenden Kapiteln beschrieben, dass die Ergebnisse – trotz der durch die erforderlichen Modellannahmen bestehenden Unsicherheiten – als richtungssicher anzusehen sind. Durch die getrennte gesteigerte Erfassung und Verwertung von Wertstoffen durch Entnahme aus dem Haus- und Geschäftsmüll kann ein nennenswerter Klimaschutzbeitrag geleistet werden.

Grundsätzlich gelten aber auch die in den vorangegangenen Kapiteln genannten Voraussetzungen, die es zu erfüllen bzw. zu prüfen gilt.

4.2 Entnahme von E-Schrott aus Haus- und Geschäftsmüll

Die Entnahme von E-Schrott aus dem Haus- und Geschäftsmüll ist eine weitere Möglichkeit zur Optimierung der Abfallwirtschaft in Berlin. In der Potenzialanalyse wurde gezeigt, dass nach (ARGUS 2009b) rund 4.400 Mg an E-Schrott über Haus- und Geschäftsmüll entsorgt werden. Für das Optimierungsszenario wird in dieser Studie angenommen, dass durch entsprechende Maßnahmen – die Einrichtung eines Holsystems bei Großwohnanlagen und die Miterfassung über Sperrmüll – bis zum Jahr 2020 insgesamt 2.000 Mg Haushaltskleingeräte zusätzlich getrennt erfasst und verwertet werden können.

Die Bilanzierung dieser Optimierung erfordert eine gesamtsystematische Betrachtung, da zum einen mehrere Abfallarten betroffen sind und zum anderen auch hier gilt, dass die Entnahme von Abfallfraktionen aus dem Haus- und Geschäftsmüll eine Veränderung des verbleibenden Restmülls bedeutet. Für die hier betrachtete aus dem Haus- und Geschäftsmüll entnommene Menge an E-Schrott von 2.000 Mg ist allerdings mit keiner nen-

nenswerten Veränderung des Restmülls zu rechnen. Insofern wird dieser Aspekt hier vernachlässigt.

In der Optimierung betrachtet wird die im Jahr 2010 getrennt erfasste Menge an E-Schrott sowie die 2.000 Mg, die im Jahr 2020 zusätzlich getrennt erfasst werden sollen. Es gilt – wie generell – dass für Systemvergleiche die gleiche Abfallmenge betrachtet werden muss. Diese ist in Abbildung 4-9 dargestellt.

Zur Bewertung der hier betrachteten Abfallmengen wurde analog zu der in der Bestandsaufnahme beschriebenen Systematik vorgegangen. Die Ergebnisse für die Ist-Situation 2010 entsprechen denen in der Bestandsaufnahme für die hier betrachteten Abfallarten. Für die E-Schrottmenge von 2.000 Mg im Restmüll bedeutet dies, dass diese für das Szenario 2010 mit den Kenndaten für Haus- und Geschäftsmüll bewertet wird. Diese Vereinfachung wurde aus Aufwandsgründen vorgenommen.

Für das Optimierungsszenario 2020 bestehen keine Veränderungen für die bereits im Jahr 2010 getrennt erfasste Menge an E-Schrott, für deren Verwertung wurde kein Optimierungspotenzial gesehen. Die im Optimierungsszenario 2020 zusätzlich getrennt erfasste Menge an Haushaltskleingeräten von 2.000 Mg wurde mit dem Emissionsfaktor für Braune Ware bewertet (s. Bestandsaufnahme). Auch dies stellt eine Vereinfachung dar. Genauere Aussagen und Analysen sind im Rahmen dieser Studie nicht möglich.

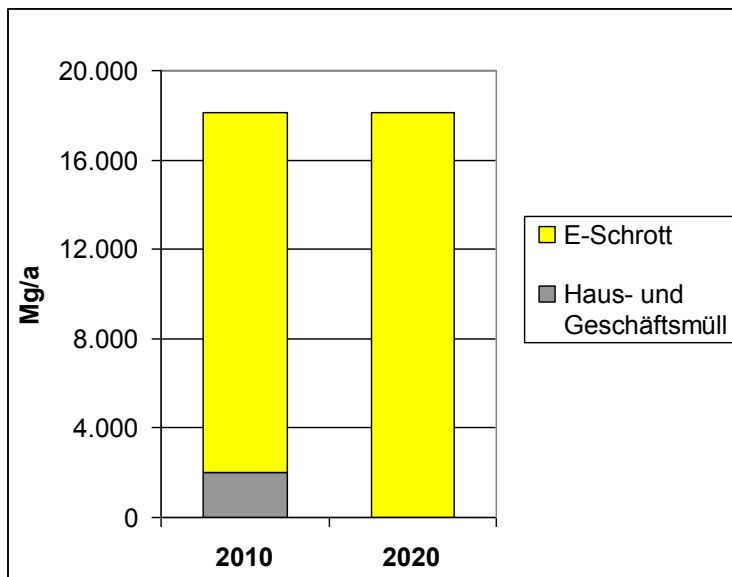


Abbildung 4-9 Abfallmengen Systemvergleich „E-Schrott“ 2010 zu 2020

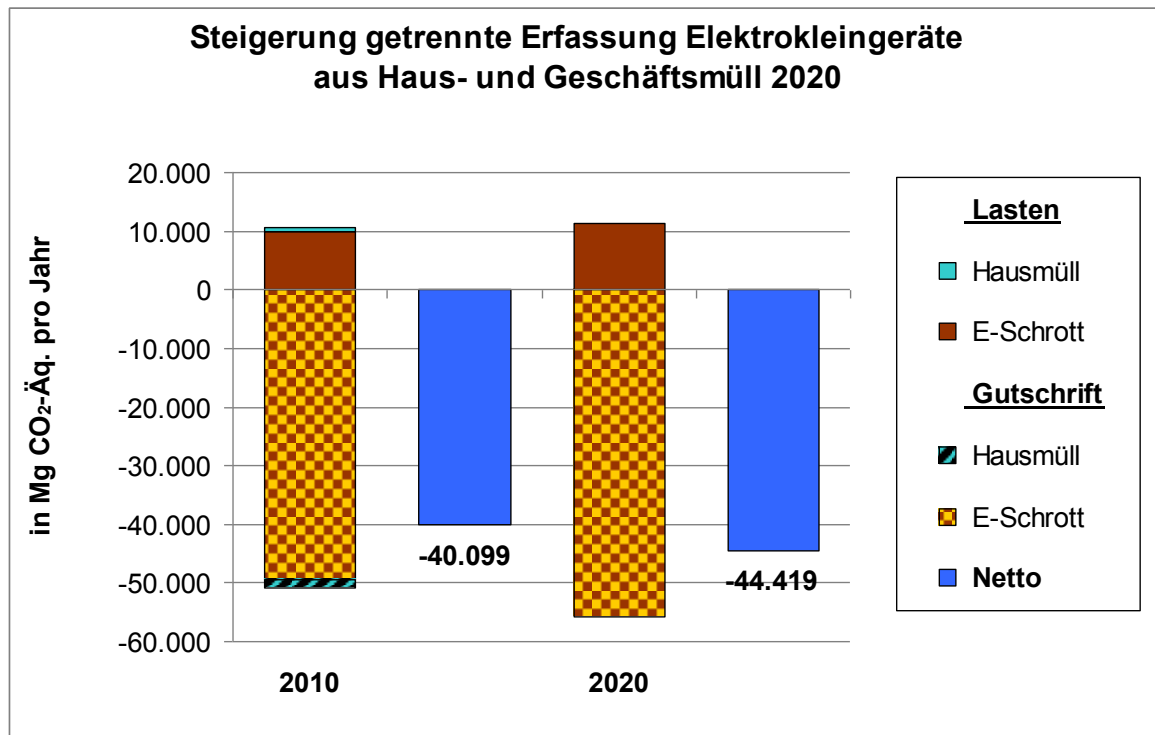


Abbildung 4-10 THG-Ergebnis Optimierungsszenario 2020 Steigerung getrennte Erfassung Haushaltskleingeräte

Im Ergebnis des Systemvergleichs zeigt sich im Optimierungsszenario 2020 eine höhere THG-Nettoentlastung gegenüber der Ist-Situation. Durch die gesteigerte Entnahme von Elektrokleingeräten aus dem Haus- und Geschäftsmüll kann eine um **-4.320 Mg CO₂-Äq** **höhere Nettoentlastung** erreicht werden. Dieses Ergebnis steht unter dem Vorbehalt der getroffenen Annahmen und Vereinfachungen. Jedoch kann insgesamt ausgesagt werden, dass durch eine gesteigerte getrennte Erfassung von E-Schrott ein nennenswerter Klimaschutzbeitrag geleistet werden kann.

4.3 Umlenkung von überlassungspflichtigen Gewerbeabfällen zur gemeinsamen Entsorgung mit nicht überlassungspflichtigen Gewerbeabfällen

Gewisse THG-Optimierungen für überlassungspflichtige hausmüllähnliche Gewerbeabfälle (HMG) bestehen grundsätzlich darin, die in 2010 über die MBA und die MA entsorgten Mengen zur Behandlung in das MHKW umzulenken. Aufgrund des Verwertungsgebotes wird in der Tendenz jedoch davon ausgegangen, dass diese Abfälle zunehmend außerhalb der Überlassungspflicht verwertet werden. Daher werden für die Verwertung dieser Abfälle die Auswirkungen untersucht, die sich ergeben, wenn überlassungspflichtige HMG im Jahr 2020 gemeinsam mit den nicht überlassungspflichtigen Gewerbeabfällen hochwertig verwertet werden.

Für ein konsistentes Vorgehen wird diese Umlenkungsmaßnahme hier in einem Optimierungsszenario untersucht, da hier zwei – ursprünglich verschiedene – Abfallarten betroffen sind. Für das Optimierungsszenario wird jedoch davon ausgegangen, dass die Abfall-

zusammensetzung der HMG der Abfallzusammensetzung der nicht überlassungspflichtigen Gewerbeabfälle entspricht. Für den Ergebnisvergleich wird entsprechend für die überlassungspflichtigen HMG das Ergebnis aus der Sensitivitätsbetrachtung mit gleicher Abfallzusammensetzung (s. Bestandsaufnahme) herangezogen, um einen zulässigen Systemvergleich zu gewährleisten.

Für den Systemvergleich „Ist-Situation 2010“ und „Umlenkung überlassungspflichtige HMG zur hochwertigen Verwertung mit nicht überlassungspflichtigen Gewerbeabfällen 2020“ wird hier ausschließlich die Abfallmenge betrachtet, die im Jahr 2010 als überlassungspflichtige HMG entsorgt wurde. So kann das Ergebnis unmittelbar zu den Ergebnissen der Potenzialanalyse zuaddiert werden, ohne dass eine Doppelzählung gegeben ist. Die betrachtete, für beide Szenarien notwendigerweise gleiche Abfallmenge (vgl. Kap. 1.3) von 23.096 Mg zeigt Abbildung 4-11.

Zur Bewertung wurde, wie erwähnt, für das Jahr 2010 das Ergebnis der Sensitivitätsanalyse für die Entsorgung der überlassungspflichtigen HMG herangezogen, bei dem angenommen wurde, dass die überlassungspflichtigen HMG die gleiche Abfallzusammensetzung aufweisen wie nicht überlassungspflichtige gemischte gewerbliche Siedlungsabfälle (Tabelle 2-6). Das spezifische Ergebnis daraus belief sich im gewichteten Mittel über alle Behandlungsverfahren auf $-321 \text{ kg CO}_2\text{-Äq/Mg}$ Abfall und unterschied sich nur wenig von dem eigentlichen Ergebnis der Bestandsaufnahme von $-319 \text{ kg CO}_2\text{-Äq/Mg}$.

Für das Optimierungsszenario 2020 wurde aufgrund der gleichen Stoffcharakteristika das Ergebnis verwendet, das für derartige nicht überlassungspflichtige Gewerbeabfälle (inklusive gemischte Bau- und Abbruchabfälle) in der Potenzialanalyse ermittelt wurde. Das entsprechende spezifische Ergebnis von $-401 \text{ kg CO}_2\text{-Äq/Mg}$ lag um $-161 \text{ kg CO}_2\text{-Äq/Mg}$ besser als in der Bestandsaufnahme für das Jahr 2010.

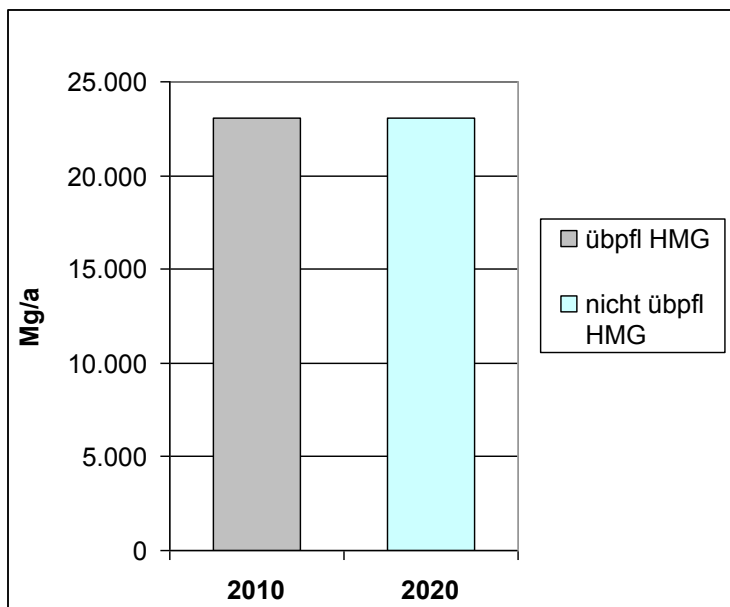


Abbildung 4-11 Abfallmengen Systemvergleich Umlenkung überlassungspflichtiger HMG zur gemeinsamen Verwertung mit nicht überlassungspflichtigen Gewerbeabfällen 2020

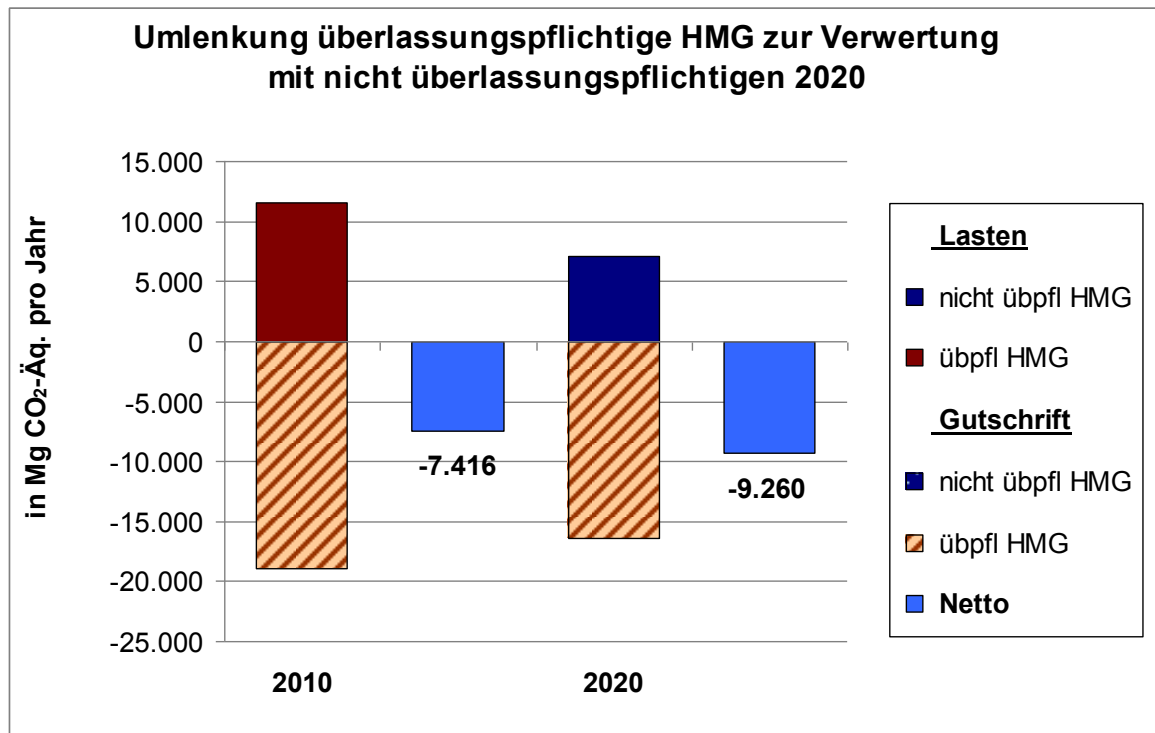


Abbildung 4-12 THG-Ergebnis Optimierungsszenario 2020 Umlenkung überlassungspflichtige HMG zur Verwertung mit nicht überlassungspflichtigen Gewerbeabfällen

Im Ergebnis des Systemvergleichs zeigt sich im Optimierungsszenario 2020 eine höhere THG-Nettoentlastung gegenüber der Ist-Situation. Durch die Umlenkungsmaßnahme, verbunden mit einer hochwertigen Verwertung, kann eine um **-1.845 Mg CO₂-Äq höhere Nettoentlastung** erreicht werden. Dieses Ergebnis steht unter dem Vorbehalt der getroffenen Annahmen (v. a. gleiche Abfallzusammensetzung). Jedoch kann aufgrund des geringen Ergebnisunterschiedes in der Bestandsaufnahme (Basis und Sensitivitätsanalyse Abfallzusammensetzung) die Aussage getroffen werden, dass durch eine entsprechende Umlenkung ein relevanter Klimaschutzbeitrag geleistet werden kann.

4.4 Umlenkung von Organikabfällen

Die Lenkung von weiteren Organikabfällen betrifft insbesondere Laub/Straßenlaub, Straßenbegleitgrün, Mähgut und die verbliebene Menge an Organikabfall im Sammelsystem Laubsack (4.490 Mg), die nicht mit der Ausweitung der Biotonne im BIOGUT erfasst wird. Für diese Mengen wurden in der Potenzialanalyse entweder eine Mitbehandlung über eine TA Luft-konforme Vergärung und/oder das HTC-Verfahren betrachtet. Für Laub-/Straßenlaub wurde zudem die anteilige Behandlung über MPS, MBS und MA untersucht.

Abbildung 4-13 gibt einen Überblick über die abschließend für die Gesamtbilanz ausgewählten Verfahren bzw. Anlagenkonstellationen. Die jeweiligen THG-Entlastungseffekte wurden in der Potenzialanalyse abschließend dargestellt, da die THG-Bilanz jeweils nach Abfallart durchgeführt werden konnte (keine Veränderung der Abfallmengen oder -qualität nach Abfallart).

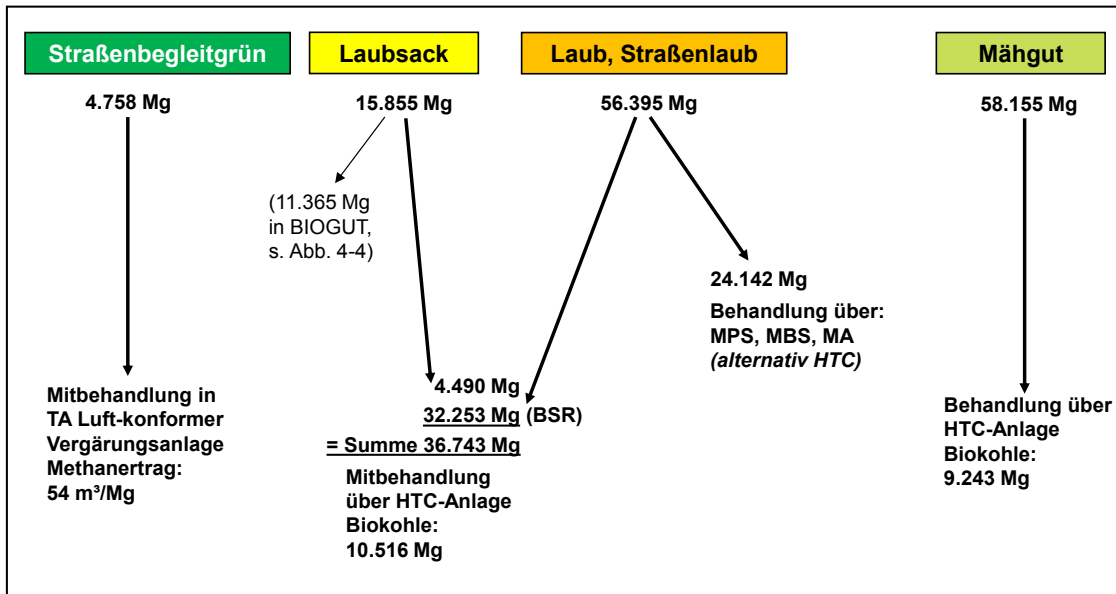


Abbildung 4-13 Überblick Verbleib Organikabfälle im Jahr 2020

In Kapitel 5.4 finden sich weitere Ausführungen zu möglichen Anlagenkonstellation:

- Behandlung Straßenbegleitgrün mit BIOGUT in einer TA Luft-konformen Vergärungsanlage.
- Restliche Menge aus dem Sammelsystem Laubsack (4.490 Mg) über eine HTC-Anlage gemeinsam mit getrennt gesammeltem Laub, Straßenlaub im Regime der BSR (32.253 Mg) und einer anteiligen Menge an BIOGUT (32.578 Mg).
- Restliches Laub, Straßenlaub, v. a. von Bezirksämtern und Wohnungsbauunternehmen (24.142 Mg), im Basisfall Mitbehandlung über MPS, MBS und MA; alternativ auch gemeinsame Behandlung in HTC-Anlage mit Mähgut (58.155 Mg).

4.5 Zusammenfassung Ergebnisse der Optimierungsszenarien

In den Optimierungsszenarien wurden die Auswirkungen auf den Treibhauseffekt untersucht, die sich durch eine gesteigerte getrennte Erfassung von Wertstoffen durch Entnahme aus dem Haus- und Geschäftsmüll ergeben. Zusätzlich betrachtet wurde die Umlenkung bzw. Zusammenführung von Abfallarten für eine künftige gemeinsame Entsorgung.

Für die Entnahme von Wertstoffen aus dem Haus- und Geschäftsmüll ist eine gesamtsystematische Betrachtung erforderlich, da dadurch die Eigenschaften des verbleibenden Restmülls verändert werden und folglich auch das entsprechende Ergebnis in der THG-Bilanz. Die in Tabelle 4-1 aufgeführten Entlastungseffekte haben deswegen auch nur für die jeweilige Gesamtmaßnahme Gültigkeit und lassen sich nicht nach Abfallarten auftrennen. Dies ist auch der Grund, warum die betrachteten Einzelmaßnahmen – die getrennte gesteigerte Erfassung von trockenen Wertstoffen und die getrennte gesteigerte Erfassung von organischen Abfällen durch Entnahme aus dem Haus- und Geschäftsmüll – nicht addiert werden können, sondern in einem eigenen gemeinsamen Optimierungsszenario zu untersuchen waren.

Jeweils für sich genommen zeigen die beiden Einzelmaßnahmen einen relevanten THG-Minderungsbeitrag in Höhe von -25.189 Mg CO₂-Äq für die Steigerung der Erfassung der trockenen Wertstoffe und von -19.581 Mg CO₂-Äq für die Steigerung der Erfassung von Organikabfällen aus Haushalten. Letzteres gilt inklusive der gemeinsamen Behandlung mit bislang eigenkompostierten Mengen sowie kompostierten Laubsackinhalten und der angenommenen künftigen Bioabfallbehandlung. Der Beitrag der künftigen Behandlung von Bioabfall (BIOGUT) über die BSR-Vergärungsanlage mit optimierter Gärrestbehandlung kann separat ausgewiesen werden, da die Abfallart gegenüber der Bestandsaufnahme unverändert in Art und Menge betrachtet werden konnte. Der THG-Minderungsbeitrag aus der Potenzialanalyse für Bioabfall (BIOGUT) ergab sich zu -8.611 Mg CO₂-Äq.

Der genannte gesamte THG-Minderungsbeitrag bezieht sich auf die Annahme, dass die künftig zusätzlich über die Biotonne erfasste Menge von 103.383 Mg über TA Luftkonforme Behandlungsanlagen in der Aufteilung 70.805 Mg über Vergärung und 32.578 Mg über HTC verwertet wird. Hintergründe zu dieser Aufteilung sind in Kapitel 5.4 beschrieben.

Tabelle 4-1 Ergebniszusammenstellung Optimierungsszenarien 2020

Optimierungsszenario	Menge zur optimierten Verwertung	Einsparung Mg CO ₂ -Äq netto gegen IST
	Mg/a	pro Jahr
Steigerung getrennte Erfassung trockene Wertstoffe aus Hausmüll	PPK: 22.894 LVP + StNVP: 46.500	-25.189
Steigerung getrennte Erfassung Organik aus Haushalten plus optimierte Verwertung BIOGUT	aus Hausmüll: 55.082 aus Geschäftsmüll: 17.000 aus Eigenkomp: 36.936 aus Laubsacksammlung: 11.365 BIOGUT 58.155	-17.930 Verg. bzw. -23.167 bei HTC bzw. -19.581 bei Mix
Die ausgewiesenen Mengen sind nicht additiv => Ergebnis für kombinierte Steigerung separat:		
Steigerung getrennte Erfassung trockene Wertstoffe und Organik aus Hausmüll und optimierte Verwertung BIOGUT	Mengen wie oben	-41.204 Verg. bzw. -46.441 bei HTC bzw. -42.854 bei Mix
Steigerung getrennte Erfassung Haushaltskleingeräte aus Hausmüll	aus Hausmüll: 2.000	-4.320
Umlenkung überlassungspflichtige HMG zur Verwertung mit nicht überlassungspflichtigen	23.096	-1.845
Summe		-49.019

Wird sowohl eine gesteigerte getrennte Erfassung von trockenen Wertstoffen als auch von Organikabfall umgesetzt, ergibt sich der in Tabelle 4-1 ausgewiesene signifikante THG-Minderungsbeitrag in Höhe von -42.854 Mg CO₂-Äq für das Jahr 2020.

Die weiteren in Tabelle 4-1 aufgeführten Maßnahmen, die gesteigerte getrennte Erfassung von Elektrokleingeräten und die Umlenkung der überlassungspflichtigen hausmüllähnlichen Gewerbeabfälle (HMG) zur gemeinsamen Verwertung mit nicht überlassungspflichtigen gemischten gewerblichen Siedlungsabfällen und Bau- und Abbruchabfällen, führen ebenfalls zu einem Klimaschutzbeitrag.

Die ermittelten THG-Minderungsbeiträge stehen unter dem Vorbehalt, dass die diesen zugrunde liegenden Randbedingungen umgesetzt werden und die für die Berechnung erforderlichen Modellannahmen für die Praxis zutreffend sind. Im Einzelnen sind diese Voraussetzungen und durch Modellannahmen gegebenen Unsicherheiten in den voranstehenden Kapiteln erläutert. Insgesamt sind die ermittelten Ergebnisse jedoch als richtungssicher anzusehen.

In gemeinsamer Betrachtung mit dem Ergebnis der Potenzialanalyse ergibt sich folgendes Gesamtbild für eine zukünftige klimafreundliche Abfallentsorgung in Berlin:

Die in der Potenzialanalyse ermittelte zusätzlich erreichbare THG-Minderung beläuft sich auf -210.000 Mg CO₂-Äq. Davon abzuziehen sind die -8.611 Mg CO₂-Äq für die Optimierung der Entsorgung der bestehenden getrennten Bioabfallerefassung und -entsorgung. Ebenfalls davon abzuziehen ist der Minderungsbeitrag aus der Optimierung für die Entsorgung von Haus- und Geschäftsmüll in Höhe von -2.263 Mg CO₂-Äq. Beide Beträge sind im o.g. Minderungsbeitrag des Optimierungsszenarios enthalten.

Damit ergibt sich abschließend für das Jahr 2020 ein erreichbarer zusätzlicher THG-Minderungsbeitrag in Höhe von **-248.145 Mg CO₂-Äq**.

Unter Berücksichtigung der nach der Bestandsaufnahme bereits gegebenen THG-Entlastung ergibt sich in Summe für eine weiter optimierte **klimafreundliche Abfallentsorgung in Berlin** ein THG-Entlastungsbeitrag in Höhe von **-1.148.151 Mg CO₂-Äq für das Jahr 2020**.

Voraussetzung für die Erreichung dieses THG-Entlastungsbeitrages ist, dass die klimafreundliche Abfallentsorgung im Land Berlin in den Teilen beibehalten wird, in denen sie bereits effizient und hochwertig erfolgt, wie beispielsweise bei der energetischen Verwertung von Altholz. Zudem Voraussetzung ist, dass die den Berechnungen zugrunde gelegten Modellannahmen z.B. zu Kenndaten in etwa für die Praxis zutreffen und insbesondere, dass die angenommenen optimierten Verwertungswege – wie beispielsweise eine hochwertige Sortierung von gemischten gewerblichen Siedlungsabfällen und Bau- und Abbruchabfällen oder die in einigen Fällen angenommene Mitverbrennung in Zement- und Kraftwerken – realisiert werden können.

Die einzelnen Randbedingungen für die betrachteten Optimierungen sowie für die Praxis zu prüfende Aspekte hinsichtlich der Umsetzbarkeit, wie beispielsweise die tatsächliche Abfalleignung für bestimmte Verwertungswege, werden im nachfolgenden Kapitel zu Maßnahmen aufgegriffen und erläutert. Zudem enthält der Maßnahmenkatalog Empfehlungen für die Umsetzung und zeigt mögliche Hemmnisse auf. Auch enthalten ist eine Kostenbetrachtung der Maßnahmen.

5 Maßnahmenkatalog und Kostenbetrachtung

In den Potenzialanalysen in Kapitel 3 und den Optimierungsszenarien in Kapitel 4 wurden Optimierungsmöglichkeiten für 36 Abfallarten geprüft. Insofern Potenziale bzw. Optimierungsmöglichkeiten erkennbar waren, wurde deren THG-Minderungspotenzial ermittelt. In diesen einzelnen Kapiteln finden sich bereits Hinweise zu den Voraussetzungen bzw. zu in der Praxis zu beachtenden Aspekten zur Erreichung entsprechender Klimaschutzbeiträge. Ein weiteres wesentliches Element hierfür ist die konzeptionelle Strukturierung einer Vorgehensweise, die im, in den nachfolgenden Kapiteln dargelegten, Maßnahmenkatalog beschrieben ist.

Einer allgemeinen Übersicht zu Instrumenten zur Lenkung folgen im Weiteren Kapitel zu einzelnen Abfallarten. Besonders hervorgehoben sind darunter die Abfallarten, die eine besondere Mengen- und Klimagasrelevanz aufweisen wie Haus- und Geschäftsmüll, gemischte gewerbliche Siedlungsabfälle und gemischte Bau- und Abbruchabfälle sowie bestimmte organische Abfälle. Darüber hinaus ist ein Kapitel auch den mengenrelevanten mineralischen Abfällen gewidmet, die zwar keine Klimagasrelevanz aufweisen, aber aus Gründen des Ressourcenschutzes gewürdigt wurden. In einem abschließenden Kapitel finden sich Maßnahmen für weitere Abfallarten zusammengefasst beschrieben.

Des Weiteren wird in den Kapiteln darauf hingewiesen, ob es sich bei den Abfallarten um kommunale oder nicht kommunale Abfallarten handelt. Dieser Aspekt ist für die Kommune besonders wichtig, da dadurch der Einflussbereich abgegrenzt wird. So besteht für kommunale Abfälle die Möglichkeit durch das Instrument Vergabeverfahren lenkend auf Abfallströme einzuwirken. Für nicht kommunale Abfallarten besteht diese Möglichkeit nicht, und es bedarf anderer Instrumente zur Umsetzung.

5.1 Allgemeine Instrumente zur Lenkung

Grundsätzlich lassen sich Instrumente zur Lenkung in sogenannte „harte“ und „weiche“ Maßnahmen unterscheiden. Unter „harten“ Maßnahmen werden in der Regel rechtliche Vorgaben verstanden. Bei „weichen“ Maßnahmen handelt es sich im Wesentlichen um freiwillige Selbstverpflichtungen oder andere freiwillige Maßnahmen, die keine bindende Wirkung haben. Dennoch sind beide Instrumente von hoher Bedeutung für einen Maßnahmenplan. Regulative Maßnahmen allein können leicht zu stark einschränkend wirken, und umgekehrt ist es in einer Volkswirtschaft ein Zeichen des Vertrauens und gemeinsamen Verständnisses, den Wert der freiwilligen Maßnahmen zu schätzen.

Insgesamt können folgende allgemeine Instrumente bzw. Maßnahmen zur Lenkung von Abfallströmen zur Optimierung von deren Klimaschutzbeitrag unterschieden werden:

Gesetzliche Regelungen und Vollzugsmaßnahmen:

- Novelle der Gewerbeabfallverordnung
- Zukünftiges Klimaschutzgesetz
- Novelle des Berliner Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes
- Geplantes Wertstoffgesetz
- Berliner Ausschreibungs- und Vergabegesetz

- Berliner Verwaltungsvorschrift für ein umweltverträgliches Beschaffungswesen (VwVBU)
- Festschreibungen im Berliner Abfallwirtschaftskonzept
- Festlegung von Abfalltarifen

Freiwillige Maßnahmen:

- Freiwillige Selbstverpflichtungen, z.B. Verwertungsquote
- Verwertungsallianzen zwischen Akteuren
- Klimaschutzvereinbarungen zwischen Entsorgungswirtschaft und Behörde

Förder- und Informationsmaßnahmen:

- Förderprogramme, z.B. für Modernisierung Sortiertechnik
- Innovationsallianzen zwischen Entsorgungswirtschaft und Hochschulen
- Kooperative Aktionen Entsorgungsbetriebe und Behörden im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit
- Informationsangebote für Betriebe

In den nachfolgenden Kapiteln sind diese Maßnahmen ausführlicher beschrieben, insofern sie für die Lenkung der untersuchten Abfallarten geeignet schienen.

5.2 Haus- und Geschäftsmüll (kommunaler Abfall) inkl. Entnahme von Wertstoffen

Haus- und Geschäftsmüll stellt nach den mineralischen Abfällen den mengenmäßig bedeutendsten Abfallstrom in Berlin dar. Da zudem auch eine THG-Relevanz gegeben ist, hat diese Abfallart den größten Einfluss auf das Ergebnis für eine klimafreundliche Abfallwirtschaft in Berlin. Entscheidende Stellschrauben für eine Optimierung liegen in der Entnahme weiterer Wertstoffe bzw. Organikabfallmengen aus dem Haus- und Geschäftsmüll in Verbindung mit einer hochwertigen und emissionsarmen Verwertung dieser Abfälle.

Die Maßnahmen zur Umsetzung der weiteren Entnahme sind nachfolgend getrennt für trockene Wertstoffe und für Organikabfälle geschildert, da diese beiden Abfallarten unabhängig voneinander zu erschließen und anschließend zu verwerten sind. Im Optimierungsszenario für 2020 konnte gezeigt werden, dass eine Entnahme von insgesamt rd. 141.000 Mg aus dem Haus- und Geschäftsmüll (69.394 Mg trockene Wertstoffe und 72.082 Mg Organikabfälle) bei einer optimierten Verwertung zu einer zusätzlichen Treibhausgasminderung in Höhe von rund -41.000 bis -46.000 Mg CO₂-Äq/a führen kann.

Weitere Optimierungsmaßnahmen für Haus- und Geschäftsmüll wurden in der Potenzialanalyse ermittelt.

Im Ergebnis ergehen folgende Empfehlungen:

- Die derzeit über die MBA behandelten Abfallmengen sollten künftig über das MHKW Ruhleben behandelt werden; da dort derzeit 53% des Hausmülls behandelt wird, wäre das MHKW von einer gesteigerten getrennten Erfassung von Wertstoffen am stärksten betroffen. Durch die Inbetriebnahme des neuen Kessels A be-

steht zudem eine Verbesserung des spezifischen THG-Ergebnisses für das MHKW.

- Der Entsorgungsweg über die MA kann aufgegeben werden. Durch die Umlenkung der dort behandelten Mengen in das MHKW mit neuem Kessel ergibt sich in Summe (inkl. Umlenkung Mengen über MBA) keine nachteilige Auswirkung hinsichtlich des Klimaschutzes. Grundsätzlich wird empfohlen die Verwertung organikhaltiger Abfälle über die MA zu prüfen, da diese nicht der 30. BImSchV unterliegt. Hier besteht eine Ungleichbehandlung bzw. eine „Gesetzeslücke“ zu MBA, MBS und MPS, die durch die vorgeschriebene Abluftreinigung über RTO (bei MPS in Genehmigungsaufgaben) zum Schutz vor organischen Luftschadstoffen höhere Betriebsaufwendungen haben und entsprechend höhere THG-Belastungen aufweisen. Dadurch erzielt die Nutzung nicht stabilisierter organischer Abfallanteile zur Mitverbrennung für diesen Behandlungsweg mitunter das beste spezifische THG-Ergebnis.
- Für die MPS-Anlagen werden derzeit seitens ALBA weitere Effizienzmaßnahmen untersucht; dies ist zu begrüßen. Die Möglichkeit des Einsatzes einer Mikrogasturbine zur KWK-Nutzung würde einen weiteren relevanten THG-Minderungsbeitrag ergeben.
- Generell ist es für Haus- und Geschäftsmüll, aber auch Gewerbeabfälle wünschenswert, in größerem Umfang belastbare Messdaten zu Heizwerten und fossilen Kohlenstoffgehalten der verschiedenen Stoffströme zu ermitteln. Es wird vorgeschlagen, die verschiedenen Akteure diesbezüglich für gemeinsame Aktionen zu gewinnen, um ein entsprechendes Programm aufzulegen. Vorteilhaft wäre es, u. a. eine qualitative Steigerung der Belastbarkeit von THG-Bilanzergebnissen zu erreichen.

Angemerkt sei an dieser Stelle, dass das gute Abschneiden der MPS-Anlagen und der Behandlung über MA ganz wesentlich dem Umstand geschuldet ist, dass hier Abfälle überwiegend in die Mitverbrennung zu Zement- und Kohlekraftwerken verbracht werden. Dies muss kritisch gesehen werden, da dies mit anderweitigen nachteiligen Umweltwirkungen verbunden sein kann (vgl. Kap. 1.3.2). Zur Berücksichtigung dieser Aspekte wird eine ergänzende Umweltbilanzierung im Jahr 2012/2013 durchgeführt.

5.2.1 Steigerung getrennte Erfassung trockene Wertstoffe aus Haus- und Geschäftsmüll (nicht kommunaler Abfall)

Die Steigerung der getrennten Erfassung trockener Wertstoffe aus Haus- und Geschäftsmüll kann durch folgende zwei wesentliche Maßnahmen erreicht werden:

- Die flächendeckende Einführung der einheitlichen Wertstofftonne.
- Die konsequente Nutzung von Müllschleusen bzw. Abfallmanagement in allen Großwohnanlagen sowie in größeren Blockbebauungen.

Beide Maßnahmen werden bereits im Ansatz umgesetzt. Die Wertstofftonne wird gemäß Vereinbarung des Landes Berlin mit den BSR und den Dualen Systembetreibern ab Januar 2013 zur Verfügung stehen. Aufgrund von positiven Ergebnissen aus verschiedenen Pilotprojekten haben mittlerweile die vier größten kommunalen Berliner Wohnungsbaun-

ternehmen ein umfassendes Abfallmanagement bei rund 138.000 Wohneinheiten (WE) beauftragt. Diese Entwicklung gilt es weiter zu unterstützen und auszubauen durch z.B.:

- Weitergehende Vereinbarungen zur Wertstoffverwertung im Hinblick auf eine hochwertige Sortierung nach dem Stand der Technik und Förderung regionaler Strukturen, idealerweise am Standort Berlin,
- Erstellung akteursbezogener Merkblätter, die die Vorteilhaftigkeit der Maßnahmen unterstreichen und bewerben (z.B. auch Kosteneinsparung durch Müllschleusen),
- begleitende Informationen der Bürger zur Wertstofftonne über den bestehenden Internetauftritt zur klimafreundlichen Abfallwirtschaft und ggf. in Kooperation mit den betroffenen Akteuren auch durch gezielte Flyer zur Wertstofftonne.

Die Umlenkung großer Wertstoffmengen bzw. Umlenkungsmaßnahmen sollten des Weiteren unbedingt gemeinsam mit den Wohnungsbauunternehmen evaluiert und optimiert werden. Hierbei kommt den kommunalen Wohnungsbauunternehmen eine wichtige Vorbildfunktion gemäß § 23 Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz zu.

Die in dieser Studie ermittelten THG-Einsparungen für die gesteigerte getrennte Erfassung von trockenen Wertstoffen bedingen zum einen eine optimierte hochwertige Verwertung und zum anderen, dass notwendigerweise getroffene Modellannahmen sich in der Praxis in etwa wiederfinden. Für die Praxis wäre sicherzustellen, dass

- der verbleibende Restmüll problemlos weiter im MHKW eingesetzt werden kann (ohne Stützfeuerung o.ä. durch veränderten Heizwert) und
- keine verfahrensbedingten Nachteile für die Behandlung in den MPS-Anlagen bedingt (z.B. Wassergehalt, veränderte Sortierbarkeit).

5.2.2 Steigerung getrennte Erfassung Organikabfälle aus Haus- und Geschäftsmüll (überwiegend kommunaler Abfall)

Die Potenzialanalyse ergab eine zusätzlich erfassbare Bioabfallmenge von 103.383 Mg zzgl. einer zusätzlich erfassbaren Speiserestmenge von 17.000 Mg/a. Die Details der Mengenlenkung bei ausgebauter Getrenntsammlung und die darauf basierende THG-Bilanz sind Kapitel 4.1.2 zu entnehmen. Summarisch wird für die verstärkte Getrennterfassung der organischen Abfälle und deren hochwertige Verwertung eine Entlastung von -17.930 und -23.167 Mg CO₂-Äq im Jahr 2020 prognostiziert, je nachdem ob die zusätzlich erfasste Menge über eine TA Luft-konforme Vergärungsanlage oder eine HTC-Anlage behandelt wird. Durch die in Kapitel 5.4 betrachtete Auf- bzw. Verteilung der gesamten Menge auf je eine TA Luft-konforme Vergärungsanlage (70.805 Mg) und eine HTC-Anlage (32.578 Mg) ergibt sich der THG-Minderungsbeitrag zu -19.581 Mg CO₂-Äq/a. Anteilig ist darin jeweils der THG-Minderungsbeitrag in Höhe von -8.611 Mg CO₂-Äq/a enthalten, der sich aus der angenommenen Behandlung von Bioabfall (BIOGUT) über eine hinsichtlich der Gärrestbehandlung optimierte BSR-Vergärungsanlage ergibt.

Die Steigerung der getrennten Erfassung der organischen Wertstoffe aus Haus- und Geschäftsmüll kann durch folgende wesentliche Maßnahmen erreicht werden:

- Die flächendeckende Einführung der Bioabfallsammlung im Land Berlin gemäß den Vorgaben des Berliner Abfallwirtschaftskonzeptes bis 2015,

- die konsequente Nutzung von Müllschleusen bzw. Abfallmanagement in allen Großwohnanlagen sowie in größeren Blockbebauungen,
- Umsetzung der Getrenntsammlung von Speiseabfällen bei allen relevanten gastronomischen Betrieben.

Alle Maßnahmen werden bereits im Ansatz umgesetzt. So erfolgt die Bioabfallsammlung schon überwiegend im Innenstadtbereich. Zudem haben mittlerweile die vier größten kommunalen Berliner Wohnungsbauunternehmen ein umfassendes Abfallmanagement bei rund 138.000 Wohneinheiten (WE) beauftragt. Auch sind die gastronomischen Betriebe zum großen Teil schon an die Speiseabfallsammlung angeschlossen.

Diese positiven Entwicklungen gilt es weiter zu unterstützen und auszubauen, z.B. durch:

- Überprüfung der nach Einführung der Bioabfallsammlung und der Wertstofftonne noch notwendigen Hausmüll-Abfuhr. Eine vierwöchentliche Abfuhr des Hausmülls erscheint dann in den Außenbezirken nach dem Vorbild der meisten öffentlichen-rechtlichen Entsorgungsträger im Land Brandenburg ausreichend;
- Erstellung des Konzeptes und Materials für die Öffentlichkeitsarbeit, in Abstimmung mit den Akteuren der Abfallberatung und der Wohnungsbaugesellschaften;
- Effizienz-Auswertung der sonstigen von den BSR bereits durchgeführten Maßnahmen zur Akzeptanzsteigerung der Bioabfallsammlung im Innenstadt-Bereich. Hier wären die favorisierten, komfortsteigernden Maßnahmen wie kompostierbare Biobeutel und Sammelbehälter mit Filterdeckel einer entsprechenden Kosten-/Nutzenanalyse zu unterziehen.
- Einführung eines Gebührenmodells für die ausgeweitete Bioabfall-Erfassung, das einerseits akzeptanzfördernd, andererseits verursachergerecht angelegt ist. Aufgrund umfangreicher Erfahrungen aus anderen Kommunen ist dabei auf eine entgeltfreie Biotonne abzustellen.
- Ergänzend dazu ist der Anschluss- und Benutzungszwang der Biotonne dahingehend umzusetzen, dass eine Freistellung von der Biotonne nicht mehr von der Existenz einer Eigenkompostierung abhängig zu machen ist, sondern von einem Mindestanteil der Hausgartenfläche von einem Drittel als Nutzgarten. Dies folgt der in Kapitel 3.18.3 geschilderten Begründung, Kleingartenkolonien nicht in die Bioabfallsammlung einzubeziehen.
- Kontrolle der Getrenntsammlung von Speiseresten durch die zuständigen Vollzugsbehörden.
- Neuerrichtung bzw. Nutzung von TA Luft-konformen emissionsarmen Behandlungsanlagen

Anforderungen an diese TA Luft-konformen Anlagen sollten sein:

- Vergärungsanlagen sollten vollständig geschlossen ausgeführt sein inkl. der Nachkompostierung des erzeugten Gärrests, die am Standort der Anlage erfolgen sollte; der Kompost sollte möglichst hochwertig im (Hobby)Gartenbau eingesetzt werden; bei Nutzung des Biogases über BHKW ist eine möglichst umfassende externe Wärmenutzung anzustreben, mindestens aber sollten 40% der Überschusswärme nutzbar sein.

- Für HTC-Anlagen sollten Emissionsmessungen an den Anlagen vorgenommen werden, um die in dieser Studie getroffene Annahme einschätzen zu können; sollten Messwerte höher liegen, wäre eine Neuberechnung durchzuführen; darüber hinaus sollte unabhängig vom Klimaschutzbeitrag bei HTC-Anlagen die Problematik und Umweltauswirkungen aus dem belasteten Abwasser geprüft werden.

Für beide und auch für andere Anlagen gilt: sie müssen vollständig in allen Anlagenteilen geschlossen ausgeführt sein, und die gefasste Abluft muss den Anforderungen nach TA Luft genügen.

In Kapitel 5.4 werden mögliche Anlagenkonzeptionen für eine gemeinsame Behandlung der Bioabfälle aus Haushalten mit anderen organischen Abfällen wie z.B. Laub behandelt.

5.3 Gemischte gewerbliche Siedlungsabfälle und gemischte Bau- und Abbruchabfälle (nicht kommunaler Abfall)

Gemischte gewerbliche Siedlungsabfälle und gemischte Bau- und Abbruchabfälle stellen im Land Berlin nach den mineralischen Abfällen und Haus- und Geschäftsmüll eine weitere mengenrelevante Abfallart dar. Zusammen mit den in 2010 überlassungspflichtigen hausmüllähnlichen Gewerbeabfällen, für die im Optimierungsszenario 2020 eine Umlenkung und gemeinsame hochwertige Verwertung mit den nicht überlassungspflichtigen angenommen wurde, beläuft sich die Abfallmenge auf insgesamt 370.372 Mg⁵⁵.

In Summe konnte für diese Abfallmenge ein THG-Minderungspotenzial von -57.780 Mg CO₂-Äq ermittelt werden. Erreicht wird dieser Klimaschutzbeitrag zu einem kleineren Anteil durch die genannte Umlenkung der überlassungspflichtigen HMG, vor allem aber durch die folgenden Optimierungsmaßnahmen der Verwertung von gemischten gewerblichen Siedlungsabfällen und gemischten Bau- und Abbruchabfällen:

- Steigerung der Wertstoffausbeute auf 20%,
- vollständige energetische Verwertung der aussortierten EBS-Fraktion nach weiterer Aufbereitung im Zementwerk Rüdersdorf oder vergleichbaren Zementwerken,
- Behandlung der Sortierreste (191209) mit nicht-mineralischen Anteilen bzw. hohen TOC-Gehalten über eine MBA.

Zur Umsetzung dieser Optimierungen kommen verschiedene alternative und komplementäre Maßnahmen in Frage.

Die höchste Verbindlichkeit für Maßnahmen ist mit einer **Novellierung der Gewerbeabfallverordnung** gegeben. Für diese werden beispielsweise in (UBA 2011a) folgende Maßnahmen vorgeschlagen:

- Ausschluss der unmittelbaren Verbrennung gemischter gewerblicher Siedlungsabfälle zur Stärkung der stofflichen Verwertung, wodurch beispielsweise auch die Umlenkung der in 2010 überlassungspflichtigen HMG gestärkt würde.
- Zuführung von Abfällen zu Vorbehandlungsanlagen mit Mindeststandards, die prioritär stofflich verwertbare Sortierfraktionen erzeugen und ansonsten (verbleiben-

⁵⁵ 143.925 Mg gemischte gewerbliche Siedlungsabfälle, 203.352 Mg gemischte Bau- und Abbruchabfälle, 23.096 Mg überlassungspflichtige hausmüllähnliche Gewerbeabfälle

de Aufbereitungsreste) hochwertige, schadstoffarme und heizwertreiche EBS⁵⁶.

- Bundeseinheitliches Berichtswesen für die Überwachung von Regelungen (z.B. Checklisten für Mindeststandards).
- Optimierung der weiteren Verwertung von Mischkunststoffen und der Abtrennung von NE-Metallen.

Durch die rechtliche Verbindlichkeit würde eine Steigerung der stofflichen Verwertung auch in Zeiten geringer Vermarktungserlöse gestärkt.

Der Ausschluss der unmittelbaren Verbrennung und die prioritäre Sortierung von stofflich verwertbaren Fraktionen sowie Erzeugung einer hochwertigen EBS-Fraktion in zweiter Linie finden sich auch in der Berliner Verwaltungsvorschrift für ein umweltverträgliches Beschaffungswesen (VwVBU), die ab Januar 2013 in Kraft tritt. Zudem wird in der VwVBU ein Energienutzungsgrad von mindestens 60% gefordert, der in einer Energiebilanz zu dokumentieren ist, sowie eine allgemeine Dokumentationspflicht der Stoffflüsse. Jedoch ist die VwVBU als Verwaltungsvorschrift nur für öffentliche Einrichtungen und Unternehmen und deren Beschaffungswesen verbindlich. Insofern sind weitergehende Maßnahmen anzustreben.

„Weiche“ Maßnahmen liegen in einer **freiwilligen Selbsterklärung von Entsorgungsbetrieben oder in einer Verwertungsallianz** zwischen der Senatsumweltverwaltung und Entsorgungsbetrieben, beispielsweise vertreten durch deren Verband. Zu diesem Zweck fanden ausführliche Gespräche zwischen der Senatsumweltverwaltung und dem Bundesverband der Deutschen Entsorgungs-, Wasser- und Rohstoffwirtschaft (BDE) statt. Die in diesem Zusammenhang diskutierten Instrumente zur Optimierung der Verwertung zeigt Tabelle 5-1. Darin enthalten sind neben den oben genannten regulativen Maßnahmen verschiedene weitere Maßnahmen.

Im Ergebnis des konstruktiven Austauschs hat der BDE zugesagt, die Umsetzung von Maßnahmen grundsätzlich zu unterstützen. In einer schriftlichen Stellungnahme wurden nachfolgend genannte Aktivitäten ausdrücklich begrüßt:

- das Engagement der Berliner Senatsumweltverwaltung bei der Stoffstrom- und Treibhausgasbilanzierung im Rahmen des vom Berliner Senat und Berliner Abgeordnetenhaus beschlossenen Abfallwirtschaftskonzepts,
- Maßnahmen zur Stoffstromkontrolle über eine einfache IT-gestützte Eingabemaske, orientierend an den Aktivitäten in Nordrhein-Westfalen,
- Implementierung eines Wettbewerbs zur Darstellung beispielhafter Vorzeigeprojekte zur Verwertung von Gewerbe- und Bauabfällen in Berliner Vorbehandlungsanlagen,
- Die Einführung eines Markenzeichens für Rohstoff- und Energieeffizienz in Berlin im Zusammenhang mit ökologischen Mindestkriterien in der Berliner Verwaltungsvorschrift Beschaffung und Umwelt (VwVBU),

⁵⁶ Durch weitere EBS-Aufbereitung in Hoch- und Mittelkalorik und Mitverbrennung der Hochkalorik in Zement- und Kraftwerken, während die Mittelkalorik (auch PVC-haltiges Material) in MVA und EBS-Kraftwerken energetisch verwertet wird.

- Aufbau eines breiten Informationsangebotes über geeignete und hochwertige Verwertungswege unter Beteiligung des BDE.

Tabelle 5-1 Instrumente zur Optimierung der Verwertung gemischter gewerblicher Siedlungsabfälle und Bau- und Abbruchabfälle

Ansatzpunkt	Spezifische Maßnahme
Regulative Maßnahmen	
Gesetzliche Regelungen	<ul style="list-style-type: none"> - Novelle der Gewerbeabfallverordnung - Unterbindung von nicht hochwertigen „Verwertungskaskaden“ - Kontrolle und ggf. Modifizierung des Zertifizierungssystems für Entsorgungsfachbetriebe - Überprüfung gesetzlicher Regelungen und DIN-Normen hinsichtlich eines verstärkten Einsatzes von Recyclaten
Vollzugsmaßnahmen	<ul style="list-style-type: none"> - Verbindliche Abgrenzung der AVV 191212 und AVV 191209 - Länderübergreifende Transparenz der Stoffströme aus Vorbehandlungsanlagen
Freiwillige Maßnahmen	
Stärkung der stofflichen Verwertung	<ul style="list-style-type: none"> - Markenzeichen für rohstoffeffiziente Verfahren/Anlagen - Darstellung beispielhafter Vorbildlösungen in Berliner Betrieben - Wettbewerb zur Hervorhebung von hochwertigen stofflichen Verwertungslösungen / Ermittlung und Veröffentlichung von stofflichen Verwertungsquoten der Vorbehandlungsanlagen
Fördermaßnahmen auf Landesebene	
Innovationsallianzen	<ul style="list-style-type: none"> - Zusammenarbeit der Entsorgungswirtschaft und der Berliner Hochschulen mit Unternehmen der Abfallwirtschaft
Förderungsprogramm	<ul style="list-style-type: none"> - Modernisierung der Sortiertechnik
Informationsmaßnahmen der Abfallerzeuger	
Info-Angebote für Betriebe	<ul style="list-style-type: none"> - Aktualisierung und Ausbau des Informationsangebotes
Sonstige begleitende/ergänzende Maßnahmen	
Verwertungsallianz Berlin	<ul style="list-style-type: none"> - Gezielte freiwillige Vereinbarung nach dem Muster der Umweltallianz
Abschluss einer Klimaschutzvereinbarung	<ul style="list-style-type: none"> - Festlegung von politischen Zielen zur hochwertigen Verwertung und zur Stabilisierung der stofflichen Verwertung sowie Festlegung von entsprechenden Arbeitsschritten

Auch im Berliner Abfallwirtschaftskonzept wird neben der Möglichkeit, die stoffliche Verwertung durch rechtliche – oder internationale⁵⁷ – Lenkungsinstrumente zu stärken, vor allem Handlungsbedarf zur länderübergreifenden Stoffstrombilanzierung von gemischten Gewerbeabfällen formuliert. Wichtig wäre danach eine **EDV-gestützte Bilanzierung**

⁵⁷ Auf EU-Ebene z.B. Steuererleichterungen, Rohstoffgesetz, Förderprogramme

stoffstrombezogener Abfalldaten aller Vorbehandlungsanlagen zur Dokumentation und zur Kontrolle.

Eine entsprechende Dokumentation für gemischte Gewerbeabfälle aus Berlin wurde im Rahmen dieser Studie mit der Sonderauswertung (Abfrage bei Berliner und Brandenburger Vorbehandlungsanlagen) begonnen. Diese soll EDV-gestützt weiter entwickelt und optimiert werden, um eine Standardisierung der Abfrage bei Vorbehandlungsanlagen zu erreichen.

Neben den genannten Maßnahmen zur Steigerung der stofflichen Verwertung und der zu implementierenden Dokumentation bzw. Überwachung der Abfallströme werden folgende weitere Maßnahmen empfohlen:

- Erarbeitung von Anforderungen zur Erzeugung einer hochwertigen, schadstoffarmen und heizwertreichen EBS-Fraktion beispielsweise durch Vorgabe einer Separierung in heizwertreiche Fraktion und Mittelkalorik wie in (UBA 2011a) vorgeschlagen (s. Fußnote 56). Insbesondere zu beachten ist ein geringes Schadstoffpotenzial für die Mitverbrennung in Zement- und Kraftwerken; ggf. sollten hier bestimmte Vorgaben zur zulässigen Schadstoffbelastung gemacht werden.
- Festlegungen zur verbindlichen Zuordnung zu AVV 191209 nach Vorschlag in (u.e.c. 2010): maximal 1% TOC-Gehalt (bzw. GV max. 3%⁵⁸) und/oder Zuordnung nur noch für händisch gewonnene mineralische Fraktionen (oder per gezielter Baggersortierung) zulässig. Die Umsetzung kann in Berlin in Analogie zu Sachsen-Anhalt beispielsweise per Rundverfügung erfolgen. Abfälle, die die Anforderungen nicht einhalten, dürfen nicht mehr ohne weitergehende Behandlung (z.B. MBA) abgelagert werden. Generell sind bei der Verwertung in Abgrabungen die Vorsorgewerte der Bundes-Bodenschutzverordnung (BBodSchV) einzuhalten.
- Zur Unterstützung der Umlenkung und hochwertigen Verwertung überlassungspflichtiger HMG sollte eine Verbesserung der sortenreinen Getrenntsammlung von Gewerbeabfällen durch die Öffnung der BSR-Recyclinghöfe für Anlieferungen durch Kleingewerbe erfolgen. Hierzu sind entsprechende Abgrenzungen und Kontrollmöglichkeiten zu definieren.

Die aufgeführten Maßnahmen sollten entsprechend ihrer Priorität und Umsetzbarkeit zeitnah weiter verfolgt werden. So ist in erster Linie die Fortführung der Gespräche mit dem BDE mit dem Ziel einer Verwertungsallianz zu empfehlen, im Rahmen derer konkrete Arbeitspakete vereinbart werden (z.B. Erarbeitung Vorschläge für Vorzeiganlagen). Die Vorgaben zur Zuordnung zu AVV 191209 sollten erlassen werden und zur Erarbeitung einer länderübergreifenden Datenbank sollten Gespräche mit dem Land Brandenburg aufgenommen werden.

5.4 Organische Abfälle (überwiegend kommunaler Abfall)

Die Maßnahmen für die künftig optimierte Behandlung organischer Abfälle werden in folgender Unterteilung dargestellt:

⁵⁸ Ausnahmen dazu nur im Einzelfall und nur wenn alternativ folgende Anforderungen eingehalten werden: DOC < 50 mg/l und Atmungsaktivität-AT₄ < 5 mg/g und Brennwert nicht höher als 6.000 kJ/kg

- Straßenbegleitgrün, Straßenlaub und Laubsäcke (kommunale Abfälle im Regime der BSR),
- Mähgut und Laub (insbesondere kommunale Abfallerzeuger wie Bezirke und kommunale Wohnungsbauunternehmen),
- Klärschlamm,
- weitere organische Abfälle.

Die vorgestellten Maßnahmen orientieren sich

- in *technischer* Hinsicht an der Eignung der Abfallstoffe für höherwertige Verwertungsmaßnahmen nach Kapitel 3 und den Möglichkeiten der gemeinsamen Verarbeitung in Kombinationsanlagen,
- in *organisatorischer* Hinsicht nach der Verfügung und Lenkungsmöglichkeit betroffener Institutionen über die Abfallstoffe,
- in *zeitlicher* Hinsicht nach der Verfügbarkeit höherwertiger Verwertungsarten im Entsorgungsangebot.

5.4.1 Straßenbegleitgrün, Straßenlaub und Laubsäcke (im Regime der BSR)

Neben den von den BSR künftig zusätzlich gesammelten Bioabfällen von 103.383 Mg/a, die in Kapitel 5.2.2 beschrieben sind, fallen bei dem öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger BSR zusätzlich folgende organische Abfallstoffe an:

Straßenbegleitgrün	4.758 Mg/a
Straßenlaub	32.253 Mg/a
verbleibende Menge aus Laubsäcken	4.490 Mg/a

Die nachstehend dargestellten Maßnahmen sehen vor, dass die BSR emissionsarme und energieeffiziente Anlagen errichten und betreiben, in denen diese kommunalen organischen Stoffe mit hohem Klimaschutzbeitrag verwertet werden.

Dazu bietet sich die kombinierte Verwertung insbesondere von Straßenlaub mit Bioabfall an. Für die auf die gartenreichen Außenbezirke ausgeweitete Bioabfallsammlung sind ausgeprägte jahreszeitliche Schwankungen des Bioabfall-Aufkommens zu erwarten, verursacht durch den vegetationsbedingten Anfall an Gartenabfällen.

Als Prognosegrundlage für die zukünftigen Mehrmengen wurde der Jahresgang aus dem BGK/VHE-Handbuch zur Bioabfallsammlung (BGK 2009) für den dort genannten Stadtbereich übernommen.

Abbildung 5-1 stellt diesen prognostizierten Verlauf der Zusatzmengen dem Jahresgang der aktuellen Sammlung (2007 - 2011 nach BSR-Angabe) gegenüber. Da die neuen Behandlungsanlagen auf die Spitzenlast ausgelegt werden müssen (hier: September mit 30% über Monats-Mittelwert), ergeben sich in den übrigen Monaten unausgelastete Kapazitäten. Diese können mit anderen organischen kommunalen Abfallstoffen, die ebenfalls den BSR zu überlassen sind, aufgefüllt werden.

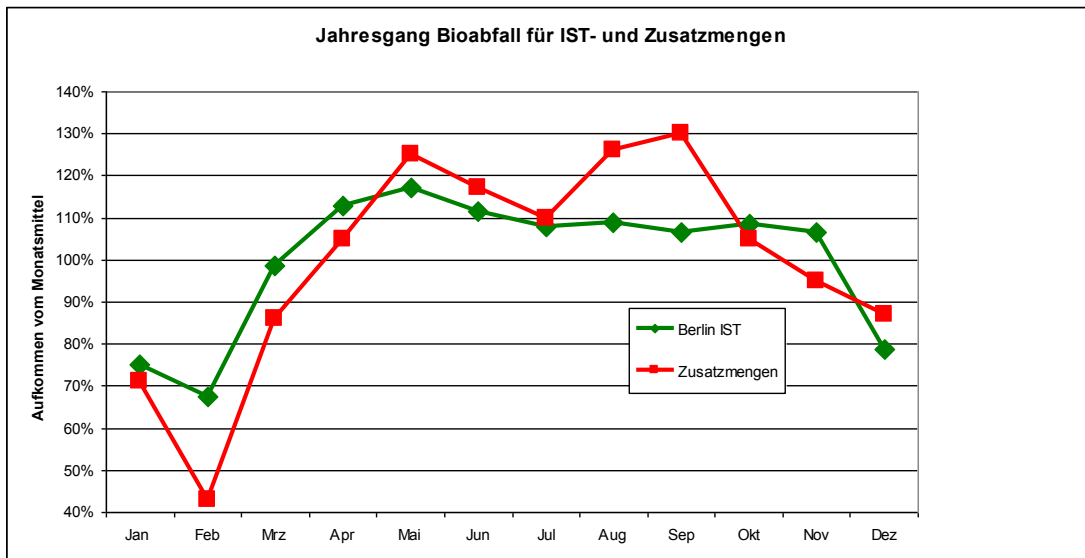


Abbildung 5-1 Jahresgang Bioabfall für IST-Mengen und zusätzliche Mengen

Angenommen wird die Errichtung zweier weiterer Anlagen durch die BSR, die gemäß Abbildung 5-2 die Gesamtmenge von künftig gesammeltem Bioabfall (BIOGUT), Straßenbegleitgrün, restlicher Menge aus Laubsäcken und Straßenlaub aufnehmen.

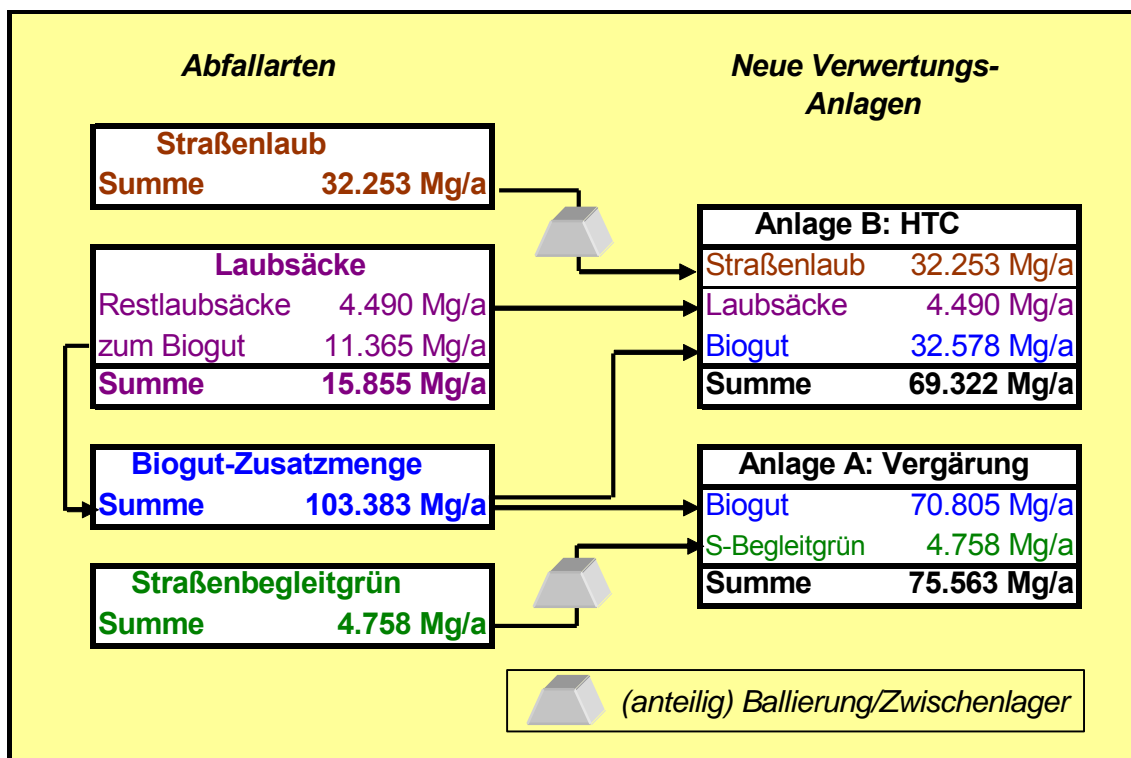


Abbildung 5-2 Integration der Verarbeitung von Straßenlaub, Laubsäcken und Straßenbegleitgrün in neu zu errichtende BSR-Behandlungsanlagen für Bioabfall

Anlage A: Die Anlage kann als Vergärung oder HTC errichtet werden, hier ist die Vergärung gewählt. Die Auslegung erfolgt dahingehend, dass die Anlage ganzjährig nahezu vollständig mit Bioabfall ausgelastet ist. Diese Anlage nimmt zusätzlich das vergärbare Straßenbegleitgrün der BSR auf. Die Verarbeitung ist im Februar vorgesehen, in dem die geringsten Mengen an Bioabfall anfallen. Bis dahin muss das Straßenbegleitgrün balliert und zwischengelagert werden. Die erforderliche Jahreskapazität dieser Anlage beträgt rund 75.563 Mg.

Anlage B: Wegen der stofflichen Qualität des in hohen Mengen mit verarbeiteten Straßenlaubes (keine Eignung für Vergärung), ist als Verfahren die HTC vorgesehen. Die Auslegung orientiert sich im monatlichen Durchsatz am Spitzenanfall des Bioabfalls, zzgl. des kontinuierlichen Anfalls an restlicher Menge aus Laubsäcken. Die danach verbleibenden Kapazitätslücken werden mit Straßenlaub der BSR gefüllt, das zwischengelagert und bedarfsorientiert in diese Anlage verbracht wird. Die erforderliche Jahreskapazität errechnet sich bei vollständiger Aufnahme des Straßenlaubes zu 69.322 Mg.

Abbildung 5-3 beschreibt die Aufteilung der Mengen im Jahresgang für die beiden Anlagen.

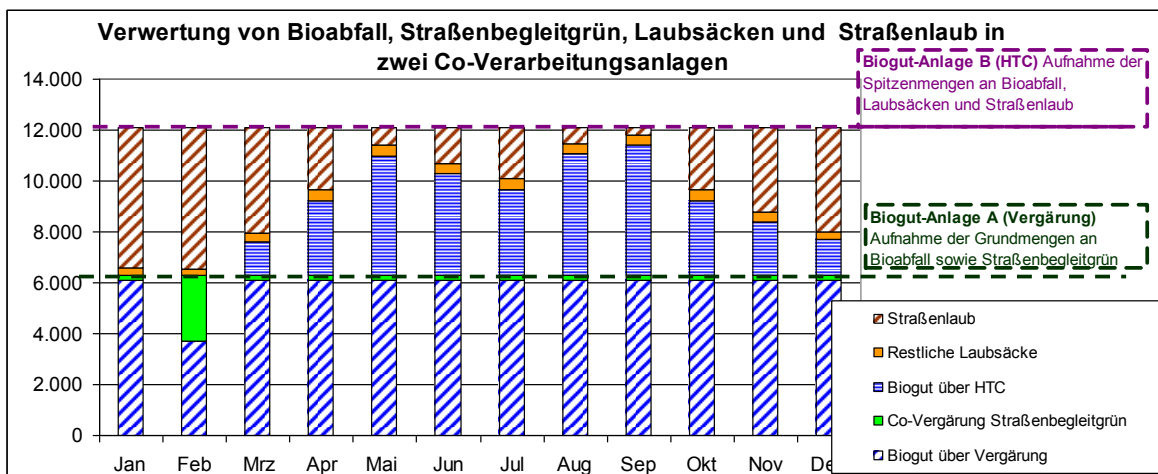


Abbildung 5-3 Auslastung der Biogut-Verwertungsanlagen mit BSR-eigenen organischen Abfällen

Anlage A wird mit 70.805 Mg fast vollständig mit Bioabfall ausgelastet. Als "Füllstoff" für die Kapazitätsauslastung im Februar – mit den im Jahresgang geringsten Bioabfallmengen – werden ca. 2.300 Mg zwischengelagertes Straßenbegleitgrün eingesetzt, von dem eine ausreichend hohe Biogasausbeute erwartet werden kann. Der Rest des Straßenbegleitgrüns in Höhe von rund 2.400 Mg wird kontinuierlich in Mengen von 200 Mg pro Monat eingespeist. Vorzugsweise sollten von dieser Anlage Bioabfallmengen aus der Intensivierung der getrennten Sammlung im Innenstadtbereich aufgenommen werden, da diese ein höheres Gasbildungspotenzial aufweisen.

Anlage B nimmt neben den noch zu behandelnden Bioabfällen (32.578 Mg/a) die restlichen Mengen aus Laubsäcken (4.490 Mg/a) sowie das Straßenlaub (32.253 Mg/a) auf, von dem 20.085 Mg balliert und zwischengelagert wurden. Die Option der Direktverarbeitung über MPS, MBS und MA wird für die hier betrachteten Mengen weder für das BSR-

Straßenlaub noch für die 4.490 Mg aus Laubsäcken in Anspruch genommen. Das Laub bildet in den Monaten Januar bis März und November/Dezember den Hauptanteil des Inputs von Anlage B. Soweit logistisch disponierbar, ist in dieser Anlage möglichst Bioabfall aus den Außenbezirken zu verarbeiten, da dieser trockener ist und damit weniger Aufheizungsenergie in der HTC erfordert.

Die Gesamtkapazität der beiden Anlagen beträgt rund 145.000 Mg/a und nimmt sämtliche den BSR überlassungspflichtigen sortenreinen Organikabfälle auf. Die Verteilung der Kapazitäten kann zugunsten der HTC-Anlage angepasst werden, da alle genannten Abfälle grundsätzlich für die HTC, nicht aber für die Vergärung geeignet sind.

Die Ballierung und Zwischenlagerung insbesondere des Straßenlaubs kann als externe Dienstleistung vergeben werden.

Folgende weitere **Untersuchungen** und **Planungsarbeiten** werden für die Umsetzung als erforderlich angesehen:

- Standortsuche und Vorplanungen für die beiden Behandlungsanlagen. Dabei sind die in Kapitel 5.2.2 benannten Mindestanforderungen hinsichtlich der TA Luft-Konformität einzuhalten. Dies stellt insbesondere für eine Vergärungsanlage hohe Ansprüche an die Abluftreinigung und die Nutzung der BHKW-Abwärme.
- Großtechnische Versuche zur Ballierung und Zwischenlagerung von Straßenlaub im Herbst 2013.

5.4.2 Sonstiges Laub und Mähgut

Außerhalb des BSR-Regimes fallen weitere große Mengen an Mähgut und Laub an. Ausgehend von einem Jahresanfall von 43.600 Mg Mähgut bzw. 24.142 Mg Laub stammen 38.816 Mg bzw. 20.839 Mg von öffentlichen Einrichtungen und Unternehmen (insbesondere bezirkliche Grünflächenämter und kommunale Wohnungsbauunternehmen).

Die Mengen und vorgesehene künftige Behandlung dieser Organikabfälle fasst Abbildung 5-4 zusammen.

Laub-Verwertung

In Ausschreibungen von kommunalen Einrichtungen zur externen Entsorgung von Laub sollen zukünftig nach den verbindlichen Vorgaben des Berliner Ausschreibungs- und Vergabegesetzes in Verbindung mit der Verwaltungsvorschrift Beschaffung und Umwelt ökologische Mindestanforderungen zur energetischen Verwertung des Laubes nach (ICU 2011) aufgenommen werden. Durch diese Maßnahme kann erreicht werden, dass 20.839 Mg/a der in Abbildung 5-4 genannten Summenmenge von 24.142 Mg/a an Laub zukünftig einer hochwertigen und optimierten Verwertung zugeführt werden. Ein bewährtes Instrument, zukünftig auch Laubmengen aus privaten Einrichtungen derartigen optimierten Verwertungsverfahren zuzuführen, stellt der Abschluss von Klimaschutzvereinbarungen des Landes Berlin u. a. mit privaten Wohnungsbauunternehmen dar.

Durch die ökologischen Mindestanforderungen soll nach (ICU 2011) gewährleistet werden, dass aus der gebundenen Energie der Grünreste (Trockensubstanz) bei dem Verwertungsverfahren mindestens 55 % als nutzbare Energie ausgebracht werden.

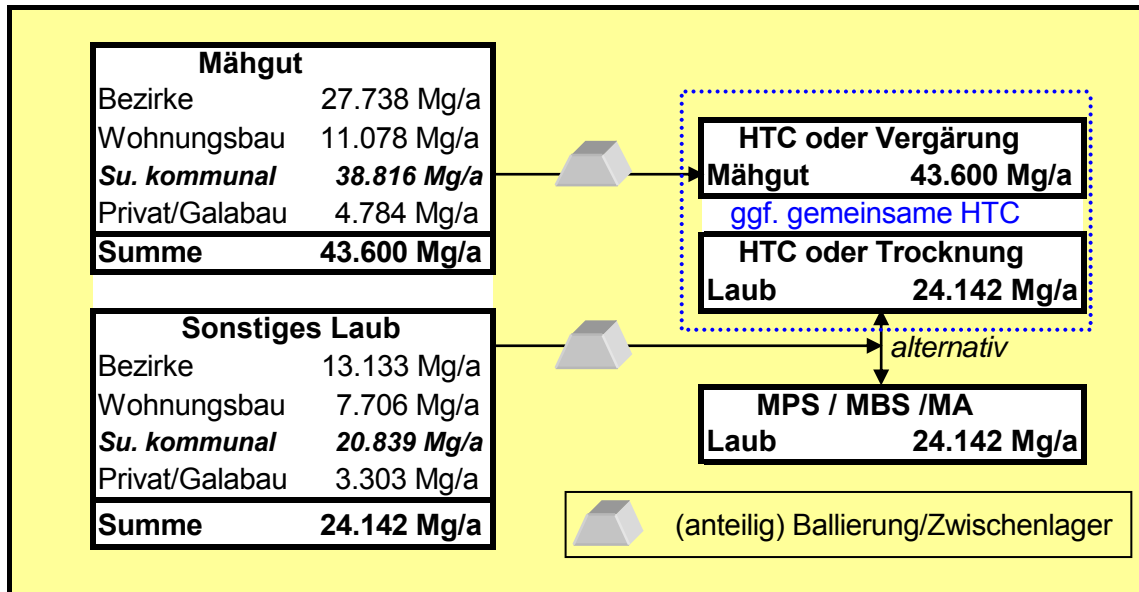


Abbildung 5-4 Künftige Verwertung von sonstigem Laub und Mähgut

Dies erfordert für das Laub

- entweder Trocknung und direkte Verbrennung in dafür genehmigten und technisch geeigneten Kraftwerken,
- oder Monobehandlung in eigenen Anlagen über HTC bzw. thermische Trocknung mit nachfolgender energetischer Verwertung,
- oder Mitverarbeitung in Abfallbehandlungsanlagen, die das Laub als Teil des Ersatzbrennstoffes ausbringen, der nachfolgend energetisch verwertet wird.

Die Verwertung des Laubes wird einschließlich der anteilig notwendigen Zwischenlagerung als Dienstleistung ausgeschrieben. Erfüllt werden können die Anforderungen

- von Betreibern existierender Kraftwerke, die nach ggf. entsprechender Modifikation Laub in die bestehende Anlage einspeisen können,
- von Betreibern einer künftigen HTC- oder thermischen Trocknungsanlage,
- von den Betreibern der MBS-, MPS- und MA-Anlagen, die derzeit insgesamt eine Verwertungskapazität von 19.000 Mg in den Monaten des *direkten* Laubanfalls anbieten können. Die Differenzmenge von 5.142 Mg müsste zwischengelagert werden. Für diese Menge darf berechtigt angenommen werden, dass die Betreiber zur Aufnahme, verteilt über die übrigen Jahresmonate, in der Lage sind, so dass die gesamte obige Laubmenge in diesen Anlagen verwertet werden könnte.

Ein ausreichender Verwertungsmarkt für Laub ist danach für 2020 berechtigt erwartbar.

Mähgut-Verwertung

Die optimierte Verwertung von Mähgut aus dem kommunalen Bereich soll nach denselben Vorgaben gesteuert werden wie oben unter "Laub-Verwertung" beschrieben. Somit sind 38.816 Mg/a an Mähgut aus kommunalen Einrichtungen von insgesamt 43.600 Mg/a über ökologische Mindestanforderungen bei Ausschreibungsverfahren lenkbar. Ergän-

zend gilt nach den oben genannten Mindestanforderungen für Laub, dass die Behandlungsanlage für Mähgut die auch in Kapitel 5.2.2 gelisteten Anforderungen der TA Luft-Konformität einzuhalten hat. Analog den Ausführungen zu Laub können auch Mähgut-mengen aus privaten Unternehmen über den Abschluss von Klimaschutzvereinbarungen u. a. mit privaten Unternehmen zu einer optimierten Verwertung umgelenkt werden.

Auch hier wird davon ausgegangen, dass eine entsprechende, anforderungskonforme Behandlung (inkl. Ballierung und Zwischenlagerung) über HTC oder Vergärung mittelfristig als Dienstleistung genutzt werden kann. Diese Mähgut-Verwertung kann bei Ausführung als HTC in Kombination mit der Laubverwertung erfolgen. Die Verarbeitung der Gesamtmenge von Mähgut und Laub in einer Größenordnung von rund 60.000 Mg/a lässt grundsätzlich eine wirtschaftliche Verwertung erwarten. Dies gilt auch bei Einrechnung des Ballierungs- und Zwischenlageraufwandes. Dieser wird in die Ausschreibung der Dienstleistung integriert. Als Partner dafür bieten sich die Betreiber der derzeitigen Kompostierungsanlagen an.

Als Voraussetzung für die Errichtung der notwendigen Anlagenkapazitäten in privatwirtschaftlicher Initiative erscheint es erforderlich, dass die Vertragszeiträume für die externe Entsorgung insbesondere seitens der Bezirksämter auf mindestens fünf Jahre angesetzt werden, um für die Vertragspartner eine finanzielle Absicherung der Investition zu schaffen.

Generell gilt als Bedingung für die Forderung einer höherwertigen Verwertung in künftigen öffentlichen Ausschreibungen, dass dafür verlässlich Angebote erwartet werden können. Dies ist für die angestrebte Verwertung insbesondere von Mähgut, aber auch von Laub vorab zu sichern. Dazu ist es erforderlich, im Jahr 2013 in entsprechenden Gesprächen mit den maßgeblichen Akteuren oder in Form eines Ideenwettbewerbs abzustimmen, zu welchen Konditionen Bieter ab welchem Zeitpunkt die geforderte Verwertungsqualität verbindlich bereitstellen können. Um die Belastbarkeit dieser Bereitschaft für künftige kommunale Ausschreibungen zu sichern, sollten am Ende dieses wechselseitigen Austausches konkrete Absichtserklärungen der Marktakteure gegenüber der Senatsumweltverwaltung zu Abfallart und -mengen, Zeitpunkt sowie vertraglichen und wirtschaftlichen Konditionen der jeweiligen Verwertung stehen.

5.4.3 Klärschlamm

Die in Kapitel 3.8 beschriebenen Optimierungspotenziale für ungefaulten und gefaulten Klärschlamm bezogen sich vollständig auf die Verfahrensführung der Klärschlammverbrennungsanlage, die Dampfnutzung und die Maßnahmen der Klärschlamm-Vorbehandlung vor der Verbrennung. Für die Mitverbrennung von gefaultem Klärschlamm mit und ohne Trocknung konnten keine Optimierungen ermittelt werden.

Für die Berliner Abfallwirtschaft stellt die Klärschlammverbrennung am Standort Ruhleben eine der wenigen Behandlungsarten von Abfallarten dar, die in der Treibhausgasbilanz der Bestandsaufnahme zu einer Nettobelastung führen. In Betrachtung der Ursachen sind erhebliche Entlastungspotenziale feststellbar. So liefert allein die verbesserte Klärschlamm-Entwässerung einen Klimaschutzbeitrag, der denjenigen der in Errichtung befindlichen Bioabfall-Vergärungsanlage bereits deutlich übertrifft. Die zusätzliche potentielle THG-Minderung über die N₂O-Reduktion würde im gleichen Vergleich rund den fünffach höheren Klimaschutzbeitrag bewirken. Dies unterstreicht die Bedeutung der Maßnahmen,

die im Bereich der Klärschlammbehandlung der BWB liegen. Den BWB kommt zudem als kommunales Unternehmen eine Vorbildfunktion bei der klimafreundlichen Abfallbehandlung zu.

Die Ziele der Maßnahmen betreffen insbesondere:

- a) Erhöhung der Entwässerungsleistung des Klärschlamms vor der Monoverbrennung,
- b) Minderung der N₂O-Emission bei der Monoklärschlammverbrennung,
- c) verbesserte Dampfnutzung,
- d) weitere Konditionierung des gefaulten Klärschlamms zur Einsparung von Stützfeuerungsoil, insbesondere durch Nutzung der Vorbehandlung über HTC.

zu a): Es wird empfohlen, die eingeleiteten Maßnahmen zur erhöhten Schlammentwässerung zügig voranzutreiben und mit Vorlage eines Zeit- und Maßnahmenplanes durch die BWB zu untersetzen.

zu b): Die aktuelle Emissionssituation für Lachgas (N₂O) der KSVA musste auf Basis länger zurückliegender Messungen abgeschätzt werden. Die N₂O-Emissionen der KSVA werden gegenwärtig nicht erfasst, da dieses treibhauswirksame Gas nicht als Schadgas durch die 17. BImSchV geregelt ist. Es wird dringend empfohlen, umgehend im Jahr 2013 Messungen bei unterschiedlichen Betriebszuständen durchzuführen, um die Emissionsentwicklung der KSVA für Lachgas und Stickoxide temperaturbezogen abzubilden sowie realisierbare Optimierungs- und Realisierungsmöglichkeiten aufzuzeigen.

zu c) Die laut Vattenfall grundsätzlich mögliche Option einer verbesserten Nutzung des KSVA-Dampfes am Standort Reuter sollte im Jahr 2013 seitens der BWB mit Vattenfall auf die Modalitäten der Realisierung erörtert werden mit dem Ziel, zu einem Ergebnis bzgl. Umsetzung, erschließbarer Energienutzung und verbundenen Kosten zu gelangen.

zu d) Die HTC-Behandlung der gefaulten, in der KSVA verbrannten Klärschlämme erscheint als die aussichtsreichste Option, den Heizölverbrauch der KSVA und die daraus resultierenden THG-Belastungen gegen Null zu senken. Es wird empfohlen, die Realisierungsmöglichkeiten spätestens im Jahr 2014 durch eine einsprechende Machbarkeitsstudie zu konkretisieren.

Den maßgeblichsten Einfluss auf die THG-Entlastung hat die Reduzierung der Lachgas-Emission der Monoklärschlammverbrennungsanlage. Aus diesem Grund sind die Überprüfung der N₂O-Emissionen und die Machbarkeit einer drastischen Minimierung angeraten. Ansonsten sollten aus Klimaschutzsicht mittelfristig andere, geeignetere Alternativen zur Klärschlammbehandlung überprüft werden.

5.4.4 Sonstige organische Abfälle

Altholz

Für Altholz (getrennt gesammeltes, Baum- und Strauchschnitt, Weihnachtsbäume) ergab die Potenzialanalyse keine weiteren relevanten erkennbaren Optimierungen, da bereits über 80% der energetisch verwerteten Altholzmengen in effizienten Anlagen eingesetzt werden.

Für die künftige energetische Verwertung sollte dies weiterhin gegeben sein. Zur Einschätzung einer hochwertigen, effizienten energetischen Verwertung können folgende Kriterien herangezogen werden:

1. Naturbelassene Hölzer (Baum- und Strauchschnitt und Weihnachtsbäume) sollten möglichst in Kohlekraftwerken mitverbrannt werden; Voraussetzung sind die Abfalleignung, die ggf. durch eine Aufbereitung erreicht werden kann, und die Verfügbarkeit entsprechender Kapazitäten; als weiterer Vorbehalt stehen mögliche anderweitige nachteiligen Umweltwirkungen (vgl. Kap. 1.3.2);
2. ansonsten sollte Altholz in effizienten Holz-HKW in Kraft-Wärme-Kopplung eingesetzt werden, die zur Orientierung einen Gesamtnutzungsgrad von etwa 60% aufweisen sollten,
3. bei Einsatz in einem Holz-KW mit alleiniger Stromauskopplung, sollte der Netostromwirkungsgrad bei 35% liegen.

Speisereste/überlagerte Lebensmittel

Die Optimierungspotenziale liegen nach den Darstellungen in Kapitel 3.21 in der Emissionsminderung durch vollständige Behandlung in Vergärungsanlagen, die über eine gasdichte Gärrestlagerung mit Restgasbehandlung verfügen.

Die Optimierung durch eine gesteigerte getrennte Erfassung von 17.000 Mg/a Speiseresten durch Entnahme aus dem Geschäftsmüll wurde gemeinsam mit der gesteigerten getrennten Erfassung von Organikabfällen aus Hausmüll in Kapitel 4.1.2 untersucht.

Für beide Optimierungen lassen sich folgende Maßnahmen ableiten:

1. Aufforderung an die Entsorger von Speiseresten und überlagerten Lebensmitteln, insbesondere die bei kommunalen Einrichtungen anfallenden Abfallstoffe an emissionsreduzierte Anlagen zu liefern.
2. Nachrüstung der betroffenen Vergärungsanlagen auf emissionsarme Gärrestlagerung.
3. Verstärkte Kontrolle durch die bezirklichen Überwachungsbehörden auf Einhaltung der Gewerbeabfallverordnung bzgl. der Getrennterfassung von Speiseresten und überlagerten Lebensmitteln.

Fettabscheiderinhalte

Die Optimierungspotenziale liegen nach den Darstellungen in Kapitel 3.21 in der Emissionsminderung der Vergärung durch Behandlung in Anlagen mit gasdichtem Gärrestlager, wie dies beispielsweise bei der derzeitigen Co-Vergärung mit Klärschlamm erfolgt. Daraus lassen sich folgende Maßnahmen ableiten:

1. Nachrüstung der betroffenen Vergärungsanlagen auf emissionsarme Gärrestlagerung,
2. Aufforderung an die Entsorger von Fettabscheiderinhalten, die Materialien an entsprechend ausgestattete Anlagen zu liefern, dazu gehört – zeitnah verfügbar – die Co-Vergärung mit Klärschlamm in der Kläranlage Wassmannsdorf.

Die Untersuchung der Auswirkungen auf den Treibhauseffekt einer gesteigerten Erfassung von Fettabscheiderinhalten ist nicht Bestandteil dieser Studie, da die bisherige Ent-

sorgung über das Abwasser nicht im Untersuchungsrahmen liegt. Jedoch wurde ein potenzieller THG-Minderungsbeitrag abgeschätzt und nachrichtlich ausgewiesen.

Grundsätzlich ist eine gesteigerte Erfassung zu empfehlen, da Fette in der Kanalisation gravierende Schäden bewirken. Erreichbar wäre eine geordnete Erfassung und schadlose Entsorgung durch gesetzliche Vorgaben zum Einbau von Fettabscheidern u. a. bei gastronomischen Betrieben im Rahmen von Gewerbeanmeldungen sowie durch verstärkte Kontrolle durch die bezirklichen Überwachungsbehörden auf Installation und DIN-gerechte Leerung von Fettabscheidern.

Nach Auskunft der BWB soll durch einen verbesserten Vollzug hinsichtlich des Einbaus von Fettabscheidern bei Betrieben das derzeitige Aufkommen an Fettabscheiderinhalten um 4.500 Mg (bei 20% TS) gesteigert werden. Somit ergäbe sich eine Mengensteigerung an verwerteten Fetten um rund 35% auf 17.373 Mg.

Altfette

Aus dem gleichen Grund wie bei Fettabscheiderinhalten genannt wurden auch die Auswirkungen auf den Treibhauseffekt einer gesteigerten getrennten Erfassung von Altfetten nicht in dieser Studie untersucht. Auch hier wurde der potenzielle THG-Minderungsbeitrag abgeschätzt und nachrichtlich ausgewiesen.

Noch mehr als bei Fettabscheiderinhalten gilt, dass Maßnahmen (z.B. Vollzug) zur optimierten Getrennterfassung und Verwertung von Altfetten sehr zu empfehlen sind, insbesondere wenn Altfett aufbereitet und als Dieseleratz eingesetzt wird. Die daraus resultierende spezifische Nettoentlastung stellt die zweithöchste unter den 36 untersuchten Abfallarten dar.

Es wird davon ausgegangen, dass parallel zur erweiterten Speiseresterfassung eine Mehrmenge von rund 4.000 Mg/a an Altfette zusätzlich erfasst werden kann.

Pferdemist

Anstelle der derzeitigen (Nach)Verrottung wird empfohlen, die rund 9.300 Mg/a an Pferdemist künftig über Vergärungs- oder HTC-Anlagen zu verwerten. Die Veranlassung liegt maßgeblich im Bereich der pferdehaltenden Unternehmen, denen dazu von den Entsorgungsakteuren im Bereich der künftigen Organik-Verwertung entsprechende Angebote vorzulegen wären.

5.5 Mineralische Abfälle (überwiegend nicht kommunaler Abfall)

Mineralische Abfälle wurden in dieser Studie v.a. wegen ihrer Mengenrelevanz betrachtet. Üblicherweise ist die Entsorgung dieser Abfälle mit keinen nennenswerten Auswirkungen auf den Treibhauseffekt verbunden, da die Abfälle selbst inert sind und aus ihrer Behandlung keine Emissionen resultieren und durch ihre Verwertung i.d.R. Primärrohstoffe ersetzt werden, die ebenfalls inert sind, so dass durch deren Substitution keine nennenswerten THG-Einsparpotenziale gegeben sind. Entsprechend wurden die mineralischen Abfälle in dieser Studie in der THG-Bilanz mit Null bewertet, einzige Ausnahme bildet Asphalt.

Dennoch ist die Entsorgung der mineralischen Abfälle ggf. aus Gründen des Ressourcenschutzes insbesondere wegen ihrer hohen Mengen relevant. Dieser Umstand soll daher

gewürdigt werden. Umfassender wird dieser Aspekt im Rahmen der anstehenden Umweltbilanzierung im Jahr 2012/2013 für das Land Berlin untersucht.

Für die mengenrelevanten Abfallarten **Boden und Steine sowie Bauschutt** besteht eine Optimierungsmöglichkeit in einer Steigerung der anteiligen Verwertung dieser Abfälle in Bau- bzw. Straßenbaumaßnahmen, um Kreisläufe zu schließen. Hier wird empfohlen, zunächst die Eignung der Abfälle hinsichtlich verschiedener Anwendungsmöglichkeiten zu prüfen und basierend darauf Empfehlungen zu deren Erschließung abzuleiten. Grundsätzlich bestehen Lenkungsmöglichkeiten seitens der öffentlichen Hand durch Anforderungen an die Qualität für die Verwertung mineralischer Abfälle (Berliner Verwaltungsvorschrift Beschaffung und Umwelt).

Für **Baustoffe auf Gipsbasis** ist eine künftige sortenreine getrennte Erfassung zur stofflichen Verwertung in Gipswerken anzustreben. Hierdurch könnte auch ein relevanter THG-Minderungsbeitrag erzielt werden. Grundsätzlich ist die getrennte Erfassung und Verwertung auch aus Gründen des Ressourcenschutzes geboten, zumal davon auszugehen ist, dass Gipskarton zunehmend eine wichtige Rolle beim Bauen spielen wird. Sofern eine wirtschaftliche Verwertung dieser Abfälle möglich ist, sollte das Land Berlin zumindest bei öffentlichen Baumaßnahmen die stoffliche Verwertung als verbindliche Anforderung vorgeben (Berliner Verwaltungsvorschrift Beschaffung und Umwelt).

Beton wurde im Rahmen dieser Studie gesondert ausgewertet, um das Potenzial zur Erzeugung von RC-Beton zu ermitteln und hervorzuheben. Nach der Bestandsaufnahme wird Beton derzeit zu 99% in Straßenbaumaßnahmen eingesetzt, eine Aufbereitung zu RC-Beton erfolgt bislang nicht.

In der Potenzialanalyse (Kap. 3.3) wurde aufgezeigt, unter welchen Randbedingungen eine hochwertige Verwertung von RC-Beton für Hochbaumaßnahmen möglich ist. Ein ganz entscheidender Faktor ist dabei, die entsprechenden Akteure – Aufbereiter und Betonhersteller – zusammenzubringen und zu motivieren. Für Berlin ist die Initiierung eines dahingehenden Pilotprojektes im Jahr 2013 geplant. Hierfür sind konzeptionell folgende Schritte empfohlen:

- Ermittlung der stationären Aufbereitungsanlagen und Kontaktaufnahme mit den Betreibern
- Kontaktaufnahme mit Betonherstellern der Region
- Erstellung einer Checkliste mit maßgeblichen Planungsschritten für die Akteure (sortenreine Erfassung, Werksumstellung, Kosten, Vorteile, Vorgehen Zertifizierung, etc.)
- Organisation von Informationsveranstaltungen, bilateralen Treffen zum Informationsaustausch, Besichtigungen, etc.
- Vermittlung von Kontakten zu bereits erfolgreich agierenden Aufbereitern und Betonherstellern in Rheinland-Pfalz und Baden-Württemberg
- Dokumentation der Fortschritte und Erfolge im Pilotprojekt, Verbreitung dieser im Rahmen von Veranstaltungen o.ä., um Eigeninitiativen für weitere Projekte anzureizen

Wesentlich aus Gutachtersicht gilt es im Hinblick auf die THG-Bilanz in entsprechenden Projekten zu beachten, dass für die Herstellung von RC-Beton nicht qualitativ anderer oder mehr Zement eingesetzt wird als für konventionelle Betone, da sich ansonsten die THG-Bilanz für RC-Beton maßgeblich verschlechtern kann.

Ganz entscheidend für die praktische Umsetzung ist, dass die einzelnen Betriebe zur Aufbereitung von Bauschutt mit ganz unterschiedlichen spezifischen Randbedingungen konfrontiert sein können. Je nach Herkunft und stofflicher Zusammensetzung des Inputmaterials, aber auch je nach Absatzmarktbedingungen verschiedener Produkte, müssen die Prozesse der Aufbereitung und des Produktdesigns angepasst werden.

Konventioneller Beton kostet in Berlin zwischen 70 und 100 Euro/Mg. Die Herstellung von RC-Beton muss zumindest mittelfristig mit diesem Preis konkurrieren können. Im Leuchtturmprojekt in Stuttgart konnten die Betonhersteller v.a. durch das Argument des Wettbewerbsvorteils überzeugt werden in Eigenleistung zu gehen. Eine ganz entscheidende Unterstützung erfolgte dabei durch die hochrangige Präsenz politischer Vertreter auf Veranstaltungen zur Bewerbung von RC-Beton. Ähnliche Maßnahmen empfehlen sich auch für das geplante Pilotprojekt in Berlin.

Darüber hinaus sollte die öffentliche Hand – entsprechend ihrer Aufgabe zur Vorbildfunktion – bei der Vergabe von Bauprojekten die Verwendung von geeignetem RC-Beton in Ausschreibungen einfordern. Dies fordert z.B. auch der bvse.

In Baden-Württemberg wird des Weiteren im Rahmen des Ressourcenschutzprogramms über eine Abgabe auf Kies in Höhe von 1 Euro/Mg nachgedacht, diese Möglichkeit könnte auch für Berlin geprüft werden.

Grundsätzlich zu empfehlen ist die Beauftragung eines Koordinators für ein entsprechendes Pilotprojekt, der auch o.g. Aufgaben übernimmt.

Asphalt ist der einzige mineralische Abfall, der überwiegend als kommunaler Abfall anfällt und der einzige mineralische Abfall, für den eine THG-Bilanz erstellt wurde, da Asphalt zu rd. 4% Bitumen enthält, dessen Herstellung mit Auswirkungen auf den Treibhauseffekt verbunden ist. Bewertet wurde die entsprechende THG-Einsparung mit -13 kg CO₂/Mg Asphalt. Gegenüber dem Jahr 2010, in dem 38% des angefallenen Asphalts in Asphaltmischwerken eingesetzt wurden, wurde für die Potenzialanalyse 2020 angenommen, dass ein vollständiger Einsatz der anfallenden Asphaltabfälle möglich ist. Bezogen auf die im Jahr 2010 angefallene Asphaltmenge ergibt sich dadurch eine Steigerung der Nettoentlastung von -554 auf -1.457 Mg CO₂-Äq für das Jahr 2020.

Technisch und logistisch besteht kein Hemmnis für den vollständigen Einsatz des Berliner Asphaltabfalls in Asphaltmischwerken. Der RC-Anteil an Asphaltprodukten würde dann lediglich rd. 25% betragen. Auch 50% RC-Asphalt sind technisch möglich, dazu müssen Anlagen aber mit einer Paralleltrommel ausgerüstet sein. Voraussetzung für einen generellen Einsatz von Asphaltabfall ist die Qualität des zurückgebauten Asphalts, der unbedingt sorgfältig schichtweise abgetragen werden muss. Bei allen Straßenbaumaßnahmen sollte diese Voraussetzung sichergestellt werden.

Wirtschaftlich ist tendenziell mit einem Kostenvorteil für den Einsatz von RC-Asphalt zu rechnen, da die Beschaffungskosten für Bitumen stetig ansteigen.

Bestehende Hemmnisse sind nach Auskunft der Betreiber v. a. die Ausschreibungspraxis u. a. vom Land Berlin sowie vom Bund (DEGIS), die teils einen RC-freien Aufbau fordern.

Entsprechend sind zur Umsetzung des Optimierungspotenzials konzeptionell folgende Schritte zu beachten:

- Sicherstellen der erforderlichen Qualität des RC-Asphalts (schichtweise Abtrag) durch eine gesetzliche Verankerung oder durch entsprechende Anforderungen bei der Ausschreibung für den Straßenrückbau,
- Gewährleistung der Verwertungssicherheit über den Einsatz in Asphaltmischwerken,
- Zulassung bzw. Einforderung von RC-Asphalt bei gegebener technischer Gleichwertigkeit des Produktes bei allen öffentlichen Straßenbaumaßnahmen durch
- Anpassung der Ausschreibungspraxis im Land Berlin.

5.6 Weitere Abfälle

Für **Sperrmüll** (überwiegend kommunaler Abfall) könnte durch eine vollständige Mitverbrennung der aussortierten EBS-Fraktion im Zementwerk Rüdersdorf (derzeit drei EBS-KW) das Ergebnis der THG-Bilanz deutlich verbessert werden. Der Klimaschutzbeitrag könnte um -35.631 Mg CO₂-Äq erhöht werden. Allerdings kann dieser Beitrag nur erreicht werden, wenn der aus Sperrmüll erzeugte EBS auch die Eignung für eine solche Mitverbrennung aufweist und Kapazitäten zur Mitverbrennung frei sind. Grundsätzlich ist eine Eignung gegeben, sofern eine entsprechende Aufbereitung erfolgt (Einhaltung von Anforderungen an die Stückigkeit, homogenes Material als Fluff).

Für das weitere Vorgehen wird empfohlen, diese Aspekte vertieft zu prüfen.

Für **Altteppiche** (überwiegend kommunaler Abfall) könnte durch eine vollständige Mitverbrennung im Zementwerk Rüdersdorf (derzeit verschiedene EBS-KW) das Ergebnis der THG-Bilanz für Altteppiche von einer Nettobelastung in eine Nettoentlastung umgekehrt werden. Der zusätzliche Klimaschutzbeitrag gegenüber dem Jahr 2010 liegt bei -9.605 Mg CO₂-Äq. Allerdings kann dieser Beitrag nur erreicht werden, wenn Altteppiche auch die Eignung für eine solche Mitverbrennung aufweisen und Kapazitäten zur Mitverbrennung frei sind. Grundsätzlich ist eine Eignung gegeben, sofern eine entsprechende Aufbereitung erfolgt und keine zu hohen PVC-Anteile gegeben sind.

Für das weitere Vorgehen wird empfohlen, diese Aspekte vertieft zu prüfen.

Für **Altreifen** (überwiegend nicht kommunaler Abfall) könnte durch eine Steigerung der stofflichen Verwertung von derzeit 45% auf 80%, der Klimaschutzbeitrag der Entsorgung um -7.867 Mg CO₂-Äq im Jahr 2020 erhöht werden. Kapazitäten dürften für die dabei zusätzlich stofflich zu verwertende Menge an Altreifen in Höhe von knapp 7.000 Mg zur Verfügung stehen. Voraussetzung für eine Umlenkung und die Erzielung der genannten THG-Einsparung ist, dass die stoffliche Verwertung hochwertig zu erfolgen hat: es muss hochwertiges Gummigranulat erzeugt werden, das zur Substitution von synthetischem Gummi oder thermoplastischen Polymeren eingesetzt wird. Für andere Verfahren müsste der Klimaschutzvorteil erst noch belegt werden.

Zur Erschließung des Optimierungspotenzials sind folgende Möglichkeiten möglich, um eine hochwertige Verwertung sicherstellen:

- Festlegung von Mindestanforderungen an die stoffliche Verwertung von Altreifen aus kommunalen Einrichtungen bzw. Unternehmen über die Berliner Verwaltungsvorschrift Beschaffung und Umwelt (VwVBU).
- Freiwillige branchenspezifische Vereinbarung zwischen z.B. Reifenhersteller, der Automobilindustrie und Aufbereitern im Sinne der Herstellerverantwortung zur Rücknahme- und stofflichen Verwertung der Altreifen, die nicht wieder- oder weiterverwertet oder runderneuert werden können.

Für **Straßenkehrriecht** (überwiegend kommunaler Abfall) könnte durch eine vollständige Behandlung über die gabv oder eine vergleichbare Anlage, wobei die separierte Mittelfraktion zu EBS aufbereitet und in Kraft- und Zementwerken mitverbrannt wird, der Klimaschutzbeitrag der Entsorgung um -7.998 Mg CO₂-Äq im Jahr 2020 erhöht werden. Kapazitäten stehen bei der gabv zur Verfügung. Voraussetzung zur Erzielung der genannten THG-Einsparung ist, dass die Outputfraktionen tatsächlich in dem angesetzten Massenverhältnis und den angenommenen Qualitäten erzeugt werden können. Ansonsten müsste der Klimaschutzzvorteil erneut geprüft werden.

Zur Erschließung des Optimierungspotenzials kann für Straßenkehrriecht kommunaler Herkunft die Berliner Verwaltungsvorschrift Beschaffung und Umwelt (VwVBU) angewendet werden. Darin finden sich bereits Mindestanforderungen für eine hochwertige Verwertung von Straßenkehrriecht. Danach ist Straßenkehrriecht

- einer mechanischen Aufbereitung mit Schadstoffseparierung zuzuführen,
- der mineralische Anteil abzutrennen und schadlos zu verwerten,
- die separierte (oder getrennt gesammelte) Organik einer effizienten energetischen Verwertung zuzuführen.

Für die **weiteren hier nicht aufgeführten Abfallarten** ergaben sich aus der Potenzialanalyse derzeit keine weitergehenden Maßnahmen.

5.7 Kostenbetrachtung

Eine detaillierte Analyse der jeweiligen Kosten zu den vorgestellten Maßnahmen konnte im Rahmen der Studie nicht durchgeführt werden. Die nachstehende Kostenbetrachtung der Maßnahmen kann daher nur als eine erste Orientierung angesehen werden.

Für die Umsetzung der einzelnen Maßnahmen werden zunächst die spezifischen Kostenauswirkungen je Tonne des jeweiligen Abfallstromes abgeschätzt. Die sich daraus gegenüber der Ist-Situation ergebenden Kostenänderungen werden durch die berechneten Minderungen an CO₂-Äquivalenten (Mg CO₂-Äq/Mg) geteilt, um die spezifischen CO₂-Äq-Minderungskosten bzw. THG-Vermeidungskosten in €/Mg CO₂-Äq zu erhalten.

Diese spezifischen THG-Minderungskosten sind ein Kriterium der Bewertung: je kostengünstiger eine THG-Minderung zu erzielen ist, umso eher ist generell eine Maßnahme zu empfehlen.

Ein weiteres Kriterium ist die absolute Höhe der THG-Entlastung (in Mg CO₂-Äq/a) je Maßnahme; dies ist eine kostenunabhängige Größe.

Im Zuge der Kostenbetrachtung werden die beiden Aspekte "absolute THG-Entlastung" und "spezifische THG-Minderungskosten" rechnerisch miteinander verknüpft. Prioritär wären danach Maßnahmen vorteilhaft, die hohe absolute THG-Entlastungen mit geringen spezifischen Kosten erreichen lassen. Diese Eigenschaft lässt sich numerisch darstellen, indem die Beträge "absolute THG-Entlastung" (als Zähler) und "spezifische THG-Minderungskosten" (als Nenner) zu einem Quotienten berechnet werden. Je höher dieser Quotient ausfällt, umso wirkungsvoller erscheint in einer Prioritätsstaffelung die Maßnahme.

5.7.1 Abschätzung der spezifischen Mehrkosten

Für die 18 Abfallarten, für die in der Potenzialanalyse eine Optimierung betrachtet wurde sowie für die Abfallarten bzw. -mengen, für die Umlenkungsmaßnahmen untersucht wurden, werden orientierend folgende Ansätze getroffen:

Asphalt:

Es wird davon ausgegangen, dass der zusätzliche Aufwand für den lagenweisen Abtrag der Asphaltchichten durch die eingesparten Materialkosten für Recyclingasphalt kompensiert wird, so dass keine Mehrkosten angesetzt werden. Das heißt, die THG-Minderung kann kostenneutral erreicht werden. Als Spannweite wird von +/- 1 €/Mg ausgegangen.

Lenkung Haus- und Geschäftsmüll auf andere Anlagen:

Hinsichtlich der Kosten für eine künftige Entsorgung von Haus- und Geschäftsmüll vorrangig über die MPS-Anlagen und das modernisierte MHKW wird angenommen, dass die aktuellen Entgelte für die von den BSR betriebenen Restabfallbehandlungsanlagen (inkl. Kessel A) weitestgehend konstant bleiben. Zwar ist die gegebene Behandlung über die MBA kostengünstiger, jedoch sind auch die MPS-Anlagen voraussichtlich ab 2015 kostenmindernd abgeschrieben, so dass sich dann eine andere Mischkalkulation für den Entsorgungspreis ergibt.

Optimierte Vorbehandlung gemischter gewerblicher Siedlungsabfälle und gemischter Bau- und Abbruchabfälle:

Für die optimierte Vorbehandlung zur Erhöhung der Wertstoffausbeute sowie Erzeugung einer hochwertig verwertbaren EBS-Fraktion ist eine komplexe Sortierung der Abfälle erforderlich, die gegenüber der weitgehend erfolgenden einfachen Sortierung entsprechende Mehrkosten bedingt. Demgegenüber ist die Erlösseite für die zusätzlich ausgebrachten Wertstoffe zu beachten. Durch die stark konjunkturbedingte Dynamik der Erlöse für aussortierte Wertstoffe (massenbestimmend sind insbesondere PPK und Kunststoffe) können wertstofforientierte Sortierungen bereits mit 20-30 €/Mg aus der Erlöslage für Wertstoffe beeinflusst werden (u.e.c. 2008). Als relativ verlässlich wird demgegenüber in (UBA 2011a) ein Trend sinkender Zuzahlungen bei der EBS-Verwertung beschrieben. In dieser wie auch der für die Berliner Senatsverwaltung gefertigten Studie zur Gewerbeabfallverwertung (u.e.c. 2008) konnten daher nur Modellannahmen zu den Gesamtkosten der Sortierung getroffen werden. Die Sortierkosten selbst werden von (u.e.c. 2008) für die Berliner Sortieranlagen zwischen 46 und 82 €/Mg (ohne Entsorgungsaufwand) eingestuft, der Personalaufwand erhöht sich um 15 €/Mg bei einer stärker auf Wertstoffrückgewinnung orientierten Sortierung. Nach den Modellannahmen in (UBA 2011a) wird der Sortierauf-

wand einer wertstofforientierten Sortierung um 4 €/Mg höher eingeschätzt als bei einer überwiegend EBS-orientierten. Unter Berücksichtigung der derzeitiger eher niedrigerer Sortierkosten in Berlin wird ein Mehrkostenbetrag für die optimierte Sortierung von 15 €/Mg (+/- 5 €/Mg) angenommen. Mehrerlöse für die höhere Wertstoffausbeute werden aufgrund der starken Marktschwankungen nicht eingerechnet.

Optimierte Klärschlammbehandlung in der Klärschlammverbrennungsanlage (KSVA) Ruhleben:

Kostenseitig ergeben sich nach den entwickelten Erkenntnissen für die untersuchten Maßnahmen folgende Ansätze:

Die Ölkosten für die Stützfeuerung werden mit 65 €/MWh abgeschätzt. Die Zusatzkosten der verbesserten Entwässerung werden mit 20 €/Mg TS angenommen, 30.000 MWh/a werden an Heizöl eingespart. Daraus ergibt sich eine spezifische Kosteneinsparung von -27 €/Mg TS ungebrauchten Klärschlammes für diese Maßnahme.

Als derzeit zu kalkulierender Teilaufwand einer N₂O-Minderung durch Temperaturerhöhung fällt zusätzliches Stützfeuerungs-Öl an (17.000 MWh/a). Weitere Kosten sind derzeit nicht abschätzbar. Entsprechend ist mindestens mit Mehrkosten in Höhe von 22 €/Mg TS Gesamt-Klärschlamm zu rechnen. Nicht quantifizierbar sind Kosten für die Prüfung der technischen Machbarkeit sowie weitere technische Maßnahmen zur Umsetzung der N₂O-Minderung (Messprogramm etc.)

Die verbesserte Dampfnutzung ist in den Kostenwirkungen derzeit nicht abschätzbar und wird daher hier weder im Kostenaufwand noch in der THG-Entlastung berücksichtigt.

Die für gebrauchten Klärschlamm betrachtete HTC-Behandlung wird nach Herstellerangaben brutto rund 60 €/Mg FS Klärschlamm mit 25% TS betragen; gutgeschrieben werden 27.000 MWh ersetztes Heizöl. Daraus resultieren für diese Maßnahme zusätzliche spezifische Kosten in Höhe von 32 €/Mg TS gebrauchten Klärschlammes.

Die derzeit erkennbaren Kosten der Maßnahmen betragen zwischen rund 6 €/Mg TS des in der KSVA verbrannten Gesamt-Klärschlammes. Die Schwankungsbreite um diesen Wert wurde mit 20 €/Mg TS angesetzt.

Künftige Mitverbrennung der EBS aus Sperrmüll im Zementwerk:

Für EBS aus Sperrmüll werden im Spektrum der Unschärfen für den Zusatzaufwand der Zerkleinerung 15 €/Mg (+/- 5 €/Mg) Mehrkosten bei Aufbereitung und Verbringung des Sperrmüll-EBS zum Zementwerk angesetzt.

Künftige Behandlung Straßenkehrschutt-Mittelfraktion:

Von einer Optimierung betroffen ist lediglich die Mittelfraktion aus der Aufbereitung. Für deren Verwertung über die MBS werden 10 €/Mg (+/- 5 €/Mg) an Mehrkosten angenommen.

Gesteigerte getrennte Erfassung trockener Wertstoffe:

Für die zusätzliche Entnahme von Wertstoffen aus dem Haus- und Geschäftsmüll wird kostenseitig von folgenden Annahmen ausgegangen:

Das zusätzlich gesammelte Papier wird als kostenneutral eingestuft. Für zusätzlich gesammelte LVP und stoffgleiche Nichtverpackungen werden 168 €/Mg nach (UBA 2011b)

abzgl. eingesparter Hausmüllsammelungs- und -behandlungskosten von rund 130 €/Mg angesetzt. Der Nettomehraufwand für die gesteigerte getrennte Erfassung trockener Wertstoffe beträgt somit gerundet 40 €/Mg (+/- 5 €/Mg).

Energetische Verwertung von Altteppichen durch Mitverbrennung im Zementwerk:

Nach Auskunft von Aufbereitungsbetrieben für EBS, die auch Teppiche mit verarbeiten, entsteht bei der Aufbereitung von Altteppichen kein nennenswerter Mehraufwand, um sie im Gemisch mit anderen heizwertreichen Abfallstoffen für die Verwertung im Zementwerk zu konfektionieren. Die Lenkungsoption steht unter dem Vorbehalt der Verwertbarkeit z.B. wegen eines erhöhten Chlorgehalts. Es wird für ggf. weitere Transportstrecken ein Mehraufwand von 10 €/Mg (+/- 3 €/Mg) angenommen.

Steigerung der hochwertigen stofflichen Verwertung von Altreifen:

Die Mehrkosten des stofflichen Recyclings gegenüber der energetischen Verwertung werden mit 10 €/Mg (+/- 3 €/Mg) angenommen.

Gesteigerte getrennte Erfassung von E-Schrott:

Für eine künftige zusätzliche Entnahme von E-Schrott aus dem Haus- und Geschäftsmüll werden Mehrkosten von 10 €/Mg (+/- 3 €/Mg) für die separate Erfassung und Verwertung gegenüber der derzeitigen Mitbehandlung über Hausmüll abgeschätzt (durch das vorgesehene Bringsystem entstehen keine Sammlungskosten).

Optimierte Bioabfallverwertung (BIOGUT 58.155 Mg):

Die Mehrkosten für die Bioabfallbehandlung in der neuen Bioabfallvergärungsanlage der BSR werden mit 40 €/Mg (+/- 5 €/Mg) gegenüber der derzeitigen Verwertung über Einfachkompostierung angenommen. Die Mehrkosten für die weitergehende Optimierung der Gärrestbehandlung durch gasdichte Gärrestlagerung und Gärrestnachrotte nach guter betrieblicher Praxis werden mit rund 6 €/Mg berechnet. In Summe liegen die Mehrkosten entsprechend bei 46 €/Mg.

Organikabfälle aus Haushalten (zusätzlich erfasste Menge):

Für die Abschätzung der Mehrkosten kann auf durchgeführte Studien zurückgegriffen werden. Hier werden für zusätzliche Sammlungskosten nur die Mengen der Außenbezirke mit 100 €/Mg angesetzt, die zusätzlichen Innenstadtmengen werden wegen der Erfassung im bestehenden Sammlungssystem als kostenneutral angenommen. Die Behandlung wird pauschal mit 75 €/Mg veranschlagt (ICU 2008). Nach (ICU 2008) wird daneben eine Entlastung des Hausmüll-Sammelaufwands in Höhe von 20% des Bioabfallsammlungsaufwands angesetzt. An weiteren Kostenentlastungen werden 65 €/Mg auf Seiten der Hausmüllentsorgung und 90 €/Mg für Laubsacksammlung und -verwertung angenommen. Mit die größte Kostenwirkung entfaltet der Gutschrift-Ansatz der Hausmüllentsorgung. Eine Übersicht zu den genannten Kostenansätzen zeigt Tabelle 5-2. Die so abgeschätzten Mehrkosten der erweiterten Bioabfallsammlung berechnen sich zu rund 89 €/Mg. Unter Veränderung jeder oben genannten Hauptposition (Bioabfallsammlung, -behandlung, Hausmüll-Behandlungsgutschrift, Laubsacksammlung, -verwertung) um +/-10 €/Mg ergibt sich eine Spannbreite von rd. +/- 24 €/Mg.

Tabelle 5-2 Abschätzung der Kosten für die Bioabfall Zusatzmenge

Bioabfall-Zusatzmenge	betr. Menge	Mehrkosten	Summe
Kostenbereich	Mg/a	€/Mg	€/a
Sammlung Bioabfall (Außenbezirke)	75.008	100	7.500.800
Behandlung Bioabfall Vergärung	70.805	75	5.310.375
Behandlung Bioabfall HTC	32.578	75	2.443.350
Gutschrift Hausmüllsammlung (20% von Bioabfallsammlung)	55.082	-27	-1.500.160
Gutschrift HM-Behandlung (50% v. 130 €/Mg)	55.082	-65	-3.580.347
Gutschrift Laubsacksammlung	11.365	-70	-795.542
Gutschrift Laubsackbehandlung	11.365	-20	-227.298
Netto-Mehrkosten	103.383	88,52	9.151.178

Verwertung der Organikabfälle aus dem Laubsack über eine HTC-Anlage:

Es werden Mehrkosten von 20 €/Mg (+/- 5 €/Mg) für die Verwertung über die Bioabfall-HTC-Anlage gegenüber der jetzigen Kompostierung angenommen.

Energetische Verwertung von Laub:

Mehrkosten sind für Laub nur in einer größeren Spannweite anzusetzen, da insbesondere für die vorgeschlagene Kombinations-HTC-Anlage für etwa hälftige Auslastung durch Bioabfall und Straßenlaub derzeit nicht festgesetzt werden kann, wie die Fixkosten dieser Anlage auf die beiden Massenströme verteilt werden. Bei den zur anteiligen, direkten Aufnahme geeigneten Restmüllanlagen mit EBS-Bereitstellung (MPS/MBS/MA) hängen die erhobenen Preise auch maßgeblich von der Möglichkeit ab, das Laub, wenn ausreichend trocken, direkt oder nur nach reduzierter Aufbereitung dem EBS zuzumischen. Kosten zusätzlicher HTC-Anlagen zur Laubbehandlung werden davon bestimmt, ob sie gleichzeitig auch z.B. Mähgut verarbeiten. Die zusätzlichen Kosten für die Ballierung und Zwischenlagerung von Teilmengen werden mit 15 €/Mg abgeschätzt, die Transportkosten mit max.10 €/Mg. Die direkte Anordnung einer Verwertungsanlage neben der anteiligen Zwischenlagerung kann diese Transportkosten um bis zu 10 €/Mg reduzieren.

Unter Berücksichtigung der genannten Unschärfen ergibt sich für das *gesamte* Laub ein Mehrkosten-Schätzwert in Höhe von 24 €/Mg (+/- 15 €/Mg) gegenüber der bisherigen Kompostierung, wobei das Straßenlaub der BSR eher in den oberen, das sonstige Laub in den unteren Bereich der Spannweite fallen dürfte.

Künftige Mitvergärung von Straßenbegleitgrün mit Bioabfall:

Angenommen werden geringe Verarbeitungskosten von 20 €/Mg für die Mitvergärung als kleine Auslastungsmenge in einer zusätzlich errichteten TA Luft-konformen Bioabfallvergärungsanlage. Zusätzliche Kosten für Ballierung, Zwischenlagerung und Transport von Teilmengen werden in Höhe von 25 €/Mg angenommen. Unter deren mengenproportionaler Einrechnung ergeben sich gegenüber der bisherigen einfachen Kompostierung in Summe Mehrkosten in Höhe von rund 23 €/Mg (+/- 5 €/Mg).

Energetische Verwertung von Mähgut:

Die realistische Option, Mähgut mit nur geringen oder ohne Mehrkosten gegenüber der bisherigen Kompostierung energetisch zu verwerten, besteht nach der in dieser Studie vorgesehenen Installation großtechnischer und damit wirtschaftlich arbeitender Verwertungskapazitäten und einer darauf abgestellten Infrastruktur der Ballierung und Zwischenlagerung. Letztere würde es ermöglichen, dafür geeignete Mähgutchargen qualifiziert zu silieren und als erlösbildendes Produkt einer Vergärung zur Verfügung zu stellen. Die alternativ/additiv vorgesehene HTC erweitert das Verwertungsspektrum auf die weniger vergärungsgerechten Mähgutchargen und profitiert von steigenden Preisen des Brennstoffmarktes. Kostenmindernd wirkt sich generell eine auch auf die Verwertung ausgerichtete Disposition der Schnittfolge aus. Das in Kapitel 5.4 skizzierte Konzept zur kombinierten Laub-/Mähgutverwertung im bislang einmaligen Größenmaßstab ist im Dialog mit den Marktakteuren hinsichtlich der kostenoptimalen Logistik und Verfahrensauswahl zu konkretisieren. Vorläufig angenommen werden Mehrkosten gegenüber der Kompostierung in Höhe von rund 4 €/Mg (+/- 5 €/Mg) einschließlich eines anteiligen Aufwandes für Ballierung, Zwischenlagerung und Transport von Teilmengen.

Optimierte Gärrestlagerung bei der Vergärung von Speiseresten, überlagerte Lebensmitteln und Fettabscheiderinhalten:

Für die Installation von Nachgärern und alleinstehenden gasdichten Gärrestlagern mit Fackel werden die Mehrkosten mit rund 4 €/Mg (+/- 2 €/Mg) berechnet.

Gesteigerte getrennte Erfassung von Speiseresten:

Für die zusätzliche Entnahme von Speiseresten aus dem Geschäftsmüll wird von Mehrkosten von 10 €/Mg für die zusätzliche Erfassung und Behandlung gegenüber der derzeitigen Mitbehandlung über den Haus- und Geschäftsmüll ausgegangen (WI/ICU 2009) sowie von 4 €/Mg für die Verwertung über Vergärungsanlagen mit optimierter Gärrestlagerung (s.o.). Damit ergeben sich in Summe Mehrkosten in Höhe von rund 14 €/Mg (+/- 2 €/Mg).

Künftige Vergärung von Pferdemist:

Insgesamt wird gemäß (WI/ICU 2009) von 65 €/Mg (+/- 5 €/Mg) Mehrkosten für die Verwertung von Pferdemist über Vergärungsanlagen mit optimierter Gärrestlagerung gegenüber der bisherigen Verrottung ausgegangen.

5.7.2 Ergebnis der Kostenbetrachtung

Aus den o.g. Abschätzungen zu den Mehrkosten ergeben sich Jahreskosten, die dividiert durch die jeweilige jährliche THG-Entlastung der untersuchten Maßnahmen spezifische Treibhausgasvermeidungskosten je Tonne CO₂-Äq ergeben. Diese sind in Abbildung 5-5 zusammengestellt⁵⁹.

⁵⁹ Gleiche Kostenspannbreiten unterschiedlicher Abfallarten finden sich in dieser Abbildung nicht in gleichen Proportionen wieder, da sie bei Division durch die mehr oder weniger hohe THG-Entlastung gestaucht oder auseinander gezogen werden.

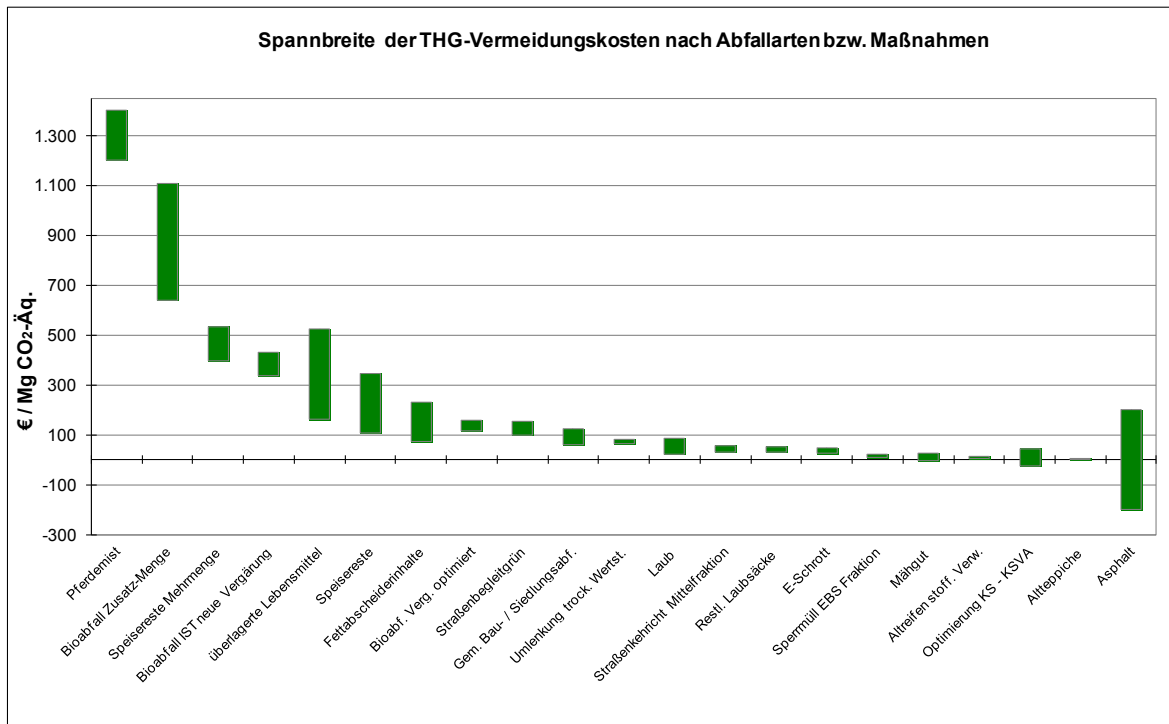


Abbildung 5-5 THG-Vermeidungskosten nach Maßnahme und Abfallart

Danach erweisen sich insbesondere die optimierte Pferdemistverwertung sowie die Ausweitung der getrennten Bioabfallsammlung als Maßnahmen mit hohen spezifischen THG-Vermeidungskosten. Sieben Optimierungsmaßnahmen liegen zwischen 100 und rund 500 €/Mg CO₂-Äq. Zwölf Optimierungsmaßnahmen liegen unter 100 €/Mg CO₂-Äq

Abbildung 5-6 zeigt die der Berechnung zugrunde gelegte absolute THG-Entlastung der Maßnahmen in derselben Reihenfolge wie in Abbildung 5-5. Die Werte entsprechen den in Kapitel 3 und 4 dargestellten THG-Entlastungswerten. Einzige Ausnahme ist der Wert für die Speiserest-Mehrmenge. Hier musste eine Annahme getroffen werden, da der THG-Einzelbeitrag aus der Gesamtmaßnahme nicht isoliert betrachtet werden kann. Vereinfacht wurde daher die spezifische THG-Entlastung für bereits getrennt erfasste Speisereste aus der Potenzialanalyse herangezogen.

Aus Abbildung 5-6 wird erkennbar, dass die Maßnahmen mit hoher absoluter THG-Entlastung sich dominierend im spezifisch kostengünstigen Bereich befinden. Es wird daran ferner deutlich, dass auch größere Unschärfen in der Kostenabschätzung, also auch relativ hohe potenzielle Kostenmehrungen, diese Grundaussage nicht maßgeblich beeinflussen.

Die summierten Mehrkosten aller Maßnahmen mit einer THG-Minderungswirkung von rund 248.000 Mg CO₂-Äq/a bewegen sich - nach Minimal-/Maximal-Abschätzung zwischen 15,7 und 30,5 Mio. €/a - bei einem Mittelwert von 23,2 Mio. €/a, woraus ein mittlerer spezifischer Betrag von 94 € je Tonne reduziertem CO₂-Äq folgt.

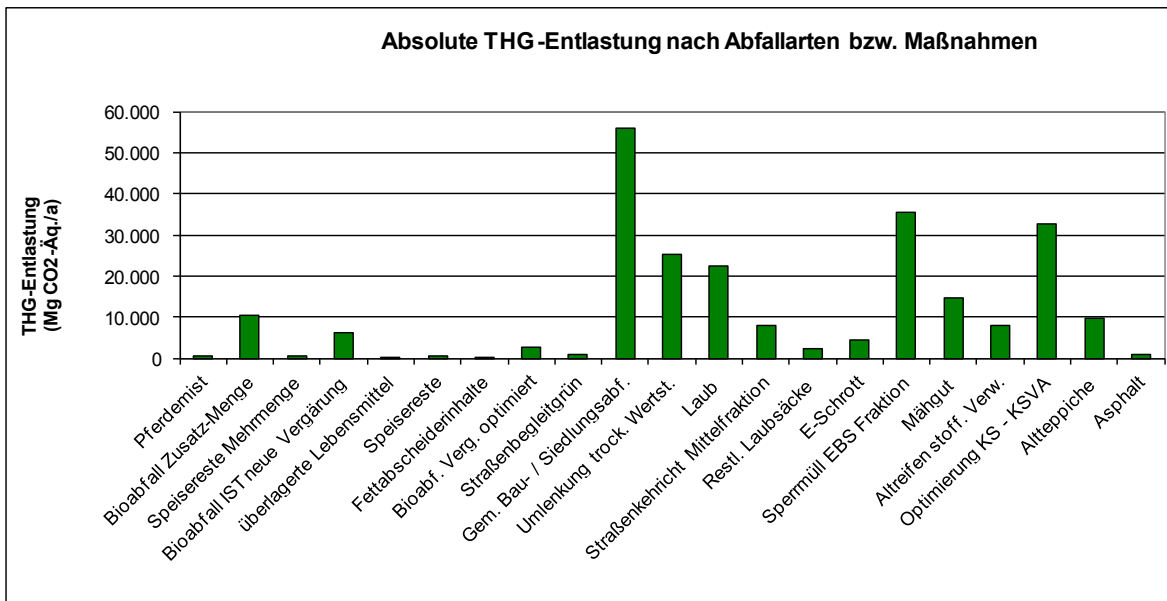


Abbildung 5-6 Absolute THG-Entlastungen je Abfallstoff bzw. Maßnahme

Betrachtet man diese spezifischen Vermeidungskosten aller vorgeschlagenen Maßnahmen von 94 € je Tonne reduziertem CO₂-Äq gegenüber den Vermeidungskosten über Biomasse-Verwertung nach Abbildung 5-7, wird daraus erkennbar, dass die für Berlin im Rahmen der Abfallwirtschaft prognostizierten mittleren THG-Vermeidungskosten in einem niedrigen Bereich liegen.

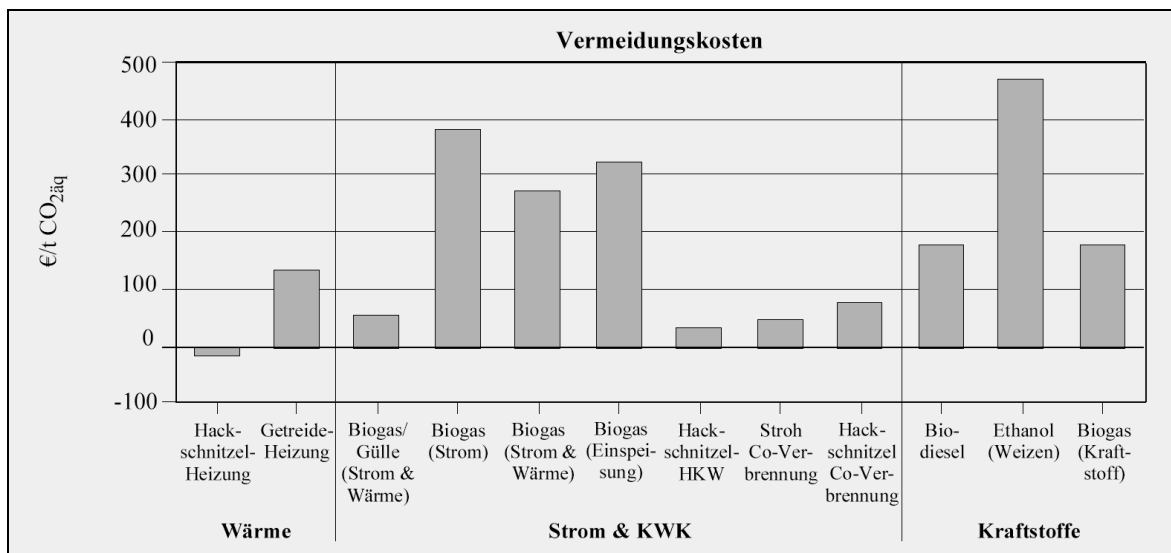


Abbildung 5-7 CO₂-Vermeidungskosten für verschiedene Nutzungsarten von Biomasse zur Energiegewinnung (WBA 2007)

Wie zu Beginn der Kostenbetrachtung erwähnt, können die beiden Größen "absolute THG-Entlastung (in Mg CO₂-Äq/a) und "spezifische Entlastungskosten" (in €/Mg CO₂-Äq) rechnerisch miteinander zu einem weiteren Wert verbunden werden, dem Quotienten aus beiden Beträgen. Die Dimension dieses Indexwertes ist (Mg CO₂-Äq)²/(€*a). Dieser In-

dexwert lässt Maßnahmen besonders stark hervortreten, die hohe absolute THG-Entlastungen mit spezifisch niedrigen THG-Vermeidungskosten verbinden. Wegen der starken Spannweite der Resultate sind die Ergebnisse in Abbildung 5-8 in logarithmischer Skalierung dargestellt⁶⁰.

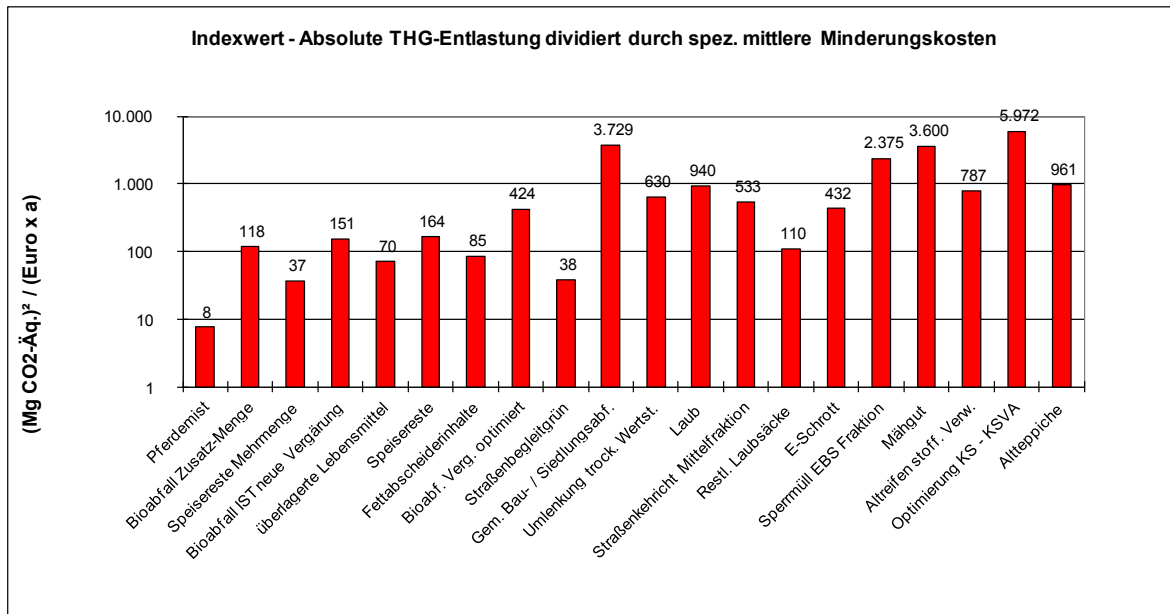


Abbildung 5-8 Indexwert der Maßnahmenwirkung (Quotient aus absoluter Entlastung und spezifischen Minderungskosten)

Es ist zu beachten, dass der Index einen sehr hohen Wert annimmt, wenn neben einem hohen absoluten THG-Entlastungswert die Nennerwerte, sprich die spezifischen THG-Vermeidungskosten, sehr niedrige Werte aufweisen. Das ist speziell bei der Optimierung der KSWA der Fall, da die erhöhte Entwässerung des ungefaulten Klärschlammes über die erheblichen eingesparten Ölkosten die Mehrkosten der anderen Maßnahmen fast kompensiert und gleichzeitig eine relativ hohe THG-Entlastung durch die Lachgas-Minderung erreicht werden kann.

Nachfolgende Abfallstoffe mit einem Indexwert von über 400 (als "Sprungstelle" zu den darunter liegenden Werten) weisen hohe absolute THG-Entlastungen kombiniert mit spezifisch niedrigen THG-Vermeidungskosten auf. Daher sollten vorrangig diese zeitnah realisiert werden:

Indexwert deutlich über 1.000:

1. Optimierung der Klärschlammbehandlung in der Klärschlammverbrennungsanlage („Optimierung KS – KSWA“),
2. Optimierung der Verwertung gemischter gewerblicher Siedlungsabfälle und gemischter Bau- und Abbruchabfälle („Gem. Bau- / Siedlungsabf.“),
3. Verwertung Mähgut über HTC („Mähgut“),
4. Mitverbrennung EBS aus Sperrmüll im Zementwerk („Sperrmüll-EBS Fraktion“).

⁶⁰ "Asphalt" ist wegen entfallender Mehrkosten (Nenner= 0) nicht darstellbar.

Indexwert zwischen 400 und 1.000:

1. Mitverbrennung Altteppiche im Zementwerk („Altteppiche“),
2. Verwertung Laub über HTC und MPS/MBS/MA („Laub“),
3. Gesteigerte stoffliche Verwertung Altreifen („Altreifen stoffliche Verwertung“),
4. Gesteigerte getrennte Erfassung trockener Wertstoffe („Umlenkung trock. Wertst.“),
5. Optimierung Verwertung Straßenkehricht („Straßenkehricht-Mittelfraktion“),
6. Gesteigerte getrennte Erfassung E-Schrott („E-Schrott“),
7. Optimierung der Bioabfallverwertung in der neuen BSR-Bioabfallvergärung („Bioabf Verg. optimiert“).

Die Kosten konnten wie erwähnt überwiegend nur orientierend ermittelt werden und dienen hier ergänzend zur ersten Einschätzung der Kostenauswirkung der Maßnahmen. Eine tatsächliche Umsetzung von einzelnen Maßnahmen erfordert eine fundierte Kostenbetrachtung anhand konkreter Planungsdaten.

6 Controlling und Instrumente zur Umsetzung

Instrumente zur Umsetzung einer vorbildhaften klimafreundlichen Abfallwirtschaft können grundsätzlich auf verschiedenen Ebenen ansetzen. Neben rechtsverbindlichen Vorgaben durch das Land Berlin sind dies v. a. mögliche Anreizwirkungen durch z.B. Förderprogramme oder kooperativ mit den Abfallentsorgungsbetrieben durchgeführte Aktionen im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit. Beispiele sind:

- Anwendung des Berliner Ausschreibungs- und Vergabegesetzes sowie der Verwaltungsvorschrift Beschaffung und Umwelt bei der externen Entsorgung kommunaler Abfälle,
- klimaschonende Verwertung von Abfällen durch entsprechende Regelungen (z.B. Methanminderung, hohe Energieeffizienz) in einem zukünftigen Klimaschutzgesetz,
- Aufnahme entsprechender Regelungen bei der geplanten Novellierung des Berliner Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes,
- Festlegung entsprechender Abfalltarife zur Akzeptanzerhöhung und zur Optimierung der Getrenntsammlung,
- Festschreibung dieser klimafreundlichen Abfallkonzeption bei der Fortschreibung des Berliner Abfallwirtschaftskonzeptes 2015.

Diese und andere in Frage kommende Instrumente wurden hinsichtlich ihrer Eignung für die 36 untersuchten Abfallarten geprüft. Entsprechende Empfehlungen finden sich in Kapitel 5 erläutert.

Als **Instrument für das Controlling** des erarbeiteten Maßnahmenplans bzw. zur Berücksichtigung künftiger Entwicklungen wurde im Rahmen der Studie ein Tool zur Fortschreibung einer länderübergreifenden Klimagas- und Mengenbilanzierung der relevantesten Abfallarten entwickelt. Als Basis wurde das Softwareprogramm Excel gewählt, da dies als allgemein bekanntes Kalkulationsprogramm ohne weitere Schulungen direkt verwendet werden kann. Die erstellte Exceldatei beinhaltet die in dieser Studie erstellten THG-Bilanzen für die 36 Abfallarten.

Das Tool sollte nicht nur zur Überprüfung und Beurteilung der Wirkung von entwickelten Maßnahmen dienen, sondern v. a. für eine geeignete Fortschreibung der Konzeption. Damit ist das Tool geeignet, die Anforderungen nach dem Berliner Abfallwirtschaftskonzept zu erfüllen, wonach dem Abgeordnetenhaus alle fünf Jahre eine Stoffstrom- und Klimagasbilanz über die relevanten Abfallmengen in Berlin vorgelegt werden soll.

Ebenfalls bei der Erstellung des Tools zu berücksichtigen war, dass dieses künftig um weitere Umweltwirkungen für die relevanten Abfallströme des Landes Berlin ergänzt werden soll. Eine solche Bilanzierung bildet eine wichtige Hilfestellung zur Steuerung hin zu einer hochwertigen und klimaschonenden Verwertung insbesondere für kommunale Abfallströme.

Vor diesem Hintergrund stand die Entwicklung des Tools vor der Herausforderung, ein möglichst flexibles, anpassbares Controlling-Instrument zu kreieren mit einem möglichst hohen Parametrisierungsgrad, das umgekehrt aber möglichst einfach und leicht nachvollziehbar gestaltet sein sollte und Raum für Erweiterungen bietet. Als Lösung wurde das

Tool zunächst komplex und flexibel konzipiert mit der Option, später für die geplante Ausweitung auf weitere Umweltwirkungen Vereinfachungen vorzunehmen.

Entsprechend sind in der jetzigen Fassung alle durch die 36 Abfallarten ausgelösten Abfallströme genau dokumentiert und können jederzeit für eine veränderte Situation angepasst werden. Auch für die Berechnung der THG-Bilanzen wurde darauf geachtet, nur in weniger relevanten Fällen mit aggregierten Emissionsfaktoren zu arbeiten. Bei der Mehrzahl der betrachteten Abfallarten sind der Energiebedarf, die Emissionen und die Substitutionspotenziale aus der Behandlung der Abfallarten in Behandlungsanlagen weitgehend als Parameter abgebildet und können entsprechend jederzeit verändert werden.

	A	B	C	D	E
1	Betrachtete Abfallfraktionen	Menge [Mg]		Outputmenge [Mg]	
2	nach Sammel-/Erfassungssystem	2010		2010	Bemerkung
3	Summe alle	6.683.879		6.739.141	
4		Übertrag Auswertung	Exceldatei	Übertrag Auswertungen	
5	Boden und Steine	2.160.000	"IFEU_Mineralische Abfä	2.010.588	Diff wg. Sortierung
6	Bauschutt	851.647	"IFEU_Mineralische Abfä	782.115	Diff wg. Sortierung
7	Beton	791.439	"IFEU_Mineralische Abfä	1.135.282	Diff wg. Sortierung
8	Asphalt	181.613	"IFEU_Mineralische Abfä	112.088	Diff wg. Sortierung
9	Baggergut	4.422	"IFEU_Mineralische Abfä	4.422	Abfrage Wasserbauämter, Abfallb
10	Haus- und Geschäftsmüll	858.366	"IFEU_Übersicht Masser	858.366	Aufkommen BSR-Bilanz; Behandlu
11	Upfl. Gewerbeabfälle	23.096	"IFEU_Übersicht Masser	23.096	Aufkommen BSR-Bilanz; Behandlu
12	Sonst. Abfallarten Gewerbe und Industrie	27.091	"IFEU_Übersicht Masser	27.091	Aufkommen BSR-Bilanz; v.a. Kran
13	Gemischte Siedlungsabfälle aus Gewerbe	143.925	"IFEU_Sonderauswertung	143.925	Aufkommen aus Sonderabfrage V
14	Gemischte Bauabfälle	203.352	"IFEU_Sonderauswertung	203.352	Aufkommen aus Sonderabfrage V
15	Klarschlamm (TS im Mittel 29%)	301.671	"ICU_Organik-Bilanz Ber	301.671	Aufkommen Angaben BWB; Abw
16	Spermüll	43.526	"IFEU_Massenströme-Si	43.526	Aufkommen zur Sortierung nach B
17	Straßenkehricht	101.557	"IFEU_Massenströme-Si	101.557	Aufkommen BSR-Bilanz; unterteilt
18	Papier, Pappe, Karton (PPK)	189.279	"IFEU_Massenströme-Si	189.279	Aufkommen DSD Mengenstromna
19	Altglas	67.958	"IFEU_Massenströme-Si	67.958	Aufkommen DSD Mengenstromna
20	Leichtverpackungen (LVP)	75.545	"IFEU_Massenströme-Si	75.545	Aufkommen DSD Mengenstromna
21	Stoffgleiche Nicht-Verpackungen GTP	4.500	"IFEU_Massenströme-Si	4.500	Aufkommen Mitteilung ALBA
22	Orange Box	1.410	"IFEU_Massenströme-Si	1.410	Aufkommen BSR-Bilanz
23	Alttextilien	31.749	"IFEU_Massenströme-Si	31.749	Gesamtaufkommen hochgerechn
24	Altteppiche	5.035	"IFEU_Massenströme-Si	5.035	Aufkommen BSR-Bilanz
25	Altreifen	20.108	"IFEU_Massenströme-Si	20.108	Gesamtaufkommen hochgerechn
26	E-Schrott	16.123	"IFEU_Massenströme-Si	16.123	Aufkommen BSR-Bilanz; unterteilt
27	Altmetalle	8.738	"IFEU_Massenströme-Si	8.738	Aufkommen BSR-Bilanz
28	Altholz	147.862	"ICU_Organik-Bilanz Ber	147.862	Gesamtaufkommen Summe Aufko
29	Baum-/Strauchschnitt	45.892	"ICU_Organik-Bilanz Ber	45.892	Gesamtaufkommen Summe Aufko
30	Weihnachtsbäume	2.324	"ICU_Organik-Bilanz Ber	2.324	Aufkommen BSR-Bilanz
31	Bioabfall (BIOGUT)	58.155	"ICU_Organik-Bilanz Ber	58.155	Aufkommen BSR-Bilanz
32	Eigenkompostierung Bio- und Grünabfall	100.939	"ICU_Organik-Bilanz Ber	100.939	Aufkommen berechnet (ICU)
33	Laubsäcke	15.855	"ICU_Organik-Bilanz Ber	15.855	Aufkommen BSR-Bilanz
34	Laub / Straßenaub	56.395	"ICU_Organik-Bilanz Ber	56.395	Gesamtaufkommen Summe Aufko
35	Straßenbegleitgrün (Kehricht Organikfraktion)	4.758	"ICU_Organik-Bilanz Ber	4.758	Aufkommen BSR-Bilanz
36	Mähgut	43.600	"ICU_Organik-Bilanz Ber	43.600	Aufkommen aus Erhebung Bezirks
37	Speisereste	37.325	"ICU_Organik-Bilanz Ber	37.325	Aufkommen Abfrage Behandlungs
38	überlagerte Lebensmittel	24.106	"ICU_Organik-Bilanz Ber	24.106	Aufkommen Abfrage Behandlungs
39	Fettabscheiderinhalte (10-20%TS)	12.873	"ICU_Organik-Bilanz Ber	12.873	Aufkommen Abfrage Behandlungs
40	Altfette	5.500	"ICU_Organik-Bilanz Ber	5.500	Aufkommen Abfrage Behandlungs
41	Pferdemist	9.282	"ICU_Organik-Bilanz Ber	9.282	Aufkommen berechnet aus Anzahl
42	Rechengut	6.864	"ICU_Organik-Bilanz Ber	6.864	Aufkommen Angaben BWB; Summ

Abbildung 6-1 Bildschirmfoto Exceltool Blatt „Abfallliste“

Angesteuert wird die gesamte Berechnung über die Eingabe der Abfallmenge für die 36 Abfallarten. Abbildung 6-1 zeigt das Bildschirmfoto für die entsprechende Abfallliste. Die einzelnen Abfallarten, für die eine THG-Bilanz erstellt wurde, sind darin verlinkt angelegt,

so dass durch Anklicken der Abfallart der Anwender direkt auf die Seite mit der THG-Bilanz für diese Abfallart gelangt.

Das Ergebnis für alle 36 Abfallarten ist auf einem Blatt zusammengefasst, so dass schnell ein Überblick über die Relevanz der Abfallarten hinsichtlich Menge und Auswirkungen auf den Treibhauseffekt erlangt werden kann. Einen Ausschnitt dieses Ergebnisblattes zeigt das Bildschirmfoto in Abbildung 6-2. Ebenfalls auf diesem Blatt stehen auch grafische Ergebniszusammenstellungen zur Verfügung.

Abfallarten	Treibhausgasbilanz		Nachrichtlich			Treibhausgasbilanz			
	Aufkommen	Output	Lasten	Gutschriften	2010	C-Senke	Lasten	Gutschriften	Saldo
	Mg	Mg	Mg CO ₂ -Äq/a				Mg CO ₂ -Äq/Mg		
2010									
Gesamtbilanz Berlin in absoluten Zahlen							Gesamtbilanz Berlin in spezifischen Werten		
Abfallarten	Aufkommen	Output	Lasten	Gutschriften	2010	C-Senke	Lasten	Gutschriften	Saldo
Boden und Steine	2.160.000	2.010.588	0	0	0		0	0	0
Bauschutt	851.647	782.115	0	0	0		0	0	0
Beton	791.439	1.135.282	0	0	0		0	0	0
Asphalt	181.613	112.088	0	554	-554		0	5	-5
Baggergut	4.422	4.422	0	0	0		0	0	0
Haus- und Geschäftsmüll	858.366	858.366	293.098	527.852	-234.754	-7.833	341	615	-273
Übpf. Gewerbeabfälle	23.096	23.096	16.941	24.320	-7.379		734	1.053	-319
Sonst. Abf. Gewerbe Industrie	27.091	27.091	19.471	23.047	-3.576	-146	spezifischer Wert nicht sinnvoll - unterschied		
Gem. Gewerbe- und Bauabf.	347.276	347.276	106.579	189.884	-83.306	-3.478	307	547	-240
Klärschlamm (gefault u. ungefault)	301.671	301.558	51.562	64.480	-12.918		spezifischer Wert nicht sinnvoll - unterschied		
Spermmüll	43.526	43.526	16.479	34.549	-18.069		379	794	-415
Straßenkehrrecht	101.557	101.557	11.900	5.180	6.719	1.837	spezifischer Wert weniger sinnvoll		
PPK	189.279	189.279	45.579	167.134	-121.555		241	883	-642
Altglas	67.958	67.958	3.275	33.843	-30.568		48	498	-450
LVP	75.545	75.545	120.432	159.280	-38.848		1.594	2.108	-514
Wertstoffe GTP	4.500	4.500	6.807	9.061	-2.254		1.513	2.014	-501
Wertstoffe Orange Box	1.410	1.410	1.423	2.261	-837		1.010	1.603	-594
Alttextilien	31.749	31.749	8.594	142.760	-134.166		271	4.497	-4.226
Altteppiche	5.035	5.035	8.577	6.850	1.727		1.703	1.360	343
Altreifen	20.108	20.108	29.407	55.664	-26.257		1.462	2.768	-1.306
E-Schrott	16.123	16.123	10.002	49.555	-39.552		620	3.074	-2.453
Altmetalle	8.738	8.738	2.471	8.749	-6.278		283	1.001	-718
Altholz	147.862	147.862	18.683	116.858	-98.175		126	790	-664
Baum- und Strauchschnitt	45.892	45.892	835	24.207	-23.371		18	527	-509
Weihnachtsbäume	2.324	2.324	130	2.697	-2.367		56	1.160	-1.105
Bioabfall (BIOGUT)	58.155	58.155	8.835	8.782	53	-437	152	151	1
Eigenkomp. Bio- und Grünabfall	100.939	100.939	12.092	10.290	1.801	nur bei Anww	120	102	18
Organikabf. Laubsäcke	15.855	15.855	2.408	2.145	263	-134	152	135	17
Laub / Straßenlaub	56.395	56.395	5.457	6.278	-821	-405	97	111	-15
Straßenbegleitgrün	4.758	4.758	325	255	70	-16	68	54	15
Mähgut	43.600	43.600	2.982	2.338	644	-151	68	54	15
Speisereste	37.325	37.325	2.253	5.678	-3.425		60	152	-92
überlagerte Lebensmittel	24.106	24.106	1.487	3.581	-2.094		62	149	-87
Fettscheiderinhalte	12.873	12.873	1.086	3.388	-2.303		84	263	-179
Altfette	5.500	5.500	2.565	17.293	-14.728		466	3.144	-2.678
Pferdemist	9.282	9.282	683	853	-170		74	92	-18
Rechengut	6.864	6.864	1.103	3.863	-2.760		161	563	-402
Summe	6.683.879	6.739.141	813.520	1.713.526	-900.006				

Abbildung 6-2 Bildschirmfoto Exceltool „Ergebnis“

Ein Beispiel für die Einzelberechnungen der 36 Abfallarten findet sich in Abbildung 6-3. Die Abbildung zeigt die Berechnung für Haus- und Geschäftsmüll für das Jahr 2010. Die Darstellung der Berechnung soll hier nicht dazu dienen, die Zahlen nachvollziehen zu können, sondern das Prinzip des Tools zu erklären. Insofern wurde kein Wert auf die Lesbarkeit gelegt und im Gegenteil wurden einige Werte ausgeblendet insofern es sich um vertrauliche Informationen handelt.

2010 IST		Input		Output		Transport		Energie		Ergebnis absolut		Spezifisches Ergebnis		
verknüpft mit "EF-Daten"		Übertrag Mengen		verknüpft mit "BSR ua Anl"		verknüpft mit "WG them-Anl"		Gutschriften		in kg CO ₂ -Äq pro Jahr		in kg CO ₂ -Äq/ t Gesamtinput		
	YHG-EF	YHG-EF	YHG-EF	YHG-EF	YHG-EF	YHG-EF	YHG-EF	YHG-EF	Aufwand	Gutschrift	Netto	Aufwand	Gutschrift	Netto
	kg CO ₂ -Äq/t	kg CO ₂ -Äq/t	kg CO ₂ -Äq/t	kg CO ₂ -Äq/t	kg CO ₂ -Äq/t	kg CO ₂ -Äq/t	kg CO ₂ -Äq/t	kg CO ₂ -Äq/t						
Hausmüll gesamt	858.366													
Sammlung									6.551.065		6.551.065	8		8
davon														
53%	453.785	MHKW Ruhleben												
19%	161.069	MPS Pankow												
14%	118.662	MPS Reinickendorf												
9%	79.482	MA ORS Grünauerstr.												
5%	45.368	MBA Schöneiche												
A. MHKW Ruhleben														
Behandlung (Input)														
Lastschriften Emissionen aus Behandlung														
Cossil-Gehalt -> CO ₂ -En 7,8% 286														
Hazard in kWh/ Input 6														
Betriebsmittel für RGR 9														
Lastschriften Emissionen aus Energieeinsatz														
Strom aus Eigenzeugung														
Verwertung (Output)														
Schlacke 22% 101.265 Metallaussbeute 45 0														
Eisen 2% 9.684 90% 8.716 100 338														
NE-Metalle 1% 1.213 87% 1.055 100 406														
Heizwert in MJ/kg														
9,1% Nettostrom MHKW Vattenfallstr 95.840.257 0,744														
47,7% Nettowärme MHKW Hauswärme B 504.312.533 0,254														
Summe Lastschriften Transporte 8km 5.646.650 0,119														
Ergebnis MHKW Ruhleben ohne Sammlung														
140.705.213 221.064.618 -80.359.404 310 487 -177														
B. MPS Pankow														
Behandlung (Input)														
Lastschriften Emissionen aus Behandlung														
RTO 443.202 443.202 3 3														
Lastschriften Emissionen aus Energieeinsatz														
Erdgas, Vattenfall 15.322.415 15.322.415 95 95														
Verwertung (Output)														
Eisen 3% 5.263 62% 3.263 100 338														
NE-Metalle 1% 1.921 18% 346 100 406														
Sonstige Abfälle 1% 1.274 Umschlag in Berlin, nicht weiter bilanziert														
Mineralien 8% 13.326 10 0														
EBS 58% 93.890 0														
Rest Wasserverluste 45.395														
Verwertung EBS														
Abschneidegrenze 1% 12,2 99,4% kg CO ₂ -Äq/kWh														
Heizwert in MJ/kg														
91% Mitverbrennung KW Jänischwalde, KW Schwarze Pumpe 85.177 150 Braunkohle 289.488.320 0,412														
5% EHKW Demmin 18% Nettostrom 4.646 230 Strommix D 2.842.249 0,629														
4% EHKW Söder (SE) 27% Nettostrom 3.482 1050 Strommix SE 3.242.190 0,030														
60% Nutzwärme 212.900 0,030														
Lastschriften Emissionen Cossil-Gehalt -> C 11,6%														
Summe Lastschriften Transporte 8km 18.352.570 0,119														
Ergebnis MPS Pankow ohne Sammlung														
59.111.137 131.547.646 -72.436.509 367 817 -450														
C. MPS Reinickendorf														
Behandlung (Input)														
Lastschriften Emissionen aus Behandlung														
RTO 326.513 326.513 3 3														
Lastschriften Emissionen aus Energieeinsatz														
Erdgas, Vattenfall 11.288.248 11.288.248 95 95														
Verwertung (Output)														
Eisen 3% 3.736 62% 2.316 100 338														
NE-Metalle 1% 1.389 16% 250 100 406														
Sonstige Abfälle 1% 1.170 Umschlag teils in Berlin, nicht weiter bilanziert														
Mineralien 9% 10.677 10 0														
EBS 59% 70.552 0														
Rest Wasserverluste 31.138														
Verwertung EBS														
Abschneidegrenze 1% 12,2 100,0% kg CO ₂ -Äq/kWh														
Heizwert in MJ/kg														
63% Mitverbrennung KW Jänischwalde, KW Schwarze Pumpe 44.712 150 Braunkohle 151.959.468 0,412														
34% Zementwerk Rüdersdorf 95% Effizienz Miter 24.290 40 Braunkohle, 5 78.424.786 0,412														
2% EHKW Söder (SE) 27% Nettostrom 1.551 1050 Strommix SE 1.443.981 0,030														
60% Nutzwärme 3.162.003 0,030														
Lastschriften Emissionen Cossil-Gehalt -> C 11,6%														
Summe Lastschriften Transporte 8km 9.925.794 0,119														
Ergebnis MPS Reinickendorf ohne Sammlung														
43.676.719 100.436.439 -56.759.720 368 846 -478														
D. MA ORS Grünauer Str														
Behandlung (Input)														
Lastschriften Emissionen aus Behandlung														
keine														
Lastschriften Emissionen aus Energieeinsatz														
Metallaussbeute														
Verwertung (Output)														
Eisen 3,4% 2.669 62% 1.655 100 338														
Rottefraktion 11% 9.031 50														
EBS 6% 66.681														
Rest Wasserverluste 1.101														
Behandlung Rottefraktion														
Lastschriften Emissionen aus Behandlung														
RTO 62.800 62.800 1 1														
Lastschriften Emissionen aus Energieeinsatz														
Erdgas, Strom 325.434 325.434 4 4														
Lastschriften Emissionen Deponierung MBA 56% 5.045 Methan-E 281.096 281.096 4 4														
Nachrichtlich Gutschrift Deponierung MBA-Rest C-Senke 2.035.600 -2.035.600 26 -26														
Verwertung EBS														
Abschneidegrenze 1% 10,1 100,0% kg CO ₂ -Äq/kWh														
Heizwert in MJ/kg														
9% Hochkalorik IKW Rüders 29% Nettostrom 5.749 40 Strommix D 4.459.105 0,629														
18% Mittelkalorik HKW Leipzig 9% Nettostrom 11.905 110 Strommix D 2.682.187 0,629														
53% Nutzwärme 17.664.562 0,281														
Lastschriften Emissionen Cossil-Gehalt -> C 10,6%														
11% Organik zu flk 7.479														
Lastschriften Emissionen aus Behandlung Organik flk nicht angelagert, nur qualitativ im Bericht erwähnen														
Lastschriften Emissionen aus Energieeinsatz Organik flk Strommix D 47.073 47.073 1 0 1														
KW Jänischwalde Heizwert in MJ/kg 4,5 150 Braunkohle 9.286.597 0,412														
Lastschriften Emissionen Cossil-Gehalt -> C 1,0%														
62% EBS zu EBS-Aufbereitungsanlage Wilmersdorf 41.549 85														
Lastschriften Emissionen aus Energieeinsatz Strommix D 1.176.832 1.176.832 15 0 15														
Heizwert in MJ/kg 11,3														
90% Zementwerk Rüdersdorf 95% Effizienz Miter 37.394 62 Braunkohle, 5 111.088.274 0,412														
Lastschriften Emissionen Cossil-Gehalt -> C 11,7%														
Summe Lastschriften Transporte 8km 9.229.828 0,119														
Ergebnis MA ORS ohne Sammlung														
27.235.949 61.160.359 -33.924.412 343 769 -427														
E. MBA Schöneiche - Berechnung mit Durchschnittswerten für Deutschland														
Behandlung (Input)														
Lastschriften Emissionen aus Behandlung														
RTO 45.368 45														
Lastschriften Emissionen aus Energieeinsatz														
Erdgas, Strommix 7 315.468 315.468 7 7														
Verwertung (Output)														
Eisen 2% 800 62% 496 100 338														
Störstoffe 0,5% 223 zur TA Lauts wegen <1% analog zu "sonstigen Abf." bei MPS auch hier nicht betrachtet														
Deponiefraktion 32% 14.370 50														
EBS 45% 20.460														
Rest Wasserverluste 9.514														
Behandlung Deponiefraktion														
Lastschriften Emissionen Deponierung MBA-Rest Methan-E 800.623 800.623 18 18														
Nachrichtlich Gutschrift Deponierung MBA-Rest C-Senke 5.707.848 -5.707.848 128 -128														
Verwertung EBS														
Abschneidegrenze 1% 13,2 100,0% kg CO ₂ -Äq/kWh														
Heizwert in MJ/kg														
Hochkalorik IKW Rüders 29% Nettostrom 20.460 55 Strommix D 20.662.681 0,629														
0% Nutzwärme 0 0,281														
Lastschriften Emissionen Cossil-Gehalt -> C 16,7%														
Summe Lastschriften Transporte 8km 3.246.904 0,119														
Ergebnis MBA Schöneiche ohne Sammlung														
15.817.542 13.642.447 2.175.095 349 301 48														
Gesamtergebnis														
Sammlung 6.551.065 0 6.551.065 0 0 0														
A. MHKW Ruhleben 453.785 140.705.213 221.064.618 -80.359.404 310 487 -177														
B. MPS Pankow 161.069 59.111.137 131.547.646 -72.436.509 367 817 -450														
C. MPS Reinickendorf 118.662 43.676.719 100.436.439 -56.759.720 368 846 -478														
D. MA ORS Grünauer Str 79.482 27.235.949 61.160.359 -33.924.412 343 769 -427														
E. MBA Schöneiche - Berechnung mit Durchschnittswerten 45.368 15.817.542 13.642.447 2.175.095 349 301 48														
Summe 858.366 293.097.623 527.851.508 -234.753.585 341 615 -273														

Abbildung 6-3 Ausschnitt Exceltool Berechnung 2010 IST für Haus- und Geschäftsmüll

Im Prinzip sind alle Rechenblätter analog dem gezeigten für Haus- und Geschäftsmüll aufgebaut. Wird der Abfall in verschiedenen Anlagen behandelt – wie bei Haus- und Geschäftsmüll im MHKW, den MPS-Anlagen, der MA und der MBA – sind für die jeweilige Behandlung einzelne Bilanzen angelegt, die abschließend zu einer Gesamtbilanz zusammengefasst werden. In diesem Fall können neben einer gesamten Auswertung auch vergleichende Auswertungen der Behandlung in den verschiedenen Behandlungsanlagen vorgenommen werden. Die Excelblätter enthalten die jeweilige Zusammenfassung und grafische Darstellung dieser vergleichenden Auswertung wie das Bildschirmfoto in Abbildung 6-4 für Haus- und Geschäftsmüll zeigt. Die entsprechenden grafischen Darstellungen wurden auch für diesen Bericht verwendet.

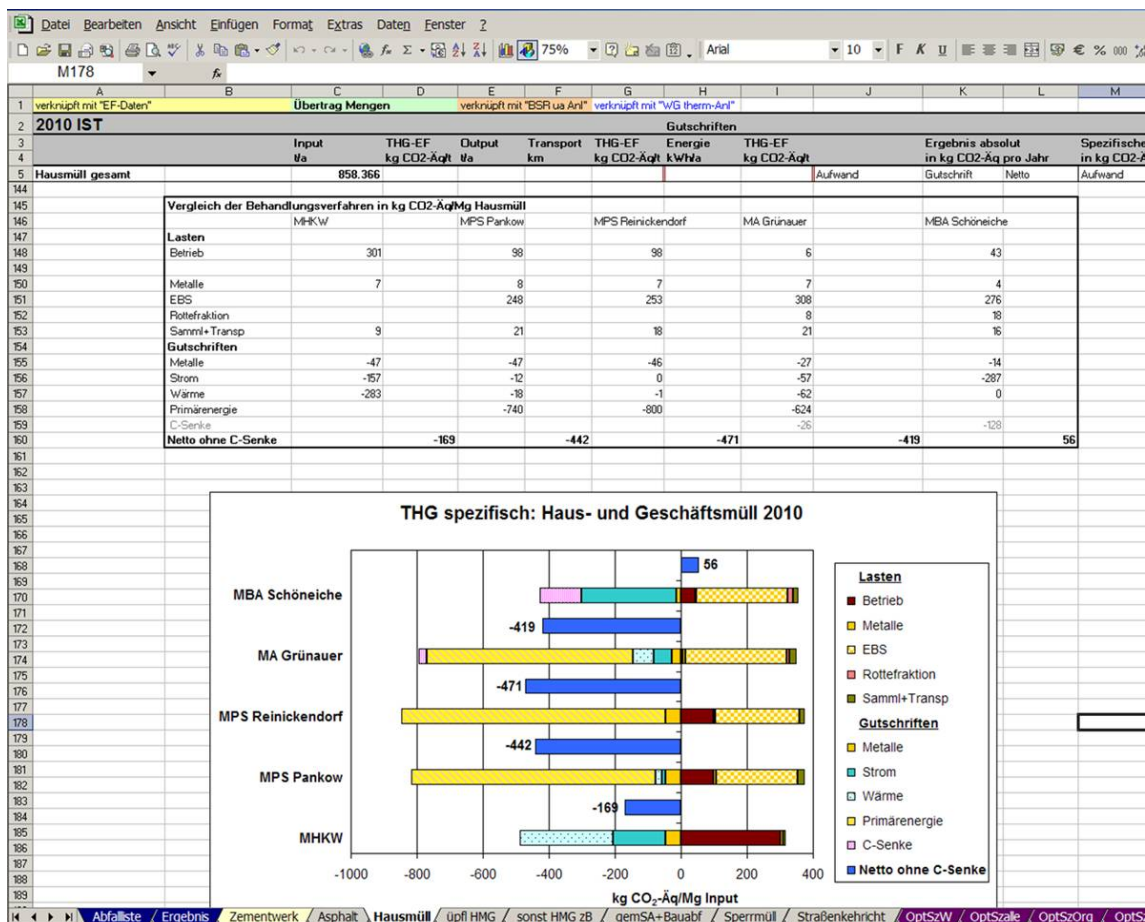


Abbildung 6-4 Bildschirmfoto Exceltool Ausschnitt Blatt „Hausmüll“

Grundsätzlich wurde bei der Erstellung des Tools darauf geachtet, eine Fortschreibung, trotz des hohen Parametrisierungs- und Genauigkeitsgrades, möglichst einfach zu gestalten. Entsprechend sind verwendete Parameter zentral angelegt und deren Verknüpfung ist in den Rechenblättern farblich hervorgehoben. Sämtliche Emissionsfaktoren (EF) und für die Berechnung benötigte physikalische Kenngrößen wie Heizwert und C-Gehalt sind im Blatt „EF-Daten“ zusammengefasst. In den Rechenblättern sind Verknüpfungen, die auf diese Daten zugreifen, gelb markiert.

Emissionsfaktoren										PHYSIKALISCHE GROSSEN							
Treibhausgasemissionen										DICHTE	Heizwert	Heizwert	CFos-Gehal	CS-Gehal	TS-Gehal	Anfr	
CO ₂ -Äq CO ₂ fossil CH ₄ CH ₄ N ₂ O										kg/l	MJ/kg FS	MJ/m ³ a	% FS	% FS	% FS	% FS	
QUELLE																	
PRO																	
g g g g g g g g g g																	
g																	
1 27,75 25 298 IPCC 2007																	
Emissionen										Diesel, Heizöl EL							
5	Strommix D (2008)	kWh/El	629	598	1,03	0,011	vorläufiger Wert nach IFEU (AZWP S.28)				0,880	42,6	47,8	86,0%			
6	Methan	MJ/El	175	166	0,29	0,003					0,032	43,1	9,94	74,9%			
7	Fernwärme Mix D (2008)	kWh/Wh	140	118	0,34	0,043	vorläufiger Wert nach IFEU				0,00072	49		75,1%			
8	Methan	MJ/Wh	39	33	0,09	0,002					0,00078	44		67,3%			
9	Wärmemix D	kWh/Wh	281				IFEU-Berechnungen				8,8			27,1%			
10	Methan	MJ/Wh	78								9,0			27,3%			
11	Strom Vattenfall Berlin	kWh/El	744	706			IFEU-Berechnungen nach Angaben Vattenfall				9,1			27,5%			
12	Methan	MJ/El	207								28,3			71,8%			
13	Fernwärme Vattenfall Berlin	kWh/Wh	175	147			IFEU-Berechnungen nach Angaben Vattenfall				26,8			68,5%			
14	Methan	MJ/Wh	49								26,8			68,4%			
15	Wärmemix Berlin	kWh/Wh	254				IFEU-Berechnungen				25,6			65,7%			
16	Methan	MJ/Wh	71								9,3			7,8%	14,5%	61,1%	
17	Strom und Wärme Schweden	kWh/Wh	30	25,1	0,034	0,010	IFEU-Berechnungen für Strom				8,3			7,8%		61,1%	
18	Methan	MJ/Wh	8	6,983	0,009	0,004	Wert vereinfacht auch für Wärme, 75% St				14,2			20,2%	15,1%	71,4%	
19	Brennstoffbezogene Emissionen (Summe direkte Emissionen und Vorkette Brennstoffe)																
20	Diesel, Heizöl EL																
21	Heizöl EL	kg	3.712				0,042 CO ₂ aus CFos; weitere Daten IFEU				14,9			19,0%		75,0%	
22	Endgas Mix D 2009	kg	2.783				0,050 CO ₂ aus CFos; weitere Daten IFEU				12,3			14,4%	16,8%	78,3%	
23	Steinkohle Mix D 2009	kg	2.961				0,004				16,2			10,7%		80,0%	
24	Braunkohle Mix D 2009	kg	1.030				0,027 CO ₂ aus CFos; weitere Daten IFEU				10,5			12%		55%	
25	Steinkohle Feuerung	kg	408				0,050 CO ₂ aus CFos; weitere Daten IFEU				9			9			
26	Braunkohle Feuerung	kg	2.523	2508	0,01						30			45%			
27	Steinkohle Feuerung	kg	339								15			12%			
28	Heizöl EL Feuerung	kg	544	463	2,73		0,068 IFEU-Datenbank				3,1						
29	Endgas Feuerung	kg	46				IFEU-Datenbank				20			35%			
30	Endgas Feuerung	kg	300				IFEU-Datenbank				25			50%			
31	Endgas Feuerung	kg	235				IFEU-Datenbank										
32	Endgas Feuerung	kg	25	17	0,25		0 IFEU-Datenbank										
33	Endgas Feuerung	kg	760				IFEU-Datenbank										
34	Endgas Feuerung	kg	555				IFEU-Datenbank										
35	Endgas Feuerung	kg	56	35	0,74		IFEU-Berechnung										
36	Endgas Feuerung	kg	44				IFEU-Berechnung										
37	Braunkohle	kg	9	8,7	0,02		0,000 IFEU-Datenbank										
38	Steinkohle	kg	438	155,8	10,00		0,017 ECDINVENT, GEMIS										
39	Betriebsstoffe, Emissionen Behandlungsanlagen																
40	Methanhydrat (Lösskohle)	kg	946	905	0,66		0,0748 IFEU, ECDINVENT										
41	Herdenferikols	kg	547	531	0,17		0,0381 IFEU-Berechnungen										
42	PHYSIKALISCHE GROSSEN																
43	Quelle AFGUS 2009																
44	Mengen 2008																
45	Heizwert																
46	Organanteil (Argus S.30+39, auch Zweib.)																
47	Wassergehalt																
48	Quelle AFGUS 2009																
49	Mengen 2008																
50	Heizwert																
51	Organanteil (Argus S.30+39, auch Zweib.)																
52	Wassergehalt																
53	Betriebsstoffe, Emissionen Behandlungsanlagen																
54	Methanhydrat (Lösskohle)																
55	Herdenferikols																
56	Metallausbeuten BSR																
57	Methanhydrat (Lösskohle)																
58	Herdenferikols																
59	Metallausbeuten BSR																
60	Methanhydrat (Lösskohle)																
61	Herdenferikols																
62	Metallausbeuten BSR																
63	Methanhydrat (Lösskohle)																
64	Herdenferikols																
65	Metallausbeuten BSR																
66	Methanhydrat (Lösskohle)																
67	Herdenferikols																
68	Metallausbeuten BSR																
69	Methanhydrat (Lösskohle)																
70	Herdenferikols																
71	Metallausbeuten BSR																
72	Methanhydrat (Lösskohle)																
73	Herdenferikols																
74	Metallausbeuten BSR																
75	Methanhydrat (Lösskohle)																
76	Herdenferikols																
77	Metallausbeuten BSR																
78	Methanhydrat (Lösskohle)																
79	Herdenferikols																
80	Metallausbeuten BSR																
81	Methanhydrat (Lösskohle)																
82	Herdenferikols																
83	Metallausbeuten BSR																
84	Methanhydrat (Lösskohle)																
85	Herdenferikols																
86	Metallausbeuten BSR																
87	Methanhydrat (Lösskohle)																
88	Herdenferikols																
89	Metallausbeuten BSR																
90	Methanhydrat (Lösskohle)																
91	Herdenferikols																
92	Metallausbeuten BSR																
93	Methanhydrat (Lösskohle)																
94	Herdenferikols																
95	Metallausbeuten BSR																
96	Methanhydrat (Lösskohle)																
97	Herdenferikols																
98	Metallausbeuten BSR																
99	Methanhydrat (Lösskohle)																
100	Herdenferikols																

Abbildung 6-5 Bildschirmfoto Exceltool Ausschnitt Blatt „EF-Daten“

Die Mengenströme, die die Berechnung ansteuern, sind jeweils oben in den Rechenblättern grün markiert eingetragen („Übertrag Mengen“). Die entsprechend hinterlegten Massenströme finden sich im zentralen Blatt für Anlagendaten („Anl-daten“). Einen Ausschnitt dieses Rechenblattes zeigt das Bildschirmfoto in Abbildung 6-6. Darin sind Informationen zu sämtlichen relevanten Anlagen hinterlegt. Dies sind insbesondere jene, die verschiedene Abfallarten behandeln wie das MHKW, die MPS-Anlagen, die MA und MBA und MBS-Anlagen. Des Weiteren sind darin Anlagendaten hinterlegt für die AAS, die gbav, zu den Kläranlagen und darüber hinaus auch allgemeine, durchschnittliche Anlageninformationen wie beispielsweise zu Kompostierungs- oder Vergärungsverfahren.

Die hinterlegten Anlagendaten umfassen sowohl Massenströme, die aus den Abfallberichten oder aus Betreiberinformationen resultieren, als auch technische Kenngrößen zu den Anlagen wie Energieverbrauch und Emissionen. Die Massenströme sind hier ebenfalls grün markiert und können jährlich fortgeschrieben werden. Für Verbrauchsdaten und Emissionen ist nicht zu erwarten, dass diese sich in einem jährlichen Rhythmus ändern. Dennoch hilft die farbliche Markierung (blau) die entsprechenden Daten zu visualisieren und in größeren Zeitabständen neu anzufordern und anzupassen.

Auf dem Rechenblatt für die Anlagen erfolgt auch eine anlagenspezifische Berechnung der THG-Emissionen basierend auf technischen Daten zu Energiebedarf und Emissionen. Insofern für diese Berechnung Emissionsfaktoren wie beispielsweise für den Strombedarf verwendet werden, sind die entsprechenden Stellen auch in diesem Rechenblatt gelb markiert.

Abbildung 6-6 Bildschirmfoto Exceltool Ausschnitt Blatt „Anlagendaten“

In einem weiteren zentralen Blatt („WG therm-Anlagen“) sind sämtliche thermische Anlagen mit ihren Wirkungsgraden zusammengefasst, die EBS einsetzen. Eine Übersicht zeigt das Bildschirmfoto in Abbildung 6-7. Umfasst sind Kohlekraftwerke, Zementwerke, EBS-Kraftwerke, Biomasse-Kraftwerke und Müllverbrennungsanlagen. Insofern sind konkrete Anlagen für Abfallströme benannt werden konnten, wurden Durchschnittswerte für Deutschland verwendet, deren Daten ebenfalls im Blatt „WG therm-Anlagen“ enthalten sind und mit den entsprechenden Stellen in den Rechenblättern verknüpft sind. Damit können sämtliche Wirkungsgrade zentral für das gesamte Tool geändert werden.

Ebenfalls im Rechenblatt vermerkt ist das Substitutionspotenzial für die Behandlung in den verschiedenen thermischen Anlagen. Bei Kraft- und Zementwerken liegt dies in der Substitution des Regelbrennstoffs, bei EBS-Kraftwerken, Müllverbrennungsanlagen aber auch Holz-HKW ist Regelbrennstoff EBS, Abfall oder Holz. Bei diesen Anlagen liegt das Substitutionspotenzial in der erzeugten Menge an Strom und/oder Wärme (s. Kap. 1.3.2).

Das Rechenblatt enthält zudem den Verteilschlüssel, der für die energetische Nutzung von Holz ermittelt wurde, das als Sekundärabfall anfällt. Relevant ist dies v. a. für Holz aus Sperrmüll und Holz aus der Sortierung von gemischten gewerblichen Siedlungsabfällen und gemischten Bau- und Abbruchabfällen. Der Verteilschlüssel ist in Prozentwerten angegeben und als steuernd für die Mengenströme ebenfalls grün markiert.

Betreiber	Standort	Anlage	Wirkungsgrade	Regelbrennstoff	Substitution				
			eta el brutto	eta el netto	eta th netto	Feuerung	Abfall		
Kraftwerke und MVAn									
6	BSR	Berlin	MHKW Ruhleben	0,12	0,09	0,48	Abfall		Strom, Hausheizungswärme Berlin
7	Vattenfall	Lauta	TA Lauta		0,19	0,014	Abfall		Strom, Hauswärmemix D
8	Vattenfall	Berlin	HKW Reuter West		0,33	0,39	Steinkohle		Steinkohle
9	Vattenfall	Berlin	KW Janschwalde		0,36	0	Braunkohle		Braunkohle
10	Vattenfall	Rüdersdorf	IKW Rüdersdorf	0,30	0,28	0	EBS, Gewerbeabfälle		Strommix D
11	Vattenfall	Spremberg	KW Schwarze Pumpe		0,41	0	Braunkohle		Braunkohle
12	Vattenfall	Boxberg	KW Boxberg				Braunkohle		Braunkohle
13	Vattenfall	Lippendorf	KW Lippendorf				Braunkohle		Braunkohle
14	E.ON	Premnitz	EBS-HKW Premnitz	0,19	0,17	0,38	Abfall		Strom, Hauswärmemix D
15	E.ON	Helmsstedt	TRV Buschhaus	0,26	0,22	0	Abfall		Strommix D
16	E.ON	Schwedt	EBS-HKW Leipa	0,10	0,08	0,53	EBS, Papierproduktionsre		Strom, Hauswärmemix D
17	E.ON	Großräschen	EBS-KW Großräschen	0,23	0,21	0	EBS		Strommix D
18	Nehlsen	Stavenhagen	HKW Stavenhagen	0,09	0,07	0,12	EBS		Strom, Hauswärmemix D
19	MHKW Rothersee	Magedburg-Rothense	MHKW Rothersee	0,077	0,06	0,136	Abfall		Strom, Hauswärmemix D
20	InfraTec	Demmin	EHWK Demmin		0,18	0,6	Brennstoffmix (Holz-HKW)		Strom, Hauswärmemix D
21	Soder Energi	Södertälje	EHWK Söder (SE)		0,27	0,6	Brennstoffmix (Schweden)		Strom, Hauswärme SE
22	KSVA	Berlin	KSVA Ruhleben		0,15	0			Strommix Berlin
Zementwerke									
24	Cemex Ostzement	Rüdersdorf	Zementwerk Rüdersdorf				0,95 Braunkohle		Braunkohle
25	Gorazdze Cement	Gorazdze	Zementwerk Gorazdze (PL)				0,95 Braunkohle		Braunkohle
26			Zementwerk Durchschnitt D				0,95 50:50 Braunkohle/Steinkohle		Braunkohle, Steinkohle
Biomasse-HKW									
28	ORS	Rietz-Neuendorf, OT	ORS KW Wilmersdorf		0,22	0,10	A3, A4 Holz		Strom, Hauswärmemix D
29	RWE KAC	Berlin	HHKW Berlin		0,19	0,39	A1-A4 Holz		Strom, Hauswärmemix D
30	Veolia	Königs Wusterhauser	MVV BioPower		0,35	0	A1-A4 Holz, Schleifstaub		Strommix D
31	Unitherm	Baruth	Biomasse-HKW	0,17	0,14	0,66	A1-A4 Holz, Schleifstaub		Strom, Hauswärmemix D
32	Biomasseheizkraft	Ludwigsfelde	Biomasse-HKW	0,15	0,12	0,73	Naturholz, Hackschnitzel		Strom, Hauswärmemix D
Durchschnittswerte Anlagen									
34		Stand 2010	MVA Durchschnitt D	0,15	0,12	0,3	Abfall		Strom, Hauswärmemix D
35		Stand 2010	EBS-KW Durchschnitt D		0,188	0,16	EBS		Strom, Hauswärmemix D
36		Stand 2010	SK-KW Durchschnitt D	0,424	0,39	0,15	Steinkohle		Steinkohle
37		Stand 2010	BK-KW Durchschnitt D	0,384	0,35	0,05	Braunkohle		Braunkohle
38		Stand 2010	Holz-HKW Durchschnitt D	0,24	0,2	0,2	Biomasse		Strom, Hauswärmemix D

Abbildung 6-7 Bildschirmfoto Exceltool Ausschnitt Blatt „WG therm-Anl“

Abschließend enthält das Exceltool ein weiteres zentrales Rechenblatt mit Angaben zu den Adressen bzw. Standorten sämtlicher für die Berliner Abfallströme relevanten Anlagen („Anlagen“). Einen Ausschnitt zeigt das Bildschirmfoto in Abbildung 6-8. Umfasst sind darin Umschlaganlagen, Sortier- und Aufbereitungsanlagen, Brech- und Klassieranlagen, thermische Anlagen, mechanisch-biologische Behandlungsanlagen, Deponien, Tagebaue, Asphaltmischwerke, Vermarktungs- und Recyclingbetriebe sowie Kompostierungs- und Vergärungsanlagen.

Des Weiteren enthält das Rechenblatt Entfernungangaben für Anlagen außerhalb Berlins. Grundsätzlich wurde zur Berechnung der THG-Emissionen aus Transporten vereinfacht ein zentraler Punkt in Berlin angenommen, von dem ausgehend sämtliche Entfernungen ermittelt wurden. Für Transporte zwischen Anlagen in Berlin wurde keine Transportentfernung angesetzt. Diese Vereinfachung hat nur eine geringe Relevanz für das Ergebnis, da THG-Emissionen aus Transporten in der Regel über den gesamten Lebensweg der Entsorgung von Abfällen nur einen untergeordneten Einfluss auf das Ergebnis haben.

	A	B	C	D	E	F	G
1	Anlagenart	Betreiber	Standort	Bezeichnung	Adresse	Entfernung (km)	
62	Deponie	Heim	Berlin	Deponie und Recyclin	13127 Berlin-Arkenberge		
63	Metallrecycling	Interzeroh	Berlin	Interzeroh Metall	13407 Berlin		
64	Metallrecycling	Theo Steil GmbH	Berlin		15068 Berlin		
65	Metallrecycling (Vermarktung)	TSR	Berlin	TSR Thyssen Schrott	Berlin		
66			Berlin	EVE Eichberge (Sanit)	Berlin		
67							
68	Sortieranlage	Habicht	Altlandsberg		Königsweg 1, 15345 Altlandsberg	30	
69	Brecheranlage	Areta	Altlandsberg	ARETA (Brecher)	Altlandsberg	30	
70				RDB	24613 Aukrug	350	
71			Baruth	ZHB Holzverwertung	Baruth	60	
72	Sortieranlage	Ralf Schöder	Basdorf		Steinweg 14, 16352 Basdorf	25	
73		EFIBA	Bassum	EFIBA Handelsgesell	Carl-Zeiss-Str. 6, 27211 Bassum	380	
74	Metallrecycling		Bergkamen	Anlage zur NE-Aufbereitung		480	
75			Bernsu	Hoffmann	16321 Bernsu OT Ladeburg	25	
76	Bauschuttrecyclingsanlage	GAA	Beezskow	GAA Beezskow	Friedländer Berg 1, 15648 Beezskow	95	
77		TSR	Brandenburg	TSR Recycling Branc	Wolterdorferstr. 40, 14770 Brand	60	
78		Nehlsen	Bremen		Bremen	330	
79			Buzendof	Recyclingzentrum Me	14547 Buzendof	65	
80	Metallrecycling		Cottbus	EKO Schrottrecyclin	Cottbus	150	
81	Metallrecycling (Shredders)	Theo Steil GmbH(Kanc	Eberswalde		Angermünder Str. 77, 16227 Eber	55	
82	Metallrecycling		Espenhain	Scholz Recycling	Espenhain	210	
83	Metallrecycling		Espenhain	SRW metalflost GmbH	Espenhain	210	
84	Alurecycling	Pyral AG Freiberg	Freiberg	Pyral AG	Carl-Schiffner-Strasse 37, 09533 I	230	
85	Metallrecycling		Garching bei Münche	AR Schrottaufbereitu	München-Garching	570	
86	Vermarktung		Hamburg	RVI Rohstoffvermark	20533 Hamburg	230	
87		Veolia	Hamburg		Hamburg	230	
88	Metallrecycling	HRR	Henningsdorf	HRR Metallrecycling	Henningsdorf	15	
89	Textilzubereitungsanlage		Himmelforten	Textil-Recycling Norc	Drechslerstr. 2, 21703 Himmelfort	350	
90	Sortieranlage	E.V.A	Hoppegarten		Alt Kaulsdorf 67A, 12621 Berlin(Cc	20	
91	Metallrecycling	Interzeroh	Hoppegarten	Interzeroh Metall	Industriestr. 16, 15366 Hoppegarte	60	
92	Metallrecycling		Itzehoe	ISR Itzehoe-Schrott	25524 Itzehoe	350	
93			Kiel	RHK Roststoff Hand	24143 Kiel, Ottostr. 10	350	
94	Vermarktung		Köching	Makler HKM Köching mit Verwertu		450	
95			Königs-Wusterhausen	Holzrecycling Remine	15711 Königs-Wusterhausen	40	
96	Metallrecycling/Vermarktung	ZAB Zweckverband Ab	Königs-Wusterhausen		15713 Königs-Wusterhausen	40	
97	MBS	ZAB Niederlehme	Königs-Wusterhausen	ZAB Niederlehme	15713 Königs-Wusterhausen	40	
98	Sortieranlage	ORS	Löwenberger Land		Schleuener Weg 1, Teschendorf/Neu	60	
99	BGSA mit Brecheranlage	ORS	Löwenberger Land		Griebener Weg, Teschendorf/Neu	60	
100	Sortieranlage	Becker + Armbrust Gm	Ludwigfelde		Gottlieb Daimler Str. 10, 14374 Luc	55	
101	Vermarktung	LSH Lübecker Schrott	Lübeck		23563 Lübeck	285	
102	Sortieranlage	Eurologistik	Müssen		Nobelstr. 13-15, 03238 Müssen bei	125	
103	Metallrecycling (Vermarktung)	Zijona Logistik	Meißen		21406 Meißen	290	
104	Sortieranlage	BZR Bauzuschlagstoffe	Michendorf		Saarnander Weg 50, 14552 Mische	50	
105	MBA	ABH Abfallbehandlung	Neuen-Schwanebeck	MBA Schwanebeck	14641 Neuen-Schwanebeck	50	
106	Sortieranlage / Metallrecyclin	Gruncke	Oranienburg		Veltener Str. 32, 16515 Oranienbu	35	
107	Sortieranlage	#k environment	Peitz		03185 Peitz	145	
108			Potsdam	KVP Kunststoffe	Marquardt Str. 11F, 14476 Potsdam	40	
109	Vermarktung		Rehde	AB Traidung GmbH	15345 Rehde	40	
110			Rehde	TTG Technische Troc	15345 Rehde	40	
111	Sortieranlage	Heim	Rüdersdorf		Strausberger Str. 3, 15378 Rüders	40	
112		Nehlsen	Schönerlinde		Schönerlinde	20	
113	Aktenvernichtung	Münchener Aktenvern	Schwedt	MAD	16303 Schwedt/Oder	110	
114		Recon-T GmbH	Schwedt	Recon	Forststr. 20-24 (Breite Allee 20-24	110	
115			Schwielowsee	Richter Recycling	14548 Schwielowsee	55	
116			Serftenberg	EVE Eichberge	Brieseker Str. 13, 01968 Serftenbe	150	
117	Vermarktung		Storfurt	EVZA Energie- und v	33418 Storfurt	200	
118			Tausche	Kiesewetter	15848 Tausche bei Sterkow	30	
119	Sortieranlage	BMA d. Rv/G I	Töpchin	BMA Rv/G I Baustoff	15755 Töpchin	40	
120		Veolia Umweltservice	Tribseez		18465 Tribseez	260	
121	Sortieranlage	HBA	Velten		Am Hafen 2, 16727 Velten	40	
122		ALBA	Velten		Breite Straße, 16727 Velten	40	
123	Metallrecycling	Interzeroh	Velten	Interzeroh Berlin	16727 Velten	40	
124	Metallrecycling (Vermarktung)	A/U Abfallwirtschafts-	Velten		16727 Velten	40	
125	Metallrecycling	Schrott-Wetzel GmbH	Vogelodorf	Schrott-Wetzel	Industriestr. 12, 15370 Vogelodorf	25	
126			Wandlitz	BSB	16348 Wandlitz OT Schönerlinde	30	
127	Sortieranlage	Remondis	Werneuchen		Mühlenstr., 16356 Werneuchen	30	
128		Tönzmeier	Westergehn	Tönzmeier Kunststoff	Bornow 10, 33448 Westergehn	150	
129	Metallrecycling (Vermarktung)	Interzeroh Jade-Stahl	Willemschagen		26382 Willemschagen	430	
130	Vermarktung		Witschoten (NL)	Waste Paper Trade	16722 BN Witschoten, NL	525	
131			Wittichenau	V&C Metzner Dubini	02397 Wittichenau	175	
132			Zauchwitz	Recyclingcenter Zau	14547 Zauchwitz	55	
133	MBA	MEAB	Zossen OT Schöneich	MBA Schöneiche	Am Gallener Kanal, 15806 Zossen	45 am gleichen Str	
134							
135	EBS-Aufbereitung	ORS	Pietz-Neuendorf	ORS EBS-Anlage W	15848 Pietz-Neuendorf OT Wämer	95	
136	EBS-Aufbereitung	Fehr	Schipkau	Fehr Lichtfeld(Auf	01968 Schipkau/OT Hörtitz	135	
137	Therm. Anlage	Unitihem	Baruth	Biomasse-HKw/ Barut	15837 Baruth	60	
138	Therm. Anlage	Vattenfall	Boxberg	Kw/ Boxberg	02943 Boxberg/DL	130	
139	Therm. Anlage	Infra Tec 3 KG	Demmin	EHKw (Holz-HKw) D	Meyenkrebs 13, 17103 Demmin	230	

Abbildung 6-8 Bildschirmfoto Exceltool Ausschnitt Blatt „Anlagen“

7 Akteursbeteiligung und Öffentlichkeitsarbeit

Ein wesentlicher Aspekt der Erstellung des Maßnahmenplans zur Umsetzung einer vorbildhaften klimafreundlichen Abfallwirtschaft im Land Berlin war die Öffentlichkeitsarbeit vor allem in Form der Akteursbeteiligung. Die Entwicklung eines Maßnahmenplans kann nur Erfolg haben, wenn die relevanten Akteure in den Findungsprozess einbezogen werden. Dies erfolgte im Rahmen der Studie sehr umfangreich. Im Verlaufe des Projektes wurden zahlreiche Gespräche mit den abfallwirtschaftlichen Hauptakteuren in Berlin und im Umland durchgeführt. Des Weiteren erfolgte eine umfassende Einbeziehung von relevanten Behörden, und nicht zuletzt wurde diese Untersuchung der breiten Öffentlichkeit bekannt gegeben.

Zur Einbeziehung der abfallwirtschaftlichen Hauptakteure in Berlin und im Umland wurde zu Beginn des Projektes eine Kurzübersicht zum Projekt erstellt und an die betroffenen Institutionen zunächst zur Information übersandt mit dem Hinweis, dass vorgesehen ist, im Weiteren das direkte Gespräch aufzunehmen.

Im Weiteren wurde mit den Betreibern von relevanten Behandlungsanlagen in Berlin – wie vor allem den BSR, ALBA, der ORS, der gbav – der direkte Kontakt aufgenommen zur Abstimmung relevanter Daten. Abgefragt wurden in diesem Zusammenhang die Kenndaten der jeweils betriebenen Anlagen hinsichtlich Mengenbilanzen, technischer Beschreibung, Qualitätsdaten von Input und Produkten und Energieeinsatz.

Je nach Umfang und Einfluss auf die Abfallströme in Berlin gestaltete sich der Austausch mitunter sehr umfangreich. Es wurden Fachgespräche geführt, die gestellten Fragen weiter erläutert und erörtert, Anlagen besichtigt, und es erfolgte ein intensiver Austausch hinsichtlich der Intentionen und Optimierungsperspektiven mit den Hauptakteuren.

Alle angesprochenen Institutionen reagierten auf den Projektinhalt und die Anfrage sehr kooperativ und stellten die angefragten Informationen soweit möglich zur Verfügung. Zurückhaltung bestand vorrangig bei der Bekanntgabe von Kostendaten. In einigen Fällen wurden vertrauliche Informationen übermittelt. Diese wurden berücksichtigt, jedoch nicht im Bericht ausgewiesen. Mit einigen Akteuren wurde zudem vereinbart, ihnen die sie betreffenden Berichtstexte vor Veröffentlichung zur Verfügung zu stellen.

Bezüglich einiger Akteure wurden besondere Abfragen entwickelt, so beispielsweise für die Berliner Asphaltmischwerke. Ebenso wurden stichprobenartige Abfragen bei Berliner Transportunternehmen und Containerdiensten durchgeführt, um die Relevanz von Direktverbringungen von mineralischen Abfällen zur Verwertung im Umland einzuschätzen. Darauf folgend wurde eine Sonderabfrage konzipiert, die an Berliner und Brandenburger Vorbehandlungsanlagen hinsichtlich Informationen zur Behandlung von gemischten gewerblichen Siedlungsabfällen und gemischten Bau- und Abbruchabfällen gerichtet wurde. Gerade in diesem Bereich liegen nur sehr wenige Informationen vor. Durch die Sonderabfrage konnte eine wesentliche Informationslücke geschlossen werden.

Ebenfalls eine Sonderposition nahm eine Abfrage der Anbieter von Pyrolyse- und HTC-Anlagen ein. Speziell die Hydrothermale Karbonisierung (HTC) erscheint nach den Erfahrungen der Pilot- und Technikumsanlagen als sehr aussichtsreiches Verfahren besonders für die Behandlung von feuchten Grünresten und wurde daher detailliert untersucht. Hier wurde ein Fragenkatalog zur Abfrage der wesentlichen Kenndaten versandt und von den

Unternehmen beantwortet. Die ausgewerteten Informationen lieferten einen wichtigen Beitrag zur Entwicklung des Maßnahmenplans für organische Abfälle.

Die im Rahmen des Projektes einbezogenen Akteure und der inhaltliche Austausch mit diesen ist nachfolgend in Tabelle 7-1 als Übersicht zusammengefasst.

Detailliertere Angaben zum Austausch mit und zu den Aktivitäten von einigen Hauptakteuren sind im Anschluss separat beschrieben.

Des Weiteren folgen einige Informationen zum Informations- und Datenaustausch mit Behörden sowie eine kurze Erläuterung zu den Aktivitäten zur Aufbereitung und Übermittlung der Erkenntnisse aus der Studie für die breite Öffentlichkeit.

Tabelle 7-1 Übersicht wesentliche Akteursbeteiligungen

Institution	Betroffener (Abfall)Bereich	Thema / Aktivitäten	Ergebnisse / durchgeführte Schritte / Planungen
ALBA	Behandlungsanlagen, getrennt erfasste Wertstoffe, Wertstoffrückgewinnung aus Abfällen	Fachgespräche, Datenabfrage; Bereitstellung Informationen zu Menge, Verfahren, Energie- und Stoffbilanzen der Behandlung und Kosten; Erörterung zu Bewertungsfragen, perspektivische Planungen	Beantwortung Fragebogen, Übermittlung technischer Informationen zu Behandlungsanlagen und -wegen, Untersuchungsergebnisse GTP. Perspektivische Untersuchung weiterer Energieoptimierung der MPS-Anlagen, Versuche Erhöhung biogener Anteil; Treffen zum erfolgreichen Austausch/Harmonisierung Bewertungsfragen. Erweiterte Wertstofffassung wird begrüßt, klimaschonende Stofflenkung Gewerbeabfälle unterstützt; Interesse an Einbindung der Behandlung von Grünresten.
Asphaltmischwerke, DEUTAG	Recyclingasphalt	Anlagenbesichtigung und Fachgespräche, Datenabfrage; Bereitstellung Informationen zu Mengen, Verfahren, Energie- und Stoffbilanzen der Behandlung und Kosten, Recycling- und Abnahmepotenziale	Beantwortung Fragebogen, Übermittlung Informationen zu Einsatzmenge und Produkten, Machbarkeit Steigerung Einsatzmenge Schaffung logistischer Voraussetzung für den Einsatz von RC-Asphalt an den Asphaltmischwerken; Hinweis zu möglichen Hemmnissen v. a. durch Ausschreibungspraxis beim Land Berlin sowie beim Bund (DEGIS), die teils RC-freien Aufbau fordern; Notwendigkeit zur Anpassung Ausschreibungspraxis.
BDE - Bundesverband der Deutschen Entsorgungs-, Wasser- und Rohstoffwirtschaft	Optimierung Verwertung gemischter gewerblicher Siedlungsabfälle	Treffen und Austausch zu möglichen Lenkungsmaßnahmen, Stellungnahme mit Bekundung der Unterstützung	Engagement der Berliner Senatsumweltverwaltung und das vom Berliner Senat und Berliner Abgeordnetenhaus beschlossene Abfallwirtschaftskonzept wird ausdrücklich begrüßt, insbesondere Anstrengungen zur Steigerung der hochwertigen Verwertung und zur Stoffstromkontrolle über eine einfache IT-gestützte Eingabemaske; Zusage zur weiteren Zusammenarbeit und zur Unterstützung insbesondere beim Aufbau eines breiten Informationsangebotes und bei der geplanten Umweltbilanzierung; weitere Ergebnisse s. Kap. 5.3.

Institution	Betroffener (Abfall)Bereich	Thema / Aktivitäten	Ergebnisse / durchgeführte Schritte / Planungen
Bezirksämter	Grünreste	Erörterung der Studie zur Verwertung von Mähgut und Laub	Notwendigkeit höherwertiger Aufbereitung wird gesehen, diese muss jedoch am Markt zur Verfügung stehen und darf zu keinen relevanten Mehrkosten führen. Getrennthaltung von holzigen Grünresten zur energetischen Verwertung bereits praktiziert.
BRAL	Speisereste	Mengendaten und Entwicklung	Kontaktvermittlung an die verarbeitenden Vergärungsanlagen
BSR - Berliner Stadtreinigungsbetriebe	Behandlungsanlagen, überlassungspflichtige Abfälle, Sperrmüll, Altholz, Wertstoffe, Laub, Laubsack, Biogut	Datenabfrage; Bereitstellung Informationen zu Menge, Verfahren, Energie- und Stoffbilanzen der Behandlung und Kosten; Erörterung zu Bewertungsfragen, perspektivische Planungen	Beantwortung Fragebogen, Übermittlung technischer Informationen zu Behandlungsanlagen und -wegen, Studienauszug zu Ist-Situation 2009, Studienergebnisse Bioabfallsammlung (kostenlose Biotonne, Biobeutel), Laubversuche; Treffen mit Lösungsfindung zu Bewertungsfragen, weiterer Austausch auch im Gespräch mit Vattenfall zu methodischen Fragen mit abschließender Übereinkunft zu gemeinsamem Verständnis der Bewertung erzeugter Energie. Bau der Vergärungsanlage in Berlin Ruhleben (Betrieb ab 2013), fortgesetzte Untersuchungen z.B. zur Mehrerfassung von Bioabfall (Außenbezirke und Innenstadt), Vorbereitung zur verbesserten Verwertung insb. von Laub (HTC-Anlage in Konzeptentwicklung). Klimaschutzvereinbarung mit der Senatsumweltverwaltung.
BWB - Berliner Wasserbetriebe	Klärschlamm	Fachgespräche, Datenabfrage; Bereitstellung Informationen zur Klärschlammverwertung, Erörterung Optimierungspotentiale Verwertung	Übermittlung Stoffströme und technische Daten, Ökobilanzstudie Kläranlage Wassmannsdorf; intensiver Austausch zu Optimierungsmaßnahmen bzw. -möglichkeiten im Hinblick auf eine klimafreundliche Abfallwirtschaft auf Basis THG-Bilanzierungen. Vorantreiben von Untersuchungen für Optimierungsmaßnahmen u.a. durch angegliedertes Kompetenzzentrum KZWB. Klimaschutzvereinbarung mit der Senatsumweltverwaltung.
Berliner Wohnungsbauunternehmen	Optimierung Abfallerfassung	Fachgespräche, Untersuchung Müllschleusenprojekt durch Innotec	Übermittlung Informationen zum Projekt, enger Austausch, Überstellung von Untersuchungsergebnissen (Kap. 3.11.2).

Institution	Betroffener (Abfall)Bereich	Thema / Aktivitäten	Ergebnisse / durchgeführte Schritte / Planungen
GASAG	Bioabfallvergärung	Fachgespräche, Datenabfrage, Kapazitäten	Übermittlung Studie zur Nachhaltigkeit der Biogasstrategie durch TUM/atz, Diskussion über die Optimierung der Freisetzung von klimarelevanten Emissionen bei NaWaRo-Vergärungsanlagen, Untersuchungen zur Mitbehandlung von Mähgut.
gbav	Straßenkehrrecht	Fachgespräche, Datenabfrage; Bereitstellung Informationen zu Menge, Verfahren, Energie- und Stoffbilanzen der Behandlung	Höherwertige Aufbereitung unter Einschluss von Feinkornwäsche bereits im Einsatz, gbav kann eine höherwertige Straßenkehrrechtensorgung sicherstellen, Anforderungen im Rahmen der VwVBU, die im Januar 2013 in Kraft tritt.
Genan	Altreifenrecycling	Fachgespräche, Datenabfrage; Bereitstellung Informationen zu Mengen, Kapazitäten	Übermittlung bundesweite Daten (keine regionalen verfügbar); Klärung PAK-Problematik. Im Auftrag durchgeführte normkonforme Ökobilanzen belegen ökologische Vorteilhaftigkeit der stofflichen Verwertung nach dem Verfahrensprinzip der Firma Genan gegenüber einer energetischen Verwertung; die Firma Genan könnte diese höherwertige Verwertung ausweiten.
HTC - Lokale Anbieter	Grünreste, Klärschlamm	Fachgespräche, HTC-Testläufe mit Berliner Grünresten, Informationsaustausch mit Entsorgern, BWB, Vattenfall, BTB, RWE	Durchgehend kooperative Bereitstellung von Informationen zu den Technikumsanlagen sowie zu Verfahrensergebnissen.
HTC - Anbieter bundesweit	Grünreste, Klärschlamm	Bereitstellung von Mengen- und Energiebilanzen	Kooperative Zuarbeit bei der Bearbeitung zugesandter Fragebögen
Landesverband GaLaBau	Grünreste	Fachgespräche, Erörterung Mengenpotenziale, Einflussnahme auf Betriebe	Aufgeschlossen hinsichtlich besserer Verwertung von Mähgut und Laub; wenn entsprechende Mindestanforderungen seitens Wohnungsbaugesellschaften bei der Entsorgung von Grünflächenpflegematerial (70% des Anfalls) erfolgen, ist eine optimierte Verwertung möglich.

Institution	Betroffener (Abfall)Bereich	Thema / Aktivitäten	Ergebnisse / durchgeführte Schritte / Planungen
ORS	MA Grünauer Str	Fachgespräche und Anlagenbesichtigung, Datenabfrage; Bereitstellung Informationen zu Menge, Verfahren und Stoffbilanzen der Behandlung	Technische Informationen zur Anlage, Erläuterung Funktionsprinzip Stoffstrombehandlung, Facheinschätzung Bewertung der verschiedenen Abfallarten im Input (Hausmüll, gemischte Siedlungs- und Bau- und Abbruchabfälle, Wertstoffe im Sammelsystem Orange Box). Perspektivisch auch derzeitige Rottefraktion so aufbereiten, dass sie mit der abgetrennten organikreichen EBS-Fraktion verwertet werden kann; allerdings endet Entsorgungsvertrag für Haus- und Geschäftsmüll spätestens 2015, Erörterung zu möglichen Umweltwirkungen dieser Behandlung.
ProKlima / UBP Walldorf	Biomassezentrum	Fachgespräch	Übermittlung Informationen zu Biomassezentrum, Ziel Erzeugung hochwertiger Brennstoff für Einsatz in selbstbetriebenen Biomasse-HKW, ganzheitliches Konzept mit Akteurseinbindung sowohl Rohstofflieferanten (kommunaler Grünschnitt) als auch Wärmeabnehmer (Etablierung Nahwärmenetze). Übertragbarkeit für Berlin nicht gegeben; Schwierigkeit formale Abfalleigenschaft auch für aufbereitete biogene Materialien.
RWE	Grünreste-Verbrennung	Aufnahme z.B. in das Holzheizkraftwerk (HHKW) Rudow bzw. Kraftwerk Schönevide	Günstige Voraussetzungen in HHKW Rudow, da nach 17. BImSchV ausgestattet; derzeit Schwierigkeiten, Grünreste mit höherem Wassergehalt mit dem Brennstoff aufzugeben. Generell Vorkonfektionierung (Heizwert, Korngröße, Aschegehalt) erforderlich; Versuchsläufe in Schönevide mit Holzpellets abgeschlossen.

Institution	Betroffener (Abfall)Bereich	Thema / Aktivitäten	Ergebnisse / durchgeführte Schritte / Planungen
Vattenfall	Dampfverwertung aus MVA und KSVA / Grünreste zur Co-Verbrennung	Fachgespräche, Unterstützung bei Beurteilung zur Energie-/Dampfnutzung; Beitrag zu methodischen Bewertungsfragen hinsichtlich erzeugter Energie; Untersuchungen zur Konfektionierung von Grünresten zu mitverbrennungsfähigen Brennstoffen	<p>Übermittlung wesentlicher Informationen zur Energieerzeugung in Berlin; Austausch auch im Gespräch mit BSR zu methodischen Fragen mit abschließender Übereinkunft zu gemeinsamem Verständnis der Bewertung erzeugter Energie.</p> <p>Vattenfall ist an der Abnahme biogener Brennstoffe interessiert und damit an der Ausweitung der Aufbereitung von Grünresten, versteht sich jedoch grundsätzlich als Abnehmer von Brennstoffen, nicht als Betreiber einer Aufbereitungsanlage.</p> <p>Komplikation ist die formale Abfalleigenschaft auch aufbereiteter biogener Materialien.</p>
Verband Wohnungsbau Berlin/Brandenburg	Wertstofffassung, Grünreste aus Grünflächenpflege	Fachgespräche, Erörterung optimierte Erfassungssysteme Hausmüll; Auslösung verbesserter Grünrestenutzung durch beauftragte Unternehmen	Nebenkostenminderung für Mieter, daher hohes Interesse an kostenoptimierter Abfalltrennung; Aufnahme von Verwertungsstandards für Grünreste in die Leistungsbeschreibung privater GalaBau-Pflegedienste machbar.

Ergänzende Details zu klimaschonenden Aktivitäten der Hauptakteure

BSR - Berliner Stadtreinigungsbetriebe

- Errichtung einer Vergärungsanlage in Berlin-Spandau zur Erzeugung von Energie aus Bioabfall mit einer Jahresdurchsatzmenge von 60.000 Mg – Ziel: Einspeisung ins Gasnetz, Nutzung als Ersatz für Dieselkraftstoff in den Müllsammelfahrzeugen.
- Standort-Vorhaltung für eine weitere Bioabfall-Behandlungsanlage in Berlin-Marzahn zur Verwertung von zusätzlichen Bioabfällen (nach Bedarf – bei höherem Bioabfallaufkommen) mit einer Jahresdurchsatzmenge bis zu 45.000 Mg.
- Untersuchungsprojekte zur Mengensteigerung der Bioabfallererfassung: Außenbereich testweise Bereitstellung kostenloser Biotonnen, Innenstadt erfolgreicher Versuch in Kooperation mit BASF durch Ausgabe biologisch abbaubarer Sammelbeutel.
- MKW Ruhleben: Steigerung des Gesamtwirkungsgrades der Anlage durch Ersatz der alten Kessel 5-8 durch den neuen Kessel A (Inbetriebnahme am 18.6.12) – dadurch Heizöleinsparung, Verminderung Eigenverbrauch Dampf und entsprechend Verbesserung der Effizienz; fortlaufende Erörterung mit Vattenfall zu Optimierungsmöglichkeiten der Dampfnutzung.
- Entwicklungsprojekt zur Erprobung einer HTC-Pilotanlage (Maßstab 10.000 Mg/a) zur Laub- und Grünrestverwertung initiiert. Fachlich positiv seitens Senatsumweltverwaltung beschieden.
- Versuch zur Laubverarbeitung in der MPS Pankow.
- Vereinbarung mit Senatsumweltverwaltung und den Dualen Systemen zur flächendeckenden Einführung einer einheitlichen Wertstofftonne in Berlin ab 01. Januar 2013.

ALBA

- Gemeinsame Entwicklung mit den BSR und den Dualen Systembetreibern zur Einführung einer einheitlichen Wertstofftonne in Berlin als Folge daraus Vereinbarung zur flächendeckenden Einführung Januar 2013.
- Laufende Untersuchungen zur weiteren Energieoptimierung (z.B. Mikrogasturbine) bei den MPS-Anlagen zusätzlich zu den bereits erreichten (insgesamt 20% Energieeinsparung in den Jahren 2007 bis 2011).
- Versuche zur Erhöhung des Anteils an biogenem Kohlenstoff (sofern verfügbar).
- keine Planungen zu neuen Anlagen oder alternativen Entsorgungswegen.

Vattenfall

- Abgeschlossener Großversuch zur Aufbereitung von Biomasse unterschiedlicher Herkunftsbereiche zur Biobrennstoffherzeugung für die Mitverbrennung in Braunkohlekraftwerken (Straßenkehricht, Restabfälle, Gärreste, Rechengut, Laubsackinhalte, Grünabfälle).

- Hohes Interesse an der Aufnahme organischer Reststoffe aus Berlin zur Mitverbrennung. Realisiert für Baum- und Strauchschnitt aus den Bezirken sowie für holzige Grünreste, die über die BSR erfasst werden.
- Fortlaufende Unterstützung der BSR zur Optimierung der energetischen Nutzung aus dem gelieferten Dampf des MHKW Ruhleben.
- Untersuchung der Eignung von HTC-Kohle aus unterschiedlichen Einsatzchargen auf Einsatz in Berliner Kraftwerken.

BWB - Berliner Wasserbetriebe

- Planung eines neuen Abgasreinigungssystems für die KSVa Ruhleben (Schwerpunkt: Quecksilberabscheidung)
- Abgeschlossene Inbetriebnahme der Phosphat-Rückgewinnung im Klärwerk Wassmannsdorf.
- Weiterentwicklung der Klärschlammkonditionierung in Richtung Heizöleinsparung und damit Minderung der THG-Emissionen.
- Erschließung von THG-Entlastungspotenzialen der Abwasserklärung z.B. durch abgeschlossene, detaillierte Untersuchung der Kläranlage Wassmannsdorf über das Kompetenzzentrum Wasser Berlin (KZWB).

GASAG

- Verwertung von Grünschnitt aus Berlin ist machbar, wird aber wegen der großen Entfernung derzeit nicht für wirtschaftlich gehalten. Dennoch wurden labortechnische Untersuchungen von Mähgut aus Berliner Bezirken initiiert.

gbav

- Fortlaufende Optimierung der bestehenden Straßenkehricht-Aufbereitung in Richtung höherer Inertisierung der Reststoffe zur Ablagerung insbesondere durch Einsatz der Bodenwaschanlage.
- Verbesserte Verwertung der organikhaltigen Mittelkornfraktion wird geprüft, avisierte Lösung Behandlung über MBS (analog zur separierten Grobfraktion), ggf. Einsatz im HTC-Verfahren.

Weiterer Informations- und Datenaustausch

Im Verlaufe des Projektes wurden umfangreiche Daten auch bei Genehmigungsbehörden abgefragt. Dies betraf insbesondere Informationen zu den gemischten gewerblichen Siedlungsabfällen und gemischten Bau- und Abbruchabfällen sowie zu den mineralischen Abfällen. Im Nachgang wurden die übersandten Abfallberichte (Vorbehandlungsanlagen, Brecher und Klassieranlagen) mit der Erkenntnis ausgewertet, dass für weitergehende bzw. genauere Informationen anderweitige Schritte zu verfolgen sind (vgl. Kap. 2.7.2).

Insgesamt wurden zur Vervollständigung der Informationen folgende Institutionen angefragt bzw. Abfragen durchgeführt:

- Sonderabfrage zu gemischten gewerblichen Siedlungsabfällen und gemischten Bau- und Abbruchabfällen bei Vorbehandlungsanlagen in Berlin und Brandenburg,

- Abfrage von relevanten Containerdiensten in Berlin und Brandenburg,
- Abfrage bei der MEAB, der Heim Deponie und Recycling sowie den BSR zu Direktanlieferungen und Direktverwertungen von mineralischen Abfällen aus Berlin auf den von diesen Institutionen betriebenen Deponien,
- Auswertung der Kleinen Anfrage Drucksache 5/2965 über die Altablagerung Großziethen zu dort direkt angelieferten und verwerteten mineralischen Abfällen,
- Abfrage beim Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe (LBGR) Brandenburg zum Einbau von tagebaufremdem Material,
- Abfrage beim Amt für Statistik Berlin-Brandenburg zu Daten über Sortier-, Brecher-, Bodenklassieranlagen und Asphaltmischanlagen.

Maßnahmen zur Publikation der Ergebnisse

Durch die Vielzahl der während der Projektbearbeitung erfolgten Kontakte zu den Hauptakteuren ist das Projekt bei den maßgeblichen Entscheidungsträgern der Entsorgungsbranche sowie öffentlichen Einrichtungen bereits umfassend bekannt geworden.

Zur Vorstellung der Ergebnisse dieser Studie wurden bzw. werden folgende Maßnahmen vorgenommen:

- Durchführung einzelner Feedbackgespräche mit relevanten Akteuren zur Ergebniserörterung bzw. Übermittlung der erstellten Texte und Mitteilung zu verwendeten Annahmen,
- Pressemitteilung bzw. Pressekonferenz zu den Ergebnissen der Studie,
- Veröffentlichung dieser Studie auf der Homepage der Senatsumweltverwaltung,
- Rundschreiben inkl. Kurzbericht der Projektergebnisse an alle Akteure,
- Akteursbezogene Merkblätter mit speziell für einzelne Hauptakteure (z.B. HTC-Verband) zusammengefassten Ergebnissen.

Zur Einbindung der breiten Öffentlichkeit diene das bereits eingerichtete Internetportal, auf dem Informationen zum Projekt eingestellt sind, die weiter ergänzt werden sollen. Des Weiteren erfolgte eine Einbindung der Öffentlichkeit z.B. durch Übermittlung der Projekterkenntnisse an Initiativgruppen wie das Projekt CO₂-Trennstadt.

Eine weitere Möglichkeit der Öffentlichkeitseinbindung besteht in Informationen für die Bürgerinnen und Bürger zur Sinnhaftigkeit der Steigerung einer getrennten Erfassung von Wertstoffen beispielsweise durch Flyer.

Zu empfehlen für die Einführung der Wertstofftonne im nächsten Jahr ist eine breit angelegte Bürgerberatung. Diese sollte nicht nur aus einem Informationsangebot im Internet oder durch Broschüren bestehen, sondern die Bürger auch direkt und aktiv beraten durch individuelle Hausbesuche oder Beratungsveranstaltungen vor Ort. In diesem Kontext könnten die Untersuchungsergebnisse dieser Studie herangezogen werden.

8 Zusammenfassung

Nach dem Abfallwirtschaftskonzept für das Land Berlin (2010 bis 2020) soll die Berliner Abfallwirtschaft insbesondere unter den Aspekten des Ressourcen- und des Klimaschutzes neu ausgerichtet und entsprechend optimiert werden. Ziel und Anspruch ist es, eine weitere relevante Reduktion an schädlichen Klimagasen (Kohlendioxid, Methan und Lachgas) spätestens bis 2020 zu erzielen. Zur Evaluierung dieser Ziele sowie zur Steuerung der Abfallströme soll eine jährliche Stoffstrom-, Klima- und Umweltbilanz für die nicht gefährlichen Abfälle erstellt werden.

Ziel und Aufgabe der vorliegenden Studie war es, die abfallwirtschaftliche Situation im Land Berlin hinsichtlich der Abfallmengenströme und der damit verbundenen treibhausgasrelevanten Emissionen zu analysieren, Optimierungspotenziale daraus abzuleiten und in ihren Minderungswirkungen zu bilanzieren sowie einen Maßnahmenkatalog für die mögliche Umsetzung identifizierter Maßnahmen zu erstellen. Für die jährliche Fortschreibung der Stoffstrom- und Treibhausgasbilanz wurde ein anwenderfreundliches Excel-Tool entwickelt, das der Senatsumweltverwaltung für die künftige Bilanzierung dient.

Insgesamt wurden für das Land Berlin 36 Abfallarten untersucht. Die Abfallmengenströme wurden im Wesentlichen basierend auf der BSR-Entsorgungsbilanz und den Jahresabfallberichten der Berliner Behandlungsanlagen nachvollzogen. Insbesondere für gemischte gewerbliche Siedlungsabfälle und gemischte Bau- und Abbruchabfälle erwies es sich jedoch als notwendig, neue Wege der Datenerhebung zu beschreiten. So konnten über eine Sonderabfrage Aufkommen und Verbleib dieser Abfälle bei den relevanten Berliner und Brandenburger Vorbehandlungsanlagen ermittelt werden. Die standardisierte Sonderabfrage soll künftig jährlich durchgeführt werden. Hinsichtlich einiger biogener Abfälle konnte auf die Erkenntnisse der Biomassestudie 2009 zurückgegriffen werden, das entsprechende Aufkommen wurde für das Jahr 2010 aktualisiert.

Insgesamt wurde **für das Jahr 2010 im Land Berlin** für die 36 Abfallarten ein gesamtes **Abfallaufkommen von rund 6,7 Mio. Mg** ermittelt. Überwiegend handelt es sich bei dieser Menge um mineralische Abfälle (rd. 4 Mio. Mg). Weitere mengenrelevante Abfallarten sind vor allem Haus- und Geschäftsmüll (rd. 860.000 Mg) und im Weiteren gemischte gewerbliche Siedlungsabfälle und gemischte Bau- und Abbruchabfälle (rd. 350.000 Mg) sowie Klärschlamm (rd. 300.000 Mg, TS im Mittel 29%). Darüber hinaus sind mit einem nennenswerten Aufkommen die getrennt erfassten Papier, Pappe, Kartonagen (rd. 190.000 Mg), Altholz (rd. 148.000 Mg) Straßenkehricht (rd. 101.500 Mg) und eigenkompostierte Organikmengen (rd. 101.000 Mg) zu nennen. Alle weiteren Abfallarten liegen mit ihrem Aufkommen unter 100.000 Mg.

Nach dem ermittelten Verbleib der Abfälle werden die mineralischen Abfälle überwiegend in Baumaßnahmen, Deponien und Tagebaue eingesetzt. Die überlassungspflichtigen nicht-biogenen Abfälle werden in der Regel über das MHKW Ruhleben, die MPS-Anlagen Pankow und Reinickendorf, die MA ORS Grünauer Straße und die MBA Schöneiche entsorgt. Gemischte gewerbliche Siedlungsabfälle und gemischte Bau- und Abbruchabfälle werden über Vorbehandlungsanlagen sortiert und im Weiteren überwiegend energetisch oder stofflich verwertet. Klärschlamm wird vorwiegend thermisch behandelt. Trockene Wertstoffe wie Papier, Pappe, Kartonagen, Glas, LVP, Almetalle und E-Schrott werden einer stofflichen Verwertung zugeführt. Die weiteren Abfallarten werden mit unterschiedli-

chen Anteilen sowohl stofflich als auch energetisch verwertet. Biogene Abfälle werden überwiegend in offenen Kompostierungsanlagen oder in Vergärungsanlagen behandelt.

Zur Ermittlung der Auswirkungen der Abfallentsorgung auf den Treibhauseffekt wurden Bilanzierungen nach der für die Abfallwirtschaft modifizierten standardisierten Ökobilanzmethode durchgeführt. Dies impliziert einige methodische Randbedingungen und Festlegungen, die im Methodenteil ausführlich beschrieben sind.

Wesentliche Konsequenz für das Verständnis der vorliegenden Studie ist, dass die Treibhausgasbilanzierung nach Abfallart vorgenommen wurde. Das heißt, die Abfälle müssen in ihren Eigenschaften eindeutig definiert sein, um verschiedene Behandlungswege objektiv vergleichen zu können. Das bedeutet auch, dass die Ergebnisse nicht für eine Bewertung von Behandlungsverfahren herangezogen werden können, sondern lediglich dazu, welche Behandlungsarten sich für welche Abfallart aus Klimaschutzsicht vorzugsweise eignen.

Im Sinne der Ökobilanz der Abfallwirtschaft gilt zudem, dass der gesamte Lebensweg der Abfälle betrachtet wird und nicht nur ein Behandlungsabschnitt. Die Systemgrenzen der Betrachtung beginnen mit dem Anfallort des Abfalls und enden mit dessen thermischer Behandlung oder dem aus dem Abfall erzeugten Sekundärprodukt. Ein ganz wesentlicher Aspekt der Bilanzierung liegt in dem aus der Entsorgung jeweils erzeugten Nutzen, wie die Substitution von Primärenergie bzw. Primärenergieträgern oder Primärprodukten. Typischerweise übersteigen diese sogenannten Entlastungseffekte (vermiedene Treibhausgasemissionen) die mit der Abfallentsorgung verbundenen Belastungen durch verursachte Treibhausgasemissionen. In diesen Fällen ergeben sich in der Differenz der verursachten Belastungen und der erzielten Entlastungen sogenannte Nettoentlastungen, die mit negativem Vorzeichen ausgewiesen sind. Faktisch bedeutet dies, dass durch die Abfallentsorgung an anderer Stelle – wie der klassischen Energieerzeugung und der Herstellung von Primärprodukten – Treibhausgasemissionen vermieden werden.

Diese Betrachtungsweise hat jedoch ausschließlich Gültigkeit, so lange für vergleichende Betrachtungen immer die gleiche Gesamtabfallmenge zugrunde gelegt wird. Ansonsten würde im Fall einer Nettoentlastung „mehr“ Abfall zu „mehr“ Entlastung führen und damit zu einem falschen Ergebnis. Dies gilt analog für „weniger“ Abfall. Entsprechend kann eine Abfallvermeidung mit den genannten Systemgrenzen der Ökobilanz in der Abfallwirtschaft nicht beurteilt werden, hierzu bedarf es anderer Instrumente.

Auch ist festzuhalten, dass die ermittelten Ergebnisse für die Abfallentsorgung nur im Land Berlin gelten. Für andere Städte und Bundesländer kann das spezifische Ergebnis nicht übertragen werden bzw. nur dann übertragen werden, wenn identische Randbedingungen vorliegen würden, was in der Regel nicht gegeben ist. Beispielsweise weisen die etwa 60 Müllverbrennungsanlagen (MVA) in Deutschland jede für sich eine spezifische Effizienz auf, entsprechend können die Ergebnisse der Entsorgung von Abfallarten über das MHKW Ruhleben nicht für andere MVAn übernommen werden.

Dennoch kann die durchgeführte Studie eine wichtige Vorbildfunktion für andere Kommunen oder Regionen bieten. Die grundsätzliche methodische Vorgehensweise, die weitergehenden Festlegungen und auch die entwickelten Instrumente zur Ermittlung des Abfallaufkommens und -verbleibs (z.B. Sonderauswertung) liefern eine hervorragende Grundlage für Arbeiten mit gleicher Zielsetzung.

Die für das Land Berlin durchgeführte **Bestandsaufnahme** für die Auswirkungen der Abfallentsorgung auf den Treibhauseffekt führte zu dem Ergebnis, dass der Abfallwirtschaft im Land Berlin bereits für die Ist-Situation eine beachtliche Leistung attestiert werden kann. In Summe ermittelte sich für die Entsorgung der 36 Abfallarten eine erreichte **Treibhausgasentlastung** in Höhe von rd. **-900.000 Mg CO₂-Äq für das Jahr 2010**.

Den höchsten Entlastungsbeitrag mit einem Anteil von 26% trägt dazu die Entsorgung von Haus- und Geschäftsmüll bei. Dagegen weisen die nach Masse bedeutendsten mineralischen Abfälle kaum einen Beitrag zur Entlastung auf, da diese Abfälle weder in ihrer Entsorgung noch nach ihrem Potenzial, Primärprodukte zu ersetzen, mit relevanten Treibhausgasemissionen verbunden sind.

Den zweithöchsten Beitrag zur Treibhausgasentlastung erbringen die Entsorgung von Alttextilien (15% bei Massenanteil von 0,5%) und von Papier, Pappe, Kartonagen (14% bei Massenanteil von 3%). Weitere relevante Treibhausgaserminderungsbeiträge weisen die Entsorgung von Altholz (11% bei Massenanteil von 2%) sowie von gemischten gewerblichen Siedlungsabfällen und gemischten Bau- und Abbruchabfällen (9% bei Massenanteil von 5%) auf. Die Entlastungsbeiträge aller weiteren Abfallarten liegen unter 5%.

Für sieben der 36 untersuchten Abfallarten wurde in der Bestandsaufnahme eine Treibhausgasbelastung ermittelt. Dabei handelt es sich neben Straßenkehricht und Altteppichen ausschließlich um organische Abfälle, die im Jahr 2010 in einfachen offenen Kompostierungsanlagen behandelt oder eigenkompostiert wurden. Des Weiteren in diesem Zusammenhang zu nennen ist die Entsorgung von ungefaultem Klärschlamm, dessen Entsorgung über die KSVA Ruhleben für sich betrachtet ebenfalls zu einer Treibhausgasbelastung führt. Hier ergibt sich nur durch die gemeinsame Betrachtung mit der Entsorgung von gefaultem Klärschlamm, der nach Entwässerung und anteiliger Trocknung in Kraftwerken mitverbrannt wird, in Summe ein Entlastungsbeitrag.

Nach Herkunft betrachtet nehmen die Abfälle aus kommunalen Bereichen einen Anteil von 33% an der ermittelten Treibhausgasentlastung ein.

Ausgehend von der Bestandsaufnahme 2010 konnten in der **Potenzialanalyse 2020** vor allem für die Abfälle Optimierungen abgeleitet und nach der in dieser Studie festgelegten Methodik bilanziert werden, die im Jahr 2010 noch eine Treibhausgasbelastung aufwiesen, darüber hinaus auch für einige weitere Abfallarten. Insgesamt wurde für 18 Abfallarten eine Optimierung untersucht, darunter 12 Abfallarten kommunaler Herkunft. Die **zusätzlich** gegenüber der Bestandsaufnahme durch die Optimierungen erzielbare **Treibhausgaserminderung** berechnet sich zu **-210.000 Mg CO₂-Äq für das Jahr 2020**. Überwiegend wird dieser zusätzliche Beitrag durch die optimierte Verwertung von Abfallarten kommunaler Herkunft erreicht (69%).

Für die Abfallarten Gipsabfälle, Altfette und Fettabscheiderinhalte konnte ein möglicher Minderungsbeitrag nur nachrichtlich ausgewiesen werden. Nach einer vertiefenden Untersuchung könnte insbesondere für diese ein weiteres relevantes Treibhausgaserminderungspotenzial durch eine optimierte Entsorgung bis 2020 erschlossen werden.

Zusammen mit der in der Bestandsaufnahme 2010 ermittelten Entlastung würde sich mit der Potenzialanalyse **im Jahr 2020** eine **gesamte Treibhausgasentlastung** durch die Entsorgung der 36 Abfallarten in Höhe von rd. **-1.110.000 Mg CO₂-Äq** ergeben. Der Anteil der Entsorgung von Abfällen kommunaler Herkunft daran liegt bei 40%.

Mit 27% nimmt die betrachtete Optimierung für die Entsorgung der gemischten gewerblichen Siedlungsabfälle und gemischten Bau- und Abbruchabfälle den höchsten Anteil an der zusätzlichen Treibhausgasminderung ein. Erreicht würde dies v. a. durch eine Steigerung der Wertstoffaussortierung auf 20% durch moderne Sortiertechnik und die Erzeugung einer hochwertigen EBS-Fraktion, die für eine Mitverbrennung in Zementwerken geeignet ist.

Der mit 18% zweithöchste Minderungsbeitrag ergibt sich aus der betrachteten Optimierung für die Verbrennung von ungefaultem und gefaultem Klärschlamm in der KSVA Ruhleben. Ein ganz entscheidender Beitrag dazu besteht in der Annahme verminderter N₂O-Emissionen durch Feuerraumtemperaturerhöhung in der Wirbelschichtfeuerung.

Mit 17% ein ähnlich hoher Minderungsbeitrag würde sich anstelle der im Jahr 2010 erfolgten energetischen Verwertung in EBS-Heizkraftwerken durch die künftige Mitverbrennung von EBS aus Sperrmüll in einem Zementwerk ergeben.

Des Weiteren ist als wesentlicher Beitrag die mögliche künftige Entsorgung von Laub, Straßenlaub anstelle der bisherigen Behandlung in einfachen offenen Kompostierungsanlagen durch eine hochwertige energetische Verwertung (HTC-Verfahren, anteilige Mitbehandlung in MPS, MBS, MA) zu nennen. Der Anteil durch diese Optimierung an der zusätzlichen Treibhausgasminderung beträgt 11%.

Die untersuchte optimierte Entsorgung aller weiteren Abfallarten liefert Anteile zur Treibhausgasminderung, die unter 10% Anteil liegen.

Für einige Abfallarten war keine Optimierung erkennbar bzw. wurde insbesondere bei trockenen Wertstoffen nicht die Optimierung des Verwertungsweges selbst, sondern die Ausweitung einer getrennten Erfassung untersucht. Letzteres erfolgte zudem für Organikabfälle aus Haushalten. Dieser Aspekt der gesteigerten getrennten Erfassung von Wertstoffen durch Entnahme aus dem Haus- und Geschäftsmüll wurde separat in Optimierungsszenarien analysiert. Erforderlich ist diese gesamtsystematische Betrachtung, da durch die Entnahme von Wertstoffen der verbleibende Restabfall in seinen Eigenschaften verändert wird und entsprechend das Ergebnis der Treibhausgasbilanz.

Auch für den Fall der gesteigerten getrennten Erfassung von Wertstoffen konnte ein signifikanter Treibhausgasminderungsbeitrag ermittelt werden. Ausgehend von einer zusätzlich getrennt erfassten Menge an trockenen Wertstoffen von rd. 71.000 Mg und einer zusätzlichen Menge an Organikabfall aus Haushalten (inkl. Laubsack und eigenkompostierten Mengen) in Höhe von rd. 103.000 Mg sowie unter der Annahme einer optimierten Behandlung der bereits bisher getrennt erfassten Bioabfälle wurde eine Treibhausgasentlastung von rund -43.000 Mg CO₂-Äq ermittelt.

Erreicht werden kann diese Treibhausgasminderung durch die stoffliche Verwertung der trockenen Wertstoffe über die bereits etablierten Verwertungswege und durch eine Behandlung der zusätzlich erfassten Organikabfälle über neu zu errichtende TA Luftkonforme Anlagen (Vergärung, HTC).

Das abschließend **gesamte Treibhausgasminderungspotenzial** als Summe der **Potenzialanalyse und der Optimierungsszenarien** ergibt sich zu **rd. -248.000 Mg CO₂-Äq**.

Zusammen mit der in der Bestandsaufnahme 2010 ermittelten Entlastung würde sich damit **im Jahr 2020** eine **gesamte Treibhausgasentlastung** durch die Entsorgung der 36

Abfallarten inklusive einer gesteigerten getrennten Erfassung von Wertstoffen durch Entnahme aus dem Haus- und Geschäftsmüll in Höhe von rd. **-1.148.000 Mg CO₂-Äq** ergeben.

Voraussetzung für die Erreichung dieser Treibhausgasentlastung ist, dass die klimafreundliche Abfallentsorgung im Land Berlin in den Teilen beibehalten wird, in denen sie bereits effizient und hochwertig erfolgt, wie beispielsweise bei der energetischen Verwertung von Altholz.

Für die Erreichung der künftigen Minderungspotenziale gilt als Voraussetzung, dass die den Ergebnissen zugrunde gelegten Randbedingungen in der Praxis umgesetzt werden. Das gilt ganz besonders für die Ausstattung bestimmter Behandlungsanlagen, die eine entscheidende Rolle im Verwertungsweg einiger Abfallarten spielen. Allen voran – aufgrund des höchsten Beitrages zur zusätzlichen Treibhausgasminderung – ist hier eine hochwertige Sortierung von gemischten gewerblichen Siedlungsabfällen und gemischten Bau- und Abbruchabfällen zu nennen, durch die zum einen eine höhere stoffliche Wertstoffausbeute erreicht wird und zum anderen eine EBS-Fraktion erzeugt wird, die vollständig zur Mitverbrennung in Zementwerken eingesetzt werden kann. Von ähnlich hoher Bedeutung sind die Optimierungsmaßnahmen für die Klärschlammverbrennung in einer Wirbelschichtfeuerung vor allem zur Reduzierung von N₂O-Emissionen.

Auch die gesteigerte getrennte Erfassung der Organikabfälle bedingt zur Erreichung des relevanten ermittelten Treibhausgasminderungspotenzials, dass die Behandlung in den beschriebenen TA Luft-konformen Anlagen erfolgt und auch die weitergehende Behandlung von Gärrest optimiert umgesetzt wird.

Alle diese Aspekte sind in den abschließend erstellten Maßnahmenkatalog und die erarbeiteten Leistungsblätter eingeflossen. So enthält der Maßnahmenkatalog eine Reihe von Empfehlungen, wie die erkannten Optimierungen umgesetzt werden können, sowie Hinweise, welche Hemmnisse bestehen. Zudem beinhalten die Leistungsblätter für die relevantesten untersuchten Abfallarten konkrete Mindestkriterien für die optimierte Entsorgung, um die aufgezeigten abfallspezifischen Treibhausgasentlastungen zu erreichen. Insbesondere durch die Verwaltungsvorschrift Beschaffung und Umwelt verfügt das Land Berlin über ein geeignetes Instrument, die kommunalen Abfallarten mittels dieser Leistungsblätter zukünftig einer hochwertigen Entsorgung zuzuführen.

Die ebenfalls enthaltene Kostenbetrachtung bietet eine erste Einschätzung zu den Kostenauswirkungen der vorgeschlagenen Maßnahmen. Bei Umsetzung aller Maßnahmen wurde ein Kostenkorridor von 15,7 -30,5 Mio. Euro pro Jahr ermittelt, woraus sich im Mittel die spezifischen Treibhausgasvermeidungskosten zu 94 €/Mg CO₂-Äq ergeben. Diese Vermeidungskosten liegen gegenüber den Vermeidungskosten anderer Biomasse-Verwertungsverfahren (z.B. Biodiesel, Ethanol aus Weizen) in einem niedrigen Bereich.

Ein wesentlicher Aspekt bei der Erstellung der Studie war die Öffentlichkeitsarbeit. So erfolgte zur Entwicklung eines umsetzbaren Maßnahmenplans ein intensiver und konstruktiver Fachaustausch mit allen relevanten Akteuren, dessen Ergebnisse Berücksichtigung fanden.

Generell stehen die ermittelten Ergebnisse jedoch auch unter verschiedenen Vorbehalten. So mussten für die erforderliche Betrachtung nach Abfallart Modellannahmen entwickelt werden, wie sich die jeweilige Abfallart in einer Behandlungsanlage verhält. Empirische

Daten hierzu liegen nicht vor und selbst für die Abfallgemische ist dies häufig nicht der Fall. Entsprechend ist ein Anliegen aus dem Projekt der an die Akteure abfallwirtschaftlicher Aktivitäten gerichtete Wunsch, künftige Untersuchungen auf eine fundiertere Datenbasis stellen zu können. Im Maßnahmenkatalog wurde vorgeschlagen, in gemeinsamer Aktion ein entsprechendes Analyseprogramm aufzulegen.

Als abschließender Vorbehalt ist aus wissenschaftlicher Sicht die ausschließliche Bewertung der Auswirkungen auf den Treibhauseffekt durch die Abfallentsorgung im Land Berlin zu nennen. Dies lässt sich am Beispiel der energetischen Verwertung über eine Mitverbrennung in Kraft- und Zementwerken begründen. Aus Klimaschutzsicht ist diese Form der energetischen Verwertung mit den mit Abstand höchsten Entlastungseffekten verbunden, da hierdurch faktisch der Regelbrennstoff Kohle heizwertäquivalent ersetzt werden kann. Beschränkt auf diese Sichtweise wäre naheliegendes Ziel, jegliche zur energetischen Verwertung vorgesehenen Abfallströme möglichst in diese Richtung umzulenken, anstatt sie in MVAn, EBS- oder Holz-HKW einzusetzen. Hier bleibt jedoch gänzlich außer Acht, dass bei einer Mitverbrennung in Zement- und Kraftwerken in der Regel mit höheren Schadstoffemissionen (z.B. Quecksilber) zu rechnen ist, wodurch sich gegenüber einer Verbrennung z.B. in einer modernen MVA nachteilige ökologische Auswirkungen ergeben können.

Auch kann aus Klimaschutzsicht keine Optimierung für die massenrelevanten mineralischen Abfälle abgeleitet werden, aufgrund ihrer untergeordneten Bedeutung hinsichtlich Treibhausgasauswirkungen. Umlenkungsmaßnahmen könnten aber im Zusammenhang mit Ressourcenschutzaspekten von Bedeutung sein. Ressourcenschutz ist neben dem Klimaschutz aus aktueller gesellschaftspolitischer Sicht von sehr hoher Bedeutung und sollte unbedingt ebenfalls zur Einschätzung der Auswirkung von Maßnahmen herangezogen werden.

Diese Aspekte werden im Rahmen der anstehenden Umweltbilanzierung der hier betrachteten 36 Abfallarten im Jahr 2012/2013 für das Land Berlin untersucht. Die Ergebnisse daraus führen gegebenenfalls zu anderen Empfehlungen als die, die hier allein aus Klimaschutzsicht abgeleitet wurden.

9 Literatur

- (Alba 2011b) Recycling für den Klimaschutz. Ergebnisse der Fraunhofer UMSICHT-Studie zur CO₂-Einsparung durch Recycling – eine Untersuchung für die Alba Group für 2010. Stand 10/2011
- (Alba 2011a) Recycling für den Klimaschutz. Ergebnisse der Fraunhofer UMSICHT-Studie zur CO₂-Einsparung durch Recycling – eine Untersuchung für die Alba Group. Stand 02/2011
- (ALBA Group 2009) Wir können Recycling. Recyclingstrategien eines privaten Unternehmens. ALBA Group
- (ANS 2012) Biokohle im Blick Herstellung. Einsatz und Bewertung, 54. Symposium des ANS e.V., 2012
- (ANS 2011) Biokohle - Klimaretter oder Mogelpackung, Risiken und Chancen für die Abfallwirtschaft, 53. Symposium des ANS e.V., 2011
- (archea 2011) Gaserträge und Nährstoffgehalte - Abfall, Datenblatt Archea Service GmbH, www.archea-biogas.de/medi/files/10-substrate.pdf, 2011
- (ARGUS 2009a) Menge und Zusammensetzung der beseitigten Gewerbeabfälle in Berlin 2008. Erstellt für die Berliner Stadtreinigungsbetriebe A.ö.R. (BSR). Vorgelegt von ARGUS Berlin, März 2009
- (ARGUS 2009b) Haus- und Geschäftsmülluntersuchung Berlin 2008. Erstellt für die Berliner Stadtreinigungsbetriebe A.ö.R. (BSR). Vorgelegt von ARGUS Berlin, März 2009
- (Aschmann et al. 2010) Aschmann, V., Effenberger, M., Gronauer, A.: Kohlenwasserstoffverbindungen im Abgas biogasbetriebener Blockheizkraftwerke. Landtechnik 5.2010, S.338-339
- (ATV 1996) NO_x- und N₂O-Emissionen bei der Verbrennung von Klärschlämmen*) (KA 7/1996), Arbeitsbericht des ATV/BDE/VKS-Fachausschusses 3.3 "Trocknung, Verbrennung, Energieverwertung", 1996
- (BayLfU 2001) Sammlung und Verwertung von Altteppichen, LfU-3/1-4272
- (BGK 2009) Einführung und Optimierung der getrennten Sammlung zur Nutzbarmachung von Bioabfällen – Handbuch, Hg. BGK und VHE, Dirk Henssen, 2009
- (Blöhse 2012) Anaerobe Verwertung von HTC-Prozesswässern, Dennis Blöhse, Beitrag in "Biokohle im Blick" 73. Symposium des ANS, Berlin 2012
- (Bönig 2006) Verdichtung von Laub in Rundballenpressen, Ingo Bönig, Dissertation Institut für Landmaschinen und Fluidtechnik - TU Braunschweig, Aachen 2006

- (BSR 2012a) Auszug für SenStadtUm der unveröffentlichten Studie: „Bewertung der Abfallentsorgung der BSR anhand ausgewählter ökologischer Kriterien“. Durchgeführt durch das IFEU Heidelberg, im Auftrag der Berliner Stadtreinigungsbetriebe (BSR), Stand 01.03.2012
- (BSR 2012b) BSR-Entsorgungsbilanz 2011. Berliner Stadtreinigungsbetriebe, 2012
- (BSR 2011) BSR-Entsorgungsbilanz 2010. Berliner Stadtreinigungsbetriebe, 2011
- (BSR/SenGUV 2011) Klimaschutzvereinbarung 2011 bis 2015 zur gemeinsamen Entwicklung von Klimaschutz-, abfall- und luftreinhaltepolitischen Maßnahmen des Landes Berlin und der Berliner Stadtreinigung für die Fortschreibung der bisherigen Klimaschutzvereinbarung. Berlin, 14. Sept. 2011
- (Buttmann 2010) HTC-Projekt Kläranlage Kaiserslautern, Marc Buttmann. Beitrag in "Biokohle - Klimaretter oder Mogelpackung?" 72. Symposium des ANS, Berlin 2011
- (BWB 2011) Mitteilungen der Berliner Wasserbetriebe an die Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz Berlin auf projektbezogene Anfrage, Berlin 2011/2012
- (Cuhls 2010) MBA mit Vergärungsstufen – Emissionen, Leckagen und Maßnahmen zur Emissionsminderung. Vortrag am 2.12.2010 in Lübeck-Niemark
- (CUTEC 2010) Bewertung des Anlagenkonzeptes der geplanten Biogasanlage der Berliner Stadtreinigungsbetriebe hinsichtlich Ablufttechnik und Klimarelevanz, Bestandteil der Genehmigungsanlagen, CUTEC 2010
- (DepV 2009) Verordnung über Deponien und Langzeitlager (Deponieverordnung - DepV) vom 27. April 2009 (BGBl. I Nr. 22 vom 29.04.2009 S. 900)
- (Force/CRI/IFEU 2009) Force Technology, Copenhagen Resource Institut (CRI) and IFEU Heidelberg: Comparative life cycle assessment of two options for waste tyre treatment: material recycling vs. co-incineration in cement kilns. On behalf of Genan Business & Development A/S, 2009
- (Fraunhofer UMSICHT 2009) Ergebnisse der Studie von Fraunhofer UMSICHT und Interseroh zu CO₂-Einsparungen durch Verpackungsrücknahme im Dualen System Interseroh, Kurzfassung. Im Auftrag der Interseroh Dienstleistungs GmbH, 2009
- (gewitra 2011) Fachgespräch zu den Projekten „Ermittlung der Emissionssituation bei der Verwertung von Bioabfällen“ (FKZ 206 33 326) und „Ermittlung der Emissionssituation bei der Vergärung von Bioabfällen und der Verwertung in offenen Kompostierungsanlagen“ (FKZ 3709 44 320), 20.6.2011, Abschlussbericht noch unveröffentlicht
- (gewitra 2009) Ermittlung der Emissionssituation bei der Verwertung von Bioabfällen. UFO-Plan FKZ 206 33 326, Februar 2009 (in Überarbeitung)

- (Hiebel et al. 2011) Dr.-Ing. M. Hiebel, B. Dresen, Dr.-Ing. H. Pflaum: Klimaschutz in Zahlen: Ein Umweltdienstleister spart Emissionen. In: Umweltmagazin Dezember 2011, S.12-15
- (ICU 2011) Hochwertige und klimaschonende Verwertung von Mähgut und Laub im Land Berlin. Studie für die Senatsverwaltung für Gesundheit, Umwelt und Verbraucherschutz. ICU-Berlin, Berlin 2011
- (ICU 2009) Bewertung der Eigenkompostierung in Berlin, Teilbericht der Studie Nutzung von Biomasse in Berlin. Studie im Auftrag der Senatsverwaltung für Gesundheit, Umwelt und Verbraucherschutz. ICU-Berlin, Berlin 2009
- (ICU 2008) Szenarien zur Optimierung der Bioabfallsammlung - Aktualisierung 2008. Studie im Auftrag der BSR – unveröffentlicht, ICU-Berlin 2008
- (IFC Consulting 2006) Revised Memorandum for EPA/OSW and USDA-FS, Estimates of Effect of paper Recycling on Forest Carbon, Feb 2006
- (IFEU et al. 2011) Einsatz von Recyclingmaterial aus mineralischen Baustoffen als Zuschlag in der Betonherstellung am Beispiel einer Wohnanlage an der Rheinallee in Ludwigshafen. IFEU Heidelberg in Zusammenarbeit mit b-tu Cottbus, TBS Transportbeton, Scherer+Kohl. Forschungsprojekt gefördert durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt, AZ 26101-23. Heidelberg, Cottbus, Ludwigshafen 2011
- (IFEU/BBH 2010) Biomethan als Kraftstoff: Eine Handlungsempfehlung zur Biokraft-NachV für die Praxis. IFEU Heidelberg und BBH Berlin. Zuwendungsprojekt des BMU, Kennzeichen 03MAP193. Oktober 2010
- (IFEU et al. 2008) Optimierung für einen nachhaltigen Ausbau der Biogaserzeugung und -nutzung in Deutschland. IFEU Heidelberg (Koordinator) und Institut für Energetik und Umwelt (IE) Leipzig, Öko-Institut Büro Darmstadt, Institut für Landschaftsarchitektur und Umweltplanung, TU Berlin, S. Klinski, Berlin, sowie im Unterauftrag Peters Umweltplanung, Berlin. Forschungsprojekt des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), Juni 2008
- (IFEU 2002) Untersuchungen zur Umweltverträglichkeit von Systemen zur Verwertung von biologisch-organischen Abfällen - gefördert durch die DBU (AZ 08848), 2002
- (IFEU 2001) Ökobilanzielle Anforderungen an die Cofermentation von biogenen Abfällen in Faulbehältern. Im Auftrag des Ministeriums für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft NRW, Düsseldorf, 2001
- (IFEU/HTP 2001) Grundlagen für eine ökologisch und ökonomisch sinnvolle Verwertung von Verkaufsverpackungen. Gemeinschaftsprojekt IFEU Heidelberg und HTP, Ingenieurgesellschaft für Aufbereitungstechnik und Umweltverfahrenstechnik, Aachen. Im Auftrag des Umweltbundesamtes Berlin, 2001

- (Interseroh 2008) Recycling für den Klimaschutz. Ergebnisse der Studie von Fraunhofer UMSICHT und INTERSEROH zur CO₂-Einsparung durch den Einsatz von Sekundärrohstoffen. Im Auftrag der Interseroh AG. Stand Mai 2008
- (IPCC 2006) 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 4, Agriculture, Chapter 11, N₂O emissions from managed soils
- (ISWA 2009) Waste and Climate Change. ISWA White Paper. International Solid Waste Association, December 2009
- (Kanthak 2011) Untersuchung und wissenschaftliche Begleitung Tonnen-Kombi; Kanthak & Adam GbR, Studie im Auftrag der Berliner Stadtreinigungsbetriebe, 2011
- (Kanthak & Adam 2008) Kanthak, M., Adam, S.: Probennahme und Analyse von Biogut und Laubsäcken zur Aktualisierung der 1999 durchgeführten Untersuchungen – Endbericht. Bericht erstellt für die Berliner Stadtreinigungsbetriebe, 2008
- (Kanthak/Söling 2012) Bewertung des Einsatzes von kompostierbaren Sammelbeuteln aus ecovio – Material, Manfred Kanthak und Frieder Söling, Müll und Abfall, Ausgabe 08.12.2012
- (Kissel 2010) Empfehlungen für die Auswahl von Rührwerken für Gärbehälter, Biogas Forum Bayern - Nr. IV – 2/2010, <http://www.biogas-forum-bayern.de/publikationen/Empfehlungen.fuer.die.Auswahl.von.-Ruehrwerken.fuer.Gaerbehaelter.pdf>
- (KZWB 2011) Optimisation of energy and nutrient recovery in wastewater treatment schemes – LCA study in Berlin-Waßmannsdorf. Kompetenzzentrum Wasser Berlin (KZWB) gGmbH. Im Auftrag von Veolia Water und Berliner Wasserbetriebe. Berlin, 2011
- (LUBW 2010) Optimierung der Erfassung und Verwertung von Bio- und Grünabfällen in Baden-Württemberg. LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (Hrsg.). Bearbeitet von LUBW und IFEU Heidelberg, 2010, Download: www.lubw.baden-wuerttemberg.de
- (Morscheck 2005) Untersuchung des Lager- und Emissionsverhaltens in Rundballen verpresster und verpackter Restabfälle – Studie für EuRec GmbH, TU Rostock, Morscheck, 2005
- (Öko-Institut/HTP 2012) Analyse und Fortentwicklung der Verwertungsquoten für Wertstoffe. Sammel- und Verwertungsquoten für Verpackungen und stoffgleiche Nichtverpackungen als Lenkungsinstrument zur Ressourcenschonung. Öko-Institut Berlin und HTP Aachen. UFO-Plan Forschungsvorhaben FKZ 3711 33 316, Mai 2012

- (Öko-Institut/IFEU 2010) Klimaschutzpotenziale der Abfallwirtschaft. Am Beispiel von Siedlungsabfällen und Altholz. Öko-Institut Darmstadt und IFEU Heidelberg. Im Auftrag des Umweltbundesamtes, UFO-Plan-Vorhaben FZK 3708 31 302, Januar 2010
- (Oetjen-Dehne 2010) Bewertung der vorhandenen Bioabfallbehandlungsstandorte in Schleswig-Holstein im Hinblick auf eine Ergänzung um Vergärungsstufen, 12. Fachtagung des VHE-Nord, Oetjen-Dehne 2010
- (ORS 2011a) Jahresübersicht über In- und Outputmengen an Abfällen für das Bezugsjahr 2010 der Fa. Otto-Rüdiger Schulze Holz- und Baustoffrecycling GmbH & Co. KG (Fa. ORS) zu den genehmigungsbedürftigen Abfallsortieranlagen auf dem Grundstück der Grünauer Str. 210-216 in 12557 Berlin. Stellungnahmeersuchen SenGUV II C 508 vom 14.02.2011
- (ORS 2011b) Antrag auf Ergänzung der zulässigen Inputstoffe, der mit Bescheid SenGUV VIII C 508-10167 vom 05.01.2005 genehmigten Sortieranlage (Linie II) am Standort Grünauer Str. 210-216 in 12557 Berlin um den Schlüssel AVV 200301, Neuendorf 26.08.2011
- (Petruschke 2011) Modellversuch zur Verarbeitung von Laub in einer MPS-Anlage, für die MPS-Anlage Berlin-Reinickendorf, B. Petruschke 2011
- (Prognos/Berliner Energieagentur 2011) Zwischenüberprüfung zum Gesetz zur Förderung der Kraft-Wärme-Kopplung. Prognos AG und Berliner Energieagentur. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie. Berlin, Basel, 08. August 2011
- (Prognos/IFEU/INFA 2008) Resource savings and CO₂-reduction potential in waste management in Europe and the possible contribution to the CO₂ reduction target in 2020. Prognos AG Berlin, ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg, Institut für Umweltforschung (INFU) TU Dortmund. Im Auftrag einer Koalition europäischer Organisationen der Abfallwirtschaft, Mai 2008
- (SenStadtUm 2011) Siedlungsabfallaufkommen im Land Berlin 2010. Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz Berlin (nicht veröffentlicht)
- (SenGUV 2010a) Abfallwirtschaftskonzept für das Land Berlin. Planungszeitraum 2010 bis 2020. Senatsverwaltung für Gesundheit, Umwelt und Verbraucherschutz. Berlin 21. Juli 2010
- (SenGUV 2010b) Bericht der Senatsverwaltung zur Gelben Tonne Plus, 2010
- (TA Luft 2002) Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft) vom 24. Juli 2002 (GMBl. Nr. 25-29 S. 511)
- (TOMM+C 2006) Erfahrung mit der Planung, Genehmigung und dem Betrieb von Zwischenlagern für Ersatzbrennstoffe, VDI-Seminar Ersatzbrennstoffe, Thomas Obermeier 2006

- (UBA 2012a) Optimierung der Verwertung organischer Abfälle. UBA-Texte 31/2012. Forschungsvorhaben FKZ 3709 33 340, durchgeführt durch das IFEU Heidelberg. Umweltbundesamt, Juli 2012.
- (UBA 2012b) Second Life. Wiederverwendung gebrauchter Elektro- und Elektronikgeräte. Bundesarbeitsgemeinschaft Arbeit e.V., im Auftrag des Umweltbundesamtes, UBA-Texte 39/2012, Juli 2012
- (UBA 2011a) Aufkommen, Verbleib und Ressourcenrelevanz von Gewerbeabfällen. Oetjen-Dehne & Partner Umwelt- und Energie-Consult GmbH, Berlin und Kanthak & Adam GbR Berlin. Im Auftrag des Umweltbundesamtes, UFO-Plan Forschungsvorhaben 3709 33 314, UBA-Texte 19/2011, April 2011
- (UBA 2011b) Planspiel zur Fortentwicklung der Verpackungsverordnung. Teilvorhaben 1: Bestimmung der Idealzusammensetzung der Wertstofftonne. Cyclos GmbH, Osnabrück und HTP GmbH Aachen. Im Auftrag des Umweltbundesamtes, UFO-Plan Forschungsvorhaben 371093 3131, UBA-Texte 08/2011, Februar 2011
- (UBA 2011c) Nutzung der Potenziale des biogenen Anteils im Abfall zur Energieerzeugung. UBA-Texte 33/2011. UFO-Plan FKZ 3707 33 303. Umweltbundesamt Mai 2011
- (UBA 2011d) Beschreibung unterschiedlicher Techniken und deren Entwicklungspotentiale zur Minderung von Stickstoffoxiden im Abgas von Abfallverbrennungsanlagen und Ersatzbrennstoff-Kraftwerken hinsichtlich Leistungsfähigkeit, Kosten und Energieverbrauch. Technische Universität Dresden (TUD). Im Auftrag des Umweltbundesamtes, UBA-Texte 71/2011, November 2011
- (UBA 2010) Export von Elektroaltgeräten. Fakten und Maßnahmen. Umweltbundesamt, Juli 2010
- (u.e.c. 2011) Aktualisierung der Datenlage zum Sammelsystem Gelbe Tonne Plus. u.e.c. Berlin, Bericht im Auftrag der Alba Consulting GmbH, September 2011
- (u.e.c. 2010) Recherche und Untersuchungen an Abfallbehandlungsanlagen in Sachsen-Anhalt und Abgrenzung der Abfallschlüssel 191209 und 191212. Oetjen-Dehne & Partner + Umwelt- und Energie-Consult GmbH, 27. Jan. 2010, Folienpräsentation
- (u.e.c. 2008) Optimierung der Verwertung der gewerblichen Abfälle im Land Berlin bis 2020. u.e.c. Berlin, in Zusammenarbeit mit Kanthak & Adam GbR Berlin. Im Auftrag der Senatsverwaltung für Gesundheit, Umwelt und Verbraucherschutz Berlin, Dezember 2008
- (Vitovec 1991) N₂O-Emissionen aus pyrogenen Quellen in Österreich. Vitovec, W., Dissertation TU-Wien 1991

- (Wasteconsult 2007) Anlagen zur mechanisch biologischen Restabfallbehandlung. UFO-Plan FKZ 206 33 301. Wasteconsult International, im Auftrag des Umweltbundesamt, Juni 2007
- (WBA 2007) Nutzung von Biomasse zur Energiegewinnung – Empfehlungen an die Politik – Wissenschaftlicher Beirat Agrarpolitik beim Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, Verabschiedet im November 2007
- (WI/ICU 2009) Nutzung von Biomasse in Berlin. Studie im Auftrag der Senatsverwaltung für Gesundheit, Umwelt und Verbraucherschutz, Witzenhausen-Institut/ICU, Berlin 2009
- (ZAB 2012) Telefonische Auskünfte zu Stoff- und Betriebsparametern der MBS Niederlehme, ZAB Nuthe-Spree 2012

10 Abkürzungsverzeichnis / Glossar

AAS	Sperrmüllaufbereitungsanlage der BSR
AME	Altfettmethylester (Biodiesel aus Altfett)
AVV	Abfallverzeichnisverordnung
BDE	Bundesverband der Deutschen Entsorgungs-, Wasser- und Rohstoffwirtschaft
BHKW	Blockheizkraftwerk
BSR	Berliner Stadtreinigungsbetriebe
C fossil	fossiler Kohlenstoff
CO ₂ -Äq	Kohlendioxid-Äquivalente (Umrechnungseinheit für klimawirksame Gase)
DAfStb	Deutscher Ausschuss für Stahlbeton
DBU	Deutsche Bundesstiftung Umwelt
EAR	Stiftung Elektro-Altgeräte-Register
EBS	Ersatzbrennstoff
ElektroG	Elektro- und Elektronikgerätegesetz
FS	Frischsubstanz (auch FM, Frischmasse)
GTP	Gelbe Tonne Plus
HKW	Heizkraftwerk
HMG	Hausmüllähnlicher Gewerbeabfall
HTC	Hydrothermale Karbonisierung
Hu	unterer Heizwert
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
ISO	International Organization for Standardization
kGR	kompostierter Gärrest
LAGA	Länderarbeitsgemeinschaft Abfall
LBGR	Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe (LBGR) Brandenburg
LVP	Leichtverpackungen
MA	Mechanische Aufbereitungsanlage
MBA	Mechanisch-biologische Behandlungsanlage
MBS	Mechanisch-biologische Stabilisierungsanlage
Mg	Megagramm (1 Mg = 1 t = 1000 kg)
MHKW	Müllheizkraftwerk

MPS	Mechanisch-physikalische Stabilisierungsanlage
MVA	Müllverbrennungsanlage
NOx	Stickstoffoxide
ORS	Otto-Rüdiger Schulze Holz und Baustoffrecycling GmbH & Co.KG
oTS	Organische Trockensubstanz
PPK	Papier, Pappe, Kartonagen
SenStadtUm	Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz
StNVP	Stoffgleiche Nichtverpackungen
THG	Treibhausgas
TMP	thermomechanical pulp (thermomechanischer Holzstoff)
TOC	total organic carbon (organische Stoffe, angegeben als Gesamtkohlenstoff)
TS	Trockensubstanz (auch TM, Trockenmasse)
VDZ	Verein Deutscher Zementwerke
VwVBU	Allgemeine Verwaltungsvorschrift für die Anwendung von Umweltschutzabforderungen bei der Beschaffung von Liefer-, Bau- und Dienstleistungen (Verwaltungsvorschrift Beschaffung und Umwelt – VwVBU)

Anhang A. Erläuterung zur Wirkungskategorie Treibhauseffekt

Die Wirkungskategorie Klimawandel (Treibhauseffekt) ist bereits in [IPCC 1996] eingehend beschrieben. Die bisher meist in Ökobilanzen angewandte Aggregationsmethode [CML et al. 1992], [Klöpffer 1995] zur Berechnung des Treibhauspotenzials in Form von CO₂-Äquivalenten wird allgemein anerkannt. Mit dem Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) besteht zudem ein internationales Fachgremium, das sowohl die Methode als auch die entsprechenden Kennzahlen für jede klimawirksame Substanz errechnet und fortschreibt. Die vom IPCC fortgeschriebenen Berichte sind als wissenschaftliche Grundlage zur Instrumentalisierung des Treibhauseffektes in ihrer jeweils neuesten Fassung heranzuziehen. Die aktuellen Äquivalenzfaktoren entsprechen dem Wissenstand der Forschung nach [IPCC 2007].

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

Mit einem Treibhauspotenzial bewertet sind ausschließlich fossile CO₂-Emissionen, da biogen gebundenes CO₂ (Pflanzen) der Atmosphäre entzogen wurde und in vergleichsweise kurzen Zeiträumen wieder frei gesetzt wird. Aufgrund der langen Integrationszeiträume beim Treibhauseffekt wird biogenes CO₂ entsprechend als klimaneutral bewertet. Als Folge daraus sind auch Methanemissionen nach ihrer Entstehung unterschiedlich bewertet. Regeneratives Methan (aus der Umwandlung organischer Substanz) weist gegenüber fossilem Methan (aus der Umwandlung fossiler Energieträger) einen etwas geringeren Äquivalenzfaktor auf, da der Äquivalenzfaktor die luftchemische Umsetzung (Oxidation) von Methan zu CO₂ und damit die Treibhauswirkung von CO₂ beinhaltet und aus regenerativem Methan regeneratives und damit klimaneutrales CO₂ entsteht.

Tabelle A-1: Treibhauspotenzial relevanter Stoffe

Treibhausgas	CO ₂ -Äquivalente (GWP ₁) in kg CO ₂ -Äq/kg
Kohlendioxid (CO ₂), fossil	1
Methan (CH ₄), fossil	27,75
Methan (CH ₄), regenerativ	25
Distickstoffmonoxid (N ₂ O)	298

[IPCC 2007, WG I, Chapter 2, Table 2.14]

Der Beitrag zum Treibhauseffekt wird durch Summenbildung aus dem Produkt der emittierten Masse einzelner treibhausrelevanter Schadstoffe (m_i) und dem jeweiligen GWP (GWP_i) nach der nach stehenden Formel berechnet.

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

Quellenverzeichnis zu Anhang A

- (CML 1992) Heijungs, R. et al.: Backgrounds - Environmental Life Cycle Assessment of Products, CML Centre of Environmental Science Leiden University, Dutch Organisation for Applied Scientific Research Apeldoorn (NOVEM) (Hg), B&G Fuels and Raw Materials Bureau Rotterdam (RIVM), 1992
- (IPCC 2007) Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC): Contribution of Working Group I to the 4th Assessment Report: Climate Change 2007, www.ipcc.ch
- (IPCC 1995) Intergovernmental Panel on Climate Change „Climate Change 1995 - The Science of Climate Change“ Houghton, J. T. (Hg), Cambridge University Press, Cambridge 1996
- (Klöpffer 1995) Methodik der Wirkungsbilanz im Rahmen von Produkt-Ökobilanzen unter Berücksichtigung nicht oder nur schwer quantifizierbarer Umwelt-Kategorien. Forschungsprojekt im Auftrag des Umweltbundesamtes, Berlin 1995 (=UBA-Texte 23/95)

Anhang B. Wirkungsgrade und Substitutionseffekte thermische Behandlungsanlagen

Bei der Mitverbrennung in Kraft- und Zementwerken wird der jeweilige Regelbrennstoff ersetzt. Bei der Verbrennung von Abfällen in MVAn und EBS-Kraftwerken und von Holz in Biomasse-Heizkraftwerken sind die Abfälle die Regelbrennstoffe. In diesen Fällen liegt das Substitutionspotenzial in der jeweiligen, in Abhängigkeit der Wirkungs- bzw. Nutzungsgrade erzeugten Menge an Strom und Wärme.

Tabelle B-1: Nutzungsgrade und Regelbrennstoffe bei den betrachteten thermischen Behandlungsanlagen

Anlage	Feuerungswirkungsgrad	Nettowirkungsgrad Strom	Nutzungsgrad Wärme	Regelbrennstoff
HKW Reuter West		0,33	0,39	Steinkohle
KW Klingenberg				Braunkohle
KW Jänschwalde		0,36	0	Braunkohle
KW Schwarze Pumpe		0,41	0	Braunkohle
KW Boxberg		n.b.	n.b.	Braunkohle
KW Lippendorf		n.b.	n.b.	Braunkohle
IKW Rüdersdorf		0,28	0	EBS, Gewerbeabfälle
EBS-HKW Leipa		0,08	0,53	EBS, Papierreststoffe
EBS-KW Großräschen		0,21	0	EBS
HKW Stavenhagen		0,07	0,12	EBS
EBS-HKW Premnitz		0,17	0,38	EBS
MHKW Ruhleben		0,09	0,48	Abfall
TA Lauta		0,19	0,014	Abfall
TRV Buschhaus		0,22	0	Abfall
MHKW Rothensee		0,06	0,136	Abfall
EHKW Demmin		0,18	0,6	Abfall
EHKW Söder (SE)		0,27	0,6	Abfall
KSVA Ruhleben		0,15	0	Klärschlamm
Zementwerk Rüdersdorf ¹⁾	0,95			Braunkohle
ORS KW Wilmersdorf		0,22	0,10	A3, A4 Holz
HHKW RWE KAC Berlin		0,19	0,39	A1-A4 Holz
MVV BioPower		0,35	0	A1-A4 Holz, Schleifstaub
Biomasse-HKW Baruth		0,14	0,66	A1-A4 Holz, Schleifstaub
Biomasse-HKW Ludwigsfelde		0,122	0,73	Naturholz, Hackschnitzel

Anlage	Feuerungswirkungsgrad	Nettowirkungsgrad Strom	Nutzungsgrad Wärme	Regelbrennstoff
MVA Durchschnitt D		0,12	0,3	Abfall
EBS-KW Durchschnitt D		0,188	0,16	EBS
SK-KW Durchschnitt D		0,39	0,15 ²⁾	Steinkohle
BK-KW Durchschnitt D		0,35	0,05 ²⁾	Braunkohle
Holz-HKW Durchschnitt D		0,2	0,2	A1-A4 Holz

1) Auch für Zementwerke allgemein belassen (vgl. Kap. 1.3.2)

2) Vorläufige Werte IFEU-Datenbank

Anhang C. Vorbehandlungsanlagen in Berlin und Brandenburg - Sonderabfrage

Tabelle C-1: Über Sonderabfrage abgefragte Vorbehandlungsanlagen in Berlin und BRB

Anlagenart	Betreiber	Adresse
<i>Land Berlin</i>		
MPS	BSR/ALBA	Markscheider Str. 38, 13407 Berlin-Reinickendorf
AAS	BSR	Gradestr. 81, 12347 Berlin
Umschlaganlage	Alba	Flottenstr. 9, 13407 Berlin
Sortieranlage	Alba	Marzahner Str. 35, 13053 Berlin
Sortieranlage	Bernd Klebs	Barnackufer 27, 12207 Berlin
Sortieranlage	Berg	Buchholzer Str. 62-65, 13156 Berlin
Sortieranlage	ORS (MA)	Grünauer Str., 12557 Berlin
Umschlaganlage	ORS	Blankenburger Str. 18-28, 13089 Berlin
Sortieranlage	Kanellos	Herbergstr. 19-21, 10366 Berlin
Sortieranlage	Nehlsen	Am Vorwerk 5, 13127 Berlin
Sortieranlage	Sisyphos	Wackenbergstr. 65-75, 13156 Berlin
Bauabfall-sortieranlage	Dressler	Grünauer Str. 210-216
Sortieranlage	BTB	Landsberger Allee 397, 12681 Berlin
Sortieranlage	Veolia	Kanalstr. 85, 12357 Berlin
Sortier- und Umschlaganlage	Fehr Umwelt Ost	Köpenicker Chaussee, 10317 B und Nonnendammallee, 13599 Berlin
Brecher- und Klassieranlage	RWG I	Saalburgstr. 3, 12099 Berlin
Brecher- und Klassieranlage	RWG I	Wiesendamm 32, 13597 Berlin
<i>Land Brandenburg</i>		
Sortieranlage	Heim	Strausberger Str. 9, 15378 Rüdersdorf
Sortieranlage	Habicht	Königsweg 1, 15345 Altlandsberg
Sortieranlage	Ralf Schöder	Steinweg 14, 16352 Basdorf
Sortieranlage	Eurologistik	Nobelstr. 13-15, 03238 Massen bei Finsterwalde
Sortieranlage	HBA	Am Hafen 2, 16727 Velten
Sortieranlage	Remondis	Mühlenstr., 16356 Werneuchen
Sortieranlage	ORS	Schleuener Weg 1, Teschendorf/Neuendorf in 16775 Löwenberger Land
Sortieranlage	E.V.A	Alt Kaulsdorf 67A, 12621 Berlin (Containerdienst), Sortieranlage in Hoppegarten, BRB
Sortieranlage	Grunske	Veltener Str. 32, 16515 Oranienburg/Germendorf
Sortieranlage	ffk environment	03185 Peitz
Sortieranlage	BZR Bauzuschlagstoffe und Recycling GmbH	Saarmunder Weg 50, 14552 Michendorf
Sortieranlage	Becker + Armbrust GmbH Entsorgung und Recycling	Gottlieb Daimler Str. 10, 14974 Ludwigsfelde

Anhang D. Berechnung der Massen- und Energieverhältnisse der KSVa Ruhleben

Tabelle D-1 Rechenweg Ist-Stand, erhöhte Entwässerung ungefaulten Klärschlamm, Erhöhung Feuerraumtemperatur

Parameter	Einheit	IST-Stand			Erhöhte Entwässerung			Erhöhte Feuerraum-Temperatur		
		Klärschlamm gefault	Klärschlamm ungefault	Gemisch KSVa	Klärschlamm gefault	Klärschlamm ungefault	Gemisch KSVa	Klärschlamm gefault	Klärschlamm ungefault	Gemisch KSVa
Trockensubstanz	% FS	25,5%	25,7%	25,70%	25,5%	29,0%	28,33%	25,5%	29,0%	28,3%
Frischsubstanz	Mg FS/a	33.836	160.561	194.397	33.836	142.483	176.319	33.836	142.483	176.319
Trockensubstanz	Mg TS/a	8.638	41.320	49.958	8.638	41.320	49.958	8.638	41.320	49.958
Wassergehalt	% FS	74,5%	74,3%	74,3%	74,5%	71,0%	71,7%	74,5%	71,0%	71,7%
oTS-Anteil	% TS	66,0%	76,0%	74,3%	66,0%	76,0%	74,3%	66,0%	76,0%	74,3%
Wassermenge	Mg/a	25.198	119.241	144.439	25.198	101.163	126.361	25.198	101.163	126.361
oTS-Menge	Mg oTS	5.701	31.403	37.105	5.701	31.403	37.105	5.701	31.403	37.105
Inert-Menge	Mg Inert	2.937	9.917	12.854	2.937	9.917	12.854	2.937	9.917	12.854
Hu afr.Subst.	MJ/kg	22,2	22,2	22,2	22,2	22,2	22,2	22,2	22,2	22,2
Hu der TS	MJ/kg	14,7	16,9	16,5	14,7	16,9	16,5	14,7	16,9	16,5
Hu der FS	MJ/kg	1,92	2,52	2,42	1,9	3,2	2,92	1,9	3,2	2,9
Hu der FS	kWh/kg	0,53	0,70	0,67	0,53	0,88	0,81	0,53	0,88	0,81
Energie Klärschlamm	MWh/a	18.062	112.363	130.425	18.062	125.012	143.074	18.062	125.012	143.074
Zusatzenergie Heizöl	MWh/a	14.204	40.750	54.954	14.204	10.861	25.066	14.204	10.861	25.066
Summe Energie	MWh/a	32.267	153.112	185.379	32.267	135.873	168.140	32.267	135.873	168.140
Hu der FS inkl. Öl *)	kWh/kg	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95
Wirkungsgrad Strom		15,2%	15,2%	15,2%	15,2%	15,2%	15,2%	16,2%	16,2%	16,2%
erzeugter Strom	MWh/a	4.918	23.337	28.256	4.918	20.710	25.628	5.241	22.069	27.309
spez. N ₂ O-Bildung	kg/Mg TS	1,460	1,681	1,643	1,460	1,681	1,643	0,243	0,280	0,274
N ₂ O-Menge	Mg/a	12,6	69,4	82,06	12,6	69,4	82,1	2,1	11,6	13,7
CO ₂ -Äq aus N ₂ O	Mg CO ₂ -Äq/a	3.757	20.696	24.454	3.757	20.696	24.454	626	3.449	4.076
CO ₂ -Äq aus Heizöl	Mg CO ₂ -Äq/a	4.456	12.784	17.240	4.456	3.407	7.863	4.456	3.407	7.863
CO ₂ -Äq aus Strom	Mg CO ₂ -Äq/a	-3.659	-17.363	-21.022	-3.659	-15.408	-19.067	-3.899	-16.419	-20.318
Netto-Wirkung	Mg CO₂-Äq/a	4.554	16.117	20.671	4.554	8.695	13.250	1.183	-9.562	-8.379

Tabelle D-2 Rechenweg zusätzliches Öl zur Temperaturerhöhung

Zusätzliches Öl zur Temperaturerhöhung		Klärschlamm gefault	Klärschlamm ungefault	Gemisch KSWA
Mengenanteil von Frischmasse		19,2%	80,8%	100,0%
Zusätzliches Öl 10 %	MWh/a	3.227	13.587	16.814
Stromerzeugung zus. Öl	MWh/a	524	2.207	2.731
Lastschrift zusätzl. Öl	Mg CO ₂ -Äq/a	1.012	4.262	5.275
Gutschrift zusätzl. Strom	Mg CO ₂ -Äq/a	-390	-1.642	-2.032
Netto-Wirkung	Mg CO ₂ -Äq/a	622	2.621	3.243
Netto-Wirkung spezifisch	kg CO ₂ -Äq/Mg	18,4	16,3	18,39

Tabelle D-3 Optimierung der Dampfnutzung

Optimierung der Dampfnutzung (nach Temperaturerhöhung)		Klärschlamm gefault	Klärschlamm ungefault	Gemisch KSWA
Mengenanteil der Frischmasse		19,2%	80,8%	100,0%
Nach Temperaturerhöhung, vor Optimierung Dampfnutzung				
Wirkungsgrad Strom (0% Wärme)		16,2%	16,2%	16,2%
Stromerzeugung	MWh/a	5.241	22.069	27.309
Nach Temperaturerhöhung, nach Optimierung Dampfnutzung				
Wirkungsgrad Strom		7,0%	7,0%	7,0%
Wirkungsgrad Wärme		41,0%	41,0%	41,0%
Stromerzeugung	MWh/a	2.259	9.511	11.770
Wärmerzeugung	MWh/a	13.229	55.708	68.937
Diff.-Wirkung Strom	Mg CO ₂ -Äq/a	2.219	9.343	11.561
Diff.-Wirkung Wärme	Mg CO ₂ -Äq/a	-3.360	-14.150	-17.510
Netto-Wirkung	Mg CO ₂ -Äq/a	-1.142	-4.807	-5.949
Netto-Wirkung spezifisch	kg CO ₂ -Äq/Mg	-34	-30	-31

Tabelle D-4 HTC-Vorbehandlung für gefaulten Klärschlamm

HTC-Massenbilanz gefaulten Klärschlamm							
	Mg	TS %	OTS %	Mg H ₂ O	Mg TS	Mg OTS	Mg Inert
Klärschlamm HTC-Input	33.836	26%	66%	25.198	8.638	5.701	2.937
Klärschlamm-Kohle	9.058	70%	63%	2.717	6.341	3.991	2.350
HTC-Wasser aus oTS	1.425	100%	100%	1.425	1.425	1.425	0
Summe Abwasser	24.778	4%	33%	23.906	872	285	587
Parameter							
Parameter		Anteile		Quelle			
oTS-Transfer in Kohle		70% v. OTS		Angaben Hersteller 65-80 %			
HTC Wasser		25% v. OTS		Angaben Hersteller 16 - 29 %			
Gelöste oTS		3% v. OTS		Angaben Hersteller bei 3 %			
Gasförmige oTS		2% v. OTS		Angaben Hersteller 1 - 3 %			
Wasserlösliche Inerte		20% v. Inert		Angaben Hersteller bei 20%			
Wassergehalt Kohle		30%		Angaben Hersteller 25 - 35 %			
Energieverbrauch HTC Strom und Gas				Strom kWh/Mg		Gas kWh/Mg	
Herstellerangaben				21 - 44		101-150	
Angesetzter Wert				33		125	
Mengen und Energie		Gesamtmenge pro Jahr an ...			Spezifische Werte je 1000 kg		
		Einheit	KS-Kohle	Klärschlamm	Einheit	KS-Kohle	Klärschlamm
FS-Anteil v. Klärschlamminput		%	26,8%	100%	%	26,8%	100%
Wassermenge		Mg/a	9.058	33.836	kg	1.000	1.000
TS-Menge		Mg/a	6.341	8.638	kg	700	255
Wassergehalt		%	30%	74%	%	30%	74%
Aschegehalt		% d. TS	37%	34%	%	37%	34%
Heizwert oTS		kJ/kg	26,0	22,2	kJ/kg	26,0	22,2
Heizwert TS		kJ/kg	16,4	14,7	kJ/kg	16,4	14,7
Energiegehalt		GJ/a	96.971	65.024	kJ/kg	10,7	1,92
Strombedarf		MWh/a	6.415		kWh/Mg	123	33
Gasbedarf		MWh/a	4.230		kWh/Mg	467	125
Abwasser		m ³ /a	24.778		m ³	2,74	0,73

Anhang E. Verfahren zur Verwertung biogener Stoffe über hydrothermale Karbonisierung

Veranlassung

Im Rahmen dieser Studie wurden die Einsatzmöglichkeiten insbesondere auch der hydrothermalen Karbonisierung (HTC) einer vertiefenden Untersuchung unterzogen. Das potenzielle Einsatzgebiet für dieses Verfahren erstreckt sich mit der Behandlung von Klärschlamm, Bioabfall, Laub, Laubsäcken und Mähgut laut dem erarbeiteten Maßnahmenplan auf eine Gesamtmenge von bis zu rund 170.000 Mg/a.

Das Verfahren der **hydrothermalen Karbonisierung** nutzt die chemisch-physikalische Eigenschaft organischer Abfallstoffe, sich bei hohem Druck und hoher Temperatur (ca. 20 bar und 210°C) zu zersetzen. Die langkettige organische Substanz zerfällt und kann aus der Flüssigphase extrahiert werden. Durch den höheren Anteil an elementarem Kohlenstoff hat das Produkt eine dunkelbraune bis schwarze Farbe. Die organische Trockensubstanz des Organik-Abfalls wird zu 65% - 80% in HTC-Kohle überführt. Ebenso wird die Brennwert-Fracht des Inputs zu rd. 70% in der erzeugten Kohle wiedergefunden (Ramke et al. 2010), wobei die Spannbreite sowohl nach Einzelstoffen wie auch Reaktionsbedingungen durchaus 10-20%-Punkte betragen kann. Eine Verfahrensvariante ist die Vapothermale Karbonisierung (VTC), die dieselben chemisch/physikalischen Bedingungen realisiert, allerdings nur im spezialisierten Batchsystem zur Anwendung kommen kann, da das behandelte Material nicht wie bei der HTC eine pumpfähige Konsistenz hat.

Neben der HTC sind auch Pyrolyseverfahren geeignet, aus organischen Stoffen Kohle zu erzeugen, die als Brennstoff, aber auch als Bodenverbesserungsmittel ("Terra-Preta"-Herstellung) verwendet werden kann. Die Verfahrenseigenschaften sind in (Quicker 2012) beschrieben. Das Einsatzgebiet pyrolytischer Verfahren liegt dominierend im Bereich der Verarbeitung holziger Materialien mit einem Wassergehalt von max. 50%. Liegt der Wassergehalt darüber, muss eine höhere Energiemenge aus der pyrolysierten Trockensubstanz aufgewendet werden, um das Wasser zu verdampfen. Die Verfahren sind daher für feuchtere Ausgangsstoffe weniger geeignet. Die für pyrolytische Verfahren einsetzbaren holzigen Abfälle aus Berlin werden nach der Bestandsaufnahme bereit hochwertig verwertet, die Potenzialanalyse ließ keine relevanten Optimierungsansätze erkennen. Die wesentlichen Optimierungspotenziale liegen im Bereich feuchterer Abfallstoffe wie Mähgut, für deren Behandlung die HTC vorrangig geeignet ist. Insofern orientieren sich die nachfolgenden Betrachtungen auf dieses Verfahren.

Im Gegensatz zu biologischen Verfahren kann praktisch jedes Material mit nativ organischem Gehalt mit der HTC behandelt werden, so auch Klärschlamm und höher ligninhalige Abfälle (z.B. Laub).

Im Kontext der Studie wurden die HTC-Anbieter hinsichtlich ihrer eingesetzten Verfahren angefragt. Mit dem Anschreiben wurde ein Fragebogen versandt, bei dem u. a. der Projektierungs- und Ausführungsstand, Angaben zur Verfahrenstechnik, die Massen- und Energiebilanzen und Angaben zu den einsetzbaren Biomassen abgefragt wurden. Eine tabellarische Übersicht über die HTC-Anbieter ist in der Tabelle E-3 dargestellt.

Technische Beschreibung

Das organische Rohmaterial wird bei der HTC nach einer verfahrens- und biomassespezifischen Aufbereitung über ein Aufgabeaggregat in den eigentlichen HTC-Reaktor eingepumpt, in dem das eingespeiste Material auf den verfahrenstypischen Druck und die Temperatur gebracht wird. Eine der Aufgaben der Vorbehandlung ist es, möglichst wenig Wasser einzuspeisen, um die Aufheizungsenergie für das im Abfall gebundene Wasser zu sparen.

Unter den Druck-/Temperaturbedingungen des HTC-Reaktors setzt spontan die schwach exotherme Zersetzung der Organik ein, die im Wesentlichen in der Abspaltung von Wasser aus den organischen Komponenten besteht, aber auch organische Komponenten in Lösung bringt. Die Reaktionszeit beträgt je nach Verfahren rund 2-4 Stunden.

Die Prozessführung entscheidet über den Grad der Inkohlung und damit über Menge und Brennwertwert der ausgebrachten Kohle-Trockensubstanz. Bei schwacher Inkohlung ist die ausgebrachte TS-Menge höher, aber die Kohle heizwertärmer, bei intensiver Inkohlung entgegengesetzt. Der Brennwert der aschefreien, organischen Kohle-Trockensubstanz kann daher zwischen 23 und 30 MJ/kg schwanken und ist zudem von der Art der verarbeiteten Rohstoffe abhängig. Entsprechend steigt auch der Brennwert der Kohle, weil unter den hohen Temperaturen ein Teil der Inertstoffe in Lösung geht.

(Ramke et al. 2010) stellte dazu die Ergebnisse der versuchsweisen HTC-Behandlung verschiedener organischer Roh- und Abfallstoffe vor. Abbildung E-1 verdeutlicht die Brennerhöhung gegenüber dem zunehmenden Kohlenstoffgehalt durch Inkohlung für verschiedene organische Abfallstoffe.

Je mehr Wasser aus der organischen Substanz im HTC-Prozess abgespalten wird, umso höher fällt die Brennerhöhung der Kohle gegenüber dem eingesetzten organischen Abfall aus. Nach Abbildung E-1 kann diese Steigerung 4.000 - 10.000 kJ pro kg oTS betragen. Neben dem Brennwert ist für die energetische Gesamtbewertung der Anteil des Input-Kohlenstoffs, der sich in der HTC-Kohle wieder findet, entscheidend. Hier fand (Ramke et.al 2010) substratspezifisch stark streuende Werte zwischen 45 und 78%.

Generell ist für die aus dem Prozess ausgebrachte Energiemenge das Produkt aus Heizwert und Masse der ausgebrachten Kohle entscheidend. In diesen Proportionen unterscheiden sich die verschiedenen HTC-Verfahren.

Basierend auf den Ergebnissen von (Ramke et al 2010), weiteren Literaturwerten sowie HTC-Herstellerangaben wurden die für die Berechnungen notwendigen stoffspezifischen Ansätze für die Stoff- und Energieumwandlung ermittelt.

Aus dem erzeugten Produkt/Wassergemisch (HTC-Schlamm) wird das Wasser durch eine mechanische Entwässerung abgepresst. Der erzeugte HTC-Kuchen hat in Abhängigkeit vom Einsatzstoff und HTC-Verfahren unterschiedliche Wassergehalte.

Der bei mechanischer Entwässerung erzielbare Wassergehalt hängt dabei auch von den Reaktionsbedingungen im HTC-Reaktor ab. Generell ist HTC-Kohle auf höhere TS-Gehalte entwässerbar als der eingesetzte organische Abfall, weil die kapillaren und zellulären, wasserbindenden Organikstrukturen aufgebrochen werden.

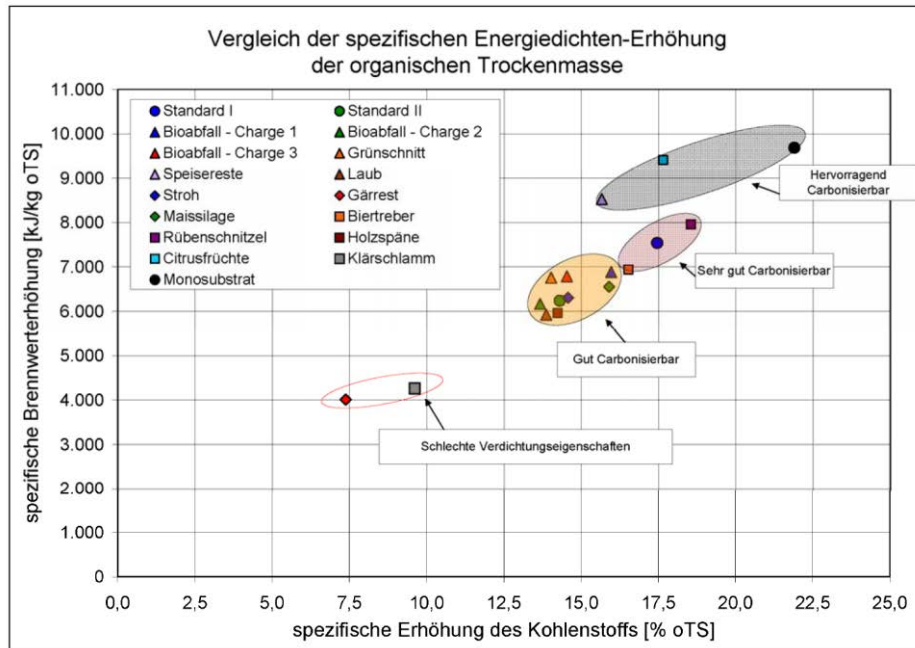


Abbildung E-1 Vergleich der Erhöhung der Energiedichte der organischen Trockensubstanz der verschiedenen Substrate (aus Ramke et al. 2010)

Der Grad der Inkohlung ist für den erzielbaren TS-Gehalt bei mechanischer Entwässerung ebenfalls von Relevanz. Kontinuierliche Verfahren mit vollaufmischten Reaktoren erzeugen tendenziell eine geringere Inkohlung als HTC-Batch-Verfahren mit definierten, geregelten und homogenen Reaktionsbedingungen. Hierbei spielt die chemische Abspaltung von Wasser aus dem organischen Material eine Rolle. Je höher diese ausfällt, umso mehr sinkt die kapillare und polare Wasserhaltefähigkeit durch unzersetzte organische Verbindungen. Bei der mechanischen Entwässerung werden TS-Gehalte von 50% bis >75% TS erreicht. Der TS-Gehalt steigt wiederum mit dem Inertstoffgehalt, da dessen Wasserbindungsfähigkeit ebenfalls niedrig liegt.

Der Heizwert der HTC-Kohle wird bestimmt durch:

- den Heizwert der organischen, aschefreien Substanz, der je nach Inkohlungsgrad zwischen 23 und 30 kJ/kg oTS liegt,
- dem ungelösten, in der Kohle verbleibenden Inertstoffgehalt, der den oTS-Heizwert zum Heizwert der Trockensubstanz hin "verdünnt",
- den TS-Gehalt der entwässerten Kohle, der bei einem Schwankungsbereich von 50 bis über 75% den höchsten Einfluss unter diesen Faktoren hat.

Mechanisch entwässerte HTC-Kohle kann grundsätzlich direkt als Brennstoff eingesetzt werden, bei Bedarf ist jedoch eine weitere Trocknung erforderlich. HTC-Kohle kann in weiter getrockneter Form (> 90% TS) als staubförmiger Sekundärbrennstoff eingesetzt werden, dessen Zusammensetzung und Eigenschaften mit denen von Braunkohlenstaub vergleichbar sind.

Massenbilanz

Abbildung E-2 und E-3 verdeutlichen schematisch die Massenbilanzen der HTC für die zwei unterschiedlichen Inputstoffe: Grünabfälle und gefaulter Klärschlamm.

Für die Modellberechnung mit **Grünabfällen** ist eine Mischung von 2/3 Mähgut und 1/3 Laub angesetzt. Dies entspricht gerundet den Mengenverhältnissen einer kombinierten HTC-Anlage für Mähgut und Laub nach dem Maßnahmenplan dieser Studie.

Die Aufbereitung der Grünabfälle beinhaltet die weitgehende Abtrennung von Inertstoffen vor dem eigentlichen HTC-Prozess (Annahme: Abscheidung von 60% der Inert-Trockenmasse). Dies kann durch einen vorgeschalteten Waschprozess erfolgen. Im HTC-Prozess selbst erfolgt die Umwandlung zu Kohle, bei der ein weiterer Anteil der Inertmasse in Lösung geht, im wesentlichen aber Wasser chemisch aus der oTS abgespalten wird. Gebildetes Wasser und gelöste Inertstoffe verbleiben im HTC-Reaktor und werden nachfolgend bei der mechanischen Entwässerung anteilig mit abgetrennt. Der zu gasförmigen Produkten (insbesondere CO₂) umgewandelte oTS-Anteil ist mit < 1% der Gesamtmasse sehr gering und deswegen in der Abbildung kaum erkennbar. In die Anmischung rückgeführtes Prozesswasser ist in die Abbildung nicht aufgenommen.

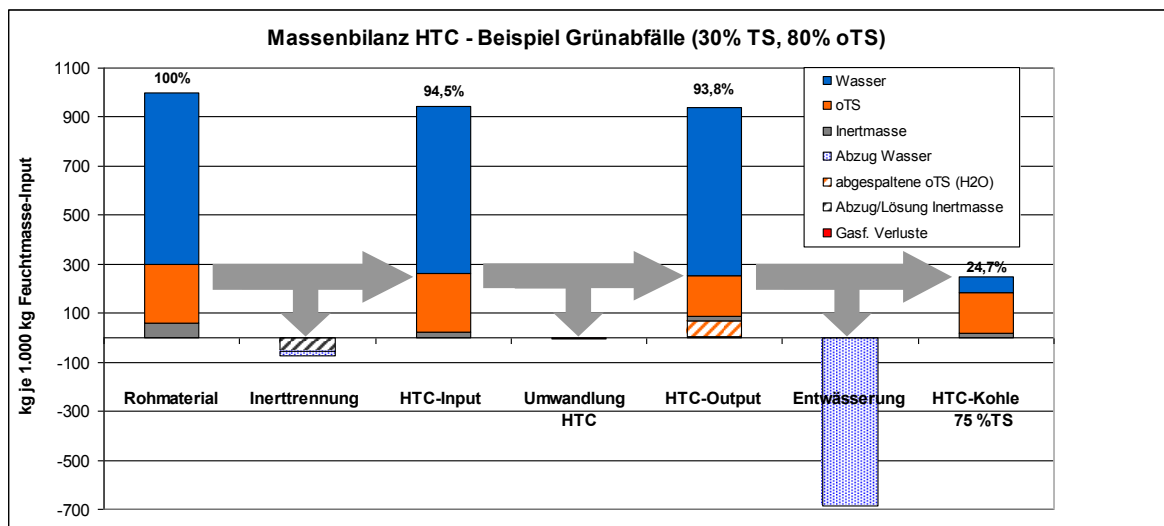


Abbildung E-2 Massenbilanz der HTC am Beispiel "Grünabfälle"

Die wesentliche Massenreduktion – hier auf rund 25% Produktaustrag in Form von Kohle – findet über die mechanische Entwässerung statt, die hier zu einer Kohle mit 75% TS-Anteil führt. Der Heizwert der ausgebrachten Kohle liegt bei 4,5 kWh/kg, was gegenüber den unbehandelten Grünabfällen (mit 0,8 kWh/kg) eine Heizwerterhöhung auf das 5,6-Fache bedeutet.

Bei einer Entwässerung auf nur 50% TS würde die ausgebrachte Kohlemenge zusätzlich rund 167 kg Wasser enthalten (und damit den Austrag auf rund 41% des Inputs erhöhen), der Heizwert würde nur 2,8 statt 4,5 kWh/kg FS betragen. Je Gewichtstonne entwässerter Kohle müssten dann zusätzlich rund 330 kg Wasser über thermische Trocknung verdampft werden, um einen TS-Gehalt von 75% zu erreichen. Dies würde zusätzlich rund 250 kWh Erdgasenergie je Tonne Kohle (FS) bzw. 103 kWh je Tonne Input (FS) erfor-

dem. Es wird damit deutlich, welche Bedeutung eine auf effiziente Entwässerung der HTC-Kohle ausgerichtete Prozessführung hat.

Der HTC-Prozess führt im Fall der Behandlung von gefaultem **Klärschlamm** zu einem Kohle-Anfall von rund 27% der Inputmasse (bei Annahme eines TS-Gehaltes von 70% in der Kohle). Eine Vorabtrennung von Inertstoffen ist durch deren Einbindung in der organischen Klärschlammmasse nicht möglich, es wird bis auf den in Lösung gebrachten Anteil von einem Erhalt in der HTC-Kohle ausgegangen. Der Heizwert der ausgebrachten Kohle liegt bei knapp 3,0 kWh/kg, was gegenüber dem unbehandelten Klärschlamm (mit 0,53 kWh/kg) ebenfalls eine Heizwerterhöhung um den Faktor 5,6 bedeutet.

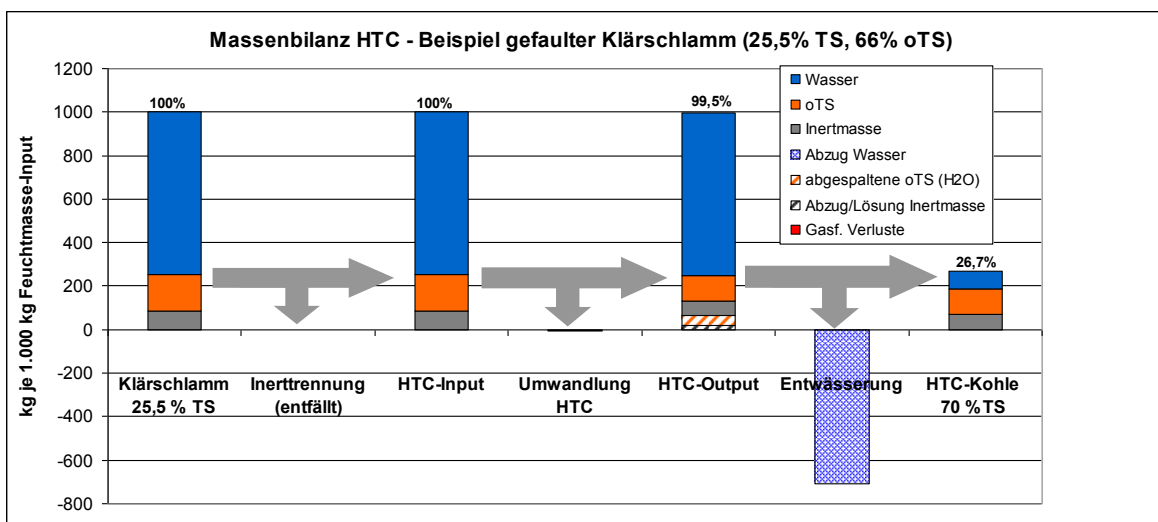


Abbildung E-3 Massenbilanz der HTC am Beispiel "gefaulter Klärschlamm"

Qualität der HTC-Kohle

Hinsichtlich der energetischen Nutzung weist getrocknete HTC-Kohle die Eigenschaften getrockneter Braunkohle auf. Verbrennungsspezifische Eigenschaften wie Heizwert, Trockensubstanz- und Inertstoffgehalt können durch die Auswahl der Einsatzstoffe und durch die HTC-Verfahrensführung beeinflusst werden, ebenso die weitere Konfektionierung zu staubförmigem oder pelletiertem Brennstoff.

Tabelle E-1 zeigt einen orientierenden Vergleich der Materialwerte von getrockneter HTC-Kohle aus Grünresten (z.B. Laub und Mähgut) im Vergleich zu trockener Braun- und Steinkohle (nach Angaben von SunCoal Industries GmbH).

Der Heizwert von getrockneter HTC-Kohle erreicht etwa die Werte getrockneten Braunkohlenstaubes und rund 2/3 des Heizwertes von Steinkohle.

Die Schwermetalle der HTC-Kohle liegen im Bereich von fossilen Kohlen. Im Vergleich der Mittelwerte der 13 Schwermetalle liegt die HTC-Kohle bei 8 bzw. 9 Metallen unter den Werten von Braun- bzw. Steinkohle, bei 5 bzw. 4 Metallen liegen Überschreitungen vor. Eine detailliertere Bewertung ist durch die starke Streuung der Ergebnisse erschwert. Unterstellt man jedoch, dass die Betriebsgenehmigungen eines Großteils der Kohlefeuerungen auf Basis von Emissionsprognosen erstellt wurden, die die jeweiligen maximalen

Werten von Braun- bzw. Steinkohlen ansetzen, so kann HTC-Kohle die fossilen Kohlen in diesen Anlagen schadlos ersetzen.

Tabelle E-1: Materialwerte von Grünrest-HTC-Kohle im Vergleich zu Braunkohlestaub und Steinkohle¹

Parameter	Einheit	HTC-Kohle			Braunkohlestaub			Steinkohle	
		min	mittlere Werte	hohe Werte	min	mittlere Werte	hohe Werte	mittlere Werte	hohe Werte
Wassergehalt	Gew.-% FM	5	8,00	11,00	6,50	9,50	11,00	8,18	10,00
Aschegehalt	Gew.-% FM	0,9	4,20	9,00	4,00	9,88	18,00	9,52	13,30
Flüchtige Bestandteile	Gew.-% FM	55,9	66,50	70,30	45,50	47,73	51,00	38,87	45,00
Fixer Kohlenstoff	Gew.-% FM	20,8	21,90	23,00	24,50	32,90	39,00	50,05	55,16
Heizwert (LHV)	MJ/kg	18,5	19,90	21,40	21,00	21,68	22,20	30,70	32,90
Elementaranalyse (Originalsubstanz)									
Kohlenstoff	Gew.-%	48,8	51,60	53,80	55,80	57,03	58,80	70,62	75,00
Wasserstoff	Gew.-%	4,5	5,30	5,70	4,00	4,28	4,50	4,31	5,22
Sauerstoff	Gew.-%	20,6	29,80	35,00	13,50	17,53	21,50	9,63	11,10
Stickstoff	Gew.-%	0,25	0,73	1,50	0,50	0,68	0,80	1,01	1,40
Schwefel	Gew.-%	0,04	0,24	0,40	0,20	0,92	3,20	0,90	1,00
Chlor	Gew.-%	0,01	0,07	0,20	0,01	0,05	0,10	0,12	0,13
Ascheschmelzverhalten									
Erweichungstemperatur	°C	1225	1.225	1.310	1.100	1.278	1.480	1.300	1.400
Fließtemperatur	°C	1401	1.401	1.550	1.250	1.355	1.490	1.300	1.400
Spurenelemente									
Antimon	mg/kg TM	0,76	3,13	5,50	0,15	1,32	2,50	2,5	6
Arsen	mg/kg TM	0,46	1,15	1,84	0,20	6,59	50	13,6	50
Blei	mg/kg TM	1,66	3,18	4,70	0,01	26	200	68	270
Cadmium	mg/kg TM	0,09	0,31	0,52	0,01	0,47	1,50	0,3	10
Chrom	mg/kg TM	0,09	7,50	15	0,06	15	100	26,5	80
Kobalt	mg/kg TM	0,92	1,01	1,10	2,20	5,78	15	16,7	40
Kupfer	mg/kg TM	9,3	16	23	1,10	17	100	33	60
Mangan	mg/kg TM	18,4	106	193	54,00	144	260	125	315
Nickel	mg/kg TM	1,4	10	18	1,00	5	11	45	96
Thallium	mg/kg TM	0,18	0,55	0,92	0,03	0,30	1,10	0	1,2
Vanadium	mg/kg TM	0,46	2,53	4,60	1,00	7,99	25	75	180
Zinn	mg/kg TM	4,6	6,90	9,20	1,20	1,55	2,00	5	10
Quecksilber	mg/kg TM	0,05	0,48	0,90	0,05	0,43	1,00	0,2	1,2

¹ Braunkohlenstaubanalysen von: RWE - Rheinbraun, Juni 2012 aus <http://www.rwe.com/web/cms/de/-495860/lignite-energy/kesselfeuerung/lignite-energy-pulverized/analysenanhaltswerte/> und Vattenfall, MIBRAG aus Produktinformation und Analysewerte der Spurenelemente Mahlstaub - Veredlungsanlage Deuben, Mai 2012; Steinkohle: Mitverbrennungsleitfaden NRW 2005, www.umwelt.nrw.de/umwelt/pdf/leitfaden_energetische_020_023.pdf; HTC-Kohle: SunCoal-Analysen aus Technikumsbetrieb mit Grünresten

Für eine universelle Verwendung der aus Abfällen erzeugten HTC-Kohle als Produkt müsste die Kohle die Abfalleigenschaft nach § 5 KrWG verloren haben. Als "Abfall" darf sie, sofern sie nicht unter die Ausnahmetatbestände nach § 1 Abs. 3 der 17. BImSchV fällt, nur in Verbrennungsanlagen nach 17. BImSchV energetisch verwertet werden.

Es ist hierzu sicherzustellen, dass durch die beim HTC-Verfahren eingesetzten Stoffe kein nennenswerter Schadstoffeintrag erfolgen kann. Während dies für Grünreste durchaus erreichbar ist, kann dies beim Einsatz von Klärschlamm nicht sichergestellt werden.

Für aus Grünabfällen und anderen sortenreinen organischen Abfällen erzeugte getrocknete HTC-Kohle vergleicht die nachfolgende Tabelle die Anforderungen des § 5 KrWG mit dem Erfüllungsstand für HTC-Kohle nach einem der Senatsumweltverwaltung vorliegenden, von der Firma SunCoal Industries GmbH beauftragten, unveröffentlichten Rechtsgutachten durch eine auf Abfallrecht spezialisierte Rechtsanwaltskanzlei.

Nach der Einschätzung dieses speziell auf getrocknete HTC-Kohle aus Grünresten abstellenden Gutachtens sind damit für die HTC-Kohle die Kriterien der "Produkt"-Eigenschaften erfüllt.

Tabelle E-2: Einschätzung der HTC-Kohle nach Anforderungen des KrWG

Anforderungen des § 5 KrWG zum Verlust der Abfalleigenschaft	Erfüllungsstand durch HTC-Kohle
Verwertungsverfahren durchlaufen	Abgeschlossener Aufbereitungsvorgang, die Kohle ist direkt als Substitut für Braunkohlenstaub einsetzbar.
Verwendung für bestimmte Zwecke	Gezielte Herstellung der HTC-Kohle als Ersatz insbesondere für Braunkohlenstaub.
Vorhandensein eines Marktes	Der Markt für Braunkohlenstaub ist in Deutschland mit 2,9 Mio. Mg/a vorhanden.
Erfüllung technischer Anforderungen, Rechtsvorschriften und Normen	Technische Eigenschaften wie Kohlenstaub; Verbrennung in immissionsschutzrechtlich genehmigten Anlagen.
Verwendung ohne schädliche Auswirkungen auf Mensch und Umwelt	Schädliche Auswirkungen sind nicht zu erwarten, da u.a. die Schadstoffbelastung der HTC-Kohle im Spektrum der ersetzten Stein- und Braunkohle liegt.

Die Mitverbrennung in bestehenden Kraftwerken ist für HTC-Kohle mit einem entsprechenden Qualitätsstandard hinsichtlich Wasser- und Inertstoffgehalt (letzterer angestrebt mit 10% der TS) technologisch realisierbar. Eine auf die weitere Veredelung der Kohle abzielende Aufbereitung (über die mechanische Entwässerung hinausgehende zusätzliche Trocknung, Feinvermahlung bzw. Pelletierung) richtet sich nach dem Marktsegment, in dem die HTC-Kohle eingesetzt werden kann. Ein weiterer Einsatzbereich für getrocknete HTC-Kohle könnte im Bereich von dezentralen Feuerungsanlagen mit 1- 20 MWth liegen. Allerdings ist der Einsatz von Kohle in Kleinf Feuerungsanlagen hinsichtlich Feinstaub- und NOx-Emissionen kritisch zu sehen.

Abhängig von diesen regional gegebenen Marktbedingungen muss die Aufbereitungstiefe in Form von ergänzender Trocknung, Feinvermahlung oder Pelletierung bestimmt werden. Der damit verbundene Aufwand richtet sich nach den zusätzlich erzielbaren Erlösen.

Abwassermenge und -qualität

Die Abwassermenge aus dem HTC-Prozess ergibt sich aus

- a) der Feuchte des Inputmaterials,
- b) plus dem Anfall an abgespaltenem Reaktionswasser im HTC-Prozess,
- c) minus der Wasserfracht der mechanisch entwässerten Kohle, die sich aus Masse und Feuchte der ausgebrachten Kohle ergibt,
- d) plus kondensierte Brüden aus einer ggf. stattfindenden thermischen Nach Trocknung der Kohle.

Überschlägig kann bei rein mechanischer Entwässerung der Kohle der Abwasseranfall je Tonne Input mit der Wasserfracht des Inputs gleichgesetzt werden, da das gebildete HTC-Wasser in etwa der Wasserfracht über die ausgetragene Kohle entspricht (s. Wasseranteile oben in Abbildung E-2 und E-3).

Das Roh-Abwasser der Kohleentwässerung weist vorrangig bei der HTC-Behandlung von Klärschlämmen hohe Ammoniumgehalte (um 2 g/l) auf. Kritisch ist insbesondere der hohe TOC-Gehalt. Da nach (Ramke et al 2010) ca. 20% des Kohlenstoffs in die Flüssigphase übergehen, gibt (Blöhse 2012) in Abwässern aus HTC-Batchversuchen eine mittlere Belastung von 17 g TOC/l an, bei einer Spannbreite von 10 - 30 g/l. Von (ZAHW 2011) wird dies mit CSB-Gehalten von 30 - 60 g CSB/l bestätigt. (Blöhse 2012) berichtet über eine gute anaerobe Teil-Abbaubarkeit der Prozesswässer mit Gasbildungsraten von 650 - 850 ml/g TOC, womit allerdings nur Abbauraten im Bereich von 35-45% des TOC (Einzelwerte bis 70%) erreicht werden konnten. Die mehrfache Rückführung von HTC-Abwasser in den Prozess ließ die Gasausbeuten zunehmen.

In Berlin sind nach Indirekteinleiterverordnung (bzw. darin genannten Anforderungen der Abwasserverordnung, Anhang 27) Abwasserbelastungen von bis zu 200 mg/l CSB zulässig. Diese Anforderungen werden derzeit von den HTC-Anbietern noch nicht erfüllt.

Der Umfang der Aufbereitung des Abwassers hängt bei einer HTC-Klärschlammbehandlung speziell hinsichtlich der notwendigen Ammonium-Abscheidung stark vom Auslastungsgrad der mit dem rückgeführten Abwasser beaufschlagten Kläranlage ab.

Alle HTC-Anbieter entwickeln derzeit Lösungen, das Abwasser auf geringere Belastungswerte zu bringen. Als derzeit aussichtsreich erscheinen physikalische Reinigungsverfahren (überwiegend Umkehrosmose), die eine Trennung von leichtabbaubarem TOC im Permeat (zur Vergärung) und biologisch schwerabbaubarem TOC im Retentat erwarten lassen. Damit erhöht sich die C-Konzentration des Prozesswassers auf ein Niveau, bei dem sich tendenziell Neubildung und Zersetzung des TOC (zu HTC-Kohle) einem dynamischen Gleichgewicht nähern. Eine anaerobe Abwasseraufbereitung zeichnet sich als notwendiger Bestandteil von HTC-Anlagen ab, bei der Klärschlammbehandlung ebenso eine Stickstoff-Abscheidung.

Energiebedarf

Der elektrische Energieeinsatz der verschiedenen HTC Verfahren liegt nach Herstellerangaben zwischen 20 kWh/Mg und 40 kWh/Mg, der thermische Energiebedarf liegt je nach Effizienz der Wärmerückgewinnung zwischen 70 kWh/Mg und 170 kWh/Mg. Dem stehen nach den oben genannten Beispielen "Grünabfälle" und "gefaulter Klärschlamm" Energieerträge der erzeugten Kohle von rund 1.100 kWh/Mg Input bzw. 800 kWh/Mg Input gegenüber.

Je feuchter das eingetragene Material ist, umso mehr Energie wird benötigt, um das in der Rohmasse gebundene Wasser auf die Prozesstemperatur aufzuheizen. Der Gehalt an organischer Trockensubstanz entscheidet über die Energiemenge der ausgebrachten HTC-Kohle. Trockene und aschearme Substanzen sind demnach sowohl hinsichtlich des Energieeinsatzes wie auch nach der gewonnenen Kohlemenge am vorteilhaftesten. Allerdings ist die HTC gerade bei hochfeuchten und inertstoffhaltigen Substanzen wie z.B. Klärschlamm gegenüber der thermischen Trocknung energetisch effizienter. Das Wasser muss nicht verdampft, sondern kann nach Zersetzung der organischen Masse weitgehend mechanisch abgetrennt werden. Wie oben unter den Massenbilanzen dargestellt, ist der mechanisch erreichbare TS-Gehalt bei der Kohleentwässerung eine entscheidende Größe.

Je nach Verfahren wird die für die Aufheizung des Materials benötigte Energie über verfahrensspezifisch unterschiedliche Wege zurückgewonnen. Dabei wird entweder die bei der Entspannung der ausgetragenen Kohlesuspension freigesetzte Dampfenergie für den Prozess zurück gewonnen oder im Doppelmantelwärmetauscher die Wärme auf das Inputmaterial zurück übertragen. Für das letztgenannte System wurden von einem Hersteller (TerraNova) für die Klärschlammbehandlung Energieverbräuche im unteren Bereich des oben genannten Spektrums angezeigt.

Grundsätzlich ist es sinnvoll, den Standort für eine HTC-Anlage in der Nähe einer bereits bestehenden Anlage mit Dampferzeugung (z.B. Kraftwerk) zu platzieren, um damit die benötigte Energie kostengünstiger verfügbar zu machen als durch Eigenerzeugung. Standorte auf Kläranlagen begünstigen wiederum die Möglichkeit, prozessintern nicht mehr nutzbare Abwärme aus der HTC beispielsweise für die Schlammaufheizung zur Faulung zu verwenden.

Abgas-/Abluftbehandlung

(Ramke et al 2010) stellte eine Umsetzung des organischen Kohlenstoffs in Richtung Abgas bei Grünmaterialien von etwa 6% fest, was als Nebenreaktion der Wasserabspaltung aus der organischen Substanz erklärt wurde.

Als Erfahrungswert wird von HTC-Anbietern ein Abgasvolumen von 40 - 50 m³/Mg Input-TS aus dem Reaktor bei Grünrest-Verarbeitung benannt sowie ein Transfer der Input-oTS in das Abgas von rd. 2-3% angegeben.

Zu den TOC-Belastungen des Abgases sind die Mitteilungen nicht einheitlich. Es wurden nach Mitteilung eines Herstellers TOC-Werte von > 1.000 mg/m³ (vor Nachreinigung) beobachtet, als Hinweis auf eventuell vorhandene CH₄-Anteile, die auch von (ZHAW 2011) festgestellt wurden. Nach weiteren Mitteilungen anderer HTC-Hersteller und (Ramke et al. 2010) besteht das Abgas des HTC-Prozesses zu rd. 95-97% aus CO₂, mit Anteilen zwi-

schen 2 und 5% an Kohlenmonoxid (CO) und nur Spuren von organischen Kohlenstoffverbindungen. Abgas dieser Qualität muss wegen des Anteils an CO in jedem Fall thermisch nachbehandelt werden, entweder durch katalytische Nachoxidation oder durch Einspeisung in einen Verbrennungsprozess.

Unterstellt man – ohne Betrachtung der Belastung durch CO – im ungünstigsten Fall eine Abgaskonzentration von 1.000 mg TOC/m³ sowie ein spezifisches Abgasvolumen von 50 m³/Mg TS, ergibt sich eine Fracht von 50 g TOC/Mg TS ohne Nachreinigung. Bei einem TS-Anteil im Input von 40% ergäbe dies eine Freisetzung von 20 g TOC pro Mg FS - Input.

Eine HTC-Anlage könnte danach – bei Bewertung nur dieser Quelle – bis zu 25 Mg (FS) organische Abfälle pro Stunde verarbeiten, ohne den Massenstrom-Grenzwert der TA Luft von 0,5 kg TOC/h zu überschreiten. Die freigesetzte Menge von 20 g TOC pro Mg FS in der gefassten Abluft bildet im Vergleich nur rund ein Zehntel der TOC-Fracht je Tonne Input, die bei einer Vergärung mit einer Restemission von 300 g TOC/Mg Input den Konzentrations-Grenzwert der TA Luft von 50 mg TOC pro m³ Abgas einhalten ließe. Auch bei einer HTC-Behandlung ist die Abgasbelastung aus einer (bei Bioabfallbehandlung erforderlichen) Absaugung von Anlieferung und Aufbereitung additiv zu berücksichtigen, ebenso die Absaugung der Entwässerung der Kohle.

Der Vorteil der HTC gegenüber der Vergärung liegt damit darin, dass eine höher belastete Abluft nur konzentriert am Kopf des HTC-Reaktionsbehälters auftritt und nicht auf größere Anlagenbereiche verteilt ist. Das Abgas ist damit wesentlich gezielter und effizienter behandelbar. Summarisch ist zu erwarten, dass für die gefasste Abluft einer HTC-Anlage die Grenzwerte der TA Luft systemimmanent ohne größeren technischen Aufwand eingehalten werden können.

Realisierungsstand der HTC Technologie

Derzeit ist die hydrothermale Karbonisierung von organischen Reststoffen in verschiedenen zum Teil großtechnischen Anlagen umgesetzt. In alphabetischer Reihenfolge wird der Realisierungsstand nach den Herstellerangaben nachfolgend beschrieben.

Die **Artec Biotechnologie GmbH** arbeitet mit einem quasikontinuierlich betriebenen Rohrreaktor mit gleichzeitigem Eintrag von Flüssigkeit und Feststoff in einen Druckraum - bei gleichzeitigem Austrag der Kohlesuspension im wärmetauschenden Gegenstrom.

Eingesetzt werden können im Reaktor Biomassen bis zu einer Korngröße von 100 mm. Als Einsatzstoffe wurden u. a. getestet: Schlämme, Gärreste, Stroh, Grünschnitt und Räsenschnitt.

Die Firma Artec errichtet 2012/2013 für die Hallesche Wasser- und Stadtwirtschaft eine HTC-Anlage mit einer Karbonisierungskapazität von 2.500 Mg/a Feuchtmasse-Input im Rahmen eines von 2010-2014 laufenden Forschungsprojektes des DBFZ (Verbundvorhaben des BMU).

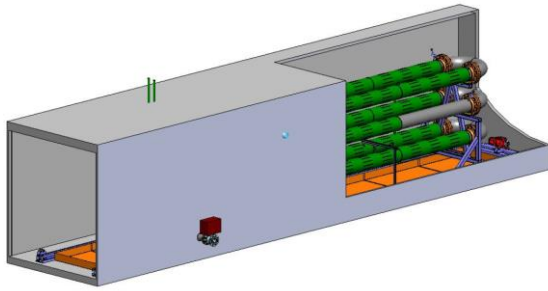


Abbildung E-4 Artec - Grafik HTC mit Wärmetauscher

Das HTC Verfahren der **AVA-CO2 AG** arbeitet im proprietären Multi-Batch-Betrieb, d.h. mehrere HTC-Reaktoren werden zeitlich versetzt genutzt, so dass sich ein quasikontinuierlicher Betrieb ergibt. Das Aufheizen der Biomasse auf ca. 220°C erfolgt über das Einblasen von Dampf. Durch Rückführen des Prozesswassers sowie ein effizientes System zur Wärmerückführung stehen mehr als 80% der in der Biomasse enthaltenen Energie in der Biokohle zur Verfügung.

Überprüft wurde das Verfahren mit unterschiedlichen Einsatzstoffen, insbesondere Reststoffen aus der Lebensmittelproduktion und aus der Landwirtschaft, sowie kommunalen Abfällen wie Grünschnitt, Biotonneninhalt und Klärschlamm. Die produzierte HTC-Kohle weist durch den gut steuerbaren Batchbetrieb vergleichsweise hohe Brennwerte (> 25 MJ/kg oTS) auf. Am Forschungsstandort Karlsruhe stehen drei Versuchsanlagen sowie seit Oktober 2010 eine Demonstrationsanlage im industriellen Maßstab (Hauptreaktor 14 m³) zur Verfügung.

Im Herbst 2012 wurde eine weitere Anlage in Relzow - Mecklenburg-Vorpommern in Betrieb genommen. Diese Anlage ist Bestandteil eines Hybrid-Energieparks (Betreiber: Eurosolid).

Die HTC-Anlage soll dabei neben der Energiegewinnung aus Photovoltaik und Wind der Baustein für die energetische Grundlast des Konzeptes sein. In Phase 1 des Projektes ging die Anlage mit zwei HTC-Reaktoren und Dampfgenerator in den Test-Betrieb. Verarbeitet werden sollen neben Schilfgräsern auch andere Reststoffe aus der Landwirtschaft und der Lebensmittelproduktion. Bei erfolgreichem Testbetrieb soll die Anlage in Phase 2 um vier weitere HTC-Reaktoren und die peripheren Betriebseinheiten wie Separation, Prozesswasseraufbereitung sowie eine Produkt-Konditionierung erweitert werden. Die Durchsatzleistung der 1. Ausbaustufe liegt bei 8.400 Mg TS/a. Nach Abschluss der 2. Phase soll eine Durchsatzleistung von 24.000 Mg TS/a erreicht werden. Für 2013 wird in Abhängigkeit des Potenzials der verfügbaren organischen Reststoffe der Ausbau auf insgesamt 12 HTC-Reaktoren geplant.



Abbildung E-5 HTC-Anlage in Relzow, Mecklenburg Vorpommern, erste Ausbaustufe
(Foto: AVA-CO2)

Das **Brinkhege** HTC- Verfahren sieht die chargenweise HTC-Produktion in Groß-Autoklaven aus der Kalksandsteinherstellung vor. Über die Art der Energierückgewinnung sowie der Vor- und Nachbehandlung liegen keine Angaben vor.



Abbildung E-6 Autoklaven der Firma Brinkhege (Brinkhege Firmenpräsentation)

Beim CS-HTC-90 Verfahren von **CS Carbon Solutions** handelt es sich um ein vollkontinuierliches HTC-Verfahren in zwei Druckstufen. Die nach BImSchG als Abfallbehandlungsanlage genehmigte Versuchsanlage wurde Ende 2010 in Teltow bei Berlin in Betrieb genommen. Die Anlage im industriellen Maßstab hat eine Aufnahmekapazität von 1 - 1,5 Mg Biomasse/h im nachgewiesenen Dauerbetrieb. Sie wäre damit technisch in der Lage, etwa 7.000 - 9.000 Mg/a organischer Feuchtmasse im Dauerbetrieb zu verarbeiten. Behandelt werden können unterschiedlichste organische Materialien, auch Laub und Grasschnitt. Durch das entwickelte Verfahren konnte die gesamte Prozessdauer auf 90 Minuten reduziert werden, was eine sehr kompakte Bauweise der Anlage zulässt.



Abbildung E-7: CS-HTC-90 Verfahren von CS Carbon Solutions (Foto: Carbon Solutions)

Beim **Grenol**-Verfahren handelt es sich um ein kontinuierliches HTC-Verfahren („katalysegesteuerter Hochdruckreaktor“, HTK-Reaktor).

Grenol bietet Anlagen in Containerbauweise an, diese bestehen z.B. bei drei Containern aus Dosierung und Vorheizung, dem HTC Reaktor und der Kohle-/Wassertrennung. Technische Details zum Verfahren sind nicht publiziert.

Die **TerraNova** Energie GmbH hat sich auf die Behandlung von Klärschlamm spezialisiert und das Verfahren auf die Klärschlammbehandlung mit Zugabe weiterer organischer Reststoffe optimiert. Es handelt es sich um ein kontinuierliches HTC-Verfahren mit einem geschlossenen Reaktionssystem, bestehend aus einem Doppelwandwärmetauscher und einem Rührreaktor. Das System weist durch den Einsatz von Thermoöl zur Beheizung nach Betreibererfahrungen einen deutlich geringeren Energieverbrauch des HTC-Prozesses auf als bei Dampfeinsatz als Energieträger.

Die Modulbauweise lässt eine sehr flexible Anpassung an die jeweiligen Kapazitätsanforderungen zu. Eine Begrenzung der Kapazität nach oben ist nach Herstellerangaben nicht gegeben.

TerraNova betreibt seit April 2010 auf der Kläranlage Kaiserslautern eine HTC-Anlage zur Verarbeitung von Klärschlamm, in der auch weitere organische Reststoffe (ohne Verunreinigungen) zugegeben werden können. Eine weitere HTC-Anlage von TerraNova befindet sich für die Kläranlage Kleve im Genehmigungsverfahren. Diese Anlage soll nach Realisierung den gesamten Klärschlamm der Kläranlage Kleve, 8.000 Mg/a mit 20% TS, zu HTC-Kohle verarbeiten.

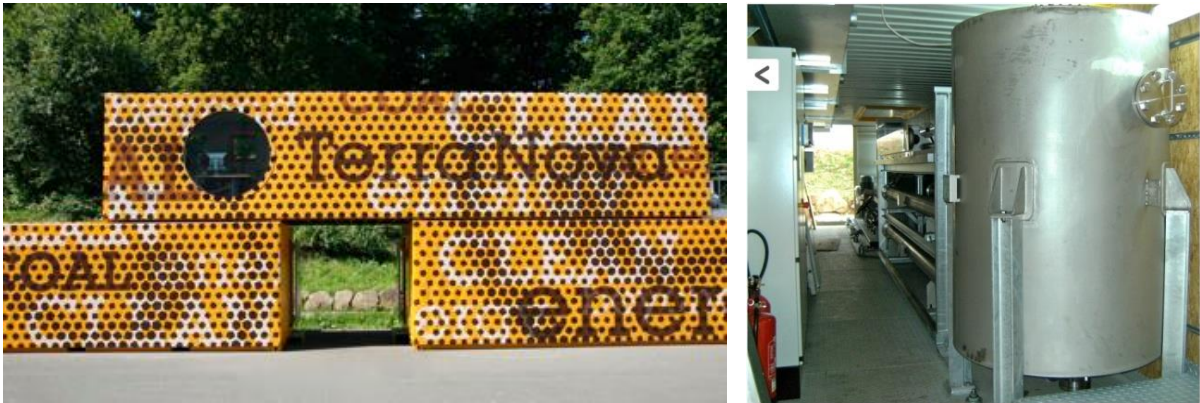


Abbildung E-8 Terra Nova HTC-Containeranlage / Rührreaktor (Foto: TerraNova)

Von **SunCoal Industries GmbH** wird eine kontinuierlich arbeitende HTC-Technologie (CarboREN-Technologie) mit proprietärem Plug-Flow HTC-Kocher angeboten, mit dem aus naturbelassener Biomasse (z.B. Laub, Strauch-, Hecken- und Rasenschnitt, Holz aus der Landschaftspflege oder voraufbereiteten Bioabfällen) ein standardisierter, homogener und fester Biobrennstoff namens SunCoal erzeugt wird, der fossile Kohle schadlos substituieren kann. Werden mit Schadstoffen belastete Biomassen wie z.B. Klärschlämme eingesetzt, so kann durch die CarboREN-Technologie die mechanische Entwässerbarkeit dieser deutlich gesteigert und damit die Entsorgungskosten signifikant reduziert werden.

Das kontinuierlich arbeitende Eintragungssystem einer CarboREN-Anlage, kann sowohl stückige Biomasse als auch organische Schlämme fördern. Die Qualität der HTC-Kohle wird am Kocheraustrag ermittelt und die Prozessführung entsprechend geregelt. Die Abwärme aus der Rückkühlung des HTC-Schlammes wird wiedergewonnen und wieder in den Prozess eingekoppelt. Das Abwasser aus der CarboREN-Technologie wird nach Herstellerangaben durch eine proprietäre Voraufbereitung soweit von Organik befreit, dass durch eine nachfolgende aerobe oder anaerobe biologische Aufbereitung ein CSB-Wert von kleiner 200 mg/l sicher erreicht wird. Durch den kontinuierlich arbeitenden Plug-Flow HTC-Kocher wird ein geringer Energiebedarf und eine kleine Baugröße und gleichzeitig eine definierte Produktqualität erreicht. Aus Biomasse, die stark mit abtrennbaren Inertstoffen (Sand, Steine, Kies, etc.) verunreinigt ist, werden diese durch eine optionale Wäsche ausgetrennt, so dass ein Biobrennstoff mit einem Aschegehalt von kleiner 10 % hergestellt werden kann.

Die Firma SunCoal betreibt seit 2008 eine HTC-Pilotanlage. Diese wurde zuletzt 2011 deutlich erweitert und für den kundenorientierten Betrieb ertüchtigt. Die Anlage besteht aus einem kontinuierlichen Plug-Flow HTC-Kocher, einem Ein- und Austragssystem, einer vollautomatischen mechanischen Entwässerung sowie einer Biomassewäsche.

Das Unternehmen hat zudem einen Genehmigungsantrag für eine großtechnische HTC-Anlage am Standort Ludwigsfelde mit einem Durchsatz von 50.000 Mg/a organischer Abfallstoffe zur Erzeugung eines standardisierten, homogenen und festen Biobrennstoffes aus naturbelassener Biomasse eingereicht und in diesem Zuge die Voraussetzung, unter denen die Abfalleigenschaft für die erzeugte Kohle entfällt, mit der Behörde abgestimmt. Die CarboREN-Anlage besteht aus einer Biomasseannahme, -zerkleinerung und -wäsche, einem kontinuierlichen HTC-Kocher, einer mechanischen Entwässerung, thermi-

schen Trocknung, Produktkonfektionierung und Abwasseraufbereitung. Hierzu sind rund 10.000 m² Fläche erforderlich. Dies zeigt, dass eine HTC durch die im Vergleich zu biologischen Verfahren geringen Aufenthaltszeiten flächensparend errichtet werden kann.



Abbildung E-9 SunCoal Pilotanlage (Foto: Suncoal)

In der nachfolgenden Tabelle E-3 sind die wesentlichen Kenndaten wie Anlagenstandorte, Durchsatz, Produkt, Verfahren und Kontaktdaten für die am Markt befindlichen HTC-Verfahren gegenübergestellt.

Tabelle E-3 Anbieter der HTC Technologie

Anbieter des Verfahrens	Artec Biotechnologie GmbH	AVA-CO2 AG	Brinkhege HTC Verfahren	Carbon Solutions GmbH	Grenol GmbH	SunCoal Industries GmbH	TerraNova Energy GmbH
Anlagenstandort	Ostheim v.d. Rhön (Bayern); Halle	Karlsruhe; Relzow (Meckl.-Vorpommern)	k.A.	Teltow, (Brandenburg)	Wülfrath, (Nordrhein-Westfalen)	Ludwigsfelde, (Brandenburg)	Kaiserslautern (Rheinland-Pfalz)
Referenzanlage	Pilotanlage	Karlsruhe: Pilotanlage; Relzow: Industriemaßstab	k.A.	Pilotanlage 2010	Versuchspilotanlage	Pilotanlage 2009	Pilotanlage 2010
Durchsatz	200 l Rohrreaktor -	Karlsruhe: k.A. großtechnischer Maßstab, Hauptreaktor 14,4 m³	k.A.	1-1,5 Mg FM/h, (bei Dauerbetrieb ca. 7.000 - 9.000 Mg FM/a)	k.A.	0,5 Mg/h bei Dauerbetrieb ca. 3.000-3.500 Mg/a	2.000 Mg/a (bei Dauerbetrieb)
Produkt	HTC Kohle	HTC Kohle	HTC Kohle	HTC Kohle	HTC Kohle	HTC Kohle	HTC Kohle
Großanlage	2.500 Mg FM/a Anlage für Bioabfall in Halle	Anlage Relzow 8.400 Mg TS/a, 2. Ausbaustufe 24.000 Mg TS/a, ggf. weiterer Ausbau	keine	keine	keine	Antrag für 50.000 Mg/a-Anlage vor Genehmigung	8.000 Mg/a Anlage im Genehmigungsverfahren (Kleve)
Prinzip des Verfahrens / Bauart des Reaktors	kontinuierlicher Rohrreaktor mit Wärmetauscherfunktion	Batchverfahren quasi-kontinuierlich, Rückgewinnung Dampfenergie	Batchverfahren, Autoklaven aus der Kalksteinherstellung	kontinuierlicher Prozess in zwei Druckstufen, Wärmetauscherfunktion	k.A.	Kontinuierlicher Prozess, - Plug-Flow	Kontinuierlicher Prozess, Wärmetauscher und Rührreaktor
einsetzbare / getestete Abfälle	biogene Reststoffe wie z.B. Gärreste, Stroh- und Rasenschnitt usw. Korngröße <100 mm	verschiedene Abfälle getestet	biogene Reststoffe wie z.B. Bioabfälle, Gärreste, Klärschlamm usw.	biogene Reststoffe wie z.B. Laub, Gasschnitt usw.	biogene Reststoffe wie z.B. Stroh, Bioabfall, Klärschlamm	biogene Reststoffe wie z.B. Laub, Gasschnitt usw.	Klärschlamm, reine organische konfektionierte Abfälle
Vertrag für Bio Kohle- verwertung	k.A.	lokal vorhanden	k.A.	k.A.	Zusammenarbeit mit Wärme- kontraktor	vorhanden	k.A. (bestehende Klärschlammverwertung).
Adresse, Ansprechpartner usw.	Artec Biotechnologie GmbH Hoher Markstein 30 97631 Bad Königshofen Peter Wieczorek T: 09761-395340 www.artec-biotechnologie.com	AVA-CO2 AG Schweiz: Baarerstr. 20, CH-6300 Zug Thomas Klausli T: +41 78 936 74 81 Deutschland: Im Schlehert 14, D 76187 Karlsruhe Hans Hubschneider T: 0721 9613668 www.ava-co2.com	Brinkhege Engineering GmbH Iburger Str. 24 49176 Hilter Borsigloh Peter Brinkhege T: 05409 9393 -0 brinkeng@t-online.de	Carbon Solutions GmbH Albert-Einstein-Ring 1 14532 Kleinmachnow Volker Zwing T: 033203 887850 www.cs-carbonsolutions.de	Grenol GmbH Dieselstraße 86-88 42489 Wülfrath Lothar Hofer, Dr. Guido Dericks T: 02104/5042-311 www.grenol.de	SunCoal Industries GmbH Rudolf-Diesel-Str. 15 14974 Ludwigsfelde Friedrich von Ploetz T: (03378) 8812210 www.suncoal.de	TerraNova Energy GmbH Königsberger Str. 100 40231 Düsseldorf Marc Buttman T: 0211 73 779 88 www.terranoenergy.com

Kostenbetrachtung

Von einigen HTC-Anlagenherstellern wurden Rahmenwerte der Investitions- und Betriebskosten für Anlagengrößen zur **Klärschlammbehandlung** zwischen 10.000 und 60.000 Mg Jahresdurchsatz übermittelt. Diese sind in Tabelle E-4 zusammengestellt. Dabei wurden folgende Ansätze **als Bruttowerte** getroffen:

- Kapitaldienst: Abschreibungszeiträume 20 Jahre für den Bauteil, 12 Jahre für den Maschinen- und Elektroteil, 4% Zinsen.
- Personal: Die Anlagen arbeiten vollautomatisch und sind in das personelle Klärwerksregime eingebunden. Ansatz 50.000 €/Person und Jahr, 2 Personen für die 10.000 Mg/a-Anlage, 4 Personen für die 35.000 Mg/a-Anlage, 6 Personen für die 60.000 Mg/a-Anlage.
- Unterhalt: 0,5% des Bauteil-Invests pro Jahr, 2% des Maschinen- und Elektroteils pro Jahr; dies folgt der Angabe eines bestehenden HTC-Wartungsvertrages mit 1,5 % des M+E-Invests.
- Betriebsmittel: Der Bedarf wird mit 21 bzw. 24 kWh/Mg Strom sowie 72 kWh/Mg Erdgas für die 10.000 Mg/a-Modulanlage (Thermoölheizung) und 178 kWh/Mg Erdgas für die Großanlagen (Dampfeinsatz, Abwärmenutzung nicht eingerechnet) angesetzt. Stromkosten sind mit 150 €/MWh, Erdgas mit 60 €/MWh angenommen; Kosten für das in die Kläranlage rückgeführtes Prozesswasser wurden nicht aufgenommen².
- Verwaltungskosten: 10% des Personalaufwandes, Versicherungskosten mit 1% des Invests.
- Entsorgungskosten: Es wird davon ausgegangen, dass auch für die HTC-Kohle trotz ihres hohen Heizwertes noch eine Zuzahlung erfolgen muss. Für erzeugte HTC-Kohle werden 30 €/Mg FS incl. Transport (15 €/Mg FS) angesetzt.
- Entsorgungskosten IST-Stand: Für gefaulten, entwässerten Klärschlamm werden 50 €/Mg FS angesetzt. Diese durch eine eventuelle HTC-Behandlung entfallenden Kosten bilden die Gutschrift in der Kalkulation.
- Nach erstellter Massenbilanz werden 26,7% des gefaulten Klärschlamm-Inputs mit 70% TS als zu entsorgende HTC-Kohle, mit einem Heizwert von 2,97 MWh/Mg FS angenommen.

Erwartungsgemäß zeigt die kleinere Modulanlage mit 10.000 Mg/a die spezifisch höchsten Mehrkosten, die – unter den getroffenen Ansätzen – bei größeren Anlagen in Richtung 4,50 €/Mg Mehrkosten bis -4,60 €/Mg Input (FS) Kostenentlastung sinken.

Im Kontext einer Machbarkeitsstudie ist insbesondere zu klären, wie die Betriebskosten für rückgeführtes Abwasser einzuordnen sind, die in diese Kalkulation nicht aufgenommen wurden. Weiter wären die Abnahmebedingungen für die erzeugte HTC-Kohle aufzuklären:

² Nach Mitteilung von TerraNova, nach der in der Kläranlage Kaiserslautern der HTC-Behandlung keine zusätzlichen Kosten für rückgeführtes Prozesswasser aus der HTC-Behandlung des Klärschlammes zugeschrieben werden.

Hier besteht perspektivisch ein Minderungspotenzial der Gesamtkosten, wenn für die heizwertreiche Klärschlammkohle frei Verwertungsanlage Erlöse in Höhe der Transportaufwandes erschlossen werden können (entsprechend 15 €/Mg FS bzw. rund 5 €/MWh).

Daneben ist insbesondere der Energieaufwand beim HTC-Verfahren kostenbestimmend, insbesondere durch den Erdgaseinsatz. Erdgaskosten bilden bei den beiden Großanlagen rund 50% der Betriebskosten und tragen damit zu rund 20% zu den Gesamtkosten bei. Energiesparende Verfahrensauswahl, Einbindung in Strukturen zur günstigen Energiebereitstellung und Ausschöpfung der Möglichkeiten zur Abwärmenutzung spielen daher eine wesentliche Rolle.

Tabelle E-4: Investitions- und Betriebskosten (brutto) für die HTC-Behandlung von gefaultem Klärschlamm

HTC-Behandlungsvarianten für Klärschlamm	Var. 1	Var. 2	Var. 3
Beträge in € bzw. €/a brutto	Jahresdurchsatz: 10.000 Mg/a	35.000 Mg/a	60.000 Mg/a
Invest Bauteil	708.050	850.850	922.250
Maschinentechnik / E-Technik	2.380.000	5.950.000	6.961.500
Investitionen Gesamt	3.088.050	6.800.850	7.883.750
Kapitalkosten (20 a Bauteil, 12 a M+E-Teil, 4% Zins)	305.694	696.592	809.624
Personalkosten	100.000	200.000	300.000
Unterhaltungskosten (für Bau- und Maschinenteil)	51.140	123.254	143.841
Betriebsmittel (Strom, Gas, Katalysator, ohne Abwasser)	128.340	499.800	856.800
Verwaltungskosten, 10% von Personalkosten	10.000	20.000	30.000
Versicherung (1% von Investition)	30.881	68.009	78.838
Entsorgung HTC-Kohle incl. Transport (26,7% v. Input)	80.216	280.755	481.294
Analysekosten pauschal	12.000	18.000	24.000
Betriebskosten Gesamt	412.576	1.209.818	1.914.773
Kapitalkosten	305.694	696.592	809.624
Betriebskosten	412.576	1.209.818	1.914.773
Jahreskosten ohne Gutschrift	718.270	1.906.410	2.724.397
Unbehandelte Entsorgung Klärschlamm (50 €/Mg FS)	-500.000	-1.750.000	-3.000.000
Jahreskosten inkl. Gutschrift	218.270	156.410	-275.603
Behandlungskosten inkl. Gutschrift (€/Mg Input)	21,83	4,47	-4,59

Zusätzlich wurde orientierend nach dem im Maßnahmenkatalog dieser Studie aufgestellten HTC-Kapazitätsbedarf eine Kostenkalkulation für die Verarbeitung von **Grünabfällen** (Mischung von 1/3 Laub und 2/3 Mähgut) aufgestellt. Die Kalkulation ist in Tabelle E-5 zusammengestellt.

Folgende Ansätze **als Bruttowerte** wurden dabei getroffen:

- Kapitaldienst: Abschreibungszeiträume 20 Jahre für den Bauteil, 12 Jahre für den Maschinen- und Elektroteil, 6 Jahre auf Mobiltechnik, 4% Zinsen.
- Personal: Ansatz 50.000 €/Person und Jahr, 6 Personen für die 35.000 Mg/a-Anlage, 8 Personen für die 60.000 Mg/a-Anlage.
- Unterhalt: 0,5% des Bauteil-Invests pro Jahr, 3% des Maschinen- und Elektroteils pro Jahr; 10% des Mobilinvests (Radlader).
- Betriebsmittel: Es werden 40 kWh an Strombedarf und 140 kWh an Erdgasbedarf für den HTC-Prozess einschließlich mechanischer Entwässerung angenommen. Der Dieselverbrauch (nur für Beschickung) wird mit rd. 0,3 l/Mg angesetzt. Stromkosten sind mit 150 €/MWh, Erdgas mit 60 €/MWh und Diesel mit 1,50 €/l angenommen; die Abwasserentsorgung wurde mit 8 €/m³ angenommen.
- Entsorgungskosten Inertstoffe: Für abgetrennte Inertstoffe (z.B. als leicht humushaltiger Zuschlagsstoff einer Erdenaufbereitung) werden 12 €/Mg angesetzt.
- Verwaltungskosten: Diese werden mit 10% des Personalaufwandes, Versicherungskosten mit 1% des Invests angenommen.
- Erlöse Kohle: In der Massenbilanz wurden 24,7% des Grünabfall-Inputs als verwertete HTC-Kohle mit einem Heizwert von 4,5 MWh/Mg FS berechnet (nach Abbildung E-2 und dortiger Erläuterung). Für die erzeugte HTC-Kohle differieren die Einschätzungen der Anbieter bezgl. der nach erzeugter Kohle-Qualität erzielbaren Erlöse: Einerseits werden für HTC-Kohle im mechanisch entwässerten Zustand (75% TS) Erlöse erwartet, die sich an den Lieferpreisen für Holzhackschnitzel³ orientieren. Demgegenüber wird von anderer Seite eine Vermarktungsoption nur gesehen, wenn das Material auf rd. 90% TS getrocknet wird. In den Ansätzen zur Kostenkalkulation (siehe Tabelle E-5) wurde für die auf 75% TS mechanisch entwässerte HTC-Kohle zunächst ein Erlös von 25 €/MWh bzw. 112,50 €/Mg zu Grunde gelegt. In diesem Betrag ist ein Transportaufwand von 15 €/Mg HTC-Kohle enthalten.
- Entsorgungskosten: Die derzeitigen Kompostierungskosten für die Grünreste sind mit 23 €/Mg FS (ICU 2011) angesetzt. Diese durch eine HTC-Behandlung entfallenden Kosten bilden die Gutschrift in der Kalkulation.

³ Energiepreise siehe: <http://www.carmen-ev.de/dt/energie/hackschnitzel/hackschnitzelpreis.html>

Tabelle E-5 Investitions- und Betriebskosten (Brutto) für HTC-Behandlung von Mähgut und Laub

HTC-Behandlungsvarianten für Mähgut/Laub	Var. 1	Var. 2
Beträge in € bzw. €/a brutto <i>Jahresdurchsatz:</i>	35.000 Mg/a	60.000 Mg/a
Invest Bauteil	1.088.850	1.338.750
Mobilgeräte Radlader	238.000	297.500
Maschinentechnik / E-Technik	6.188.000	7.318.500
Investitionen Gesamt	7.514.850	8.954.750
Kapitalkosten (20 a Bauteil, 12 a M+E-Teil, 4 % Zins)	784.866	935.061
Personalkosten	300.000	400.000
Unterhaltungskosten (für Bau- und Maschinenteil)	214.884	255.999
Betriebsmittel (Strom, Gas, Diesel, Abwasser)	720.458	1.235.071
Verwaltungskosten, 10 % von Personalkosten	30.000	40.000
Versicherung (1 % von Investition)	75.149	89.548
Entsorgungskosten Inertstoffe	23.116	39.627
Analysekosten pauschal	18.000	24.000
Betriebskosten Gesamt	1.381.607	2.084.245
Kapitalkosten	784.866	935.061
Betriebskosten	1.381.607	2.084.245
Jahreskosten ohne Gutschrift	2.166.472	3.019.306
Erlöse Biokohle (25 €/MWh incl. Transport)	-947.704	-1.624.635
Unbehandelte Entsorgung Grünreste	-805.095	-1.380.162
Jahreskosten incl. Gutschrift	413.674	14.509
Behandlungskosten ohne Gutschrift, (€/Mg Input)	61,90	50,32
Behandlungskosten incl. Gutschrift, (€/Mg Input)	11,82	0,24

Die spezifischen Behandlungskosten ohne Erlöse und Gutschriften belaufen sich auf rund 50 bis 62 €/Mg. Die Einsparung der bisherigen Kompostierung sowie die angesetzten Erlöse für die HTC-Kohle führen zu einer Entlastung von rd. 50 €/Mg FS-Input, so dass bei einer 35.000 Mg/a-Anlage mit verbleibenden Mehrkosten von rd. 12 €/Mg Input, bei einer Großanlage mit Kostenneutralität zu rechnen wäre.

Auf diese Kostensituation hat – abgesehen von den oben diskutierten Energieerlösen für die erzeugte Kohle – der Energieaufwand und die Versorgung mit Prozessenergie einen maßgeblichen Einfluss: Die Anlage im Berechnungsmodell geht von einer eigenständigen Energieversorgung über Erdgas aus. Würde man dagegen eine HTC-Anlage im Maßstab von 50.000 - 60.000 Mg/a neben einem Kraftwerk installieren, würden durch die auf rd. 20 €/MWh reduzierten Energiekosten (Dampfbezug aus dem Kraftwerk) und weitere Sy-

nergieeffekte die spezifischen Kosten der HTC um mindestens weitere -6 €/Mg Input gesenkt werden können.

Zusammenfassung

Die HTC-Technologie ist geeignet, die Energiedichte verschiedenster organischer Roh- und Reststoffe deutlich zu erhöhen und einen regenerativen Energieträger mit braunkohleähnlichen Eigenschaften zu erzeugen. Der dazu erforderliche Energieaufwand liegt deutlich unter dem einer thermischen Trocknung.

Vorteilhaft am HTC-Verfahren ist daneben, dass Abgas nur in sehr geringem Umfang und zudem in einem vollständig geschlossenen System (HTC-Reaktor) produziert wird.

Das Verfahren hat seine technische Eignung in verschiedenen, in Betrieb stehenden Demonstrationsanlagen bewiesen. Nicht abschließend geklärt sind insbesondere die künftigen Verfahren und Kosten der Abwasserbehandlung, daneben spielt die Einordnung der HTC-Kohle als Produkt (mit Verlust der Abfalleigenschaft) eine künftig wesentliche Rolle bei der Einordnung und Preisbildung dieses Brennstoffs am Markt, die wiederum für die Gesamtkosten von Bedeutung ist.

Ob und in welcher Höhe bei Einsatz des Verfahrens Mehrkosten entstehen, ist vorrangig von den Standort- und Energieversorgungsbedingungen, den bestehenden Entsorgungskosten der Abfallstoffe, den Erlösen für die HTC-Kohle und der Größe der HTC-Anlage abhängig. In den Modellrechnungen konnte anhand realitätsnaher Entsorgungskosten und bedarfsorientierter Einschätzungen des Kapazitätsbedarfes aufgezeigt werden, dass die HTC sowohl für die Klärschlamm- als auch für die Grünabfallbehandlung eine wirtschaftlich interessante Perspektive bietet.

Insgesamt ist das HTC-Verfahren geeignet, künftig eine wichtige Rolle bei der hochwertigen Verwertung organischer Abfallstoffe zu spielen.

Quellenverzeichnis zu Anhang E

- (Blöhse 2012) Anaerobe Verwertung von HTC-Prozesswässern, Dennis Blöhse, Beitrag in "Biokohle im Blick" 73. Symposium des ANS, Berlin 2012
- (Buttmann 2010) HTC-Projekt Kläranlage Kaiserslautern, Marc Buttmann. Beitrag in "Biokohle - Klimaretter oder Mogelpackung?" 72. Symposium des ANS, Berlin 2011
- (Quicker 2012) Thermochemische Verfahren zur Erzeugung von Biokohle; Quicker, P; in: Biokohle im Blick; 73. Symposium des ANS e.V, Berlin 2012
- (Ramke. et.al 2010) Hydrothermale Carbonisierung. Förderprojekt der DBU; Ramke, H.-G. et.al.; Hochschule Ostwestfalen-Lippe, Höxter, Oktober 2010
- (ZAHW 2011) Machbarkeitsstudie BAFU 2011: Schlussbericht Hydrothermale Carbonisierung von Klärschlamm; Escala M. et al.: zahw, Zürich 2011

Anhang F. Leistungsblätter für relevante Abfallarten

Verwertung von Asphalt

1. Beim Straßenrückbau ist der Asphalt schichtweise abzutragen. Die Deckschicht ist abzufräsen (Fräsasphalt), die Binderschicht aufzubrechen.
2. Die getrennt zu haltenden Asphaltsschichten sind über Asphaltmischwerke stofflich zu verwerten.
3. Um einen möglichst hohen RC-Anteil zu gewährleisten, sind Asphaltabfälle Asphaltmischwerken anzudienen, die über eine Paralleltrommel verfügen und bei denen ein entsprechendes Stoffstrommanagement gegeben ist.
4. Die stoffliche Verwertung ist in einem Stoffflussdiagramm (Art, Menge und Verbleib) im Angebot zu dokumentieren.
5. Der Bieter legt dem Auftraggeber jährlich einen Bericht über Art, Menge und Verbleib der Abfallarten (einschließlich der Adresse der Verwertungsanlagen) vor.

Abfallmanagement / Müllschleusen zur Verminderung von Hausmüll

Ziel des Abfallmanagement ist es, eine den gesetzlichen Anforderungen entsprechende ordnungsgemäße und schadlose Entsorgung zu gewährleisten, die Kosten für die Abfallentsorgung zu minimieren sowie die Verantwortlichkeit für die ordnungsgemäße Abfallentsorgung der Mieterschaft durch kontinuierliche Aufklärung und Information zu steigern. Durch die Einführung eines Abfallmanagements oder eines Müllschleusensystems soll das spezifische mittlere Restmüllbehältervolumen pro Wohneinheit gesenkt und die Menge der getrennt erfassten Wertstoffe deutlich gesteigert werden.

Mindestanforderungen an ein konventionelles Abfallmanagement:

1. Durch die Einführung eines Abfallmanagements ist zu gewährleisten, dass das spezifische mittlere Restmüllbehältervolumen pro Wohneinheit unter 60 Liter pro Woche liegt.
2. Der Bieter organisiert die Behälterkonfiguration an den Müllstandplätzen und bringt Aushänge u.a. in Hausfluren an (z.B. Trennanleitungen, Infoanschreiben).
3. Die Kontrolle der Behälter für Papier, Verpackungen/Wertstoffe, Bioabfall, Glas und Restmüll auf „Fehlbefüllungen“ erfolgt bedarfsgerecht mindestens drei- bis sechsmal wöchentlich. Der Bieter garantiert, dass die jeweiligen Tonnen spätestens bis zum Abholungstermin so sortiert sind, dass sich weitestgehend keine Fehlwürfe mehr in ihnen befinden.
4. Es erfolgt, soweit nach den abfall- und arbeitsschutzrechtlichen Bestimmungen möglich, eine Nachsortierung der Restabfall- sowie Wertstofffraktionen.
5. Es ist darauf zu achten, dass die Abfallbehälter der jeweiligen Liegenschaften einer regelmäßigen und ordnungsgemäßen Abholung zur Entsorgung zugeführt werden.
6. Die Standplätze der Abfallgefäße sind bedarfsgerecht besenrein zu reinigen, sofern keine witterungsbedingten Einschränkungen vorliegen. Verunreinigungen am Müll-

standplatz durch Müllbeistellungen sind bei jeder Bewirtschaftungsanfahrt in die vorhandenen Müllgefäße zu verbringen.

7. Die Betreuungs- und Nachsortierleistung der Liegenschaftsbetreuer findet ausschließlich vor Ort, entweder direkt am Müllplatz, eventuell in vorhandenen Müll- oder Lagerräumen für Sperrgut statt.
8. Mechanisches Verdichten ist dem Bieter nicht gestattet.
9. Die Bestimmungen der Lärmschutzverordnung sind einzuhalten.
10. Der Bieter berät die Mieter hinsichtlich der korrekten Getrenntsammlung. Dies erfolgt möglichst in Form einer haushaltsnahen persönlichen Beratung und in schriftlicher Form über mehrsprachige Aushänge in den betroffenen Objekten sowie über mehrsprachige Flyer.
11. Der Bieter verpflichtet sich von Montag bis Freitag in der Zeit von 8 Uhr bis 17 Uhr eine telefonische Erreichbarkeit sicherzustellen. Die Aufgabe der Hotline ist es, Beschwerden aufzunehmen und kurzfristig für deren Abhilfe zu sorgen. Die Hotline ist kostenfrei für die Mieter; die Kosten für diese Hotline sind vom Bieter zu tragen.
12. Bei angekündigten Mieterversammlungen, in denen das Thema Abfallentsorgung und Gebühreneinsparung angesprochen werden soll, stellt der Bieter einen fachkundigen Berater u.a. zur Beantwortung von Fragen zur Verfügung.
13. Der Bieter hat jährlich einen Bericht anzufertigen und vorzulegen. In diesem Bericht werden erreichte Ergebnisse im Bereich der Volumen- und Kostenreduktion pro Wirtschaftseinheit quantifiziert und ggf. Veränderungen im Entsorgungsverhalten der Mieter beschrieben.
14. Der Bieter erbringt die Leistungen ausschließlich mit eigenem qualifiziertem Personal, welches mit einheitlicher Firmenbekleidung mit Logo des Bieters ausgestattet ist. Der Bieter stellt "Liegenschaftsbetreuer" für die Bewirtschaftung der Müllstandplätze ein.
15. Der Bieter hat nachzuweisen, dass die Liegenschaftsbetreuer ausführliche Schulungen in folgenden Bereichen erhalten haben:
 - a. Korrekte Abfalltrennung
 - b. Standplatzkontrolle
 - c. Bewertung des Abfalltrennverhaltens
 - d. Feststellung von Einsparpotenzialen
 - e. Stoffstrommanagement
 - f. Standplatzlogistik
 - g. Mieterberatung
 - h. Arbeitssicherheit

Ergänzende Mindestanforderungen an ein Müllschleusensystem kombiniert mit einer Abfallmanagementdienstleistung:

1. Durch die Einführung eines Müllschleusensystems ist zu gewährleisten, dass das spezifische mittlere Restmüllbehältervolumen pro Wohneinheit unter 40 Liter pro Woche liegt.

2. Zur verbrauchsabhängigen Erfassung der Abfallmengen sind an mit dem Auftraggeber abgestimmten Standplätzen identgesteuerte Müllmengenerfassungsanlagen, sog. Müllschleusen, aufzustellen.
3. Der Bieter hat eine verbrauchsabhängige und damit verursachergerechte Zuordnung der angefallenen Abfallmengen vorzunehmen. Die Mieter sind in die Benutzung der identgesteuerten Müllschleuse einzuweisen und mit den entsprechenden Zugangstranspondern auszustatten. Dabei hat insbesondere bei Mieterwechsel eine Erstberatung bzw. Erstausrüstung zu erfolgen.
4. Bei Verlust ist die Transponderübergabe an den Mieter innerhalb von 48h Stunden sicherzustellen.
5. Die Funktionsfähigkeit der Müllschleusen ist im Rahmen regelmäßiger Kontrollen und Wartungen sicherzustellen.
6. Die notwendige Betreuungsintensität der Müllschleusenstandplätze beträgt mindestens vier Anfahrten pro Woche.
7. Der Bieter verpflichtet sich, alle Haushalte mindestens einmal pro Jahr schriftlich über seine individuellen Schüttmengen zu informieren. Null- und Vielschütter sind darüber hinaus hinsichtlich einer geordneten Entsorgung bzw. der Konsequenzen ihres Nutzungsverhaltens zu informieren.
8. Der Bieter verfolgt und überprüft permanent alle Veränderungen im „Transponderbestand“ der Schleusenprojekte als Basis der Erstellung der Betriebskostenabrechnung für die Abfallentsorgung.
9. Für jede einzelne Mietpartei ist eine Abrechnung der Abfallentsorgungskosten nach einem mit dem Auftraggeber zu vereinbarenden Aufteilungsschlüssel zu erstellen.
10. Die Abrechnung ist dem Auftraggeber als Papiausdruck „Einzelabrechnung - Abfallentsorgung“ als Anlage zur Betriebskostenabrechnung der Mieter zu übermitteln. Für die Überführung in das Datenverarbeitungssystem des Auftraggebers ist die Abrechnung schnittstellengerecht in elektronischer Form zur Verfügung zu stellen.

Verwertung von über die Wertstofftonne erfassten stoffgleichen Nichtverpackungen

1. Die bislang nicht nach der Verpackungsverordnung geregelten stoffgleichen Nichtverpackungen sind analog den bislang über die Gelbe Tonne erfassten Leichtverpackungen einer hochwertigen Sortierung und Verwertung zuzuführen.
2. Die Sortierung hat in Sortieranlagen nach dem Stand der Technik zu erfolgen⁴.
3. Die Verwertung der stoffgleichen Nichtverpackungen in entsprechenden Sortieranlagen (inkl. Adresse der Anlagen) ist in Form einer Massenstrombilanz im Angebot zu dokumentieren.

⁴ Unter <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/4342.pdf>, S.12/13 finden sich Hinweise zum Stand der Technik der LVP-Sortierung.

4. Der Bieter legt dem Auftraggeber jährlich einen Bericht über Art, Menge und Verbleib der Abfallarten (einschließlich der Adresse der Verwertungsanlagen) vor.

Verwertung von gemischten gewerblichen Siedlungsabfällen und gemischten Bau- und Abbruchabfällen

1. Zur Stärkung der stofflichen Verwertung ist die unmittelbare Verbrennung dieser Gemische unzulässig.
2. Diese Gemische sind Vorbehandlungsanlagen zuzuführen, die mindestens 20 Prozent stofflich verwertbare Sortierfraktionen sowie im Weiteren hochwertige, schadstoffarme und heizwertreiche Ersatzbrennstoffe erzeugen.
3. Die Ersatzbrennstoffe sind mit einem Energienutzungsgrad von mindestens 60% energetisch zu verwerten. Der Energienutzungsgrad ist durch eine Energiebilanz zu dokumentieren. Bei einer Mitverbrennung in Kraft- oder Zementwerken ist der Nachweis des Verbleibs ausreichend.
4. Die stoffliche und energetische Verwertung der Abfallarten ist in einem Stoffflussdiagramm (Art, Menge und Verbleib) im Angebot zu dokumentieren.
5. Der Bieter legt dem Auftraggeber jährlich einen Bericht über Art, Menge und Verbleib der Abfallarten (einschließlich der Adresse der Verwertungsanlagen) sowie über Menge und Art der erzeugten Energie (Strom und / oder Wärme) vor.

Sperrmüll

1. Bei der Sperrmüllaufbereitung sind enthaltene Metalle abzutrennen. Diese sind in Eisen- und Nichteisenmetalle aufzutrennen und entsprechenden Aufbereitungsanlagen zuzuführen.
2. Die aus dem Sperrmüll erzeugte EBS-Fraktion ist mit einem Energienutzungsgrad von mindestens 60% energetisch zu verwerten. Der Energienutzungsgrad ist durch eine Energiebilanz zu dokumentieren. Bei einer Mitverbrennung in Kraft- oder Zementwerken ist der Nachweis des Verbleibs ausreichend.
3. Die stoffliche und energetische Verwertung der Abfallarten ist in einem Stoffflussdiagramm (Art, Menge und Verbleib) im Angebot zu dokumentieren.
4. Der Bieter legt dem Auftraggeber jährlich einen Bericht über Art, Menge und Verbleib der Abfallarten (einschließlich der Adresse der Verwertungsanlagen) vor.

Straßenkehrsricht

1. Der anfallende Straßenkehrsricht ist einer effizienten Aufbereitung mit Schadstoff- und Organikseparierung zuzuführen.
2. Die schadlose Verwertung des mineralischen Anteils ist gemäß § 12 Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) und der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA)-Mitteilung „Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Abfällen – Technische Regeln –“ (Mitteilung der Länder-

arbeitsgemeinschaft Abfall Nr. 20) oder nach §§ 14 bis 17 der Deponieverordnung zu gewährleisten.

3. Die separierte organikhaltige Fraktion aus dem Straßenkehricht ist ggf. nach weiterer Aufbereitung mit einem Energienutzungsgrad von mindestens 60% zu verwerten. Der Energienutzungsgrad ist durch eine Energiebilanz zu dokumentieren. Bei einer Mitverbrennung in Kraft- oder Zementwerken ist der Nachweis des Verbleibs ausreichend.
4. Die stoffliche und energetische Verwertung der Abfallarten ist in einem Stoffflussdiagramm (Art, Menge und Verbleib) im Angebot zu dokumentieren.
5. Der Bieter legt dem Auftraggeber jährlich einen Bericht über Art, Menge und Verbleib der Abfallarten (einschließlich der Adresse der Verwertungsanlagen) vor.

Altreifen

1. Zur Stärkung der stofflichen Nutzung ist die energetische Verwertung von Altreifen unzulässig.
2. Nicht wiederverwendbare Altreifen (Profiltiefe < 1,6 mm; unregelmäßige Abriebspuren oder andere mechanische Schäden, mehrfach ineinander verschachtelte Reifen) sind einer hochwertigen stofflichen Verwertung zuzuführen, bei der hochwertiges Gummigranulat erzeugt wird, das zur Substitution von synthetischen oder thermoplastischen Polymeren eingesetzt wird.
3. Die stoffliche Verwertung ist in einem Stoffflussdiagramm (Art, Menge und Verbleib) im Angebot zu dokumentieren. Es ist auch ein Verwertungsnachweis des Verwerters für den o.g. Einsatz der erzeugten Gummigranulate vorzulegen.
4. Der Bieter legt dem Auftraggeber jährlich einen Bericht über Art, Menge und Verbleib der Abfallarten (einschließlich der Adresse der Verwertungsanlagen) vor.

Verwertung von nicht gefährlichem Altholz

1. Altholz ist über energieeffiziente Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen mit einem Gesamtnutzungsgrad der im Brennstoff enthaltenen Energie von mindestens 60% oder über energieeffiziente Kraftwerke mit einem Nettostromwirkungsgrad von mindestens 35% zu verwerten.
2. Die energetische Verwertung ist in einem Stoffflussdiagramm (Art, Menge und Verbleib) im Angebot zu dokumentieren.
3. Der Bieter legt dem Auftraggeber jährlich einen Bericht über Art, Menge und Verbleib der Abfallarten (einschließlich der Adresse der Verwertungsanlagen) sowie über Menge und Art der erzeugten Energie (Strom und / oder Wärme) vor.

Verwertung von flüssigem und festem Gärrest aus der Bioabfallvergärung

1. Für abgepressten flüssigen Gärrest ist durch die Vorlage aussagekräftiger Unterlagen (z.B. Auftragsunterlagen zur technischen Ausstattung und Messberichte) zu doku-

mentieren, dass die Zwischenlagerung bis zur endgültigen Anwendung der Gärreste ausschließlich in gasdicht geschlossenen Gärrestlagern erfolgt und das Restgas energetisch verwertet – mindestens aber mit einer automatischen Fackel verbrannt – wird.

2. Abgepresster fester Gärrest ist Kompostierungsanlagen zuzuführen, die die Gütekriterien nach der Bundesgütegemeinschaft Kompost (BGK) einhalten. Des Weiteren hat der Anlagenbetrieb den Hinweisen der BGK für einen Betrieb mit geringen Emissionen an klimawirksamen Gasen zu folgen⁵. Wesentliche Mindestanforderungen hierbei sind: optimales C/N-Verhältnis durch geeignete Mischung mit Strukturmaterial, Aufsetzen von Dreiecksmieten auf Bodenplatten und Membranabdeckung (zwecks Temperaturerhalt über 45°C), regelmäßige Belüftung der Mieten zur Vermeidung anaerober Zonen. Die Einhaltung der BGK-Gütekriterien ist durch Nachweis der BGK-Mitgliedschaft oder einen gleichwertigen Nachweis zu dokumentieren. Die Erfüllung der Mindestanforderungen an den Anlagenbetrieb ist durch Eigenerklärung der Betreiber nachzuweisen, die mit dem Angebot vorzulegen ist.
3. Die Verwertung ist in einem Stoffflussdiagramm (Art, Menge und Verbleib) im Angebot zu dokumentieren.
4. Der Bieter legt dem Auftraggeber jährlich einen Bericht über Art, Menge und Verbleib der Abfallarten (einschließlich der Adresse der Verwertungsanlagen bzw. Standorte der Zwischenlager) vor.

Verwertung von Laub und Mähgut

1. Der Energieinhalt von Laub und Rasenschnitt ist bei der Verwertung effizient zu nutzen. Aus der in der Trockensubstanz der Grünreste gebundenen Energie müssen bei dem jeweiligen Verwertungsverfahren mindestens 55% als Energie genutzt werden. Hierbei wird der Energieeinsatz für die Vorbehandlung und für den Transport nicht berücksichtigt⁶.
2. Bei den genutzten Verwertungsverfahren ist durch die Vorlage aussagekräftiger Unterlagen (z.B. Messberichte) zu dokumentieren, dass alle Vorschriften nach dem Bundesimmissionsschutzgesetz und der TA Luft (insbesondere TOC-Grenzwert von 50 mg pro Kubikmeter Abgas gemäß Nummer 5.2.5 der TA Luft) vollständig eingehalten werden.
3. Die Verwertung ist in einem Stoffflussdiagramm (Art, Menge und Verbleib) im Angebot zu dokumentieren.
4. Der Bieter legt dem Auftraggeber jährlich einen Bericht über Art, Menge und Verbleib der Abfallarten (einschließlich der Adresse der Verwertungsanlagen) vor.

⁵ Betrieb von Kompostierungsanlagen mit geringen Emissionen klimarelevanter Gase. Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V. (Hrsg.), 1. Auflage November 2010

⁶ Vorgehensweise Berechnung und weitere Erläuterungen siehe:

<http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/abfallwirtschaft/de/biomasse/index.shtml>

Speisereste und überlagerte Lebensmittelabfälle

1. Bei der Verwertung von Speiseresten, überlagerten Lebensmittelabfällen und Fettabscheiderinhalten ist durch die Vorlage aussagekräftiger Unterlagen (z.B. Messberichte) zu dokumentieren, dass die genutzten Vergärungsanlagen mindestens über einen Nachgärer (mit einer Verweilzeit von > 10 Tagen zur verbesserten Nutzung des Gärrestpotenzials) verfügen sowie die anschließende Zwischenlagerung der Gärreste ausschließlich in geschlossenen Gärrestlagern erfolgt und das Restgas energetisch verwertet – mindestens aber mit einer automatischen Fackel verbrannt – wird. Bei der Abpressung der Gärreste ist die Abluft zu erfassen und als Zuluft für thermische Prozesse (z.B. BHKW oder Brenner für die Trocknung) einzusetzen.
2. Bei den genutzten Verwertungsverfahren ist durch die Vorlage aussagekräftiger Unterlagen (z.B. Messberichte) zu dokumentieren, dass alle Vorschriften nach dem Bundesimmissionsschutzgesetz und der TA Luft (insbesondere TOC-Grenzwert von 50 mg pro Kubikmeter Abgas gemäß Nummer 5.2.5 der TA Luft) vollständig eingehalten werden.
3. Die Verwertung ist in einem Stoffflussdiagramm (Art, Menge und Verbleib) im Angebot zu dokumentieren.
4. Der Bieter legt dem Auftraggeber jährlich einen Bericht über Art, Menge und Verbleib der Abfallarten (einschließlich der Adresse der Verwertungsanlage bzw. Standorte der Zwischenlager) vor.