Klimaschutz- und Energieeffizienz potenziale im Bereich Abfall und Abwasserwirtschaft

Bericht im Rahmen des Vorhabens

„Wissenschaftliche Begleitforschung zu übergreifenden technischen, ökologischen, ökonomischen und strategischen Aspekten des nationalen Teils der Klimaschutzinitiative“

FKZ 03KSW016A

Regine Vogt, Sabine Frisch, Dr. Martin Pehnt
ifeu - Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg

Heidelberg
28. Juli 2010

Inhalt

Inhalt **2**

1 Zusammenfassung **5**

1.1 Potenziale der Siedlungsabfallwirtschaft ***5***

1.2 Potenziale auf Kläranlagen ***7***

1.3 Potenziale außerhalb Kläranlagen – Abwasserabwärme aus der Kanalisation ***8***

2 Einordnung **9**

3 Klimaschutz- und Energieeffizienzpotenziale der Abfallwirtschaft **11**

3.1 Abfallwirtschaft Deutschland ***11***

3.1.1 Abfallaufkommen 11

3.1.2 Entsorgung von Siedlungsabfällen und Altholz 12

3.2 Energie-/Klimaeffizienzpotenziale von Siedlungsabfällen ***13***

3.2.1 Steigerung getrennte Erfassung von Wertstoffen 14

3.2.2 Optimierung Behandlungsmethoden 17

3.2.3 Restmüllbehandlung, thermische Entsorgung 18

3.2.4 Erfassung bislang ungenutzter Reststoffe 22

3.3 Klimaschutz- und Effizienzmaßnahmen bei Siedlungsabfällen ***24***

3.3.1 Potenziale durch Steigerung der getrennten Erfassung von Wertstoffen 24

3.3.2 Potenziale durch Nachrüstung von Kompostierungsanlagen mit einer anaeroben Stufe 32

3.3.3 Potenziale durch Steigerung der Wirkungsgrade von thermischen Anlagen 37

3.3.4 Potenziale durch Erfassung bislang ungenutzter Grünabfälle und Landschaftspflegereste 43

3.4 Zusammenfassung der Potenziale ***48***

3.5 Innovative Praxisbeispiele ***49***

3.5.1 Vergärungsanlage Deißlingen 49

3.5.2 Nachrüstung Kompostierungsanlage Passau und Kompostvertriebssystem 50

3.5.3 Biogasanlage Söhnergy 52

3.5.4 Humus- und Erdenwerk Niddatal-Ilbenstadt 52
3.5.5 Umweltpartner und Umwelttechnik Vogel AG 53
3.5.6 Gärtnerei Rodenböker in Paderborn 54

3.6 Derzeitige Anreize für eine Energie- und THG-Effizienzsteigerung 55
3.6.1 Förderprogramme 55
3.6.2 Kommunale Akteure und Anreize 56

3.7 Vorschläge für eine Verbesserung der Anreize 57
3.7.1 Gesetzgebung 57
3.7.2 Nationale Klimaschutzinitiative 58

4 Klimaschutz- und Energieeffizienzpotenziale der Abwasserwirtschaft 64

4.1 Gesetzgebung 64
4.1.1 Rechtliche Regelungen für Abwärme 66
4.1.2 Anforderungen für Klärschlamm und Klärgas 67

4.2 Organisationsstruktur 67
4.2.1 Aufgaben der Kommunen 69
4.2.2 Gebührenordnung 69

4.3 Energie-/Klimaeffizienzpotenziale von Kläranlagen 72
4.3.1 Kläranlagen in Deutschland 72
4.3.2 Energiebedarf von Kläranlagen 73
4.3.3 Neue bzw. weitergehende Verfahren bei der Abwasserreinigung 78
4.3.4 Klärgaserzeugung und -nutzung 81
4.3.5 Klärschlammverbleib 82

4.4 Klimaschutz- und Effizienzmaßnahmen in Kläranlagen 85
4.4.1 Potenziale beim Energieverbrauch von Kläranlagen 85
4.4.2 Potenziale der Klärgaserzeugung und -nutzung 91
4.4.3 Potenziale der Klärschlammentsorgung 94
4.4.4 Zusammenfassung der Potenziale 97

4.5 Energie-/Klimaeffizienzpotenziale außerhalb von Kläranlagen: Reduzierung der Abwassermenge bzw. des Fremdwasseranteils 98

4.6 Abwasserabwärme aus der Kanalisation 100

4.7 Innovative Praxisbeispiele 105
4.7.1 Kläranlage Balingen 105
4.7.2 Energiekonzept der Kläranlage Dresden-Kaditz 106
4.7.3 Waiblingen – Abwärme der Kläranlage 107
4.7.4 Abwärmenutzung Nordwestbad Bochum 108

4.7.5 Abwasserabwärme Rathaus Fürth 108

4.8 Derzeitige Anreize für eine Energie- und THG-Effizienzsteigerung 109

4.8.1 Förderprogramme 109

4.8.2 Kommunale Akteure und Anreize 110

4.9 Vorschläge für eine Verbesserung der Anreize 111

4.9.1 Gesetzgebung 111

4.9.2 Nationale Klimaschutzinitiative 112

5 Literatur 118

1 Zusammenfassung

Klimaschutz- und Effizienzpotenziale wurden für die Abfall- und Abwasserwirtschaft für folgende Bereiche identifiziert:

In der Siedlungsabfallwirtschaft:

- Steigerung der getrennten Erfassung von Bioabfall aus Haushalten
- Nachrüstung von Kompostierungsanlagen um eine anaerobe Stufe
- Steigerung der Wirkungsgrade von Müllverbrennungsanlagen (MVAn)
- Erfassung bislang ungenutzter Grünabfälle und Landschaftspflegereste

Für Kläranlagen:

- Minderung des Stromverbrauchs
- Optimierung der Klärgasnutzung
- Thermische Klärschlammentsorgung

Außerhalb von Kläranlagen:

- Abwasserwärme aus der Kanalisation

Über alle Bereiche hinweg konnten Treibhausgasminderungspotenziale zwischen 6,7 und 10,45 Mio. Tonnen CO_2-Äquivalente pro Jahr ermittelt werden. Darunter zeigen sich die größten Potenziale in der Siedlungsabfallwirtschaft (4,6 und 5,8 Mio. t CO_2-Äq/a), insbesondere der Wirkungsgradsteigerung von Müllverbrennungsanlagen (2,9 Mio. t CO_2-Äq/a). Die Potenziale für Optimierungen auf Kläranlagen liegen grob zwischen 1,5 und 3,4 Mio. Tonnen CO_2-Äquivalente pro Jahr. Die THG-Minderungspotenziale für eine Abwasserwärmenutzung aus der kanalisation liegen je nach eingesetzter Wärmepumpentechnik bei rd. 0,6 Mio. t CO_2-Äq/a oder rd. 1,25 Mio. t CO_2-Äq/a.

1.1 Potenziale der Siedlungsabfallwirtschaft

Tabelle 1-1 zeigt die möglichen Einsparpotenziale durch Maßnahmen im Bereich der Siedlungsabfallwirtschaft. Die dargestellten Optimierungspotenziale sind generell als orientierende Minderungspotenziale zu verstehen, da vielfach eine große Datenunsicherheit besteht. Eine Ausnahme bilden hier die Potenziale für Optimierungen von MVAn in Deutschland, die auf einer umfassenden Studie beruhen (EdDE 2010). Für diesen Bereich zeigt sich auch im Vergleich das höchste Minderungspotenzial. Dessen Erschließung wird im Wesentlichen durch den dafür erforderlichen finanziellen Aufwand gehemmt. In Anbetracht des Potenzials wird **zur Optimierung von MVAn ein Förderprogramm empfohlen, das eine Ist-Analyse der Anla-**

gen ermöglicht und des Weiteren Investitionsbeihilfen für die ermittelten wesentlichen Optimierungsmaßnahmen.

Tabelle 1-1: Mögliche Treibhausgaseinsparungen durch Optimierungen im Siedlungsabfallbereich

	Minderung THG
	t CO_2-Äq/a
Steigerung der getrennten Erfassung von Bioabfall aus Haushalten	
a) Vergärung statt MVA von 1,14 Mio. t/a ohne Optimierung	-47.950*
b) Vergärung statt MVA von 1,14 Mio. t/a mit Optimierung	148.500
Nachrüstung Kompostierungsanlagen um anaerobe Stufe	
a) für 3,5 Mio. t/a ohne Optimierung	354.000
b) für 3,5 Mio. t/a mit Optimierung	938.500
Optimierungen der MVAn in Deutschland	
für 17,8 Mio. t/a bzw. 49,47 MWh/a	2.910.400
Erschließung bislang ungenutzter holziger Grünabfälle und Landschaftspflegereste	
a) Nutzung im HKW für 1.395.000 t/a (oberes techn. Potenzial)	1.371.850
b) Nutzung im HW für 1.395.000 t/a (oberes techn. Potenzial)	1.500.400
Erschließung bislang ungenutzter krautiger Grünabfälle und Landschaftspflegereste	
a) Vergärung Status Quo für 2,37 Mio. t/a (oberes techn. Potenzial)	8.900
b) Vergärung optimiert für 2,37 Mio. t/a (oberes techn. Potenzial)	264.500

** negativer Wert bedeutet zusätzliche Belastung*

Unter den weiteren aufgezeigten Potenzialen folgt als zweithöchstes Minderungspotenzial die zusätzliche getrennte Erfassung von holzigen Grünabfällen und Landschaftspflegeresten. Für die Mengen wurde der obere Bandbreitenwert der ermittelten technischen Potenziale verwendet. Hier gilt aber zu bedenken, dass dieses Potenzial für Gesamtdeutschland ermittelt wurde. Entscheidend sind aber die regional verfügbaren Potenziale. Da zudem mit holzigen Materialien auch automatisch krautige Stoffe anfallen (und teilweise auch Material, das nicht energetisch nutzbar ist), wird hier empfohlen, das **bestehende Förderprogramm zur Erschließung der verfügbaren Erneuerbaren-Energie-Potenziale in Kommunen** stärker an Kommunen heranzutragen und dieses v. a. auch **für die kombinierte stofflich-energetische Nutzung zu öffnen** und die **Steigerung der Erfassung von Bioabfällen aus Haushalten explizit zu benennen**. Hintergrund ist, dass, um, im wirtschaftlichen Sinne vernünftige Mengen in einer Region zusammenzutragen, alle möglichen Herkunftsbereiche einbezogen werden sollten. Für zu kleine Mengen lassen sich keine sinnvollen Anlagengrößen realisieren. Bei der energetischen Nutzung über eine Vergärung sollte unbedingt die Bedingung geknüpft werden, Methanemissionen möglichst zu minimieren. Im Falle der Steigerung der getrennten Erfassung von Bioabfall aus Haushalten käme es nach den überschlägigen Berechnungen ansonsten gegenüber einer Verbrennung

in einer durchschnittlichen MVA zu einer Schlechterstellung bzgl. der Treibhausgasbilanz (negativer Wert in Tabelle 3-23). Auch insgesamt lassen sich bei der optimierten Vergärung deutlich höhere THG-Minderungspotenziale erreichen.

In Summe ergeben sich für die Siedlungsabfallwirtschaft THG-Minderungspotenziale zwischen 4,6 und 5,8 Mio. t CO_2-Äq/a.

1.2 Potenziale auf Kläranlagen

Tabelle 1-2 zeigt die möglichen Einsparpotenziale durch Maßnahmen auf der Kläranlage. Die sehr unterschiedlichen Optimierungsbereiche haben auch sehr unterschiedliche Umsetzungswahrscheinlichkeiten. Das höchste mögliche Einsparpotenzial ist durch umfassende Energieoptimierungen auf Kläranlagen gegeben durch Reduktion des derzeitigen Strombedarfs um 42 %. Für den Bereich „Energieeffizienz auf Kläranlagen“ bestehen bislang keine bundesweiten Förderkonzepte. In einigen Bundesländern werden Teilaspekte des Kläranlagenbetriebs gefördert. **Ein Förderprogramm, das einen ganzheitlichen Ansatz zur Optimierung der gesamten Kläranlage zum Ziel hat, ist zu empfehlen.**

Tabelle 1-2: Mögliche Treibhausgaseinsparungen durch Optimierungen auf Kläranlagen

	Minderung THG t CO_2-Äq/a*
Minderung Stromverbrauch um	
a) 20 % (real)	780.000
b) 42 % (max.)	1.640.000
Optimierung Klärgasnutzung	
a) vollständige Nutzung im BHKW mit eta el 38 %	435.700
b) zusätzliche Steigerung der Klärgaserzeugung durch 95 %ige anaerobe Faulung	724.800
Vollständige thermische Klärschlammentsorgung	
a) energetisch ungünstig	250.000
b) energetisch optimiert	1.000.000
	* Werte gerundet

Die Optimierung der Klärgasnutzung ist bzgl. des Ersatzes bestehender durch effiziente BHKW eine sehr einfache überschaubare Maßnahme. Sie steht und fällt mit der Bereitschaft der Kläranlagenbetreiber, entsprechende Investitionen zu tätigen. Für ein 500 kW_{el} BHKW belaufen sich die erforderlichen Investitionskosten auf ca. 750.000 €. Ggf. kann hier ein Zuschuss die Hemmschwelle zur Investition senken. Eine Umstellung von aerober auf anaerobe Schlammbehand-

lung ist dagegen mit sehr hohen Investitionskosten verbunden, die in Anbetracht der möglichen Einsparung auf Bundesebene eher nicht als rentabel anzusehen sind.

Für die Klärschlammentsorgung wird erwartet, dass sich hier eine weitere Verschiebung in Richtung thermischer Nutzung automatisch durch weitere entsprechende Vorgaben der Bundesländer ergibt. Mit den künftig anstehenden Rechtlichen Vorgaben zum Bodenschutz dürfte die landwirtschaftliche Verwertung weiter eingeschränkt werden. Hand in Hand sollten damit Vorgaben für die Klärschlammbehandlung gehen, um eher die Potenziale des energetisch günstigen Szenarios zu erreichen.

Insgesamt, bei Umsetzung aller Maßnahmen, könnte eine Treibhausgasminderung in der Größenordnung von grob 1,5-3,4 Mio. Tonnen CO_2-Äquivalente realisiert werden.

1.3 Potenziale außerhalb Kläranlagen – Abwasserabwärme aus der Kanalisation

Tabelle 1.3 zeigt die möglichen Einsparpotenziale durch die Nutzung der Abwasserabwärme über Wärmepumpen. Das Minderungspotenzial hängt dabei von der eingesetzten Pumpentechnologie ab. Ob eine elektrische oder eine Gaswärmepumpe zum Einsatz kommen soll, sollte am Vor Ort Wärmebedarf bemessen werden, da die beiden Systeme unterschiedliche Wärmemengen bereitstellen. Aus ökologischer Sicht sind die beiden Pumpensysteme genau dann gleichwertig, wenn die elektrische Wärmepumpe eine Jahresarbeitszahl von 4 aufweist und die Gaswärmepumpe eine Jahresheizzahl von 1,4.

Das in Tabelle 1.3 aufgezeigte Einsparpotenzial könnte durch Anlagen, die auch zur Kälteerzeugung eingesetzt werden, noch erhöht werden.

Tabelle 1.3: Treibhausgaseinsparung für Abwasserwärmepotenzial und dessen Nutzbarmachung über Wärmepumpensysteme in Deutschland

	THG-Belastung aus Energieeinsatz	**Einsparung THG**	**Minderung THG**
	t CO_2-Äq/a	**t CO_2-Äq/a**	**t CO_2-Äq/a**
Elektrische Wärmepumpe	730.742	1.368.209	637.467
Gaswärmepumpe	1.825.209	3.078.470	1.253.377
Anteil Abwasserwärme	-	1.026.157	

Je nachdem, ob eine elektrische oder eine Gaswärmepumpe eingesetzt wird, kann eine Treibhausgasminderung von rd. 0,6 Mio. t CO_2-Äq/a oder von rd. 1,25 Mio. t CO_2-Äq/a erreicht werden.

2 Einordnung

Abfall- und Abwasserwirtschaft werden in Deutschland grundsätzlich durch die öffentliche Hand organisiert[1], da die Grundziele beider Bereiche in der Entsorgungssicherheit liegen, wobei als Prämisse das Wohl der Allgemeinheit gilt. In beiden Bereichen hat sich in den vergangenen Jahrzehnten viel verändert. Neben dem Grundziel der Entsorgungssicherheit sind zunehmend die Aspekte Ressourcenschonung und Klimaschutz in den Fokus gerückt.

Insbesondere im Bereich der deutschen Siedlungsabfallwirtschaft ist der Paradigmenwechsel gelungen von der Abfallbeseitigung hin zu einer Kreislaufwirtschaft. So war die deutsche Siedlungsabfallwirtschaft 1990 v. a. durch die überwiegende Abfalldeponierung noch Verursacher von klimawirksamen Emissionen in Höhe von rd. 38 Mio. Tonnen CO_2-Äquivalenten (Öko-Institut/IFEU 2005). Dies ist heute nicht mehr der Fall. Im Gegenteil bewirkt die deutsche Siedlungsabfallwirtschaft durch ihre Recyclingaktivitäten und der daraus resultierenden Substitution der Herstellung von Primärprodukten bzw. von Energie aus fossilen Energieträgern eine Entlastung des Klimas. Im Jahr 2006 belief sich diese Entlastung auf rd. 18 Mio. Tonnen CO_2-Äquivalente, wie eine aktuelle Studie zeigt (Öko-Institut/IFEU 2010a). Ebenfalls dieser Studie kann entnommen werden, dass die deutsche Siedlungsabfallwirtschaft durch verschiedene technische Maßnahmen sowie Maßnahmen der Abfallstromlenkung bis zum Jahr 2020 weitere Entlastungen erreichen kann, die sich auf bis zu 10 Mio. Tonnen CO_2-Äquivalente belaufen. Die wesentlichen zugrunde gelegten Maßnahmen sind:

- Steigerung der getrennten Erfassung von Wertstoffen
- Optimierung von Behandlungsmethoden
- Steigerung der Wirkungsgrade von thermischen Anlagen
- Steigerung der Qualität von Sekundärprodukten

Bei einer Erschließung möglicher Potenziale ist jedoch generell die originäre Aufgabe der Abfallwirtschaft zu beachten. Maßnahmen dürfen den Grundsätzen und Pflichten gemäß Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (KrW-/AbfG) nicht entgegenstehen.

Im Gegensatz zur Abfallwirtschaft bestehen auf Seiten der Abwasserwirtschaft bislang keine umfassenden Studien, welche die Leistungen der Abwasserwirtschaft gegenüber einem Zeitpunkt in der Vergangenheit systematisch und umfassend ermittelt hätten. Dagegen liegen verschiedene Einzelstudien vor, die sich intensiv mit Teilbereichen der Abwasserwirtschaft befasst haben. Insgesamt können Klimaschutz- und Effizienzmaßnahmen in der Abwasserwirtschaft an verschiedenen Stellen ansetzen, entweder direkt auf der Kläranlage oder bereits bei der Abwas-

[1] Die Beauftragung Dritter ist zulässig

serentstehung und -sammlung. Die wichtigsten Ansatzpunkte für Optimierungen vom Anfall des Abwassers bis zur Behandlung in der Kläranlage sind:

- Verminderung der Abwassermenge durch höhere Dichtigkeit im Kanalnetz und Reduktion des Fremdwasseranteils
- Nutzung der Abwasserabwärme aus der Kanalisation
- Energieverbrauch von Kläranlagen
- Klärgaserzeugung und -nutzung
- Klärschlammentsorgung

Auch für die Erschließung der Potenziale der Abwasserwirtschaft ist die originäre Aufgabe der Abwasserbehandlung zu beachten. Effizienzmaßnahmen dürfen den Aufgaben und Pflichten der Abwasserbeseitigung gemäß rechtlichen Vorgaben nicht entgegenstehen.

3 Klimaschutz- und Energieeffizienzpotenziale der Abfallwirtschaft

Nachfolgend werden zunächst die insgesamt in Deutschland anfallenden Abfälle beschrieben und im Weiteren die Bereiche Siedlungsabfallwirtschaft und Altholzentsorgung herausgestellt für die Klimaschutz- und Effizienzmaßnahmen aufgezeigt werden.

3.1 Abfallwirtschaft Deutschland

3.1.1 Abfallaufkommen

Das gesamt in Deutschland anfallende Abfallaufkommen umfasst die in Tabelle 3-1 aufgeführten Abfallarten. Im Zugriff der öffentlichen Hand liegen darunter die Siedlungsabfälle (Überlassungspflicht § 13 KrW-/AbfG). Siedlungsabfälle unterscheiden sich gegenüber den weiteren Abfallarten insbesondere durch ihren hohen organischen Anteil, dessen Abbau bei der früher in Deutschland üblichen Deponierung Ursache der signifikanten Treibhausgasemissionen war. Bau- und Abbruchabfälle stellen unter den gesamten Abfällen nach Masse den mit Abstand größten Anteil dar. Sie sind jedoch v. a. aus Ressourcenschutzsicht eine wichtige Abfallgruppe, aus Klimaschutzsicht sind sie von geringerer Bedeutung, da es sich überwiegend um inerte Materialien handelt durch deren Verwertung v. a. Sand, Kies u. ä. ersetzt wird. Analoges gilt für Bergematerial aus dem Bergbau und teilweise auch für Abfälle aus Produktion und Gewerbe unter denen die Abfälle aus thermischen Prozessen und darunter wiederum die Aschen und Schlacken den größten Anteil einnehmen. Eine weitere größere Gruppe innerhalb der Produktionsabfälle stellen Abfälle aus der Holzbe- und -verarbeitung dar (rd. 15%). Stoffströme und Reststoffe aus der Forst-, Holz- und Papierwirtschaft waren Untersuchungsgegenstand in (IFEU/ÖI 2006). Danach werden die anfallenden Reststoffe und Holzabfälle nahezu vollständig stofflich und energetisch verwertet, relevante ungenutzte Potenziale bestehen nicht. Ein Optimierungsspielraum ist kaum gegeben bzw. beschränkt sich auf die energetische Verwertung hinsichtlich einer möglichst effizienten Verbrennung der Reststoffe. Die weiteren Produktionsabfälle zergliedern sich nach verschiedenen Herkunftsbereichen und weisen sehr unterschiedliche Charakteristika auf. Aufgrund der vorstehenden Erläuterungen sind Gegenstand der nachfolgenden Ausführungen v. a. Abfallbehandlungsanlagen und -maßnahmen, die im Zusammenhang mit Siedlungsabfällen stehen.

Tabelle 3-1: Zeitreihe Abfallaufkommen in Deutschland (STBA 2009a, 2010)

	Siedlungsabfälle (nicht gefährlich)	Bergematerial aus dem Bergbau	Abfälle aus Produktion und Gewerbe	Bau- und Abbruchabfälle	Abfälle aus Abfallbehandlungsanlagen
1996	44.390.000	54.308.000			
1997	45.593.000	57.590.000			
1998	44.825.000	56.155.000			
1999	49.653.000	52.251.000	44.426.000	258.690.000	
2000	50.085.000	48.187.000	47.657.000	260.687.000	
2001	49.371.000	49.187.000	45.314.000	251.322.000	
2002	52.532.000	45.164.000	42.218.000	240.812.000	
2003	49.348.000	46.689.000	46.712.000	223.389.000	
2004	48.144.000	50.452.000	53.005.000	187.478.000	
2005	46.218.000	52.308.000	48.094.000	184.919.000	
2006	46.033.000	41.954.000	54.785.000	197.735.000	32.006.000
2007	47.496.000	42.891.000	58.491.000	201.842.000	35.835.000
2008*	47.903.000	39.295.000	56.423.000	200.527.000	38.216.000

* Vorläufig

3.1.2 Entsorgung von Siedlungsabfällen und Altholz

Aufkommen und Verbleib von Siedlungsabfällen gemäß den vorläufigen Zahlen des Statistischen Bundesamtes für das Jahr 2008 sind in Tabelle 3-2 aufgeführt. Die getrennt gesammelten trockenen Wertstoffe sowie die getrennt erfassten Bio- und Grünabfälle nehmen darunter mit 55% bereits mehr als die Hälfte des Aufkommens ein. Der Anteil der Restmüllmengen (Hausmüll, hausmüllähnliche Gewerbeabfälle) inkl. Sperrmüll beläuft sich auf 42%. Bei den verbleibenden 3% handelt es sich um die in der Tabelle aufgeführten sonstigen Siedlungsabfälle. Trotz des bereits beachtlichen Anteils an getrennt erfassten Wertstoffen besteht ein weiteres Potenzial zur Steigerung der getrennten Erfassung und Entnahme von Wertstoffen aus den Restmüllmengen. Nach (Öko-Institut/IFEU 2010a) wurde angenommen, dass noch etwa 28% der Restmüllmengen zusätzlich einer getrennten Erfassung zugeführt werden könnten. Darunter v. a. Bio- und Grünabfälle (rd. 2,2 Mio. Tonnen), daneben aber auch Altpapier sowie v. a. stoffgleiche Nichtverpackungen aus Kunststoffen, Metallen und Verbundstoffen und des Weiteren Holz. Altholz ist in den Zahlen zu den Siedlungsabfällen nur zum Teil erfasst, v. a. über die Sperrmüllfraktion.

Das in den Siedlungsabfällen dokumentierte Altholzaufkommen wird auf rd. 2,2 Mio. Tonnen geschätzt (Öko-Institut/IFEU 2010a). Insgesamt kann für Deutschland von einem Altholzaufkommen von knapp 7 Mio. Tonnen ausgegangen werden. Neben den Sperrholzmengen aus Haushalten sind darin auch Verpackungsholz, Bau- und Abbruchholz sowie Holz aus Außen-

anwendungen enthalten. Altholz wird bereits überwiegend getrennt erfasst und nach Angaben des Bundesverbands der Altholzaufbereiter und -verwerter (BAV) zu etwa 80% einer energetischen und 20% einer stofflichen Verwertung zugeführt (Öko-Institut/IFEU 2010a).

Tabelle 3-2: Abfallbilanz 2008* - Siedlungsabfälle (STBA 2010)

	Aufkommen	**Ablagerung**	**Verbrennung**	**Behandlung zur Beseitigung**	**Energetische Verwertung**	**Behandlung und stoffliche Verwertung**
Hausmüll (Graue Tonne)	14.236.000	29.000	6.738.000	1.501.000	4.397.000	1.570.000
Hausmüllähnliche Gewerbeabfälle (HMG)	3.621.000	6.000	1.422.000	172.000	665.000	1.354.000
Sperrmüll	2.458.000	4.000	484.000	133.000	438.000	1.399.000
Abfälle Biotonne	3.897.000	-	5.000	-	17.000	3.876.000
Garten- und Parkabfälle	4.421.000	23.000	2.000	4.000	78.000	4.314.000
Altpapier	8.528.000	1.000	4.000	14.000	52.000	8.458.000
Altglas	2.480.000	1.000	0	-	0	2.479.000
Leichtverpackungen (LVP)	4.885.000	3.000	273.000	21.000	351.000	4.237.000
Sonstige getrennt gesammelte Fraktionen	2.311.000	40.000	37.000	7.000	214.000	2.013.000
Sonstige Siedlungsabfälle	1.531.000	180.000	67.000	98.000	55.000	1.134.000
Siedlungsabfälle gesamt (nicht gefährlich)	**47.903.000**	285.000	9.013.000	1.944.000	6.254.000	30.407.000
Siedlungsabfälle gesamt	**48.367.000**	**286.000**	**9.031.000**	**1.950.000**	**6.265.000**	**30.834.000**

* Vorläufig

3.2 Energie-/Klimaeffizienzpotenziale von Siedlungsabfällen

Potenziale zur Steigerung der Energieeffizienz und des Klimaschutzbeitrages durch die Abfallwirtschaft sind nach aktuellen Erkenntnissen (Öko-Institut/IFEU 2010a) vor allem durch eine Steigerung der getrennten Erfassung, der Optimierung von Behandlungsverfahren und damit der Steigerung der Ausbeute und Qualität von Sekundärprodukten gegeben. Darüber hinaus bestehen in manchen Bereichen noch ungenutzte Abfallpotenziale wie beispielsweise bei Grünabfällen und Landschaftspflegeresten.

3.2.1 Steigerung getrennte Erfassung von Wertstoffen

Eine Ausweitung der getrennten Erfassung und Verwertung von Wertstoffen ist nicht nur Ziel nach dem Entwurf der Novelle zum Kreislaufwirtschaftsgesetz, sondern in der Regel auch aus Klimaschutzsicht vorteilhaft. Im Hausmüll und hausmüllähnlichen Gewerbeabfall befinden sich immer noch verwertbare Abfälle, deren anteilige Erschließung durchaus wirtschaftlich sein kann. Dabei handelt es sich insbesondere um Bio- und Grünabfälle sowie um trockene Wertstoffe. Allerdings lässt sich das Potenzial dieser Abfälle nicht belastbar beziffern, da keine aktuellen Daten zur Zusammensetzung des Restmülls und hausmüllähnlichen Gewerbeabfalls nach Abfallfraktionen vorliegen. Eine bundesweite Sortieranalyse von Hausmüll wurde zuletzt 1987 durchgeführt. Aktuellere Sortieranalysen wurden landesweit in Bayern und ansonsten in Stichprobenmessungen in anderen Gebieten Deutschlands vorgenommen. Diese Werte sind für Gesamtdeutschland allerdings nur bedingt repräsentativ und sie weisen teilweise deutliche Abweichungen voneinander auf bedingt durch unterschiedliche Methoden der Probenahme und Zuordnung. In (Öko-Institut/IFEU 2010a) wurden zur Einschätzung einer möglichen Steigerung der getrennten Erfassung Angaben zur prozentualen Abfallzusammensetzung nach Kern (2001) zugrunde gelegt. In Tabelle 3-3 sind neben diesen prozentualen Werten auch die absoluten Abfallmengen basierend auf den vorläufigen Abfallzahlen für 2008 (STBA 2010; vgl. Tabelle 3-2) dargestellt.

Tabelle 3-3: Zusammensetzung Restmüll nach Abfallfraktionen und absolute Mengen zum Stand 2008

	Hausmüll		**HMG**		**Summe Restmüll**
	%	t/a	**%**	t/a	t/a
Bio- und Grünabfälle	29,6	4.213.856	8,3	300.543	4.514.399
Papier und Pappe	14,3	2.035.748	7,4	267.954	2.303.702
Verbundstoffe	6,9	982.284	12,5	452.625	1.434.909
Glas	6,9	982.284	3,8	137.598	1.119.882
Windeln	5,5	782.980	-	0	782.980
Kunststoffe	5,8	825.688	11,7	423.657	1.249.345
Metalle	3,8	540.968	2,6	94.146	635.114
Holz	1,6	227.776	12,2	441.762	669.538
Textilien, Leder, Gummi	2,6	370.136	1,8	65.178	435.314
Feinmüll < 8 mm	14,0	1.993.040	14,7	532.287	2.525.327
sonst.Abf.(inkl. min.Abf.)	9,0	1.281.240	25,0	905.250	2.186.490
Summe	**100**	**14.236.000**	**100**	**3.621.000**	**17.857.000**

Abweichungen in den Summen ergeben sich durch Rundungsungenauigkeiten

Die Mengen nach Abfallfraktionen können als Orientierung des möglichen Potenzials verstanden werden. Eine vollständige getrennte Erfassung ist aus Gründen der Wirtschaftlichkeit in der

Regel nicht möglich. In (Öko-Institut/IFEU 2010a) wurde für die Potenzialszenarien 2020 angenommen, dass 50% der noch im Restmüll enthaltenen Wertstoffe getrennt erfasst würden. Letztendlich bedarf eine belastbare Quantifizierung der weiter erschließbaren Wertstoffmengen auf jeden Fall einer regionsspezifischen Analyse, bestehend aus Sortieranalysen und der Untersuchung und Bewertung der möglichen Entsorgungswege für die als relevant erkannten Abfallfraktionen.

Im Allgemeinen kann davon ausgegangen werden, dass **Glas und Altpapier** bereits weitgehend getrennt erfasst werden bedingt durch die nahezu bundesweiten flächendeckend gegebenen Erfassungssysteme (Container und Holsysteme). Eine weitere Steigerung der getrennten Erfassung wäre entsprechend mit vergleichsweise hohem Aufwand verbunden. Auch liegen die prozentualen Anteile nach (Kern 2001) wahrscheinlich deutlich höher als zum aktuellen Stand gegeben.

Anders sieht dies bei **Kunststoffen, Metallen und Verbunden** aus. Hier besteht bundesweit bislang nur eine flächendeckende Erfassung von Leichtverpackungen, die aus diesen Materialien bestehen. Stoffgleiche Nicht-Verpackungen werden dagegen nur in wenigen Gebieten Deutschlands getrennt erfasst[2]. Nach den auf Basis der Abfallzusammensetzung nach (Kern 2001) ermittelten Zahlen, beliefe sich die Gesamtmenge an entsprechenden Wertstoffen im Restmüll auf über 3 Mio. Tonnen. Für das Bundesgebiet repräsentative Untersuchungen, in welchem Umfang diese Wertstoffe durch eine gemeinsame Erfassung mit Leichtverpackungen dem Restmüll entzogen werden könnten, wurden bislang nicht durchgeführt. Entsprechende Projekte befinden sich derzeit im Rahmen des Umweltforschungsplans in der Ausschreibung. In den Städten Leipzig und Berlin konnten durch die Einführung der Gelben Tonne Plus 7 kg/Einwohner und Jahr mehr an Wertstoffen eingesammelt werden[3]. Hochgerechnet auf das Bundesgebiet entspräche dies einer absoluten Menge von knapp 600.000 Tonnen.

Ebenfalls noch nicht umfassend getrennt erfasst werden **Bio- und Grünabfälle** in Deutschland. Von den insgesamt 421 Kreisen und kreisfreien Städten im Bundesgebiet bieten 116 keine Biotonne an, davon betroffen sind rd. 17 Mio. Einwohner. In den verbleibenden Kreisen und kreisfreien Städten wird die Biotonne zwar angeboten, aber nicht unbedingt flächendeckend, auch wird das Angebot nicht von allen Bürgern wahrgenommen. Die tatsächliche Anschlussquote in den Gebieten mit Biotonnenangebot wird auf 56% geschätzt. Insgesamt resultiert daraus, dass rd. 46 Mio. Einwohner Deutschlands (56%) nicht an die Biotonne angeschlossen sind (BMU/UBA 2009), (Witzenhausen-Institut 2008). Aktuell werden knapp 4 Mio. Tonnen Bioab-

---

[2] So z.B. im Rhein-Neckar-Kreis und in Karlsruhe, in denen schon vor der Gelben Tonne die grüne Wertstofftonne eingerichtet war. Des Weiteren gibt es Modelle in Leipzig (Gelbe Tonnen plus) und in Berlin in denen die gelbe Tonne für weiterer Wertstoffe erweitert wurde.

[3] http://www.vdi-nachrichten.com/vdi-nachrichten/aktuelle_ausgabe/akt_ausg_detail.asp?cat=2&id=41779

fälle über die Biotonne getrennt erfasst (vgl. Tabelle 3-2). Damit kann das Gesamtpotenzial zur weiteren getrennten Erfassung von Bioabfällen über die Biotonne auf ebenfalls grob 4 Mio. Tonnen geschätzt werden, was in etwa mit der noch im Restmüll enthaltenen Menge übereinstimmen würde (vgl. Tabelle 3-3). In (Witzenhausen-Institut 2008) wurde das aus dem Hausmüll abschöpfbare Organikpotenzial abgeleitet. Es wurde angenommen, dass mit Einführung der Biotonne in den Gebieten, die sie noch nicht anbieten, 25% des dort im Hausmüll enthaltenen Organikpotenzials erfasst werden könnte. Durch Maßnahmen in den Gebieten, die bereits die Biotonne anbieten wie – Erhöhung des Anschlussgrades, verstärkte Öffentlichkeitsarbeit, Erhöhung der Nutzerfreundlichkeit finanzielle Anreize – könnten 20% des dortigen Organikpotenzials zusätzlich getrennt erfasst werden. Rechnerisch ergibt sich in Summe daraus, dass rund 27% des Organikpotenzials im Hausmüll durch eine flächendeckende Einführung und konsequentere Nutzung der Biotonne zusätzlich getrennt erfassbar wären. Übertragen auf die hier verwendeten Zahlen, ließ sich danach die getrennte Erfassung von Bioabfällen um etwa 1,14 Mio. Tonnen steigern.

Die bislang bereits getrennt erfassten Grünabfälle (Garten- und Parkabfälle; rd. 4,4 Mio. Tonnen, vgl. Tabelle 3-2) werden über Sammelhöfe oder durch Straßensammlung eingesammelt. Das Angebot zur separaten Erfassung ist bundesweit annähernd flächendeckend. In fast allen der 421 Kreise und kreisfreien Städte (97%) bestehen Grüngutsammelstellen oder werden separate Abfuhren angeboten (Witzenhausen-Institut 2008). Dennoch besteht auch hier ein weiteres Potenzial insbesondere an Parkabfällen oder Grüngut aus Haushalten, das bislang nicht genutzt wird (Verbleib auf oder am Rand der Fläche ohne Nutzenfunktion). Diese bislang ungenutzten Potenziale werden gemeinsam mit Landschaftspflegeresten in Kapitel 3.2.3 beschrieben.

Die Steigerung der getrennten Erfassung von organischen Abfällen kann durch geeignete Nutzung insbesondere zur Schonung von Torf und fossilen Energieträgern und damit auch zum Klimaschutz beitragen. Ausschlaggebend für die Wahl eines Behandlungsverfahrens sind die Eigenschaften der organischen Abfälle. So eignen sich Küchenabfälle und krautige Grünabfälle grundsätzlich gut für eine kombiniert energetische und stoffliche Verwertung. Holzartige Grünabfälle können für eine thermische Nutzung eingesetzt werden. Gemische und Feinmüll eignen sich zur Erzeugung von Fertigkompost, der grundsätzlich problemlos bis zu einem Anteil von 20 Vol% für Substraterden verwendet werden kann (DBU 2002) und dadurch Torf substituiert.

Eine entsprechende Verwertung nach Abfalleigenschaften erfordert ggf. eine Aufbereitung und Stoffstromtrennung der eingesammelten Materialien. Zwar kann beispielsweise für die Biotonne überwiegend davon ausgegangen werden, dass deren Inhalt für eine Vergärung geeignet ist, letztendlich hängt dies aber von saisonalen Einflüssen, den Gebietsstrukturen, dem verfügbaren Behältervolumen sowie vom Sammelsystem ab. So werden z.B. in dicht besiedelten Gebieten in der Biotonne v. a. feuchte bis nasse Küchenabfälle gesammelt, während mit zunehmender Auflockerung der Bebauung und entsprechend ansteigenden Gartenanteilen der Anteil von Grünab-

fällen zunimmt. Des Weiteren ist der Anteil von Grünabfällen vegetationsbedingt im Zeitraum Mai bis November deutlich höher als im Winter und kann bis zu 80% ausmachen (Witzenhausen-Institut 2008). Dabei variieren die Eigenschaften der Grünabfälle von holzig im Frühjahr und Herbst (Strauchschnitt) bis krautig im Sommer (Rasenschnitt). Auf den Einfluss der Behältergröße geben Untersuchungen von Remondis (2009) Hinweis. Danach werden aus einer 60 l Biotonne Gaserträge von im Mittel etwa 130 m³/t Abfall erzielt, während sich diese bei einer 240 l Biotonne lediglich auf rund 100 m³/t Abfall belaufen. Ursache ist der deutlich höhere Anteil von Grünabfällen in der großen Tonne, die teils eine geringe Vergärungseignung aufweisen.

Die Ausführungen zeigen, dass eine Steigerung der getrennten Erfassung mit einer gezielten Verwertung der eingesammelten Mengen nach Abfalleigenschaften einhergehen sollte. Dies gilt auch für die Ist-Situation und stellt eine Optimierungsmöglichkeit für Behandlungsverfahren dar. Grundsätzlich sollte angestrebt werden, die für eine energetische Verwertung geeigneten Abfälle auch entsprechend zu nutzen. Ggf. bedarf dies einer Stoffstromtrennung, auf jeden Fall sind hierfür aber auch entsprechende Kapazitäten aufzubauen. Derzeit werden Bioabfälle lediglich zu etwa 15% einer kombinierten energetischen und stofflichen Verwertung zugeführt. Die restlichen Mengen werden ausschließlich kompostiert. Hier besteht die Möglichkeit der Nachrüstung von Kompostierungsanlagen mit einer anaeroben Behandlungsstufe. Auf diesen Aspekt wird in Kapitel 3.3.2 eingegangen.

3.2.2 Optimierung Behandlungsmethoden

Die bestehenden Behandlungsverfahren und -methoden unterscheiden sich grundsätzlich nach Abfallfraktion. Innerhalb von Abfallfraktionen bestehen teils weitere Unterscheidungen, wenn verschiedene Behandlungsverfahren in Frage kommen. So wird beispielsweise Restmüll in Deutschland entweder durch eine direkte thermische Behandlung in Müllverbrennungsanlagen (MVAn) entsorgt oder er wird M(B)An[4] zugeführt, in denen die Abfälle aufbereitet und anschließend zu einer weitergehenden Entsorgung (v. a. Mitverbrennung) verbracht werden. Ein Optimierungspotenzial in diesem Bereich besteht v. a. in einer Steigerung der thermischen Wirkungsgrade der verschiedenen Anlagen, in denen Abfälle entweder direkt oder nach einer Aufbereitung eingesetzt werden. Dieser Aspekt wird gesondert in Kapitel 3.2.3 behandelt.

Bei der Verwertung getrennt erfasster Abfallfraktionen kommen sehr unterschiedliche Behandlungsmethoden zum Tragen. Die Aufbereitung und Verwertung der trockenen Wertstoffe liegt

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

weitgehend in privater Hand. Die Motivation zur Verfahrensoptimierung und/oder Steigerung der Ausbeute qualitativer Sekundärprodukte wird in der Regel durch den Marktpreis bestimmt. So ersetzen beispielsweise Sekundärkunststoffe zunehmend Primärkunststoffe anstatt Holz- oder Betonprodukte und sind zunehmend auch von höherer Qualität. Hier macht sich zum einen eine breitere Akzeptanz für Sekundärkunststoffe bemerkbar, v. a. aber die hohen Rohstoffpreise für Primärmaterial. Sehr deutlich ersichtlich wurde dies mit dem durch die Wirtschaftskrise Anfang 2009 ausgelösten Preisverfall, der die stoffliche Kunststoffverwertung nahezu zum erliegen kommen ließ. Aufgrund der gegebenen Randbedingungen – überwiegend in privater Hand, etablierte Verfahren, Regelung durch Marktmechanismen – wird für diesen Bereich kein Ansatzpunkt für Förderprogramme o. ä. gesehen. Die staatlicherseits mögliche Unterstützung liegt hier v. a. in Maßnahmen zur Steigerung der getrennten Erfassung von entsprechenden Wertstoffen.

Anders liegt der Fall bei den Bio- und Grünabfällen. Deren Behandlung liegt zum einen sowohl in kommunaler als auch privater Hand, zum anderen besteht hier ein eindeutiges Optimierungspotenzial in Richtung kombiniert stoffliche und energetische Verwertung, für das keine eigenständige Entwicklung über Marktmechanismen abzusehen ist. Derzeit werden wie oben erwähnt lediglich etwa 15% der Abfälle aus der Biotonne einer Vergärung zugeführt. Für eine Steigerung der Behandlungsmengen sind entsprechende Kapazitäten aufzubauen. Da aktuell die Bioabfälle in Kompostierungsanlagen behandelt werden, also eine Entsorgungsinfrastruktur besteht, sollte diese berücksichtigt werden und die Steigerung einer kombiniert stofflichen und energetischen Verwertung durch die Nachrüstung von Kompostierungsanlagen mit einer anaeroben Stufe erreicht werden. Damit verbundene Treibhausgaseinsparungen, Investitionskosten und Hemmnisse sind in Kapitel 3.3.2 ausgeführt.

Des Weiteren besteht ein Optimierungspotenzial bei organischen Abfällen durch eine gezielte Aufbereitung der Abfälle nach Eigenschaften. Dies gilt insbesondere für Grünabfälle und Landschaftspflegereste, aber in ländlichen Gebieten oder bei großen Behältern auch für die Biotonne (vgl. Kapitel 3.2.1). Nach (EdDE 2007) können aus Grünabfällen durch geeignete Klassierung und Trocknung 25-30% Holzanteil mit einem Heizwert von bis zu 15 MJ/kg abgetrennt werden. Für eine Vergärung sind 15-30% der Grünabfälle geeignet. Der verbleibende Rest bildet eine gute Grundlage für Reifekompost. Generell ist bei der Stoffstromtrennung allerdings darauf zu achten, dass ausreichend Strukturmaterial für die Kompostierung verbleibt, da nur so ein hochwertiger Reifekompost erzeugt werden kann.

3.2.3 Restmüllbehandlung, thermische Entsorgung

Die Restmüllmengen – Hausmüll und hausmüllähnliche Gewerbeabfälle (HMG) – werden in Deutschland überwiegend in MVAn („Verbrennung“ in Tabelle 3-2) und daneben in M(B)An

(„Behandlung zur Beseitigung“ und anteilige Mengen in „Behandlung und stoffliche Verwertung“ in Tabelle 3-2) entsorgt. Abgesehen von einer Metallrückgewinnung entweder aus der MVA-Schlacke oder aus der mechanischen Aufbereitung der M(B)An ist hierbei nur die thermische Nutzung des Abfalls möglich; bei der MVA des gesamten Abfalls, bei den M(B)An des Anteils der mechanisch abgetrennten heizwertreichen Fraktion (Ersatzbrennstoffe, EBS), der überwiegend in EBS-Kraftwerken (rd. 42%), zu 15% aber wiederum auch in MVAn verbrannt wird. Den Verbleib der heizwertreichen Fraktion zum Stand 2006 zeigt Abbildung 3-1.

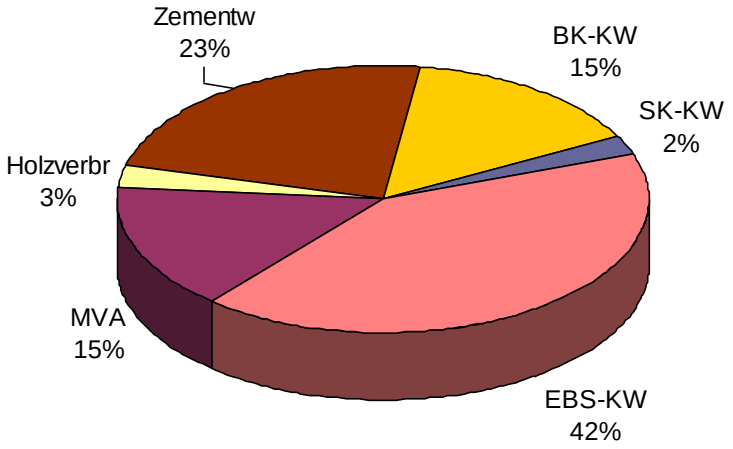


Abbildung 3-1: Verbleib heizwertreiche Fraktion aus M(B)An zum Stand 2006 (Öko-Institut/IFEU 2010a)

In der methodischen Bewertung durch Abfallökobilanzen wird üblicherweise die Effizienz der Mitverbrennung in Zementwerken und in Kohlekraftwerken nicht hinterfragt. Angerechnet wird vielmehr der Anteil an Primärbrennstoffen, der heizwertäquivalent ersetzt werden kann. Hintergrund dieses Vorgehens ist zum einen die Schwierigkeit, die Effizienz zu bewerten, zum anderen aber v. a., dass es nicht als Aufgabe der Abfallwirtschaft gesehen wird, hier Optimierungen zu untersuchen und zu bewirken. Allerdings wurden am IFEU Heidelberg Ideen und Möglichkeiten entwickelt, die Effizienz der Mitverbrennung auch für Zement- und Kraftwerke zu bewerten (IFEU 2007). Dennoch wird an dieser Stelle der Fokus auf Müllverbrennungsanlagen und die Möglichkeiten, diese zu optimieren gelegt, da dies in den Zusammenhang der originären Aufgabe der Abfallwirtschaft gehört. EBS-Kraftwerke bilden einen Zwischenbereich zwischen Abfallentsorgungsanlage und Energieerzeugungsanlage. Sie werden im Folgenden nur kurz betrachtet, v. a. da nur eine sehr unzureichende Datenlage für diese Kraftwerke gegeben ist.

Nach verschiedenen Informationen werden in Deutschland zum Stand 2007 zwischen neun (EdDE 2010, zitiert (CEWEP 2008)), 19 (Recycling Magazin 2008) und 30 (Thomé-

Kozmiensky/Thiel 2008) EBS-Kraftwerke betrieben. Für die neun Anlagen wird eine Gesamtkapazität von ca. 1 Mio. t/a zitiert, nach (Recycling Magazin 2008) beläuft sich die gesamte Kapazität für die 19 Anlagen auf etwa 2,2 Mio. Tonnen pro Jahr. Weitere Daten wurden im Rahmen einer Untersuchung der TU Dresden an den neun Anlagen erhoben (IAA/Intecus 2008). Die daraus ermittelten durchschnittlichen Wirkungsgrade dieser Anlagen sind in Tabelle 3-4 aufgeführt. Darüber hinaus liegen keine Informationen zu EBS-Kraftwerken vor. Auffällig an den Ergebnissen des Status Quo für EBS-Anlagen ist deren sehr niedriger Wärmenutzungsgrad. Diese Anlagen wurden weitgehend erst in den letzten Jahren mit der abschließenden Umsetzung des Deponieverbots Mitte 2005 erbaut. Offensichtlich ist es bei der Anlagenplanung und -umsetzung nicht gelungen, umfassende Wärmesenken zu finden. In (Öko-Institut/IFEU 2010) wurde für das Szenario 2020 eine Steigerung des Wärmenutzungsgrades auf 40% angenommen. Ziel der Studie war jedoch, die Auswirkungen durch theoretische Potenziale einschätzen zu können. Realistisch betrachtet ist nicht von einer Steigerung des Wärmenutzungsgrades auszugehen. Wäre dies möglich, dann hätte dies bereits beim Bau der Anlagen Berücksichtigung finden müssen. Insofern, wie auch aufgrund fehlender weiterer Informationen zu diesen Anlagen, werden diese im Folgenden nicht berücksichtigt.

Damit liegt der Fokus zur Optimierung der thermischen Entsorgung hier ausschließlich auf der Behandlung in MVAn. Die durchschnittlichen Netto-Wirkungsgrade für MVAn in Deutschland sind ebenfalls in Tabelle 3-4 aufgeführt.

Tabelle 3-4: Durchschnittliche Nettowirkungsgrade von EBS-Kraftwerken und MVAn in Deutschland zum Stand 2006 und geschätztes Potenzial 2020 (Öko-Institut/IFEU 2010a)

		2006	**2020**
EBS-H(K)W	Strom Wärme	18,8% 16%	20% 40%
MVA	Strom Wärme	10% 30%	14% 45%

In Deutschland wurden zum Stand 2008 nach (UBA 2008a) insgesamt 70 thermische Abfallbehandlungsanlagen betrieben mit einer Gesamtkapazität von etwa 18,7 Mio. t/a (Tabelle 3-5). Bei vier dieser Anlagen handelt es sich um Pyrolyse- bzw. Vergasungsanlagen. In den verbleibenden 66 Müllverbrennungsanlagen wurden im Jahr 2007 ca. 17,8 Mio. Tonnen Siedlungsabfall behandelt (EdDE 2010). Die 66 MVAn produzierten im Jahr 2007 im unterschiedlichen Maße Strom und Wärme. 49 der Anlagen erzeugten sowohl Strom als auch Fernwärme/Prozessdampf im KWK-Betrieb, neun MVAn produzierten ausschließlich Strom und acht der MVAn ausschließlich Fernwärme oder Prozessdampf. Die durch die MVAn erzeugten und abgegebenen Energiemengen zeigt Tabelle 3-6. Ausgehend von diesen Daten und einem mittleren Heizwert von 9.998 MJ/t Abfall wurden in (EdDE 2010) Wirkungsgrade berechnet. Der Nettostromwir-

kungsgrad ergab sich danach zu 10,4%, der Nettowärmewirkungsgrad (abgegebene Wärme) zu 27,8%. Diese Werte stimmen gut mit den durchschnittlichen Werten nach Tabelle 3-4 überein.

Tabelle 3-5: Thermische Abfallbehandlungsanlagen in Deutschland nach Bundesländern

	Anzahl	**Kapazität**
Baden-Württemberg	6	1.475.000
Bayern	16	3.015.000
Berlin	1	520.000
Brandenburg		-
Bremen	2	865.000
Hamburg	3	820.000
Hessen	4	1.087.000
Mecklenburg-Vorpommern	1	50.000
Niedersachsen	5	1.529.000
Nordrhein-Westfalen	16	5.659.000
Rheinland-Pfalz	3	606.000
Saarland	2	405.000
Sachsen	1	225.000
Sachsen-Anhalt	4	1.620.000
Schleswig-Holstein	4	630.000
Thüringen	2	233.000
Insgesamt	**70**	**18.739.000**

Tabelle 3-6: Erzeugte und abgegebene Energie und Energieeigenbedarf der MVAn in Deutschland 2007 (EdDE 2010)

	Energieart	**Jahresenergiemenge**	**spez. Energie**
		in Mio. MWh/a	in MWh/t
Strom	erzeugt	6,93	0,39
	Eigenbedarf	1,77	0,1
	abgegeben	5,16	0,29
Wärme	erzeugt	18,07	1,01
	Eigenbedarf	4,32	0,24
	abgegeben	13,75	0,77
Eigenbedarf	Fremdenergie	1,62	0,09
	Gesamteigenbedarf	7,71	0,43

Die Optimierungspotenziale für MVAn bestehen grundsätzlich in einer Ausweitung der Wärmenutzung. Allerdings ist dies bei bestehenden Standorten in der Regel sehr schwierig und/oder mit sehr hohen Investitionen verbunden. Mögliche Optimierungspotenziale wurden in (EdDE 2010) auf Basis der Auswertung von neun MVAn erhoben und auf die gesamten MVAn in Deutschland hochgerechnet. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse und möglichen THG-Minderungspotenziale sind in Kapitel 3.3.3 beschrieben.

3.2.4 Erfassung bislang ungenutzter Reststoffe

Bislang ungenutzte Reststoffe bestehen v. a. in Garten- und Parkabfällen und in Landschaftspflegeresten. Entsprechende Abfälle fallen in privaten Gärten, in öffentlichen Grünanlagen und im Verkehrswegebegleitgrün sowie in der Landschaftspflege an. Oft verbleiben diese Abfälle als Mulchmaterial vor Ort, nur kleinere Teilmengen werden an Kompostierungsanlagen angeliefert. Der Verbleib vor Ort zielt in aller Regel nicht auf einen Nutzen z.B. zu Düngezwecken oder zur Humuszufuhr ab. Insofern ist dieses Material weitgehend als „ungenutzt“ einzustufen.

Allerdings sollten Gartenabfälle und generell Grünabfälle nicht intensiv von Flächen entnommen werden. Totholz, Reisighaufen, Laub- und Moderhaufen sind wichtige Lebensräume für eine Vielzahl von Arten. Sie dienen als Schutz und als Nahrungsquelle für Igel, Schlangen, Echsen und Insekten. Ein Teil der Grünabfälle sollte für eine nützlingsfreundliche und naturnahe Gartengestaltung auf den Grünflächen verbleiben. Auch ist es sinnvoll, einen Teil der Gartenabfälle auf den Grundstücken zu kompostieren und zur Nährstoffversorgung und Humuszufuhr der Gärten zu verwenden. Jedoch ist der Bedarf an Nährstoffen und Humus deutlich beschränkt. in der Regel sind Hausgärten mit Pflanzennährstoffen überversorgt. So haben Gehölze einen sehr geringen Nährstoffbedarf und der Artenreichtum einer Wiese profitiert in der Regel von einer Auslagerung, d.h. einem Nährstoffentzug (LUBW 2010).

Landschaftspflegematerial fällt in sehr unterschiedlichen Zusammenhängen an:

- zur Instandhaltung öffentlicher Grünflächen (Park- und Sportanlagen, Friedhöfe)
- aus Gründen der Gefahrenabwehr und Vorsorge (Wegebegleitgrün)
- aus Gründen des Naturschutzes (Biotoppflege)

Das Aufkommen der entsprechenden Mengen lässt sich nur abschätzen. In (BMU/UBA 2009) und (Witzenhausen-Institut 2008) wurden ausschließlich Schätzungen zum Potenzial von Wegebegleitgrün vorgenommen. Schätzungen zu Landschaftspflegeresten der Biotoppflege und der Pflege von öffentlichen Grünanlagen wurden entsprechend einer älteren Studie entnommen (IFEU/Öko-Institut 2006). Die jeweils ermittelten Zahlen sind in Tabelle 3-7 aufgeführt. Darin zeigt sich, dass die geschätzten theoretischen Potenziale für heuartiges oder krautiges Material aus der Pflege von Wegebegleitgrün weitgehend übereinstimmen. Das technische Potenzial

differiert. Für die Summenbildung wurden die höheren Werte nach (IFEU/Öko-Institut 2006) verwendet. Für holziges Material konnte in (IFEU/Öko-Institut 2006) nur ein Teilwert ermittelt werden, durch den das gesamte Potenzial unterschätzt wird. Hier wird für die Summe das Ergebnis aus (BMU/UBA 2009) herangezogen. Insgesamt ergibt sich daraus, dass Landschaftspflegereste ein technisches Potenzial im Bereich 1,4 bis 2,8 Mio. Tonnen aufweisen. Dabei handelt es sich zu etwa 70% um krautiges bzw. heuartiges und ca. 30% um holziges Material.

Tabelle 3-7: Theoretische und technische Potenziale von Landschaftspflegeresten

	Theoretisches Potenzial	**Technisches Potenzial**	
		Min	**Max**
Wegebegleitgrün			
Heu [1]	1.000.000	200.000	400.000
Heu [2]	*1.100.000*	*100.000*	*150.000*
Holz [1]	*65.000*	*65.000*	*65.000*
Holz [2]	1.950.000	345.000	675.000
Park-, Sportanlagen, Friedhöfe			
Heu	795.000	270.000	550.000
Holz	-	-	-
Biotoppflege			
Heu	1.875.000	470.000	920.000
Holz	422.600	110.000	220.000
SUMME	**6.042.600**	**1.395.000**	**2.765.000**
Heu	3.670.000	940.000	1.870.000
Holz	2.372.600	455.000	895.000

1) (IFEU/Öko-Institut 2006) – kursiv gedruckte Zahlen nicht für Summenbildung verwendet
2) (BMU/UBA 2009) – kursiv gedruckte Zahlen nicht für Summenbildung verwendet

Gegenüber dem Potenzial für Landschaftspflegereste wird das Potenzial für Gartenabfälle aus privaten Flächen deutlich höher eingeschätzt. Genaue Zahlen oder Möglichkeiten einer Quantifizierung gibt es nicht. Aber üblicherweise wird davon ausgegangen, dass das noch ungenutzte oder durch Eigenkompostierung genutzte Potenzial in ähnlicher Größenordnung anzunehmen ist wie der erfasste Anteil und damit im Umfang von 4 Mio. Tonnen pro Jahr bzw. etwa 50 kg/Einwohner und Jahr. Dieses Potenzial sollte, wie oben geschildert, aus Gründen der Biodiversität aber nicht umfassend entnommen werden. Für die weitere Einschätzung der Klimaschutz- und Effizienzpotenziale wird davon ausgegangen, dass die Hälfte der geschätzten Menge sinnvoller Weise für eine getrennte Erfassung und Verwertung erschlossen werden kann.

3.3 Klimaschutz- und Effizienzmaßnahmen bei Siedlungsabfällen

Klimaschutz- und Effizienzmaßnahmen im Bereich der Siedlungsabfälle konnten vor allem in den folgenden Bereichen identifiziert werden, die nachfolgend diskutiert werden:

- Steigerung der getrennten Erfassung von Wertstoffen
- Nachrüstung von Kompostierungsanlagen mit einer anaeroben Stufe
- Steigerung der Wirkungsgrade von thermischen Anlagen
- Erfassung bislang ungenutzter Potenziale an Grünabfällen und Landschaftspflegematerial

3.3.1 Potenziale durch Steigerung der getrennten Erfassung von Wertstoffen

Potenziale zur Steigerung der getrennten Erfassung von Wertstoffen sind v. a. bei stoffgleichen Nicht-Verpackungen gegeben und bei Bioabfällen aus Haushalten.

3.3.1.1 Stoffgleiche Nicht-Verpackungen, trockene Wertstoffe

In Kapitel 3.2.1 wurden die möglichen Potenziale an Wertstoffen aufgezeigt, die derzeit über den Restmüll entsorgt werden. Danach liegt die Menge an Kunststoffen, Metallen und Verbunden im Restmüll bei etwa 3 Mio. Tonnen pro Jahr. Werden Textilien, Leder, Gummi und Holz hinzugenommen, steigt die Gesamtmenge auf etwa 4 Mio. Tonnen pro Jahr (vgl. Tabelle 3-3). Diese Werte sind allerdings nur als Orientierung zu verstehen, da keine aktuellen Sortieranalysen vorliegen, die repräsentativ für das Bundesgebiet sind.

Beispiele für die zusätzliche getrennte Erfassung von stoffgleichen Nicht-Verpackungen sind in den Städten Leipzig und in Berlin realisiert, in denen die Gelbe Tonne Plus eingeführt wurde. Darin werden zusätzlich zu den Leichtverpackungen auch stoffgleiche Nicht-Verpackungen und Elektrokleingeräte gesammelt. In Leipzig besteht das System seit 2004 und wurde durch eine Kooperation zwischen der Stadt und der Dualen System Deutschland GmbH (DSD) erreicht. In Berlin wird die Gelbe Tonne Plus vom privaten Entsorger Alba Berlin seit 2005 angeboten. Die bei knapp 400.000 Wohneinheiten aufgestellten 9.000 Tonnen wurden bislang seitens des städtischen Entsorgers Berliner Stadtreinigungsbetriebe (BSR) geduldet. Allerdings strebt die BSR die Erfassung von zusätzlichen Wertstoffen in eigener Regie an und begann 2009 mit der Aufstellung der „Orange Box“ bei 6.000 Haushalten. Hintergrund sind u. a. Kostengründe; durch die Gelbe Tonne Plus reduziert sich das Restmüllaufkommen und damit die Einnahmen der BSR. Die entsprechenden Gelder werden stattdessen von Alba Berlin eingenommen durch Gebühren für die Gelbe Tonne Plus. Zudem will die BSR noch umfassender Wertstoffe getrennt erfassen. In die „Orange Box“, die von der BSR auch als „kommunale Wertstofftonne“ bezeichnet wird, können neben stoffgleichen Nicht-Verpackungen und Elektrokleingeräten auch

Altholz, Textilien und Schuhe eingeworfen werden. Berlin ist damit ein Beispiel, in dem sich die aktuelle Rechtslage spiegelt und in dem keine Einigung zwischen Kommune und Dualem Systembetreiber erreicht wurde. Alba wurde mittlerweile die Aufstellung der Gelben Tonne Plus durch den Senat Berlin verboten. Die bislang aufgestellten Tonnen müssen bis zum 13.8.2010 abgezogen werden[5]. Weiterhin in der Hoheit von Alba Berlin bleibt allerdings gemäß Verpackungsverordnung die Einsammlung der Leichtverpackungen über die Gelbe Tonne. Auch behält sich Alba eine Klage gegen die Entscheidung der Umweltverwaltung vor.

Ein Ansatz zur Klärung der Rechtslage kann eventuell mit der Neufassung des Kreislaufwirtschaftsgesetzes erreicht werden. Die Neufassung, die der Umsetzung der europäischen Abfallrahmenrichtlinie (2008/98/EG) in nationales Recht dient, muss Anfang 2011 in Kraft treten. Grundlegende Norm für den Umgang mit Verpackungsabfällen bildet allerdings die Verpackungsverordnung (VerpV 2008). Eine grundsätzliche Überprüfung der Verpackungsverordnung und mögliche Änderungsansätze (Ausweitung zur Wertstofftonne) sind Gegenstand verschiedener Projekte, die im Rahmen des Umweltforschungsplans ausgeschrieben wurden. Bislang liegen daraus Ergebnisse zur Evaluierung der Pfandpflicht vor, die allerdings unter der Prämisse ermittelt wurden, dass die Verpackungsverordnung in der derzeitigen Form bestehen bleibt (UBA 2010).

Insofern kann derzeit nicht eingeschätzt werden, mit welchen Erfolgen eine Ausweitung der getrennten Erfassung bzw. eine Umstellung der Gelben Tonne zu einer Wertstofftonne verbunden wäre. Für die Gelbe Tonne Plus in Leipzig und in Berlin wird angegeben, dass etwa 7 kg/Einwohner und Jahr zusätzlich getrennt erfasst werden[6]. Hochgerechnet auf das Bundesgebiet entspräche dies einer Menge von knapp 600.000 Tonnen pro Jahr. Nach Angaben der BSR werden durch die Orange Tonne 17 kg/Einwohner und Jahr an Wertstoffen getrennt erfasst[7]. Wird davon ausgegangen, dass diese Menge vollständig dem Restmüll entnommen wurde, entspräche dies hochgerechnet auf das Bundesgebiet einer absoluten Menge von knapp 1,4 Mio. Tonnen pro Jahr. Allerdings ist nicht bekannt, welche Materialien in welchem Umfang darin enthalten sind. Entsprechend kann nachfolgend lediglich eine sehr grobe Einschätzung des Treibhausgas-Minderungspotenzials vorgenommen werden, die sich auf stoffgleiche Nicht-Verpackungen beschränkt.

---

[5] Voraussetzungen für das Verbot wurde durch das Bundesverwaltungsgericht im Juni 2009 geschaffen. Es urteilte damals, dass Kommunen private Sammlungen von Abfällen verbieten können. Voraussetzung dafür sei unter anderem, dass die Konkurrenz durch die Privatunternehmen spürbare "Auswirkungen auf die Organisation und Planungssicherheit des öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträgers (örE) nach sich zieht".

[6] http://www.vdi-nachrichten.com/vdi-nachrichten/aktuelle_ausgabe/article.asp?cat=2&id=41779&source=archiv

[7] http://www.berlinonline.de/berliner-zeitung/archiv/.bin/dump.fcgi/2010/0624/berlin/0081/index.html

Generell ist darüber hinaus zu beachten, dass die bisherige Entsorgung der entsprechenden Abfälle bei der Berechnung eines Minderungspotenzials berücksichtigt werden muss. Dies kann hier jedoch nicht sinnvoll vorgenommen werden. Der in (Öko-Institut/IFEU 2010a) ermittelte Wert für die Restmüllentsorgung bezieht sich auf eine durchschnittliche Restmüllzusammensetzung und kann hier nicht herangezogen werden. Für eine geeignete Einschätzung der Auswirkungen einer bisherigen Entsorgung über den Restmüll müssten zumindest genauere Daten zu Heizwerten und Kohlenstoffgehalten der betrachteten Abfallfraktionen ermittelt werden. Grundsätzlich ist hier aber mit einer hohen Bandbreite für insbesondere Kunststoffe und Verbunde zu rechnen. Da hier insgesamt nur eine grobe Orientierung hinsichtlich des Minderungspotenzials gegeben werden kann, wird von einer entsprechenden Datenermittlung und Berechnung der Auswirkungen einer bisherigen Behandlung der Abfälle über die Restmülltonne verzichtet.

Energie- und THG-Minderung

Zur groben Einschätzung des Minderungspotenzials durch die gesteigerte getrennte Erfassung von stoffgleichen Nicht-Verpackungen wird der Emissionsfaktor für Leichtverpackungen (LVP) nach (Öko-Institut/IFEU 2010a) herangezogen. Dieser wurde zu rund -440 kg CO_2-Äq/t LVP ermittelt (ohne Holzgutschrift) und bildet den Nettowert der Treibhausgasbilanzierung für die durchschnittliche Entsorgung von LVP in Deutschland. Damit können folgende orientierende Werte angegeben werden:

- Bei einer Steigerung der getrennten Erfassung von stoffgleichen Nicht-Verpackungen um bundesweit **600.000 t/a** (7 kg/Einwohner und Jahr entsprechend Erfahrungen in Leipzig und Berlin) ergibt sich die **THG-Minderung zu 264.000 t CO_2-Äq/a**.

- Unter Annahme, dass etwa 50% der stoffgleichen Nicht-Verpackungen dem Restmüll entnommen werden können, ergibt sich ausgehend von Abfallmengenpotenzialen in Tabelle 3-3, eine entnehmbare Abfallmenge von **1,5 Mio. t/a** und damit eine THG-Minderung von **660.000 t CO_2-Äq/a**.

Diese sehr grob ermittelten Werte geben ausschließlich einen Anhaltspunkt für das Minderungspotenzial der Verwertung. Zudem verrechnet werden müssten die Auswirkungen der ansonsten erfolgenden Entsorgung mit dem Restmüll, wovon an dieser Stelle abgesehen wurde, da generell die ermittelten Werte einzig der Orientierung dienen und wenig belastbar sind.

Investitionskosten

Die Kosten zur Einrichtung einer Wertstofftonne können nicht beziffert werden. Allerdings ist davon auszugehen, dass bei gegebenen Rohstoffpreisen sich eine gesteigerte getrennte Erfassung von Wertstoffen durch die Vermarktung von Sekundärprodukten rechnet. Als Kosten fallen neben der Investition in neue Tonnen (so nicht die Gelbe Tonne weiterverwendet werden

kann) ggf. auch Kosten für den Ausbau, die Umrüstung oder die Neuerrichtung von entsprechenden Sortierkapazitäten an. Für die Abfuhr der Tonnen kann davon ausgegangen werden, dass sich der Aufwand durch die entsprechende Verringerung der anfallenden Restmüllmengen nicht verändert. Generell wird für diesen Bereich keine Notwendigkeit gesehen, Anreize durch eine gesonderte finanzielle Förderung zu schaffen.

Hemmnisse

Eine Erschließung von stoffgleichen Nicht-Verpackungen bzw. trockenen Wertstoffen scheitert derzeit im Wesentlichen bedingt durch die gegebene Rechtslage, die eine gemeinsame Erfassung mit den bereits getrennt erfassten Leichtverpackungen schwierig macht. Während Leichtverpackungen aufgrund der Verpackungsverordnung durch die Dualen Systeme entsorgt werden, liegen alle weiteren Abfälle aus Haushalten grundsätzlich in der Entsorgungshoheit der Kommunen. Eine gemeinsame Erfassung von Leichtverpackungen und stoffgleichen Nicht-Verpackungen bzw. trockenen Wertstoffen erfordert entweder eine Übereinkunft zwischen Dualen Systemen und Kommunen oder eine Änderung der Rechtslage. Letzteres wird im Rahmen der Novellierung des KrW-/AbfG und der Überprüfung der Verpackungsverordnung diskutiert, auch befinden sich verschiedene Projekte in Bearbeitung und in der Ausschreibung zu Chancen und Machbarkeit der Wertstofftonne.

3.3.1.2 Bioabfälle

In Kapitel 3.2.1 wurden die möglichen Potenziale an Bio- und Grünabfällen aufgezeigt, die derzeit über den Restmüll entsorgt werden. Da aktuell weniger als 50% der Einwohner Deutschlands an die Biotonne angeschlossen sind, kann als grobe Einschätzung angenommen werden, dass das Potenzial in gleicher Größenordnung liegt wie die bereits über die Biotonne getrennt erfassten Abfälle. Knapp 4 Mio. Tonnen pro Jahr entspricht auch in etwa dem Wert für Bio- und Grünabfälle im Restmüll wie in Tabelle 3-3 aufgeführt. Das maximale Potenzial wird sich allerdings aus verschiedenen Gründen nicht erschließen lassen. Nach (Witzenhausen-Institut 2008) ergibt sich der entnehmbare Anteil zu rund 27%. Bezogen auf die hier zugrunde gelegten Zahlen zur Abfallzusammensetzung entspricht dies rund 1,14 Mio. Tonnen pro Jahr.

Eine Steigerung der getrennten Erfassung von Bioabfällen kann durch eine flächendeckende Einführung der Biotonne unter grundsätzlichem Anschluss- und Benutzungszwang in sehr umfassendem Maße erreicht werden. Gewisse Ausnahmen sollten allerdings zugelassen werden. So zeigen die Erfahrungswerte, dass in sehr dicht besiedelten Gebieten (Innenstadtbezirke, Großwohnanlagen) der Störstoffanteil in den Sammelbehältern zunimmt, während die erfasste Bioabfallmenge geringer wird, da kaum Grünabfälle anfallen und über die Biotonne entsorgt werden. Auch können beschränkte Stellplatzmöglichkeiten für die Biotonne und hygienische Bedenken Ausnahmegründe sein. Allerdings gibt es auch einige Positivbeispiele, in denen die getrennte

Erfassung durch die Biotonne auch in verdichteten Gebietsstrukturen gelingt. So werden beispielsweise in München Bioabfälle flächendeckend erfasst mit guten Ergebnissen an Menge und Qualität, auch infolge einer intensiven Öffentlichkeitsarbeit (BMU/UBA 2009).

Keine Ausnahme sollte allerdings aufgrund des Arguments Eigenkompostierung gewährt werden bzw. sollte eine darauf begründete Befreiung von der Biotonne restriktiv gehandhabt werden. In der Praxis ist die Befreiung auch bei bestehendem Anschluss- und Benutzungszwang in der Regel möglich. Auf einen Nachweis der Eigenkompostierung oder auch nur den Nachweis eines ausreichend großen Grundstücks wird jedoch oft aufgrund des hohen Verwaltungsaufwandes zur Kontrolle verzichtet. Bioabfälle sind u. a. Pflanzenrückstände, die nicht dem eigenen Garten entnommen wurden. Die darin enthaltenen Nährstoffe werden dem Grundstück daher zusätzlich zugeführt. In (LUBW 2010) konnte gezeigt werden, dass der Bedarf an Pflanzennährstoffen für private Gartenflächen durch eine Nährstoffzufuhr über Kompost aus der Eigenkompostierung in der Regel deutlich überdeckt ist und zu einer Überdüngung führt. Auch handelt es sich bei der Eigenkompostierung um eine sehr einfache Behandlungsmethode, bei der die Prozesskontrolle, insofern diese überhaupt stattfindet, anhand des visuellen Eindrucks und ggf. auftretender Geruchsemissionen erfolgt. Untersuchungen zu anfallenden Emissionen und Auswaschungen von Nährstoffen gibt es nicht. Eine Eigenkompostierung sollte insofern den im Garten selbst anfallenden Grünabfällen vorbehalten sein, wobei auch diese nicht vollständig zur bedarfsgerechten Düngung und Nährstoffzufuhr benötigt werden (vgl. Kapitel 3.3.4).

Die Einführung der Biotonne bedarf auf jeden Fall einer umfassenden Öffentlichkeitsarbeit. Bürger, die bislang keine Biotonne hatten, befürchten Geruchs- und Hygieneprobleme. Das Risiko hierzu besteht insbesondere in den Sommermonaten. Oft reicht hier der Rat, die Biotonne in den Schatten zu stellen und auf geringe Feuchte zu achten, in dem z.B. Kaffee- und Teefilter ausgetrocknet gelassen werden, feuchte Küchenabfälle in Altpapier eingeschlagen werden und Grasschnitt auf dem Rasen angetrocknet wird. In aller Regel müssen die Behälter in den Sommermonaten aber trotzdem häufiger geleert werden. Auch ist das System umso erfolgreicher, je offenkundiger der damit verbundene Nutzen für die Bevölkerung ist. Hier können Öffentlichkeitsmaßnahmen wie Tag der offenen Tür bei Behandlungsanlagen oder Imagekampagnen helfen (z.B. „Reinheit für die Biotonne“[8]).

Für eine gute Qualitäten und hohe Erfassungsgrade müssen das Gebührensystem und die angebotenen Behältergrößen die richtigen Anreize bieten. Optimal ist eine Kombination aus Grund- und Leistungsgebühr. Die Grundgebühr dient der Kostendeckung für die Behälterbereitstellung, die Leistungsgebühr wird leerungsabhängig nach Anzahl der Leerungen oder nach abgefahrenem Gewicht ermittelt. Nach (LUBW 2010) wird eine gemeinsame Grundgebühr für Restmüll

[8] Z.B. http://www.vhe.de/verbaende/vhe-nord-ev/kampagne-reinheit-fuer-die-biotonne/

und Bioabfall empfohlen sowie die Bereitstellung gleicher Behältervolumina. Eine zu niedrige Gebühr für die Biotonne erhöht das Risiko, dass vermehrt Restmüll über die Biotonne entsorgt wird. Desgleichen ist zu befürchten, wenn die Behältervolumen für die Bioabfälle im Vergleich zu den Restmülltonnen deutlich höher liegen. Nach Einschätzung von (Witzenhausen-Institut 2008) sollte für Restmüll ein Behältervolumen von 20-25 l/Einwohner und Woche nicht unterschritten werden. Abgesehen von möglichen Fehlwürfen steigt bei der Biotonne ab Behältervolumina von 15-18 l/Einwohner und Woche auch der Grünabfallanteil in der Biotonne, darunter insbesondere der holzige Anteil. Da holzige Grünanteile nicht für eine Vergärung, sondern für eine thermische Nutzung geeignet sind (vgl. Kapitel 3.2.1), müsste für eine dennoch möglichst optimale energetische Nutzung der entsprechende Abfall vorab einer Stoffstromtrennung unterzogen werden.

Wird die Biotonne neu eingeführt, ist auch zu prüfen, welche Behandlungsverfahren dafür zur Verfügung stehen bzw. neu installiert werden müssen. Die Ausweitung der getrennten Erfassung von Bioabfällen sollte unbedingt in Kombination mit der Möglichkeit geprüft werden, bestehende Kompostierungsanlagen um eine anaerobe Stufe nachzurüsten. Oft ist dadurch insgesamt eine deutlich kostengünstigere Lösung möglich für das Ziel einer Steigerung der Klimaschutz- und Energieeffizienzpotenziale (vgl. Kapitel 3.3.2).

Allerdings fehlt das Angebot der Biotonne insbesondere in den Neuen Deutschen Bundesländern, allen voran Brandenburg und Mecklenburg-Vorpommern, in denen 83% bzw. 66% der dort lebenden Einwohner keine Zugang zu einer Biotonne haben (Witzenhausen-Institut 2008). In den neuen Ländern finden sich häufig noch Kompostierungsanlagen, die einen geringen Technisierungsgrad aufweisen (so genannte Billig-Anlagen) und insofern aus Kostengründen nur bedingt für eine Nachrüstung um eine anaerobe Stufe geeignet sind. In diesen Ländern fehlen oft die Mittel, um zunächst das Potenzial der erfassbaren Mengen zu prüfen, die erforderliche Öffentlichkeitsarbeit zu finanzieren und entsprechende sinnvolle Behandlungskapazitäten zu installieren inkl. Untersuchungen, die eine vernünftige Vermarktung von erzeugten Sekundärprodukten prüfen. Die Abfallgebühren können in diesen Ländern aufgrund der niedrigen Lohnertragsstruktur bei vergleichsweise hohen Lebenshaltungskosten nur bedingt erhöht werden, um die entsprechenden Mittel einzubringen.

Insbesondere in dieser Situation können finanzielle Anreize im Rahmen einer kommunalen Förderung dazu beitragen, das Klimaschutz- und Effizienzpotenzial durch eine gesteigerte getrennte Erfassung von Bioabfällen zu befördern.

Energie- und THG-Minderung

Zur Einschätzung des Minderungspotenzials durch die gesteigerte getrennte Erfassung von Bioabfällen wird grundsätzlich davon ausgegangen, dass die zusätzlich erfassten Bioabfälle einer kombiniert stofflichen und energetischen Verwertung zugeführt werden. Es werden die auch in

Kapitel 3.3.2 aufgeführten Emissionsfaktoren für die Vergärung mit Nachkompostierung im Status quo und im optimierten Fall verwendet (Tabelle 3-12).

Wie schon bei der Steigerung der getrennten Erfassung von trockenen Wertstoffen muss auch hier die bisherige Entsorgung der Bioabfälle über die Restmülltonne beachtet werden. Auch hier gilt, dass die durchschnittlichen Ergebnisse für die Restmüllentsorgung nach (Öko-Institut/IFEU 2010a) nicht herangezogen werden können. Bioabfälle weisen einen deutlich geringeren Heizwert auf als der durchschnittliche Restmüll und sind aber umgekehrt durch rein regenerative CO_2-Emissionen gekennzeichnet. Im Gegensatz zu den Wertstoffgemischen kann für Bioabfall grob berechnet werden, mit welchen Auswirkungen der gegenwärtige Verbleib in der Restmülltonne verbunden ist. Dazu wird vereinfacht davon ausgegangen, dass der Bioabfall in der Restmülltonne in einer mittleren MVA verbrannt wird. Die anrechenbaren mittleren Nettowirkungsgrade sind entsprechend 10% für Strom und 30% für Wärme. Der Heizwert des Bioabfalls wird nach (DBU 2002) mit 2,6 MJ/kg angenommen. Für die erzeugte Energie wurden die nachfolgenden Emissionsfaktoren für Marginalsubstitution verwendet:

Emissionsfaktor für Marginalstromsubstitution = 0,887 kg CO_2-Äq/kWh[9]

Emissionsfaktor für Marginalwärmesubstitution = 0,334 kg CO_2-Äq/kWh[10]

Im Ergebnis zeigt zunächst Tabelle 3-8, dass durch die Vergärung deutlich mehr Strom erzeugt werden kann als durch die Verbrennung. Allerdings ergibt sich umgekehrt bei der Verbrennung eine höhere Wärmemenge selbst gegenüber dem optimierten Fall.

Tabelle 3-9 verdeutlicht, dass die Verbrennung in einer durchschnittlichen MVA zu etwas höheren Treibhausgasentlastungen führt als die Vergärung im Status Quo. Dies liegt nicht an der erzeugbaren Energie, die für Strom wie gezeigt höher ausfällt, sondern an den hohen Methanemissionen, die der Vergärung im Status Quo zugeschrieben werden. Allerdings befindet sich der zugrunde liegende Bericht (gewitra 2009) in Überarbeitung und ggf. waren die bisherigen Emissionsfaktoren überschätzt. Vorbeugend sollte aber bei einer Steigerung der getrennten Erfassung von Bioabfällen auf jeden Fall darauf geachtet werden, dass keine hohen Methanemissionen bei der Vergärung anfallen. Nur dann zeigt sich deutlich der Vorteil der Entnahme von Bioabfall aus der Restmülltonne auch aus Klimaschutzsicht. Für eine Steigerung der getrennt erfassten Bioabfälle um 1,14 Mio. Tonnen pro Jahr beläuft sich die THG-Minderung auf 148.500 t CO_2-Äq/a.

---

[9] 59% Steinkohle, 16% Braunkohle, 25% Erdgas nach (ISI 2009) für das Jahr 2006 (ebenfalls in der Studie veröffentlichte Ergebnisse für das Jahr 2007 wurden nicht herangezogen, da hier hohe Abweichungen aufgrund hoher Stillstände von Kernkraftwerken gegeben waren).

[10] 50% Öl- und 50% Gasheizungen in Haushalten in Anlehnung an (BMU 2008). Annahme 10% Verluste für Verteilung in Fernwärmenetzen (vgl. auch Öko-Institut 2008).

Tabelle 3-8: Erzeugter Nettostrom und genutzte Wärme durch Bioabfallentsorgung über MVA und durch getrennte Erfassung und Vergärung

	Nettostrom	**Genutzte Wärme**
Verbrennung MVA	69 kWh/t	208 kWh/t
Vergärung ohne Optimierung	169 kWh/t	36 kWh/t
Vergärung mit Optimierung	169 kWh/t	146 kWh/t

Tabelle 3-9: Mögliche Treibhausgaseinsparungen durch Steigerung der getrennten Erfassung von Bioabfall und kombiniert stofflich und energetische Nutzung

	Netto-Emissionsfaktor	**Änderung THG**
	kg CO_2-Äq/t	**t CO_2-Äq/a***
Verbrennung MVA	-106,4	
Vergärung 1,14 Mio. t/a ohne Optimierung	-64,3	-47.950
Vergärung 1,14 Mio. t/a mit Optimierung	-231,4	148.500

** Differenzwerte zu einer Verbrennung in MVA von 1,14 Mio. t Bioabfall; Werte gerundet; Minuszeichen bedeutet hier eine Belastung durch die Vergärung ohne Optimierung gegenüber der Verbrennung*

Generell ist hier festzuhalten, dass auch diese Werte nur eine Orientierung bieten können. Letztendlich kann sich die tatsächliche Entsorgung des Bioabfalls sehr deutlich von der hier unterstellten unterscheiden. Insbesondere wenn beispielsweise Bioabfälle über eine MBA mit aerober biologischer Behandlung mitbehandelt werden, wird keine Energieerzeugung erzielt, sondern die organischen Abfälle werden stabilisiert und auf einer MBA-Deponie abgelagert. Insofern sind auch die hier dargestellten Werte nur sehr eingeschränkt belastbar.

Investitionskosten

Die Kosten für eine Steigerung der getrennten Erfassung müssen sich auf das Gesamtbild beziehen. Das heißt abgesehen von den Kosten der Abfallsammlung sind auch die Kosten der Abfallbehandlungsanlage und etwaige Erlöse aus der Erzeugung von Energie und Komposten zu betrachten. Für die Abfallsammlung selbst ist gegenüber einem Verbleib in der Restmülltonne nur eingeschränkt mit Mehrkosten zu rechnen. Bei entsprechender Planung kann die Biotonne alternierend zur Restmülltonne abgefahren werden. Allerdings kann im Sommer eine häufigere Abfuhr der Biotonne erforderlich werden. In (VHE/BGK 2009) werden die Logistik- und Behandlungskosten für ländliche und für städtische Entsorgungsgebiete nach einer Untersuchung von INFA Ahlen zitiert. Danach fallen die Kosten der Abfuhr und Behandlung bei der getrennten Rest- und Bioabfallerfassung in ländlichen Gebieten um 14% niedriger aus als die entsprechenden Kosten für die gesamte Restmüllerfassung. In städtischen Entsorgungsgebieten liegt der

Kostenvorteil nur noch bei 3%. Den Berechnungen zugrunde gelegt wurden Behandlungskosten für die Restmüllentsorgung von 145 Euro/t und für die Bioabfallverwertung von 60 Euro/t. Die Kosten für die Abfuhr liegen in städtischen Entsorgungsgebieten deutlich höher als in ländlichen[11], woraus sich der Unterschied im Gesamtergebnis ergibt. Die Kostenuntersuchung zeigt, dass insofern Anlagenkapazitäten bestehen, sich aus der getrennten Erfassung ein Kostenvorteil ergibt. Im Allgemeinen muss jedoch davon ausgegangen werden, dass entsprechende Kapazitäten aufgebaut werden müssen. Hierzu sei auf Kapitel 3.3.2 verwiesen. Zudem fallen Kosten für eine umfassende Regionalanalyse an, die im Vorfeld der Einführung der Biotonne durchgeführt werden sollte. Diese können allerdings nicht pauschal beziffert werden.

Hemmnisse

Als Hemmnisse der flächendeckenden Einführung der Biotonne sind v. a. Kostengründe zu nennen. In den betroffenen Kreisen und kreisfreien Städten bestehen Entsorgungsstrukturen, die durch eine Steigerung der getrennten Erfassung ggf. nicht mehr ausgelastet wären (MVA) oder es müssten Neuinvestitionen geleistet werden, um Vergärungskapazitäten aufzubauen (Nachrüstung Kompostierungsanlage). Auch spielt bei der Verbrennung von organischen Abfällen in MVA der Wunsch einer ausgewogenen Klimabilanz eine große Rolle. Umso mehr organische Abfälle dem Restmüll entnommen werden, umso schlechter wird die Bilanz der MVA, da der fossile CO_2-Anteil im Abgas steigt. MVAn können sich aber künftig evtl. freiwillig am Emissionshandel beteiligen, eine schlechtere Klimabilanz hätte entsprechende negative Auswirkungen.

3.3.2 Potenziale durch Nachrüstung von Kompostierungsanlagen mit einer anaeroben Stufe

Die zusätzliche energetische Nutzung der Abfälle aus der Biotonne ist gegenüber eine reinen Kompostierung hinsichtlich Klima- und Ressourcenschutz vorteilhaft. Zudem können die durch Nachrotte der Gärreste erzeugten Komposte (kompostierter Gärrest, kGR) ähnlich vermarktet werden wie aerob erzeugter Fertigkompost und aufgrund ihrer Nährstoffarmut sind sie sogar besser geeignet für Substratanwendungen. Durch Substratanwendung kann insbesondere Torf ersetzt werden, was mit den höchsten Treibhausgasminderungen durch eine Kompostanwendung verbunden ist. Die Nachrüstung von Kompostierungsanlagen mit einer vorgeschalteten anaeroben Stufe wird auch nach EEG (2009) nur dann über den Technologie-Bonus gefördert,

[11] Ländlich: Restmüll Gesamtabfuhr 43 Euro/t; Restmüll und Bioabfall getrennte Abfuhr je 46 Euro/t; städtisch Restmüll Gesamtabfuhr 66 Euro/t; Restmüll getrennte Abfuhr je 65 Euro/t, Bioabfall getrennte Abfuhr 105 Euro/t

wenn die Gärreste nachgerottet werden[12]. Die EEG Förderung stellt zwar einen Anreiz zur Nachrüstung dar, reicht aber je nach Randbedingungen nicht aus, um die Nachrüstung wirtschaftlich darzustellen.

In Frage für eine Nachrüstung von Kompostierungsanlagen mit einer anaeroben Stufe kommen technisch anspruchsvolle Anlagen mit einer Mindestgröße von 10.000 Jahrestonnen. Dies entspricht einem Potenzial von 200-250 Anlagen bzw. einer Gesamtkapazität von rd. 7 Mio. t/a. Entsprechende Anlagen sollten grundsätzlich geschlossen ausgeführt sein. Nach TA Luft 2002[13] ist dies für Anlagen > 10.000 t/a vorgegeben, allerdings bedarf die Umsetzung der TA Luft der behördlichen Anordnung, die in den Bundesländern nicht immer erteilt wurde. Es kann aber davon ausgegangen werden, dass Anlagen mit einem Jahresdurchsatz > 20.000 t/a geschlossen ausgeführt sind. Diese Anlagen stellen eine Behandlungskapazität von 5,4 Mio. t/a (Öko-Institut/IFEU 2010a).

Aus stofflicher Sicht kommen grundsätzlich die Abfälle aus der Biotonne für eine Vergärung in Frage, darüber hinaus auch etwa 15-30% der Grünabfälle (vgl. Kap. 3.2.2). In (Öko-Institut/IFEU 2010a) wurde in einem Zukunftsszenario angenommen, dass etwa 80% der Abfälle aus der Biotonne künftig vergoren werden können. Unter diesen Randbedingungen ergäbe sich gegenüber dem Ist-Stand eine Menge zur Vergärung von rd. 3,5 Mio. Tonnen. Wird zudem beachtet, dass eine gesteigerte getrennte Erfassung von insbesondere Bioabfällen möglich ist (1,14 Mio. t/a, vgl. Kapitel 3.3.1) und wird für diese eine vollständige Vergärung angenommen, dann könnten rd. 4,5 Mio. Tonnen Bio- und Grünabfälle künftig energetisch und stofflich genutzt werden. Das Treibhausgas-Minderungspotenzial wird nachfolgend ausschließlich für die Menge aus der bestehenden getrennten Erfassung ermittelt. Die zusätzlich erfassbaren Mengen sind in Kapitel 3.3.1 behandelt, für diese besteht die Status Quo Entsorgung nicht in einer Kompostierung, sondern in der Behandlung gemeinsam mit Restmüll.

Energie- und THG-Minderung

Für die Berechnung der THG-Emissionen und des Minderungspotenzials wurden die gleichen Emissionsfaktoren für Methan und Lachgas wie in (Öko-Institut/IFEU 2010a) verwendet, die in Tabelle 3-10 aufgeführt sind. Diese entsprechen vorläufigen Ergebnissen aus Emissionsmessungen nach (gewitra 2009), welche die bisherigen Werte für die nationale Berichterstattung ablösen sollen. Der nach diesen vorläufigen Werten für die Vergärung ermittelte Wert für Me-

---

[12] Anlage 1 Technologie-Bonus, II Innovative Anlagentechnik, i) Anlagen, die ausschließlich Bioabfälle vergären und unmittelbar mit einer Einrichtung zur Nachrotte der festen Gärrückstände verbunden sind, wenn die nachgerotteten Gärrückstände stofflich verwertet werden.

[13] Gemäß Anforderung der TA Luft 2002 Nr. 5.4.8.5 an Altanlagen müssen Anlagen >10.000 t/a seit Oktober 2007 geschlossen ausgeführt sein.

than liegt gegenüber einer geschlossenen Kompostierung um mehr als fünfmal höher. Hier besteht Handlungsbedarf zur Minimierung. Diese wird als grundsätzlich für möglich erachtet durch geeignete technische Maßnahmen wie z.B. eine gezielte Ablufterfassung in kleinem Volumen und Verbrennung des resultierenden Schwachgases im BHKW. Die genannte Studie von gewitra (2009) wurde allerdings Mitte letzten Jahres vom Umweltbundesamt zurückgenommen. In einem Nachfolgeprojekt werden derzeit umfassendere Messungen durchgeführt, die zu anderen Emissionsfaktoren führen können. Mit einer Veröffentlichung dieser Werte ist im Laufe des Jahres 2010 zu rechnen.

Tabelle 3-10: Emissionsfaktoren Kompostierung und Vergärung (Öko-Institut/IFEU 2010a)

	Methan	**Lachgas**
	g/t	**g/t**
Geschlossene Anlagen Bio- und Grünabfall (EF)	710	68
Offene Anlagen Bio- und Grünabfall (EF)	1.000	110
Anlagen mit Vergärung und geschlossener Nachrotte (EF)	3.700	120

EF: Emissionsfaktor

Im Weiteren stellen die ermittelten THG-Emissionen für die Kompostierung und die Vergärung die mittlere Situation in Deutschland dar wie sie in (Öko-Institut/IFEU 2010a) beschrieben ist. Für die Vergärung wurde danach für die Ist-Situation davon ausgegangen, dass nur 20% der im BHKW erzeugten Überschusswärme tatsächlich genutzt werden kann. Für die erzeugte Energie wurden die nachfolgenden Emissionsfaktoren für Marginalsubstitution verwendet (vgl. Kap. 3.3.1.2):

Emissionsfaktor für Marginalstromsubstitution = 0,887 kg CO_2-Äq/kWh

Emissionsfaktor für Marginalwärmesubstitution = 0,334 kg CO_2-Äq/kWh

Das Treibhausgasminderungspotenzial durch Nachrüstung einer anaeroben Vorschaltanlage wurde sowohl für eine Vergärung nach dem Status-Quo als auch für eine optimierte Vergärung berechnet. Für die optimierte Vergärung wurde wie in (Öko-Institut/IFEU 2010a) angenommen, dass durch Minderungsmaßnahmen die Methanemissionen auf 10% reduziert werden können. Zudem wurde angenommen, dass 80% der Überschusswärme genutzt werden können. Die Ergebnisse der Berechnungen sind in Tabelle 3-11 und Tabelle 3-12 dargestellt. Sie zeigen die jeweils erzeugte bzw. genutzte spezifische Energie für die Vergärung und die Kompostierung, sowie die spezifischen Netto-Emissionsfaktoren der THG-Bilanz der Kompostierung und der Vergärung ohne und mit Optimierung und die jeweils möglichen Treibhausgasminderungen, die sich durch eine zusätzliche Vergärung von 3,5 Mio. t Bio- und Grünabfällen gegenüber einer derzeitigen Kompostierung dieser Menge ergeben würden.

Tabelle 3-11: Erzeugter Nettostrom und genutzte Wärme durch Nachrüstung von Kompostierungsanlagen um eine anaerobe Stufe

	Nettostrom	Genutzte Wärme
Ist-Zustand Kompostierung	-	-
Vergärung ohne Optimierung	169 kWh/t	36 kWh/t
Vergärung mit Optimierung	169 kWh/t	146 kWh/t

Tabelle 3-12: Mögliche Treibhausgaseinsparungen durch Nachrüstung von Kompostierungsanlagen um eine anaerobe Stufe

	Netto-Emissionsfaktor	Minderung THG
	kg CO_2-Äq/t	t CO_2-Äq/a*
Ist-Zustand Kompostierung	36,8	
Nachrüstung für 3,5 Mio. t/a ohne Optimierung	-64,3	354.000
Nachrüstung für 3,5 Mio. t/a mit Optimierung	-231,4	938.500

** Differenzwerte zu einer durchschnittlichen Kompostierung von 3,5 Mio. t Bioabfall; Werte gerundet*

Investitionskosten

Zur Ermittlung der Kosten durch eine Nachrüstung wurde im Rahmen des Forschungsvorhabens (PG Biogas 2008) die Erstellung eines Wirtschaftlichkeitsgutachtens beauftragt (WI, IGW 2007). Die Kosten für die bestehende Kompostierung schwanken danach stark in Abhängigkeit von Input, Kapazitätsauslegung sowie Anlagentechnik und liegen (ohne Sammlung) im Allgemeinen zwischen 20 €/t und 100 €/t. Bei Kompostierungsanlagen, die als für eine Nachrüstung geeignet erachtet werden, da sie bereits einen gewissen Technisierungsgrad aufweisen, liegen die Kosten beispielsweise bei einer Durchsatzleistung von 20.000 t/a zwischen 50 €/t und 60 €/t.

Für die Kostenkalkulation der Nachrüstung wurden im Gutachten folgende Grundannahmen festgelegt:

- die bestehende Anlage verfügt über eine Grobaufbereitung,
- sie ist TA Luft konform (gekapselt, aktive Abluftfassung und -reinigung),
- die Nachrotte der Gärreste erfolgt geschlossen in der Bestandsanlage,
- es liegen „normale“ Standortgegebenheiten vor (Emissions-, Immissionssituation, Verkehrswege, Bebauungsplan, Baugrundverhältnisse etc.), kein zusätzlicher Grunderwerb erforderlich,
- gleiche Entsorgungs- und Vermarktungsbedingungen für den erzeugten Kompost wie bei der Bestandsanlage; Überschusswasser wird als Prozesswasser genutzt,

- kein zusätzlicher Bedarf für Sozialräume, keine weiteren allgemeinen Kosten,
- berücksichtigte Investitionskosten decken den größten Teil der am Markt aktuell aktiven Hersteller und Verfahren ab.

Des Weiteren wurden drei Typen der anaeroben Behandlung für die Nachrüstung unterschieden (Tabelle 3-13, Tabelle 3-14). Für diese wurden Jahresdurchsatzleistungen von 10.000 t/a, 20.000 t/a und 40.000 t/a berücksichtigt.

Tabelle 3-13: Mittlere Investitionskosten nach Anlagengröße

Durchsatz in t/a	Typ 1	Typ 2	Typ 3
10.000	6.000.000 €	4.800.000 €	2.750.000 €
20.000	11.000.000 €	7.000.000 €	5.000.000 €
40.000	18.000.000 €	12.000.000 €	9.000.000 €

Die jeweiligen Investitionskosten für die drei Typen unterscheiden sich deutlich in Abhängigkeit des Automatisierungsgrades. Die Typen 1 und 2 weisen mit einem sehr hohen bis hohen technischen Aufwand entsprechend hohe Investitionskosten auf, Typ 3 mit geringem technischen Aufwand relativ niedrige Investitionskosten. Dafür erreicht die einfache Trockenfermentation (Typ 3, z.B. Garagenverfahren) auch nur einen geringeren Gasertrag und Erlöse daraus. Im Ergebnis der Kostenkalkulation weist Typ 3 deswegen auch ähnlich hohe Zusatzkosten auf wie die Typen 1 und 2.

Tabelle 3-14: Übersicht Kosten Nachrüstungsmöglichkeiten

	Typ 1	Typ 2	Typ 3
Art	Teilstromvergärung (erfordert zus. Aufbereitung vor/nach Vergärung)	Vollstromvergärung Ziel max. Gasertrag, erfordert zus. Aufbereitung vor/nach Vergärung	Vollstromvergärung niedriger Technisierungsgrad
Techn. Daten	50-80% in Nassvergärung, Rest aerob Gasertrag 150 Nm³/t hoher Eigenenergiebedarf hohe Automatisierung	95% in Trockenvergärung, Rest Störstoffe Gasertrag 110 Nm³/t mittlerer Eigenenergiebedarf hohe Automatisierung	100% in Trockenvergärung Gasertrag 80 Nm³/t geringer Eigenenergiebedarf einfache, robuste Technik
Spez. Invest	350 - 700 €/t	300 - 600 €/t	200 - 300 €/t
Betriebskosten	40 - 55 €/t	40 - 55 €/t	30 - 45 €/t
Einsparung [1)]	5 - 10 €/t	5 - 10 €/t	< 5 €/t
Erlöse [2)]	23 - 28 €/t	25 - 30 €/t	17 - 22 €/t

3) eingesparte Betriebskosten bestehende Kompostierung, wg. veränderter Prozessbedingungen
4) Stromerlöse nach EEG Stand 2007, Typ 2 und 3 zusätzlich Technologiebonus

Mit der gegebenen Bandbreite an Kosten für die drei Typen ergeben sich unter Anrechnung des Stromerlöses nach EEG (Stand 2007) sowie des Technologiebonus für die Typen 2 und 3 Zusatzkosten der Integration einer anaeroben Vorschaltstufe in eine bestehende Kompostierungsanlage von 0 €/t bis 27 €/t. Die kostenneutrale „Null“ wird dabei nur im kostengünstigsten Fall

bei Typ 2 und einer Anlagengröße von 40.000 t/a erreicht. Im Schnitt wird für die Nachrüstung von Nettokosten von 10-20 €/t ausgegangen. Besteht eine standortspezifische Möglichkeit zur Wärmenutzung können durch den KWK-Bonus nach EEG weitere Erlöse erzielt werden, die verbleibenden Mehrkosten lagen zum Stand des Gutachtens bei Annahme einer 40%igen Wärmenutzung danach noch im Schnitt bei 7-17 €/t. In einzelnen kostengünstigen Fällen wird eine Kostenneutralität bzw. leichte Besserstellung durch die Nachrüstung erreicht.

Hemmnisse

In der Regel ist eine Nachrüstung nur wirtschaftlich, wenn Neuinvestitionen anstehen bzw. ist die Wirtschaftlichkeit abhängig von Randbedingungen wie Anlagenzustand, -typ, die Konkurrenzsituation zu anderen Anlagen ("Billig-Anlagen"), die abfallwirtschaftliche Situation (z.B. Kapazitätsprobleme) oder auch eine besonders günstige Wärmeabsatzmöglichkeit.

Die meisten der bestehenden Kompostierungsanlagen wurden gegen Ende der 90er Jahre gebaut und werden insofern in den nächsten 5-8 Jahren ihr Abschreibungsalter erreichen. Allerdings entsteht daraus keine unmittelbare Notwendigkeit Investitionen zu tätigen, wenn keine Probleme bestehen (z.B. Korrosions-, Geruchsprobleme). Auch die Anforderung nach TA Luft an Altanlagen (geschlossene Ausführung bei Anlagen >10.000 t/a ab Okt 2007) bietet keinen Anreiz zur Nachrüstung von Anlagen. Zum einen sind davon nur schätzungsweise 20% der bestehenden Bioabfallkompostierungsanlagen in Deutschland betroffen, zum anderen bedarf die Umsetzung der Anforderung einer behördlichen Anordnung, die insbesondere in den Neuen Bundesländern, in denen sich mehrheitlich die einfach ausgeführten (offene Kompostierung) so genannten „Billig-Anlagen“ befinden, kaum erfolgt. Ohne zusätzliche finanzielle Anreize ist damit trotz der bereits gegebenen Förderung durch das EEG nicht mit einer nennenswerten Nachrüstung von Bioabfallkompostierungsanlagen um eine Vergärungsstufe zu rechnen.

3.3.3 Potenziale durch Steigerung der Wirkungsgrade von thermischen Anlagen

In Kapitel 3.2.3 wurde der Status Quo der thermischen Abfallbehandlung beschrieben. Es wurde erläutert, dass Optimierungspotenziale ausschließlich für Müllverbrennungsanlagen betrachtet werden. Grundlage hierfür bildet die Studie (EdDE 2010). Darin wurden neun Anlagen untersucht, die mit ihrem Durchsatz, ihrer Anlagentechnik und ihren Wirkungsgraden den Bestand in Deutschland nach Angaben der Autoren weitgehend repräsentieren. Bei diesen neun Anlagen wurden die folgenden optimierbaren Bereiche identifiziert:

<u>Erhöhung des Kesselwirkungsgrades:</u>

- Die chemischen Ascheverluste werden durch den Glühverlust der Aschen bestimmt; dieser schwankte bei den Anlagen zwischen 1,2 und 5% → sechs der neun Anlagen sahen Optimie-

rungspotenzial durch besseren Ausbrand der Aschen; optimale Werte liegen bei 1% Glühverlust.

- Der Kesselwirkungsgrad (Übertragene Energiemenge des Abfalls in den Wasser-Dampf-Kreislauf) wird in erster Linie von thermischen Rauchgasverlusten bestimmt, die wiederum v. a. von der Temperatur des Rauchgases am Kesselaustritt abhängen. Diese Temperatur schwankte bei den Anlagen zwischen 170 und 320°C → Optimierungspotenzial Absenkung der Rauchgastemperatur durch Einbau zusätzlicher Wärmetauscher; wurde von vier der neun Anlagen gesehen; ab Temperaturen unterhalb 180°C steigt das Korrosionsrisiko aufgrund der Taupunktunterschreitung von Säuren und es sind zusätzliche Korrosionsschutzmaßnahmen an den betroffenen Anlagenteilen erforderlich.

- Verringerung des Luftüberschusses (nur an zwei der neuen Anlagen relevant mit geringer Steigerung des Kesselwirkungsgrades; aber im Allgemeinen bewirkt Absenkung auch Minderung der thermischen Rauchgasverluste, insofern hoher Einfluss auf Kesselwirkungsgrad)

Bei der Optimierung der Feuerung einer Abfallverbrennung muss immer auch beachtet werden, dass die Aufgabe der Abfallverbrennung vorrangig in der schadlosen Zerstörung des Abfalls liegt. Abfall ist kein Regelbrennstoff und insofern sind Abfallverbrennungsanlagen im Vergleich zu fossil befeuerten Kraftwerken durch einen relativ geringen Kesselwirkungsgrad gekennzeichnet. Dies ist Folge des niedrigeren Brennstoffausbrands, des höheren Luftüberschusses mit dem die Feuerung gefahren werden muss[14] und von höheren Kesselaustrittstemperaturen des Rauchgases. Wie oben ausgeführt, besteht in der Praxis aber durchaus ein Optimierungspotenzial für diese Parameter, die den Kesselwirkungsgrad bestimmen. Hierbei ist jedoch zu bedenken, dass die Erhöhung des Kesselwirkungsgrades zu höheren Dampfmengen führt und dass die MVA diese höheren Dampfmengen zum einen erzeugen können und zum anderen auch tatsächlich in zusätzlich abgegebene Energie umsetzen können muss. Ist dies nicht der Fall, dann muss bei Erhöhung des Kesselwirkungsgrades die verbrannte Abfallmenge reduziert werden, um die Dampfmenge konstant halten zu können. Letzteres bedeutet aber einen Verdienstausfall für die MVA (Abfallannahmegebühren). Als Lösung bliebe, alte Kessel durch neue zu ersetzen und so die entsprechend höheren Dampfmengen nutzbar zu machen. Allerdings ist die Wirtschaftlichkeit für diese Maßnahme selten gegeben. In (EdDE 2010) sah sich keiner der neun Anlagenbetreiber in der Lage, zur Erhöhung des Kesselwirkungsgrades in größere Kessel zu investieren. Die Anlagenbetreiber sehen eher das Potenzial, hinter dem Kessel die Dampfmengen besser zu nutzen.

---

[14] Die Heterogenität des Abfalls erfordert auch bei guter Feuerungsleistungsregelung Sauerstoffgehalte von mind. 6,5% im Abgas (entspricht Lambda = 1,44)

Optimierung der Stromerzeugung:

Die Optimierung der Stromerzeugung lässt sich in der Regel durch die Kombination geeigneter Maßnahmen erzielen, wobei die Stromerzeugung und der Wasser-Dampf-Kreislauf als Gesamtheit zu betrachten sind. In fünf der neun MVAn wurde ein Optimierungspotenzial gesehen, die anderen vier erzeugen bereits die für MVA typischen Dampfparameter um die 40 bar und 400°C, besitzen Turbinen mit akzeptablen inneren Wirkungsgraden von ca. 80% und erreichen einen Kondensationsdruck von ca. 0,2 bar bei 60°C.

Unter den fünf MVA mit Optimierungspotenzial ist es bei einer sinnvoll, die mehrere Jahre alten Kessel gegen moderne auszutauschen. Mit dann höheren Dampfparametern ergibt sich bei gleicher Feuerungswärmeleistung eine geringere Dampfmenge, da der Dampf auf höhere Temperaturen überhitzt wird. Bei dieser Anlage soll der Kondensationsdruck auf 0,12 bar gesenkt und der Dampf über eine größere Enthalpiedifferenz entspannt werden. Dazu müssen die vorhandenen Turbinen gegen moderne mit Wirkungsgraden von ca. 83% ausgetauscht werden. Optimierung bei dieser Anlage bedeutet den Austausch nahezu des gesamten Wasser-Dampf-Systems mit Kesseln, Kondensatoren und Turbinen.

In den drei weiteren MVAn, für die Optimierungspotenzial gesehen wurde, kann allein über den Austausch der Turbinen und teilweise durch Absenken des Kondensationsdrucks mehr Strom erzeugt werden. Moderne Turbinen haben neben hohen inneren Wirkungsgraden auch die passenden Anzapfstellen zur Prozessdampfentnahme, Fernwärmeerzeugung sowie zur Kondensat-, Speisewasser- und Luftvorwärmung (vgl. Tabelle 3-15).

Tabelle 3-15: Dampfparameter an den Turbinenstufen einer modernen Entnahme-Kondensationsturbine (EdDE 2010)

Turbinenstufe	Druck in bar	Temperatur in °C	Enthalpie in MJ/t
Turbineneintritt	38	395	3.206
12-Bar-Schiene	12	270	2.981
5-Bar-Schiene	5	180	2.812
1,3-Bar-Schiene	1,3	105	2.615
Turbinenaustritt	0,1	45	2.311

An zwei MVAn kann eine leichte Steigerung des Stromertrages allein über die Erhöhung der Luftvorwärmung erreicht werden (mittels Anzapfdampf auf max. 150°C; bei höheren Temperaturen nachteilige Auswirkung auf das Schmelzverhalten der Schlacken und Flugaschen und Erhöhung der NOx-Emissionen). Insgesamt könnten die neun MVAn bei Durchführung der Optimierungsmaßnahmen ihre Stromerzeugung um 400.000 MWh/a erhöhen. Das entspricht einer Steigerung um über 60% gegenüber der durch diese neun MVAn abgegebenen Strommenge (662.013 MWh/a).

Optimierung der Wärmeerzeugung:

Theoretisch könnten alle der neun in (EdDE 2010) untersuchten MVA weitere Wärmemengen bereitstellen. Bislang geht der Großteil über Luft- und in Ausnahmefällen Wasserkondensatoren ungenutzt verloren. Langfristige Möglichkeiten die Wärmeenergieabgabe zu steigern sehen nur zwei Anlagen. Deren Einschätzungen wurden in (EdDE 2010) für das Optimierungsszenario für Gesamtdeutschland übernommen. Entsprechend niedrig fällt die Steigerung der abgegebenen Wärme aus (vgl. Tabelle 3-16).

Optimierung des Energieeigenbedarfs:

Optimierungspotenzial besteht v. a. in der Minderung des Stromeigenbedarfs sowie in der Reduzierung von Fremdenergie. Wärme ist auf niedrigem Energieniveau ausreichend vorhanden und bleibt ungenutzt. Möglichkeiten der Reduzierung des Strombedarfs wurden bei den neun MVAn bereits umgesetzt und umfassten:

- Erneuerung alter Saugzüge durch neue, frequenzgeregelte
- Ersetzen alter Krananlagen durch neue Polypgreifer mit Rückeinspeisung von Strom

Darüber hinaus kann insbesondere Fremdenergie eingespart werden, z.B. Erdgas für das Wiederaufheizen der Rauchgase vor SCR auf die erforderliche Katalysatortemperatur von 230°C. Hierfür kann alternativ Anzapfdampf verwendet werden (bei Entnahme-Kondensationsturbine mit 12-Bar-Schiene, vgl. Tabelle 3-15), mit dem das Rauchgas von 180°C auf 230°C aufgeheizt wird. Die vorhergehende Aufwärmung des Rauchgases auf 180°C kann durch Kreuzstromwärmetauscher und Nutzung des 230°C heißen Abgases nach SCR erfolgen. Erdgas bzw. fossile Fremdenergie ist dann nur noch für An- und Abfahrzwecke nötig, um die Katalysatoren auf Betriebstemperatur zu bringen bzw. zu halten. Ansonsten brauchen die Anlagen anteilig externen Strom, um Turbinenausfälle zu überbrücken. Diese Mengen sind allerdings i.d.R. gering, liegen aber bei älteren Turbinen deutlich höher als bei modernen.

Die gesamten in (EdDE 2010) für die neun MVAn ermittelten Optimierungen wurden auf Basis der Feuerungswärmeleistung der eingebrachten Abfälle auf Deutschland hochgerechnet. Die Ergebnisse daraus bilden die Grundlage der nachfolgenden Ermittlung der Energie- und THG-Minderungspotenziale.

Energie- und THG-Minderung

Eine THG-Minderung wurde auch in (EdDE 2010) berechnet. Allerdings wird diese hier nicht übernommen, da die in (EdDE 2010) angesetzten Emissionsfaktoren nicht den in dieser Studie durchgehend verwendeten entsprechen. Insofern wird hier die THG-Minderung auf Basis der in (EdDE 2010) berechneten Energieoptimierung und den nachfolgenden Emissionsfaktoren für Marginalsubstitution berechnet (vgl. Kap. 3.3.1.2):

Emissionsfaktor für Marginalstromsubstitution = 0,887 kg CO_2-Äq/kWh

Emissionsfaktor für Marginalwärmesubstitution = 0,334 kg CO_2-Äq/kWh

Die Ergebnisse der Berechnungen zeigen Tabelle 3-16 und Tabelle 3-17. Durch die Verwendung der o. g. Emissionsfaktoren ergibt sich die gesamte Treibhausgasminderung hier zu rd. 2,9 Mio. t CO_2-Äq/a anstatt zu 3,224 Mio. t CO_2-Äq/a wie in (EdDE 2010). Entsprechend ergeben sich auch etwas andere CO_2-Vermeidungskosten (s. u.). Die Bezugsgrößen zur Berechnung der zusätzlichen Energieerzeugung und der THG-Minderung wurden aus (EdDE 2010) übernommen. Danach wurde als jährliche eingebrachte Abfallmenge von 17,8 Mio. Tonnen ausgegangen. Der Heizwert der Abfälle ist mit 9.998 MJ/t angenommen, woraus sich die jährliche gesamte Feuerungswärmeleistung zu 49,47 Mio. MWh/a ergibt. Mit diesen Randdaten und den berechneten gesteigerten abgegebenen Energiemengen könnten die durchschnittlichen Nettowirkungsgrade von MVAn wie folgt gesteigert werden:

Nettostromwirkungsgrad von 10,4% auf 16,4%
Nettowärmewirkungsgrad (abgegebene Wärme) von 27,8% auf 29,7%.

Tabelle 3-16: Zusätzlich erzeugter Nettostrom und abgegebene Wärme durch Optimierungsmaßnahmen an MVA nach (EdDE 2010)

	Nettostrom	**Genutzte Wärme**
Ist-Zustand MVA	5,16 Mio. MWh/a	13,75 Mio. MWh/a
Optimierung MVA	8,09 Mio. MWh/a	14,68 Mio. MWh/a
Zusätzliche Energie	2,93 Mio. MWh/a	0,93 Mio. MWh/a

**Berechnet für eine Abfallmenge von 17,8 Mio. Tonnen und einer Feuerungswärmeleistung des Abfalls von 49,47 Mio. MWh/a (Heizwert = 9.998 MJ/t Abfall)*

Tabelle 3-17: Zusätzliche Treibhausgaseinsparungen durch Optimierung von MVA in Deutschland

	Netto-Emissionsfaktor	**Minderung THG**
	kg CO_2-Äq/t	**t CO_2-Äq/a***
Strom	146,0	2.600.000
Wärme	17,4	310.400
Summe		**2.910.400**

** Werte gerundet*

Investitionskosten

Die Kosten für die angeführten Optimierungen können ebenfalls (EdDE 2010) entnommen werden und sind in Tabelle 3-18 aufgeführt. In den Berechnungen nach (EdDE 2010) wurde die jährliche Abschreibung für Betriebs- und Instandhaltungskosten mit jährlich 5% der Investitionen angesetzt. Die Abschreibungszeit wurde auf 15 Jahre festgelegt. Mit der oben berechneten THG-Minderung von insgesamt rd. 2,9 Mio. t CO_2-Äq/a ergeben sich hier die spezifischen CO_2-Vermeidungskosten zu 41,38 Euro/t CO_2-Äq (in (EdDE 2010) wegen höheren Energiegutschriften nur zu 37,36 Euro/t CO_2-Äq).

Tabelle 3-18: Kostenaufstellung zur Optimierung der MVA in Deutschland (EdDE 2010)

	Investitionen	**Betriebs- und Instandhaltungs-kosten**	**Abschreibungs-kosten**
	in Mio. Euro	in Mio. Euro/a	in Mio. Euro/a
Ausbau Fernwärmeversorgung	71,143	3,557	8,300
Verringerung Glühverlust	88,928	4,446	10,375
Absenkung Rauchgastemperatur	142,285	7,114	16,600
Absenkung Luftüberschuss	24,900	1,245	2,905
Erhöhung Luftvorwärmung	12,094	0,605	1,411
Optimierung Turbine, Kondensator, Kondensat- und Speisewasservorwärmung	326,544	16,327	38,097
Umstellung SCR-Vorwärmung auf Anzapfdampf	14,229	0,711	1,660
Verringerung elektrischer Eigenbedarf	14,229	0,711	1,660
Gesamtoptimierung Dampferzeugung, Wasser-Dampfkreislauf und Turbine	337,927	16,896	39,425
Gesamt	**1.032,278**	**51,614**	**120,432**

Hemmnisse

Unter den ausgewiesenen Potenzialen sind nur sehr geringe Steigerungen der zusätzlich nutzbaren Wärme enthalten. Hier bestehen deutliche Hemmnisse bedingt durch die Standortgegebenheiten der MVAn, die entweder weit außerhalb bzw. weit entfernt von potenziellen Wärmeabnehmern stehen oder aber in Industriegebieten, wo sie dann in Konkurrenz zu anderen Kraftwerken und Industrieprozessen treten müssen. Selbst bei Neubau scheint es kaum möglich, die Standorte so geeignet zu wählen, dass die erzeugte Wärme auch abgegeben werden kann. Anders lassen sich die niedrigen Nutzungsgrade für Wärme bei neu gebauten EBS-Kraftwerken nicht erklären (vgl. Kap. 3.2.3).

Hemmnisse bei der Umsetzung von Maßnahmen zur Steigerung der extern nutzbaren Strommenge liegen v. a. in den Kosten, die sich oft erst nach vielen Jahren amortisieren. Als Hemmnis zur Erhöhung des Kesselwirkungsgrades steht der für MVAn schwierige Widerspruch zwischen dem Ziel eines möglichst hohen Abfalldurchsatzes aus wirtschaftlichen Gründen (Abfallgebühren) und umgekehrt der Grenze der Dampferzeugung, die bei einer Effizienzsteigerung nur möglich wäre, wenn die Abfallmenge reduziert wird.

3.3.4 Potenziale durch Erfassung bislang ungenutzter Grünabfälle und Landschaftspflegereste

In Kapitel 3.2.4 wurden die möglichen Potenziale an bislang ungenutzten Landschaftspflegeresten aufgezeigt, unterschieden nach theoretischen und technischen Potenzialen. Insgesamt besteht im Bereich dieser Potenziale allerdings eine hohe Unsicherheit, im Wesentlichen handelt es sich um Expertenschätzungen. Belastbare Erhebungen gibt es nicht. Das gleiche gilt für mögliche Potenziale an Grünabfällen aus Hausgärten. Für diese wird angenommen, dass sie höher liegen als die Potenziale für Landschaftspflegereste. Allerdings können auch hier nur grobe Schätzungen vorgenommen werden.

Grundsätzlich lassen sich hohe Erfassungsmengen durch ein möglichst flächendeckendes Angebot an Übergabepunkten erzielen. Je dichter das Netz ist, umso geringer ist die Distanz zwischen Grünflächen/Gärten als Anfallstellen und diesen Übergabepunkten. Beispielsweise konnten in Baden-Württemberg insbesondere in den Stadt- und Landkreisen hohe spezifische Grünabfallmengen erreicht werden, in denen der Einzugsbereich der einzelnen Übergabepunkte weniger als 5 km² beträgt. Ist das netz weitmaschiger (> 10 km²), kann nur ein durchschnittliches Aufkommen verzeichnet werden (LUBW 2010).

In vielen Stadt- und Landkreisen in Baden-Württemberg wird das Bringsystem auch durch ein Holsystem ergänzt. In aller Regel werden Grünabfälle mindestens zweimal im Jahr und zwar in der Regel im Herbst und im zeitigen Frühjahr abgeholt. In Baden-Württemberg führt dieses zusätzliche Holsystem allerdings nicht in jedem Fall zu einem höheren Grünabfallaufkommen, die Gründe dafür konnten nicht ermittelt werden. Da das Holsystem mit zusätzlichen Kosten für die Kommune verbunden ist, empfiehlt es sich, dieses auf Aktionssammlung für z.B. Weihnachtsbäume zu beschränken.

Ein wesentlicher Aspekt für den Erfolg einer getrennten Grünabfallerfassung sind die damit verbundenen Gebühren. weit überdurchschnittliche Grünabfallmengen werden in den Gebietskörperschaften erreicht, die keine gesonderte Gebühr erheben oder die gebührenfreie Anlieferungsmenge großzügig bemessen (z.B. 3-5 m³). Werden grundsätzlich Gebühren erhoben, wird auch nur ein unterdurchschnittliches Grünabfallaufkommen erzielt (LUBW 2010). Daneben ist die zeitliche Verfügbarkeit der Übergabepunkte von Bedeutung. Die Anlieferungsmöglichkeiten sollten angesichts der Beschäftigungsstrukturen der privaten Haushalte insbesondere Zeiten

außerhalb der Kernarbeitszeiten berücksichtigen und insofern insbesondere samstags gegeben sein. Darüber hinaus sollten auch wochentags Anlieferungen möglich sein und je nach Bedarf ganzjährig (davon abgesehen werden kann in Gebieten, die über das Jahr ein stark schwankendes Grünabfallaufkommen aufweisen). Als ideal hat sich das Beispiel Karlsruhe gezeigt. Dort stehen Container im Straßenraum, die unbeaufsichtigt, nicht eingezäunt und ohne zeitliche Begrenzung genutzt werden können (LUBW 2010).

Energie- und THG-Minderung

Zur Einschätzung des Treibhausgasminderungspotenzials einer zusätzlichen Erfassung von Grünabfällen und Landschaftspflegeresten wird grundsätzlich davon ausgegangen, dass die Abfälle aufbereitet und entsprechend ihrer Eignung verwertet werden. Für holzige Materialien wird von einer thermischen Nutzung ausgegangen, für krautige Materialien werden die Effekte einer Vergärung berechnet. Die anteilig auch einer Kompostierung zuzuführenden Mengen werden hier vernachlässigt. Im Grundsatz ist für eine durchschnittliche Kompostierung in Deutschland vom gleichen Wert auszugehen wie in Tabelle 3-12 aufgeführt und damit von einer leichten THG-Belastung. Allerdings gilt dies nur solange nicht Komposte verstärkt zur Torfsubstitution genutzt werden. Als Ausgleich für die Vernachlässigung der Effekte durch die Kompostierung werden vereinfacht bei der kombinierten energetischen und stofflichen Verwertung die Gutschriften aus der Kompostanwendung nicht einbezogen. Da generell die hier ermittelten Werte als Anhaltspunkte dienen, ist diese Vereinfachung sinnvoll.

Im Gegensatz zu den bisherigen Betrachtungen zu einer gesteigerten getrennten Erfassung von Wertstoffen durch Entnahme aus der Restmülltonne muss hier für die Erschließung von Grünabfällen und Landschaftspflegeresten keine bisherige Nutzung berücksichtigt werden, da die Stoffe bislang nicht gezielt einem Nutzen zugeführt wurden.

In Kapitel 3.2.4 wurde das theoretische Potenzial von Holzabfällen aus der Landschaftspflege mit 455.000 – 895.000 t/a ermittelt. Für Grünabfälle aus Privatgärten wird angenommen, dass das gesamte Potenzial von 4 Mio. t/a etwa zu 50% erschlossen werden kann. Für diese Menge wird eine Stoffstromtrennung unterstellt für die in Anlehnung an (EdDE 2007) (vgl. Kap. 3.2.2) angenommen wird, dass 25% holzige Materialien, 25% krautige und 50% Feinmüll für eine Kompostierung separiert werden. Damit erhöhen sich die technischen Potenziale für Holz um jeweils 500.000 t/a. Grundsätzlich kommen für eine thermische Holznutzung der Einsatz in einem Heizkraftwerk (HKW) oder der Einsatz in einem Heizwerk in Frage. Letzteres ist wahrscheinlicher, da HKW sich erst ab einer bestimmten Durchsatzleistung wirtschaftlich darstellen lassen und entsprechende Mengen eher nicht durch bislang ungenutztes Material bereitgestellt werden können. Dennoch werden beide Möglichkeiten überschlägig der THG-Berechnung zugrunde gelegt. Für den Einsatz im Holz-HKW wird analog zu (Öko-Institut/IFEU 2010a) von Nettowirkungsgraden für Strom und Wärme von jeweils 20% ausgegangen. Für den Einsatz in

einem Heizwerk wird ein thermischer Wirkungsgrad von 90% angesetzt bzw. ein effektiver Nutzungsgrad nach Abzug von Verlusten von 80%. Der Heizwert des holzigen Materials wird mit 14,5 MJ/kg wie für eher feuchtes Material angenommen. Für die erzeugte Energie wurden wiederum die nachfolgenden Emissionsfaktoren für Marginalsubstitution verwendet (vgl. Kap. 3.3.1.2):

Emissionsfaktor für Marginalstromsubstitution = 0,887 kg CO_2-Äq/kWh

Emissionsfaktor für Marginalwärmesubstitution = 0,334 kg CO_2-Äq/kWh

In Tabelle 3-19 sind die erzeugbaren Energiemengen aufgeführt, Tabelle 3-20 zeigt die absoluten Ergebnisse für die Bandbreite der möglichen THG-Minderung für das zusätzlich erschließbare holzige Material. Darin zeigt sich, dass bei gegebener Marginalsubstitution, der Einsatz in einem Heizwerk aufgrund des insgesamt doch günstigeren Wirkungsgrades zu höheren THG-Minderungen führt.

Tabelle 3-19: Erzeugter Nettostrom und genutzte Wärme durch Einsatz von bislang ungenutzten holzigen Abfällen in einem HKW oder einem HW

	Energie	**Netto-Emissionsfaktor**
	kWh/t	**kg CO_2-Äq/t**
Stromerzeugung HKW	806	714,5
Wärmeerzeugung HKW	806	268,9
Wärmeerzeugung HW	3.222	1.075,5

Tabelle 3-20: Mögliche Treibhausgaseinsparungen durch Nutzung bislang ungenutzter holziger Abfälle in einem HKW oder einem HW

in t CO_2-Äq/a	**Min** für 955.000 t/a	**Max** für 1.395.000 t/a
Nutzung im HKW	939.150	1.371.847
Nutzung im HW	1.027.131	1.500.365

Die Mengen für das theoretische Potenzial von krautigen bzw. heuartigen Reststoffen nach Kapitel 3.2.4 ergaben sich zu 940.000 – 1.870.000 t/a. Auch diesen Mengen wird für das Potenzial an Grünabfällen aus Privatgärten jeweils 500.000 t/a zuaddiert. Für die Vergärung des Materials wird ein Methanertrag von 50 m³/t angenommen. Dieser Wert stellt die untere Bandbreite der nach Literatur verfügbaren Werte dar. Im Weiteren werden für eine Biogasnutzung die analogen Annahmen zugrunde gelegt wie auch bei Bioabfällen bzw. für die Effekte der Nachrüstung von Kompostierungsanlagen mit einer Vergärungsstufe (Stromwirkungsgrad 37,5%, Wärmewirkungsgrad 43%; Eigenbedarf Strom 20% des produzierten Stroms, Eigenbedarf Wärme 25% der produzierten Wärme). Es wird auch hier unterschieden in eine Vergärung nach dem Status Quo

und eine optimierte Vergärung, wobei erstere v. a. durch hohe Methanemissionen und einen niedrigen Wärmenutzungsgrad (20% der Überschusswärme) gekennzeichnet ist, während die optimierte Vergärung auf 10% reduzierte Methanemissionen erreicht und die Überschusswärme zu 80% nutzt. Für die insgesamt erzeugte Energie werden wiederum die o. g. Emissionsfaktoren für eine Marginalsubstitution verwendet.

Tabelle 3-21: Erzeugter Nettostrom und genutzte Wärme durch Vergärung von bislang ungenutzten krautigen Abfällen

	Energie	**Netto-Emissionsfaktor**
	kWh/t	**kg CO_2-Äq/t**
Stromerzeugung	149	131,7
Vergärung Status Quo	32	10,7
Vergärung optimiert	128	42,6

Tabelle 3-22: Mögliche Treibhausgaseinsparungen durch Vergärung von bislang ungenutzten krautigen Abfällen

in t CO_2-Äq/a	**Min** für 1,44 Mio. t/a	**Max** für 2,37 Mio. t/a
Vergärung Status Quo	5.400	8.900
Vergärung optimiert	160.700	264.500

Die gezeigten Ergebnisse weisen das untere Minderungspotenzial aus, da sie auf dem unteren Bandbreitenwert für den Methanertrag von 50 m³/t Grünabfall basieren. In der Literatur finden sich Werte für den Methanertrag, die bis zu 100 m³/t Grassilage reichen (KTBL 2010). Ließen sich entsprechende Erträge realisieren, würde das THG-Minderungspotenzial um einiges höher ausfallen, da die Belastungen aus der Vergärung dann deutlich in den Hintergrund treten.

Investitionskosten

Die Kosten für die Erschließung bislang ungenutzter Potenziale an Grünabfällen und Landschaftspflegeresten müssen sich auf das Gesamtbild beziehen. Das heißt abgesehen von den Logistikkosten sind auch weitere Behandlungskosten zu berücksichtigen. Abbildung 3-1 zeigt ein Kostenbeispiel. Danach nimmt die Sammlung an den Gesamtkosten eines Grüngutsystems von 35,28 Euro pro Tonne nur einen Anteil von 9% ein. Die Hauptanteile an den Kosten tragen das Häckseln und die letztendliche Verwertung. Daneben fallen Kosten für Transport und Lagerung an.

Die gezeigten Kosten beziehen sich allerdings auf ein bereits etabliertes Grüngutsystem. Der Aufwand, der erforderlich ist, um überhaupt erst zu ermitteln wo und in welchem Umfang Po-

tenziale geborgen werden können und Planungen wie diese Mengen am sinnvollsten erfasst und behandelt werden könnten, sind davon unabhängige, weiterführende Kosten. Diese zu Beginn notwendigen Kosten können basierend auf bestehenden Förderprogrammen entlastet werden. Hierzu empfiehlt es sich die Förderprogramme mit konkreten Maßnahmenvorschlägen und weitergehenden Inhaltsanforderungen zu unterfüttern (vgl. Kap. 3.7.2).

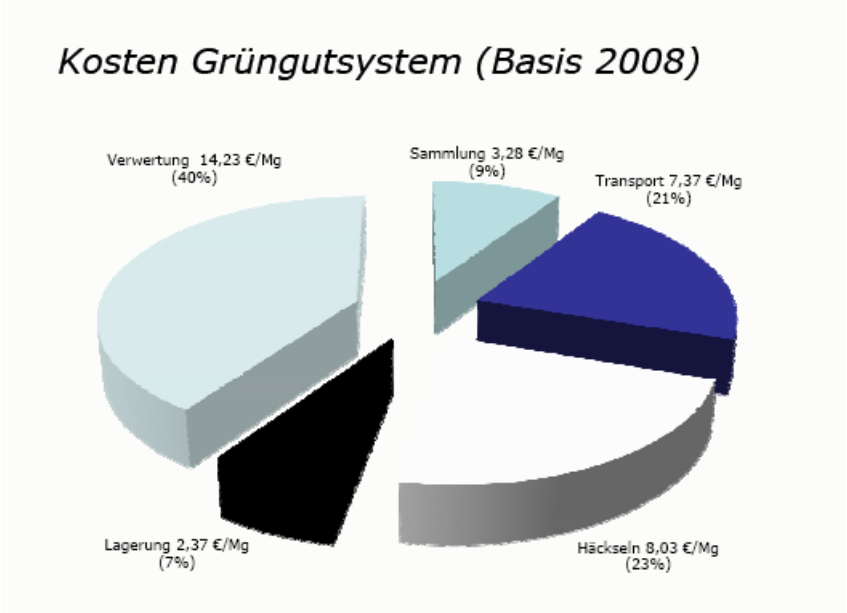


Abbildung 3-2: Kosten Grüngutsystem (Ginter 2009)

Hemmnisse

Der Erschließung von bislang ungenutzten Grünabfällen und Landschaftspflegeresten stehen vielfältige Hemmnisse entgegen. Zunächst ist die große Datenunsicherheit zu nennen. Es gibt kein umfassendes statistisches Material oder ähnliche Anhaltspunkte, die es erlauben würden, das tatsächlich gegebene Potenzial genauer einzuschätzen. Des Weiteren kommt zum Tragen, dass es sich häufig um Einzelplätze handelt (Grünanlagen, Wegebegleitgrün, etc.), an denen jeweils für sich genommen nur vergleichsweise kleine Mengen anfallen. Für diese wird der Aufwand sie zu bergen als zu groß erachtet, zumal den dafür anfallenden Kosten normalerweise kein Erlös durch eine Entsorgung gegenübersteht. Deswegen verbleiben diese Mengen in der Regel ungenutzt auf der Fläche. Für Hausgärten besteht ein Hemmnis in mangelnden oder zu teuren Angeboten die Grünabfälle abzugeben. Insgesamt liegt durch die Kleinteiligkeit und die verschiedenen betroffenen Akteure eine signifikante Hemmschwelle darin, diese Akteure anzusprechen, zusammenzubringen und ihnen ggf. Anreize bieten zu können, sich an einem Erfassungs- bzw. Verwertungssystem zu beteiligen. Dies könnten sich Kommunen zur Aufgabe machen. Allerdings sind die Voraussetzung hierfür eine entsprechende Grund- bzw. Vorausfinanzierung, um Untersuchungen, Runde Tische, Workshops etc. durchführen zu können. Insofern wird das Förderprogramm zur Erschließung der verfügbaren Erneuerbaren-Energien-Potenziale

in Kommunen“ als sehr wichtiges Instrument erachtet, das nach Inhaltsanforderungen noch weiter spezifiziert werden könnte. Auch wird eine Öffnung der Förderung für eine kombinierte stoffliche und energetische Verwertung empfohlen, da die zusätzlich erfassbaren Grünabfälle und Landschaftspflegereste nur zu einem bestimmten Anteil für eine energetische Nutzung geeignet sind (vgl. Kap. 3.7.2).

3.4 Zusammenfassung der Potenziale

In Tabelle 3-23 sind die möglichen Einsparpotenziale durch Maßnahmen im Bereich der Siedlungsabfallwirtschaft zusammengefasst. Darin nicht enthalten sind die in Kapitel 3.3.1.1 beschriebenen möglichen Minderungspotenziale für die Steigerung der getrennten Erfassung von trockenen Wertstoffen. Diese basieren auf einer sehr groben Abschätzung, auch wird für die Steigerung der getrennter Erfassung von trockenen Wertstoffen kein Förderprogramm empfohlen, da die wesentliche Maßnahme zur Unterstützung hier in der Anpassung der Rechtslage liegt, die Kostenfrage stellt sich nicht als Hemmnis.

Die in Tabelle 3-23 dargestellten Optimierungspotenziale sind generell als orientierende Minderungspotenziale zu verstehen, da vielfach eine große Datenunsicherheit besteht. Eine Ausnahme bilden hier die Potenziale für Optimierungen von MVAn in Deutschland, die auf einer umfassenden Studie beruhen (EdDE 2010). Für diesen Bereich zeigt sich auch im Vergleich das höchste Minderungspotenzial. Dessen Erschließung wird im Wesentlichen durch den dafür erforderlichen finanziellen Aufwand gehemmt. In Anbetracht des Potenzials wird **zur Optimierung von MVAn ein Förderprogramm empfohlen, das eine Ist-Analyse der Anlagen ermöglicht und des Weiteren Investitionsbeihilfen für die ermittelten wesentlichen Optimierungsmaßnahmen.**

Unter den weiteren aufgezeigten Potenzialen folgt als zweithöchstes Minderungspotenzial die zusätzliche getrennte Erfassung von holzigen Grünabfällen und Landschaftspflegeresten. Für die Mengen wurde der obere Bandbreitenwert der ermittelten technischen Potenziale verwendet. Hier gilt aber zu bedenken, dass dieses Potenzial für Gesamtdeutschland ermittelt wurde. Entscheidend sind aber die regional verfügbaren Potenziale. Da zudem mit holzigen Materialien auch automatisch krautige Stoffe anfallen (und teilweise auch Material, das nicht energetisch nutzbar ist), wird hier empfohlen, das **bestehende Förderprogramm zur Erschließung der verfügbaren Erneuerbaren-Energie-Potenziale in Kommunen** stärker an Kommunen heranzutragen und dieses v. a. auch **für die kombinierte stofflich-energetische Nutzung zu öffnen** und die **Steigerung der Erfassung von Bioabfällen aus Haushalten explizit zu benennen**. Hintergrund ist, dass, um, im wirtschaftlichen Sinne, vernünftige Mengen in einer Region zusammenzutragen, alle möglichen Herkunftsbereiche einbezogen werden sollten. Für zu kleine Mengen lassen sich keine sinnvollen Anlagengrößen realisieren. Bei der energetischen Nutzung über eine Vergärung sollte unbedingt die Bedingung geknüpft werden, Methanemissionen mög-

lichst zu minimieren. Im Falle der Steigerung der getrennten Erfassung von Bioabfall aus haushalten käme es nach den überschlägigen Berechnungen ansonsten gegenüber einer Verbrennung in einer durchschnittlichen MVA zu einer Schlechterstellung bzgl. der Treibhausgasbilanz (negativer Wert in Tabelle 3-23). Auch insgesamt lassen sich bei der optimierten Vergärung deutlich höhere THG-Minderungspotenziale erreichen.

Tabelle 3-23: Mögliche Treibhausgaseinsparungen durch Optimierungen im Siedlungsabfallbereich

	Minderung THG
	t CO_2-Äq/a
Steigerung der getrennten Erfassung von Bioabfall aus Haushalten	
a) Vergärung statt MVA von 1,14 Mio. t/a ohne Optimierung	-47.950*
b) Vergärung statt MVA von 1,14 Mio. t/a mit Optimierung	148.500
Nachrüstung Kompostierungsanlagen um anaerobe Stufe	
a) für 3,5 Mio. t/a ohne Optimierung	354.000
b) für 3,5 Mio. t/a mit Optimierung	938.500
Optimierungen der MVAn in Deutschland	
für 17,8 Mio. t/a bzw. 49,47 MWh/a	2.910.400
Erschließung bislang ungenutzter holziger Grünabfälle und Landschaftspflegereste	
a) Nutzung im HKW für 1.395.000 t/a (oberes techn. Potenzial)	1.371.850
b) Nutzung im HW für 1.395.000 t/a (oberes techn. Potenzial)	1.500.400
Erschließung bislang ungenutzter krautiger Grünabfälle und Landschaftspflegereste	
a) Vergärung Status Quo für 2,37 Mio. t/a (oberes techn. Potenzial)	8.900
b) Vergärung optimiert für 2,37 Mio. t/a (oberes techn. Potenzial)	264.500

** negativer Wert bedeutet zusätzliche Belastung*

3.5 Innovative Praxisbeispiele

3.5.1 Vergärungsanlage Deißlingen

Die Vergärungsanlage Deißlingen verwertet die getrennt erfassten Bioabfälle der Landkreise Rottweil, Scharzwald-Baar-Kreis und Tuttlingen. Das Projekt ist ein Beispiel für gelungene interkommunale Zusammenarbeit. Die favorisierte Vergärungstechnik war nur auf Basis aller Mengen der drei Landkreise wirtschaftlich darstellbar.

Die Anlage wurde unmittelbar neben der Kläranlage des Abwasserzweckverbandes Oberer Neckar errichtet und 2005 in Betrieb genommen. Jährlich werden etwa 25.000 Tonnen Bioabfall verarbeitet. Pro Jahr werden etwa 3 Mio. m³ Biogas erzeugt, die in einem BHKW verstromt werden. Die daraus erzeugte Strommenge von rd. 5,7 Mio. kWh/a wird in das öffentliche Stromnetz eingespeist. Die Überschusswärme wird am Standort zur Trocknung kommunaler

Klärschlämme genutzt. Damit ist die nahezu vollständige Energienutzung realisiert. Abwässer können auf kurzem Weg in die benachbarte Kläranlage eingeleitet werden.

Sämtliche Eingangsstoffe der Vergärung werden in einer thermischen Hygienisierung pasteurisiert. Die festen Gärreste werden als hochwertige, güteüberwachte Düngekomposte an die Landwirtschaft der Region geliefert. (Quelle: (BMU/UBA 2009))

3.5.2 Nachrüstung Kompostierungsanlage Passau und Kompostvertriebssystem

Die Biokompost-Betriebsgesellschaft Donau-Wald mbH (BBG) wurde 1996 als Public-Private-Partnership gegründet und ist eine Tochtergesellschaft der Abfallwirtschaftsgesellschaft Donau-Wald mbH (AWG), Außernzell (51%) aus Bayern und der SIUS GmbH (49%), Völklingen aus dem Saarland. Die BBG verwertet für die AWG alle im Verbandsgebiet anfallenden, getrennt gesammelten Bioabfälle aus Haushalten sowie anfallenden Garten- und Parkabfälle und biologisch behandelbaren Abfällen aus dem Gewerbe.

Bereits seit mehreren Jahren bestand bei der AWG Donau-Wald mbH die Absicht, zur Verwertung der eigenen 20.000 t/a Bioabfall-Übermengen die eigenen Behandlungskapazitäten von 32.000 t/a zu erweitern. Die Idee, eine Vergärungsanlage in das bestehende Kompostwerk Passau zu integrieren, wurde von der SIUS entwickelt. Damit konnte der Durchsatz von 20.000 t/a auf 40.000 t/a gesteigert werden. Die Vorgabe war eine bestmögliche Einbindung der neuen Technik in das bestehende Kompostwerk Passau, das nahezu unverändert genutzt werden kann.

Für die BBG Donau-Wald mbH war der Bau der Anlage, mit Baubeginn im Jahr 2003, ein wichtiger Schritt in Richtung des Marktes der regenerativen Energieerzeugung aus Biomasse. Zusätzlich hat sich die eigene Wertschöpfung erweitert, da die bisher in Drittanlagen verbrachten Bioabfälle in den eigenen Anlagen verarbeitet werden. Mit der Kompogas-Vergärungsanlage werden ca. 11.000.000 kWh regenerativer elektrischer Energie erzeugt. Dies bedeutet eine erhebliche CO_2-Einsparung, deren Effekt durch den Wegfall der Transporte der Übermengen in Drittanlagen noch verstärkt wird. Zusätzlich wurden mehr als 750 LKW-Fuhren jährlich vermieden und ca. 100.000 l/a Diesel eingespart. Die erzeugte Wärme von ca. 5.600.000 kWh wird abzüglich des Eigenbedarfs zur Fermenterbeheizung (thermophil ca. 3.300.000 kWh) zu Heizzwecken über ein Nahwärmenetz verwendet.

Das besondere Konzept der BBG ist, dass aus den vorhandenen biologischen Abfällen thermische und elektrische regenerative Energie gewonnen wird und trotzdem die hervorragenden düngenden Eigenschaften der Komposte beibehalten werden. Der entstehende Gärrest wird entwässert. Die ca. 14.000 m³/a anfallenden Mengen an Überschusswasser werden als Flüssigdünger an die Landwirtschaft abgegeben. Der entwässerte Gärrest wird in der bestehenden Rottehalle der Kompostierungsanlage nachkompostiert. Für die erzeugten Komposte von ca.

9.000 t/a besteht gemeinsam mit weiteren Kompostmengen aus 7 Grüngutkompostierungsanlagen, einer Grüngut-NawaRo Vergärungsanlage und einem Bioabfallkompostwerk, ein eigenes Vertriebssystem zur Abgabe an Privatleute und die Landwirtschaft (Abbildung 3-3).

Abbildung 3-3: Vertriebssystem der BBG (Buchheit 2009)

Die Investitionskosten für die Nachrüstung der Kompostierungsanlage Passau betrugen insgesamt 10,6 Mio. Euro: 1,1 Mio. Euro für 2 BHKW, 4,1 Mio. Euro für Bauteile und 3,4 Mio. Euro für Maschinen und Elektrotechnische Ausstattung, 1 Mio. Euro für Engineering und 1 Mio. Euro sonstige Kosten. Umgekehrt hat die Investition für die AWG gegenüber den Kosten für die frühere Verwertung in Drittanlagen zu Einsparungen in Höhe von 400.000 €/a geführt.

Auf der Basis der guten Erfahrungen mit der Vergärungsanlage in Passau hat die BBG in dem Bereich der regenerativen Energieerzeugung weitergemacht. Im Rahmen der Umsetzung eines neuen Grüngutkonzeptes wurde eine Biogasanlage mit einer Stromproduktion von ca. 0,6 MW, die mit Grünabfällen und landwirtschaftlich produzierter Biomasse betrieben wird, errichtet. Die überschüssige Wärme wird in einem Nahwärmenetz genutzt. Derzeit erfolgen bei der Umsetzung des Konzeptes weitere Optimierungen des Anlagenbetriebs der Grüngutvergärung und des Stoffstrommanagements auf der Grüngutseite.

Die SIUS hat mittlerweile zwei weitere Kompostwerke mit Vergärungsstufen nachgerüstet, wobei bei der einen die Beseitigung der bestehenden Geruchsprobleme und bei der anderen das Alter der bestehenden Anlage der Auslöser der Nachrüstung war. (Quelle: (Buchheit 2009))

3.5.3 Biogasanlage Söhnergy

Die Biogasanlage Söhnergy in Schwaigern zeichnet sich durch ein bisher einmaliges Wärmenutzungskonzept aus. Die verfügbare Wärme wird zur Erzeugung von Prozesskälte an die kunststoffverarbeitende Firma Walter Söhner GmbH & Co. KG geliefert. In der Kunststoffverarbeitung wird viel Prozesskälte zur Kühlung der Werkzeuge und der Produktionshallen benötigt. Zur Kältebereitstellung wird ein 630 kW Kälteabsorber eingesetzt, der mit der Abwärme des Biogas BHKW betrieben wird. Die Verstromung des Biogases erfolgt zunächst auf dem Gelände der Biogasanlage in einem BHKW mit 1021 kW elektrischer Leistung. Die anfallende Abwärme wird dann über eine 950 m lange Fernwärmeleitung zum Industriebetrieb geleitet. Zum Beheizen der Fermenter und des Nachgärers wird nur die Wärme des Gasgemischkühlers genutzt, so dass die gesamte Wärme des Abgaswärmetauschers und des Motorkühlkreislaufs des BHKW in die Fernwärmeleitung abgegeben werden kann.

Die im Jahr 2008 errichtete Biogasanlage fährt aktuell mit einer elektrischen Leistung von 1,1 MW (rund 8.304 Jahresvolllaststunden). Der Eigenstrombedarf beträgt 5,9%. Um die Biogasanlage Söhnergy zu betreiben, liefern mittlerweile 99 Landwirte aus der Umgebung Inputmaterial. Auf dem Betriebsgelände wird jede einzelne Fuhre individuell verwogen und so jeder Landwirt gerecht für seine Lieferungen entlohnt[15].

3.5.4 Humus- und Erdenwerk Niddatal-Ilbenstadt

Die zentrale Kompostierungsanlage des Wetteraukreises mit Intensivrotte wurde im Jahr 2007 um eine Vergärungsstufe erweitert. Motivation hierzu waren die aktuelle Klimadiskussion, der Wunsch einer Kapazitätserweiterung sowie die weitere Verminderung von Geruchsemissionen im Umfeld und die langfristige Sicherung der Akzeptanz in der Bevölkerung. Das bisherige Kompostierungsverfahren mit Aufbereitung und Intensivrotte im geschlossenen System für einen Durchsatz von 22.000 Tonnen Bioabfall pro Jahr konnte ohne größere Eingriffe in den Bestand durch die Vergärung ergänzt werden.

In der Anlage können nun jährlich bis zu 29.500 Tonnen Bio- und Grünabfälle verarbeitet werden. Der feste Gärrest wird weiterhin zu Kompost verarbeitet. Neben der landwirtschaftlichen und gartenbaulichen Verwertung werden daraus Kompost-Erde-Mischungen und Blumenerden hergestellt. Der flüssige Gärrest wird als Volldünger landwirtschaftlich genutzt. Aus dem Biogas mit einem spezifischen Gasertrag von 120 m³/t Fermenterinput werden in einem BHKW (625 kW_{el}) mehr als 4,5 Mio. kWh Strom pro Jahr erzeugt. Die Nettowärmeerzeugung beläuft sich auf bis zu 3 Mio. kWh/a. Strom wird ins öffentliche Stromnetz eingespeist. Die Über-

[15] Quelle: Pressemitteilung der UTS Biogastechnik GmbH vom 8.06.2010: UTS kürt „erste Biogasanlage des Monats“

schusswärme wird zur Beheizung der Betriebsgebäude und zur Warmwasserbereitung genutzt. Eine weitere externe Nutzung ist in Planung. Durch die Ergänzung der Vergärungsstufe wird eine jährliche Reduzierung von 3 Mio. kg CO_2 erreicht. (Quelle: (BMU/UBA 2009)).

3.5.5 Umweltpartner und Umwelttechnik Vogel AG

Die Umweltpartner Vogel AG begann 1988 mit der Verarbeitung biogener Abfälle zu hochwertigem Kompost als Partner des Stadtkreises Baden-Baden und des Landkreises Rastatt. Im Jahr 2000 kam Rimu-Kompost in Oberhausen-Rheinhausen hinzu. Ende 2005 wurden die Einzelfirmen umfirmiert in die „Umweltpartner Vogel AG“. Die Umwelttechnik Vogel OHG besteht seit 1996 und befasste sich zunächst mit einem Auftrag zur Restmüllstabilisierung. Das etablierte Know-how im Bereich Kompostierung erlangte internationalen Bekanntheitsgrad. 2003 erfolgte die Umfirmierung in die „Umwelttechnik Vogel AG“. Im Jahr 2006 übernimmt Umweltpartner die gesamte Brennstoffaufbereitung für die BioTherm (ca. 70.000 t/a). Die Feuerungstechnologie der BioTherm-Anlage basiert auf der patentierten BioGrate-Technologie, eine rotierende Rostfeuerung, die hohe Leistung und Zuverlässigkeit im Bereich von 3 bis 18 Megawatt Kesselleistung sichert und in der Lage ist, Brennstoffe mit einer Feuchtigkeit bis zu 65% mit niedrigen Emissionen zu verbrennen.

Die Prozesskette der Anlagen besteht zunächst aus einem Annahmebereich, in dem die Grünabfälle direkt nach „energetischer“ und „stofflicher“ Schiene getrennt werden. Dadurch hat man zum einen sehr geringe Gras-Anteile im späteren Brennmaterial und spart sich zum anderen die Kosten für die Zerkleinerung der Fraktion, die kompostiert wird.

In der „stofflichen Schiene“ wird das Grüngut als erstes mit Wasser aus Sickerbecken, die das Regenwasser sammeln, bewässert, um optimale Verhältnisse für die aerobe Kompostierung zu schaffen. Im nächsten Schritt wird das Material mit einem Zwangsmischer homogenisiert. Dann werden ca. 3,5 m hohe und 8 m breite Mieten aufgesetzt und mit dem Gore Cover System sechs Wochen bei einem Umsetzvorgang zu gütegesichertem Kompost verarbeitet. Der Kompost mit Rottegrad 4 wird mit einem Trommelsieb in zwei Fraktionen getrennt. Im Median haben 90% davon die Körnung 0-40 mm und 10% sind Überkorn. Von diesen 90% werden 38% direkt in den Wein- und Ackerbau vermarktet. Die restlichen 62% gehen für weitere 2-6 Wochen in die Nachrotte und werden anschließend wiederum in den Körnungen 0-10 mm und 0-20 mm abgesiebt. Diese Edelkomposte gehen größtenteils (32%) zur Torf-Substitution in Erden-Werke. 18% finden Absatz bei privaten Gartenbesitzern und weitere 12% werden im regionalen Erwerbsgartenbau eingesetzt. Die 10% Überkorn werden mit einem Schnellläufer gehäckselt und als Rebenmulch in den Weinbau verkauft. Kompost in Acker- und Weinbau wird den Landwirten komplett mit Ausbringung angeboten und erfolgt mit eigenen Geräten. Private Gartenbesitzer können nicht nur Fertigprodukte kaufen, sondern auch ihre Gartenabfälle abgeben, was mehrheitlich als sehr praktisch empfunden wird. Der Vorteil gegenüber Baumärkten usw. be-

steht auch darin, dass auch lose Ware verkauft wird und der Anhänger mit dem Radlader befüllt wird.

In der „energetische Schiene“ kamen die Betreiber nach vielen Versuchen zu dem Ergebnis, dass nur Langsam-Läufer für die Vorzerkleinerung in Frage kommen. Anschließend wird das Material je nach Feuchte mittels Belüftungssystem getrocknet bis es die richtige Konsistenz für die Absiebung hat. Trockenes Material kann sehr viel schneller abgesiebt werden, weil der Feinanteil nicht mehr an Mittel- und Über-Korn hängen bleibt. Im Brennmaterial sind später weniger mineralische Anteile enthalten und somit weniger Asche. Zur Trennung wird eine stationäre Sternsieb-Anlage eingesetzt. Um jederzeit eine homogene und störstofffreie Mischung liefern zu können verfügt die Anlage über einen 25 m³ Mischbunker, einen Aushebemagnet, einen Bandmagnet und zwei Roll-Abscheidungen, auch Steinfalle genannt. Ein Grob- und ein Feinsiebdeck sorgen für den gewünschten Siebschnitt in 3 Fraktionen. Trotz modernster Technik werden bei Umweltpartner Vogel ganztägig von Hand Störstoffe ausgelesen. Die ca. 25% Feinmaterial fließen in die Kompostierung mit ein und sorgen für ein optimales C/N-Verhältnis. Der übrige Kohlenstoff im Brennmaterial ist ohnehin nicht pflanzenverfügbar. Das Mittelkorn (65 %) wird mittels Schubboden-Fahrzeugen zum 10km entfernten BioTherm transportiert. Um zu garantieren, dass kein Eisen und keine Überlängen mehr im Brennmaterial sind, durchläuft es noch einen Überlängen-Abscheider und einen letzten Aushebemagneten, bevor es über eine Schnecke in die Brennkammer gelangt. Die übrigen 15 % Überkorn werden zum Verbessern des Heizwertes nach Bedarf mit einem Schnell-Läufer zerkleinert und dann nach Bedarf dem Mittelkorn beigemischt, um es aufzuwerten.

In 2008 wurden für den Landkreis Rastatt und den Stadtkreis Baden-Baden insgesamt über 37.000 t pflanzliche Abfälle verwertet. Davon laufen ca. 70% vorläufig über die „energetische Schiene“ und 30% über die „stoffliche Schiene“. Die jeweiligen Anteile sind stark Jahreszeitabhängig. Der energetisch relevante Teil an Stoffströmen im ersten und vierten Jahres-Quartal wesentlich höher als im zweiten und dritten. Dazu kommt noch, dass die im Sommer angelieferten Abfälle durchschnittlich einen geringeren Heizwert haben. Um das auszugleichen, wird in den starken Monaten ein Depot an Übersiebmaterial angelegt, das dann im zweiten und dritten Quartal beigemischt wird. Zusätzlich wird das Brennmaterial im Sommer mit 6-10% Hackschnitzel verbessert. So ist gewährleistet, dass ununterbrochen gleich bleibende Qualität an das Biomasse-Kraftwerk geliefert wird, was für einen störungsfreien Betrieb unumgänglich ist. (Quelle: Vogel 2009)).

3.5.6 Gärtnerei Rodenböker in Paderborn

Die Produktionsgärtnerei Rodenböker in Paderborn produziert auf über einem Hektar unter Glas Gemüse und Zierpflanzen. Der überwiegende Teil dieser Gewächshäuser muss auf über 20°C Temperatur gehalten werden. Damit ist die Wärmeversorgung nach den Personalkosten die

zweitgrößte Kostengruppe. Im Jahr 2000 entschieden sich die Besitzer für die Umstellung auf eine Heizzentrale auf Basis von Holzbrennstoffen. Aufgrund der starken Nachfrage für Holz wählte man eine flexible Anlage, die insbesondere auch feuchte Hölzer unterschiedlicher Stückigkeit verbrennen kann. Die Brennstofflieferungen erfolgen nahezu ausschließlich aus aufbereiteten Grünabfallhölzern und Landschaftspflegematerialien, die vergleichsweise günstig zu erwerben sind. Die Lieferungen stammen von regionalen Unternehmen aus den Bereichen Landschaftspflege und Maschinendienstleistungen.

Die Heizzentrale mit einer Leistung von 850 kW ist komplett in einem Container untergebracht. Die Brennstoffzuführung erfolgt über einen robusten 80 m³ Vorratsbunker mit einem Hydraulikkratzboden. Da die Gewächshäuser insbesondere in den frühen Morgenstunden einen hohen Wärmebedarf (Spitzenlast) aufweisen, verfügt die Anlage über einen 100 m³ Pufferspeicher, der die Lastwechsel abfängt.

Die thermische Nutzleistung ist mit 1.200 kW angegeben. Pro Jahr werden 6.000 Schüttraummeter (knapp 1.000 t) Grünabfälle und Landschaftspflegematerial eingesetzt. Die Investitionskosten für die Anlage beliefen sich auf ca. 300.000 Euro. Insgesamt werden pro Jahr ca. 2.000 MWh Nutzwärme erzeugt. Durch die Umstellung auf Holzbrennstoffe können jährlich um 500 t CO_2 eingespart werden. (Quelle: (BMU/UBA 2009)).

3.6 Derzeitige Anreize für eine Energie- und THG-Effizienzsteigerung

3.6.1 Förderprogramme

Bundesebene

Die „**Erschließung der verfügbaren Erneuerbaren-Energien-Potenziale in Kommunen**“ werden im Rahmen der Klimaschutzinitiative gemäß der Richtlinie zur Förderung von Klimaschutzprojekten in sozialen, kulturellen und öffentlichen Einrichtungen durch das Bundesumweltministerium gefördert. Berechtige Antragsteller sind Kommunen ab einer Gemeindegröße von ca. 10.000 Einwohnern, Zusammenschlüsse sind möglich. Förderfähige Konzepte müssen folgende Inhalte vorlegen bzw. berücksichtigen:

1. Energie- und CO_2-Bilanz für Wärme- und Strombedarf der betrachteten Sektoren
2. Potenzialanalyse der regional verfügbaren EE
3. Akteursbeteiligung
4. Maßnahmenkatalog
5. Controlling
6. Öffentlichkeitsarbeit

Für Biomasse ist im Rahmen der Potenzialanalyse das nutzbare Reststoffpotenzial zu erheben. Genannt sind Gülle, Grünschnitt, Biomasseabfälle, nachwachsende Rohstoffe sowie Waldrestholz und Durchforstungsholz. Transportwege und Möglichkeiten der KWK-Nutzung sind zu berücksichtigen, ebenso die Kriterien der Biostrom- und Biokraftstoff-Nachhaltigkeitsverordnungen. Bei der Ableitung von Energiepflanzenpotenzialen ist dem Naturschutz Vorrang einzuräumen. Vorhandene Potenzialanalysen, Flächennutzungspläne, Kartenmaterial und Studien sind zu nutzen.

Die Nachrüstung von Kompostierungsanlagen mit einer vorgeschalteten anaeroben Stufe wird durch einen entsprechenden Vergütungssatz über den **Technologie-Bonus des EEG (2009)** gefördert. Der Bonus wird dabei nur gewährt, wenn die Gärreste nachgerottet werden: „Anlagen, die ausschließlich Bioabfälle vergären und unmittelbar mit einer Einrichtung zur Nachrotte der festen Gärrückstände verbunden sind, wenn die nachgerotteten Gärrückstände stofflich verwertet werden“. Die EEG Förderung stellt zwar einen Anreiz zur Nachrüstung dar, reicht aber je nach Randbedingungen nicht aus, um die Nachrüstung wirtschaftlich darzustellen.

Ein weiteres Förderprogramm, das in gegebenen Zusammenhang von Kommunen in Anspruch genommen werden könnte, ist die Förderung von **Forschung und Entwicklung zur klimaeffizienten Optimierung der energetischen Biomassenutzung**. Im Rahmen dieses Programms werden in einer ersten Phase die Bereitstellung belastbarer Daten sowie konkrete Optimierungsansätze, Konzepte und Machbarkeitsstudien gefördert. In einer zweiten Phase dann besonders viel versprechende Pilot- und Demonstrationsvorhaben. Das Förderprogramm ist auf innovative Konzepte und Methoden ausgelegt und könnte insbesondere von Kommunen in Anspruch genommen werden, in denen noch keine etablierte Strukturen gegeben sind, und in denen völlig neue Wege der Erfassung und Behandlung von organischen Reststoffen begangen werden könnten.

3.6.2 Kommunale Akteure und Anreize

Mögliche Einflussnahme der Kommunen

Kommunen können grundsätzlich auf alle aufgeführten Potenziale Einfluss nehmen, da sie grundsätzlich für die Sammlung der Siedlungsabfälle verantwortlich sind und zudem häufig auch Behandlungsanlagen in kommunaler Verantwortung liegen.

Zur weiteren Erfassung von Bioabfällen und Grüngut stehen Kommunen Veröffentlichungen zur Verfügung, die eine Handlungshilfe für kommunale Entscheidungsträger (BMU/UBA 2009) oder Checklisten zur Optimierung (VHE/BGK 2009) beinhalten (vgl. a. Kap. 3.7.2).

Über die entsorgungspflichtigen Bioabfälle hinaus können Kommunen auch zur Erschließung weiterer Biomasse-Potenziale aus Grünabfällen und Landschaftspflegeresten beitragen. Zum

Teil stehen auch diese Abfälle in der Entsorgungsverantwortung der Kommunen (Park- und Friedhofsabfälle, Straßenbegleitgrün, kommunale Waldgebiete), zum Teil können Kommunen über eine aktive Akteursbeteiligung (Runde Tische, Workshops, Informationsveranstaltungen) weitere Potenziale erfassen und in Gesamtkonzepten berücksichtigen. Oft sind einzelne Grünabfallmengen z.B. aus Parkanlagen oder aus Wegebegleitgrün für sich genommen zu gering, um optimierte Behandlungskonzepte wirtschaftlich darzustellen. Zusammenschlüsse von Kommunen oder die Zusammenarbeit mit verschiedenen Akteuren können dazu führen, dass überhaupt erst eine effiziente Erfassung und Verwertung von Biomasse-Potenzialen möglich wird. Insofern ist eine entscheidende Grundlage möglichst viele Biomassen unterschiedlichster Herkunft zu ermitteln und zu versuchen, die entsprechenden Potenziale zu mobilisieren. Hilfestellung zum Vorgehen bietet beispielsweise die Studie der (LUBW 2010).

3.7 Vorschläge für eine Verbesserung der Anreize

3.7.1 Gesetzgebung

Das bestehende KrW-/AbfG muss bis Ende des Jahres 2010 neu gefasst werden zur Umsetzung der Europäischen Abfallrahmenrichtlinie (2008/98/EG) in nationales Recht. Ein entsprechender Arbeitsentwurf zum Stand 23. Februar 2010 (noch nicht unter den Bundesministerien abgestimmt) beinhaltet Vorgaben, durch die eine getrennte Erfassung gestützt wird. Danach sind Bioabfälle ab dem 1.1.2015 getrennt zu sammeln (§ 11), das Gleiche gilt für Papier, Metalle, Kunststoffe und Glas (§ 13 (1)). Insgesamt soll Siedlungsabfall ab dem 1.1.2020 zu 65% wiederverwertet oder recycelt werden (§ 13 (2)). Inwiefern die Entwurfsvorgaben letztendlich auch verabschiedet werden, ist bislang nicht absehbar. Die Vorgaben zur Recyclingquote gehen deutlich über die europäische Abfallrahmenrichtlinie hinaus (50%). Da aber derzeit in Deutschland bereits knapp über 60% der Siedlungsabfälle verwertet werden, wird die vorgesehene Quote von 65% auch seitens Abfallentsorger als zu schwach angesehen. Die Vorgaben zur getrennten Erfassung stehen unter dem Vorbehalt, dass diese zur Erfüllung der Anforderungen nach § 7 (Grundpflichten der Kreislaufwirtschaft) und § 8 (Hochwertigkeit der Verwertung) erforderlich ist. Nach § 7 (4) des Arbeitsentwurfes ist die Pflicht zur Verwertung einzuhalten soweit dies technisch möglich und wirtschaftlich zumutbar ist.

Eine wesentliche Voraussetzung für eine zusätzliche Erfassung von trockenen Wertstoffen wie insbesondere stoffgleiche Nicht-Verpackungen besteht in der Novellierung der Verpackungsverordnung. Durch diese sollte die gemeinsame Erfassung von stoffgleichen Nicht-Verpackungen sowie bestimmten weiteren trockenen Wertstoffen ermöglicht werden. Eine gemeinsame Erfassung mit der bereits lang etablierten Erfassung der Leichtverpackungen ist insbesondere für stoffgleiche Nicht-Verpackungen sinnvoll, da die gleichen Verwertungswege eingeschlagen werden können. Dies ist für weitere trockene Wertstoffe ggf. zu prüfen. Das Bei-

spiel Leipzig zeigt, dass anscheinend die Miterfassung von Elektrokleingeräten möglich ist und den Sortier- und Verwertungsprozess der LVP nicht nachteilig beeinflusst. Allerdings sollte eine „Wertstofftonne“ nicht auch zur Altpapiersammlung verwendet werden. Dies erfolgt im Rhein-Neckar-Kreis, wo sich zeigt, dass für die Abtrennung der Altpapiermengen ein erheblicher Sortieraufwand erforderlich ist, um Sortierqualitäten zu erreichen, die auf dem Markt abgesetzt werden können. Hier sollte unbedingt die bundesweit etablierte getrennte Altpapiererfassung über die Blauen Tonnen und Container beibehalten werden, die mit deutlich geringerem Aufwand die Erzeugung hochwertiger Sortierqualitäten ermöglicht. Auch fraglich ist, inwiefern eine „Wertstofftonne“ auch Abfälle wie Textilien, Schuhe oder Holz beinhalten sollten, wie es die Orange Tonne der BSR Berlin vorsieht. Grundsätzlich sollte die Novellierung der Verpackungsverordnung auch die Zuständigkeiten von Kommunen und Dualen Systemen möglichst gütlich und ausgewogen regeln, ggf. ist eine ähnliche Struktur wie bei Elektroabfällen sinnvoll. Auf jeden Fall sollte eine gemeinsame Verantwortung der Kommunen und Dualen Systeme angestrebt werden.

3.7.2 Nationale Klimaschutzinitiative

Im Rahmen der Nationalen Klimaschutzinitiative gibt es bereits ein Förderprogramm zur Erschließung der verfügbaren Erneuerbaren-Energien-Potenziale in Kommunen (vgl. Kapitel 3.6.1). Dieses Förderprogramm kann in Anspruch genommen werden, um die Potenziale für bislang ungenutzte Grünabfälle und Landschaftspflegereste zu ermitteln. Hinweise zur Antragstellung finden sich im Merkblatt „Erstellung von Klimaschutz-Teilkonzepten“ der BMU-Klimaschutzinitiative (Stand 1.1.2010).

Das Förderprogramm zielt in erster Linie auf energetisch nutzbare Reststoffpotenziale ab und spricht nicht explizit Bioabfälle aus Haushalten an. Insofern wird vorgeschlagen, das Programm für eine kombiniert stoffliche und energetische Nutzung von organischen Reststoffen zu öffnen und insbesondere auch die Einführung der Biotonne bzw. deren Optimierung als Maßnahme zur weiteren Potenzialerfassung zu benennen.

Als inhaltliche Anforderungen steht an erster Stelle die Potenzialanalyse, da erst mit Kenntnissen darüber, wo und welche Art und Menge von organischen Reststoffen erschlossen werden können, weitere Planungen zu deren Erfassung und Behandlung durchführbar sind. Grundsätzlich ist es sinnvoll, sämtliche möglichen Potenziale in einer Potenzialanalyse zu berücksichtigen (vgl. Kapitel 3.6.2). Nachfolgend werden weitere inhaltliche Anforderungen und Maßnahmenvorschläge dennoch getrennt für die Abfallerfassung über die Biotonne und die Erschließung bislang ungenutzter Grünabfälle und Landschaftspflegereste aufgeführt, da teilweise unterschiedliche Herangehensweisen erforderlich sind.

Einführung der Biotonne bzw. Steigerung der Erfassungsquote

In **Körperschaften ohne Biotonne**:

- Prüfen, ob es nachvollziehbare Gründe gibt, die gegen die Einführung der Biotonne sprechen (z.B. stark verdichtete Gebietsstrukturen mit schlechten Stellplatzmöglichkeiten oder Erwartung von hohen Fehlwurfquoten trotz aufklärender Öffentlichkeitsarbeit oder Erwartung, dass nur geringe Pro-Kopf-Mengen erschlossen werden können)
- Es besteht ein sehr hohes spezifisches Erfassungsaufkommen für Grünabfälle (mehr als 100 kg/(E*a)
- Der Organikanteil im Restmüll beträgt maximal 30%

Die Einführung der Biotonne sollte erfolgen, wenn keiner der oben genannten Gründe zutrifft. Voraussetzung zur Beurteilung obiger Gegebenheiten sind u. a. stichprobenartige Sortieranalysen. Diese sind auch notwendig, um im Weiteren abschätzen zu können, welche Mengen bei Einführung der Biotonne erwartet werden können.

Grundsätzlich sollte die **Biotonne unter Anschluss- und Benutzungszwang eingeführt** werden; Ausnahmen können gewährt werden, wenn einer der oben genannten Punkte zutrifft. Eine Befreiung von der Biotonne aufgrund einer Eigenkompostierung sollte sehr restriktiv gehandhabt werden (vgl. Kapitel 3.3.1.2). Weitere Aspekte, die bei der Einführung der Biotonne beachtet werden sollten sind:

- Welche Mengen können getrennt erfasst werden? Welche weiteren organischen Reststoffe können ggf. ebenfalls erschlossen und in ein Entsorgungskonzept integriert werden (s. u.)
- Splittung der Gebühren in Grundgebühr (Kosten Behälter) und Leistungsgebühr (Kosten Abfuhr); gemeinsame Grundgebühr für Biotonne und Restmülltonne
- Bereitstellung ähnlicher Behältervolumina für Bioabfälle und Restmüll; ggf. Einführung von Sammelplätzen für insbesondere holzige und größere Mengen Grünabfälle
- Prüfen der bisherigen Entsorgungsstruktur:
  Welche Kapazitäten sind vorhanden, welche Ausbaumöglichkeiten bestehen?
  Bestehen Kompostierungsanlagen, die mit einer anaeroben Stufe nachgerüstet werden können?
  Fallen relevante Mengen an holzigen Abfällen an, die ggf. einer thermischen Nutzung zugeführt werden können? (technische Trocknung von z.B. Holzhackschnitzeln könnte mit Wärme der Biogasanlage erfolgen, insofern keine Nutzung für Gebäudewärme möglich ist)

Welche neuen Standorte kommen in Frage falls erforderlich? (Berücksichtigung von Transportwegen, KWK-Nutzungsmöglichkeiten sowie Vermarktungsmöglichkeiten für Komposte und/oder flüssige Gärreste bzw. Entsorgungsmöglichkeit für Abwasser)

- Prüfen von Kooperationsmöglichkeiten (mit anderen Körperschaften z.B. zur Erreichung von sinnvollen Jahresmengen; mit Firmen z.B. in Form von Beteiligungen, Verwertungsgesellschaften)
- Öffentlichkeitsarbeit (Informationen zu Sinn und Zweck der getrennten Erfassung, Trennvorgaben und Tipps, Hinweise zur Gebührenregelung; ggf. entsprechende Informationsunterlagen in verschiedenen Sprachen)
- Untersuchung zur optimalen Vermarktung der Komposte; ggf. Weiterverarbeitung zu verschiedenen Erdenprodukten und/oder Entwicklung eines Vermarktungskonzeptes (Vermarktung in Eigenregie, Kooperation mit Bauhäusern)

Erläuterungen zu obigen Kriterien bzw. Vorschlägen finden sich in Kapitel 3.3.1.2. Körperschaften, in denen die Biotonne bereits eingeführt ist, sollten sich dennoch ebenfalls um eine Förderung bemühen können, da ggf. eine Steigerung der Erfassungsquote möglich ist bzw. ein Optimierungsbedarf gegeben ist. Entsprechende **Körperschaften mit Biotonne** sollten zur Einschätzung der Effizienz der Biotonne folgende Aspekte prüfen:

- Die spezifisch erfasste Menge liegt über 60 kg/(E*a)
- Mehr als zwei Drittel der Haushalte sind an das System angeschlossen
- Die Abfall- und Gebührensatzung bietet Anreize zur getrennten Erfassung (s. o.)
- Es werden ausreichende Behältervolumina für die Biotonne angeboten (mind. 15 l/(E*a)) und die Behältervolumina der Restmülltonne sind nicht deutlich kleiner
- Der Organikanteil im Restmüll ist beträgt maximal 30% (Sortieranalysen)
- Die Trennregeln sind einfach und umfassend
- Es besteht eine kontinuierliche Bürgerberatung sowie weitere Maßnahmen der Öffentlichkeitsarbeit (z.B. Tag der offenen Tür, Imagekampagnen)
- Fehlwürfe liegen unter 3% (andernfalls Maßnahmen zur Kontrolle und gezielte Aufklärung durch Öffentlichkeitsarbeit)

Je weniger der obigen Punkte zutreffen, desto höher ist der Optimierungsbedarf. Im Zuge der Analyse und Umsetzung von Optimierungsmöglichkeiten sollte auch geprüft werden, inwiefern weitere organische Reststoffe in ein Entsorgungskonzept eingebunden werden können (s. u.).

Erschließung bislang ungenutzter Grünabfälle und Landschaftspflegereste

In **Körperschaften ohne Angebot zur Abgabe von Grünabfällen**:

- Prüfen, ob es nachvollziehbare Gründe gibt, die gegen ein entsprechendes Angebot stehen (z.B. stark verdichtete Gebietsstrukturen mit schlechten Platzmöglichkeiten oder Erwartung, dass nur geringe Pro-Kopf-Mengen erschlossen werden können)
- Es besteht ein sehr hohes spezifisches Erfassungsaufkommen über die Biotonne (mehr als 100 kg/(E*a)) mit hohem Anteil an Grünabfall
- Der Organikanteil im Restmüll beträgt maximal 30%

Angebote zur getrennten Erfassung von Grünabfällen sollten auf jeden Fall geschaffen werden, wenn keiner der oben genannten Gründe zutrifft. Voraussetzung zur Beurteilung obiger Gegebenheiten sind u. a. stichprobenartige Sortieranalysen. Für den Fall, dass Grünabfälle umfassend über die Biotonne eingesammelt werden, sollte die weitere Verwertung geprüft werden. Ggf. empfiehlt sich eine Stoffstromtrennung in holzige, krautige und sonstige Anteile, die eine optimierte und zusätzliche energetische Nutzung erlauben. Wird das Material der Biotonne v. a. über Vergärung verwertet, ist es zu empfehlen, dennoch ein Angebot für die separate Erfassung von Grünabfällen zu schaffen, da Grünabfälle in Summe eine verminderte Vergärungseignung aufweisen (vgl. Kapitel 3.2.1 und 3.2.2).

Für möglichst **hohe Erfassungsmengen an Grünabfällen** sind folgende Bedingungen vorteilhaft:

- Flächendeckendes Angebot an Übergabepunkten, d.h. gesonderte Grünabfallsammel- und/oder Häckselplätze, frei zugängliche Containerstandorte, Wertstoffhöfe oder Abgabemöglichkeiten an Behandlungsanlagen
- Hohe zeitliche Verfügbarkeit der Übergabepunkte (Öffnungszeiten über das ganze Jahr und auch an Samstagen)
- Verzicht auf gesonderte Gebühren oder großzügige Bemessung der gebührenfreien Anliefermenge (z.B. 3-5 m^3)
- Nutzung der Sammelpunkte als 1. Stufe der Verarbeitung (Zerkleinerung, Klassierung, Verladen in Transportbehälter)
- Ggf. Sondersammelaktionen maximal zweimal pro Jahr: Abholung von Weihnachtsbäumen und von Baum- und Strauchschnitt im Herbst direkt beim Bürger

Erläuterungen zu obigen Kriterien bzw. Vorschlägen finden sich in Kapitel 3.3.4.

Die Herkunftsbereiche für Grünabfälle sind vielfältig: kommunale Grünanlagen, Grünflächen an Wohnanlagen oder an z.B. Kliniken, Friedhöfe, Zoo und Parks, Wegebegleitgrün, Sport- und Freizeitanlagen, Hausgärten, Spielplätze, Kleingartenanlagen. Für ein Erfassungskonzept sollten möglichst alle Arten von Grünflächen einbezogen werden. Da oft an einzelnen Anfallorten nur vergleichsweise geringe Mengen erfasst werden können, die zudem über das Jahr fluktuieren, ist es von Vorteil möglichst viele verschiedene Flächen einzubeziehen und auch die gemeinsame Verarbeitung z.B. mit Bioabfall aus Haushalten in einer Konzepterstellung zu berücksichtigen. Erst dann kann in vielen Fällen über das Jahr ein kontinuierlicher Stofffluss und die Überschreitung einer kritischen Masse (Anlagengröße) erreicht werden. Im weiteren gilt hier das Gleiche wie auch oben für die getrennte Erfassung von Bioabfall aus Haushalten aufgeführt. Folgende Aspekte sollten geprüft werden:

- Welche Mengen können zusätzlich getrennt erfasst werden? Welche Mengen werden bereits in anderen Zusammenhängen erfasst (z.B. Biotonne)?

- Prüfen der bisherigen Entsorgungsstruktur:
  Welche Kapazitäten sind vorhanden, welche Ausbaumöglichkeiten bestehen?
  Bestehen bereits Anlagen zur Stoffstromtrennung? Mit welchen Qualitäten an Grünabfällen ist zu rechnen (Anteile holzig, krautig)? Welche Verwertungsverfahren kommen in Frage?
  Welche neuen Standorte eignen sich falls erforderlich? (Berücksichtigung von Transportwegen, KWK-Nutzungsmöglichkeiten sowie Vermarktungsmöglichkeiten für Komposte und/oder flüssige Gärreste bzw. Entsorgungsmöglichkeit für Abwasser)

- Prüfen von Kooperationsmöglichkeiten (mit anderen Körperschaften z.B. zur Erreichung von sinnvollen Jahresmengen; mit Grünabfalllieferanten/Energieerzeugern z.B. in Form von Verwertungsgesellschaften)

- Welche Grünabfalllieferanten (z.B. Akteure im Naturschutz, in der Landschaftspflege oder auch Landschaftsgärtner sowie Holzhändler) und welche Energieerzeuger oder -nutzer und Erzeuger oder Abnehmer von Komposten lassen sich in eine Verwertungsgesellschaft integrieren?

- Öffentlichkeitsarbeit (Informationen zu Sinn und Zweck der getrennten Erfassung von Grünabfällen, Hinweise zur Gebührenregelung, Direktvermarktung von Kompostprodukten und Holzbrennstoffen bei den Annahmestellen für Grünabfälle)

- Welche Akteursgruppen/Institutionen sind für die Grünabfallverwertung von entscheidender Bedeutung (z.B. Maschinenringe, Landwirte, Gärtner, Abfallentsorger, Energieversorger) und wie lassen sich deren Interessen mit den eigenen verbinden und nutzbringend einbinden?

- Untersuchung zur optimalen Vermarktung von Komposten und Holzbrennstoffen; ggf. Weiterverarbeitung Komposte zu verschiedenen Erdenprodukten, Angebot verschiedener Holzbrennstoffe (Hackschnitzel, Pellets, Briketts) und/oder Entwicklung eines Vermarktungskonzeptes (Vermarktung in Eigenregie, Kooperation mit Bauhäusern)

Förderprogramm für energie- und klimaeffiziente Müllverbrennungsanlagen

Müllverbrennungsanlagen weisen ein relativ hohes THG-Minderungspotenzial über Optimierungen zur Steigerung der abgebbaren Strommenge auf. Allerdings ist Voraussetzung von Optimierungsmöglichkeiten zunächst die genaue Ermittlung aller Energie- und Massenströme innerhalb der MVA. Hierzu bedarf es einer entsprechenden Messtechnik, die teilweise nicht vorhanden ist. Insofern fallen Kosten bereits bei diesem Schritt der Datenerhebung an, die im Rahmen eines Förderprogramms entlastet werden könnten.

Die höchsten THG-Minderungen bzw. Steigerungen der Stromerzeugung werden durch die Installation von modernen Entnahme-Kondensationsturbinen erreicht (innerer Wirkungsgrad ca. 83% und angepasste Anzapfstufen zur Dampfentnahme) bzw. über damit zusammenhängende Optimierungen von Dampferzeugung und Wasser-Dampf-Kreislauf (Kondensat-, Speisewasservorwärmung, Erhöhung Luftvorwärmung, Umstellung SCR-Vorwärmung auf Anzapfdampf, vgl. Kap. 3.3.3). Diese Optimierungen sind allerdings auch mit hohen Kosten verbunden (vgl. Tabelle 3-18), die sich erst nach langer Zeit amortisieren und insofern ein Hemmnis für die Umsetzung darstellen. Deswegen wird empfohlen, im Rahmen eines Förderprogramms auch Investitionsbeihilfen für die Anschaffung von z.B. Turbinen zu ermöglichen, wobei die Beihilfe an eine vorab einzureichende Energie- und Klimabilanz der Effekte durch die Optimierungsmaßnahmen gekoppelt sein sollte, um den Erfolg der Maßnahme einschätzen zu können.

In Anbetracht der gegebenen Potenziale wird ein Förderprogramm empfohlen, das eine Ist-Analyse ermöglicht und des Weiteren Investitionsbeihilfen für die ermittelten wesentlichen Optimierungsmaßnahmen.

4 Klimaschutz- und Energieeffizienzpotenziale der Abwasserwirtschaft

Nachfolgend werden zunächst die rechtlichen Grundlagen sowie weitere allgemeine Hintergrundinformationen beschrieben und im Folgenden die Bereiche für Maßnahmen auf und außerhalb der Kläranlage dargestellt und die daraus ggf. resultierenden Klimaschutz- und Effizienzpotenziale aufgezeigt.

4.1 Gesetzgebung

Die Abwasserbeseitigung gehört wie die Wasserversorgung zu den Kernaufgaben der öffentlichen Daseinsvorsorge und in die Zuständigkeit der Gemeinde. Gemäß **Artikel 28, Absatz 2 des Grundgesetzes** unterliegen sie als Angelegenheiten der örtlichen Gemeinschaft dem Selbstverwaltungsrecht der Gemeinden. Es sind Leistungen, die mit besonderen Gemeinwohlverpflichtungen verbunden sind und im Interesse der Allgemeinheit von wirtschaftlich arbeitenden, vorwiegend kommunalen Unternehmen erbracht werden. Sie sind nach dem Grundgesetz (Artikel 20a) dem Nachhaltigkeitsgedanken und dem Schutz der Umwelt verpflichtet.

Das Wasserrecht war bisher ein Rahmengesetz des Bundes (**Wasserhaushaltsgesetz, WHG**), die Länder haben diesen Rahmen mit eigenen Landeswassergesetzen gefüllt. Die Länder regeln danach auch, welche Körperschaften des öffentlichen Rechts zur Abwasserbeseitigung verpflichtet sind. Die zur Abwasserbeseitigung Verpflichteten können sich zur Erfüllung ihrer Pflichten Dritter bedienen (§ 18a Abs. (2) WHG). Mit dem ab März 2010 in Kraft tretenden **Gesetz zur Neuregelung des Wasserrechts** wird die Rahmengesetzgebung durch eine Vollregelung abgelöst. Die o. g. Zuständigkeiten der Abwasserbeseitigungspflicht bleiben bestehen (vgl. § 56 Gesetz zur Neuregelung Wasserrecht). Abgesehen von der Umwandlung in eine Vollregelung werden in diesem Gesetz europäische Richtlinien in nationales Recht umgesetzt: die IVU-Richtlinie[16] und die EG-Richtlinie zur Behandlung kommunaler Abwasser (Abbildung 4-1).

Die Einleitung von Abwasser in Gewässer bedarf grundsätzlich der behördlichen Genehmigung und nach **Abwasserabgabengesetz (AbwAG)** ist eine Abgabe zu entrichten, die durch die Länder erhoben wird. Die Höhe der Gebühr richtet sich nach der Schädlichkeit des Wassers. Die Abwasserabgabe macht durchschnittlich 3 % der Kosten einer Kläranlage aus (ATT et al. 2008).

16 EG-Richtlinie über die integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung

Die Kosten der öffentlichen Abwasserreinigung werden über Gebühren finanziert. Grundlage für Gebührenregelungen bildet das **Kommunalabgabengesetz (KAG)**, das in jedem Bundesland erlassen wird. Darin ist festgelegt, dass für die Benutzung städtischer Abwasseranlagen kostendeckende Gebühren erhoben werden, der Bürger zahlt nur die Kosten, die dem Abwasserentsorgungsunternehmen für die Ableitung und Behandlung im jeweiligen Entsorgungsgebiet entstehen.

Nach den **Landeswassergesetzen** gehören zu den Pflichtaufgaben der Kommunen die Trinkwasserversorgung und die Abwasserbeseitigung (Abwasserbeseitigungspflichtige). Einige Landesgesetze verlangen von den Kommunen die Erstellung eines Abwasserbeseitigungskonzeptes. Die Länder müssen alle zwei Jahre einen Lagebericht zur Beseitigung des kommunalen Abwassers an die europäische Kommission übermitteln.

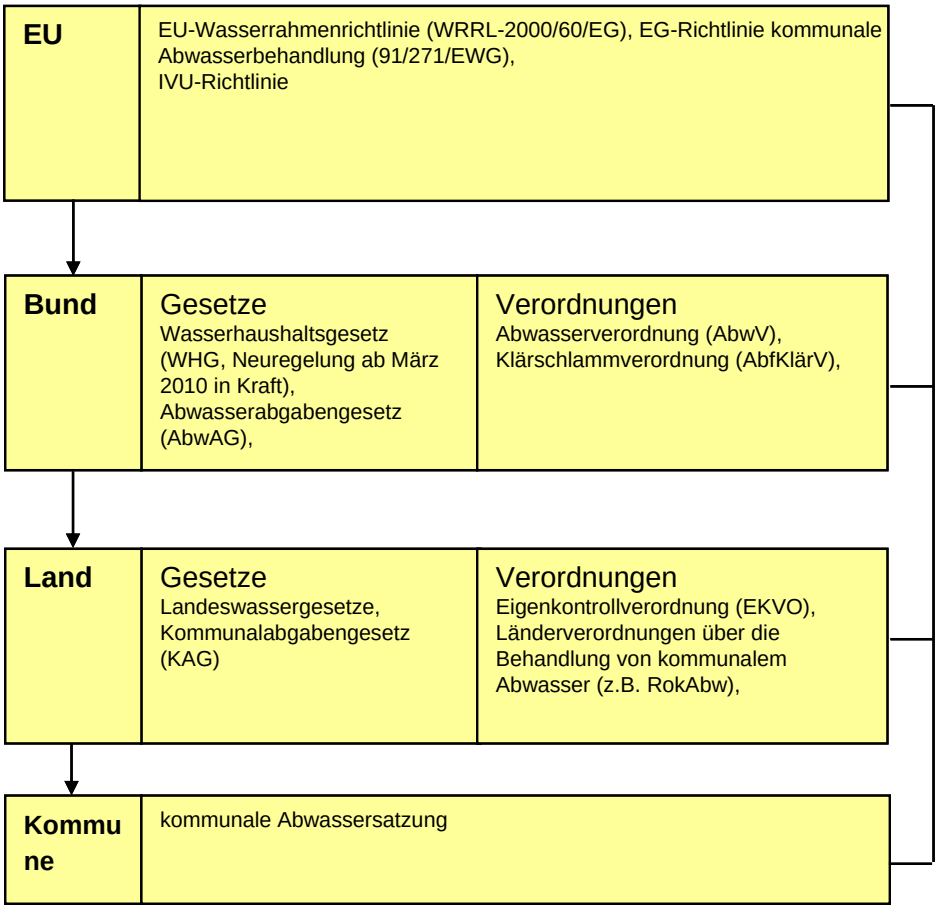


Abbildung 4-1: Rechtliche Vorgaben für den Bereich Abwasser

In der **Eigenkontrollverordnung** der Länder ist für die Betreiber von Abwasseranlagen festgelegt, welche Prüfungen, Untersuchungen, Messungen und Auswertungen durchzuführen sind und die dazu zu verwendenden Kontrolleinrichtungen und Geräte. Die Ergebnisse werden do-

kumentiert und sind der Wasserbehörde und technischen Fachbehörde auf Verlangen vorzulegen.

In der **kommunalen Abwasserwassersatzung** sind die Anforderungen der Stadt, der Gemeinde bzw. des Abwasserzweckverbandes an die Einleitung von Abwasser in die Kanalisation und Anforderungen an den Bau und Betrieb von Abwasseranlagen beschrieben. Ebenfalls geregelt ist darin die **Gebührenordnung** für die öffentliche Wasserversorgung und Abwasserreinigung.

Anforderungen an Kläranlagen und die Abwasserreinigung

Bei der Abwasserbehandlung sind von den Kommunen grundsätzlich die Regelungen des Wasserhaushaltsgesetzes (WHG) und der Landeswassergesetze einzuhalten. Bau, Betrieb und wesentliche Änderungen einer Abwasserbehandlungsanlage und des Kanalisationsnetzes bedürfen einer Genehmigung durch die zuständige Behörde. Die Kläranlagen selbst müssen so errichtet und betrieben werden, dass sie mindestens den allgemein anerkannten Regeln der Technik entsprechen (§ 18b WHG und § 60 (1) Gesetz zur Neuregelung Wasserrecht). Die Anforderungen an die Abwasserreinigungsleistung sind demgegenüber strenger gefasst. Hier müssen Menge und Schädlichkeit des Abwassers so niedrig gehalten werden wie es nach dem Stand der Technik möglich ist (§ 7a WHG und § 57 Gesetz zur Neuregelung des Wasserrechts). In Anhang 2 WHG ist der Stand der Technik näher definiert. Unter den insgesamt 12 aufgeführten zu berücksichtigenden Kriterien findet sich auch die Energieeffizienz:

> „9. Verbrauch an Rohstoffen und die Art der bei den einzelnen Verfahren verwendeten Rohstoffe (einschließlich Wasser) sowie Energieeffizienz“.

Die 12 Kriterien zur näheren Bestimmung des Stands der Technik sind im Gesetz zur Neuregelung des Wasserrechts unverändert übernommen (Anlage 1). Eine weiterführende Konkretisierung der Energieeffizienz ist über das Gesetz bislang nicht vorgegeben. Allerdings ist mit Novellierung der Abwasserverordnung (AbwV) zur Umsetzung der IVU-Richtlinie in nationales Recht der Stand der Technik bezüglich Energieeffizienz in Kläranlagen in Deutschland zu definieren. Ebenfalls vorgesehen für die Novelle der Abwasserverordnung ist eine Begünstigung der Co-Fermentation in Kläranlagen sowie ein Verwertungsgebot für Phosphor (UBA 2008b). In der aktuell gültigen Fassung der Abwasserverordnung findet sich eine weitere Spezifizierung, welche Schadstoffgehalte für eine Einleitung in Gewässer mindestens eingehalten werden müssen (Anhang 1 AbwV).

4.1.1 Rechtliche Regelungen für Abwärme

Mit dem Eintritt in die Kanalisation gelangt Abwasser rechtlich in den Besitz der Öffentlichkeit, welche zur Entsorgung verpflichtet ist. Die Nutzung dieser Ressource sollte daher unentgeltlich erfolgen können. Für die Errichtung einer Abwasserenergieanlage ist das Einverständnis des Betreibers von Kanalisation und Kläranlage einzuholen. In Deutschland gibt es keine gesetzli-

chen Bestimmungen zur Wärmenutzung aus Abwasser. Aber in einigen Bundesländern sind Genehmigungen für „sonstige Abwasseranlagen“ von der zuständigen Wasserbehörde notwendig. Entscheidend für die Erteilung einer Genehmigung ist, dass die Funktionsfähigkeit der Abwasseranlagen nicht beeinträchtigt wird. Das heißt z. B., dass Einbauten in das Kanalsystem das Strömungsverhalten des Abwasser nicht negativ beeinträchtigen dürfen und die Temperatur des Abwassers nicht zu stark abgesenkt werden darf (BWP et al. 2005).

4.1.2 Anforderungen für Klärschlamm und Klärgas

Bei der Verbrennung von Klärgas müssen die Grenzwerte für die Emissionen nach der 1. BImSchV und der Verwaltungsvorschrift TA Luft eingehalten werden. Für die Ausbringung von Klärschlamm in der Landwirtschaft müssen die Grenzwerte der Klärschlammverordnung (AbvKlärV) eingehalten werden. Um in der Landwirtschaft als Dünger eingesetzt werden zu können, müssen die Nährstoffgehalte der Düngemittelverordnung (DüV) entsprechen. Eine Deponierung von Klärschlamm ist seit 2005 verboten.

Energierecht – Strombezugskosten

Für den Betreiber einer Kläranlage sind zusätzlich das Energiesteuergesetz (2006), das Energiewirtschaftsgesetz (EnWG 2005), das EEG, das KWKG und das Stromsteuergesetz (1999) relevant. Klärgas gilt als regenerative Energiequelle und wird bei Einspeisung in das öffentliche Netz nach dem EEG vergütet. Für den Betrieb der Kläranlage wird Strom von einem frei wählbaren Anbieter (nach EnWG) eingekauft. Der selbst produzierte Strom wird nur virtuell rückgekauft, d. h. verrechnet und ist nach dem Stromsteuergesetz von der Stromsteuer befreit. Nach dem Energiesteuergesetz wird die Steuer auf Erdgas komplett erstattet, wenn dieses zur Kraft-Wärme-Kopplung eingesetzt wird, nicht jedoch bei der Verbrennung im Heizkessel, wie es bei vielen Kläranlagen der Fall ist (häufig: Verstromung von Klärgas im BHKW und Verbrennung von Erdgas im Heizkessel). Die Kläranlagen können Kosten sparen, indem sie sich einen günstigen Stromanbieter aussuchen (EnWG) (MUFV 2007).

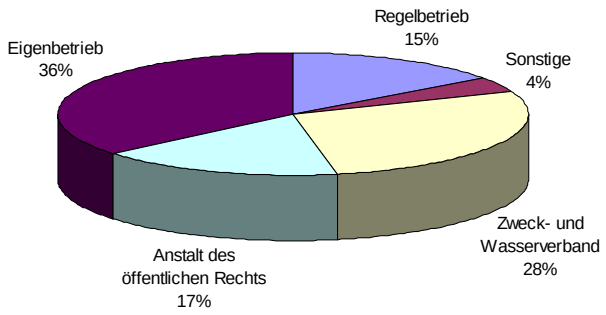
4.2 Organisationsstruktur

Die öffentliche Abwasserentsorgung ist eine hoheitliche Aufgabe, d. h. die Erfüllung der Aufgabe obliegt nach öffentlichem Recht dem Staat. Nach dem Wasserhaushaltsgesetz (WHG, Neuregelung ab März 2010) werden die Bundesländer verpflichtet, Körperschaften des öffentlichen Rechts als Abwasserbeseitigungspflichtige zu bestimmen. Nach den jeweiligen Landeswassergesetzen werden dafür in der Regel die Gemeinden verantwortlich gemacht, in deren Gebiet das Abwasser anfällt. Um die Organisation von Wasserversorgung und Abwasserbehandlung effizienter zu gestalten, können sich Gemeinden freiwillig oder durch die Länder gesetzlich geregelt in Abwasserzweckverbänden zusammenarbeiten, was in der Praxis den Regelfall darstellt.

Die Abwasserentsorgung umfasst die Abwasserableitung (Kanalisation) und die Abwasserbehandlung in Kläranlagen. Diese beiden Aspekte befinden sich nicht immer in einer Hand. So kann die Kanalisation ein Eigenbetrieb sein, der Betrieb der Kläranlage dagegen von einem

Zweckverband durchgeführt werden. Die Gemeinden bzw. Abwasserzweckverbände können sich zur Erfüllung ihrer Pflichten Dritter bedienen. Die Abwasserbeseitigung erfolgt überwiegend durch öffentlich-rechtliche Unternehmen. Die Beteiligung privatrechtlicher Unternehmen erfolgt vorwiegend in Form von Betriebsführungs- und Betreiberverträgen. Ihr Anteil beträgt bei der Abwasserableitung 10 %, bei der Abwasserbehandlung 12 % der erfassten Einwohner.

Einer Befragung der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. und des Bundesverband der deutschen Gas- und Wasserwirtschaft (DWA und BDEW bzw. BGW) zufolge, erfolgt die Abwasserentsorgung überwiegend durch kommunale Eigenbetriebe[17] (36 %) und Zweck- und Wasserverbände (28 %) (Abbildung 4-2). Rund 17 % der Einwohner sind an Anstalten des öffentlichen Rechts angeschlossen und ca. 15 % an Regiebetriebe[18], die vollständig in die Organisationsstruktur der Kommune integriert sind (Bellefontaine et al. 2007)[19].



Quelle: eigene Darstellung nach DWA/BGW 2005

Abbildung 4-2: Organisationsformen in der Abwasserbeseitigung 2005; Angaben in %, gewichtet nach den an die Kanalisation angeschlossenen Einwohnern

Der Vollzug des WHG, der Wassergesetze der Länder und der Verordnungen obliegt den Wasserbehörden. Die Organisation ist in den Bundesländern zwei- oder dreistufig:

- Oberste Wasserbehörden (Ministerien der Länder)
- Obere Wasserbehörden (Landesämter oder Regierungspräsidien)

---

17 Eigenbetriebe sind ein wirtschaftliches Unternehmen der Gemeinde und meist als Sondervermögen der Gemeinde organisatorisch und finanzwirtschaftlich ausgegliedert. Gegenüber Regiebetrieben besitzen sie mehr Selbstständigkeit.

18 Regiebetriebe sind rechtlich, organisatorisch sowie haushalts- und finanzwirtschaftlich in die Kommunalverwaltung integriert.

19 Es wurden fast 900 Abwasserbeseitigungsunternehmen (von 6.900) erfasst, die das Wasser von 59 % der Einwohner Deutschlands entsorgen, in den nicht erfassten Kommunen sind überwiegend Regie- und Eigenbetriebe.

- Untere Wasserbehörden (Behörden der Landkreise und kreisfreien Städte).

Im Saarland und Schleswig-Holstein gibt es einen zweistufigen Aufbau mit oberer und unterer Wasserbehörde. Die Stadtstaaten Berlin, Hamburg und Bremen haben einen eigenen Verwaltungsaufbau.

4.2.1 Aufgaben der Kommunen

Nach dem Wasserhaushaltsgesetz (WHG) umfasst die Abwasserbeseitigung das „Sammeln, Fortleiten, Behandeln, Einleiten, Versickern, Verregnen und Verrieseln von Abwasser sowie das Entwässern von Klärschlamm ... und ... die Beseitigung des in Kleinkläranlagen anfallenden Schlamms“. Die Gemeinden bzw. Zweckverbände sind damit verantwortlich für Betrieb, Wartung, Erneuerung, Erweiterung und Sanierung der Kläranlagen sowie des Kanalnetzes.

Verfügbare Daten

Da die Abwasserbeseitigung hoheitliche Pflichtaufgabe der Kommune ist, hat diese auch leichten Zugang zu den die Abwasserbehandlung und -ableitung betreffenden Daten. Die Aufnahme des Ist-Zustandes ist damit grundsätzlich möglich. Allerdings setzt dies z. B. zur Ermittlung der Energiebilanz einer Kläranlage voraus, dass die Kläranlage mit entsprechender Messtechnik wie separate Stromzähler für wichtige Einzelverbraucher (Belüftung, Rührwerk, Pumpen) und Druckmessgeräte insbesondere zur Ermittlung der kumulierten Förderhöhe[20] ausgestattet ist.

Die notwendigen Daten, um eine Eignung für Abwärmenutzung aus der Kanalisation zu beurteilen, sind für die Kommune leicht erhältlich. Angaben zu Kanalgröße, Abwassermenge und Sanierungsbedarf der Abwasserleitungen haben die Betreiber der Kanalisation. Zur Einschätzung möglicher Wärmeabnehmer sind Daten zur Heizleistung und dem Alter der Heizungsanlagen erforderlich, über die der Bezirksschornsteinfegermeister verfügt. Neubaugebiete sind im Flächennutzungsplan ersichtlich.

4.2.2 Gebührenordnung

Rechtliche Grundlagen

Grundsätzlich ist die Erhebung von Gebühren im Kommunalabgabengesetz (KAG) geregelt (vgl. Kap. 4.1). Bei der Kalkulation und Erhebung von Abwassergebühren gilt das Kostendeckungsprinzip und Kostenüberschreitungsverbot, d. h. die nach betriebswirtschaftlichen Grundsätzen ansatzfähigen Kosten für die Abwasserbeseitigung sind zugleich Maßstab und Obergren-

[20] Die kumulierte Förderhöhe bestimmt den Stromverbrauch der Abwasserpumpen. Sie entspricht dem Produkt aus manometrischer Förderhöhe und jeweils eingestellter prozentualer Kreislaufführung (vgl. a. Fußnote 24).

ze für die erhobene Gebühr (ATT et al. 2008). Die erhobenen Entgelte werden bei kommunalen Unternehmen durch den Stadt- und Gemeinderat bzw. die entsprechenden Verbandsgremien sowie die Kommunalaufsicht kontrolliert.

Die Gemeindeordnung ist ein Landesgesetz und ist sozusagen die Verfassung der Gemeinden in dem jeweiligen Bundesland. Nach dem Grundgesetz liegt die Zuständigkeit zur Regelung der Gemeindeverfassung bei den Ländern. Darin kann ein Anschluss- und Benutzungszwang für die Abwasserbeseitigung vorgeschrieben werden. Dies ist zur Gewährleistung der Entsorgungssicherheit üblicherweise gegeben. Anders als beim Strom kann sich der Bürger beim Abwasser seinen Anbieter nicht aussuchen. Er ist an den kommunalen Anbieter gebunden und kann die Gebührenhöhe nur durch sein Verhalten beeinflussen.

Zusammensetzung und Höhe der Gebühren

Die Kosten setzen sich zusammen aus den Erst- und Erneuerungsinvestitionen für Kläranlage, Ortsnetz, Verbindungssammler, Sonderbauwerke etc. sowie den laufenden Kosten für Betrieb, Unterhaltung, Verwaltung, Zinsen und Abschreibung. Die Höhe und Zusammensetzung der Gebühren sind in den verschiedenen Kommunen sehr unterschiedlich. Die Abwassergebühr kann sich aus einem verbrauchsabhängigen und einem verbrauchsunabhängigen (meist personen- oder haushaltsbezogenen) Anteil zusammensetzen. Dazu gehören:

- Abwasser-Grundgebühr
- Schmutzwassergebühr
- Niederschlagswassergebühr
- Abwassergebühr
- Kanalbaubeitrag.

Es gibt verschiedene Möglichkeiten der Gebührenerhebung. Eine Möglichkeit ist die Berechnung auf Grundlage des verbrauchten Frischwassers. Dabei belaufen sich die Kosten für den Bürger auf durchschnittlich 2,28 € für 1000 Liter Abwasser. Nach mehreren Urteilen von Landesverwaltungsgerichten und Beschlüssen von Gemeinderäten setzt sich allerdings zunehmend eine gesplittete Gebühr durch. 67 % der in der BDEW/DWA-Umfrage erfassten Einwohner zahlen solch eine gesplittete Gebühr (Bellefontaine et al. 2007). Sie setzt sich zusammen aus einer Schmutzwassergebühr, berechnet auf Grundlage des Frischwasserverbrauchs, und einer Niederschlagsgebühr. Diese wird berechnet nach Quadratmeter versiegelter Fläche (z. B. Wege, Dächer), welche in die Kanalisation entwässern. Der Abflussbeiwert der Flächen dient dazu festzulegen, ob eine Fläche als abflusswirksam berücksichtigt wird. Im Mittel liegt die Schmutzwassergebühr bei 2,05 €/m^3 und die Niederschlagswassergebühr bei 0,88 €/m^2.

Zusätzlich kann eine Grundgebühr (personen- oder haushaltsabhängig) zur Deckung der Fixkosten und zur Vermeidung von Einnahmeausfällen erhoben werden. Sinkende Einwohnerzahlen und Wasser sparendes Verhalten führen zu einem sinkenden Aufkommen an Abwasser und

somit sinkenden Einnahmen bei gleich hohen Fixkosten. Bei zu geringen Durchflussmengen muss sogar Wasser ins System gepumpt werden, um Betriebsstörungen zu vermeiden (MLU 2009). Vor allem in den neuen Bundesländern mit zurückgehenden Einwohnerzahlen und somit geringeren Abwassermenge werden häufig Grundgebühren erhoben.

Ungefähr 75-85 % der Kosten sind fixe Kosten, also unabhängig davon, wie viel Abwasser abgeleitet wird. Bei den Anlagen der Abwasserentsorgung handelt es sich um langlebige Wirtschaftsgüter (Kanalnetz, Kläranlage, etc.), deren Kosten auf die gesamte Nutzungsdauer verteilt werden. Ungefähr die Hälfte dieser Kosten entfällt dabei auf Abschreibungen und Zinsen. Personalkosten machen ca. 15 %, Energie- und Materialkosten ca. 6 % und die Abwasserabgabe 3 % aus.

Bei einem Neuanschluss wird von vielen Städten ein zusätzlicher Kanalanschlussbeitrag zur Herstellung und Erweiterung der öffentlichen Abwasseranlagen erhoben. Die Höhe ist in den jeweiligen Beitragssatzungen geregelt und richtet sich nach Art und Maß der baulichen Nutzung, der Grundstücksfläche und dem Umfang der baulichen Nutzung (Bellefontaine et al. 2007).

Die Höhe der Abwassergebühren ist in den Kommunen sehr unterschiedlich. Für eine 4-köpfige Familie (angenommene 184 m^3 Abwasser) liegt der Beitrag z. B. in Karlsruhe bei 226 € jährlich, in Potsdam dagegen bei 786 € (INSM 2008). Die Gebühren für die Abwasserbeseitigung, einschließlich der Anschlusskosten, betrugen 2005 im Bundesdurchschnitt 129 € für jeden Bürger (Bellefontaine et al. 2007).

Die erhobenen Gebühren sollen die anfallenden Kosten der Kommune decken. Die Höhe ist daher einerseits beeinflusst von betriebswirtschaftlichen Gestaltungsmöglichkeiten bei der Abschreibung des Anlagevermögens und bei der Höhe der Eigenkapitalverzinsung. Andererseits sind örtliche Gegebenheiten entscheidend. Zum Beispiel entstehen höhere Kosten für den Leitungsbau bei Städten mit großer Fläche und geringer Einwohnerdichte oder für zusätzliche Pumpen in bergigem Gelände oder für Maßnahmen des Hochwasserschutzes. In den neuen Bundesländern liegen die Gebühren häufig höher, was in einem starken Investitionsbedarf in den letzten Jahren sowie überdimensionierten Anlagen auf Grund rückläufiger Einwohnerzahlen begründet ist.

Anreize

Ein Großteil der zu zahlenden Abwassergebühren ist verbrauchsabhängig. Ein geringerer Verbrauch führt zu geringeren Gebühren und ist somit ein Anreiz zum Wasser sparen. Zur Berechnung der Niederschlagsgebühr wird der Abflussbeiwert der Materialien verwendet. Dies kann dazu führen, dass bei baulichen Maßnahmen auf einen geringen Versiegelungsgrad geachtet wird. Vorteilhaft aus ökologischer Sicht ist die Möglichkeit einer Reduzierung des Oberflä-

chenabflusses in die Kanalisation und dadurch eine Reduzierung der Niederschlagswassermenge in der Kläranlage.

4.3 Energie-/Klimaeffizienzpotenziale von Kläranlagen

4.3.1 Kläranlagen in Deutschland

Die Aufgabe der Kläranlagen ist es, die rechtlichen Anforderungen an die Abwasserbeseitigung zu erfüllen. Die Vorgaben des Wasserrechts und die Einleitergrenzwerte der Abwasserverordnung sind einzuhalten (vgl. Kap. 4.1). Demgegenüber sind mögliche Energie- und Klimaeffizienzpotenziale als nachrangig einzuordnen. Entsprechend ist bei Optimierungsmaßnahmen zu beachten, dass die Betriebssicherheit der Anlagen nicht beeinträchtigt wird.

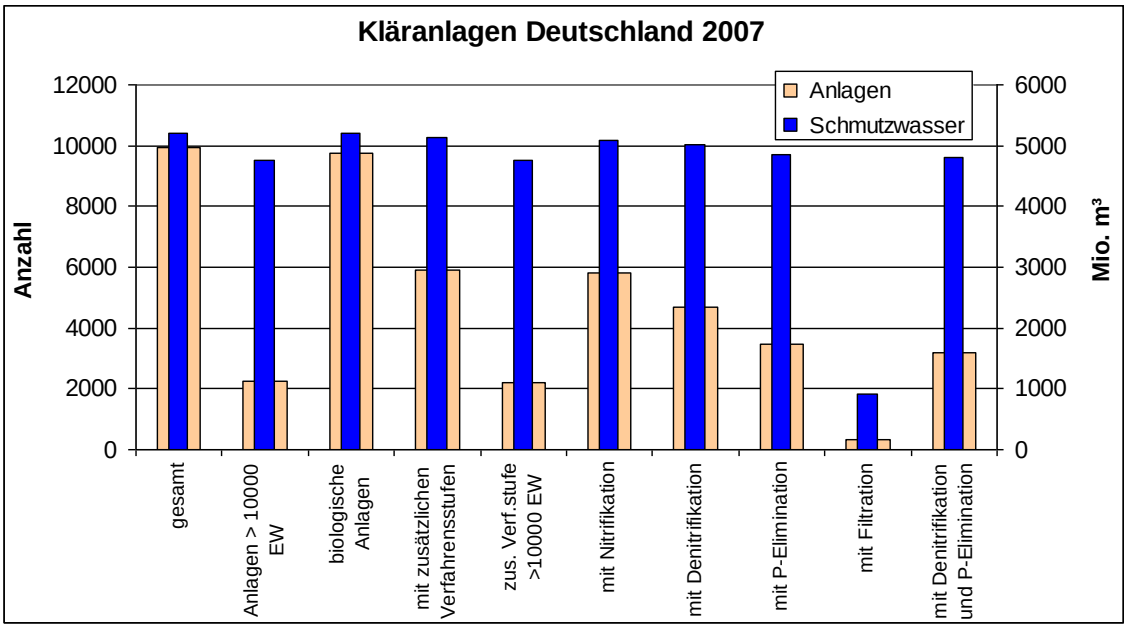
Grundsätzlich bestehen drei wichtige Bereiche auf der Kläranlage zur Optimierung der Energie- und Klimaeffizienz: der Energieverbrauch auf Kläranlagen, Art und Umfang der Klärgaserzeugung und -nutzung und schließlich die Art der Klärschlammentsorgung. Zur Einschätzung der Potenziale ist zunächst der Ist-Zustand festzustellen. Auf Bundesebene stehen hierfür verschiedene Datenquellen zur Verfügung.

Daten zur öffentlichen Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung werden dreijährlich durch das Statistische Bundesamt veröffentlicht (Fachserie 19, Reihe 2.1). Darin waren bis 2006 auch Angaben zum Klärschlammverbleib enthalten. Diese werden seit 2006 separat jährlich erhoben und durch das Statistische Bundesamt veröffentlicht. Angaben zur Klärgaserzeugung und -nutzung finden sich in den statistischen Zahlen zur Energiewirtschaft (Fachserie 4, Reihe 6.5), die jährlich erhoben werden.

Die jüngste Fassung der Fachserie 19, Reihe 2.1 (FS 19, R 2.1) ist vom September 2009 für das Jahr 2007. Danach wurden 2007 insgesamt in Deutschland 5.127,6 Mio. m³ Wasser gefördert, davon rund 70 % Grund- und Quellwasser. In privaten Haushalten und Kleingewerbe wurden bezogen auf die geförderte Menge knapp 70 % verbraucht. Dies entspricht einem täglichen Wasserverbrauch von 126 l/(E*d).

An die öffentliche Kanalisation sind 95 % der Einwohner Deutschlands angeschlossen. Die restliche Bevölkerung reinigt ihr Abwasser in eigenen Kleinkläranlagen. Das Kanalnetz erstreckt sich über knapp 541.000 km. Die in die öffentliche Kanalisation geleitete Jahresschmutzwassermenge betrug im Jahr 2007 insgesamt 5.274,6 Mio. m³, wovon knapp 99 % in den rund 10.000 öffentlichen Abwasserbehandlungsanlagen in Deutschland behandelt wurden. Des Weiteren fielen in diesen Anlagen noch 4.857,4 Mio. m³ Fremd- und Niederschlagswasser an. Die daraus resultierende Jahresabwassermenge von 10.070,8 Mio. m³ wird in Deutschland fast vollständig in biologischen Anlagen behandelt (Abbildung 4-3).

Nahezu alle Kläranlagen in Deutschland sind biologische Anlagen. Zusätzliche Verfahrensstufen haben nur etwa 60 % der Kläranlagen, die aber 98 % der Schmutzwassermenge behandeln. 37 % dieser Anlagen mit zusätzlicher Verfahrensstufe weisen eine Ausbaugröße über 10.000 EW[21] auf, diese behandeln 91 % der Schmutzwassermenge. Lediglich über Filtration werden mit rd. 18 % nur geringere Mengen an Schmutzwasser behandelt (in 4 % der Anlagen).



Quelle: STBA 2009b

Abbildung 4-3: Abwasserbehandlung in Deutschland im Jahr 2007

4.3.2 Energiebedarf von Kläranlagen

Ende der 90er gab es eine Phase der Energieoptimierung auf Kläranlagen angeregt durch Finanzierungsprogramme zur Durchführung von Energiekonzepten und zur Installation von BHKW in mehreren Bundesländern. Obwohl weiterhin Einsparungspotenziale bestehen, wurden entsprechende Aktivitäten zurückgefahren, u. a. wegen sinkender Strompreise und damit sinkender Rentabilität der Maßnahmen. Heute verbrauchen Kläranlagen in Deutschland jährlich etwa 4.400 GWh Strom. Im spezifischen Mittel entspricht dies einem Strombedarf von 35 kWh/(EW*a). Bezogen auf den gesamten Stromverbrauch in Deutschland liegt der gesamte Stromverbrauch von Kläranlagen unterhalb von 1 %. Allerdings sind Kläranlagen innerhalb

[21] Der Einwohnerwert (EW) ist im Allgemeinen definiert als die durchschnittliche Belastung des Abwassers eines Einwohners mit biologisch abbaubaren Stoffen. Ausgedrückt als biochemischer Sauerstoffbedarf nach fünf Tagen (BSB5) wird üblicherweise von 60 g BSB5/(EW*d) ausgegangen.

kommunaler Einrichtungen die größten Stromverbraucher, sie sind durchschnittlich für 20 % des kommunalen Strombedarfs verantwortlich (UBA 2008b).

Der Energiebedarf von Kläranlagen unterscheidet sich deutlich je nach Ausstattung (angewandte Verfahren) und Anlagengröße. Eine pauschale Vorgabe von Ideal- und Zielwerten ist daher nicht sinnvoll zur Beurteilung der Energieeffizienzpotenziale von Kläranlagen.

Eine Differenzierung des **Strombedarfs nach Größenklassen**, wie sie in Anhang 1 zur AbwV definiert sind, findet sich in (UBA 2009a). Die entsprechenden spezifischen Stromverbräuche in Kilowattstunden pro angeschlossenem Einwohner und Jahr (kWh/(EW*a)) sind in Tabelle 4-1 aufgeführt. Hier zeigt sich, dass mit zunehmender Anlagengröße der spezifische Strombedarf abnimmt. Der höhere spezifische Strombedarf der kleineren Ausbaugrößen, insbesondere der Größenklassen 1 und 2, ist allerdings nur zu einem kleineren Anteil auf Aspekte wie kleinere Motoren und Pumpen, niedrigere Wirkungsgrade, ungünstige Regelungen oder eine aerobe Stabilisierung zurückzuführen, vielmehr weisen kleinere Kläranlagen eine wesentlich höhere Streubreite auf vor allem aufgrund des stärkeren Einflusses von Sonderaggregaten oder von unterschiedlichen regionalen Gegebenheiten. Innerhalb der Streubreiten gibt es durchaus kleine Kläranlagen, die energetisch genauso günstig arbeiten wie Große.

Tabelle 4-1: Strombedarf von Kläranlagen nach Größenklasse

Größenklasse	Einwohnerwert (EW)	Strombedarf in kWh/(EW*a)
1	< 1.000	75
2	> 1.000 – 5.000	55
3	> 5.000 – 10.000	44
4	> 10.000 – 100.000	35
5	> 100.000	32

Quelle: UBA 2009a

Bezogen auf den absoluten Strombedarf sind es vor allem die größeren Kläranlagen, die einen wesentlichen Anteil haben. So verbrauchen die Größenklassen (GK) 4 und 5 insgesamt 87 % des gesamten Stromverbrauchs der Kläranlagen in Deutschland. Dies begründet sich dadurch, dass diese Anlagen, obwohl sie nach Anzahl nur einen Anteil von 22 % der gesamten Kläranlagen ausmachen, 91 % des gesamt in Deutschland anfallenden Schmutzwassers behandeln (vgl. Abbildung 4-3).

Abgesehen von der Größenklasse ist die **einwohnerspezifische Abwassermenge** ein wesentlicher Einflussfaktor für den Strombedarf von Kläranlagen. Diese ergibt sich aus dem spezifischen Trinkwasserverbrauch (Schmutzwasser) und zudem dem Anteil an Regen- und Fremdwasser. Mit zunehmender Größenklasse zeigt sich hier im Mittel eine abnehmende Tendenz. Allerdings bestehen auch hier große Streubreiten v. a. bedingt durch den sich je nach lokalen

Verhältnissen ergebenden Fremdwasseranteil, der ein Mehrfaches der Schmutzwassermenge betragen kann (vgl. Kap. 4.5). Um hier zu einer Einschätzung zu kommen, in welchem Umfang der Strombedarf einer Kläranlage ggf. auf hohe Fremdwasseranteile zurückzuführen ist, kann als Vergleichswert ein durchschnittlicher Abwasseranfall von 91 m³/(EW*a)[22] herangezogen werden.

Des Weiteren ist der Strombedarf wie erwähnt v. a. abhängig von den zur Abwasserbehandlung **angewandten Verfahren** bzw. der Ausstattung von Kläranlagen. Insbesondere bei sehr großen Kläranlagen bewirken zusätzliche Reinigungsstufen wie z. B. die Sandfiltration und die weitergehende Klärschlammbehandlung einen erhöhten Strombedarf. Auch neue Techniken zur Abwasserreinigung wie z. B. Membrantechnologie, UV-Desinfektion oder Ozonung sind teils mit erheblich zusätzlichen Stromverbräuchen verbunden (vgl. Kap. 4.3.3). Diese Aspekte müssen für eine Beurteilung der Energiebilanz von Kläranlagen gesondert betrachtet werden.

Im Gegensatz zu den genannten neuen bzw. weitergehenden Verfahren der Abwasserreinigung lassen sich gängige Verfahren nicht auf ein bestimmtes Reinigungsziel hin wie Kohlenstoff- und Stickstoffabbau und Phosphorelimination differenziert beurteilen. Die Abwasserreinigung auf Kläranlagen stellt vielmehr das Zusammenspiel der verschiedenen Komponenten dar und kann eigentlich nur im Gesamten hinsichtlich der Energieeffizienz bei gegebener Reinigungsleistung bewertet werden. Jedoch können die Einzelverbraucher nach ihrem Strombedarf analysiert werden, es können Hauptverbraucher identifiziert werden und damit Hauptansatzpunkte für eine energetische Optimierung von Kläranlagen. Tabelle 4-2 zeigt den mittleren Stromverbrauch von Anlagenteilen getrennt für Kläranlagen der GK 2 und 3 und der GK 4 und 5. Mit diesen Größenklassen werden auch zwei wesentliche, unterschiedliche Verfahrensansätze unterscheiden:

- Belebungsverfahren mit simultaner aerober Schlammstabilisierung (dominierend in GK 1 bis 3)
- Belebungsverfahren mit anaerober Schlammstabilisierung (fast 100 % in GK 5 und ca. 60 % bezogen auf angeschlossene Einwohner in GK 4)

[22] Dieser Wert wird in (UBA 2008) zur Umrechnung des Strombedarfes von kWh/(EW*a) auf kWh/m³ Abwasser verwendet. Danach ist 1 kWh/m³ = 91 kWh/(EW*a) bzw. umgekehrt 1 kWh/(EW*a) rund 0,011 kWh/m³ Abwasser.

Tabelle 4-2: Mittlerer Strombedarf von Anlagenteilen

Komponente	**GK 2 und 3**		**GK 4 und 5**	
	kWh/(E*a)	%	kWh/(E*a)	%
Belüftung ID	17,48	42,8 %		
Belüftung BB			15,9	37,7 %
Umwälzung ID	6,31	15,5 %		
Raumfilter			5,64	13,4 %
Einlaufhebewerk	5,57	13,6 %	3,13	7,4 %
Faulbehälterumwälzung			2,70	6,4 %
Zwischenhebewerk			2,56	6,1 %
RLS-Förderung	3,45	8,4 %	2,56	6,1 %
Umwälzung Denitrifikation			2,01	4,8 %
Sandfangbelüftung	2,44	6,0 %	1,83	4,3 %
Elektroheizung	1,94	4,8 %		
Interne Rezirkulation Denitrifikation			1,75	4,1 %
Maschinelle Vorentwässerung	1,94	4,8 %	1,19	2,8 %
Maschinelle Nachentwässerung			0,91	2,2 %
Betriebswasser	0,23	0,6 %	0,51	1,2 %
Räumerantrieb Nachklärbecken	0,68	1,7 %	0,42	1,0 %
Regenbeckenentleerung	0,32	0,8 %	0,42	1,0 %
Schlammstapelung	0,14	0,3 %		
Rechen mit Presse	0,11	0,3 %	0,20	0,5 %
Räumerantrieb Vorklärbecken			0,18	0,4 %
Überschussschlammförderung	0,10	0,2 %	0,17	0,4 %
Phosphatfällung	0,13	0,3 %	0,09	0,2 %
Summe	**40,84**	**100,0 %**	**42,17**	**100,0 %**

Quelle: UBA 2008b

Bei fast allen Kläranlagen mit Belebungsverfahren ist das **Belüftungssystem** der mit Abstand größte Stromverbraucher. Bei Anlagen mit aerober Schlammstabilisierung liegt der Anteil bei 60-80 %, bei Anlagen mit Schlammfaulung bei ca. 50 %. Die Streubreite ist sehr hoch und ebenso i.d.R. die Einflussmöglichkeiten durch kurzfristige Maßnahmen. Daher bildet die Belüftung den größten Schwerpunkt der Energieoptimierung. In (UBA 2008b) wird als mittlere spezifische Belüftungsenergie von rd. 16 kWh/(EW*a) ausgegangen und als Durchschnitt für die Bundesebene von einem Anteil des Strombedarfs der Belüftung am Gesamtbedarf der Kläranlage von 50 %.

Zusammengefasst bilden **kontinuierlich laufende Pumpwerke** (Zulauf, Zwischenhebewerk, Rücklaufschlamm, interne Kreislaufführung, Faulturmumwälzung) die zweitwichtigste Ver-

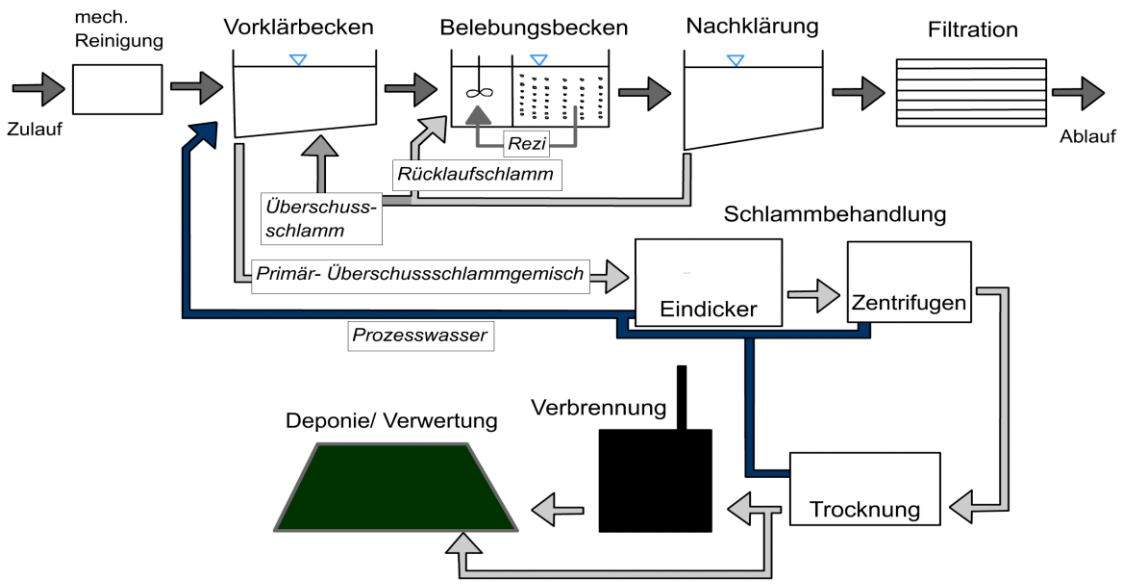
brauchergruppe, wenn auch mit deutlicherem Abstand zur Belüftung. Bei Pumpen sind v. a. die Auswahl effizienter Pumpen und Laufradtypen und die Regelung zur Kreislaufführung entscheidend für den Energieverbrauch. Für den mittleren spezifischen Stromverbrauch wird in (UBA 2008b) für Pumpen von 5 kWh/(EW*a) ausgegangen. Interessenskonflikte bestehen hier zwischen Energieeffizienz und Verstopfungssicherheit. Inzwischen sind aber Pumpentypen auf dem Markt, die diesen Interessenskonflikt zumindest minimieren.

Drittgrößte Verbrauchergruppe sind i.d.R. die **kontinuierlich laufenden Rührwerke** (z. B. Denitrifkation, Faulbehälter), allerdings meist mit großem Abstand zur Belüftung.

Die drei genannten Hauptkomponenten verursachen bei energetisch optimierten Anlagen über 80 % des Stromverbrauchs. Weitere wichtige Verbraucher sind die Sandfangbelüftung, die Klärschlammentwässerung und bei kleineren Anlagen auch die Elektroheizung. Zur Veranschaulichung der Teilprozessschritte bei Belebungsverfahren zeigt Abbildung 4-4 das Verfahrensschema einer entsprechenden Kläranlage.

Bei der **Klärschlammentwässerung** muss zwischen Vor- und Nachentwässerung unterschieden werden. Die **Vorentwässerung** dient der Voreindickung des Primär- und/oder Überschussschlamms bevor diese in den Faulbehälter eingebracht werden. Sie ist von entscheidender Bedeutung für den Wärmebedarf von Kläranlagen. Ohne Klärschlammtrocknung bestimmt die Faulung den Wärmebedarf der Anlage. 70-80 % des gesamten Wärmebedarfs benötigt die Aufwärmung des Schlamms, 10-20 % sind Abstrahlungsverluste des Faulbehälters. Damit kann der Wärmebedarf v. a. durch eine Reduzierung des Wasseranteils im Schlamm – also durch Voreindickung – erreicht werden. Die statische Voreindickung ist irrelevant für den Stromverbrauch und erzielt bei Primärschlamm bereits TS-Gehalte von 5 %, bei Überschussschlamm ohne Flockungshilfsmittel jedoch nur 1-2 %TS. Die maschinelle Überschussschlamm-Voreindickung erlaubt eine Verringerung des zu erwärmenden Schlammvolumens auf etwa ein Fünftel (ca. 6-8 % TS). Sie ist daher trotz erhöhter Stromkosten maßgeblich für die Energiebilanz. Insbesondere im Winter reicht bei Anlagen mit Faulgasnutzung im BHKW die darüber erzeugte Wärme teilweise nicht zur Deckung des Bedarfs aus und es wird zusätzlich Erdgas eingesetzt. Gleichzeitig verringert sich durch die Voreindickung die Rückbelastung mit Prozesswasser aus der Faulschlammentwässerung und es werden zusätzliche Kapazitäten durch längere Aufenthaltszeiten im Faulturm geschaffen. Die maschinelle Vorentwässerung wird nach (UBA 2008b) bisher nur für etwas mehr als die Hälfte der angeschlossenen Einwohner praktiziert. Sie erfolgt überwiegend über Zentrifugen (17 % der EW), Siebtrommeln (15 %), Bandeindicker (9 %) oder Flotation (5 %). Zur **Nachentwässerung** werden i.d.R. Kammerfilterpressen (33 % der EW) und v. a. bei größeren Anlagen Zentrifugen (47 % der EW) eingesetzt. Bandfilterpressen bilden eher die Ausnahme. Im Mittel wird durch die Nachentwässerung ein TS-Gehalt von 28 % erzielt. Der Stromverbrauch der maschinellen Klärschlammentwässe-

rung hat nur eine relativ geringe Streubreite und liegt im Bereich von 1-5 % des Gesamtverbrauchs. Im Durchschnitt liegt der Strombedarf bei etwa 2 kWh/(EW*a).



Quelle: bte/IFEU/ISA 2004

Abbildung 4-4: Verfahrensschema Belebungsverfahren

Neben den beiden oben genannten Belebungsverfahren gibt es v. a. in den unteren Größenklassen auch **(Tauch)Tropfköper**. Nach (UBA 2008b) sind (Tauch)Tropfköper zahlenmäßig mit über 10 % der Anlagen zwar häufig vertreten, sie beschränken sich aber nahezu ausschließlich auf GK 1 und 2 und damit auf nur rd. 0,5 % der angeschlossenen Einwohner. Allerdings sind (Tauch)Tropfköper wesentlich energieeffizienter als Belebungsverfahren. Sie könnten als einzige einen Zielwert für den Stromverbrauch von 7 kWh/(EW*a) erreichen. Sie erfordern nur eine vergleichsweise einfache maschinelle Ausstattung und sind nicht blähschlammgefährdet. Zudem fällt beim Tropfkörper weniger Überschussschlamm an. Nachteilig ist neben dem erheblichen baulichen Aufwand, dass mit Tropfkörpern zwar der Schritt zur biologischen Nitrifikation vollzogen werden kann, aber die Denitrifikation schwierig zu erreichen ist. Bei Tropfkörpern ist vor allem das Pumpwerk für die Beschickung des Tropfkörpers und die Art der Kreislaufführung entscheidend für den Energieverbrauch. Damit lässt sich dieses Verfahren über einen Kennwert für Pumpwerke hinsichtlich seiner Effizienz einschätzen (vgl. Kap. 4.4.1).

4.3.3 Neue bzw. weitergehende Verfahren bei der Abwasserreinigung

Weitere energierelevante Verfahrensschritte, die v. a. bei großen Kläranlagen vorkommen sind die Sandfiltration und die Abluftbehandlung.

Die **Sandfiltration** zählt wurde in den 90er Jahren v. a. auf sehr großen Kläranlagen (aktuell in 4 % der Anlagen, vgl. Abbildung 4-3) zur Einhaltung der verschärften Grenzwerte für die P-Elimination sowie einen weitergehenden Feststoffrückhalt eingerichtet. Bei Anlagen mit Sandfiltern kann von einem Mehrverbrauch von 25 % (2-12, im Mittel ca. 5 kWh/(EW*a)) ausgegangen werden. Sandfilter haben damit als tertiäre Reinigungsstufe einen großen Einfluss auf den Stromverbrauch. In jüngerer Zeit gab es kaum noch Neubauten. Allerdings werden Sandfilter inzwischen auch zur nachgeschalteten Denitrifikation eingesetzt und gewinnen angesichts einer Verschärfung der Grenzwerte für Nges in GK 5 neue Bedeutung. Heute lassen sich Sandfilter aber aufgrund der gewonnenen Betriebserfahrungen energieeffizienter konzipieren und betreiben. Der durchschnittliche Stromverbrauch durch Sandfilter kann mit 3 kWh/(EW*a) realisiert werden.

Zunehmend werden **Abluftbehandlungsanlagen** auf Kläranlagen installiert, häufig veranlasst durch weitergehende Anforderungen an die Emissionsminderung. Der Stand der Technik wird im DWA-Merkblatt M 204 dargestellt. Energierelevante Vorgabe darin ist ein 10- bis 12-facher Luftwechsel pro Stunde. Die wichtigsten Einflussfaktoren für den Energieverbrauch neben dem Luftwechsel sind vor allem die Größe des zu entlüftenden Raumes, klimatische Faktoren und die Art der Abluftbehandlung (z. B. Kamin, Biofilter, Aktivkohlefilter, Wäscher). Das zu entlüftende Volumen sollte möglichst gering sein zur Verringerung des erforderlichen Luftaustausches (engräumige Abdeckung, gekapselte Bereiche). Da sich der Energieverbrauch nur schwer auf die Schmutzfracht beziehen lässt, sind im Handbuch „Energie in Kläranlagen“ (MUNLV 1999) als Richtwerte folgende Stromverbräuche für die Abluftbehandlung genannt:

- Biofilter 2 – 2,5 kWh/1.000 m³ Abluft
- Wäscher 1,7 – 2 kWh/1.000 m³ Abluft
- Aktivkohle 0,8 – 0,9 kWh/1.000 m³ Abluft.

Für Kläranlagen gibt es nach (UBA 2008b) kaum Angaben über die Häufigkeit von Abluftbehandlungsanlagen auf Kläranlagen und noch weniger über den Energiebedarf solcher Anlagen. Allerdings handelt es sich um relevante Größenordnungen im Bereich 1-5 kWh/(EW*a). Die Effizienz der Abluftbehandlung ist im Einzelfall zu untersuchen. Neue Verfahren der Abwasserreinigung sind Membrananlagen, reine Hygienisierungsverfahren wie die UV-Desinfektion oder die Ozonung sowie eine separate Prozesswasserbehandlung.

Bei den **Membrananlagen** wird je nach Anordnung der Membranen im Prozess zwischen Membranbelebungsverfahren (Biomembrananlage) und einer nachgeschalteten Membranfiltration unterschieden. **Biomembrananlagen** steigern die Reinigungsleistung von Kläranlagen bezüglich Feinpartikeln (inkl. Bakterien, Viren) erheblich, verursachen aber umgekehrt bei durchschnittlichem Betrieb gegenüber konventionellen Verfahren eine Verfünffachung des gesamten Strombedarfs einer Kläranlage. Bei bestehenden Anlagen liegt der Gesamtstromverbrauch bei 120-130 kWh/(EW*a). Dieser lässt sich im Idealfall auf 82 kWh/(EW*a) reduzie-

ren (Zielwert nach (UBA 2008b)). Eine **nachgeschaltete Membranfiltration** (im Ablauf der Nachklärung) weist demgegenüber einen deutlich geringeren Stromverbrauch von im Mittel 13,7 kWh/(EW*a) auf. Sofern das wesentliche Ziel der Membranfiltration in der Hygienisierung des Ablaufs und der zusätzlichen Feststoff- bzw. P-Rückhaltung liegt, sollte aus energetischer Sicht unbedingt eine nachgeschaltete Anlage gewählt werden.

Zur Hygienisierung kann auch die **UV-Desinfektion** eingesetzt werden, ein physikalisches Verfahren mit dem ausschließlichen Ziel der Keimreduktion des bestrahlten Mediums. Die UV-Desinfektion wird zur Erfüllung der Anforderungen an die Badegewässerqualität eingesetzt. Nach bisherigen Erfahrungen liegt der zusätzliche Strombedarf bei 2,7 kWh/(EW*a).

Die Behandlung des Abwassers mit **Ozon** dient sowohl der Hygienisierung als auch zur Entfernung weiterer unerwünschter organischer Stoffe (z. B. Arzneimittel). Je nachdem worauf der Schwerpunkt gelegt wird, sind unterschiedliche Mengen an Ozon einzusetzen, woraus sich ein unterschiedlicher Strombedarf ergibt. Ebenfalls Einfluss auf den Energiebedarf hat die Herkunft des Ozons (Erzeugung aus atmosphärischer Luft oder aus Sauerstoff). Für eine effektive Hygienisierung muss nach (UBA 2009a) mit einem spezifischen Verbrauch von 20 kWh/(EW*a) gerechnet werden, sollen zusätzlich pharmakologisch wirksame Substanzen entfernt werden erhöht sich der Strombedarf auf bis zu 100 kWh/(EW*a).

Eine **separate Prozesswasserbehandlung** kann bei großen Kläranlagen sinnvoll sein. Üblicherweise werden Prozesswässer aus der Nachentwässerung von Klärschlamm oder der Mitentwässerung von Fremdschlämmen, der Klärschlammtrocknung und der Desintegration in den Hauptstrom zurückgeführt mit entsprechenden Auswirkungen auf den Betriebsmittel- und Energiebedarf zur Reinigung dieser v. a. stickstoffbelasteten Abwässer. Durch die separate Prozesswasserbehandlung kann der anteilige Strombedarf gegenüber der Behandlung im Hauptstrom von 6 kWh/kg $N_{elliminiert}$ auf 1,5-2 kWh/kg $N_{elliminiert}$ reduziert werden (UBA 2008b). Wird zur Behandlung eine MAP-Strippung eingesetzt ist dadurch eine zusätzliche Nährstoffrückgewinnung möglich.

Einen Überblick des derzeitigen durchschnittlichen Stromverbrauchs der beschriebenen weitergehenden und neuen Verfahren zeigt Tabelle 4-3. Die möglichen erreichbaren Zielwerte ausgewählter Verfahren werden in Kapitel 4.4 behandelt (vgl. Tabelle 4-5).

Tabelle 4-3: Derzeitiger Stromverbrauch von weitergehenden und neuen Verfahren

Anlage/Anlagenteil	Einheit	Mittlere Werte
Sandfilter im Ablauf	kWh/(EW*a)	5
Abluftbehandlung	kWh/(EW*a)	1-5
Biomemembrananlagen	kWh/(EW*a)	120-130
Membranfiltration	kWh/(EW*a)	13,7
UV-Desinfektion	kWh/(EW*a)	2,7
Ozonbehandlung	kWh/(EW*a)	20-100
Separate Prozesswasserbehandlung	kWh/kg $N_{elliminiert}$	1,5-2

Quelle: UBA 2008b

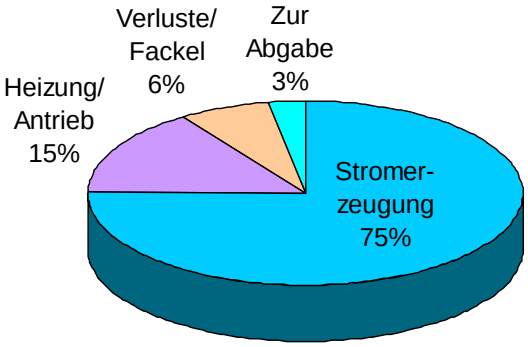
4.3.4 Klärgaserzeugung und -nutzung

2008 wurden in Deutschland rd. 722 Mio. m³ Klärgas mit einem Heizwert von 4.365 GWh bzw. einem Brennwert von rd. 5.100 GWh erzeugt. Nach (UBA 2008b) wurde der in Deutschland anfallende Rohschlamm im Jahr 2004

- zu 75 % anaerob in Faulbehältern stabilisiert
- zu 12 % aerob behandelt
- zu 13 % verbrannt, an andere Anlagen abgegeben oder anderweitig behandelt.

Gegenüber dem Jahr 2004 ist die behandelte Klärgasmenge um 4,7 % angestiegen. Wird der Anstieg auf eine Umstellung von aerober Behandlung auf anaerobe Behandlung zurückgeführt, entspräche der Anstieg der Klärgaserzeugung einem gegenwärtigen Anteil der anaeroben Behandlung in Faulbehältern von 79 %.

Die Nutzung des erzeugten Klärgases zeigt Abbildung 4-5. Der aus Klärgas erzeugte Strom wird größtenteils auf den Kläranlagen zur Eigenversorgung verwendet (ca. 750 GWh/a, ca. 17 % des Gesamtstromverbrauchs von Kläranlagen in Deutschland). Zusätzlich werden etwa 120 GWh/a (rd. 3 % des Gesamtstromverbrauchs) in die öffentlichen Netze abgegeben.



Quelle: STBA 2009c

Abbildung 4-5: Klärgasnutzung in Deutschland 2008

In Deutschland entspricht die Verwertung von Faulgas in stationären BHKW zur Strom- und Wärmeerzeugung dem Stand der Technik. Im Durchschnitt wird in Deutschland in der Praxis ein elektrischer Wirkungsgrad aus der Klärgasverstromung von etwa 31 % erreicht (Öko-Institut/IFEU 2010b). Demgegenüber sind nach Datenblättern von Köhler und Ziegler bzw. in (ASUE 2005), die explizit Werte für Klärgasmaschinen angeben, elektrische Wirkungsgrade von bis zu 41 % möglich, dies allerdings nur für größere Leistungsklassen ab etwa 1 MW_{el}. Aber auch unter den kleineren Leistungsklassen befinden sich Aggregate mit vergleichsweise hohem Wirkungsgrad. So z. B. mit 33 kW_{el} ein MAN Motor mit 33 % elektrischem Wirkungsgrad oder im Bereich 90 kW_{el} bis 150 kW_{el} Maschinen die elektrische Wirkungsgrade von 36 % bis 38 % aufweisen.

Bezüglich der gekoppelten Wärmeerzeugung durch Nutzung von Klärgas in BHKW sind über die Statistik keine Angaben ableitbar. In (Öko-Institut/IFEU 2010b) wurde von einem durchschnittlichen thermischen Wirkungsgrad von 49 % ausgegangen. Die erzeugte Wärmeenergie wird im Wesentlichen zur Wärmeversorgung der in der Regel mesophilen Faulung und der Gebäude auf der Kläranlage genutzt. Zusätzlich kommt auf einigen Kläranlagen die Abgas- und Kühlwasserwärme zur Unterstützung der Wärmeversorgung von Schlammtrocknungsanlagen zum Einsatz.

4.3.5 Klärschlammverbleib

Klärschlamm fällt auf den Kläranlagen in unterschiedlicher Form an je nachdem welches Stabilisierungsverfahren angewandt wird. Insbesondere bei Kläranlagen mit aerober Schlammbehandlung, die nach Anzahl über die Hälfte der Kläranlagen ausmachen, wird der Klärschlamm

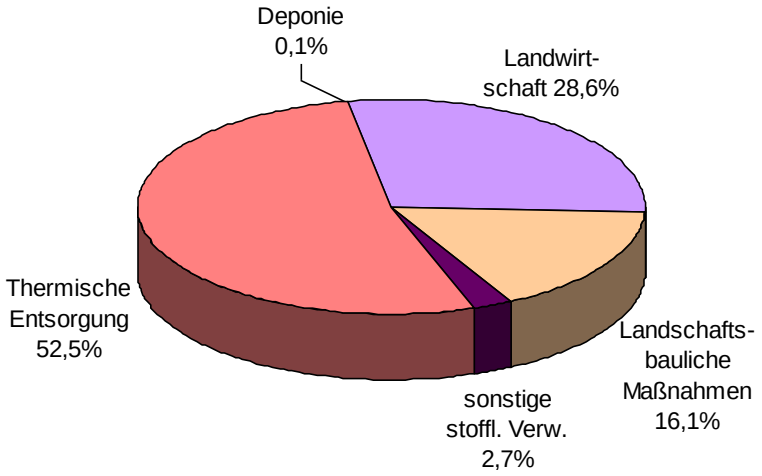
entweder nur eingedickt oder als Nassschlamm landwirtschaftlich verwertet oder die Klärschlammentwässerung wird von externen Entsorgern mit mobilen Aggregaten durchgeführt. Hierbei handelt es sich allerdings v. a. um kleinere Anlagen (GK 1 bis 3), an die nur 14 % der Einwohner angeschlossen sind. Auf großen Kläranlagen mit aerober Schlammstabilisierung (z. B. Kläranlage Frankfurt, Stuttgart) wird der anfallende Klärschlamm direkt in eigenen Verbrennungsanlagen eingesetzt (vgl. a. Kap. 4.3.4). Ansonsten stammt der Klärschlamm aus Anlagen mit anaerober Stabilisierung.

Einen Überblick über den aktuellen Klärschlammverbleib zeigt Abbildung 4-6. Mittlerweile überwiegt in Deutschland die thermische Entsorgung. Insgesamt fielen im Jahr 2008 rd. 2 Mio. t Trockensubstanz (TS) Klärschlamm an. Nach der thermischen Entsorgung ist der größte Absatzbereich die Landwirtschaft, gefolgt von landschaftsbaulichen Maßnahmen (z. B. Kompostierung, Rekultivierung). Von untergeordneter Bedeutung ist die sonstige stoffliche Verwertung. Die Deponierung von unvorbehandelten Klärschlämmen ist in Deutschland seit 2005 verboten.

Zur **thermischen Entsorgung** wird Klärschlamm zunächst maschinell entwässert. Dadurch kann der TS-Gehalt von etwa 3 % im Nassschlamm auf 28 % angehoben (vgl. auch Kap. 4.3.2). Im Weiteren wird der entwässerte Klärschlamm üblicherweise vor der Verbrennung getrocknet. Dies kann auf unterschiedliche Weise erfolgen:

- Hochtemperaturtrocknung (> 100 °C, bis über 450 °C; TS-Gehalt 90 %)
- Kaltluft- (40 °C) oder Niedertemperaturtrocknung (< 80 °C) (TS-Gehalt 90 %)
- solare Trocknung (im Mittel etwa TS-Gehalt 75 %, stark abh. von Jahreszeit).

Der Energiebedarf der Trocknung entspricht im Grundsatz der Verdampfungsenergie des Wassers. Hinzu kommen Energieverluste (je nach Verfahren 15-20 %). Daraus ergibt sich ein Wärmebedarf von 800-900 kWh/m³ Wasser (bzw. rund 600 kWh/t entwässerter Klärschlamm bzw. rd. 45 kWh/(EW*a)). Durch Wärmerückgewinnung aus den Brüden der Abluftbehandlung kann die Wärmebilanz verbessert werden. Jedoch steht üblicherweise nicht ausreichend Wärme aus der Eigenerzeugung der Kläranlage zur Verfügung. Bei thermischer Trocknung wird der Wärmebedarf der Kläranlage etwa verdoppelt. Selbst bei Niedertemperaturwärme können nur ca. 30 % des zusätzlichen Wärmebedarfs aus der Kühlwasserwärme des BHKW gedeckt werden. Abgesehen von der Möglichkeit der solaren Trocknung muss entsprechend entweder externe Wärme zugekauft werden oder der Klärschlamm wird als entwässerter Schlamm zur Verbrennungsanlage transportiert. Wenn die extern zuzukaufende Wärme auf fossilen Energieträgern basiert, ist es aus Klimaschutzsicht günstiger, den entwässerten Klärschlamm zur Verbrennungsanlage zu transportieren und mit der dort ansonsten ungenutzten Abwärme zu trocknen. Dies gilt selbst bei großen Entfernungen von 500 km (UBA 2008b). Die Trocknung erfordert zudem einen Strombedarf in der Größenordnung von 3-6 kWh/(EW*a) je nach Trocknungsverfahren.



Quelle: Destatis[23]

Abbildung 4-6: Klärschlammverbleib Deutschland 2008

Die letztendliche thermische Entsorgung kann in Monoverbrennungsanlagen, in Müllverbrennungsanlagen, Kraft- und Zementwerken oder in industriellen Feuerungsanlagen erfolgen. Die kostengünstigste Variante besteht trotz teils großer Entfernungen in der Mitverbrennung in Stein- und Braunkohlekraftwerken (UBA 2008b). In Deutschland werden Klärschlämme überwiegend in Kohlekraftwerken mitverbrannt und des Weiteren in Klärschlammverbrennungsanlagen. Die Mitverbrennung in MVA, Zementwerken oder industriellen Feuerungen ist von untergeordneter Bedeutung.

Die Art der Verbrennung hat Einfluss auf die Verfügbarkeit des im Klärschlamm gebundenen Phosphors. Mit dem in der Novelle der Abwasserverordnung vorgesehenen Verwertungsgebot für Phosphor müsste dieser bei Mitverbrennung vor der Verbrennung aus dem Klärschlamm separiert werden. Bei der Monoverbrennung kann der Phosphor auch aus der Asche zurück gewonnen werden. Nach (UBA 2008b) gibt es keinen signifikanten Unterschied zwischen den beiden Verfahren. Beide weisen ein Rückgewinnungspotenzial von 89 % des P im Zulauf der Kläranlage auf und für beide wird ein Treibhausgaseinsparpotenzial von 0,99 kg CO_2/(EW*a) angegeben für die Substitution von Mineraldünger. Dagegen wäre eine Rückgewinnung aus der

[23] http://www.destatis.de/jetspeed/portal/cms/Sites/destatis/Internet/DE/Navigation/Statistiken/Umwelt/UmweltstatistischeErhebungen/Wasserwirtschaft/Tabellen.psml

wässrigen Phase (dem Schlammwasser) nur mit einem Rückgewinnungspotenzial von ca. 42 % verbunden. Allgemein ist die Phosphor-Rückgewinnung aus Klärschlamm allerdings noch wenig verbreitet und es sind nur wenig belastbare Daten verfügbar. Die mögliche Nutzung des im Klärschlamm gebundenen Phosphors ist der wesentliche Vorteil der landwirtschaftlichen Verwertung des entwässerten Klärschlamms. Bislang geht der Phosphor üblicherweise bei Verbrennung verloren, da die Rückgewinnung aufwendig ist und zusätzliche Kosten bedingt.

4.4 Klimaschutz- und Effizienzmaßnahmen in Kläranlagen

Klimaschutz- und Effizienzmaßnahmen in Kläranlagen sind vor allem in den folgenden drei Bereichen relevant, die nachfolgend dargestellt werden:

- Energieverbrauch auf Kläranlagen
- Art und Umfang der Klärgaserzeugung und -nutzung
- Art der Klärschlammentsorgung.

4.4.1 Potenziale beim Energieverbrauch von Kläranlagen

In Kap. 4.3 wurde der Energieverbrauch von Kläranlagen dargestellt. Bei fast allen Kläranlagen (außer Tropfkörpern) ist die Belüftung der mit Abstand wichtigste Stromverbraucher. Weitere wesentliche Stromverbraucher sind Pumpwerke und des Weiteren auch Rührwerke. Zusammen bedingen diese Verbraucher bis zu 80 % des gesamten Stromverbrauchs von Kläranlagen und stellen damit die Hauptansatzpunkte für Optimierungen dar.

Eine pauschale Beurteilung der Energieeffizienz von Kläranlagen ist aufgrund der Vielfalt der realisierten Anlagen- und Verfahrenstechniken und der teils sehr unterschiedlichen Randbedingungen nicht zielführend. In (UBA 2008b) wurden ausgehend von der gegebenen Problematik für einen ersten Vergleich Ziel- und Toleranzwerte für die drei wesentlichen Standardverfahren – Tropfkörper, Belebungsanlagen mit Faulung und Belebungsanlagen mit aerober Schlammstabilisierung – abgeleitet. Aufgrund der geringen Bedeutung kleiner Kläranlagen (unter 5.000 EW) für die Gesamtenergiebilanz von Kläranlagen in Deutschland und der umgekehrt großen Anzahl und Vielfalt bestehender Anlagen in diesen Größenklassen andererseits, wurde auf die Vorgabe von Standardwerten für die Größenklassen 1 und 2 verzichtet. Unterschieden wurde jedoch nach den Größenklassen 3 bis 5 und im Prinzip sind nach Aussage der Autoren die Ziel- und Toleranzwerte für GK 3 auf kleinere Anlagen übertragbar. Bei den Anlagen der Größenklassen 3 und 4 ist zu beachten, dass in diesen sowohl Faulungsanlagen als auch Anlagen mit aerober Schlammstabilisierung vertreten sind, die sich hinsichtlich spezifischem Strombedarf und hinsichtlich Verteilung der Hauptverbraucher unterscheiden können.

Tabelle 4-4: Ziel-, Toleranz- und Ist-Werte für den Energieverbrauch

Anlage/-Anlagenteil	Parameter	Einheit	Ist-Wert	Zielwert	Toleranzwert	
			alle	GK 3-5	GK 3	GK 4+5
Kläranlage insgesamt	Stromverbrauch	kWh/(EW*a)	35	18	35	30
Kläranlage mit Faulung	Eigenversor-gungsgrad Strom	%	rd. 33	100	-	60
Kläranlage mit Faulung	externer Wärmebezug	kWh/(EW*a)	n.b.	0	-	3
Faulung	Menge Faulgas (Normbed.)	l/(EW*d)	19,6	30	-	20
Belüftung Belebung	Stromverbrauch	kWh/(EW*a)	16	10	18	16
Pumpwerke	Stromverbrauch	Wh/(m³*m)	[1)]	4	-	6

[1)] Für den mittleren spezifischen Ist-Stromverbrauch wird für Pumpen ein Wert von 5 kWh/(EW*a) angegeben

Quelle: UBA 2008b

Ergänzend zu der Einteilung nach Verfahrensart werden in (UBA 2008b) auch spezifische Zielwerte für die Belüftung und Pumpwerke angegeben. Dies soll dem Umstand Rechnung getragen, dass diese grundsätzlich wichtige Stromverbraucher darstellen. Auch sollten diese aus Gründen der Betriebsstabilität immer auf Energieeffizienz überprüft werden, so dass sich hier die Vorgabe spezifischer Zielwerte nicht nur aus energetischer Sicht lohnt. Eine Übersicht über die insgesamt abgeleiteten Ziel- und Toleranzwerte sowie die ebenfalls in (UBA 2008b) angegebenen Ist-Werte zeigt Tabelle 4-4. In Tabelle 4-5 sind die Stromverbräuche von weiterführenden oder neuen Verfahren angegeben, die in Kap. 4.3.3 erläutert sind. Die Ziel- und Toleranzwerte in Tabelle 4-4 wurden auf Basis folgender Annahmen abgeleitet:

- Gesamtabwassermenge 91 m³/(EW*a) bzw. 250 l/(EW*a)
- Förderhöhe Zulaufpumpwerk ≤ 3 m
- N/BSB_5-Verhältnis im Zulauf ≤ 0,2.

Tabelle 4-5: Zuschläge für Kläranlagen insgesamt und Kläranlagen mit Faulung

Anlage/Anlagenteil	Parameter	Einheit	Zielwert	Toleranzwert	
Sandfilter im Ablauf	Stromverbrauch	kWh/(EW*a)	2	-	4
Membranfiltration	Stromverbrauch	kWh/(EW*a)	9	14	14
Biomembran-Anlage anstelle biol. Stufe	Stromverbrauch	kWh/(EW*a)	82	130	120
Klärschlammtrocknung	Stromverbrauch	kWh/(EW*a)	2	-	4
Abluftbehandlung	Stromverbrauch	kWh/(1000 m³*h)	1	2,5	2

Quelle: UBA 2008b

Zur Beurteilung der Energieeffizienz von Kläranlagen können die in Tabelle 4-4 und Tabelle 4-5 angegebenen Werte verwendet werden. Voraussetzung für einen Vergleich ist eine transparente Erhebung der Energieverbräuche innerhalb einer Kläranlage durch Installation entsprechender Stromzähler. Dadurch wird es möglich, die meist ähnlich konzipierten Hauptverbraucher (Belüftung, Pumpwerk) mit den spezifischen Zielwerten zu vergleichen und die Ursache für höhere Energieverbräuche besser einschätzen zu können. Des Weiteren muss ein Abgleich mit den o. g. Basisannahmen erfolgen. Eine größere spezifische Abwassermenge (z. B. hoher Fremdwasseranteil), eine größere Förderhöhe (z. B. wegen niedriger liegender Kanalisation) oder eine stärkere N-Belastung führen zu höheren Stromverbräuchen. Inwiefern diese beeinflusst werden können (z. B. Fremdwasseranteil, vgl. Kap. 4.5) muss im Einzelfall geprüft werden. Grundsätzlich bilden die Zielwerte ein Optimum ab, das je nach Randbedingungen nicht von allen Kläranlagen mit wirtschaftlichem Aufwand erreicht werden kann. Zusätzliche Verfahrensstufen können über die Zuschläge in Tabelle 4-5 bewertet werden. Die in den Tabellen aufgeführten Toleranzwerte beschreiben die Energieeffizienz, die üblicherweise bei optimierter Betriebsweise von Kläranlagen mit vertretbarem Aufwand erreicht werden kann.

Der Abgleich mit den Ziel- und Toleranzwerten ist im Wesentlichen zunächst als Orientierungshilfe zu verstehen. Bei deutlich höheren Werten sollte unbedingt eine Feinanalyse durchgeführt werden nach den Standards des Handbuchs „Energie in Kläranlagen“ (MUNLV 1999). Künftig kann ggf. auch ein detaillierter Abgleich mit technischen Richtwerten erfolgen, die derzeit von einer Bund/Länder-Arbeitsgruppe erarbeitet werden (UBA 2009a). Die technischen Richtwerte sollen sowohl den Energieverbrauch für Anlagenteile umfassen wie auch die Selbstversorgung mit Strom und Wärme durch Klärgasgewinnung und -nutzung.

Für die drei Hauptverbraucher auf Kläranlagen, die Belüftung, Pumpen und Rührwerke, sind die wichtigsten Ansatzpunkte für eine Steigerung der Energieeffizienz folgende:

Belüftung:

- Auswahl, Beaufschlagung und Anordnung der Belüfterelemente
- Art der Belüftungsregelung (NH_4-Regelung, Kaskaden).

Pumpen:

- Effiziente Laufräder, regelmäßige Wartung (z. B. Nachstellen des Ringspaltes bei Kreiselpumpen)
- Verminderung von Kreislaufführung, Abstürzen (Förderhöhe) und Druckverlusten

Rührwerke:

- Wahl von Langsamläufern mit bedarfsgerechter Leistung
- Intervallbetrieb.

Der Ersatz einer konventionellen Belüftungsregelung über Sauerstoffsollwert durch eine Regelung nach NH_4-Konzentration im Belebungsbecken führt in der Regel zu Stromeinsparungen bei der Belüftung von ca. 5 bis 10 %. Bei Stabilisierungsanlagen kann diese Einsparung durch die verstärkte Denitrifikation noch deutlich höher liegen. Insgesamt kann durch Optimierung der Belüftung – Austausch der Belüfter, Optimierung der Belüfteranordnung und Regelung der Belüftung über on-line-Messung der Ammoniumkonzentration (im Ablauf der biologischen Stufe) unter Umständen mehr als 50 % der Belüftungsenergie bzw. bis zu 10 kWh/(EW*a) eingespart werden (UBA 2009a).

Bei Pumpwerken sind wichtige Einflussfaktoren wie Förderhöhe und Pumpentyp beim Bau bereits weitgehend festgelegt. Die genannten Optimierungen beziehen sich auf den laufenden Betrieb. Hier ist der Austausch des Laufrades oder von Pumpen mit schlechtem Wirkungsgrad eine wichtiger Optimierungsansatz. Aktuell auf dem Markt verfügbare optimierte Aggregate sind mittlerweile auch weniger verstopfungsanfällig. Des Weiteren denkbar ist auch eine Einsparung über eine verringerte gesamte (kumulierte) Förderhöhe, die einen großen Einfluss auf den Energieverbrauch von Pumpen haben kann[24]. Durch Reduzierung der Kreislaufführung, Vermeidung von Druckverlusten (ausreichende Bemessung von Rohrleitungen und Armaturen) und Einsatz effizienter Pumpen mit geringer Verstopfungsanfälligkeit, könnte der Energiebedarf um bis zu 4 kWh/(EW*a) reduziert werden.

Insgesamt wird der Stromverbrauch auf Kläranlagen fast ausschließlich durch Elektromotoren verursacht. Der Einsatz von Elektromotoren der Effizienzklasse IE3 kann bei den auf Kläranlagen häufigen Baugrößen unter 50 KW deutliche Verbesserungen in den Wirkungsgraden erbringen. Diese können bis zu 5 %-Punkte höher liegen. Der bessere Wirkungsgrad macht sich nicht nur bei der Stromeinsparung bemerkbar, sondern führt auch zu einer geringeren Erwärmung (die Umwandlungsverluste werden um ca. 40 % verringert) und damit zu einer höheren Lebensdauer der Aggregate ohne dass die Funktion eingeschränkt wäre.

Zielwert für Tropfkörper

In (UBA 2008b) wird als Zielwert ein Strombedarf von 4 kWh/(m^3*m) für Pumpwerke angegeben mit einem Gesamtwirkungsgrad von bis zu 0,7. Entsprechende Aggregate mit neuen Laufradtypen und ausreichender Verstopfungssicherheit für Rohabwasser sind heute auf dem Markt verfügbar. Allerdings ist bei Pumpen im Betrieb teils mit deutlichen Verschleiß- und damit

[24] Die kumulierte Förderhöhe entspricht dem Produkt aus manometrischer Förderhöhe und jeweils eingestellter prozentualer Kreislaufführung (bezogen auf die Zulaufmenge). Wird z. B. bei der Denitrifikation eine hohe interne Rezirkulation von 500 % des Zulaufes mit nur einem Gegendruck von 0,25 bar gefahren, beträgt die kumulierte Förderhöhe für dieses Pumpwerk bereits 5 x 2,5 m = 12,5 m, d. h. jeder m^3 Abwasser muss insgesamt 12,5 m gehoben werden.

Wirkungsgradverlusten zu rechnen. Deswegen wird im Weiteren ein Toleranzwert von 6 kWh/(m^3*m) bei einem Wirkungsgrad von 0,45 angegeben.

Energie- und THG-Minderung

In (UBA 2008b) wurden verschiedene Szenarien zur möglichen Stromeinsparung berechnet. Auf Basis der ermittelten Ergebnisse wurden auch mögliche bundesweite Treibhausgaseinsparungen abgeleitet. Hierzu wurde angenommen, dass durch effizientere Belüftung, verbesserte Steuerung der Aggregate und Einsatz von Motoren und Pumpen der höchsten Effizienzklasse eine durchschnittliche Stromeinsparung von 20 % bundesweit realistisch erreicht werden kann. Ausgehend vom derzeitigen jährlichen Stromverbrauch der Kläranlagen in Deutschland von etwa 4.400 GWh entspricht dies einer Einsparung von rd. 880 GWh. In (UBA 2009a) wird die daraus resultierende Treibhausgasminderung mit ca. 600.000 Tonnen CO_2-Äq pro Jahr angegeben[25].

In einer eigenen kürzlich veröffentlichten Studie wurden ähnliche Abschätzungen vorgenommen. Zum besseren Vergleich wird o. g. Betrachtung analog zum Vorgehen in (Öko-Institut/IFEU 2010b) berechnet. Anstelle einer durchschnittlichen Stromerzeugung in Deutschland zur Anrechnung der vermiedenen Treibhausgasemissionen wurde darin der nach BMU-Methode vorgegebene Marginalansatz bzgl. der erzielbaren Treibhausgasminderung pro kWh Strom verwendet:

Emissionsfaktor für Marginalstromsubstitution = 0,887 kg CO_2-Äq/kWh[26]

Die o. g. Reduzierung des Strombedarfs auf Kläranlagen in Deutschland um 20 % ergibt unter Zugrundelegen des Emissionsfaktors nach Marginalansatz eine jährliche Treibhausgaseinsparung von rund 780.000 Tonnen CO_2-Äquivalente pro Jahr. In (Öko-Institut/IFEU 2010b) wurde eine Maximalabschätzung durchgeführt. Ausgehend vom durchschnittlichen Strombedarf von Kläranlagen von 35 kWh/(EW*a) wurde angenommen, dass alle Kläranlagen der Größenklasse 4 und 5, die insgesamt knapp 87 % des gesamten Stromverbrauchs von Kläranlagen in Deutschland bedingen, den Zielwert nach (UBA 2008b) von 18 kWh/(EW*a) erreichen. Bezogen auf den gesamten Stromverbrauch von Kläranlagen in Deutschland von rd. 4.400 GWh entspricht dies einer Minderung des Stromverbrauchs um 42 %. Unter Zugrundelegen des Emissionsfaktors nach Marginalansatz wird dadurch eine Treibhausgasminderung von rund 1.640.000 Tonnen CO_2-Äquivalente erreicht (Tabelle 4-6).

---

[25] Berechnungsgrundlage in (UBA 2008) ist eine spezifischer Emissionsfaktor für Strom von 0,682 kg CO_2-Äq/kwh

[26] 59 % Steinkohle, 16 % Braunkohle, 25 % Erdgas nach (ISI 2009) für das Jahr 2006 (ebenfalls in der Studie veröffentlichte Ergebnisse für das Jahr 2007 wurden nicht herangezogen, da hier hohe Abweichungen aufgrund hoher Stillstände von Kernkraftwerken gegeben waren).

Tabelle 4-6: Mögliche Treibhausgaseinsparungen durch Steigerung der Energieeffizienz

	Stromverbrauch GWh/a	**Minderung THG t CO_2-Äq/a***
Ist-Zustand	4.409	-
Minderung um 20 % (real)	882	780.000
Minderung um 42 % (max.)	1.852	1.640.000
		* Werte gerundet

Investitionskosten

Eine Voraussetzung zur Beurteilung von Kläranlagen – die Installation von Stromzählern für die wichtigsten Verbraucher – ist nach (UBA 2008b) mit geringen Kosten verbunden. Alle weiteren Maßnahmen zur Optimierung einer Kläranlage können sich in Abhängigkeit vom konkreten Einzelfall in den Kosten sehr unterschiedlich darstellen. Einige Kostenbeispiele sind nachfolgend beschrieben.

Die Umstellung der Belüftungsregelung von der üblichen Sauerstoffmessung zu einer Regelung nach der Ammoniumkonzentration ist mit Investitionskosten von unter 5.000 € pro Sonde verbunden und ist deswegen sowie aufgrund der einfachen Wartung nach (UBA 2008b) auch für Kläranlagen unter 10.000 EW interessant.

Die Kosten für die Reinigung oder einen Austausch der Belüfterelemente sind relativ gering. Nach (UBA 2008b) kann regelmäßig von einer hohen Wirtschaftlichkeit der Maßnahme ausgegangen werden.

Bei Elektromotoren machen die Energiekosten betriebswirtschaftlich gesehen rund 95 % der Lebenszykluskosten eines Motors aus, so dass sich ein ca. 10 % höherer Kaufpreis von IE3-Motoren vor allem bei hohen Laufleistungen (> 5.000 h/a) innerhalb weniger Monate amortisiert hat. Das Einsparpotenzial von rund 3 bis 5 % des gesamten Stromverbrauches ist damit sogar hoch rentabel.

Hemmnisse

Kläranlagen sind häufig historisch gewachsen. Anlagenteile wurden in Abhängigkeit der geforderten Reinigungsleistung sukzessive installiert und empirisch über eine Vielzahl von Versuchsphasen aufeinander abgestimmt. Die erzielte Betriebssicherheit ist für Anlagenbetreiber ein sehr wichtiges Kriterium und Veränderungen bzw. Neuerungen werden zunächst skeptisch betrachtet. Eine „nur“ energetisch begründete Änderung wird häufig abgelehnt, weil entweder schon negative Betriebserfahrungen damit vorliegen oder befürchtet werden. Problematisch ist hierbei, dass sich Änderungen teils nur schleichend oder erst nach langen Zeiträumen bemerkbar machen. Dies gilt beispielsweise für Änderungen der Belüftungsregelung, die sich auf die

Absetzbarkeit des Belebtschlamms auswirken oder auch für Verstopfungsanfälligkeiten von Pumpen bei geänderter Drehzahl (UBA 2008b).

Die Wirtschaftlichkeit einer Maßnahme wie oben beschrieben wird oft nicht objektiv betrachtet. Vielmehr lassen sich die zunächst erforderlichen höheren Investitionskosten angesichts knapper Haushaltskassen in den Kommunen teils nur schwer durchsetzen, zumal die Energiekosten gegenüber den Kapital- und Fixkosten auf Kläranlagen von untergeordneter Bedeutung sind.

Nach Angaben in (UBA 2008b) haben Erfahrungen gezeigt, dass selbst bei einer expliziten Forderung von IE3-Standard in Ausschreibungen die Umsetzung schwierig bis unmöglich war, da preiswerte Standardpumpen nur teilweise und nach mehrmaligem Nachfragen sowie mit erheblichen Verzögerungen bei der Lieferzeit mit IE3-Motoren ausgerüstet werden konnten. Hier wäre eine gesetzliche Regelung oder eine Verbändevereinbarung über den standardmäßigen Einsatz von IE3-Motoren sinnvoll.

4.4.2 Potenziale der Klärgaserzeugung und -nutzung

Grundsätzlich bestehen Potenziale bei der Klärgaserzeugung und -nutzung in einer Steigerung der Klärgasmenge und in einer effizienteren Nutzung des erzeugten Klärgases.

Für die Steigerung der Klärgasmenge sind verschiedene Ansätze denkbar. Zunächst ist es möglich, dass die Klärgaserzeugung selbst optimiert werden kann. Als Orientierungshilfe zur Beurteilung kann die durchschnittliche Faulgasmenge herangezogen werden (19,6 l/(EW*d), vgl. auch Tabelle 4-4). Gründe für eine geringere Ausbeute können eine unregelmäßige Schlammzugabe, schwankende Temperaturen im Faulbehälter, fehlende maschinelle Voreindickung des Überschussschlamms oder kurze Aufenthaltszeiten im Faulbehälter sein. Die basierend darauf möglicherweise gegebenen bundesweiten Potenziale können jedoch nicht abgeschätzt werden, dies wäre nur bei einer entsprechenden Analyse aller Kläranlagen möglich.

Eine weitere Möglichkeit der Steigerung der Klärgaserzeugung besteht in der Co-Fermentation von Abfällen. Dieser Aspekt wird in (UBA 2008b) als der mit dem mit Abstand höchsten Potenzial ausgewiesen. Dort wird eine Steigerung der Faulgasmenge auf 25 l/(EW*d) zu 90 % angenommen und eine Verstromung des Klärgases mit einem Wirkungsgrad von 35 %, woraus sich eine Verdopplung der gegebenen Stromerzeugung errechnet. Allerdings erscheint diese Annahme der Steigerung des Faulgasertrages durchaus ambitioniert. Zudem ist hier generell anzumerken, dass nicht jede Abfallart für eine Co-Fermentation sinnvoll und geeignet ist. Neben stofflichen Eigenschaften (Schadstoffbelastung, Eignung zur Vergärung) sind hier auch bestehende Entsorgungsstrukturen zu beachten sowie die Möglichkeit einer höherwertigen Verwertung. Beispielsweise entfällt für biogene Abfälle, die üblicherweise in Bioabfallanlagen vergoren oder kompostiert werden, die stoffliche Nutzungsmöglichkeit zur Torfsubstitution. Hier wird dringend empfohlen die mit der Novelle der Abwasserverordnung vorgesehene Be-

günstigung der Co-Fermentation z. B. mit dem Merkblatt des LUA NRW (2000) zu verbinden, in dem wichtige Anforderungen an die Mitbehandlung von Substraten in Faulbehältern formuliert sind. Die Co-Fermentation wird hier nicht in eine Potenzialabschätzung einbezogen, da dies nach Ansicht der Autoren mit zu großen Unsicherheiten behaftet wäre.

Statistisch ableitbar sind allerdings Potenziale der Steigerung der Klärgaserzeugung durch Umstellung von aerober Schlammbehandlung auf anaerobe Faulung. Nach der in Kapitel 4.3.4 angegebenen Einschätzung wird derzeit Rohschlamm zu 79 % anaerob behandelt. In (Öko-Institut/IFEU 2010b) wurde hier eine Maximalabschätzung untersucht, nach der bundesweit insgesamt 95 % des anfallenden Rohschlamms anaerob behandelt werden könnte. Eine Umstellung käme v. a. für große Anlagen in Frage wie z. B. den Kläranlagen Frankfurt und Stuttgart, die anfallenden Rohschlamm direkt verbrennen. Auf der Kläranlage selbst hätte die Umstellung keine nennenswerten Auswirkungen auf Treibhausgasemissionen der Abwasserreinigung (Lachgas, Methan). Allerdings kann bei einer Umstellung von einer Rohschlammverbrennung auf eine Verbrennung von ausgefaultem Klärschlamm von einer Verringerung der dabei anfallenden Lachgasemissionsfrachten ausgegangen werden. Dieser Aspekt wird in der nachfolgenden Treibhausgasbilanz allerdings nicht mit quantifiziert, da dies eine umfassendere Systemraumbetrachtung erfordern würde. Ebenfalls wird auf eine Abschätzung des Einflusses auf den Strombedarf der Kläranlage verzichtet. Grundsätzlich besteht zwar eine theoretische Stromeinsparung bei der Belüftung von Belebungsanlagen mit Faulung gegenüber der simultanen aeroben Stabilisierung, diese ist in der Praxis aber nicht unbedingt erkennbar, weil der Unterschied durch zusätzliche Stromverbräuche an anderer Stelle überkompensiert wird (höhere Kreislaufführung, Umwälzung Faulturm, Rückbelastung, etc.) (UBA 2008b).

Neben der Steigerung der Klärgasmenge besteht ein weiteres Optimierungspotenzial in der vollständigen Nutzung des Klärgases in effizienten BHKW. Derzeit wird Klärgas nur zu 78 % zur Stromerzeugung genutzt (vgl. Kap. 4.3.4, 75 % Eigenversorgung + 3 % Einspeisung ins öffentliche Netz). Dieser Anteil könnte auf knapp 94 % gesteigert werden, wenn die bislang zur reinen Wärmeerzeugung eingesetzten Mengen ebenfalls in BHKW verstromt würden (rd. 6 % werden als unvermeidbare Verluste wie Ist angenommen, vgl. Abbildung 4-5). Des Weiteren beläuft sich der durchschnittliche elektrische Wirkungsgrad der installierten BHKW lediglich auf rd. 31 %. Demgegenüber könnten deutlich effizientere Aggregate eingesetzt werden. In (Öko-Institut/IFEU 2010b) wurden zwei verschiedene BHKW-Größen betrachtet, die unterschiedliche Realisierungsmöglichkeiten auf Kläranlagen berücksichtigen. Nachfolgend werden die Ergebnisse für das größere BHKW aufgezeigt. Der Nettostromwirkungsgrad beträgt dabei 38 %, der thermische Wirkungsgrad 41 %.

Durch die o. g. Annahmen einer gesteigerten Stromerzeugung kann es ggf. auf Anlagen zu Problemen mit der Wärmeeigenversorgung kommen, da umgekehrt entsprechend geringere Wärmemengen zur Verfügung stehen. In diesem Zusammenhang ist auf die Bedeutung einer

maschinellen Voreindickung von Überschussschlamm hinzuweisen. Durch diese kann die im Faulbehälter zu behandelnde Schlammmenge auf bis zu einem Fünftel reduziert werden. Das heißt es müssen 4/5 weniger Schlammmasse (Wasser) im Faulbehälter behandelt und erwärmt werden, wodurch eine signifikante Reduzierung des Wärmebedarfs erreicht wird. Kläranlagen sollten unbedingt mit einer entsprechenden maschinellen Voreindickung ausgestattet sein. Der zusätzlich dafür erforderliche Strombedarf ist gering (vgl. Kap. 4.3.2).

Energie- und THG-Minderung

Aus den in (Öko-Institut/IFEU 2010b) abgeschätzten Potenzialen zur Treibhausgaseinsparung sind nachfolgend nur jene beispielhaft herausgegriffen, die oben beschrieben wurden. Ausgehend vom Ist-Zustand sind das die Annahme einer vollständigen Verstromung des gegenwärtig erzeugten Klärgases (abzgl. Verluste) in einem BHKW mit einem elektrischen Wirkungsgrad von 38 % sowie im Weiteren die Annahme einer Umstellung auf anaerobe Faulung von derzeit 79 % auf 95 %. Abweichend zu (Öko-Institut/IFEU 2010b) werden ausschließlich die Effekte einer gesteigerten Stromerzeugung betrachtet. Bzgl. der Wärme wird nicht davon ausgegangen, dass diese extern genutzt werden kann. Es wird eine vollständige Eigenversorgung der Kläranlagen mit Wärme angenommen.

Emissionsfaktor für Marginalstromsubstitution = 0,887 kg CO_2-Äq/kWh[27]

Tabelle 4-7 zeigt das Ergebnis der möglichen Treibhausgasminderung durch die beschriebenen Maßnahmen. Auch hier wurde die Stromgutschrift mit dem Emissionsfaktor für Marginalstrom berechnet.

Tabelle 4-7: Mögliche Treibhausgaseinsparungen durch Steigerung der Klärgaserzeugung und Nutzung in effizienteren BHKW

	Stromerzeugung GWh/a	**Einsparung THG t CO_2-Äq/a**	**Minderung THG t CO_2-Äq/a**
Ist-Zustand	1.060	940.540	-
Vollständige Nutzung in BHKW eta el 38 %	1.550	1.376.280	435.740
Zusätzlich Steigerung der anaeroben Faulung auf 95 %	1.880	1.665.360	724.820
			Werte gerundet

Quelle: Öko-Institut/IFEU 2010b

[27] 59 % Steinkohle, 16 % Braunkohle, 25 % Erdgas nach (ISI 2009) für das Jahr 2006 (ebenfalls in der Studie veröffentlichte Ergebnisse für das Jahr 2007 wurden nicht herangezogen, da hier hohe Abweichungen aufgrund hoher Stillstände von Kernkraftwerken gegeben waren).

Investitionskosten

Eine Umstellung von aerober Schlammbehandlung auf anaerobe Faulung ist mit hohen Investitionskosten verbunden. In (UBA 2008b) wurden ebenfalls die Effekte einer Umstellung untersucht. Bei einer angenommenen Steigerung der Umstellung von Kläranlagen der Größenklasse 4 auf 95 %[28] werden Investitionskosten von etwa 1 Mrd. € angegeben. Eine Umstellung auf Schlammfaulung ist danach i.d.R. nur im Zuge von ohnehin fälligen Umbauten und Erweiterungen oder bei Mitbehandlung im Faulturm einer benachbarten Kläranlage sinnvoll.

Für das bisher ungenutzte Faulgas wäre theoretisch eine zusätzliche BHKW Kapazität von etwa 60 MW erforderlich. In (UBA 2008b) wird angenommen, dass davon mindestens ein Drittel bereits als ungenutzte Kapazitätsreserve vorhanden sein dürfte. Den erforderlichen Neuinvestitionen von geschätzt 100 Millionen € stünden bis zu 75 Mio. €/a an Stromeinsparungen gegenüber (bei 10 ct./kWh). Die spezifischen Investitionskosten für konventionelle BHKW sind mit rd. 1.500 €/kW angegeben.

Hemmnisse

Das wesentliche Hemmnis liegt bei der Optimierung der Klärgaserzeugung und -nutzung in den Kosten. Die Investitionen für eine Umstellung sind erheblich, aber auch die Neuinvestition für ein BHKW stellt eine beachtliche Investitionsentscheidung dar. Immerhin sind für ein 500 kW_{el}-BHKW rund 750.000 € aufzubringen.

4.4.3 Potenziale der Klärschlammentsorgung

Aus Klima- und Energieeffizienzsicht besteht das Potenzial bei der Klärschlammentsorgung in der verstärkten Klärschlammverbrennung. Die Kapazitäten hierfür könnten nach Aussage von Betreibern problemlos bereitgestellt werden. So gaben 2004 vier große Kraftwerksbetreiber die Zusage, dass innerhalb von neun Monaten der gesamt anfallende Klärschlamm mitverbrannt werden könnte (anlagenscharf nachgewiesen) (UBA 2008b).

In (UBA 2008b) wurden verschiedenen Klärschlammentsorgungspfade untersucht aus denen schließlich zur Einschätzung des bundesweiten Potenzials zwei Szenarien abgeleitet wurden – ein günstiges und ein ungünstiges –, die hier herangezogen werden.

---

[28] In (UBA 2008) wird geschätzt, dass Kläranlagen der GK 5 zu 100 % eine anaerobe Faulung aufweisen und 60 % der Kläranlagen der GK 4. Die Annahme einer Ausweitung auf 95 % in GK 4 entspricht einer Steigerung der Faulgasmenge um 16 %. Die Annahme in dieser Studie einer Ausweitung auf 95 % bezogen auf alle Kläranlagen entspricht einer Steigerung der Faulgasmenge um 20 %.

1. Energetisch optimale Klärschlammentsorgung

In Kläranlagen der GK 2 und 3 wird der Klärschlamm solar oder mit ungenutzter Abwärme getrocknet oder mittels Klärschlammvererdung auf ca. 50 % entwässert. Hierfür wurde eine Gutschrift von 19 kg CO_2/(EW*a) berechnet[29]. In Kläranlagen der GK 4 und 5 wird der Klärschlamm zu 80 % am Kraftwerk mit ungenutzter Abwärme getrocknet. Für den Großteil des Schlamms wird angenommen, dass sich die Kraftwerke in der Nähe der Kläranlagen befinden. Hierfür wird die Gutschrift mit 17,5 kg CO_2/(EW*a) angegeben. Für die restlichen 20 % der GK 4 und 5 wird unterstellt, dass der entwässerte Klärschlamm ohne Trocknung nahe der Kläranlage verbrannt wird. Die Gutschrift beträgt 7 kg CO_2/(EW*a).

2. Energetisch ungünstige Klärschlammentsorgung

Entwässerter Klärschlamm der GK 2 und 3 wird in weit entfernten Kraftwerken ohne Trocknung verbrannt. Die Gutschrift beträgt ca. 3 kg CO_2/(EW*a). In GK 4 und 5 wird Klärschlamm unter Einsatz von fossilen Energieträgern getrocknet und anschließend im Kraftwerk verbrannt (mittlere Transportentfernung). Die Gutschrift beträgt ca. 4 kg CO_2/(EW*a).

Bezeichnend für die bereits angegebenen Ergebnisse ist, dass selbst bei einer Trocknung des Klärschlamms mit fossilen Energieträgern eine Gutschrift erzielt wird. Dies ist u. a. auf die in (UBA 2008b) getroffenen Annahmen zurückzuführen, wonach die Trocknungsenergie im Wesentlichen durch Erdgas bereitgestellt wird, durch den Einsatz im Kraftwerk aber Kohle ersetzt wird und zwar hälftig Braun- und Steinkohle. Die in (UBA 2008b) verwendeten Emissionsfaktoren sind:

- für je 50 % Stein- und Braunkohle: 380,5 g CO_2/kWh Brennstoff ((350 + 411,5)/2)
- Erdgaswärme für Trocknung: 297,5 g CO_2/kWh Wärme.

Weitere angesetzte Parameter waren:

- Klärschlammtransport Lkw-D-Mix: 129,647 g CO_2/tkm
- Klärschlamm mit GV 50-55 % und einem Heizwert von ca. 11 MJ/kg (→ umgerechnet dann 1,2 MJ/kg bei 28 % TS, 7,6 MJ/kg bei 75 % TS und 9,6 MJ/kg bei 90 % TS)
- Strombedarf thermische Trocknung: 100 kWh/t Wasserverdampfung
- Strombedarf solare Trocknung: 25 kWh/t Wasserverdampfung
- Emissionsfaktor Netzstrom: 682 g CO_2/kWh Strom.

Die Phosphorrückgewinnung wurde in den Szenarien nicht berücksichtigt und damit auch nicht die entgangenen Nutzen durch die vollständige Verbrennung anstatt landwirtschaftliche Nutzung des Klärschlamms. Auch nicht betrachtet wurde eine Ist-Situation, insofern kann hier nur

[29] (UBA 2008) enthält keine Angabe über die anschließende Klärschlammverbrennung, wahrscheinlich wurde hier eine Verbrennung in Anlagennähe angenommen.

abgeschätzt werden, wie hoch der zusätzlich Beitrag zur Treibhausgasminderung ausfallen würde.

Grundsätzlich zeigen die Zahlen aber auch die Bedeutung der Art der Klärschlammtrocknung. Auch wenn hier bei fossilem Energieeinsatz noch eine Nettoentlastung erreicht wird, so wird doch deutlich, dass der Einsparungsbeitrag um ein Vielfaches höher liegt, wenn die Klärschlammtrocknung mit ungenutzter Abwärme und/oder solar erfolgt. Hier empfiehlt sich eine rechtliche Vorgabe.

Energie- und THG-Minderung

In (UBA 2008b) wurden im Ergebnis für die beiden oben beschriebenen Szenarien Treibhausgasminderungen von 500.000 Tonnen CO_2-Äquivalenten im ungünstigen Fall und von 2 Mio. Tonnen CO_2-Äquivalenten im energetisch optimierten Fall errechnet. Wie oben erwähnt entsprechen diese Mengen nicht der zusätzlich erzielbaren Treibhausgasminderung. Derzeit wird bereits über die Hälfte des Klärschlamms verbrannt (vgl. Kap. 4.3.5). Diese dadurch bereits gegebene Treibhausgaseinsparung ist von der gesamt nach (UBA 2008b) ermittelten abzuziehen. Hierzu kann hier jedoch nur eine grobe Abschätzung getroffen werden, da die Berechnung nach (UBA 2008b) nicht im Detail nachvollzogen werden kann. Auch fehlen statistische Angaben zur derzeitigen Situation, welcher Anteil des Klärschlamms derzeit entwässert oder getrocknet wird, auf welche Art getrocknet wird und in welchen Verbrennungsanlagen der Schlamm verbrannt wird. Insofern wird sehr grob abgeschätzt, dass mit der gegebenen Situation, in der bereits etwa die Hälfte des Klärschlamms energetisch genutzt wird, von den in (UBA 2008b) angegebenen Einsparpotenzialen, die Hälfte zur Darstellung der zusätzlichen Potenziale abzuziehen ist.

Tabelle 4-8: Mögliche Treibhausgaseinsparungen durch vollständige thermische Klärschlammentsorgung

	Einsparung THG	**Minderung THG**
	t CO_2-Äq/a	**t CO_2-Äq/a**
Ist-Situation (52 % Klärschlammverbrennung)	50 % der u. a. Einsparung bereits erreicht	-
100 % Klärschlammverbrennung		
a) energetisch ungünstig	500.000	250.000
b) energetisch optimiert	2.000.000	1.000.000
		Werte gerundet

Quelle: UBA 2008b

Investitionskosten

Die Kosten für die zusätzlich erforderliche Klärschlammtrocknung unterscheiden sich nach dem anzuwendenden Verfahren. Die Mitverbrennung des Klärschlamms ist i.d.R. kostenneutral, wenn getrockneter Klärschlamm angeliefert wird oder mit einer Gebühr verbunden bei Anlieferung von nur entwässertem Schlamm. Genaue Angaben zu den Kosten können nicht gemacht werden.

Hemmnisse

Kläranlagenbetreiber selbst haben i.d.R. nur ein geringes Interesse eine gegebene etablierte Klärschlammentsorgung umzustellen. In den Fällen, in denen der Klärschlamm landwirtschaftlich entsorgt werden kann, ist der Kostenaufwand für die Kläranlage gering. eine Umstellung auf Trocknung und Verbrennung ist demgegenüber mit zusätzlichem Aufwand verbunden. Es müssen neue Anlagenteile installiert werden und Abnehmerverträge mit z. B. Kraftwerksbetreibern geschlossen werden. Eine Änderung von der landwirtschaftlichen oder landbaulichen Anwendung hin zu einer Verbrennung erfolgt oft nur infolge rechtlicher Vorgaben.

4.4.4 Zusammenfassung der Potenziale

In Tabelle 4-9 sind die möglichen Einsparpotenziale durch Maßnahmen auf der Kläranlage zusammengefasst. Insgesamt, bei Umsetzung aller Maßnahmen, könnte eine Treibhausgasminderung in der Größenordnung von grob 1,5-3,4 Mio. Tonnen CO_2-Äquivalente realisiert werden.

Tabelle 4-9: Mögliche Treibhausgaseinsparungen durch Optimierungen auf Kläranlagen

	Minderung THG t CO_2-Äq/a*
Minderung Stromverbrauch um	
a) 20 % (real)	780.000
b) 42 % (max.)	1.640.000
Optimierung Klärgasnutzung	
a) vollständige Nutzung im BHKW mit eta el 38 %	435.700
b) zusätzliche Steigerung der Klärgaserzeugung durch 95 %ige anaerobe Faulung	724.800
Vollständige thermische Klärschlammentsorgung	
a) energetisch ungünstig	250.000
b) energetisch optimiert	1.000.000
	* Werte gerundet

Die sehr unterschiedlichen Optimierungsbereiche haben auch sehr unterschiedliche Umsetzungswahrscheinlichkeiten. Das höchste mögliche Einsparpotenzial ist durch umfassende

Energieoptimierungen auf Kläranlagen gegeben durch Reduktion des derzeitigen Strombedarfs um 42 %. Für den Bereich „Energieeffizienz auf Kläranlagen“ bestehen bislang keine bundesweiten Förderkonzepte. In einigen Bundesländern werden Teilaspekte des Kläranlagenbetriebs gefördert. **Ein Förderprogramm, das einen ganzheitlichen Ansatz zur Optimierung der gesamten Kläranlage zum Ziel hat, ist zu empfehlen.**

Die Optimierung der Klärgasnutzung ist bzgl. des Ersatzes bestehender durch effiziente BHKW eine sehr einfache überschaubare Maßnahme. Sie steht und fällt mit der Bereitschaft der Kläranlagenbetreiber, entsprechende Investitionen zu tätigen. Für ein 500 kW_{el} BHKW belaufen sich die erforderlichen Investitionskosten auf ca. 750.000 €. Ggf. kann hier ein Zuschuss die Hemmschwelle zur Investition senken. Eine Umstellung von aerober auf anaerobe Schlammbehandlung ist dagegen mit sehr hohen Investitionskosten verbunden, die in Anbetracht der möglichen Einsparung auf Bundesebene eher nicht als rentabel anzusehen sind.

Für die Klärschlammentsorgung wird erwartet, dass sich hier eine weitere Verschiebung in Richtung thermischer Nutzung automatisch durch weitere entsprechende Vorgaben der Bundesländer ergibt. Mit den künftig anstehenden Rechtlichen Vorgaben zum Bodenschutz dürfte die landwirtschaftliche Verwertung weiter eingeschränkt werden. Hand in Hand sollten damit Vorgaben für die Klärschlammbehandlung gehen, um eher die Potenziale des energetisch günstigen Szenarios zu erreichen.

4.5 Energie-/Klimaeffizienzpotenziale außerhalb von Kläranlagen: Reduzierung der Abwassermenge bzw. des Fremdwasseranteils

Die wichtigsten Ansatzpunkte möglicher Energie- und Klimaeffizienzpotenziale außerhalb der Kläranlagen liegen in der Verminderung der Abwassermenge bzw. der Reduktion des Fremdwasseranteils und in der Nutzung der Abwasserabwärme aus der Kanalisation.

Die Reduzierung der Abwassermenge war Nebeneffekt der Anstrengungen in Haushalten schonend mit der Ressource Wasser umzugehen. Derzeit liegt der Trinkwasserverbrauch bei 126 l/EW*d und der durchschnittliche Abwasseranfall bei 250 l/EW*d. Eine weitere Reduzierung des häuslichen Abwassers ist nicht anzustreben. Im Gegenteil besteht bei manchen Einzugsgebieten heute das Problem nicht genügend Wasser in der Kanalisation für eine sichere Abwasserabfuhr zur Verfügung zu haben. In diesen Fällen muss Wasser zugepumpt werden, um Belästigungen durch Geruch und Sicherheitsrisiken durch Gasbildung zu unterbinden.

In bestimmten Fällen kann umgekehrt aber insbesondere der Fremdwasseranteil sehr hoch sein und eine signifikante Belastung der Kläranlage darstellen. Dies gilt insbesondere für kleinere Kläranlagen, wo der mittlere Abwasseranfall sich durch Fremdwasser leicht verdoppeln kann. Aber auch allgemein kann der Fremdwasseranteil je nach lokalen Verhältnissen ein Mehrfaches

der Trinkwassermenge betragen. Zur Einschätzung inwiefern ggf. ein hoher Fremdwasseranteil im Einzelfall gegeben sein kann, kann als Vergleichswert ein durchschnittlicher Abwasseranfall von 91 m³/(EW*a) herangezogen werden (UBA 2008b).

Hohe Fremdwasseranteile verursachen auch bei gut konzipierten Pumpwerken auf der Kläranlage einen höheren einwohnerspezifischen Energieverbrauch. Zudem können sie sich im Einzelfall auch insgesamt nachteilig für die Kläranlage darstellen wie ein in (UBA 2008b) aufgeführtes Beispiel verdeutlicht. Bei einer Kläranlage kam es durch das Überlaufen eines Schachteinlaufes in das Kanalnetz bei erhöhtem Wasserspiegel im Fluss und entsprechend hohen Zuflüssen zu einer regelrechten Ausspülung der Schmutzfracht über den Regenüberlauf. In der Folge sank nicht nur die Schlammbelastung in der biologischen Stufe und damit der Überschussschlammanfall, sondern auch der Primärschlammanfall in der Vorklärung. Damit brach zwangsläufig auch die Faulgasproduktion über Wochen ein. Die durchgeführte Fremdwasserreduzierung (hier durch Abdichtung des Schachtdeckels) führte dann nicht nur zu deutlichen Einsparungen bei der Pumpenergie, sondern auch zur Sicherung der Faulgasproduktion und natürlich zu weniger Gewässerbelastung. Dieses Extrembeispiel lässt sich in abgeschwächter Form häufiger beobachten (UBA 2008b).

Das Vermeiden von Fremdwassereintritt durch Kanalisierung ist grundsätzlich in der Eigenkontrollverordnung (vgl. Kap. 4.1) geregelt. Darin sind i.d.R. wiederkehrende Dichtigkeitsprüfungen des Kanalnetzes sowie Befahrungen vorgeschrieben. In manchen Bundesländern (z. B. Bayern) werden auch maximale Fremdwasseranteile im Abwasser vorgegeben und/oder bei der Berechnung der Abwasserabgabe berücksichtigt. Bei Fremdwassereinleitung aus Hausdrainagen und Außengebietszuflüssen muss dagegen im Einzelfall untersucht werden wie sich der Fremdwasseranteil auf den Energiebedarf der Kläranlage auswirkt und inwiefern Abhilfemaßnahmen zumutbar sind (UBA 2008b).

Energie- und THG-Minderung

In (UBA 2008b) wurde auch eine Einschätzung des Stromeinsparpotenzials durch Fremdwasserreduzierung vorgenommen. In einem Szenario wurde angenommen, dass der Fremdwasseranfall in allen Kläranlagen um 10, 20 oder 30 % gesenkt werden kann bei einem mittleren Anteil des Fremdwasseranfalls von 20 % und einem mittleren Anteil der Pumpenergie von 9 kWh/(EW*a). Dadurch errechnen sich Einsparungen von 0,18 / 0,36 / 0,54 kWh/(EW*a). Bezogen auf den durchschnittlichen Gesamtstrombedarf von 35 kWh/(EW*a) ist diese Einsparung auf Bundesebene von untergeordneter Bedeutung. Dennoch kann im Einzelfall bei hohem Fremdwasseranteil dessen Reduzierung signifikante Stromeinsparungen bewirken.

Investitionskosten

Die Kosten für Maßnahmen sind ebenfalls im Einzelfall zu prüfen. Die erforderlichen Maßnahmen sind von Fall zu Fall unterschiedlich ebenso wie die durch die Maßnahmen erzielbare Stromeinsparung. Kosten und Einsparungen sollten in einem zumutbaren Verhältnis stehen.

Hemmnisse

In Fällen, in denen die Belastung durch einen hohen Fremdwasseranteil nur zeitweise auftreten wie in o. g. Beispiel, erscheint der Aufwand einer Optimierung häufig als zu hoch, auch wenn sich langfristig dadurch Vorteile im Energieverbrauch und der Betriebssicherheit ergeben. Auch werden angesichts allgemein knapper Mittel Prioritäten anders gelegt.

4.6 Abwasserabwärme aus der Kanalisation

In gut wärmegedämmten Wohngebäuden gehen etwa 15% der Heizenergie über den Abwasserpfad verloren (UBA 2009). Das Abwasser der Kanalisation weist entsprechend ganzjährig Temperaturen zwischen 12 und 20°C auf (im Mittel 15°C). Diese Wärme kann anteilig über Wärmetauscher dem Abwasser entzogen und mittels Wärmepumpen auf ein nutzbares Niveau gebracht werden. Das Prinzip der Abwasserwärmegewinnung zeigt Abbildung 4.7.

In (Öko-Institut/IFEU 2010b) wurde ermittelt, dass in Deutschland insgesamt jährlich ein Abwasservolumenstrom von 6,302 Mrd. m³ bzw. ca. 200.000 Liter pro Sekunde für einen Wärmeentzug zur Verfügung steht. Dabei wurden nur Kläranlagen mit einem Mindest-Trockenwetterabfluss von 15 l/s im Tagesmittel berücksichtigt, um sicherzustellen, dass die Wärmetauscher ständig bedeckt sind. Im Weiteren wurde konservativ angenommen, dass im Mittel in Deutschland die Temperatur des Abwassers problemlos um 0,5 K abgesenkt werden kann. Daraus berechnet sich eine **durchschnittliche Wärmeleistung des Abwassers für Deutschland von 418 MW**.

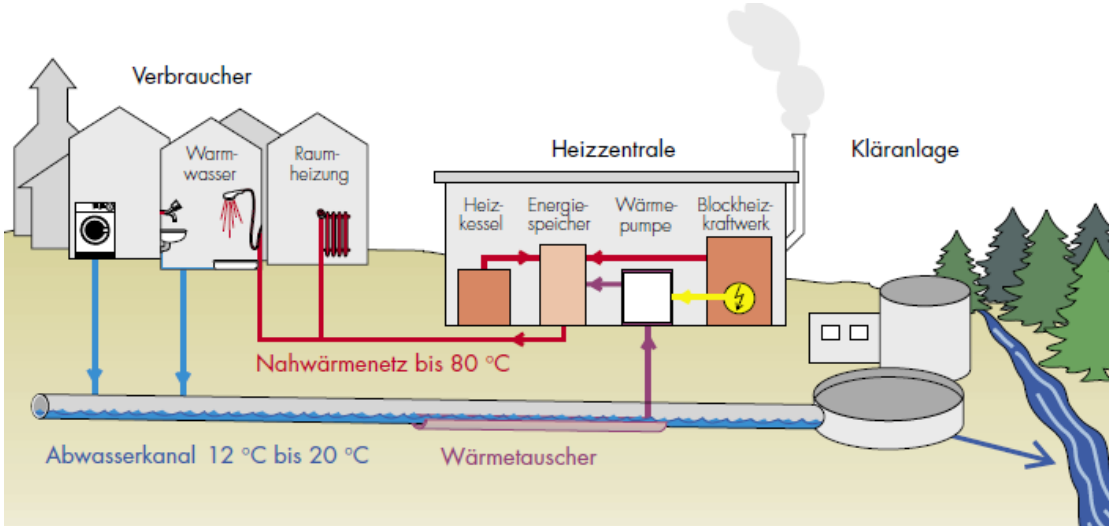


Abbildung 4.7: Prinzip der Abwasserwärmegewinnung (Müller et al. 2005)

Im konkreten Fall können auch durchaus höhere Temperaturreduzierungen möglich sein. Limitierend ist die notwendige Restwärme des Abwassers für die Kläranlage, da die Reinigungsleistung insbesondere der Stickstoffeliminierung bei absinkender Temperatur abnimmt. Im Normalfall liegt allerdings eine Abkühlung von 1 K bei großzügig dimensionierten Kläranlagen im Bereich der üblichen Schwankungen und stellt kein Problem dar. Auf jeden Fall ist eine Genehmigung des Kanalisations- bzw. Kläranlagenbetreibers einzuholen.

Um die Wärmeleistung aus Abwasser nutzbar zu machen, wird sie mittels Wärmepumpe auf ein Temperaturniveau von bis zu 70°C angehoben. Die Anhebung erfolgt üblicherweise mittels elektrischer Wärmepumpe. Bisher nur wenig verbreitet ist der Einsatz von Gaswärmepumpen. Die elektrische Wärmepumpe wird über die Jahresarbeitszahl (JAZ) energetisch bewertet (bereitgestellte Wärmemenge/Stromverbrauch der Pumpe). Da für die Stromerzeugung in Deutschland fast das Dreifache an Primärenergie eingesetzt werden muss, sollte die JAZ einer elektrischen Wärmepumpe auf jeden Fall höher liegen. Empfehlenswert ist eine JAZ von 4 (erzeugte Wärme zu 75% aus Abwärme, zu 25% aus Strom). Die Gaswärmepumpe arbeitet mit mechanischem (Gasmotor) oder thermischem Verdichter (Gasverbrennung) und wird über die Jahresheizzahl (JHZ) charakterisiert (bereitgestellte Wärmemenge/eingesetzte Brennstoffenergie). Werte für die JHZ liegen im Bereich 1,35 und 1,5 (erzeugte Wärme zu 25-35% aus Abwärme, zu 65-75% aus Gas). Gaswärmepumpen benötigen damit im Vergleich zu elektrischen Wärmepumpen bei gleicher Leistung mehr Endenergie. Allerdings ist die Wärmeerzeugung aus Gas mit einem deutlich geringeren Primärenergiefaktor verbunden (rd. 1). Gaswärmepumpen mit einer JHZ von 1,4 sind elektrischen Wärmepumpen mit einer JAZ von 4 ökologisch gleichwertig (IFEU/Wuppertal-Institut 2008). Die jeweils mittels elektrischer Wärmepumpe und Gaswärmepumpe erzeugbare nutzbare Wärme zeigt Tabelle 4.10.

Tabelle 4.10: Wärmepotenziale aus Abwasser in Deutschland bei Nutzung über elektrische Wärmepumpe oder Gaswärmepumpe

	Elektrische Wärmepumpe		**Gaswärmepumpe**	
	Wärmeleistung in MW	Wärmepotenzial in GWh/a	Wärmeleistung in MW	Wärmepotenzial in GWh/a
Abwasser	418	3.665	418	3.665
Strom	139	1.222		
Gas			837	7.330
Summe	**558**	**4.887**	**1.255**	**10.995**

Welche der beiden Pumpenarten zum Einsatz kommen soll, ist im Einzelfall abzuwägen. Z.B. wäre bei gegebenem Gasanschluss und einem Wärmebedarf, der die verfügbare Abwasserwärme deutlich übersteigt – wenn beispielsweise aus technischen Gründen die Wärmetauscherflächen in ihrer Größe beschränkt sind – die Gaswärmepumpen vorteilhaft.

Energie- und THG-Minderung

Basierend auf dem für Deutschland ermittelten Wärmepotenzial ließe sich bei Einsatz einer elektrischen Wärmepumpe der Wärmebedarf von rd. 355.000 Haushalten in Deutschland decken, bei Einsatz einer Gaswärmepumpe der von rd. 800.000 Haushalten[30].

Zur Berechnung der sich ergebenden Treibhausgasminderung wurden in (Öko-Institut/IFEU 2010b) konservativ Emissionsfaktoren für innovative Heizsysteme verwendet und für die Strombereitstellung der Emissionsfaktor für die durchschnittliche Stromerzeugung in Deutschland:

Gas (Brennwertkessel): 249 g CO_2-Äq/kWh_{th}

Öl (Brennwertkessel): 311 g CO_2-Äq/kWh_{th}

Strom (Mix D 2006): 598 g CO_2-Äq/kWh_{el}

Die je nach Pumpenart resultierende Treibhausgaseinsparung sowie der Anteil rein aus der Abwasserwärme sind in Tabelle 4.11 dargestellt. Bei Einsatz einer elektrischen Wärmepumpe liegt die Nettoeinsparung an Treibhausgasen bei rd. 0,6 Mio. t CO_2-Äq/a, bei Einsatz einer Gaswärmepumpe, durch die, wie oben erläutert, systembedingt insgesamt eine höhere Wärmemenge bereitgestellt wird, bei rd. 1,25 Mio. t CO_2-Äq/a.

[30] Ausgehend von 39,8 Mio. Haushalten in Deutschland und einem durchschnittlichen Raumwärmebedarf von rd. 547 TWh pro Jahr (BMWi 2008) (entspricht etwa 13,7 MWh/Haushalt).

Tabelle 4.11: Treibhausgaseinsparung für Abwasserwärmepotenzial und dessen Nutzbarmachung über Wärmepumpensysteme in Deutschland

	THG-Belastung aus Energieeinsatz	Einsparung THG	Minderung THG
	t CO_2-Äq/a	t CO_2-Äq/a	t CO_2-Äq/a
Elektrische Wärmepumpe	730.742	1.368.209	637.467
Gaswärmepumpe	1.825.209	3.078.470	1.253.377
Anteil Abwasserwärme	-	1.026.157	

Dieses Einsparpotenzial könnte durch Anlagen, die auch zur Kälteerzeugung eingesetzt werden, noch erhöht werden.

Investitionskosten

Bei den Investitionskosten nimmt der Einbau des Wärmetauschers den größten Anteil ein. Insofern ist eine Umsetzung insbesondere bei sowieso anstehenden Kanalsanierungen sinnvoll. Bei 7% der Kanäle in Deutschland lagen zum Stand 2004 schwere Schäden vor, aus denen sofortiger oder kurzfristiger Handlungsbedarf resultierte. Weitere 10% sind in einem Zustand, der mittelfristigen Handlungsbedarf erfordert (UBA 2009).

Die Wirtschaftlichkeit einer Umsetzung ist vom Einzelfall abhängig. Am ehesten ist sie bei größeren Wärmeabnehmern gegeben wie Mehrfamilienhäuser, Bürogebäude, öffentliche Einrichtungen (Schulen, Krankenhäuser, Sporthallen, Bäder) oder auch Bereiche aus Industrie und Gewerbe. Des Weiteren sollten folgende technische Voraussetzungen gegeben sein:

- Kanalwärmetauscher mind. DN 800, sonst Bypasswärmetauscher
- Wärmepumpenleistung mind. 150 kW_{th}
- kalte Fernwärmeleitungen max. 1 km
- Nahwärmeleitungen max. rd. 100 m

In (Christ, Mitsdoerffer 2008) wurde für das Fallbeispiel einer Schule gezeigt, dass verschiedene Varianten der Abwasserwärmenutzung sich gegenüber einem konventionellen Gas-Brennwertkessel wirtschaftlicher darstellen. Darin wurde das konventionelle Referenzsystem Gas-Brennwertkessel (BWK) jeweils mit einem Kanal- bzw. Bypass-Wärmetauschersystem (WT) verglichen. Zudem wurde zwischen elektrischer und mit Gas betriebener Wärmepumpe (WP) unterschieden. Zur Abdeckung von Spitzenlasten wurde ergänzend zu den Wärmepumpensystemen ein Gas-Brennwertkessel angenommen.

Als Berechnungsgrundlagen sind ein mittlerer Zinssatz von 5 % p.a. und ein Betrachtungszeitraum von 20 Jahren angegeben. Die Abschätzung der Preissteigerungsrate für Strom und Gas erfolgte mit Hilfe der tatsächlichen Preissteigerungsrate der letzten 7 Jahre (+11% bei Gas,

+3,6% bei Strom). Abbildung 4.8 zeigt im Ergebnis, dass jede Variante der Abwärmenutzung gegenüber dem Gas-Brennwertkessel wirtschaftlich ist, wobei die Systeme mit elektrischer Wärmepumpe größere Vorteile aufweisen. Letzteres ist bedingt durch die Gaspreissteigerungsrate und da die Energiekosten über die Betriebsdauer bedeutender sind als die Kapitelkosten. Eine Sensitivitätsanalyse zeigte, dass unter den gegebenen Voraussetzungen eine Abwasserwärmenutzungsanlage ab einer Preissteigerungsrate von 3,6 % bei Strom und 6 % bei Gas gegenüber einem Gas-Brennwertkessel wirtschaftlich betrieben werden kann.

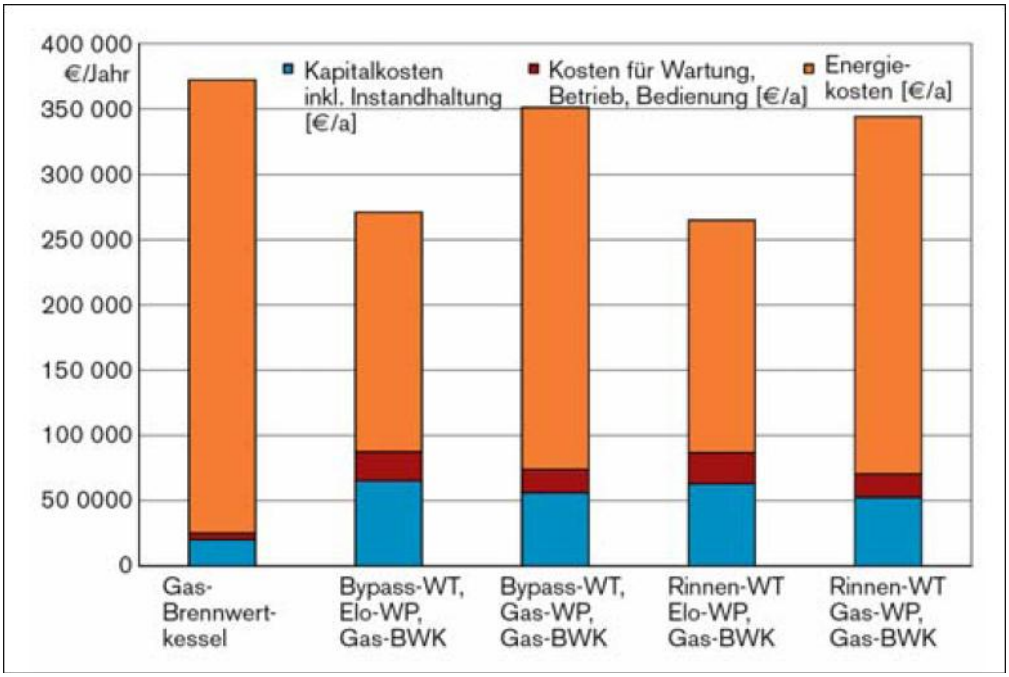


Abbildung 4.8: Jahreskosten unterschiedlicher Varianten von Wärmeversorgungssystemen für eine Schule; Gaspreissteigerungsrate +11% p.a., Strom +3,6% p.a. (Christ, Mitsdoerffer 2008)

Hemmnisse

Obige Ausführungen zeigen, dass sich grundsätzlich Wärmepumpensysteme gegenüber konventionellen Systemen wirtschaftlich darstellen lassen. Dass dennoch bislang nur vereinzelt Abwasserwärme genutzt wird, ist zum Teil wahrscheinlich auf die fehlende Kenntnis zu den Möglichkeiten zurückzuführen.

Als ersten Schritt zur Nutzung von Abwasserwärme empfehlen auch (Christ, Mitsdoerffer 2008) die Erstellung von Energiekarten, in denen strukturiert die vorhandenen Wärmepotenziale im Abwasser und die möglichen Wärmeabnehmer dargestellt werden. Dies wird im Rahmen der

NKI (Wärmenutzungskonzepte) bereits ermöglicht. Auf diese Weise ließen sich die richtigen Standorte ausloten, bei denen die Abwasserwärmenutzung wirtschaftlich betrieben werden kann.

Entsprechend gibt es zwei Ebenen, an denen eine Förderung ansetzen sollte:

- auf kommunaler Ebene, um o. g. Energiekarten erstellen zu können
- auf betrieblicher Ebene ein finanzieller Anreiz zur Umsetzung entsprechender Baumaßnahmen.

4.7 Innovative Praxisbeispiele

4.7.1 Kläranlage Balingen

Die Kläranlage Balingen besteht seit 1971 und hat heute eine Ausbaugröße von 124.000 EW. Die Anlage besteht aus Rechen, Sandfang, Vorklärbecken, Regenüberlaufbecken, Belebungsbecken und zwei Nachklärbecken. Die Schlammbehandlung besteht aus Vor- und Nacheindicker sowie zwei Faulbehältern. Im Zulauf ist keine Abwasserhebung erforderlich.

Bisherige Maßnahmen zur Energieoptimierung waren:

- eine Reduzierung des Lufteintrages in den Sandfang von 3 auf ca. 0,5 $m^3/(m^3*h)$ bei gleicher Reinigungsleistung durch Installation einer Sandwäsche
- die Einrichtung eines Kaskadenbetriebes mit Unterteilung der Luftkreisläufe mit Membranbelüftern in der Denitrifikationszone und keramischen Belüftern in der Nitrifikationszone
- die Minimierung des Rücklaufschlammverhältnisses auf 0,7 Q_m
- die Installation von drei BHKWs mit einer gesamten elektrischen Leistung von rd. 150 kW_{el}
- 1994 die Installation einer Faulschlammentgasung (3 % TS) durch die CO_2 ausgetrieben wird, wodurch eine bessere Trennung zwischen Flüssig- und Festphase erreicht wird (Nassschlammmenge von 30.000 m^3/a auf 18.000 m^3/a gesenkt)
- 1998 die Installation einer der ersten solaren Klärschlammtrocknungsanlagen durch die der TS-Gehalt von 30 % auf 75-80 % gehoben werden kann
- die Installation einer radial beaufschlagten Freistrahlturbine zur Nutzung der Wasserspiegeldifferenz der aus den Nachklärbecken in die Eyach abfließenden Wassermengen (Höhenunterschied bei normalem Wasserstand 3,5m; Turbinenleistung 3-18 kW_{el})
- die Installation einer Photovoltaikanlage mit einer Spitzenleistung von 18 kWp
- die Einrichtung einer energetischen Klärschlammverwertungsanlage (Klärschlammvergasung, Verbrennung des Gases im BHKW; nutzbare elektrische Leistung (Überschuss) 58 kW_{el})

Die letztgenannte Maßnahme wurde im Rahmen des Modellprojektes "Weitergehende Energie- und Stoffverwertung auf der Kläranlage" vom Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg gefördert, da eine vergleichbare Anlage in dieser relativ geringen Größe zuvor noch nicht realisiert wurde. Auslöser für die Kläranlage Balingen zu dieser Maßnahme waren steigende Klärschlammentsorgungskosten, die einen wesentlichen Anteil der Betriebskosten der Kläranlage darstellen. Auch stellt die energetische Klärschlammverwertungsanlage eine konsequente Fortführung des Konzeptes der "Solaren Schlammtrocknung" für die Kläranlage dar.

4.7.2 Energiekonzept der Kläranlage Dresden-Kaditz

Die Kläranlage Kaditz besteht seit 100 Jahren und ist die größte Kläranlage Dresdens und Umgebung mit einer Ausbaugröße von 740.000 Einwohnerwerten. Nachdem sie fast 5 Jahre nicht arbeitete und das anfallende Abwasser ungeklärt in die Elbe geleitet wurde, wurde sie 1991 wieder in Betrieb genommen. Seit 1990 hat die Stadtentwässerung Dresden ca. 268 Mio. € in die Sanierung der Kläranlage und weitere 326 Mio. € in die Sanierung der Kanalisation investiert. Seit 1990 wurden insgesamt 250 Mio. € Fördergelder aus dem Investitionsfond zur Verfügung gestellt. 2004 wurde der Eigenbetrieb der Stadt Dresden teilprivatisiert und die Gelsenwasser AG wurde Partner.

Die Energiekosten stellten mit einem Anteil von 21 % an den Betriebskosten einen wesentlichen Kostenfaktor für die Kläranlage dar. 2005 wurden 210.000 MWh Strom und 33.000 MWh Erdgas verbraucht. Die meiste Energie verbrauchen die Pumpen der Abwasserförderung und die Druckluftgebläse für die biologischen Reinigungsstufe, der Hauptverbraucher von Erdgas ist die Anlage zur Schlammbehandlung.

Es wurde ein Energiekonzept erstellt, um den Energieverbrauch einerseits zu senken und andererseits einen Teil der Energie selbst zu produzieren. Eine wichtige Aufgabe der Mitarbeiter der Stadtentwässerung ist es, durch eine Abstimmung der Betriebsabläufe und die Einbeziehung von Energieeffizienzkriterien den Energieverbrauch zu minimieren. Auf den Dachflächen des Regenüberlaufbeckens wurde 2004 eine Photovoltaikanlage mit einer Leistung von 190 kWp installiert, die einen Jahresertrag von ca. 160 MWh liefert. Ebenfalls seit 2004 wird mit einer Kaplanturbine (120 kW) der Höhenunterschied von ca. 5 m vom Kläranlagen-Auslauf zur Elbe zur Wasserkrafterzeugung genutzt. Der Jahresertrag beträgt ca. 650 MWh. Zusammen können damit ca. 3,5 % des Strombedarfs der Kläranlage gedeckt und 200.000 t CO_2 vermieden werden.

Seit 2008 werden zwei Faulbehälter mit einem Volumen von jeweils 10.500 m³ gebaut, um den in großen Mengen anfallenden Schlamm zur Gewinnung von Klärgas zu verwenden. So sollen täglich 15.000 m³ Klärgas erzeugt werden und das in der Schlammtrocknung eingesetzte Erdgas ersetzen. Zusätzlich wird dadurch die Schlammmenge um 30 % reduziert und somit der Entsorgungsaufwand geringer (EnergieAgentur NRW 2008, Stadtentwässerung Dresden 2010 2007).

Ein Neubau auf dem Kläranlagengelände soll mit Abwasserwärme aus dem Ablaufgerinne des Vorklärbeckens versorgt werden (mind. 70 kW). Das Projekt befindet sich im Bau und kann durch die Verwendung eines Rippenrohrwärmetauschers kostengünstig realisiert werden (relativ preiswerte Industriefertigung, Einbau durch eigene Installateure) (persönliche Auskunft Th. Schöninger, Stadtentwässerung Dresden GmbH).

Im Kanalnetz der Stadt Dresden wird im März mit dem Bau einer Abwasserwärmenutzungsanlage begonnen, die im August in Betrieb genommen werden soll. Die Stadtentwässerung Dresden tritt als Energieliefercontractor auf. Die Abwasserenergieanlage wurde von ihr als Kanalbetreiber selbst errichtet und betrieben und liefert Grundlast-Wärme und Kälte an ein Katastrophenschutzzentrum der Feuerwehr Dresden. Mit 170-200 kW soll rund ein Viertel der Wärmeleistung decken. Bei einer Laufzeit von 15 Jahren sollen sich die erzielten Betriebskosteneinsparungen auf ca. 200.000 € belaufen (e.qua 2009). Die Amortisationszeit ist u. a. von der Höhe der Innovationsförderung der Sächsischen Aufbaubank abhängig und wird auf ca. 10-15 Jahre geschätzt.

4.7.3 Waiblingen – Abwärme der Kläranlage

Mitte der 1980er Jahre wurde eine Erweiterung der Kläranlage Waiblingen notwendig. Im Zuge der baulichen Maßnahmen wurde ein integrales Energiekonzept erstellt, das die Nutzung der beiden Energiequellen Klärgas und Abwasser beinhaltete. Durch die Errichtung eines neuen Fernheizwerkes konnten damals zahlreiche alte Ölheizungen außer Betrieb genommen werden.

Die Wärme aus gereinigtem Abwasser wird in der Kläranlage Waiblingen bereits seit über 20 Jahren genutzt und in die Nahwärmeversorgung integriert. 2004 wurde die alte Absorptionswärmepumpe durch eine Kompressionswärmepumpe (Leistungszahl 3,57) und ein BHKW ersetzt. Die Wärme wird in ein Nahwärmenetz eingespeist und es werden über 20 größere Gebäude (darunter ein Hallenbad und ein Krankenhaus), mit Wärme versorgt. Der Anteil der aus Abwärme gewonnen Energie beträgt ca. 16 % der Gesamtwärmeproduktion. Die Wärmeproduktion erfolgt multivalent über:

- die Kompressionswärmepumpe mit Abwasser aus dem Nachklärbecken, Heizleistung 563 kW;
- ein Klärgas-BHKW mit einer elektrischen Leistung von 110 kW und einer thermischen Leistung von 225 kW;
- ein kleiner Heizkessel (570 kW), der mit Klärgas befeuert werden kann und
- drei weiteren Heizkesseln zur Spitzenlastabdeckung mit Erdgas oder Erdöl, mit einer Leistung von insgesamt 6.500 kW.

Die Anlage ist so konzipiert, dass das vor Ort erzeugte Klärgas möglichst vollständig im BHKW genutzt wird. Im kombinierten Betrieb mit der Wärmepumpe wird eine Grundlast von

500 bis 700 kW erreicht. Für das BHKW wird eine Jahreslaufzeit von 6.000 Stunden erreicht. Das Nahwärmenetz hat eine Gesamtlänge von 3,6 km.

Das Vorhaben wurde als Modellprojekt durch das Wirtschaftsministerium des Landes Baden-Württemberg, das Bundesministerium für Forschung und Technologie sowie die europäische Gemeinschaft gefördert (BWP et al. 2005).

4.7.4 Abwärmenutzung Nordwestbad Bochum

Eine Abwasserwärmenutzungsanlage für das „Nordwestbad Bochum“ befindet sich derzeit im Bau. Das Projekt wird von der Emschergenossenschaft und der Stadtwerke Bochum GmbH durchgeführt. Ein 120 m langer Wärmetauscher wird beim Neubau in einen Mischwasserkanal integriert und die Abwassertemperatur von ca. 12 °C wird mittels Wärmepumpe auf 50-55 °C angehoben. Die Wärmepumpe wird von einem BHKW mit Strom versorgt, Bedarfsspitzen werden mittels zweier Gasbrennwertkessel abgedeckt. Es wird geschätzt, dass die benötigte Gasmenge von 2.952 MWh/a auf 1.875 MWh/a reduziert und somit 220 Tonnen CO_2 pro Jahr (37 %) vermieden werden können (BMU 2009). Das Projekt wird im Rahmen des Umweltinnovationsprogramms des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) gefördert (vgl. Kap. 4.8.1).

4.7.5 Abwasserabwärme Rathaus Fürth

Ab 2010 soll das Rathaus Fürth mit Abwärme aus Abwasser beheizt werden. Die Abwärme soll aus einem Hauptstrang des Fürther Abwassersystems entnommen werden, der direkt am Rathaus entlang führt. Der Abwasserdurchfluss beträgt 150 l/s. Das Abwasser hat im Sommer eine Temperatur von 15° und im Winter von 12 °C. Das reicht, um mit Hilfe eines Wärmetauschers 85 % des Wärmebedarfs im Rathaus zu decken. Durch die Maßnahme sollen 65 % Primärenergie eingespart werden sowie 130 Tonnen CO_2 und 14 Tonnen Feinstaub jährlich weniger produziert werden. Finanziert wird die etwa 400.000 € teure Anlage über Mittel des Konjunkturpakets II der Bundesregierung. Der Eigenanteil der Stadt Fürth beträgt rund 50.000 €. Mit angenommenen Einsparungen von Heizkosten in Höhe von 150.000 € pro Jahr, amortisiert sich die Investition nach sieben Jahren (Rathaus Fürth 2009).

4.8 Derzeitige Anreize für eine Energie- und THG-Effizienzsteigerung

4.8.1 Förderprogramme

Bundesebene

Mit dem Umweltinnovationsprogramm des BMU werden Demonstrationsvorhaben gefördert, die Verfahren zur Vermeidung und Verminderung von Umweltbelastungen aufzeigen. Die Förderung erfolgt in der Regel als Zinszuschuss zu einem Darlehen bei der KfW-Bankengruppe. Zurzeit wird mit diesem Programm z. B. der Bau einer Anlage zur Abwasserwärmenutzung für das „Nordwestbad Bochum“ mit 240.000 € unterstützt (vgl. Kapitel 4.7.4) (BMU 2009).

Nach dem EEWärmeG zählt die Wärmegewinnung aus Abwasser nicht zu den regenerativen Energien, ist aber nach § 7 als Ersatzmaßnahme zugelassen. Der Wärmeenergiebedarf muss dann zu mindestens 50 % aus Abwärme gedeckt werden. Nach dem EEG wird auch aus Abwasser mittels Wasserkraft erzeugte Energie vergütet.

Bundesländer

Das Bayrische Staatsministerium für Gesundheit und Umwelt (StMUGV) hat im Rahmen des Klimaprogramms **Bayern** ein Sonderförderprogramm „Energieanalysen kommunaler Kläranlagen“ aufgelegt. Von September 2009 bis Ende 2011 können Betreiber kommunaler Kläranlagen ab 10.000 Einwohner einen Zuschuss von 10.000 € (Festbetrag, jedoch nicht mehr als 70 % der Gesamtkosten) beim zuständigen Wasserwirtschaftsamt beantragen. Durch ein qualifiziertes Ingenieurbüro soll eine Energienanalyse anhand einer systematischen Energiebilanzierung und der Dokumentation des Energieeinspar- und Eigenstromerzeugungspotenzials mit Maßnahmenvorschlägen durchgeführt werden. Für die Kläranlagenbetreiber soll ein Handlungskonzept zur Optimierung des Energieeinsatzes erstellt werden mit Vorschlägen für Sofortmaßnahmen, kurzfristige und abhängige Maßnahmen. Bedingung für die Gewährung des Zuschusses ist, dass die vorgeschlagenen Sofortmaßnahmen innerhalb von zwei Jahren umgesetzt werden. Der Betreiber muss in den vergangenen drei Jahren am Projekt „Benchmarking Abwasser Bayern“[31], oder einem vergleichbaren Projekt, teilgenommen haben bzw. sich zu einer Teilnahme in den kommenden drei Jahren verpflichten (BayLfU 2009).

---

[31] Das Projekt wird gefördert durch das StMUGV und unterstützt vom Bayr. Gemeindetag, Bayr. Städtetag und dem DWA Landesverband Bayern. Die Teilnahme ist freiwillig, Ziel ist ein flächendeckendes Benchmarking in Bayern. Es werden detaillierte Daten erhoben u. a. zu Energienutzung, -umwandlung und -erzeugung. Im Vergleich mit anderen Anlagen lassen sich Bestwerte für einzelne Prozesse und Ursachen für Abweichungen ermitteln, eine objektive Positionsbestimmung der eigenen Leistungsfähigkeit wird ermöglicht. Vergleichbare Projekte gibt es in Baden-Württemberg, Rheinland-Pfalz, NRW und dem Saarland.

Eine ähnliche Förderung kann im Rahmen des erweiterten „Investitionsprogramm Abwasser NRW“ des Landes **Nordrhein-Westfalen** beantragt werden. Hiermit können gutachterliche Untersuchungen zu Energiesparmaßnahmen öffentlicher Abwasseranlagen mit einem Zuschuss von bis zu 70 % gefördert werden. Bedingung ist auch hier die Umsetzung der empfohlenen Sofortmaßnahmen. Das erweiterte Investitionsprogramm Abwasser NRW ist die Fortführung der vom Ministerium NRW im Zeitraum 1996-2005 geförderten „Initiative ökologische und nachhaltige Wasserwirtschaft NRW“, und ist für 2007-2011 aufgelegt. Im Rahmen des Programms können z. B. auch erprobte oder innovative Technologien auf Kläranlagen gefördert werden sowie Maßnahmen zur Reduzierung von Fremdwassereintrag (MUNLV 2006).

Fördermöglichkeiten bestehen im Rahmen des europäischen Fonds Regionaler Entwicklung (EFRE) und der Programme in den jeweiligen **Bundesländern**. Gefördert werden u. a. innovative Ansätze bei der Klärschlammtrocknung durch die Nutzung von Belüftungsabwärme oder Abwärme von Brennstoffzellen oder mit Abwasserabwärme arbeitende, effiziente Wärmepumpen. Baden-Württemberg fördert z. B. Wärmepumpen mit einer Heizleistung von mindestens 100 kW und einer Jahresarbeitsarbeitszahl von mindestens 3,5 (elektrische WP) mit maximal 100.000 € bzw. 20 % der zuwendungsfähigen Gesamtkosten. Für eine Lebensdauer der Wärmepumpe von 15 Jahren werden pro Tonne vermiedenes CO_2 50 € gutgeschrieben (UMBW 2007, 2009).

4.8.2 Kommunale Akteure und Anreize

Mögliche Einflussnahme der Kommunen

Kommunen können grundsätzlich auf alle aufgeführten Potenziale der Abwasserwirtschaft Einfluss nehmen, da sie die zuständigen Behörden darstellen. Insofern haben sie auch Zugang zu den erforderlichen Daten, um die Ist-Situation beurteilen zu können.

Grundsätzlich bedarf es allerdings der Initiative, die entsprechenden Daten zu erheben. Zudem ist eine enge Zusammenarbeit mit den Betreibern der Kläranlagen und der Kanalisation erforderlich. Deren Bereitschaft zur Mitarbeit ist für mögliche Optimierungen unerlässlich. Häufig fehlt den Kommunen das Fachwissen, um die Situation einer Kläranlage einschätzen zu können. Als erste Annäherung können hierfür die in diesem Bericht angegebenen Informationen verwendet werden (vgl. Kap. 4.9.2).

Für den Bereich Abwasserabwärmenutzung aus der Kanalisation können Kommunen geeignete Standorte systematisch ermitteln und z. B. Energiekarten erstellen. Darin können die für eine Abwärmenutzung relevanten Informationen zu Kanalgröße, Wassermenge, Sanierungsbedarf der Abwasserleitungen, Daten zu Heizleistung und Alter der Heizungsanlagen und geplanten Neubaugebieten enthalten sein. Aus der Nähe von großen Abwasserleitungen und Heizenergieverbrauchern ergeben sich mögliche Standorte. Bauherren fehlt bei Bauvorhaben oft die Zeit,

eigene Voruntersuchungen durchzuführen und auch das Wissen um die möglichen Techniken. Sind allerdings bereits Grundlagen vorhanden, steigen die Realisierungschancen deutlich. Die Erstellung einer solchen Karte ist für eine Kommune ein relativ geringer Aufwand, da sie Zugang zu den relevanten Daten hat (BWP et al. 2005).In der Schweiz können Kommunen, gestützt auf das Energie- sowie das Bau- und Planungsgesetz, einen Bauherren sogar zur Nutzung der Abwasserenergie verpflichten, wenn dies wirtschaftlich vertretbar ist. Der Bauherr muss die Option Abwasserenergie mindestens prüfen und einen Wirtschaftlichkeitsvergleich vorlegen (BWP et al. 2005).

4.9 Vorschläge für eine Verbesserung der Anreize

4.9.1 Gesetzgebung

Auf rechtlicher Seite bestehen bereits Planungen und Ansätze, um die Erschließung von Effizienzpotenzialen auf Kläranlagen zu befördern. So soll mit der **Novelle der Abwasserverordnung** als Richtmarke der Stand der Technik v. a. bzgl. des Energieverbrauchs auf Kläranlagen definiert werden. Dies war Anlass für das Förderprojekt (UBA 2008b) (vgl. Kap. 4.4.1). Ebenfalls vorgesehen für die Novelle der Abwasserverordnung ist eine Begünstigung der Co-Fermentation in Kläranlagen sowie ein Verwertungsgebot für Phosphor. In welcher Form die letzteren beiden letztendlich umgesetzt werden, ist derzeit nicht bekannt. Hinsichtlich der Co-Fermentation ist anzumerken, dass eine Begünstigung keinesfalls ohne einschränkende Randbedingungen erfolgen sollte. Nicht jede Abfallart ist für eine Co-Fermentation sinnvoll und geeignet. Neben stofflichen Eigenschaften (Schadstoffbelastung, Eignung zur Vergärung) sind hier auch bestehende Entsorgungsstrukturen zu beachten sowie die Möglichkeit einer höherwertigen Verwertung (vgl. Kap. 4.4.2). Hier wird dringend empfohlen, eine Begünstigung z. B. mit dem Merkblatt des LUA NRW (2000) zu verbinden, in dem wichtige Anforderungen an die Mitbehandlung von Substraten in Faultürmen formuliert sind, die auch von anderen Bundesländern übernommen wurden.

Insbesondere bei Neu- und Umbauten sind lenkende rechtliche Regelungen hilfreich bzgl. der Anschaffung z. B. von neuen Pumpen, BHKW oder der Installation von Trocknungsanlagen für Klärschlamm. Auszutauschende Pumpen und Motoren sollten obligatorisch die Energieeffizienzklasse IE3 aufweisen. Regelbar wäre diese Anforderung ggf. im Rahmen der Umsetzung der **EuP-Richtlinie**.

Auch für die Klärschlammtrocknung empfiehlt sich eine rechtliche Vorgabe. Sie sollte nur über solare Trocknung oder mittels ansonsten ungenutzter Abwärme erfolgen (z. B. aus Kraft- und Zementwerken oder Biogasanlagen). Schwierig in diesem Zusammenhang ist allerdings eine pauschale Vorgabe bzgl. der Abwärmenutzung. Es sollte sichergestellt sein, dass die Abwärme tatsächlich nicht sinnvoller anderweitig genutzt werden kann. Ggf. ist der Abwärmenutzung aus

Kraft- und Zementwerken, bei denen die Klärschlammmitverbrennung stattfindet, der Vorrang einzuräumen, wenn diese eine bestimmte Transportentfernung nicht überschreiten.

In (UBA 2008b) finden sich auch weitergehende Empfehlungen für die Vorgaben in der **Eigenkontrollverordnung** der Länder, anhand derer der Betriebsablauf auf Kläranlagen besser überwacht werden kann und etwaige Verschleißerscheinungen frühzeitig erkannt und behoben werden können:

- Druckmessung in Druckluftleitung mit monatlicher Ablesung bei definierter mittlerer Gebläse-Auslastung, Vorgabe geeigneter Manometer und Druckverlust < 60 mbar
- Bestimmung des Sauerstoffertrags unter Betriebsbedingungen alle 5 Jahre bei Anlagen der Größenklasse 5
- Maximal zulässige Abweichung 10 % v. Messwert bei Faulgasmengenmessungen, die im Rahmen der Hauptuntersuchung der Gasinstallation gemäß Betriebssicherheitsverordnung durchzuführen sind
- Wöchentliche Messung von 24 h-Mischproben für die Ermittlung der durchschnittlichen Belastung der Kläranlage, so dass gemäß DWA A 198 mindestens 30 bis 40 Werte pro Jahr vorliegen.

Die Reduzierung des Fremdwasseranteils scheint über die Eigenkontrollverordnung hinreichend geregelt (Vorgabe zur regelmäßigen Kontrolle auf Dichtigkeit). Auch liegt die erzielbare Stromeinsparung bezogen auf den Bundesdurchschnitt nur bei etwa 1 % (UBA 2008b). Dennoch kann die Reduzierung des Fremdwasseranteils im Einzelfall von großer Bedeutung sein. Hier wäre allerdings eher auf freiwillige Maßnahmen ggf. auch in Kooperation mit anderen Kläranlagen zu setzen als auf eine ordnungsrechtliche Steuerung.

4.9.2 Nationale Klimaschutzinitiative

Förderprogramm für energie- und klimaeffiziente Kläranlagen

Kläranlagen sind in Deutschland im Gesamtzusammenhang betrachtet keine Hauptemittenten für klimarelevante Emissionen und keine Hauptstromverbraucher. Allerdings bedingen sie auf kommunaler Ebene einen wesentlichen Anteil am Strombedarf.

Ausgelöst durch die exponierte Lage von Kläranlagen, abgelegen von Siedlungsgebieten, wird teilweise die autarke Kläranlage propagiert. Erreicht werden soll dies durch Selbstversorgung der Kläranlagen mit erneuerbarer Energie wie Windkraft, Geothermie oder Solarenergie. Objektiv betrachtet besteht kein Grund, warum die Förderung von erneuerbaren Energien im Zusammenhang mit Kläranlagen besonders begünstigt werden sollte. Es ist umgekehrt vielmehr zunächst sicherzustellen, dass Kläranlagen tatsächlich geeignete Standorte für erneuerbare Energien sind. Ist dies der Fall, stellt die bereits vorhandene Infrastruktur durch die Kläranlage im abgelegenen Siedlungsbereich allerdings einen Vorteil für den Standort Kläranlage dar.

Weitere Konzepte in diesem Zusammenhang stellten die Frage, inwiefern die Wasserstofftechnologie besonders für eine Anwendung auf Kläranlagen geeignet ist. Bei einer Herstellung von Wasserstoff durch Hydrolyse fällt als weiteres Produkt Sauerstoff an, der für die Belebungsstufe der Kläranlage eingesetzt werden kann. Ein entsprechender Antrag zur Umsetzung eines Pilotprojektes wurde vom IFEU im Auftrag des MUNLV NRW hinsichtlich der ökologischen Auswirkungen geprüft (bte/IFEU/ISA 2004). Im Ergebnis zeigte sich durch die Sauerstoffnutzungsmöglichkeit kein besonderer Vorteil für die Wasserstofferzeugung durch Hydrolyse auf der Kläranlage. Und auch hier muss vielmehr generell die Frage gestellt werden, ob die im Pilotvorhaben vorgesehene Energieerzeugung mit Windkraft nicht sinnvoller zur Substitution von fossiler Energie eingesetzt werden sollte. Einzig im Sinne eines wichtigen Beitrages zur Grundlagenforschung für die Wasserstofftechnologie wurde das Pilotprojekt damals befürwortet.

Allerdings weisen Kläranlagen in Deutschland für sich betrachtet noch ein deutliches Optimierungspotenzial auf. In den drei Bereichen Energieeffizienz, Klärgasnutzung und Klärschlammentsorgung lassen sich THG-Einsparungen bei realistischem Ansatz in Höhe von etwa 1,5 Mio. Tonnen CO_2-Äquivalente erreichen, bei theoretischem Maximalansatz sogar von über 3,4 Mio. Tonnen CO_2-Äquivalente (vgl. Kap. 4.4). Die mit den Einzelmaßnahmen verbundenen Kosten sind sehr unterschiedlich und lassen sich nicht pauschal als Summenwert bestimmen. Manche der Maßnahmen sind rentabel und bewirken einen bedeutenden Beitrag zum Klimaschutz. Andere mit hohem Beitrag zum Klimaschutz sind mit hohen Investitionskosten verbunden, die sich eigentlich nur dann lohnen, wenn sowieso Umbauten auf den Anlagen anstehen.

Eine Beratung und Förderung zur Erschließung des Potenzials scheint angeraten, da aus eigener Initiative offensichtlich die Hemmnisse für Optimierungsmaßnahmen auf breiter Ebene überwiegen. Umsetzungen in den 90er Jahren fanden vorwiegend nur aufgrund der damals verstärkten Förderung in einigen Bundesländern statt. Selbst rentable Einzelmaßnahmen finden häufig keine Umsetzung, da in den vorwiegend kommunalen Betrieben sich die zunächst erforderlichen höheren Investitionskosten angesichts knapper Haushaltskassen nur schwer durchsetzen lassen, zumal die Energiekosten gegenüber den Kapital- und Fixkosten auf Kläranlagen von untergeordneter Bedeutung sind.

- **In Anbetracht der gegebenen Potenziale wird ein Förderprogramm empfohlen, das einen ganzheitlichen Ansatz zur Optimierung der gesamten Kläranlage zum Ziel hat.**
- Die Förderung sollte alle Kläranlagen unabhängig von der Anlagengröße umfassen.
- Ein erster Schritt sollte generell in einer Bestandaufnahme bestehen, auf Basis derer ein Handlungskonzept für Kläranlagenbetreiber erstellt werden sollte (z. B. ähnlich zum Sonderförderprogramm Bayerns, vgl. Kap. 4.8).
- Im Rahmen des Konzeptes sind auch Einzelfördermaßnahmen denkbar z. B. für die Neuanschaffung von effizienten Elektromotoren (könnte aber durch andere querschnittsorientierte Förderprogramme abgedeckt werden).

- Besonderes Augenmerk der Förderung sollte zunächst der Energieeffizienz der Kläranlagen gewidmet werden; insofern bislang keine Faulung erfolgt, sollte v. a. bei großen Anlagen die Möglichkeit einer Umstellung auf Faulung geprüft werden.
- Bei Kläranlagen mit Faulung ist eine weitere wichtige Maßnahme im Rahmen des Förderkonzeptes die Prüfung, inwiefern die Installation effizienter BHKW sinnvoll ist und gefördert werden sollte.
- Weiterer zu betrachtender Bereich ist die Klärschlammentsorgung; eine Förderung z. B. der Klärschlammtrocknung als Voraussetzung für eine thermische Nutzung sollte unbedingt an Bedingungen geknüpft sein (z. B. nur Förderung solarer Trocknungsanlagen); ggf. ist eine Förderung innovativer Verfahren wie die Vergasung auf der Kläranlage Balingen sinnvoll.

Unabhängig von einem Förderprogramm könnte die Erarbeitung eines Leitfadens hilfreich sein, der Hintergrundinformationen bereitstellt, zum einen für die Kommunen, die Entscheidungsträger für Maßnahmen auf den Kläranlagen sind und zum anderen für Behörden, die Förderanträge zu prüfen haben. Eine in diesem Sinne erste Auflistung bzw. Skizze für eine Herangehensweise ist unten aufgeführt.

Förderprogramm für Abwasserwärmenutzung aus der Kanalisation

Die Abwasserabwärmenutzung ist in Deutschland bislang in Einzelfällen realisiert und meistens entweder als gefördertes Demonstrationsvorhaben oder als Maßnahme im Zuge von sowieso anstehenden Sanierungsarbeiten am Kanalnetz. Grundsätzlich könnte nach konservativer Schätzung dem Kanalnetz in Deutschland 418 MW thermische Leistung entnommen werden. Je nachdem, in welchem Umfang diese Wärmeleistung über Elektro- oder über Gaswärmepumpen dann auf ein höheres, nutzbares Temperaturniveau gebracht wird, könnten durch die Nutzung Treibhausgaseinsparungen von etwa 0,6-1,2 Mio. Tonnen CO_2-Äquivalente erzielt werden (Öko-Institut/IFEU 2010b). Die Kosten für die Maßnahme werden von den erforderlichen Einbauten der Wärmetauscher in das Kanalnetz dominiert. Stehen sowieso Sanierungsmaßnahmen an, ist die Maßnahme rentabel. Andernfalls ist die Rentabilität im Einzelfall zu prüfen. Ein grundsätzliches Hemmnis scheint jedoch die fehlende Sensibilisierung bzgl. der Möglichkeiten zu sein.

Die Auflage eines bundesweiten Förderprogramms könnte hier für hinreichend breite Aufmerksamkeit sorgen. Das Programm sollte im Wesentlichen die Prüfung und Planung einer Abwasserabwärmenutzung anreizen. Entsprechend vorzulegende Planungskonzepte sollten einen real gegebenen Wärmeabnehmer benennen, die Machbarkeit der Maßnahme nachweisen (Einverständnis Kanalnetz- und Kläranlagenbetreiber) sowie die erforderlichen gesamten Kosten der Maßnahme.

Skizze für beispielhafte Herangehensweise zur Beurteilung und Konzeptentwicklung für Kläranlagen im Rahmen eines Klimaschutzkonzeptes

1. Aufnahme der wichtigsten Randbedingungen der Kläranlage

- wie viele Einwohner sind angeschlossen (in EW/a)
- welches Verfahren ist gegeben (Belebtschlammverfahren mit oder ohne Faulung oder Tropfkörper)
- welche Abwassermenge fällt jährlich an -> Ableitung der spezifischen Abwassermenge in m³/(EW*a)
- welche durchschnittliche Belastung weist das Abwasser auf (N/BSB-Verhältnis)
- wie hoch ist der jährliche Strombedarf der Anlage (in kWh/(EW*a))
- wie hoch ist der Strombedarf der Belüftung (in kWh/EW*a))
- wie hoch ist der Strombedarf der Pumpwerke (Wh/(m³ Abwasser *m Förderhöhe))
- wie hoch ist die gesamte (kumulierte) Förderhöhe (manometrische Förderhöhe * prozentualer Anteil Kreislaufführung)
- bei Faulung: wie viel Klärgas wird jährlich erzeugt und wie wird dieses genutzt
- bei Faulung mit Klärgasnutzung im BHKW: wie hoch ist der Grad der Selbstversorgung beim Strom, bei der Wärme

Umrechnungsfaktoren nach (UBA 2008b)
Mittlerer Abwasseranfall 250 l/(EW*a) = 91 m³/(EW*a)
→ spezifischer Stromverbrauch 1 kWh/m³ = 91 kWh/(EW*a)

1 EW	= 60 g BSB5/d
	= 120 g CSB/d
	= 11 g Nges/d
	=8 g NH_4-N/d
	= 1,8 g P/d

2. Analyse der erhobenen Daten

Weicht die spezifische Abwassermenge deutlich vom durchschnittlicher Abwasseranfall von 91 m³/(EW*a) ab?	
wenn ja:	Gründe analysieren (hoher Fremdwassereintrag, hohe Industrieabwasserbelastung, …)
Können die Angaben zum Strombedarf beantwortet werden; bestehen entsprechende Messeinrichtungen?	
wenn nein:	Entsprechende Messgeräte – Stromzähler (Kosten gering) und Druckmessgeräte (Manometer) – anschaffen zur Erfassung des Stromverbrauchs v. a. der Großverbraucher wie Kompressoren, Gebläse, Pumpwerke, Rührwerke sowie der Druckverluste der Belüftungseinrichtung (sollte < 60 mbar sein, vgl. Kap. 4.9.1)
Weicht der Gesamtstrombedarf deutlich von den durchschnittlichen Ist-Werten ab (vgl. Tabelle 4-1)	

wenn ja:	Gründe analysieren (hoher Abwasseranfall, stark verschobenes N/BSB-Verhältnis (> 0,3), große Förderhöhe im Zulauf (> 5 m) z. B. wegen tiefer liegender Kanalisation)
Weicht der Stromverbrauch der Belüftung, der Pumpwerke deutlich nach oben ab, obwohl keine äußeren Randbedingungen vorliegen (s. o.), die dies erklären könnten?	
wenn ja:	Gründe analysieren (Alter der Pumpen, Verschleiß, Verstopfungen, sehr hohe Kreislaufführung, geringer Sauerstoffertrag (kg O_2/kWh), …)
Liegt die Klärgasmenge deutlich unter dem Durchschnitt von 19,6 l/(EW*d)?	
wenn ja:	Gründe analysieren (unregelmäßige Schlammzugabe, schwankende Temperaturen im Faulbehälter, keine maschinelle Voreindickung des Überschussschlamms, kurze Aufenthaltszeiten im Faulbehälter; als weitere Kenngröße, insbesondere bei Co-Fermentation, Klärgasanfalls in l/kg oTS ermitteln)
Liegt der Eigenversorgungsgrad mit Strom unterhalb 30 %	
wenn ja:	Gründe analysieren (hoher Strombedarf, geringer Wirkungsgrad BHKW)
Muss externe Wärme bezogen werden	
wenn ja:	Gründe analysieren (keine Faulgaserzeugung, keine maschinelle Voreindickung Überschussschlamm)

Je nach Ergebnissen der Ursachenanalyse für hohen Strombedarf, externen Wärmebedarf bzw. geringen Eigenversorgungsgrad, ist im Weiteren zu prüfen, welche Maßnahmen zur Optimierung eingeleitet werden können.

Bei äußeren Ursachen wie Fremdwassereintrag und Industrieabwasser ist zu prüfen, inwiefern sich diese mit zumutbarem Aufwand vermindern lassen. Bei Fremdwassereintrag Prüfen der Dichtigkeit des Kanalnetzes und Prüfen einer getrennten Ableitung von Hausdrainagen und Außengebietszuflüssen, idealer Weise in Kooperation mit anderen ggf. betroffenen Kläranlagen. Bei Industrieabwasser Prüfen, inwiefern die Schmutzmengen auch anderweitig separat entsorgt werden könnten oder ob sie sich am Industriebetrieb vorreinigen oder durch Betriebsoptimierung verringern lassen.

Der Stromverbrauch auf Kläranlagen wird fast ausschließlich durch Elektromotoren verursacht. Sind Ursache für hohe Stromverbräuche ineffiziente Elektromotoren mit niedrigen Wirkungsgraden, so sollten diese möglichst ausgetauscht werden. Bestehen auf der Kläranlage auch Probleme durch störanfällige Pumpen, wird die Bereitschaft zu einem Austausch gegeben sein. Ansonsten können Hemmnisse darin liegen, dass im kommunalen Betrieb die Energiekosten im Vergleich zu Kapital- und sonstigen Fixkosten von untergeordneter Bedeutung sind, so dass der Spielraum für zusätzliche Investitionen gering ist und trotz gegebener Rentabilität sehr kurzsichtig nur die reinen Investitionskosten betrachtet werden und preisgünstigere, minderwertigere Motoren angeschafft werden.

Erweist sich das Belüftungssystem als überdurchschnittlicher Stromverbraucher, obwohl effiziente Belüfter eingesetzt werden, bestehen weitere Optimierungsmöglichkeiten ggf. in der An-

ordnung und Beaufschlagung der Belüfter sowie Belüfterregelung. Die Belüfteranordnung kann einfach umgesetzt werden. Für eine niedrigere Beaufschlagung sind Belüfterelemente zu reinigen oder zusätzliche anzuschaffen. Dies ist i.d.R. rentabel, da eine geringere Beaufschlagung einen höheren Sauerstoffertrag und damit geringeren Stromeinsatz und Stromkosten ergeben. Die Veränderung der Belüftungsregelung dagegen muss sehr gründlich in ihren möglichen Auswirkungen geprüft werden. Inzwischen gibt es auf fast allen Kläranlagen eine Sauerstoffmessung mit Vorgabe eines Sollwertes als Grundlage für die Regelung. Grundsätzlich ist eine Herabsetzung dieses Sollwertes denkbar, jedoch besteht dann ein höheres Risiko für Bläh- und Schwimmschlammbildung. Eine andere Möglichkeit besteht in der Umstellung auf eine Regelung nach der Ammoniumkonzentration im Ablauf der biologischen Stufe. Als Hemmnis bestehen hier ggf. die erforderlichen Kosten sowie die Befürchtung, dass die Betriebsstabilität dadurch beeinträchtigt werden könnte.

Mögliche Ursachen für eine geringe Klärgasmenge wurden bereits oben angeführt, Maßnahmen zur Optimierung bestehen im Umkehrschluss. Wichtig in diesem Zusammenhang zu nennen ist die maschinelle Voreindickung von Überschussschlamm, durch die die zu behandelnde Schlammmenge auf bis zu einem Fünftel reduziert werden kann. Das heißt es müssen 4/5 weniger Schlammmasse (Wasser) im Faulbehälter behandelt und erwärmt werden. Entsprechend kann die Verweilzeit deutlich erhöht werden. Der geringe Strommehrbedarf für die Voreindickung rechnet sich energetisch auf jeden Fall, wenn ansonsten für die Wärmeerzeugung externe Wärme zugekauft werden muss.

Obiges geht auch Hand in Hand mit einer Optimierung der Faulgasnutzung. Ziel sollte eine flächendeckende Faulgasnutzung in effizienten BHKW sein mit möglichst hohen elektrischen Wirkungsgraden. Damit steht umgekehrt gegenüber einer reinen Wärmenutzung weniger selbst produzierte Wärme zur Verfügung. Die maschinelle Voreindickung kann ausschlaggebend sein, dass dennoch eine 100 %ige Selbstversorgung mit Wärme möglich ist. Im Bundesdurchschnitt liegt der elektrische Wirkungsgrad von auf Kläranlagen installierten BHKW bei etwa 31 %. Heute sind je nach Aggregatgröße aber problemlos Wirkungsgrade von 35 % bei kleineren (ab 100 kW_{el}) und 40 % bei größeren (ab 500 kW_{el}) BHKW möglich.

5 Literatur

(2008/98/EG) Richtlinie 2008/98/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. November 2008 über Abfälle und zur Aufhebung bestimmter Richtlinien

AbwV (2004) Verordnung über Anforderungen an das Einleiten von Abwasser in Gewässer in der Fassung der Bekanntmachung vom 17. Juni 2004 (BGBl. I Nr. 28 vom 22.06.2004 S. 1108; BGBl. I Nr. 55 vom 27.10.2004 S. 2625) zuletzt geändert am 19. Oktober 2007 durch Artikel 1 der Verordnung zur Änderung von Verordnungen zur Anpassung an das Tierische-Nebenprodukte-Beseitigungsrecht (BGBl. I Nr. 52 vom 25.10.2007 S. 2461)

ASUE (2005) BHKW-Kenndaten 2005 – Module, Anbieter, Kosten. Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch (ASUE)

ATT et al. (2008) Arbeitsgemeinschaft Trinkwassertalsperren e.V. (ATT), Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. (BDEW), Deutscher Bund der verbandlichen Wasserwirtschaft e.V. (DBVW), Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e.V. Technisch-wissenschaftlicher Verein (DVGW), Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA) und Verband kommunaler Unternehmen e.V. (VKU) (Hrsg.): Branchenbild der deutschen Wasserwirtschaft 2008. Bonn.

BayLfU (2009) Bayrisches Landesamt für Umwelt (LfU): Kläranlagen in Bayern: Stromverbrauch und Einsparpotenziale. http://www.lfu.bayern.de/wasser/fachinformationen/-abwasser_kommunale_anlagen/stromverbrauch/index.htm (Zugriff 18.01.2010)

Bellefontaine et al. (2007): Bellefontaine, K., Holtkamp, O., Thaler, S., Leptien, C. und A. Sieler: Wirtschaftsdaten der Abwasserentsorgung 2005. Ergebnisse einer gemeinsamen Umfrage der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (DWA) und dem Bundesverband der deutschen Gas- und Wasserwirtschaft (BGW).

BMU (2009) Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU): Investitionsförderung im Inland: Abwasserwärmenutzung Nordwestbad Bochum. http://www.bmu.de/foerderprogramme/pilotprojekte_inland/doc/45153.php (Zugriff 20.01.2010)

BMU (2008) Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Erneuerbare Energien in Zahlen – Nationale und internationale Entwicklung. Berlin/Bonn, Juni 2008.

BMU/UBA (2009) Ökologisch sinnvolle Verwertung von Bioabfällen. Anregung für kommunale Entscheidungsträger. Erstellt durch BMU und UBA (Hrsg.) und Witzenhausen-Institut, Sept. 2009.

BMWi (2008) Energieverbrauch nach Anwendungen, Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen. Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft - Projektgruppe Nutzenergiebilanzen, 2008

bte, IFEU, ISA (2004) Ökobilanzielle Bewertung neuartiger Energieversorgungssysteme für Kläranlagen unter besonderer Berücksichtigung der Wasserstofftechnologie. Forschungs- und Entwicklungsvorhaben im Auftrag des MUNLV NRW, AZ IV – 9 – 042 426, Dezember 2004

Buchheit (2009) Buchheit, M.: Kopplung von Energie- und Komposterzeugung. In: Tagungsband „Abfall als Ressource“. Gemeinsame Veranstaltung des Umweltministeriums Baden-Württemberg und des VKS im VKU Landesgruppe Baden-Württemberg im Rahmen der 70. Landesgruppen- und Fachtagung, 15.-16.7.2009 in Ludwigsburg.

BWP et al. (2005) Bundesverband WärmePumpe (BWP) e.V., Deutsche Bundesstiftung Umwelt, Arbeitsgemeinschaft für sparsame Energie- und Wasserverwendung (ASEW) GbR im Verband kommunaler Unternehmen, Institut Energie in Infrastrukturanlagen (Hrsg.): Heizen und Kühlen mit Abwasser. Energierückgewinnung aus Abwasserkanälen. Ratgeber für Bauherren und Kommunen. http://www.eco-s.net/ECOS_Broschuere_AbwWP.pdf (Zugriff 20.01.2010)

Christ, Mitsdoerffer (2008) Christ, O. und Mitsdoerffer, R.: "Regenerative Energie nutzen - Wärmequelle Abwasser." WWT - Wasserwirtschaft Wassertechnik(05/2008): M6 - M12

DBU (2002) Vogt, R., Knappe, F., Giegrich, J., Detzel, A. (IFEU Heidelberg): Ökobilanz Bioabfallverwertung. Gefördert von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU). Initiativen zum Umweltschutz 52. Erich Schmidt Verlag, Berlin 2002

e.qua (2009) Wärmegewinnung im künftigen Brandschutz-, Katastrophenschutz- und Rettungsdienstzentrum der Feuerwehr Dresden. http://e-qua.de/-92.html?&tx_ttnews(tt_news)=9&tx_ttnews(backPid)=44&cHash=a06c7d6af3 (Zugriff 20.10.2010)

EdDE (2010) Bilitewski, B., Wünsch, C. (IAA TU Dresden), Jager, J., Hoffmann, M. (IWAR TU Darmstadt): Energieeffizienzsteigerung und CO_2-Vermeidungspotenziale bei der Müllverbrennung – technische und wirtschaftliche Bewertung. EdDE-Dokumentation 13. Entsorgergemeinschaft der Deutschen Entsorgungswirtschaft e.V. (EdDE), Köln, April 2010.

EdDE (2007) Gottschall, R. (Humus & Erden Kontor GmbH), Kranert, M. (ISWA), et al.: Grünabfälle – besser kompostieren oder energetisch verwerten? – Vergleich unter den Aspekten der CO2-Bilanz und der Torfsubstitution. Entsorgergemeinschaft der Deutschen Entsorgungswirtschaft e.V. (EdDE), Köln, Dezember 2007.

EnergieAgentur NRW (2008) Das Energiekonzept der Kläranlage Dresden-Kaditz. KommEN. Kommunale Energie NRW. http://www.kommen.nrw.de/-projekt_detail.asp?InfoID=6811&rubrik=&termin=&TopCatID=&RubrikID (Zugriff 20.01.2010).

gewitra (2009) Cuhls, C. et al.: „Ermittlung der Emissionssituation bei der Verwertung von Bioabfällen“, UFO-Plan FKZ 206 33 326, Februar 2009 (unveröffentlichter Entwurf)

Ginter (2009) Ginter, M.: Anreizsystem zur Steigerung der Erfassungsquoten bei Grünabfällen. In: Tagungsband „Abfall als Ressource“. Gemeinsame Veranstaltung des Umweltministeriums Baden-Württemberg und des VKS im VKU Landesgruppe Baden-Württemberg im Rahmen der 70. Landesgruppen- und Fachtagung, 15.-16.7.2009 in Ludwigsburg.

Herwig (2008) Herwig, W.: Realisierung und Betrieb einer Wärmetauscheranlage im Leverkusener Kanalnetz. Vortrag im Rahmen des Energieforums 2008. Technische Betriebe der Stadt Leverkusen AöR. http://www.wsw-online.de/energie/Download/Vortraege/-W %E4rmetauscher %20Kanalnetz.pdf (Zugriff 20.01.2010).

IAA/INTECUS (2008) Bilitewski, B. et al.: „Nutzung der Potenziale des biogenen Anteils im Abfall zur Energieerzeugung“; Institut für Abfallwirtschaft und Altlasten der Technischen Universität Dresden und INTECUS GmbH. UFO-Plan FKZ 206 33 303, Dezember 2008, bislang unveröffentlicht

IFEU (2009) Ökologischer Vergleich der stofflichen und thermischen Verwertung von Kunststoffverpackungsabfällen unter verschiedenen Randbedingungen. Im Auftrag der DSD GmbH. Teilveröffentlicht in: Heyde et al.: Werkstoffliche Verwertung Verpackungskunststoffen aus der Getrenntsammlung Dualer Systeme. Müll und Abfall 1-10, S.32-37

IFEU (2007) Anpassung der Methodik zur Ermittlung der Umweltbewertungsfaktoren der Berliner Stadtreinigungsbetriebe AöR (BSR). Im Auftrag der ALBA, Berlin, 2007.

IFEU/Öko-Institut (2006) Stoffstrommanagement von Biomasseabfällen mit dem Ziel der Optimierung der Verwertung organischer Abfälle. IFEU Heidelberg und Öko-Institut e.V. Darmstadt, Ufoplan-Vorhaben 205 33 313, Juni 2006.

INSM (2008) Initiative Neue Soziale Marktwirtschaft: Abwassermonitor 2008. http://www.insm-abwassermonitor.de/ranking_aw_gesamtkosten.html (Zugriff 18.01.2010)

ISI (2009) CO_2-Minderung im Stromsektor durch den Einsatz erneuerbarer Energien im Jahr 2006 und 2007. Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung (ISI). Im Auftrag des Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW), Feb. 2009

Kern (2001) Kern, M., Sprick, W.: Abschätzung des Potenzials an regenerativen Energieträgern im Restmüll. In: Bio- und Restabfallbehandlung V. Wiemer/Kern (Hrsg.). Witzenhausen-Institut - Neues aus Forschung und Praxis. Witzenhausen 2001

KTBL (2009) Faustzahlen Biogas, 2. Auflage. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL) (Hrsg.), 2009

LUA NRW (2000) Mertsch Viktor; Wiedenhöft Claudia: Aktueller Stand des LUA-Merkblattes zur "Mitbehandlung von biogenen Abfällen in Faulbehältern"; Forum Siedlungswasserwirtschaft und Abfallwirtschaft Universität Essen, Heft 16/2000, S. 1-12

LUBW (2010) Brühbach, K. (LUBW), Knappe, F., Vogt, R.: Bio- und Grünabfälle. Optimierung der Erfassung und Verwertung von Bio- und Grünabfällen in Baden-Württemberg. Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW) (Hrsg.), Mai 2010.

MLU (2009) Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt Sachsen-Anhalt: Abwasserkostenerhebung für Sachsen-Anhalt. www.sachsen-anhalt.de/.../Abwasserkostenerhebung/Abwasserverbrauch_und_Preisentwicklung_02-2009.pdf (Zugriff 20.01.2010).

MUFV (2007) Ministerium für Umwelt, Forsten und Verbraucherschutz Rheinland-Pfalz (MUFV) (Hrsg.): Steigerung der Energieeffizienz in Abwasseranlagen. Ökoeffizienz in der Wasserwirtschaft. Mainz.

MUNLV (1999) Müller, E. A.; Kobel, B.; Künti, Th.; Pinnekamp, J.; Seibert-Erling, G.; Schaab, R.; Böcker, K.: Handbuch Energie in Kläranlagen. Im Auftrag des Ministeriums für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft des Landes Nordrhein-Westfalen, 1999

MUNLV (2006) Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MUNLV): Investitionsprogramm Abwasser NRW. Richtlinien über die Gewährung von Zuwendungen. http://www.umwelt.nrw.de/umwelt/pdf/NRW_Invest-Abwasser_Brosch.pdf (Zugriff 20.01.2010)

Öko-Institut, IFEU (2010a) Klimaschutzpotenziale der Abfallwirtschaft. Am Beispiel von Siedlungsabfällen und Altholz. Öko-Institut e.V. Darmstadt und IFEU Heidelberg, Ufoplan-Vorhaben 3708 31 302, Januar 2010.

Öko-Institut, IFEU (2010b) Ausgewählte Klimaschutzpotenziale der Abwasserwirtschaft – Wärmepotenzial aus Abwasser – Potenzial der Faulgasnutzung. Im Auftrag des Bundesverbands der deutschen Entsorgungs-, Wasser- und Rohstoffwirtschaft e.V. (BDE), Januar 2010.

Öko-Institut/IFEU (2005) Beitrag der Abfallwirtschaft zum Klimaschutz – Statusbericht zum Beitrag der Abfallwirtschaft zum Klimaschutz und mögliche Potenziale. Öko-Institut e.V. Darmstadt und IFEU Heidelberg, Ufoplan-Vorhaben 205 33 314. Darmstadt, Heidelberg 2005.

Öko-Institut (2008) Fritsche, U. et al: Bestimmung spezifischer Treibhausgas-Emissionsfaktoren für Fernwärme; Climate Change 8/08; Umweltforschungsplan des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Darmstadt 2008.

Rabtherm Energy Systems: Energiegewinnung aus Abwasser. Referenzen: Stadt Leverkusen. http://www.rabtherm.ch/documents/referenzen/leverkusen.pdf (Zugriff 20.01.2010)

Rathaus Fürth (2009) Vorreiterrolle bei Energiegewinnung (Stand 25.08.2009) http://www.fuerth.de/desktopdefault.aspx/tabid-665/1132_read-17806 (Zugriff: 28.01.2010)

Recycling Magazin (2008) Virtuelle Überkapazitäten. Recycling magazin 21 / 2008, S.16ff

Remondis (2009) Fendel, A., Höring, K.: Praktische Erfahrungen in der Vergärung von biogenen Abfallstoffen. In: Biomasse aus Abfällen. Tagungsband, LANUV-Fachbericht 18, Stadtwerke Düsseldorf, 2009

Stadtentwässerung Dresden (2007): Kläranlage Dresden-Kaditz – für eine saubere Elbe. http://www.stadtentwaesserung-dresden.de/templates/-content_db_infomaterial.php?topic=Infomaterial (Zugriff 20.01.2010)

Stadtentwässerung Dresden (2010): Stadtentwässerung Dresden. http://www.stadtentwaesserung-dresden.de/templates/content_entry_site_ko.php?topic=unser_anliegen (Zugriff 20.01.2010)

STBA (2010) Umwelt. Abfallbilanz 2008. Statistisches Bundesamt, Wiesbaden 2010.

STBA (2009a) Umwelt. Zeitreihe zum Abfallaufkommen 1996-2007. Statistisches Bundesamt, Wiesbaden 2009.

STBA (2009b) Öffentliche Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung 2007, Fachserie 19 Reihe 2.1, Statistisches Bundesamt, Wiesbaden, September 2009

STBA (2009c) Produzierendes Gewerbe, ausgewählte Zahlen zur Energiewirtschaft Dezember 2008, Fachserie 4, Reihe 6.5, Statistisches Bundesamt, Wiesbaden, Juni 2009

STBA (2009d) 2008: Thermische Entsorgung des Klärschlamms hat zugenommen. http://www.destatis.de/jetspeed/portal/cms/Sites/-destatis/Internet/DE/Presse/pm/2009/12/PD09__504__32214.psml (Zugriff 20.01.2010)

Thomé-Kozmiensky/Thiel (2008) Thomé-Kozmiensky, K, Thiel, S.: Ersatzbrennstoffherstellung und -verwertung in Deutschland. In: K. Wiemer, M. Kern: Bio- und Sekundärrohstoffverwertung III. Witzenhausen-Institut - Neues aus Forschung und Praxis, 2008. S. 249-266

UBA (2010) Bewertung der Verpackungsverordnung. Evaluierung der Pfandpflicht. Bifa Umweltinstitut, Augsburg. UBA Texte 20/2010, FKZ 3708 93 303, April 2010.

UBA (2009) Energieeffizienz kommunaler Kläranlagen. Umweltbundesamt, Oktober 2009[32]

UBA (2008a) Umweltbundesamt: Daten zur Umwelt, Auflistung der Abfallverbrennungsanlagen. http://www.umweltbundesamt-daten-zur-umwelt.de/umweltdaten/public/theme.do?nodeIdent=2307

UBA (2008b) Steigerung der Energieeffizienz auf kommunalen Kläranlagen. Arbeitsgemeinschaft iat – Ingenieurberatung für Abwassertechnik in Zusammenarbeit mit Universitäten Stuttgart und TU Kaiserslautern sowie Ryser Ingenieure Bern. UBA Texte 11-08, FZK 205 26 307, Dessau-Roßlau März 2008

UMBW (2007) Umweltministerium Baden-Württemberg (UM): Heizen und Wärmenetze mit regenerativen Energien. Förderrichtlinie. Förderprogramm EFRE. http://www.um.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/38086/ (Zugriff 21.01.2010)

UMBW (2009) Umweltministerium Baden-Württemberg (UM): Förderprogramme. Europäischer Fonds regionale Entwicklung EFRE: Abwasserbeseitigung. http://www.um.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/45558/ (Zugriff 21.01.2010).

VerpV (2008) Verordnung über die Vermeidung und Verwertung von Verpackungsabfällen (Verpackungsverordnung - VerpackV); zuletzt geändert durch Artikel 1 und Artikel 2 der Verordnung vom 2. April 2008 (BGBl. I S. 531); vollständig In Kraft getreten zum 1. April 2009

Vogel (2009) Vogel, F.: Stoffstrommanagement für Grünabfälle. In: Tagungsband „Abfall als Ressource“. Gemeinsame Veranstaltung des Umweltministeriums Baden-Württemberg und des VKS im VKU Landesgruppe Baden-Württemberg im Rahmen der 70. Landesgruppen- und Fachtagung, 15.-16.7.2009 in Ludwigsburg.

WHG (2002) Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts in der Fassung der Bekanntmachung vom 19. August 2002 (BGBl. I Nr. 59 vom 23.08.2002 S. 3245) zuletzt geändert am 10. Mai 2007 durch Artikel 2 des Gesetzes zur Umsetzung der Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates über die Umwelthaftung zur Vermeidung und Sanierung von Umweltschäden (BGBl. I Nr. 19 vom 14.05.2007 S. 666)

Witzenhausen-Institut (2008) Kern, M. et al.: „Aufwand und Nutzen einer optimierten Bioabfallverwertung hinsichtlich Energieeffizienz, Klima- und Ressourcenschutz“; Witzenhausen-Institut für Abfall, Umwelt und Energie GmbH, UFO-Plan FKZ 3707 33 304; Dezember 2008 (Entwurf).

---

[32] Broschüre des UBA, basierend auf den Ergebnissen in (UBA 2008)

WI, IGW (2007) Witzenhausen-Institut für Abfall, Umwelt und Energie GmbH, Ingeni-eurgemeinschaft Witzenhausen: Wirtschaftliche Bewertung von Kompostierungsanla-gen hinsichtlich der Integration einer Anaerob-Stufe als Vorschaltanlage. Im Auftrag der Projektgemeinschaft Biogas (PG Biogas 2008) des Forschungsvorhabens FKZ 0327544 gefördert durch das BMU, Juli 2007