



## **ASA-Strategie 2030**

**Ressourcen- und Klimaschutz durch eine  
stoffspezifische Abfallbehandlung**

**Herausforderungen, Chancen, Perspektiven**

---

**Oktober 2016**



aufgestellt von:

**Dr. Ketel Ketelsen/Dr. Karsten Kanning**



**Ingenieurbüro für Abfallwirtschaft  
und Energietechnik GmbH  
Friesenstraße 14, 30161 Hannover**

# Inhaltsverzeichnis

<b>VERZEICHNIS DER VERWENDETEN ABKÜRZUNGEN</b>	<b>IV</b>
<b>1 VORBEMERKUNG</b>	<b>1</b>
<b>2 RAHMENBEDINGUNGEN - ÜBERSICHT</b>	<b>3</b>
<b>3 ENERGIEWENDE UND DECARBONISIERUNG</b>	<b>8</b>
<b>4 RAHMENBEDINGUNGEN DER KREISLAUFWIRTSCHAFT AUF EU-EBENE UND IN DEUTSCHLAND</b>	<b>12</b>
<b>5 PERSPEKTIVEN: ENERGIEWENDE UND ENERGIE AUS ABFALL</b>	<b>15</b>
5.1 Energieversorgung und Kraftwerke	15
5.2 Kunststoffverwertung und EBS-Erzeugung	15
5.3 Biogaserzeugung und andere Konversionsprozesse	17
5.4 Zusammenfassung: Veränderungen bei der Energieerzeugung aus Abfall	18
<b>6 PERSPEKTIVEN: KREISLAUFWIRTSCHAFT UND STOFFLICHE VERWERTUNG</b>	<b>20</b>
<b>7 ASA-STRATEGIE 2030: THESEN UND HANDLUNGSOPTIONEN</b>	<b>23</b>
7.1 Grundverständnis, Anspruch und zukünftige Ausrichtung	23
7.2 Erwartete Entwicklungen in der Abfall- und Kreislaufwirtschaft	25
7.3 Umsetzung Abfallhierarchie und Energiewende	27
7.3.1 Abfallvermeidung	27
7.3.2 Vorbereitung zur Wiederverwendung	27
7.3.3 Recycling	28
7.3.4 Sonstige Verwertung	31
7.3.5 Beseitigung	32
7.4 Handlungsschwerpunkte und Optionen Bioabfallverwertung	33
7.5 Handlungsoptionen zur Weiterentwicklung der Anlagen mit MB-Technologie	35
<b>8 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK</b>	<b>38</b>

## LITERATUR

## **ANHANG**

<b>1</b>	<b>NEUE RAHMENBEDINGUNGEN FÜR DIE KREISLAUFWIRTSCHAFT AUS DER NEUAUSRICHTUNG DER ENERGIEWIRTSCHAFT</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>STAND DER STOFFSPEZIFISCHEN ABFALLBEHANDLUNG IN 2015</b>	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>ENTWICKLUNG DER STOFFSPEZIFISCHEN ABFALLBEHANDLUNG MITTELS MBA-TECHNOLOGIE IN DEUTSCHLAND</b>	<b>14</b>
<b>4</b>	<b>STAND DER ABFALLBEHANDLUNG IN MBA</b>	<b>20</b>
<b>5</b>	<b>PROGNOSEN ZUM ANLAGENBEDARF FÜR DIE BEHANDLUNG VON SIEDLUNGSABFALL</b>	<b>29</b>
<b>6</b>	<b>RESSOURCEN- UND KLIMASCHUTZ DURCH STOFFSPEZIFISCHE ABFALLBEHANDLUNG</b>	<b>35</b>
<b>7</b>	<b>VERWERTUNG VON BIO- UND GRÜNABFALL</b>	<b>42</b>
<b>8</b>	<b>BIOENERGIE AUS ORGANISCHEN RESTSTOFFEN UND FEUCHTER BIOMASSE</b>	<b>49</b>

## VERZEICHNIS DER VERWENDETEN ABKÜRZUNGEN

AbfAbIV	Abfallablagerungsverordnung
AbfRRL	Abfallrahmenrichtlinie
Äq.	Äquivalente
ASA	Arbeitsgemeinschaft stoffspezifische Abfallbehandlung e.V.
ASL	Ammoniumsulfatlösung
AT <sub>4</sub>	Atmungsaktivität über 4 Tage
BA	biologische Abfallbehandlung
batch	Batch-Verfahren (diskontinuierliche Vergärungsverfahren)
BB	biologische Behandlung
BGAA	Biogasaufbereitungsanlage (Gasaufbereitung zu Bioerdgas inkl. Einspeisung)
BHKW	Blockheizkraftwerk
BImSchV	Bundesimmissionsschutzverordnung
BM	Biomasse
BMHKW	Biomasseheizkraftwerk
BT	biologische Trocknung
BzB	Behandlung zur Beseitigung
C	Kohlenstoff
C/N	Kohlenstoff/Stickstoff (-Verhältnis)
C <sub>ges</sub>	Gesamt-Kohlenstoff
CH <sub>4</sub>	Methan
CO <sub>2</sub>	Kohlendioxid
DepV	Deponieverordnung
DK	Deponieklasse
DVGW	Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V.
E	Energie
EBS	Ersatzbrennstoff
EBS-KW	Ersatzbrennstoff-Kraftwerk
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
el	elektrisch
EMSR	Elektro-, Mess-, Steuer- und Regel- (Technik)
EU	Europäische Union
EV	energetische Verwertung
Ex	Explosions
Fe	Eisen
FEE	fluktuierende erneuerbare Energien

FKZ	Förderkennzeichen
FS	Frischsubstanz
GA	Gewerbeabfall
GB <sub>21</sub>	Gasbildungsrate im Gärtest über 21 Tage
GE	Geruchseinheit
GewAbfV	Gewerbeabfallverordnung
GuD-Kraftwerk	Gas- und Dampfturbinen-Kraftwerk
GV	Glühverlust
HM	Hausmüll
hwr.	heizwertreich
IBN	Inbetriebnahme
k. V.	keine Vorgabe
konti	kontinuierlich
KrW	Kreislaufwirtschaft
KrWG	Kreislaufwirtschaftsgesetz
kW	Kilowatt
KW	Kraftwerk
kWh	Kilowattstunde
KWK	Kraftwärmekopplung
MA	mechanische Aufbereitung
Max	Maximum
MBA	mechanisch-biologische Abfallbehandlungsanlage
MBA R	mechanisch-biologische Abfallbehandlungsanlage mit Rotte
MBA V	mechanisch-biologische Abfallbehandlungsanlage mit Vergärung
MBS	mechanisch-biologische Stabilisierung
Min	Minimum
MPS	mechanisch-physikalische Stabilisierung
MV	Mitverbrennung
MVA	Müllverbrennungsanlage
MW	Mittelwert
NawaRo	Nachwachsende Rohstoffe
NE	Nicht-Eisen
NH <sub>3</sub>	Ammoniak
NI	Norm-Liter
Nm <sup>3</sup>	Norm-Kubikmeter
NMVOC	Nicht-Methan-VOC
NV	Nassvergärung

ORC	Organic Rankine Cycle
oTG	Organischer Trockenmassegehalt
oTS	organische Trockensubstanz
p. a.	per annum
PV	Photovoltaik
R/D (-Verfahren)	R-Verfahren = Verwertungsverfahren/D-Verfahren = Beseitigungsverfahren
RTO	regenerative thermische Oxidation
RWU	Reparatur, Wartung, Unterhaltung (Instandhaltung)
SBS	Sekundärbrennstoff
SV	stoffliche Verwertung
SW	saurer Wäscher
TA Luft	technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft
TASi	technische Anleitung Siedlungsabfall
TB	thermische Behandlung
th	thermisch
TOC	total organic carbon (gesamter organischer Kohlenstoff)
TS	Trockensubstanz
TV	Trockenvergärung
VAwS	Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen
VDI	Verein deutscher Ingenieure e.V.
Verg.	Vergärung
VOC	volatile organic carbon (flüchtiger organischer Kohlenstoff)
VT	Verfahrenstechnik





## 1 Vorbemerkung

Die Herausforderungen des Klima- und Ressourcenschutzes prägen die aktuellen Entwicklungen in der nationalen und internationalen Umweltpolitik.

Mit dem Weltklimavertrag von Paris (UN, 2015) haben sich erstmalig alle beteiligten Staaten auf ein gemeinsames Ziel einer Begrenzung der Erderwärmung auf 1,5 bzw. 2° verständigt. Die Staaten sind aufgefordert, ihre Klimaziele zu überprüfen und die notwendigen Maßnahmenpakete zur Reduzierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen zu erarbeiten und diese bis 2023 einer Überprüfung unterziehen zu lassen. Deutschland will seinen Beitrag zum globalen Klimaschutz durch eine drastische Reduzierung der Treibhausgasemissionen um mindestens 80 % bis 2050 leisten.

Um die erforderlichen Reduktionsziele bei der Freisetzung von Klimagasemissionen zu erreichen, stellt die weitgehende Decarbonisierung der Wirtschaft, d. h. eine Abkehr vom Verbrauch fossiler Kohlenstoffe insbesondere bei der Energieerzeugung, das wichtigste Instrument dar.

Die in Deutschland eingeleitete Energiewende mit Wechsel von fossilen und atomaren Brennstoffen hin zu regenerativen Energien wird schon jetzt erkennbare gravierende Veränderungen in der Energiewirtschaft zur Folge haben, die sich auch auf die künftige Kreislaufwirtschaft auswirken werden.

Die Kreislaufwirtschaft wird von diesen Entwicklungen in der Energie-/Wirtschaft nicht nur betroffen sein, sondern kann auch selbst einen wesentlichen Beitrag zum Klima- und Ressourcenschutz beitragen. In der Kreislaufwirtschaft in Deutschland ist schon heute ein hoher Stand bei der Abfallverwertung erreicht. Zudem ist mit der Abkehr von der Ablagerung unvorbehandelter Siedlungsabfälle ein wesentlicher Beitrag zur Reduzierung der Emissionen aus Deponien erreicht worden. Eine noch stärkere Hinwendung zu einer Kreislaufwirtschaft mit hohen Zielvorgaben an die Wiederverwendung und das Recycling, mit Anforderungen an die energetische Verwertung von Abfällen sowie mit Beschränkungen für die Verbrennung stofflich verwertbarer Abfälle und von Fraktionen mit fossilen Kohlenstoffanteilen sind in der Umsetzung.

Die eingeleiteten Paradigmenwechsel in der Energie- und Umweltpolitik sind bei zugesagter Einhaltung der vereinbarten Klimaziele nicht mehr umkehrbar. Unklar ist lediglich, wann und in welcher Intensität die unstrittigen Ziele durch entsprechende Maßnahmen auf nationaler und internationaler Ebene umgesetzt werden.

Die Akteure in der Kreislaufwirtschaft sind also gehalten, sich rechtzeitig auf mögliche Entwicklungen und Veränderungen einzustellen bzw. sich darauf vorzubereiten. Auch hier gilt: Wer zu spät reagiert, steht zukünftig in leeren Hallen.

Mit dem vorliegenden Strategiepapier werden die möglichen Entwicklungen und Veränderungen und die daraus resultierenden Konsequenzen und Chancen für den Bereich der stoffspezifischen Abfallbehandlung im Zeitraum bis 2030 aufgezeigt. Dabei stehen kurz- und mittelfristige Reaktionen auf aktuelle marktwirtschaftliche und ordnungsrechtliche Entwicklungen (Marktpreise, Gesetze und Verordnungen) nicht im Widerspruch zur langfristigen Ausrichtung der Anlagen zur stoffspezifischen Behandlung auf die erwarteten Umstellungen in der Wirtschaft insbesondere in der Energie- und Kreislaufwirtschaft.

Trotz aller Unwägbarkeiten bei der Bewertung von Langzeitszenarien werden mit dem Strategiepapier nicht nur die möglichen Auswirkungen der Energiewende und der Neuausrichtung der Kreislaufwirtschaft dargestellt, sondern insbesondere auch die Chancen und Möglichkeiten der stoffspezifischen Abfallbehandlung zur Mitgestaltung der Energiewende und Kreislaufwirtschaft aufgezeigt.

Dabei wird das schon Erreichte den möglichen Handlungs- und Entwicklungsoptionen im Kontext der Energiewende und 5-stufigen Abfallhierarchie gegenübergestellt.

Die vorliegende Langfassung richtet sich vorrangig an die ASA-Mitgliedsbetriebe zur Information und soll dabei der eigenen Standortbestimmung und künftigen Zielorientierung dienen.

Die Langfassung wird ergänzt durch zielgruppenorientierte Kurzfassungen z. B. für die regionalen Gremien, für die Politik und die interessierte Fachöffentlichkeit. Zusätzlich sollen künftig durch vertiefte Darstellungen von Sonderthemen (z. B. zur Energieeffizienz und Klimabilanz) die Vorteile der stoffspezifischen Abfallbehandlung verstärkt kommuniziert werden.

## 2 Rahmenbedingungen - Übersicht

Die Notwendigkeit zum Klima- und Ressourcenschutz wird in Verbindung mit der in Deutschland eingeleiteten Energiewende alle Bereiche unseres Wirtschaftens nachhaltig beeinflussen.

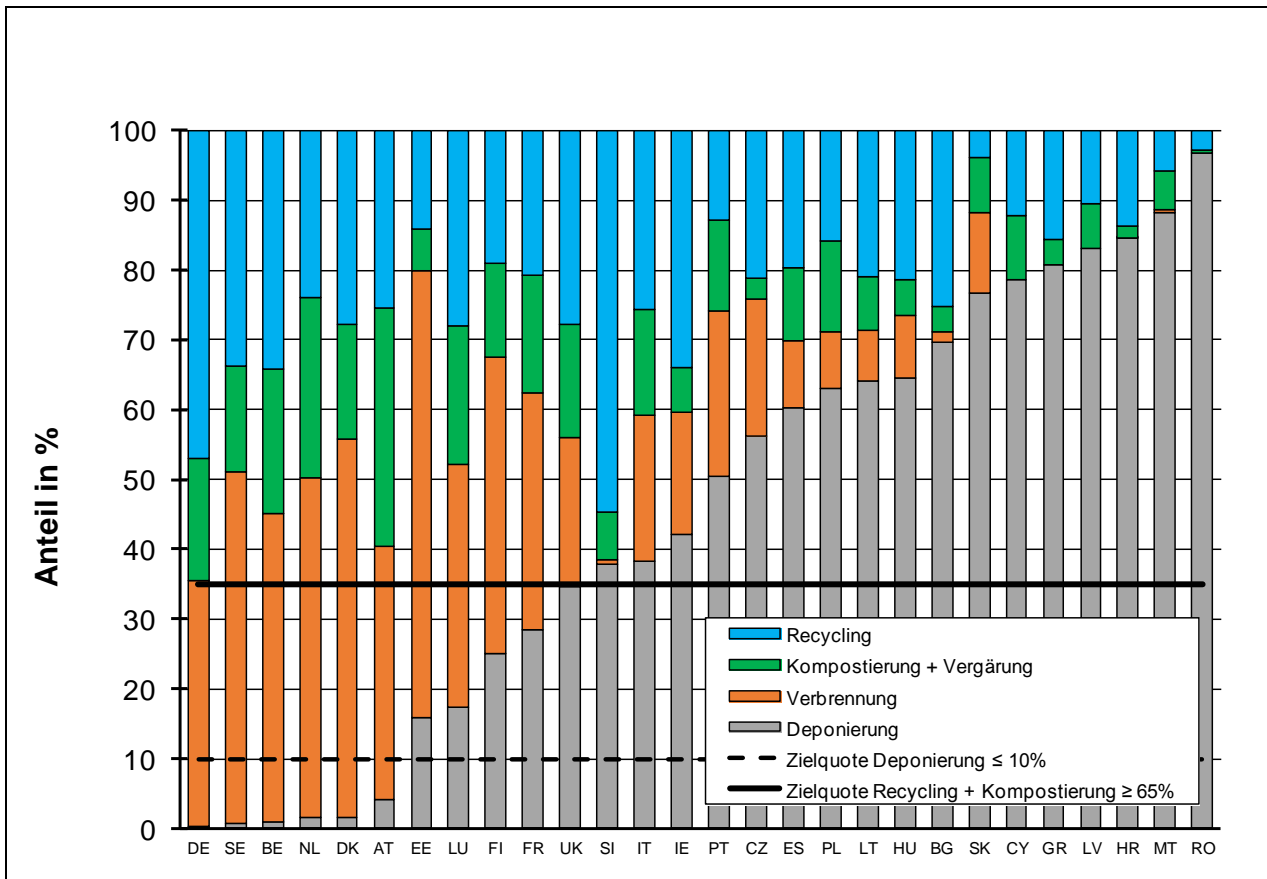
### ***Stand der Abfallwirtschaft in Deutschland***

Die deutsche Abfallwirtschaft hat dem vergleichsweise früh mit massiven Veränderungen hin zu einer verwertungsorientierten Wirtschaftsweise Rechnung getragen und hier eine Vorreiterrolle übernommen. Mit der Abkehr von der Ablagerung unvorbehandelter Siedlungsabfälle ab 2005 wurden im Zeitraum 2001 bis 2012 erhebliche Anlagenkapazitäten zur Behandlung von Siedlungsabfällen aufgebaut (vgl. Anhang Kap. 3). In Verbindung mit der Ausweitung der getrennten Sammlung von stofflich verwertbaren Stoffströmen sowie der Erzeugung von Brennstoffen aus Abfall und deren energetischen Verwertung werden heute nahezu alle Siedlungsabfälle stofflich oder energetisch verwertet oder biologisch bzw. thermisch behandelt. Zur Deponierung gelangen ausschließlich noch inerte bzw. biologisch inaktive Reststoffe nach Behandlung.

### ***Stand der EU-Abfallwirtschaft und EU-Vorgaben: 5-stufige Abfallhierarchie***

Die Überführung der Abfallwirtschaft in eine Kreislaufwirtschaft wird auf EU-Ebene durch entsprechende Vorgaben im Rahmen der Umsetzung der neuen **5-stufigen Abfallhierarchie** unterstützt (vergl. KrW-Paket der EU-Kommission vom 02.12.2015 und Kap. 4). Der Stand der Kreislaufwirtschaft weist in Europa gemessen am aktuellen Verbleib der Abfälle zzt. noch erhebliche Unterschiede auf (Bild 2-1); entsprechend unterschiedlich werden die Umwälzungen in den Mitgliedsstaaten bei einer Umsetzung der EU-Vorgaben (65 % zum Recycling, <10 % zur Deponie bis 2030) ausfallen.

Dies betrifft nicht nur die Staaten, in denen die Abfälle bisher noch überwiegend deponiert werden, sondern auch die Staaten, in denen der Anteil zur Verbrennung noch zu hoch ausfällt. Zudem kann sich der Vorrang der energetischen Verwertung vor der thermischen Behandlung auf den künftigen Verbleib der Stoffströme auswirken.

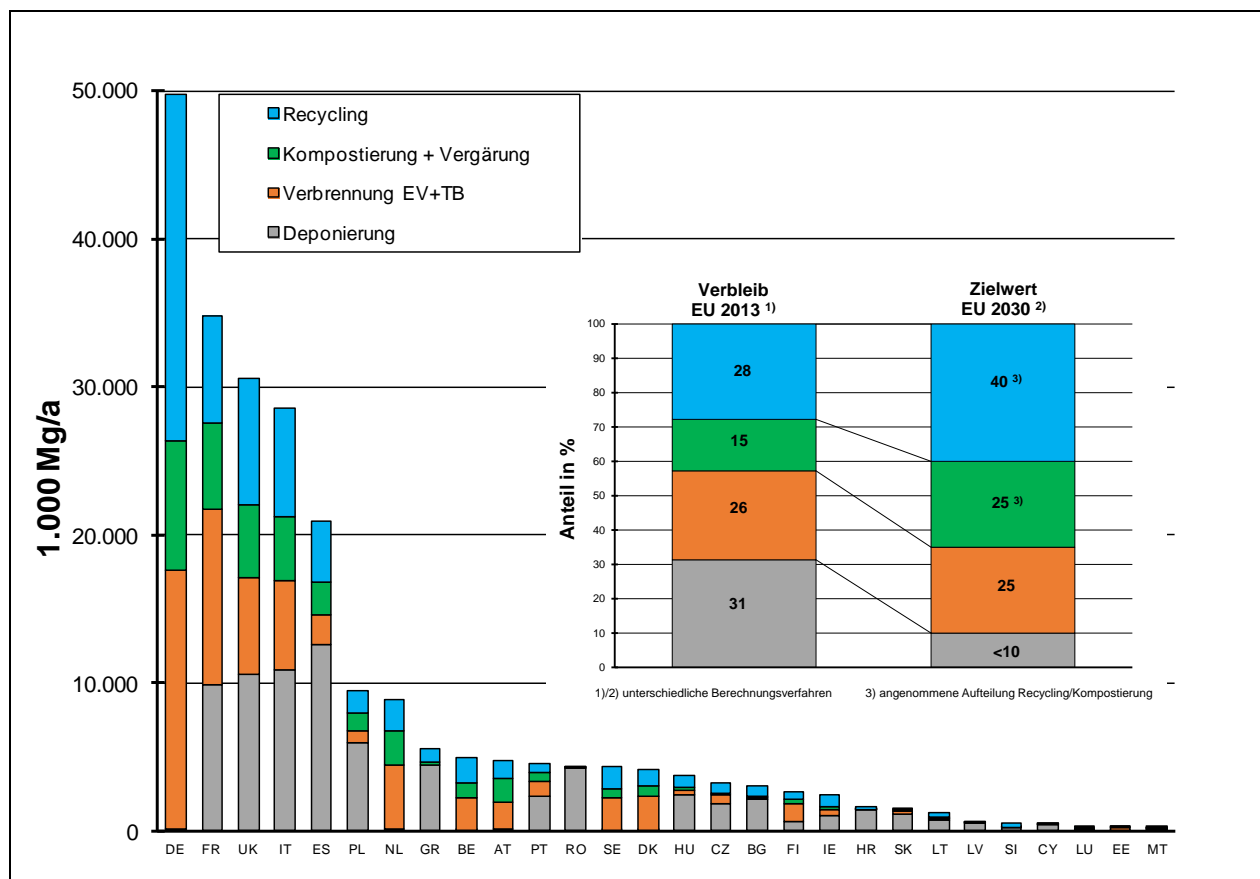


**Bild 2-1: Stand und Ziele der Kreislaufwirtschaft in den Staaten der europäischen Union (Daten 2013 nach eurostat, Quoten nach EU-Kommission 12/2015)**

Sofern künftig jedes EU-Land für sich die Recyclingquoten und Deponierungsziele nachweisen soll, müssten in vielen Ländern der EU die Mengen zur Deponie deutlich reduziert werden. In einigen Ländern, in denen schon heute nur noch geringe Mengen deponiert, jedoch mehr als 35 % verbrannt werden, müssten die Anteile zur Verbrennung reduziert werden, um künftig auf nationaler Ebene die geforderten Recyclingquoten einhalten zu können.

Der Rückgang der inländischen Abfallmengen zur Verbrennung könnte durch Abfallimporte aus anderen EU-Ländern ausgeglichen werden, wie es z. B. die EU Roadmap zur besseren Auslastung von bestehenden Anlagenkapazitäten und zur besseren Nutzung der Energiegehalte der Abfälle vorsieht<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> [http://ec.europa.eu/smart-regulation/roadmaps/docs/2016\\_env\\_086\\_waste\\_to\\_energy\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/smart-regulation/roadmaps/docs/2016_env_086_waste_to_energy_en.pdf), European Commission Roadmap 01/2016, Zugriff 11.03.2016



**Bild 2-2: Gesamtaufkommen und Verbleib der Siedlungsabfallmengen in den Staaten der EU im Jahr 2013 (eigene Darstellung nach Daten von eurostat<sup>2)</sup>)**

Sofern die Recycling- und Deponierungsziele der EU-Kommission auf europäischer Ebene nur für die Gesamtabfallmenge der 28 EU-Staaten erreicht werden sollen, könnten die europäischen Ziele allein durch eine Entwicklung der Kreislaufwirtschaft in den 5 bis 7 Ländern mit dem absolut höchsten Aufkommen an Siedlungsabfällen erfüllt werden. Allein in den Ländern Frankreich, Großbritannien, Italien, Spanien und Polen werden zur Zeit ca. 2/3 der in der europäischen Union insgesamt noch deponierten Siedlungsabfallmengen abgelagert. Wenn nur in diesen 5 Ländern die Deponierung unbehandelter Siedlungsabfälle zu Gunsten des Recyclings eingestellt werden würde, ließen sich rechnerisch die geforderten Recycling- und Deponierungsziele für die gesamte EU erreichen. Änderungen in der Deponierungspraxis in den genannten Ländern können sich auf Grund ihrer geographischen Nähe und ihres Mengenaufkommens auf die Höhe der importierten Abfallströme in Deutschland auswirken (Bild 2-2).

<sup>2</sup> <http://ec.europa.eu/eurostat/web/waste/municipal-waste-generation-and-treatment-by-treatment-method>  
Datenstand Eurostat: 23.07.2015, Zugriff 22.02.16

## ***Auswirkungen durch Energiewende/Decarbonisierung auf die Struktur der Stromerzeugung und auf fossile Materialien im Wirtschaftskreislauf***

Neue Herausforderungen ergeben sich aus der Energiewende und der Forderung des Klimaschutzes zur **Decarbonisierung** der Wirtschaft.

Auch wenn der Begriff der Decarbonisierung nicht explizit im Weltklimavertrag von Paris auftaucht, bleibt die damit verbundene Strategie gerade für Industriestaaten das wichtigste Instrument zur Reduktion fossiler CO<sub>2</sub>-Emissionen. In Deutschland ist mit der Energiewende der schrittweise Ersatz von Kohlekraftwerken durch eine auf erneuerbare Energien basierende Stromerzeugung eingeleitet. In dem Zuge sollen mittelfristig auch fossile Bestandteile den Abfallströmen zur thermischen Behandlung (TB) und energetischen Verwertung (EV) entzogen und weitestgehend einer hochwertigen stofflichen Verwertung (SV) zugeführt werden. Langfristig ist von einem Rückgang von Materialien fossilen Ursprungs im Wirtschaftskreislauf und damit auch in den künftigen Abfällen auszugehen.

Die Anforderungen an die Hochwertigkeit der stofflichen und der energetischen Verwertung bedürfen auf EU-Ebene noch einer einheitlichen Konkretisierung und Definition. Das Verständnis einer Hochwertigkeit, die diesem Strategiepapier zu Grunde liegt, ist in Kap. 7 beschrieben.

Es sind insbesondere folgende mittel- bis langfristigen wirtschaftlichen Entwicklungen mit Auswirkungen auf die Kreislaufwirtschaft in Deutschland und Europa zu berücksichtigen:

- zunehmende Verknappung von Rohstoffen und fossilen Energieträgern
- weitgehender Stopp bei der Nutzung fossiler Energieträger, um das im Weltklimavertrag von Paris gesteckte 1,5 bis 2 °-Ziel einhalten zu können
- zunehmender Ausbau der regenerativen Energieerzeugung mit Schwerpunkten im Bereich Stromerzeugung über Windkraft und Photovoltaik, dadurch abnehmender Bedarf an Grundlast-Strom aus fossilen Energieträgern und aus Abfällen
- steigende Anforderungen an die Flexibilität der Energiesysteme zur Residualstromerzeugung
- Rückgang der Restabfallmengen und Erhöhung der Mengen getrennt gesammelter Fraktionen
- Anstieg des Gesamtsiedlungsabfallaufkommens durch Erfassung von Abfallmengen aus der bisherigen Eigenverwertung

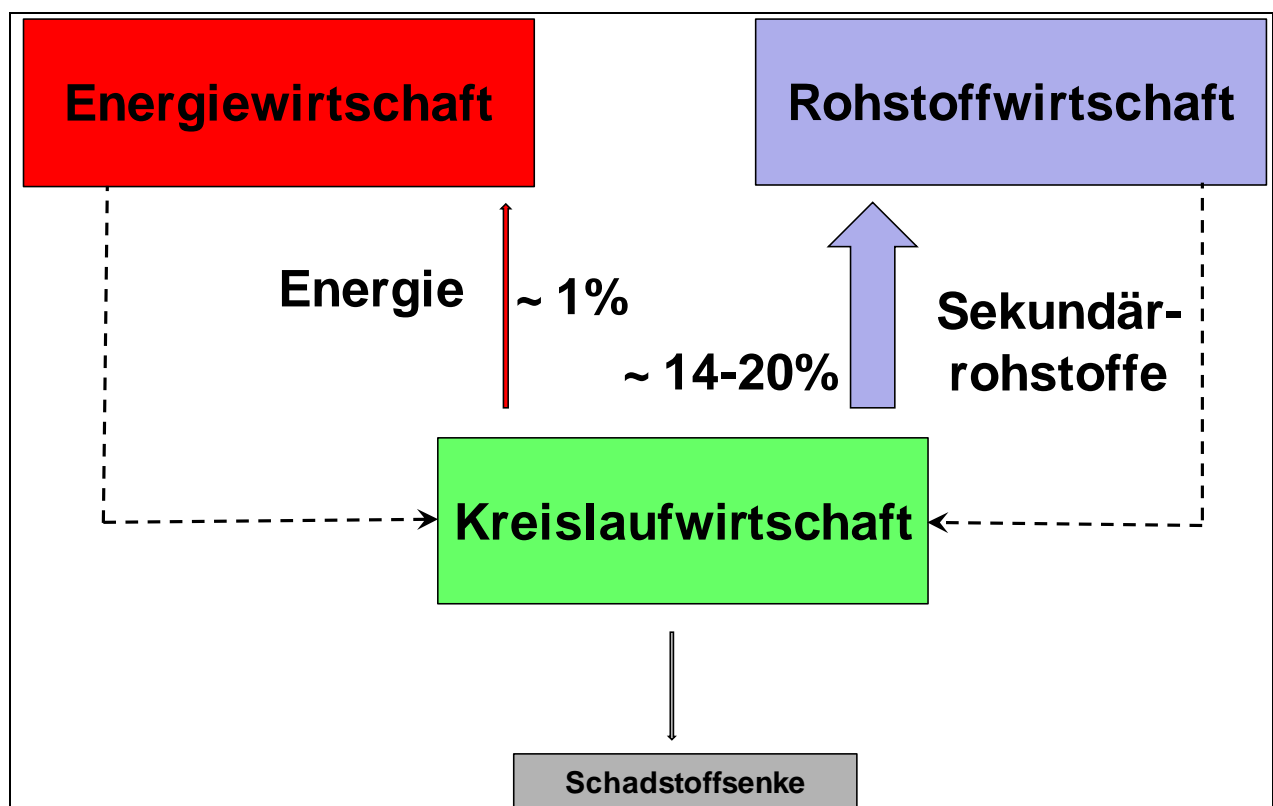
Ein Anstieg der Gesamtsiedlungsabfallmengen zeichnet sich z. B. durch die verstärkte Erfassung von Bioabfall ab. Dieser Mengenanstieg könnte durch Entwicklungen im Bereich Abfallvermeidung teilweise aufgefangen werden. Die Auswirkungen aus der aktuellen Bevölkerungsentwicklung sind zzt. noch nicht abzuschätzen.

Für Deutschland liegen die gestuften Reduktionsziele für die CO<sub>2</sub>-Emissionen ggü. dem Bezugsjahr 1990 bei 40 % (2020), 55 % (2030), 80 % (2050) und 100 % (2070). Um diese Ziele einhalten zu können, sind Einsparungen in allen Wirtschaftssektoren erforderlich, u. a. durch

- Senkung des Energieverbrauchs
- Erhöhung der Energieeffizienz
- drastische Reduktion der Verbrennung fossiler Energieträger
- Erhöhung des Anteils an erneuerbaren Energien vorwiegend Wind, Photovoltaik, Wasser, Biomasse; Ziel 2030: 60 % von Gesamtenergie und 80 % vom Strombedarf

Die daraus resultierenden möglichen Auswirkungen auf die stoffspezifische Abfallbehandlung inkl. Bedarf und Betrieb von stoffspezifischen Behandlungsanlagen und die verbleibenden Handlungsoptionen bzw. Gestaltungsmöglichkeiten sollen in diesem Strategiepapier aufgezeigt werden.

Dabei ist zu beachten, dass der Beitrag der Kreislaufwirtschaft zur Energiewirtschaft, trotz hohen Anteils an Abfällen zur energetischen Verwertung, mit ca. 1 % der erzeugten Energie eher gering ausfällt. Dagegen wird heute bereits 14 bis 20 % des Rohstoffbedarfs in Deutschland über Sekundärrohstoffe gedeckt, Tendenz steigend (BDI, 2014). Das relevantere Potenzial der Kreislaufwirtschaft liegt damit eindeutig in der Bereitstellung von Sekundärrohstoffen (Bild 2-3).



Aktuelle Beiträge nach BDI u. a., Stand 2014

**Bild 2-3: Beiträge der Kreislaufwirtschaft an der Energie- und Rohstoffwirtschaft**

### 3 Energiewende und Decarbonisierung

#### ***Zukünftige Entwicklung der Stromerzeugung***

Um die vorgegebenen Ziele zur Reduzierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen einzuhalten, ist vorrangig ein Umbau der Energieerzeugung geplant. Dabei lässt sich das Emissionsziel durch unterschiedliche Verfahrenskombinationen erreichen.

In diversen Studien werden derzeit Szenarien und Varianten entwickelt, in denen aufgezeigt wird, wie ein emissionsfreies Strom-/Energiesystem in der Zukunft aussehen könnte. Dabei wird in allen Ziel- und Referenzszenarien für 2050 unterstellt, dass der Strombedarf überwiegend durch PV und Windenergie gedeckt wird (65 bis 90 %). Der verbleibende Anteil soll entweder durch fossile oder Biomasse/Biogas-Kraftwerke abgedeckt werden. Weitergehende Ausführungen zu diesem Bereich finden sich im Anhang in Kap. 1. Nach dem in Deutschland beschlossenen Ausstieg aus der Atomenergie bis 2022 soll zusätzlich auch ein sukzessiver Ausstieg aus der Kohleverstromung folgen.

Nach DLR et al. 2012 geht die Auslastung fossiler Kraftwerke von durchschnittlich 4600 h/a im Jahr 2010 auf 3700 h/a im Jahr 2020 zurück; danach wird der Rückgang noch deutlicher (2030: ~3300 h/a; 2050: ~2200 h/a). Die heute noch dominierende Stromerzeugung aus Großkraftwerken ohne Abwärmenutzung (70 % der Bruttostromerzeugung in 2010) soll danach einer dezentralen, überwiegend auf erneuerbaren Energien beruhenden Stromversorgungsstruktur weichen. Lediglich Erdgaskraftwerke mit KWK-Nutzung sollen voraussichtlich am längsten in Nutzung bleiben (nach Bild 3-1 mindestens bis 2050).

Ergänzend dazu verweist ESYS (2015) darauf, dass die Klimaziele im Bereich der Residuallast<sup>3</sup> durch GUD-Kraftwerke, die mit Erdgas oder Biogas betrieben werden, erreicht werden können (Bild 3-2).

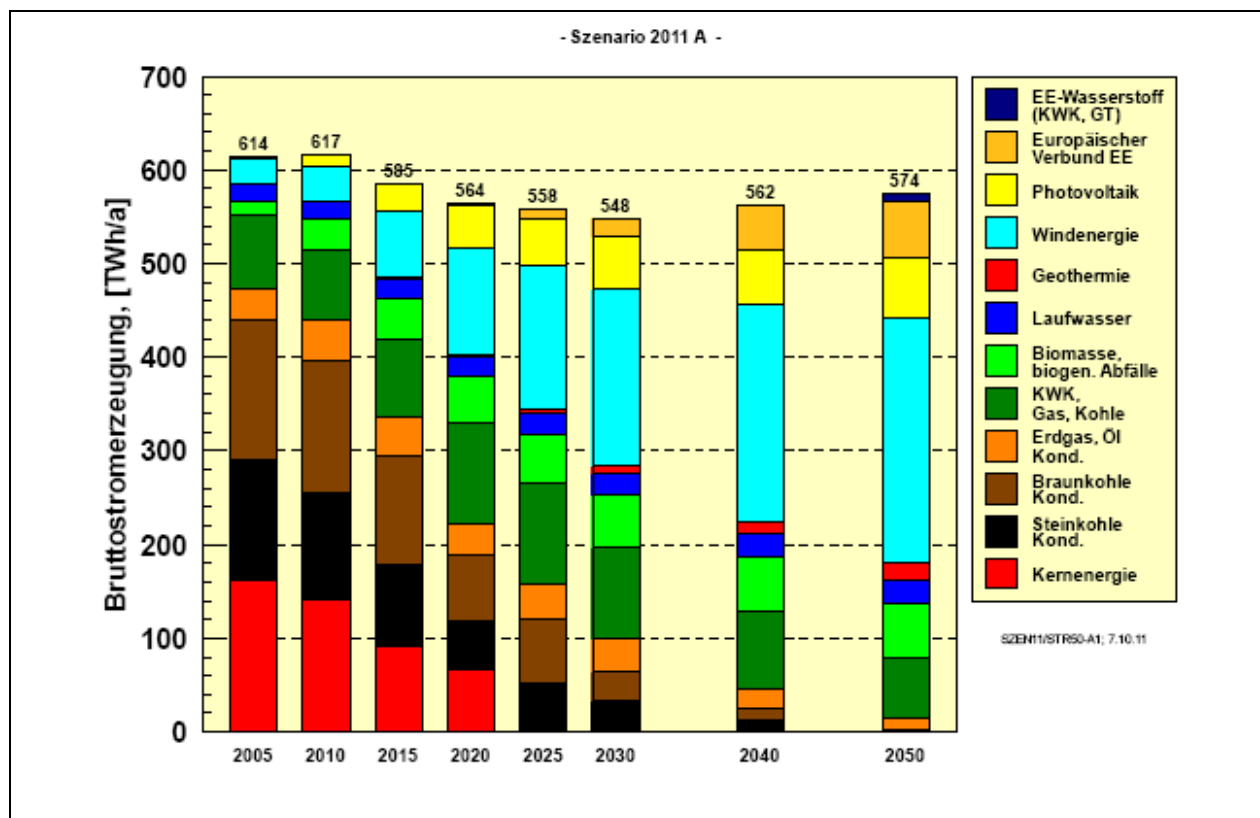
Daraus leiten die Autoren die Empfehlung ab, das künftige GUD-Kraftwerke ausgelegt werden sollten auf einen flexiblen Brennstoffeinsatz aus Erdgas, Biogas, Biomethan, ggf. Wasserstoff. Dabei wird ausdrücklich auch auf alternative Methoden zur Methanerzeugung (Elektrolyse + Methanisierung) unter Ausnutzung überschüssiger Strommengen aus erneuerbaren Energien verwiesen (Power-to-Gas).

Dieser Ansatz eröffnet der Vergärung und Biogasaufbereitung zusätzliche Möglichkeiten zur Mitgestaltung der Energiewende und der künftigen Energiewirtschaft.

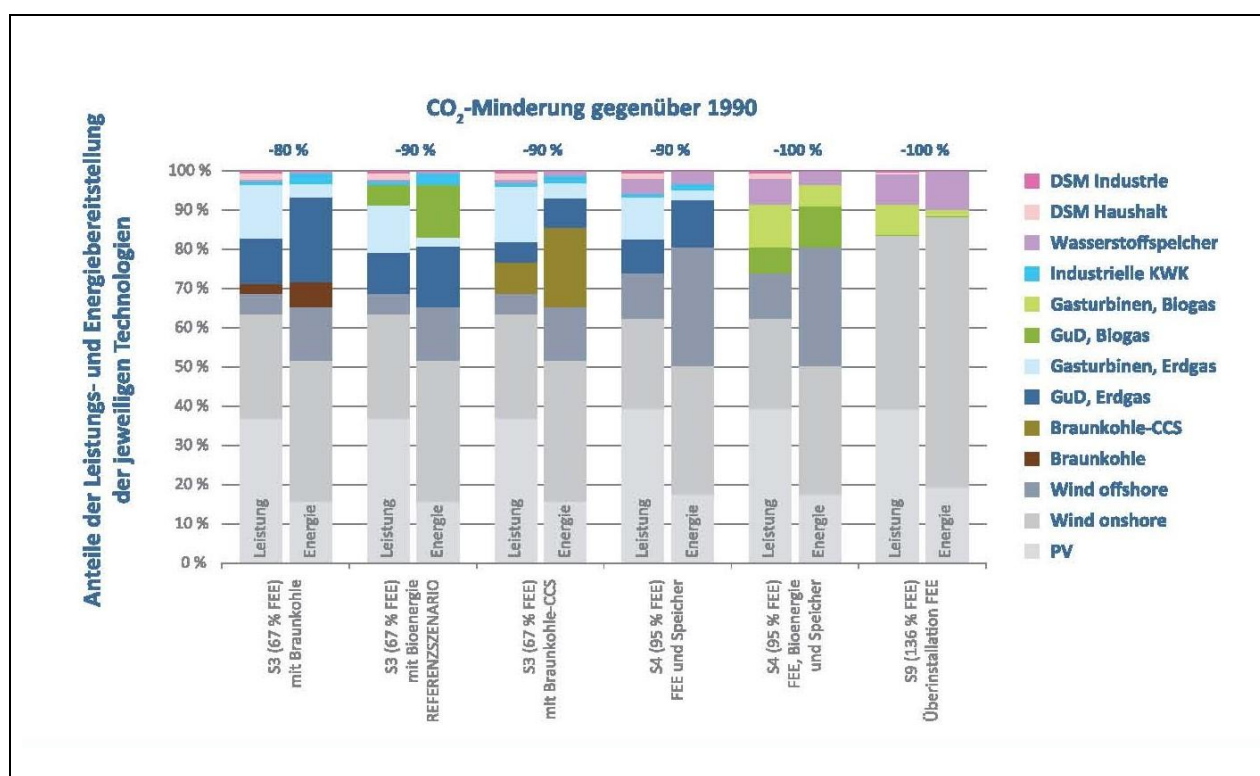
---

<sup>3</sup> Energie zum Ausgleich der Schwankungen der fluktuierenden Erneuerbaren Energien durch flexible Kraftwerke oder Energiespeicher





**Bild 3-1: Mögliche Entwicklung der Bruttostromerzeugung nach DLR et al., 2012**



**Bild 3-2: Varianten eines emissionsreduzierten Stromsystems nach ESYs, 2015**

Exemplarische Leistungs- und Energieanteile des Technologieparks inkl. der fluktuierenden erneuerbaren Energien FEE bei Emissionsreduktionszielen von 80 %, 90 % und 100 % mit der Angabe der wichtigen Randbedingungen der Szenarien

Hinweise auf die durch die Energiewende ausgelöste Dynamik im Energiesektor verdeutlichen nachfolgende aktuelle Meldungen:

- Von den Kohlekraftwerksbetreibern Vattenfall, RWE und MIBRAG ist entsprechend der Koalitionsvereinbarung (2015)<sup>4</sup> bereits ab 2017 vorgesehen, Kraftwerkskapazitäten in Höhe von 2.700 MW außer Betrieb zu nehmen und übergangsweise in eine „Kapazitätsreserve“ zu überführen (Leistung entspricht der Kapazität von 5.400 Biogas-BHKW mit jeweils 500 kW elektrischer Leistung).
- Als Reaktion auf die Umwälzungen im Energiesektor schichten große Finanzinvestoren derzeit ihre Portfolios um und reduzieren ihr Engagement im Bereich der Kohleverstromung („Allianz, AXA, Rockefeller u. a. steigen aus der Kohle aus“, HAZ<sup>5</sup>, 25.11.15).
- Der Ausgleich der stark fluktuierenden Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien erfordert einen flexibleren Betrieb von Kraftwerken (Kohle, EBS, Biomasse, MVA, aber auch von Vergärungsanlagen). Die Machbarkeit der Flexibilisierung eines Kohlekraftwerksbetriebs und einer MVA ist jedoch noch Gegenstand wissenschaftlicher Untersuchungen (KAPPA/PETERS, 2015; TREDER, 2015).

Aber auch gegensätzliche Interessen, die sich für einen längeren Betrieb der Braunkohlekraftwerke aussprechen, sind bei der Einschätzung der möglichen künftigen Entwicklung zu berücksichtigen (z. B. IG BCE<sup>6</sup>).

### **Auswirkungen auf Stromerzeugung aus Abfall**

Das Erfordernis zur Transformation der Stromerzeugung im Rahmen der **Energiewende** wird mittel- bis langfristig auch die Stromerzeugung aus Abfällen treffen und zu deutlichen Veränderungen im Anlagenbestand führen. Zum Beispiel besteht nach Aussage von Kraftwerksbetreibern kein Spielraum mehr für Zusatzkosten hinsichtlich der Mitverbrennung von EBS in Kohlekraftwerken. Die Attraktivität der Mitverbrennung für Kohlekraftwerke hängt damit zukünftig stark von der Entwicklung des CO<sub>2</sub>-Preises im EU-Emissionshandelssystem ab (KAPPA/PETERS, 2015).

### **Decarbonisierung**

Ergänzt werden die im Zuge der Energiewende anstehenden Umwälzungen durch die Forderungen nach der Decarbonisierung der Wirtschaft:

- Reduzierung des Verbrauchs fossiler Ressourcen
- Umstellung der Kohlenstoffwirtschaft
- Ausstieg aus der Energieerzeugung aus fossilen Energieträgern (Kohle, Öl, Erdgas)
- Wechsel von der Nutzung petrochemisch hin zu biobasierten Kunststoffen („Biopolymere“)

---

<sup>4</sup> Eckpunkte für eine erfolgreiche Umsetzung der Energiewende. Politische Vereinbarungen der Parteivorsitzenden von CDU, CSU und SPD vom 01. Juli 2015, auch zit. in: BMWi: Informationen zum Energiekabinett am 04. November 2015

<sup>5</sup> HAZ = Hannoversche Allgemeine Zeitung

<sup>6</sup> Pinzler, P./Hecking, C.: Der Boss der Kohle AG: Gewerkschaftschef Michael Vassiliadis will den Ausstieg aus der Braunkohle verzögern. Artikel in der Zeit (Nr. 11) vom 03.03.2016

Der Ausstoß an CO<sub>2</sub>-Emissionen fossilen Ursprungs soll dadurch langfristig auf nahe 0 zurückgefahren werden (Zielhorizont national: bis 2050/70 bzw. global nach Klimavertrag Paris: „in der 2. Hälfte dieses Jahrhunderts“).

***Handlungserfordernis: agieren und reagieren***

In Verbindung mit dem weiteren Ausbau der Kreislaufwirtschaft gilt es jetzt, sich frühzeitig auf die möglichen Veränderungen der gesamten Rahmenbedingungen in der Energie-, Rohstoff- und Kreislaufwirtschaft einzustellen. Bei den anstehenden Grundsatzentscheidungen zur langfristigen strategischen Ausrichtung der Betriebe und Anlagen sollten die sich ändernden Rahmenbedingungen berücksichtigt, daraus resultierende Chancen genutzt und Fehlinvestitionen vermieden werden.

## **4 Rahmenbedingungen der Kreislaufwirtschaft auf EU-Ebene und in Deutschland**

### ***Neue EU-Vorgaben***

Die EU-Vorgaben an die Nachhaltigkeit der Kreislaufwirtschaft und an deren konkrete Umsetzung werden sich absehbar künftig stärker fokussieren auf die Umsetzung der 5-stufigen Abfallhierarchie mit verstärkter Ausrichtung auf Wiedernutzung und Verwertung und weiterer Einschränkung der Deponierung von unbehandelten Abfällen.

Nach Angaben der EU werden in der Union von den anfallenden Siedlungsabfällen nur 43 % recycelt, dagegen werden 31 % auf Deponien abgelagert und 24 % verbrannt. Mit neuen Vorgaben soll nicht nur der Anteil recycelter Abfälle gesteigert werden, sondern auch die sehr großen Unterschiede zwischen den Mitgliedsstaaten beseitigt werden (aus Vorschlag zur Änderung der Abfallrahmenrichtlinie 12/2015).

Obwohl die EU-Kommission in ihrem Maßnahmenpaket vom 02.12.2015 hinter den Forderungen des EU-Parlamentes (Resolution des Europäischen Parlamentes zur Ressourceneffizienz vom 09.07.2015) zurückbleibt, werden die jetzt vorgestellten Forderungen nicht nur zu einer Harmonisierung der Abfallwirtschaft in den Mitgliedsstaaten führen, sondern auch deren Ressourceneffizienz verbessern. Vorbehaltlich keiner wesentlichen Veränderungen im aktuell laufenden politischen Entscheidungsprozess lassen sich die zentralen Ziele und Forderungen der EU-Kommission (Stand 12/2015) wie folgt zusammenfassen:

- strikte Umsetzung der Abfallhierarchie
- Aufbau geschlossener Kreisläufe für nicht erneuerbare Ressourcen
- Erhöhung des Anteils erneuerbarer Ressourcen unter Berücksichtigung der Nachhaltigkeit
- Erhöhung der Anforderungen an Langlebigkeit, Reparierbarkeit und Recyclbarkeit von Produkten (Ökodesign) durch Festlegung von Mindestanforderungen für die erweiterte Hersteller- resp. Produktverantwortung
- Reduzierung des Schadstoffgehalts in Produkten und Verbesserung der Abtrennbarkeit schadstoffhaltiger Komponenten aus Abfällen
- Verringerung der Verschwendung von Lebensmitteln und Reduktion der Anfallmenge von Lebensmittel-/Speiseabfällen (Ziel: Halbierung bis 2030)
- Verpflichtung zur getrennten Sammlung von Papier, Metall, Kunststoffen und Glas
- Empfehlung zur Getrenntsammlung von Bioabfällen zur Steigerung des Anteils recycelter Abfälle und zur Vermeidung der Kontamination trockener recycelfähiger Materialien (Nr. 20)
- Die Einführung der Getrenntsammlung von Bioabfällen steht unter dem Vorbehalt, soweit diese technisch, ökologisch und ökonomisch durchführbar ist und die Einhaltung der Qualitätsnormen für Kompost gewährleistet werden kann (Artikel 22 AbfRRL, Vorschlag 12/2015)
- Recycling inkl. Kompostierung und Vergärung von Bioabfällen, unter Einsatz von Behandlungsverfahren mit hohen Umweltschutzstandards und Erzeugung von umweltverträglichen Produkten
- Verringerung der Deponierung auf höchstens 10 % aller Abfälle bis 2030 (d. h. europaweit kein vollständiger Ausstieg aus der Deponierung)

- Erhöhung der Zielvorgaben für die Vorbereitung zur Wiederverwendung und das Recycling von Siedlungsabfällen auf 60 % bis 2025 und 65 % bis 2030
- Erhöhung des Ziels für Recycling von Verpackungsabfällen auf 75 % bis 2030
- Berechnungsmethode für Verwertungsquoten bezieht sich auf Summe Siedlungsabfall und auf die davon tatsächlich verwerteten Mengen (= Output der Abfalltrennungsanlagen)<sup>7</sup>
- die zur Wiederverwendung aufbereiteten Produkte und Bestandteile sind bei der Berechnung der Recycling- und Wiederverwendungsquote zu berücksichtigen (Formel E im Anhang VI des Entwurfs der AbfRRL)<sup>8</sup>

Die weitergehenden Forderungen des Parlamentes nach Limitierung der Abfallverbrennung, mit oder ohne Energieerzeugung, auf nicht stofflich verwertbare und nicht biologisch abbaubare Abfallfraktionen bis 2020 sowie die nach einer **verbindlichen** Erfassung von Bioabfall bis 2020 wurden von der Kommission nicht übernommen.

Die Harmonisierung der zur Zeit noch sehr unterschiedlichen Standards der Kreislaufwirtschaft in Europa wird in den Mitgliedsstaaten zu unterschiedlichen hohen Nachbesserungen und zumindest temporär zu einem möglichen Anstieg von Abfallströmen in die Staaten führen, die über Kapazitätsreserven in Anlagen mit hohem Umweltstandard verfügen (vgl. hierzu auch Kap. 2).

Der unmittelbare Einfluss der o. g. EU-Forderungen auf die Kreislaufwirtschaft in Deutschland wird auch von der Umsetzung der Methoden zur Berechnung der Recyclingquoten und von der künftigen Abgrenzung der energetischen Verwertung von der thermischen Behandlung (Stichwort R1 oder Netto-Wirkungsgrad) abhängen. Sofern kein Wechsel von der input- auf eine outputbezogene Berechnung der Quote erfolgt und insofern weiterhin das R1-Kriterium zur Anerkennung der energetischen Verwertung gilt, werden die Auswirkungen des KrW-Paketes der EU-Kommission in Deutschland eher nur geringfügig ausfallen.

### **Weitere Entwicklung in Deutschland bei Umsetzung der Ziele einer Kreislaufwirtschaft**

Aus den mittel- bis langfristigen EU-Zielen (vollständiger Übergang in die Kreislaufwirtschaft mit Anforderungen an Produktdesign, Recycling und Verbrennung) können sich selbst für Deutschland dennoch weitergehende Anforderungen hinsichtlich des Umfangs der stofflichen und ener-

<sup>7</sup> Ausnahme: wenn maximal 10 % der ausgetragenen Mengen zur energetischen Verwertung oder zur Deponierung gelangen, kann die Summe der ausgetragenen Stoffströme als recycelt angesetzt werden. Die Gewichtsverluste von mit dem abschließenden Recyclingverfahren verbundenen physikalischen und chemischen Umwandlungsprozessen sollten vom Gewicht des als recycelt gemeldeten Abfalls nicht abgezogen werden. (Vorschlag zur Änderung der AbfRRL 12/2015, Erläuterung Nr. 17 und Artikel 11a (1))

<sup>8</sup> Produkte und Bestandteile, die von anerkannten Wiederverwendungseinrichtungen und im Rahmen von Pfandsystemen vorbereitet werden, sowie das in Verbindung mit der Verbrennung erfolgende Recycling können bei der Berechnung der Quote berücksichtigt werden. Für die Erhebung der Daten und Berechnung der Quoten will die Kommission einheitliche Verfahrensvorschriften erlassen (ebenda, Nr. 18)

getischen Verwertung sowie der weiteren Reduzierung der Mengen zur thermischen Behandlung und Deponierung ergeben.

Darüber hinaus können sich aktuelle Forderungen aus dem deutschen KrWG inkl. zugehöriger Gesetze und Verordnungen kurz- bis mittelfristig auf den künftigen Verbleib und der Zusammensetzung der Abfallströme in Deutschland auswirken:

- Verpflichtung zur flächendeckenden Erfassung von Bioabfall ab 2015
- künftige Erfassung von Verpackungen und stoffgleichen Nichtverpackungen und deren Zuständigkeit
- Ausweitung der Produktverantwortung und Verpflichtung zur Rücknahme von Altprodukten durch den Handel
- Vorgaben zur Getrennthaltung und getrennten Erfassung von verwertbaren Abfallfraktionen im Gewerbe sowie Vorgaben zur Vorbehandlung und Verwertung von gemischt erfassten Gewerbeabfällen
- Verpflichtung zur Verwertung von Bauabfall

Die aktuellen Kampagnen zur Vermeidung von Lebensmittelabfall werden ohne verbindliche Vorgaben an Erzeuger, Handel und Verbraucher wahrscheinlich keine großen Veränderungen verursachen.

Mit der verstärkten Erfassung von Bioabfall und Wertstoffen ist ein Rückgang der gemischten (Rest-) Siedlungsabfälle (Haus-, Sperr- und Gewerbeabfall), zugleich aber ein Anstieg des Gesamtsiedlungsabfallaufkommens zu erwarten, vorrangig durch Verlagerung von Stoffströmen aus der Eigenverwertung in die öffentlichen Systeme (z. B. von der Eigenkompostierung in die Biotonne).

Da künftig die Materialien zur Wiederverwendung statistisch bei der Berechnung der Recyclingquote zu berücksichtigen sind, erhöht sich die Bezugsmenge der Gesamtsiedlungsabfälle. Die geforderte Wiederverwendungs- und Recyclingquote wird dadurch rechnerisch leichter erfüllbar. Ob dieser Ansatz einen maßgeblichen Einfluss auf die Höhe der recycelten Abfälle haben wird, bleibt abzuwarten.

Neben den direkten Auswirkungen abfallrechtlicher Vorgaben wirken sich allgemeine Entwicklungen in Produktion, Distribution, Konsum sowie die demografische Entwicklung (Bevölkerungsentwicklung, Anstieg der Wohnbevölkerung in städtischen Strukturen, Alters- und Sozialstruktur etc.) auf die Höhe des Gesamt- und Restabfallaufkommens aus. Die Auswirkungen können auf Grund z. T. gegenläufiger Tendenzen regional sehr unterschiedlich ausfallen.

## 5 Perspektiven: Energiewende und Energie aus Abfall

### 5.1 Energieversorgung und Kraftwerke

#### ***Umbau der Energieversorgungssysteme, Anpassung Kraftwerkskapazitäten, Steigerung der Energieeffizienz***

Der fortschreitende Umbau der Energieversorgungssysteme im Zuge der Energiewende wird die energetische Nutzung von Abfällen und Reststoffen beeinflussen. In Verbindung mit einer schwankenden Stromerzeugung aus Wind und Sonne werden vermehrt flexible Kraftwerkskapazitäten zur Abdeckung der Residuallast erforderlich.

Das bisherige Konzept der Grundlaststromerzeugung über zentrale Großkraftwerke wird zukünftig immer weniger benötigt werden. Der Anlagenpark insbesondere für die direkte Verbrennung von Abfällen wird, abhängig von der weiteren politischen Entscheidungsfindung, mittel- bis langfristig umstrukturiert und hinsichtlich der Kapazitäten angepasst.

Dazu werden die Anforderungen an die Flexibilität und Energieeffizienz von Anlagen und Prozessen weiter deutlich steigen.

#### ***Flexibilisierung der Stromerzeugung, Wärmebereitstellung, speicherfähige Brennstoffe, Energiespeicher***

Die Stromerzeugung aus Verbrennungsprozessen muss zunehmend flexibler gestaltet werden und wird langfristig an Bedeutung verlieren. Die energetische Verwertung von Abfällen sollte sich daher verstärkt auf die bedarfsgerechte Erzeugung von Prozesswärme und ggf. Heizwärme konzentrieren. Darüber hinaus wird angenommen, dass die Nachfrage nach speicherfähigen, flexibel einsetzbaren Brennstoffformen zunehmen wird.

Geeignete Speicherformen für regenerative Energieträger könnten nach heutigem Stand z. B. trockene Biomasse in Form von Ballen, Hackschnitzeln, Presslingen oder Pellets sein sowie durch Vergärung von Biomasse oder über Power-to-Gas erzeugtes Biomethan, das in das Erdgasnetz eingespeist wird. Darüber hinaus sind Wärmespeichersysteme (z. B. Power-to-Heat) möglich.

### 5.2 Kunststoffverwertung und EBS-Erzeugung

#### ***Stoffliche Verwertung von Kunststoffen***

Im Zuge der erforderlichen Reduktion der Verbrennung fossiler Ressourcen müssen auch Kunststoffe zunehmend separat erfasst und stofflich verwertet werden. Ob darüber hinaus künftig eine nachgelagerte Sortierung von Kunststoffen aus gemischten Abfällen sinnvoll ist, wird



abhängen von dem Umfang an getrennter Erfassung von Kunststoffen und von der Zusammensetzung und Sortierfähigkeit der verbleibenden gemischten Abfälle.

### ***Umgang mit biobasierten Kunststoffen***

Mittelfristig ist von einem Anstieg des Aufkommens an sogenannten biobasierten Kunststoffen auszugehen. Die Möglichkeiten und Wertigkeit einer stofflichen, biologischen oder energetischen Verwertung von Biopolymeren sind noch nicht geklärt (Aussagen der Kunststoff- und Bioabfallverwerter fallen zzt. eher zurückhaltend aus).

Sofern insbesondere kurzlebige Kunststoffprodukte künftig verstärkt aus biobasierten Kunststoffen bestehen sollten und für diese bestünde ein Markt für eine stoffliche Verwertung, dann müssten die verfügbaren NIR-Sortierverfahren an diese Bio-Kunststoffe angepasst werden. Es bleibt aber noch abzuklären, ob aus klimabilanzieller Sicht eine Abtrennung aus Abfallgemischen überhaupt sinnvoll und erforderlich ist.

### ***Aufbereitung der Sortierreste zur Energetischen Verwertung***

Menge und Qualität der Abfälle, die für eine energetische Verwertung zur Verfügung stehen, werden sich durch die verstärkte getrennte Erfassung von Kunststoffen und dem möglichen Anstieg biobasierter Kunststoffe verändern. Für die energetische Verwertung von Ersatzbrennstoffen verbleiben mittel- bis langfristig verstärkt nur noch stofflich nicht verwertbare Abfallfraktionen, die tendenziell geringere Heizwerte aufweisen als heute.

Eine Verringerung der fossilen Kunststoffanteile führt in der Folge zu einer Reduzierung erzielbarer Heizwerte bei gleichzeitiger Erhöhung der biogenen Kohlenstoffgehalte in den Ersatzbrennstoffen. Durch die qualitativen Veränderungen können sich für den Einsatz hochkalorischer EBS in Zementwerken Einschränkungen ergeben.

Die Erzeugung mittel- bis hochkalorischer EBS/SBS ( $> 14 / > 20$  MJ/kg) wird schwieriger und erfordert insbesondere bei gemischten Siedlungsabfällen eine weitergehende Aufbereitung mit verstärkter Trocknung und Abtrennung der inerten Bestandteile. Für beides stehen z. T. schon vorhandene Anlagenkomponenten bzw. technische Aggregate zur Verfügung.

### ***Kurz- und mittelfristige Perspektive: energetische Verwertung in Kraftwerken mit hoher Effizienz und Anpassung an künftige Marktentwicklung***

Kurz- und mittelfristig stellt die Erzeugung von qualitätsgesicherten Ersatzbrennstoffen oder gütegesicherten Sekundärbrennstoffen aus gemischten Siedlungsabfällen in einer mechanischen und biologischen Aufbereitung in Verbindung mit einer hochwertigen energetischen Verwertung der Ersatzbrennstoffe in Zement- und Kraftwerken (Kohle-/EBS-Kraftwerke) und Altholz



in Biomasse- Kraftwerken unter Klima- und Ressourcenschutzgesichtspunkten eine sinnvolle Verwertungsstrategie dar.

Langfristig muss das Konzept aber an die erwarteten Veränderungen in der Energiewirtschaft angepasst werden, d. h. künftig sind Ersatzbrennstoffe vorrangig für den Einsatz in Zementwerken und in wärmegeführten EBS-Kraftwerken herzustellen und nach Zwischenspeicherung bedarfsgerecht bereitzustellen.

### **5.3 Biogaserzeugung und andere Konversionsprozesse**

#### ***Getrennte Erfassung von Bioabfall mit Kaskadennutzung bzw. Einsatz in Konversionsprozessen als hochwertige Verwertung***

Die Erzeugung von Biogas aus Bioabfällen zur Nutzung mittels KWK sowie die Verwertung trockener Biomasse in BMHKW stellen derzeit die gängigen und effizientesten Nutzungswege für organikhaltige Reststoffe dar. Mittel- bis langfristig steigt nach den Energieszenarien der Bedarf an organischen Reststoffen für Konversionsprozesse zur Erzeugung von Kraftstoffen (z. B. Biomethan) oder Grundstoffen für die chemische Industrie. Hier kann die Steigerung der getrennten Sammlung von Bioabfällen und deren hochwertige Verwertung über Kaskadennutzung einen maßgeblichen Beitrag leisten.

#### ***Kurz- und mittelfristige Perspektive: Ausbau der Biogas-/Biomethanerzeugung aus Abfällen***

Hinsichtlich der Erzeugung von Biomethan müssten die Kapazitäten zur Biogasproduktion sowie zur Aufbereitung und Einspeisung an das realisierbare Potenzial an Bioabfällen und sonstigen geeigneten Reststoffen angepasst werden, d. h. es ist ein deutlicher Zubau an Anlagenkapazitäten erforderlich. Geeignete Anbindemöglichkeiten an das Erdgasnetz vorausgesetzt, steht dem technisch nichts entgegen.

#### ***Langfristige Perspektive: Neue Konversionsverfahren und Zukunftstechnologien***

Bei auf den neuen Verfahren aufbauenden Bioraffineriekonzepten werden für die Nachbehandlung von Reststoffen bevorzugt Kombinationsverfahren mit Vergärung vorgeschlagen. Für Standorte mit bereits vorhandener Vergärungstechnologie können sich daher Vorteile für die Weiterentwicklung in diese Richtung ergeben. Gleiches gilt für die Biomethan- oder Biokraftstoff-Erzeugung aus Überschussstrom und CO<sub>2</sub> mittels Power-to-Gas oder Power-to-Liquid, insbesondere wenn die Vergärung bereits mit einer CO<sub>2</sub>-Abscheidung und Gaseinspeisung in das öffentliche Gasnetz verknüpft ist.

Inwieweit neben der Biogas-/Biomethanerzeugung Verfahren zur Vergasung, Verölung, Erzeugung von Alkoholen oder von Biokohle o. ä. zukünftig eine relevante Rolle spielen werden, bleibt angesichts der derzeit überwiegend noch in der Entwicklung befindlichen Verfahren abzuwarten.

#### **5.4 Zusammenfassung: Veränderungen bei der Energieerzeugung aus Abfall**

Mit dem Ausstieg der Energieerzeugung aus Atom- und Kohlekraft und dem Ausbau der Energieerzeugung aus regenerativen Quellen stellen sich neue Anforderungen an die Abfallbehandlung. Dabei sind insbesondere folgende Entwicklungen zu berücksichtigen:

- Stromerzeugung aus fossilen Brennstoffen ist rückläufig, bzw. mittel- bis langfristig (ab 2025/2030) wird weniger Strom aus Verbrennungsprozessen benötigt, damit stehen auch weniger Kraftwerke zur Abnahme von EBS zur Verfügung!
- verstärkter Einsatz von Ersatzbrennstoffen zur Deckung des Fern- und Prozesswärmebedarfs in der Industrie und durch Kraftwerke
- Grund- und Spitzenlaststromversorgung aus Kohle wird ersetzt durch fluktuierende erneuerbare Energien, Residualenergieausgleich durch Biomasse- und Gaskraftwerke (Bio- und Erdgas)
- kein weiterer Ausbau von zur Vergärung von NawaRo/Mais mit Stromerzeugung
- Ausbau Biogaserzeugung aus Abfallstoffen
- zunehmender Bedarf an Energiespeicher oder speicherbarer Energie
- abnehmender Energiebedarf durch Maßnahmen zur Erhöhung der Energieeffizienz und Reduktion des Wärmebedarfs (z. B. durch Gebäudedämmung)
- Anstieg des Stromverbrauchs durch neue Nutzungsoptionen (E-Mobilität etc.)
- Zunehmender Bedarf an Kühlenergie (Umstellung von Wärme- zur Kälteversorgung)
- steigender Bedarf an Biokraftstoffen und biobasierten chemischen Grundstoffen

Durch die Energiewende können nachfolgende Auswirkungen insbesondere auch auf die künftige Ausrichtung der energetischen Verwertung von Abfällen ausgelöst werden:

- Anpassung und Ausbau der Anlagen in Hinblick auf die Erzeugung speicherbarer Brennstoffe bzw. Energieformen aus Bioabfall und sonstigen organischen Reststoffen
- Anpassung der energetischen Verwertung von Abfällen an den zunehmenden Bedarf an flexibler Stromerzeugung (Residuallast)
- Anpassung der energetischen Verwertung von Abfällen an den zunehmenden Bedarf an dezentraler, flexibler Wärmebereitstellung (BMHKW)
- Optimierung der Verfahren zur Steigerung der Energieeffizienz bei der Aufbereitung und Verwertung der Abfälle
- Anpassung der Stoffstromlenkung und des Anlagenparks an den mittel- bis langfristig abnehmenden Bedarf an Grundlaststromerzeugung aus Abfällen
- Anpassung und Ausbau der Anlagen in Hinblick auf die Erzeugung von Biokraftstoffen und/oder chemischen Grundstoffen

***EEG-Förderung (Lenkungsfunktion mit Bremswirkung?)***

Auf Grund unsicherer Weiterentwicklung der Förderung erneuerbarer Energien nach dem EEG ist derzeit eine Einschätzung zur künftigen Entwicklung im Bereich von Biomassekraftwerken, Biogasanlagen und Windkraftanlagen nicht möglich. Nach Einschätzung der betroffenen Verbände ist bei fehlender Erlössicherheit nach 2020 nicht nur der im Rahmen der Energiewende unterstellte Ausbau, sondern sogar der Weiterbetrieb bestehender Anlagen gefährdet.

Die angestrebten Ausbauziele im Biomasse- und Biogasbereich würden bei aktueller Entwicklung deutlich verfehlt werden (vgl. Anhang Kap. 7.2).

## **6 Perspektiven: Kreislaufwirtschaft und stoffliche Verwertung**

### ***Grundlegende Ausrichtung und Annahmen***

Die Kreislaufwirtschaft wird zunehmend auf Wiederverwendung und Recycling ausgerichtet. Die getrennte Erfassung von Einzelfractionen hat dabei Vorrang vor der Erfassung von Abfallgemischen.

Die Erfüllung realer (outputbezogener) EU-Recyclingquoten von 65 % erfordert in Deutschland eine deutliche Steigerung der getrennten Erfassung sortenreiner Fraktionen und/oder eine Erhöhung und Weiterentwicklung der Techniken und Kapazitäten zur Vorbehandlung und Sortierung von gemischt erfassten Siedlungsabfällen. Näherungsweise müssen dafür künftig 80 bis 90 % der Siedlungsabfälle getrennt erfasst bzw. als Gemisch einer Sortierung und Aufbereitung zugeführt werden, um im Anlagenoutput 65 % der Abfälle einem abschließenden Recycling zuführen zu können.

Die verpflichtende getrennte Erfassung und Verwertung von Bioabfällen (Definition nach KrWG) wird die Sortier- und Recyclingfähigkeit der verbleibenden gemischten Siedlungsabfälle verbessern.

Der Vorrang der energetischen Verwertung vor der Beseitigung erfordert bei konsequenter Umsetzung der Abfallhierarchie die Erzeugung von qualitätsgesicherten Ersatz bzw. gütegesicherten Sekundärbrennstoffen und deren Einsatz in energieeffizienten Anlagen.

Obwohl langfristig die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien erfolgen soll, wird für den Übergangszeitraum die Mitverbrennung von qualitäts- und gütegesicherten EBS in Kohlekraftwerken unterstützt. Diese Ausrichtung resultiert aus der nachweislich dabei erzielbaren hohen Energieeffizienz und erheblichen Vermeidung klimaschädlicher CO<sub>2</sub>-Emissionen.

### ***Decarbonisierung, Rückgang fossiler Materialien im Wirtschaftskreislauf***

Die aktuellen Bestrebungen zur Verringerung klimaschädlicher Emissionen setzen auf eine Reduzierung des Verbrauchs fossiler Rohstoffe und auf eine Beschränkung der Verbrennung von Abfallstoffen, die fossile Kohlenstoffe enthalten.

### ***Veränderungen in der Produktion (Ökodesign) und/oder Anpassung der Recyclingtechnologien an die Produkte***

Entsprechende Forderungen zur Ausrichtung der Produktion auf Langlebigkeit, Reparierbarkeit und Verwertbarkeit der Produkte werden nicht erst aktuell erhoben, deren Umsetzung in der globalisierten Weltwirtschaft wird sich sicher nur langfristig abzeichnen. Kurz- und mittelfristig

wird eine Anpassung der Recyclingtechnologien an die in Verkehr gebrachten Produkte erfolgversprechender sein.

### ***Stoffliche Verwertung von Kunststoffen***

Es wird erwartet, dass Kunststoffe künftig in stärkerem Umfang über getrennte Sammelsysteme erfasst werden. Um die Vermarktbarkeit von Kunststoffen aus Abfallgemischen sicherzustellen sind effiziente Aufbereitungstechnologien erforderlich.

Das Recycling von Kunststoffen wird darüber hinaus maßgeblich vom Vollzug der abfallrechtlichen Vorgaben und den wirtschaftlichen Rahmenbedingungen beeinflusst, wie z. B. den Preisen für Rohöl und Rohstoffe.

### ***Ausweitung der getrennten Erfassung und Verwertung von Wertstoffen inkl. organischen Abfällen, Aufbereitung von Restabfällen zur Abtrennung von Wertstoffen***

Neben der zunehmenden stofflichen Verwertung von Kunststoffen ist eine verstärkte getrennte Erfassung, Aufbereitung und stoffliche Verwertung von den übrigen Wertstoff-Fractionen und insbesondere von organischen Abfällen zu erwarten. Die Ausweitung der getrennten Erfassung von Wertstoff- und organischen Abfallfraktionen an den Anfallstellen über Hol- und Bringsysteme unterschiedlicher Trägerschaft ist die Voraussetzung für das Erreichen der vorgegebenen Recyclingquoten. Die Ausschöpfung der verbleibenden Wertstoffpotenziale in den Restabfällen erfordert dann noch geeignete Aufbereitungs- und Sortiertechniken in den Behandlungsanlagen, z. B. in MBA. Die dabei aussortierten Wertstoffe können künftig bei der Berechnung der Recyclingquote berücksichtigt werden (siehe Kap. 4).

### ***Auswirkungen durch Zunahme von Abfallbestandteilen biobasierten Ursprungs***

Mit Umstellung auf eine stärker biobasierte Industrieproduktion wird zur Ressourcenschonung die Notwendigkeit zur stofflichen Verwertung hochwertiger Materialien regenerativen Ursprungs und damit der Bedarf an einer entsprechenden Verwertungstechnik steigen, sofern Materialien biobasierten Ursprungs künftig recycelbar sind und sich deren energetische Verwertung nicht als die aus energetischen, Ressourcen- und Klimaschutzgründen sinnvollere Lösung darstellen sollte.

### ***Auswirkungen auf Sammelsysteme und Anlagenbestand***

Aus den Erfordernissen der Kreislaufwirtschaft können u. a. folgende Auswirkungen auf Sammelsysteme und Anlagenbestand im Siedlungsabfallbereich abgeleitet werden:

- Rückgang der Rest-Siedlungsabfallmengen
- Anpassung des Anlagenparks an den für Deutschland zu erwartenden Rückgang der Restabfallmengen und der Abfallmengen zur direkten thermischen Behandlung

- Ausweitung der getrennten Erfassung von Bio- und Grünabfällen und der dafür erforderlichen zusätzlichen Verwertungskapazitäten
- Ergänzung bzw. Zubau von Vergärungsstufen für feuchte/anaerob abbaubare Bioabfälle
- verstärkte Auslese trockener, holziger Bestandteile aus Bio- und Grünabfall zur energetischen Verwertung, ggf. über alternative Konversionsverfahren
- Vergärung der organikhaltigen Feinfraktion aus Restabfällen in MBA mit Vergärungsstufen, solange noch ausreichend Organikanteile im Restabfall enthalten sind
- Umstellung von MBA mit Rotteverfahren auf biologische Trocknung mit Brennstoffherzeugung
- Ausweitung der Anlagenkapazitäten zur Sortierung und Aufbereitung von Siedlungsabfällen
- Optimierung der mechanischen Aufbereitung von Restabfällen im Hinblick auf die Qualität der heizwertreichen Fraktionen/EBS und die Abtrennung von Wertstoffen inkl. Kunststoffen fossilen Ursprungs zur stofflichen Verwertung (Sekundärressourcen)
- Etablierung von Konversionstechnologien für organikhaltige Reststoffe zur Erzeugung von Biokraftstoffen und/oder chemischen Grundstoffen

Über Maßnahmen im Bereich Produktdesign, Recycling, Ausweitung der getrennten Sammlung von Wertstoffen, verbesserte Sortiertechniken und wachsende Abnahmemärkte für Wertstoffe steigt der Anteil an Abfällen, der stofflich verwertet werden kann.

## 7 ASA-Strategie 2030: Thesen und Handlungsoptionen

### 7.1 Grundverständnis, Anspruch und zukünftige Ausrichtung

#### **ASA-Grundverständnis**

Die ASA versteht sich als bedeutender Interessenverband zur Förderung der stoffspezifischen Abfallbehandlung. Dabei wird sich die Ausrichtung der ASA zukünftig auf alle Bereiche der Vermeidung, Wiederverwendung, Verwertung und Beseitigung von Abfällen erstrecken.

Die ASA und ihre Mitgliedsbetriebe stehen für anlagen- und technologieübergreifende Kooperationslösungen, mit denen die Ziele der Kreislaufwirtschaft unter den Gesichtspunkten Energieeffizienz, Ressourcen- und Klimaschutz optimal erreicht werden können.

#### **Bekanntnis zur 5-stufigen Abfallhierarchie**

Die 5-stufige Abfallhierarchie wie sie im deutschen KrWG und in den Verordnungen der EU festgelegt sind bzw. aktuell konkretisiert werden, bilden die Grundlage für die abfallwirtschaftlichen Handlungen der ASA.



\* beinhaltet mechanische und biologische Aufbereitung von Abfällen zur Erzeugung von Stoffen für die stoffliche und energetische Verwertung sowie zur Beseitigung

**Bild 7-1: Abfallhierarchie nach KrWG und EU-AbfRRL, ergänzt**

Der Vorrang der stofflichen Verwertung vor der energetischen Verwertung und der Vorrang der energetischen Verwertung vor der Beseitigung gilt unter den zu konkretisierenden Prämissen der Hochwertigkeit der Verwertung.

Die Ziele der neuen europäischen Kreislaufwirtschaft basierend auf einer 5-stufigen Abfallhierarchie mit anspruchsvollen Zielquoten und Beschränkungen sowie das in Deutschland bereits umfangreich realisierte Konzept der Getrenntsammlung stoffgleicher Abfallfraktionen werden seitens der ASA daher grundsätzlich unterstützt.

***Prämisse: Anlagen zur Vorbehandlung und Aufbereitung sind als Recyclinganlagen der Hierarchiestufe 3 zuzuordnen***

Die stoffspezifische Behandlung von Abfällen mit dem Ziel der Erzeugung von Stoffen zur stofflichen und zur energetischen Verwertung sowie Beseitigung verbleibender Reste stellt den ersten Schritt des Recyclings und der energetischen Verwertung von Abfällen dar und ist insofern in der Abfallhierarchie als Vorbereitung zur Verwertung (= R12-Verfahren) einzuordnen.

***Prämisse: Hochwertige stoffliche Verwertung***

Der Vorrang der stofflichen Verwertung ist jedoch nur dann gerechtfertigt, wenn die Verwertung der getrennt erfassten oder aus gemischten Abfällen separierten Wertstoffe einer nachhaltigen sowie hochwertigen Verwertung zugeführt werden, gemessen am erzielten ökologischen Nutzen und der Sozial- und Umweltverträglichkeit des Recyclingprozesses und der Recyclingprodukte. Dies entspricht dem in der EU-AbfRRL (Entwurf 12/2015) geforderten Umweltstandard für Abfallexporte außerhalb der EU.

Eine auf maximale Sammelmenge ausgelegte getrennte Sammlung von Abfallfraktionen zum Zwecke der rechnerischen Einhaltung von vorgegebenen Recyclingquoten wird nicht als zielführend angesehen. Ebenso wird die Aufbereitung von Abfallfraktionen in Anlagen, die nicht europäischen Umweltstandards entsprechen, nicht als hochwertige Verwertung angesehen. Diese Anforderung gilt sowohl für das Recycling als auch für Stoffe, die zum Zwecke der Wiederverwendung aufbereitet werden.

Die Kriterien und Bewertungsmaßstäbe für eine hochwertige stoffliche Verwertung sollten von der EU-Kommission einheitlich vorgegeben werden.

Die grundsätzliche Bewertung hinsichtlich technischer und wirtschaftlicher Machbarkeit sowie ökologischer Verträglichkeit ist davon unbenommen, sollte aber die der Abfallhierarchie zu Grunde liegenden Prinzipien der Vorrangigkeit nicht in Frage stellen.



***Prämisse: Hochwertige energetische Verwertung***

Aus Abfällen, die nicht hochwertig stofflich verwertet werden können, sollen vorrangig qualitätsgesicherte Ersatz- bzw. gütegesicherte Sekundärbrennstoffe erzeugt werden, die einer hochwertigen energetischen Verwertung in Zement- und Kraftwerken sowie Monoverbrennungsanlagen zugeführt werden.

Als Maßstab für die Hochwertigkeit wird der tatsächlich erzielte energetische und ökologische Nutzen gemessen am Netto-Primärwirkungsgrad und an der erzielten Klimagaseinsparung herangezogen (siehe hierzu Anhang Kap. 6).

Die Bewertung über den sog. R1-Faktor wird als Maßstab für die Energieeffizienz von Kombinationsverfahren mit MBA als nicht geeignet angesehen. Die Verbrennung von gemischten Siedlungsabfällen wird im Sinne der 5-stufigen Abfallhierarchie nur dann als energetische Verwertung angesehen, wenn die o. g. Anforderungen an Energieeffizienz sowie Klima- und Ressourcenschutz erfüllt sind.

***Kreislaufwirtschaft: Abfall wird Rohstoffquelle und Energiespeicher***

Der Übergang in die Kreislaufwirtschaft erfordert ein Umdenken und eine Anpassung von Strategien und Geschäftsmodellen weg von der Entsorgung und hin zur stofflichen und energetischen Verwertung. Der Abfall wird vorrangig als Rohstoffquelle und Energiespeicher angesehen.

**7.2 Erwartete Entwicklungen in der Abfall- und Kreislaufwirtschaft**

Vor dem Hintergrund der gravierenden Umwälzungen/Veränderungen in der Energie-, Rohstoff- und Abfallwirtschaft in den kommenden Jahren stellt sich die ASA auf folgende Entwicklungen ein:

- weiterer Ausbau der getrennten Sammlung (insbesondere Bioabfälle)
- deutliche Erhöhung des Anteils von Biomasse- und Kunststofffraktionen zur stofflichen Verwertung (verbesserte Erfassungssysteme und Sortiertechniken, Ausbau der Märkte)
- Aufbau ergänzender Sammelsysteme und Recyclingverfahren für weitere Wertstoffe
- zunehmender Ausschluss von Abfallbestandteilen fossilen Ursprungs von der Verbrennung
- Ausbau der Kaskadennutzung für Bio- und Grünabfälle (emissionsarme Erzeugung von Biomethan und Kompost) unter Berücksichtigung der Nachhaltigkeit z. B. hinsichtlich der Humusreproduktion und des Düngereinsatzes
- Ausbau der Vorbehandlung von Restabfällen zur Gewinnung von Biomasse- und Kunststofffraktionen sowie organikhaltiger Feinfraktion
- zunehmende Verwertung von Restbiomasse, Mischkunststoffen und organikhaltiger Feinfraktion über Konversionsprozesse mit Erzeugung speicherbarer Energieformen und Grundstoffen für die chemische Industrie (Einstieg in die biobasierte Wirtschaft, Kombination von Restabfallbehandlung mit Bioraffinerien)

- Aufbau einer umfassenden Nutzung von Bioabfällen und organikhaltiger Feinfraktion mittels Vergärung zur Erzeugung von Biomethan, mit der mittelfristigen Perspektive einer erheblichen Effizienzsteigerung durch Biomethanerzeugung aus CO<sub>2</sub> über Power-to-Gas sowie durch Konversionsverfahren für lignocellulosehaltige Abfallbestandteile
- Entwicklung und Aufbau von Konversionsverfahren zur Nutzbarmachung lignocellulosehaltiger Reststoffe (z. B. Gärreste, Stroh) für die Vergärung und/oder als speicherbare Energieformen sowie als Grundstoffe für die chemische Industrie

### ***Ausweitung der getrennten Sammlung, Veränderung des Bedarfs für Behandlungskapazitäten***

Durch Ausweitung der getrennten Sammlung in Verbindung mit einem gleichbleibenden Aufkommen an Gesamtsiedlungsabfällen werden die Mengen an Restsiedlungsabfällen in Deutschland - nach zuletzt gleichbleibender Tendenz - zukünftig eher weiter absinken. Der Bedarf an Behandlungskapazitäten für Restsiedlungsabfälle wird damit zu Gunsten von Behandlungs- und Verwertungskapazitäten für getrennt gesammelte Fraktionen zurückgehen.

### ***Steigende Mengen zur stofflichen Verwertung, steigender Anlagenbedarf (Bio- und Grünabfälle, Vorbehandlung generell)***

Die Umsetzung von KrWG und EU-Vorgaben führt zu steigenden Mengen zur stofflichen Verwertung und insbesondere auch zu steigenden Bio- und Grünabfallmengen. Damit wird der Bedarf an Behandlungskapazitäten für die Bio- und Grünabfallverwertung und auch für die Vorbehandlung anderer Abfallströme vor der Verwertung steigen.

### ***Rückgang von gemischtem Siedlungsabfall zur MVA erwartet***

Die Mengen an gemischtem Siedlungsabfall zur direkten Verbrennung werden in Deutschland angesichts der Entwicklungstendenzen mittel- bis langfristig deutlich zurückgehen und sich auf nicht anderweitig verwertbare, weitestgehend von Wertstoffen und Biomasse entfrachtete und ggf. schadstoffangereicherte Fraktionen begrenzen.

### ***Entwicklung der EU-Vorgaben zur KrW (Abfallimporte, Kapazitätsausbau, Abfälle zur Verbrennung)***

Inwieweit dieser Trend schon mittel- oder erst langfristig zum Tragen kommt und durch Abfallimporte ausgeglichen werden kann, ist im Wesentlichen von der weiteren Entwicklung der Vorgaben für die Kreislaufwirtschaft auf EU-Ebene abhängig. Nach der Resolution des Europäischen Parlamentes zur Ressourceneffizienz vom 09.07.2015 soll zwar einerseits verhindert werden, dass Überkapazitäten für die Abfallbehandlung aufgebaut werden, was für Abfallimporte aus EU-Ländern nach Deutschland sprechen würde. Andererseits wird darauf gedrängt, die Abfallmengen zur Verbrennung auf nicht recycelbare und nicht biologisch abbaubare Stoffströme zu begrenzen, was in der Konsequenz eine verpflichtende Vorbehandlung von Restabfällen

und sinkende Mengen zur Verbrennung bedeuten würde. Diese weitgehende Limitierung der Verbrennung wurde von der EU-Kommission jedoch im Entwurf aus 12/2015 nicht übernommen.

### ***Technologischer Fortschritt und Zukunftstechnologien und künftige Paradigmenwechsel***

Die erwarteten Entwicklungen und Veränderungen in der Abfall- und Kreislaufwirtschaft basieren auf aktuellen Annahmen zum technologischen Fortschritt und zur Einführung heute bekannter Zukunftstechnologien im Energie- und Wirtschaftssektor (z. B. Wasserstofftechnologie). Gleichzeitig werden sie die technologische Entwicklung in der Abfallbehandlung und Abfallverwertung in bestimmte Richtungen treiben (z. B. Energieeffizienz, Sekundärrohstoffe).

Dabei ist heute z. T. schwer vorherzusehen, welche Technologien sich zukünftig am Markt durchsetzen werden. In jedem Fall wird eine hohe Flexibilität und Anpassungsfähigkeit von Abfallbehandlungsanlagen zunehmend von Bedeutung sein.

Im Zuge politischer und wirtschaftlicher Entwicklungsprozesse können grundsätzlich auch künftig weitere Paradigmenwechsel nicht ausgeschlossen werden, die wiederum zu veränderten Rahmenbedingungen führen und die technische Entwicklung beeinflussen können.

## **7.3 Umsetzung Abfallhierarchie und Energiewende**

### **7.3.1 Abfallvermeidung**

Die ASA erkennt die Notwendigkeit, die Bereiche Produktion, Distribution und Konsumtion künftig sehr viel stärker auf Nachhaltigkeit und Ressourcenschonung auszurichten und dabei insbesondere bei Konsumgütern verstärkt auf Langlebigkeit, Reparierbarkeit und Wiederverwertbarkeit zu achten, gleichwohl werden das Wirtschaftssystem und das Konsumverhalten diesem Ansatz Grenzen setzen. Die EU-Kommission hat gleichlautende Forderungen in ihr Kreislaufwirtschaftspaket 12/2015 aufgenommen.

Die ASA und ihre Mitgliedsbetriebe sehen ihre Funktion hier jedoch begrenzt auf die Unterstützung politischer Initiativen und Ausschöpfung ihrer Vorbildfunktion im eigenen Wirkungsbereich.

### **7.3.2 Vorbereitung zur Wiederverwendung**

#### ***Rückführung zur Wiederverwendung***

Entsprechend dem Ansatz einer kreislaforientierten Abfallwirtschaft hat Rückführung von wiederverwendbaren Stoffen/Gütern in den Nutzungs- bzw. Wirtschaftskreislauf Vorrang vor dem Recycling.

Die Integration von Konzepten und Systemen, bei denen die Möglichkeit gegeben ist, wiederverwendbare Güter ggf. nach entsprechender Aufbereitung oder Reparatur einer Wiederverwendung/Nutzung zuzuführen, sollen stärker ausgenutzt werden.

Dabei können die Möglichkeiten und Chancen der Standorte bestehender Behandlungsanlagen und Recyclinghöfe zur Entgegennahme, Aufbereitung und Reparatur sowie Abgabe der Güter zur Wiederverwendung genutzt und ausgebaut werden.

Der Recyclinghof mit Ent- und Versorgungsfunktion ist damit ein zentraler Baustein im Rahmen einer stoffspezifischen kreislauforientierten Verwertungsstrategie.

### ***Keine Festlegung zur Trägerschaft***

Eine Vorabfestlegung zur Trägerschaft dieser Systeme ist damit nicht verbunden (Handel, freie Initiativen, ÖRE etc.).

## **7.3.3 Recycling**

### ***Vorrang für sortenreine Getrennt-Erfassung***

Abfälle sollen vorrangig einer stofflichen Verwertung zugeführt werden. Aus Qualitätsgründen hat die getrennte Erfassung von möglichst sortenreinen Einzelfractionen Vorrang vor der Erfassung von gemischten Siedlungsabfällen mit nachfolgender Sortierung. Mit zunehmender Erfassung von Bioabfall und damit einhergehender Organikentfrachtung der restlichen Abfälle werden neue Möglichkeiten zur Wertstoffsartierung aus den gemischten Siedlungsabfällen eröffnet.

### ***Recyclingquote***

Um die geforderten EU-Recyclingquoten erreichen zu können, ist eine Steigerung der getrennten Erfassung von Einzelfractionen oder sortierfähigen Wertstoffgemischen mit nachfolgender effizienter Sortierung erforderlich. Darüber hinaus sollten im Sinne der EU-Quotenberechnung die im Rahmen der Aufbereitung von gemischten Siedlungsabfällen ausgelesenen Wertstoffe den Mengen zum Recycling zugeordnet werden (s. Anhang Kap. 2.2).

### ***Erweiterung des Spektrums der getrennt erfassten Fraktionen***

Diese Prämisse gilt sowohl für den Bereich der klassischen mengenrelevanten trockenen Wertstoffe (Altpapier, Altglas, Metalle, LVP, Textilien, Kunststoffe etc.) und der Bioabfälle (Bio- und Grünabfälle, Küchen- und Kantinenabfall, Infrastrukturabfälle etc.), als auch in zunehmenden Maße für Fraktionen und Altprodukte, deren Erfassung und Verwertung wirtschaftlich sinnvoll, aus Ressourcenschutzgründen geboten oder auf Grund ihrer Schadstoffbelastung erforderlich ist (Problemabfall, Elektro- und Elektronikartikel etc.).

### **Maßnahmen zur Ausweitung der getrennten Erfassung**

Die Ausweitung der getrennten Erfassung wird erfolgen durch

- steigende Produktrücknahme durch Handel und Erzeuger
- zunehmende Getrennthaltung im Gewerbe und Baugewerbe
- Erweiterung der haushaltsnahen Holsysteme (z. B. Wertstofftonnen für Altpapier, LVP, Bioabfall, sonstige Wertstoffe)
- steigende Angebote zur Annahme diverser Teilfraktionen und Altprodukte auf Recycling- bzw. Wertstoffhöfen

Gerade die letzten beiden Punkte bieten den kommunalen Entsorgern die Möglichkeiten, den Zugriff auf die Abfall-/Stoffströme zu behalten bzw. zu erweitern.

### **Rücknahmesysteme durch den Handel**

Die Rücknahme von Gebrauchsgütern und Verpackungen durch den Handel im Rahmen der Produktverantwortung oder als freiwillige Leistung ist als integraler Bestandteil eines sog. „Green CI“ von Handelsketten eingeführt und kann nur dann als Recycling angesehen werden, sofern die auf diesen Wegen erfasste Mengen auch tatsächlich einer hochwertigen stofflichen Verwertung oder einer Wiederverwendung zugeführt werden. Gleiches gilt bei Abgabe von Altprodukten zur energetischen Verwertung.

### **Kommunale Daseinsvorsorge oder Produktverantwortung**

Perspektivisch werden sich die Menge, Zusammensetzung und Eigenschaften der verbleibenden gemischten Abfälle deutlich verändern. Dabei werden sich weniger die Menge der Abfälle insgesamt als vielmehr deren Aufteilung und die Zuständigkeiten verändern.

In welchem Umfang bestimmte Stoffströme zukünftig noch der kommunalen Daseinsvorsorge unterliegen werden, hängt ab von der weiteren Entwicklung der Regelungen zur Produktverantwortung von Produzenten und Inverkehrbringern der Produkte.

Hinsichtlich der z. T. begrenzten Effektivität und Sinnhaftigkeit einer Ausweitung der Produktverantwortung ggü. einer effektiven und transparenten Erfassung und Verwertung von Stoffströmen im Rahmen der kommunalen Daseinsvorsorge wird auf Veröffentlichungen von GemInI und anderen verwiesen (GEMINI 2014 UND 2015, INFA, 2014).

### **Kaskadennutzung von Bioabfällen**

Bei den Bioabfällen wird der Kaskadennutzung mit Kombination aus energetischer und stofflicher Verwertung Vorrang vor der rein stofflichen Nutzung eingeräumt. Weitere Ausführungen zur Bioabfallverwertung s. Kap. 7.4 und Anhang Kap. 7.

### ***Wiederverwendung und Verwertung von Sperrabfall durch getrennte Sammeltouren und Annahme auf Recyclinghöfen***

Bei der Sperrabfallerfassung ist neben der traditionellen Straßensammlung eine zunehmende Inanspruchnahme der Möglichkeiten zur Selbstanlieferung auf Wertstoff-/Recyclinghöfen zu beobachten. Darüber hinaus werden weitergehende Serviceleistungen mit Abholung von Altprodukten direkt aus den Wohnungen angeboten. Letztere erlaubt eine sortenreine Erfassung von Teilfraktionen und Altprodukten, die eine höhere stoffliche Verwertung ermöglichen als bei einer herkömmlichen Straßensammlung. Hier ist aus wirtschaftlichen Gründen die Sammlung zumeist auf drei Teilfraktionen beschränkt (Holz, Metalle/E-Schrott, Restsperrmüll).

Aufbereitungsbedarf besteht bei Sperrmüll für die Holzfraktion (für die stoffliche und energetische Verwertung) sowie für die Rest-Sperrmüllmengen (für die energetische Verwertung).

Zudem kann auf Recyclinghöfen die Annahme, Aufbereitung und Abgabe von wiederverwendbaren Altprodukten integriert werden.

### ***Auswirkungen bei Entfall Förderung Grundlaststrom***

Die Entwicklung der Förderkonditionen für Strom aus Biomasse-Kraftwerken wird nicht nur die Wirtschaftlichkeit, sondern auch die möglichen Absatzmärkte beeinflussen. Das Ökoinstitut hat vorgeschlagen, dass künftig auch Anlagen zur Erzeugung erneuerbarer Energien systemdienlicher ausgelegt und betrieben werden sollten. Da der Grundlastbedarf in der Stromerzeugung künftig verstärkt durch erneuerbare Energien (insbes. Wind und Photovoltaik) gedeckt werden wird, ist es nicht mehr sinnvoll Biomassekraftwerke in Grundlast zu betreiben. Sofern dieser Ansatz in das EEG übernommen werden sollte (Entfall EEG-Förderung für Grundlaststrom), wären davon auch die Biomassekraftwerke betroffen, die Altholz aus Sperrmüll einsetzen.

Wenn sich daraus andere Annahmeentgelte für das Altholz ergeben, kann wiederum das Erfordernis einer getrennten Altholzabfuhr und einer getrennten Sperrmüllaufbereitung in Frage gestellt werden. In diesem Fall könnte die Sperrmüllaufbereitung wieder in stärkerem Umfang in den MBA-Anlagen erfolgen und dort in die EBS-Aufbereitung integriert werden.

### ***Auswirkungen auf Restsiedlungsabfälle***

Bei konsequenter Umsetzung der Abfallhierarchie wird sich die verbleibende Menge an gemischten Siedlungsabfällen deutlich reduzieren. Die veränderte Zusammensetzung eröffnet dabei zusätzliche Möglichkeiten der Sortierung und Aufbereitung von gemischten Siedlungsabfällen.

Es wird erwartet, dass trotz aller Maßnahmen zur Steigerung der getrennten Erfassung mittelfristig weiterhin relevante Mengen als gemischte Siedlungsabfälle anfallen, die jedoch bei Umsetzung der Abfallhierarchie künftig in verstärktem Umfang einer Aufbereitung zugeführt werden müssen. Je nach nationaler Umsetzung der EU-Quotenregel kann diese Menge allerdings auf 10 bis 35 % der Siedlungsabfallmenge sinken.

### ***Erhöhung der Verwertung aus Restsiedlungsabfällen mittels M(B)A-Anlagen***

Für die verbleibende Restabfallmenge gilt ebenfalls die Rangfolge der Abfallhierarchie. Hier bieten die Anlagen zur stoffspezifischen Abfallbehandlung die Möglichkeit, den Abfall in seine Hauptkomponenten aufzutrennen und aufzubereiten, so dass Teilfraktionen der stofflichen und der energetischen Verwertung zugeführt werden können.

Anlagen zur stoffspezifischen Behandlung von gemischten Siedlungsabfällen stellen somit das Bindeglied zwischen Recycling und der sonstigen Verwertung dar. Durch die Behandlung werden aus den Abfällen Fraktionen zur stofflichen und zur energetischen Verwertung gewonnen, so dass nur noch verbleibende Reste beseitigt werden müssen.

Die biologische Trocknung von Abfällen dient dabei in erster Linie der Verbesserung der Abtrennung von Wert- und Inertstoffen sowie der Erzeugung von qualitätsgesicherten Ersatzbrennstoffen.

## **7.3.4 Sonstige Verwertung**

### ***Energetische Verwertung***

Unter sonstige Verwertung wird hier insbesondere die **hochwertige energetische Verwertung** betrachtet. Unter energetischer Verwertung werden alle Verfahren verstanden, bei denen der Energiegehalt des Brennstoffs mit hoher Energieeffizienz in Strom, Wärme oder andere Energieträger überführt und für Dritte nutzbar gemacht wird und durch die Klimagasemissionen eingespart werden.

Die formale Abgrenzung zwischen energetischer Verwertung und thermischer Behandlung bei MVA nach der sog. Energieeffizienzformel gemäß AbfRRL und KrWG, die nur der Zuordnung der MVA als Beseitigungsverfahren (D1) oder Verwertungsverfahren (R1) dient, soll hier außer Acht bleiben.



### ***Erzeugung von EBS und Biogas in M(B)A-Anlagen***

Bei der stoffspezifischen Abfallbehandlung werden nach Ausschöpfung der Möglichkeiten zum Recycling qualitätsgesicherte Ersatzbrennstoffe erzeugt, die nachfolgend ggf. nach Zwischenspeicherung in energieeffizienten Kraftwerken verwertet werden können.

Aus der organikhaltigen Feinfraktion kann durch Vergärung Biogas erzeugt werden, dass analog zum Biogas aus Bioabfall vielfältig und flexibel verwertet werden kann. Der Vergärung kann die biologische Trocknung der Gärreste zur Erzeugung von Stabilat zur energetischen Verwertung nachgeschaltet werden.

### **7.3.5 Beseitigung**

#### ***Vorbehandlung vor der Beseitigung***

Entsprechend den Anforderungen der DepV ist in Deutschland seit 2005 eine Vorbehandlung der nicht stofflich und nicht energetisch verwertbaren Abfälle vor der abschließenden Ablagerung vorgeschrieben. Die Behandlung kann über biologische oder thermische Verfahren erfolgen. Sofern im Rahmen der Behandlung Stoffe zur energetischen und stofflichen Verwertung erzeugt werden, können diese dem Recycling bzw. der energetischen Verwertung zugeordnet werden (vgl. Berechnungsmethode EU-Recyclingquote in AbfRRL, Entwurf 12/2015, Anhang 6).

#### ***Ziel MBA: Erhöhung der Mengenanteile zur Verwertung und rückläufige Ablagerungsmengen***

Die Deponie stellt zzt. nur noch bei den klassischen MBA-Verfahren mit Rotte und Vergärung eine relevante Rolle. Ziel ist, den Anteil zur Deponie künftig weiter zu reduzieren und auf die inerten, mineralischen Abfallbestandteile zu reduzieren.

Durch Umstellung des Anlagenbetriebs mit Reduzierung der Mengenanteile zur biologischen Stufe oder Umstellung auf biologische Trocknung mit Erzeugung einer zusätzlichen Ersatzbrennstofffraktion ist der Anteil zur Ablagerung aus MBA zzt. schon rückläufig. Dieser Trend wird sich bei Integration von Vergärungsstufen und/oder Trocknung von Feinfraktion und Gärresten mit anschließender Aufbereitung der Trockenstabilatmengen weiter fortsetzen.



## 7.4 Handlungsschwerpunkte und Optionen Bioabfallverwertung

Aus den aufgezeigten Entwicklungsszenarien in den Bereichen Energie- und Kreislaufwirtschaft ergeben sich für die Bioabfallverwertung folgende Handlungsoptionen

### ***Steigerung Erfassungsmengen und Kaskadennutzung***

Die Sammlung von Bioabfall aus Haushalten (Biogut) soll in zunehmendem Maße auf Nahrungs- und Küchenabfälle ausgedehnt werden. Eine Steigerung der Erfassung von Nahrungs- und Küchenabfall erfordert zum Einen eine Öffnung des Positivkatalogs der für die Biotonne zugelassenen Fraktionen, darüber hinaus könnte dies durch verkürzte Abfuhrintervalle oder durch unterschiedliche Sammelsysteme und Abfuhrintervalle für Küchen- und Gartenabfall erreicht werden. Die wirtschaftliche Machbarkeit und technische Eignung hängt von den regionalen Rahmenbedingungen ab.

Auch bei quantitativer Erhöhung der erfassten Bio- und Grünabfallmengen soll die Sammlung auf möglichst hohe Qualität der erfassten Bioabfälle ausgerichtet bleiben. Darüber hinaus soll künftig die energieeffiziente und emissionsarme Behandlung sowie die ressourcenschonende Verwertung der Gärreste stärkere Beachtung finden.

Hierfür steht das System der Kaskadennutzung von organischen Abfällen bestehend aus

- Vergärung mit Erzeugung von Biogas und dessen energieeffizienten Verwertung
- Kompostierung mit Erzeugung von Komposten und dessen Verwertung mit hohen Nutzeneffekten (z. B. durch gartenbauliche statt landwirtschaftliche Verwertung, um höhere CO<sub>2</sub>-Gutschriften realisieren zu können)
- Energetische Verwertung der grobstückigen biogenen Bestandteile aus der Vor- und Nachbehandlung

### ***Stoffstromteilung vor der Vergärung***

Zur effizienten Nutzung von Vergärungskapazitäten ist es sinnvoll, den Anteil anaerob nicht abbaubarer Bestandteile im Input niedrig zu halten. Holzige Bestandteile sollten daher vor der Vergärung möglichst separiert und anderweitig verwertet werden.

Der Anteil von holzigen Gartenabfallanteilen im Biogut hängt i. W. von den angebotenen Sammelsystemen für Bio- und für Grüngut ab. Dementsprechend kann Biogut hohe Anteile für die Vergärung weniger geeignete Gartenabfallbestandteile aufweisen, wie auf der anderen Seite Grüngut aus Haushalten hohe Anteile an vergärbaren Bestandteilen enthalten kann. Ebenso wie die Abtrennung holziger Bestandteile vor der Vergärung von Biogut kann es Sinn machen, aus dem Grüngut geeignete Teilströme abzutrennen und diese der Vergärung zuzuschlagen.

### ***Flexibilisierung der Stromerzeugung aus Biogas***

Für neue und auch für bestehende Vergärungsanlagen mit Stromerzeugung aus Biogas wird zur bedarfsabhängigen Bereitstellung von Residuallast eine Flexibilisierung der Stromeinspeisung z. B. im Tagesgang erforderlich. Dies kann durch bedarfsabhängige Beschickung der Gärreaktoren oder durch entsprechend größere Auslegung von Gasspeichern, BHKW realisiert werden.

### ***Flexibilisierung durch Biomethan-Erzeugung und –Einspeisung***

Eine maximale Flexibilität bei der Gasverwertung wird durch eine Biogasaufbereitung und Einspeisung des Biomethans in das öffentliche Gasnetz erreicht. Aus ökonomischen Gründen sollte hier jedoch eine Anlagenkapazität von 30.000 Mg/a Bioabfall-Eintrag in die Vergärung möglichst nicht unterschritten werden. Kooperationen von Gebietskörperschaften können daher sinnvoll sein.

Das Biomethan kann aus dem Netz als Kraftstoff für Fahrzeuge oder als Brennstoff in GUD-Gaskraftwerken zur Erzeugung von Residualstrom verwertet werden.

### ***Flexibilisierung durch Zwischenlagerung von Bio-/Grünabfällen (Silierung)***

Die Sammelmengen an Bio- und Grünabfällen sind von einem deutlichen Jahresgang mit Spitzen im Sommer und Senken im Winter geprägt. Zur besseren Auslastung der Vergärungsanlagen und einer bedarfsgerechteren Energieerzeugung in den Wintermonaten kann die Konservierung und mehrmonatige Zwischenlagerung von Bio- und/oder Grünabfällen beitragen. Verfahren in Anlehnung an die landwirtschaftliche Silierung bieten hier interessante Ansatzpunkte.

### ***Perspektive: Neue Konversionsverfahren und Kombination mit Vergärung***

Auf weitere Perspektiven der Biomasse-/Bioabfall-Verwertung wie

- der Einsatz von Konversionsverfahren zur Bereitstellung von Kraftstoffen und Chemie-Grundstoffen, Kombination mit Vergärung
- CO<sub>2</sub>-Verwertung aus der Vergärung über Power-to-Gas, Power-to-Liquid
- Weiterentwicklung der Kaskadennutzung durch Integration in Bioraffineriekonzepte zur Erzeugung von Biokraftstoffen und/oder chemischen Grundstoffen
- der verbesserte Lignocellulose-Aufschluss vor der Vergärung in Kombination von Konversionsverfahren und Vergärung
- Entwicklung weiterer Verfahren zum besseren Aufschluss nativ-organischer Biomasse zur Nutzung mittels Vergärung
- Optimierung der Verfahren zur stofflichen Verwertung von Gärprodukten/Gärresten
- Einbeziehung geeigneter landwirtschaftlicher und industrieller Reststoffe in die Kaskadennutzung von Bioabfall

wird im Anhang Kap. 8 näher eingegangen.

### ***Zurückhaltende Bereitschaft zur Umstellung auf hochwertige Verwertung wegen hoher Anforderungen an Emissionsstandard und dadurch steigende Behandlungskosten***

Um die positiven Nutzeneffekte einer Kaskadennutzung nicht durch die Belastung aus dem Betrieb der Anlagen zu relativieren, wird aus Klimaschutzgründen der Emissionsstandard von Vergärungs- und Kompostierungsanlagen z. B. durch Optimierung der Prozess- und Betriebsführung verbessert werden müssen.

Höhere Anforderungen an die bauliche Ausführung der Anlagen und an den Emissionsstandard werden voraussichtlich zu ansteigenden Behandlungskosten führen und damit ggf. auch die Bereitschaft zur verstärkten Erfassung von Bioabfall und deren hochwertige Behandlung in kombinierten Vergärungs- und Kompostierungsanlagen negativ beeinflussen.

Es wird davon ausgegangen, dass die Auswirkungen zwar regional unterschiedlich, auf nationaler Ebene jedoch nur in begrenztem Umfang ausfallen werden.

## **7.5 Handlungsoptionen zur Weiterentwicklung der Anlagen mit MB-Technologie**

### ***Positionierung der MBA unter den zukünftigen Rahmenbedingungen***

Die absehbaren Entwicklungen der Mengen und Qualitäten von Restabfällen erfordern nicht nur Anpassungen der vorhandenen Anlagenkapazitäten bei MVA und MBA, sondern auch die Entwicklung alternativer Nutzungskonzepte für MBA.

Die MBA als Schaltstelle einer Stoffstromtrennung mit energieeffizienter Verwertung der Teilströme wird sich dem daraus zunehmend erwachsenden Wettbewerb um Mengenströme und Qualitäten stellen müssen. U. a. kann sie bei Vollzug der o. g. umweltpolitischen Ziele und Vorgaben im Rahmen der 5-stufigen Abfallhierarchie nicht nur die Vorbehandlung von Rest-Siedlungsabfällen übernehmen, sondern auch - nach entsprechendem technischem Umbau - die Aufbereitung weiterer Stoffströme vor dem Recycling. Die technischen Voraussetzungen und Entwicklungspotenziale sind dafür vorhanden.

### ***Reduktion Deponierung, Erhöhung Verwertungsanteil aus MBA***

Mit Inkrafttreten der AbfAbIV, 2001 wurde in Deutschland seit 2005 der Ausstieg aus der Ablagerung unvorbehandelter Siedlungsabfälle vollzogen.

Aus MBA mit Rotte- und Vergärungsstufen werden seitdem nur noch biologisch behandelte Abfallfraktionen abgelagert, die den Anforderungen der DepV, 2009 genügen (2013 ca. 0,8 Mio. Mg, Tendenz abnehmend).

Diese Mengen zur Deponierung sollen möglichst weiter reduziert und auf das unvermeidbare Maß beschränkt werden. Dies kann z. B. durch Umstellung der Rottesysteme auf biologische Trocknung mit nachfolgender Aufbereitung der Trockenstabilatfraktion mit Abtrennung und energetischer Verwertung der Brennstoffanteile erreicht werden.

### ***Handlungsoptionen (Übersicht)***

Zusammenfassend stehen im MBA-Bereich nachfolgende Potenziale und Handlungsoptionen zur wirtschaftlichen, technischen und ressourcenschutzorientierten Optimierung, Weiterentwicklung und ggf. Umnutzung der bestehenden MBA-Verfahren zur Verfügung:

- Anpassung MBA an abnehmende Restabfallmengen und steigende Anforderungen an die stoffliche Verwertung von Abfallfraktionen
- Erhöhung der Fe- und NE-Auslese sowie Verbesserung der Qualität der Metallfraktionen
- verstärkter Einsatz von sensorgestützter Sortiertechnik zur Abtrennung von Fraktionen zur stofflichen Verwertung, sofern der Nachweis der Verwertbarkeit gelingt
- Nutzung der mechanischen Stufe zur Aufbereitung und Sortierung von wertstoffhaltigen Abfallgemischen wie z. B. Gewerbeabfall, Wertstofftonne (nach technischer Anpassung der MA)
- Qualitätsverbesserung der EBS-Fraktionen (Heizwert, Wasser- und Aschegehalt) in Abhängigkeit von Anforderungen der Abnehmer (bisher nur Qualitätssicherung bei Erzeugung von gütegesicherten Sekundärbrennstoffen nach BGS)
- Bereitstellung von hochkalorischen Brennstoffen für Stoffumwandlungsprozesse (Zementindustrie)
- Bereitstellung von lagerfähigen Brennstoffen mit hohen biogenen C-Anteilen für bedarfsorientierte wärmegeführte EBS-Kraftwerke (Industrie und Stadtwerke)
- Erzeugung von Energie durch Vergärung und Biogasverstromung in BHKW
- Aufbereitung von Biogas zu Biomethan und Einspeisung ins Netz
- Erhöhung der Effizienz von Vergärungsanlagen durch Kopplung mit Power-to-Gas oder/und Pyrolyse-Konzepten
- Bereitstellung von Residualenergie durch Biogas/Biomethan in Kombination mit Power-to-Gas
- verstärkte Einbindung abfallwirtschaftlicher Standorte in die Energieversorgung, z. B. durch Bereitstellung von Regelenergie über Biogas oder Biomasse
- biologische Trocknung der organikhaltigen Feinfraktion und von Gärresten mit Erzeugung einer biogenen EBS-Fraktion
- Reduzierung der zu deponierenden Mengen auf den mineralischen Anteil (Sand, Steine, Scherben)
- alternative Verwertung von Biomasse und EBS (HTC, Biokohle, Verölung etc.)
- Aufbau/Entwicklung von Lagerkonzepten für Biomasse und EBS
- Nutzung der biologischen Stufen zur Vergärung von Bioabfall und industriellen Reststoffen etc. angepasst an die Mengenentwicklung von Bioabfall und dem Organikanteil im Siedlungsabfall

- Nutzung der biologischen Stufen zur biologischen Trocknung von Gärresten, Klärschlamm, feuchten heizwertreichen Abfällen etc.
- Optimierung des Energiemanagements und Reduzierung des Energieverbrauchs der Anlagen
- Kombinationsmöglichkeiten mit Verfahren zur Vergasung, Verölung, Erzeugung von Alkoholen oder von Biokohle sowie Umsetzung von Bioraffineriekonzepten zzt. noch unklar

In Verbindung mit einer offensiven Herangehensweise und vorausschauenden Planung bestehen somit gute Gründe und eine solide Basis für eine optimistische Prognose zur Entwicklung der stoffspezifischen Abfallbehandlung mit MBA/MBS/MPS/MA. Dafür müssen z. T. neue Nutzungskonzepte entwickelt und neue Geschäftsfelder erschlossen werden.

## 8 Zusammenfassung und Ausblick

Mit der Umstellung des Energiesystems auf Erneuerbare Energien und dem Ausstieg aus der fossilen Kohlenstoffwirtschaft verändern sich auch die Rahmenbedingungen für die Kreislaufwirtschaft. Zugleich eröffnen sich neue Chancen und Entwicklungsoptionen für die stoffspezifische Abfallbehandlung zur Mitgestaltung der Energiewende und bei der Neuausrichtung der Kreislaufwirtschaft.

Die angestrebte Decarbonisierung der Wirtschaft und Energiewirtschaft wird die Verwertungsmöglichkeiten der aus Abfall erzeugten Stoffe und letztlich auch die Zusammensetzung der künftig anfallenden und zu behandelnden Abfälle beeinflussen.

Das künftige Energiesystem wird dezentraler und maßgebend auf einer Kombination aus verschiedenen erneuerbaren Energien aufgebaut sein. Die Stromerzeugung soll nach den Energieszenarien künftig überwiegend aus Photovoltaik und Windenergie erfolgen. Strom aus Verbrennungsprozessen soll nur noch dem Ausgleich der fluktuierenden Erneuerbaren Energien dienen. Mit dem Ausstieg der Energieerzeugung aus fossilen Brennstoffen entfallen künftig auch Verwertungswege für die Mitverbrennung von Ersatz- und Sekundärbrennstoffen aus der Abfallbehandlung. Der Ausstieg aus der Kohleverbrennung ist für den Zeitraum ab 2030 geplant, die sukzessive Stilllegung einzelner Kraftwerke soll jedoch schon ab 2017 erfolgen.

Zugleich öffnen sich für Ersatz- und Sekundärbrennstoffe sowie für biogene Abfälle neue Wege, wenn mit deren Hilfe bei Entwicklung effizienter Speichertechnologien und flexibler Kraftwerkslösungen der Ausgleich des fluktuierenden Aufkommens an Strom aus den erneuerbaren Energien Wind und Photovoltaik gelingt. Darüber hinaus werden Ersatz- und Sekundärbrennstoffe künftig verstärkt in Anlagen zur Wärme- und Prozessenergieversorgung eingesetzt werden müssen.

Die Kreislaufwirtschaft ist im Umbruch, sie wird zunehmend ausgerichtet auf Wiederwendung und Recycling sowie auf eine energieeffiziente und umweltschonende energetische Verwertung, wobei sich die künftigen Verwertungswege für Ersatzbrennstoffe und Biogas verändern werden.

Mit dem Konzept der stoffspezifischen Abfallbehandlung verfolgt die ASA die konsequente Umsetzung der 5-stufigen Abfallhierarchie im Rahmen einer nachhaltigen Kreislaufwirtschaft und leistet dadurch schon heute einen wesentlichen Beitrag zum Klima- und Ressourcenschutz.

Dabei beschränkt sich die stoffspezifische Abfallbehandlung nicht nur auf die Behandlung verbleibender Restsiedlungsabfälle, sondern erstreckt sich auf die Gesamtheit der stofflich und

energetisch verwertbaren Abfälle, die durch Sortierung, Aufbereitung und Behandlung in den Nutzkreislauf der Kreislaufwirtschaft eingebracht werden können.

Mit dem Strategiepapier werden mögliche Auswirkungen der Paradigmenwechsel in der Klimapolitik sowie in der Energie- und Kreislaufwirtschaft dargestellt. Zusätzlich werden die sich aus der Energiewende, Decarbonisierung und Kreislaufwirtschaft ergebenden Chancen und Möglichkeiten für die stoffspezifische Abfallbehandlung zur Mitgestaltung der Energiewende und Neuausrichtung der Kreislaufwirtschaft herausgearbeitet.

Die 5-stufige Abfallhierarchie der Kreislaufwirtschaft mit verstärkter Ausrichtung auf Wiederverwendung und Recycling wird von der ASA unterstützt. In der Konsequenz erweitert sich der künftige Wirkungsbereich der ASA von der mechanisch-biologischen Restabfallbehandlung auf alle Bereiche der Abfallhierarchie, insbes. auf alle Bereiche der stoffspezifischen Abfallbehandlung.

Die stoffspezifische Abfallbehandlung wird als Voraussetzung für die Erzeugung von Stoffströmen zur stofflichen und energetischen Verwertung betrachtet und daher den Recyclingverfahren zugeordnet (R-Verfahren).

Für die Verwertung von Kompost als Düngemittel und Humusbildner sieht die ASA ausschließlich Komposte aus getrennt erfassten Bioabfällen als geeignet an. Mischmüllkomposte, wie sie in anderen EU-Staaten noch eingesetzt werden und deren Erzeugung nach dem aktuellen Entwurf der BAT-Anforderungen an Abfallbehandlungsanlagen EU-weit auch künftig als BAT-konform gelten sollen, sind nach Auffassung der ASA hierzu nicht geeignet.

Für die konsequente Umsetzung der Abfallhierarchie setzt die ASA auf „ehrliche“ Recyclingquoten und auf eine jeweils hochwertige stoffliche und energetische Verwertung.

Die Hochwertigkeit der energetischen Verwertung soll nach ASA an der Energieeffizienz und der Höhe der eingesparten klimaschädlichen CO<sub>2</sub>-Emissionen der Verfahren bewertet werden.

Die Hochwertigkeit der stofflichen Verwertung sollte gemessen werden am erzielten ökologischen Nutzen und der Sozial- und Umweltverträglichkeit des Recyclingprozesses und der Recyclingprodukte.

Obwohl langfristig die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien erfolgen wird, wird für den Übergangszeitraum die Mitverbrennung von qualitäts- und gütegesicherten EBS in Kohlekraftwerken unterstützt. Diese Ausrichtung resultiert aus der nachweislich dabei erzielten hohen Energieeffizienz und erheblichen Vermeidung klimaschädlicher CO<sub>2</sub>-Emissionen.



Mittel- und langfristig muss sich die stoffspezifische Abfallbehandlung stärker nach den Erfordernissen der Wiederverwendung und des Recyclings ausrichten und sich auf die Veränderungen in den EBS-Absatzmärkten einstellen.

Obwohl eine weitergehende Reduzierung der biologisch stabilisierten Abfälle aus MBA zur Deponie angestrebt wird (z. B. durch Umstellung der Rotte auf biologische Trocknung), bleibt die Deponie als Schadstoffsенke für nicht verwertbare Abfälle auch zukünftig integraler Bestandteil eines stoffspezifischen Behandlungskonzeptes im Rahmen der Kreislaufwirtschaft.

Mit den vorhandenen Möglichkeiten der Anlagen zur stoffspezifischen Abfallbehandlung eröffnet sich eine Erweiterung der Geschäftsfelder durch eine Behandlung und weitergehende Aufbereitung u.a. der nachfolgenden geeigneten Stoffströme und Wirkungsbereiche:

- **gemischte Siedlungsabfälle**

Die gemischten Siedlungsabfälle bilden weiterhin die Basis der stoffspezifischen Abfallbehandlung in den Anlagen. Dabei sind die zu erwartenden Änderungen im Aufkommen und in der Zusammensetzung bei der Entwicklung der Anlagenkonzepte zu berücksichtigen.

- **Bioabfall**

Die verstärkte Erfassung von Bioabfall und dessen Verwertung im Rahmen einer Kaskadennutzung ist zentraler Bestandteil einer auf Recycling ausgerichteten Verwertungsstrategie. Neben der Erweiterung bestehender Kompostwerke um Vergärungsstufen stellt die Nutzung von Vergärungsstufen in MBA zur getrennten Behandlung von Bioabfall eine sinnvolle Option zur künftigen Nutzung und Auslastung von MBA dar.

- **Biogas/Biomethan**

Mit der Erzeugung von Biogas, dessen Aufbereitung und Netzeinspeisung kann eine speicherbare Energie für vielfältige Verwertungsmöglichkeiten im Energiesystem der Zukunft bereitgestellt werden. Durch eine Kombination mit Power-to-Gas-Systemen können Standorte mit Vergärungsanlagen in ihrer Leistung optimiert werden.

- **Wertstoffgemische**

Die Sortierung von Wertstoffgemischen aus Haushalten oder dem Gewerbe können bei entsprechender Ausstattung der mechanischen Stufen in den Anlagen integriert werden. Die Aufbereitung von metallhaltigen Abfällen (Abtrennung von Resten und Anhaftungen) stellt hierbei ein mögliches Dienstleistungsangebot für Dritte dar.

- **gemischte Gewerbe- und Baustellenabfälle**

Gemischte Gewerbe- und Baustellenabfälle unterliegen künftig einer generellen Sortier- und Aufbereitungspflicht. Aus diesen Abfällen können in den stoffspezifischen Behandlungsanlagen bei entsprechender Ausstattung die erforderlichen Stoffe zum Recycling und zur energetischen Verwertung erzeugt werden.

- **Sperrabfall**

Der Sperrabfall ist je nach Umfang der getrennten Erfassung von Einzelfractionen geeignet für eine Aufbereitung in den Anlagen. Insbesondere bei unsicherer Weiterentwicklung im Bereich der Biomasse-Kraftwerke kann die Einbindung der Sperrabfälle in das Konzept der EBS-Produktion eine sinnvolle Ergänzung darstellen.



- **feuchte heizwertreiche Abfälle**

Die aeroben Systeme eignen sich grundsätzlich zur biologischen Trocknung feuchter heizwertreicher Abfälle mit gewissen organischen Restgehalten. Bei Standorten mit Wärmeüberschuss aus der Biogas- oder Biomasseverwertung ist in diesen Systemen auch eine thermische Trocknung möglich.

- **Klärschlamm**

Analog zu den feuchten heizwertreichen Abfällen können die biologischen Systemen auch zur Trocknung von Klärschlamm genutzt werden. Bei Standorten mit Deponie ist eine Zwischenlagerung der Asche aus den Monoverbrennung für ein späteres Phosphor-Recycling möglich.

- **Deponierückbau**

Sofern bei Deponierückbaumaßnahmen Stoffströme zur Trocknung und Brennstoffaufbereitung oder zur weitergehenden biologischen Stabilisierung vor der abschließenden Ablagerung anfallen, kann die erforderliche Behandlung in den MBA-Anlagen durchgeführt werden.

- **Importe bei Umsetzung EU-Deponieverbot**

Sofern aus der Umsetzung des Verbotes bzw. der Limitierung von Siedlungsabfällen in der EU ein Import nach Deutschland resultieren sollte, sind diese Abfälle grundsätzlich auch geeignet für die Anlagen zur stoffspezifischen Abfallbehandlung. Eine aktive Rolle der Betreiber von stoffspezifischen Anlagen bei der Akquisition dieser Abfälle wird jedoch nicht erwartet.

Neben den im Bericht benannten Entwicklungsoptionen steht die ASA anderen alternativen Verwertungsverfahren, die bisher noch nicht dem Stand der Technik entsprechen, grundsätzlich positiv gegenüber. Die technologische Weiterentwicklung und der Nachweis der technischen und wirtschaftlichen Praxisreife obliegt jedoch den Verfahrensentwicklern.

## Schlussbemerkung

Trotz aller zu erwartenden politischen und wirtschaftlichen Unwägbarkeiten und Paradigmenwechsel im hier betrachteten Prognosezeitraum bis 2030 und darüber hinaus, ergeben sich aus der Notwendigkeit zum Klima- und Ressourcenschutz die langfristigen Zielvorgaben für die Energie- und Kreislaufwirtschaft.

Insofern geben die vorgestellten Szenarien zur künftigen Entwicklung der Energie- und Kreislaufwirtschaft den Rahmen zur Einschätzung der Handlungsoptionen und Erfordernisse für eine mittel- und langfristige Ausrichtung der stoffspezifischen Abfallbehandlung.

Die konkreten Auswirkungen der aktuell eingeleiteten Paradigmenwechsel in der Energie- und Kreislaufwirtschaft hängen jedoch sehr stark davon ab, mit welcher zeitlichen und inhaltlichen Stringenz die klimapolitischen Zielvereinbarungen (Klimavertrag Paris), die energiepolitischen Zielvorstellungen (Energiewende) und die abfallrechtlichen Zielvorgaben der EU und des Bundes (AbfRRL, KrWG und zugehörige Ausführungsverordnungen) auf nationaler und auf EU-Ebene auch tatsächlich umgesetzt werden.

Die Widersprüche zwischen ordnungspolitischen Lenkungs Vorgaben/Zielvorstellungen und wirtschaftspolitischen Richtungsentscheidungen/Prämissen sind aktuell am Beispiel der Weiterentwicklung und Förderung der erneuerbaren Energien festzustellen, die letztlich zu einer gravierenden Verfehlung der ursprünglich gesetzten Ausbauziele für Erneuerbare Energien, insbes. bei Biomasse, führen können.

Auch der im Kreislaufwirtschaftspaket der EU-Kommission verankerte Vorbehalt der Wirtschaftlichkeit bei der Erfüllung der Recyclingvorgaben gehört in dieses Spannungsfeld. Zusätzlich beeinflussen auch die globalen Entwicklungen bei den Preisen für Primärenergie und Primärrohstoffen die Wirtschaftlichkeit und damit die Vermarktungsmöglichkeiten von Sekundärroh- und Sekundärbrennstoffen.

Solange z. B. der Rohölpreis auf absehbare Zeit auf dem aktuell sehr niedrigen Niveau verbleibt, wird sich das auch auf die Wirtschaftlichkeit und auf die Absatzmärkte der stofflichen und energetischen Verwertung auswirken. Sofern der Preis für Recyclat aus Altkunststoff über dem aus Primärrohstoffen hergestellten Kunststoffen liegt, wird sich das unmittelbar auf das Recycling von Altkunststoffen auswirken. Gleiches gilt für die Erzeugung und Vermarktung von Ersatz- und Sekundärbrennstoffen.

Und dennoch ist davon auszugehen, dass trotz aktuell niedriger Rohstoffpreise sich die begrenzte Verfügbarkeit der natürlichen Ressourcen letztlich wieder in steigenden Preisen niederschlagen wird. In der Zwischenzeit ist es Aufgabe der Politik, die Verwertungsstrukturen in Deutschland durch Schaffung entsprechender ordnungsrechtlicher und förderpolitischer Rahmenbedingungen in ihrem Bestand abzusichern und deren Weiterentwicklung zu unterstützen.

## LITERATURVERZEICHNIS

AGEB	2015	Energieverbrauch in Deutschland im Jahr 2014. Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e. V. Berlin 2015
AGEB	2016	Energieverbrauch in Deutschland im Jahr 2015. Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e. V. <a href="http://www.ag-energiebilanzen.de">www.ag-energiebilanzen.de</a> , Zugriff am 25.02.2016
Agora Energiewende	2015	Die Energiewende im Stromsektor. Stand der Dinge, Trends und Herausforderungen Berlin 14.10.2015
Alwast, H.	2012	Was ändert sich mit dem neuen Kreislaufwirtschaftsgesetz für die Stoffströme und Abfallbehandlungskapazitäten. in: Thomé-Kozmiensky, K. J./Versteil, A.: Planung und Umweltrecht Bd. 6, TK-Verlag Neuruppin 2012
Alwast, H.	2013	Verbrennungsmarkt Deutschland und Europa vor dem Hintergrund steigender Recyclingaktivitäten. 25. Kasseler Abfall- und Bioenergieforum Kassel 2013
Alwast, H.	2014	Abfallwirtschaft im Gleichgewicht? Entwicklung von Restabfallmengen und die künftig notwendigen Behandlungskapazitäten in Deutschland. IFAT, München 2014
ASA/Ketelsen, K.	2014	Energieeffizienz und Klimabilanz von Abfallbehandlungsanlagen am Beispiel von Kombinationsverfahren mit MBA, Erläuterungen zur Methodik und Erfordernis und Ergebnisse, unveröffentlicht
BDI	2012	Faktencheck Ressourceneffizienz. Bundesverband der deutschen Industrie e. V. Berlin 2012
BGK	2015	Bundesgütegemeinschaft Kompost e. V.: Zahlen, Daten, Fakten. <a href="http://www.kompost.de">www.kompost.de</a> Zugriff 14.10.15
biogaspartner	2015	Biogaseinspeisung in Deutschland – Übersicht <a href="http://www.biogaspartner.de/einspeiseatlas/projektliste-deutschland">www.biogaspartner.de/einspeiseatlas/projektliste-deutschland</a> Zugriff 21.08.2015
Biogaspartner	2014	Branchenbarometer Biomethan 2/2014. Daten, Fakten und Trends zur Biogaseinspeisung, durchgeführt von dena (Deutsche Energie-Agentur) Berlin 2014
BMBF	2014	Roadmap Bioraffinerien im Rahmen der Aktionspläne der Bundesregierung zur stofflichen und energetischen Nutzung nachwachsender Rohstoffe. BMELV/BMBF/BMU/BMWi (Hrsg.) Berlin 2014
BMEL	2014	Jedes achte Lebensmittel, das wir kaufen, werfen wir weg. Du kannst das ändern. Broschüre des BMEL Berlin 2014
Briese, D.	2015	Stand und Entwicklung von MBA's in Deutschland. DGAW-Regionalveranstaltung Niedersachsen „10 Jahre TASI – 10 Jahre MBA's – Status Quo und Zukunft“ am 17.03.2015 in Hannover
Bruckner et al.	2014	Energy Systems. in: Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel of Climate Change. Cambridge University Press Cambridge, New York 2014
CEWEP	2013	A decade of Waste-to-Energy in Europe (2001-2010/11). Brüssel 2013

Clarke et al.	2014	Assessing Transformation Pathways. IPCC Arbeitsgruppe III, 5. Sachstandsbericht, Kap. 6 Genf 2014
CUTEC/Fraunhofer	2016	Umweltschutzgerechte Verwertung nicht etablierter Stoffströme in Abfallverbrennungsanlagen. Sachverständigengutachten erstellt von CUTEC Umwelttechnik Institut GmbH + Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT i. A. des Umweltbundesamtes (Projektnr.: 43834). UBA-Texte 18/2016 Dessau-Roßlau 2016
Daniel-Gromke, J. et al.	2014	Aufbereitung von Biogas zu Biomethan und dessen Nutzung – Status quo und Perspektiven. in: Thomé-Kozmiński K.J./Löschau, M.: Immissionsschutz Bd. 4., TK-Verlag Neuruppin 2014
Dehoust, G. Möck, A.	2015	Kapazitätsbedarf für die Abfallverbrennung in Deutschland. in: Thomé-Kozmiński K.J.: Strategie – Planung - Umweltrecht Bd. 9, TK-Verlag Neuruppin 2015
Dehoust, G. Harthan R., O. Stahl, H. Hermann H. Matthes, F., C. Möck, A.	2014	Beitrag der Kreislaufwirtschaft zur Energiewende – Klimaschutzpotenziale auch unter geänderten Rahmenbedingungen optimal nutzen. Öko-Institut e. V. Berlin 2014
dena	2015	Systemlösung Power to Gas – Chancen, Herausforderungen und Stell-schrauben auf dem Weg zur Marktreife Berlin 2015
Destatis		Umwelt – Abfallbilanz der Jahre 2006-2012. Stat. Bundesamt Wiesbaden 2009-2014
Destatis		Umwelt – Abfallentsorgung, Fachserie 19 der Jahre 2001-2013. Stat. Bundesamt Wiesbaden 2003-2015
Destatis	2011	Umwelt – Zeitreihe zum Abfallaufkommen 1996-2009. Stat. Bundesamt Wiesbaden 2011
DGAW	2012	Stellungnahme der DGAW zum Thesenpapier zur Fortentwicklung der haushaltsnahen Wertstofffassung des Bundesministeriums für Um-welt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Deutsche Gesellschaft für Abfallwirtschaft e. V. Berlin 23.08 2012
DGAW	2016	Quotenzauber – Neue Berechnungsgrundlagen als Herausforderungen für die deutsche Kreislaufwirtschaft. Deutsche Gesellschaft für Abfall-wirtschaft e. V. Berlin 29.01.2016
DLR et al.	2012	Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland unter Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global. BMU-Forschungsvorhaben, Schlussbericht (FKZ 03MAP146) Stuttgart, Kassel, Teltow 2012
enervis energy advisors	2015	Ein Kraftwerkspark im Einklang mit den Klimazielen. Handlungslücke, Maßnahmen und Verteilungseffekte bis 2020. Studie im Auftrag von Agora Energiewende Berlin 2015

ESYS	2015	Flexibilitätskonzepte für die Stromversorgung 2050. Stabilität im Zeitalter der erneuerbaren Energien. Ad-hoc Arbeitsgruppe „Flexibilitätskonzepte“ des Akademienprojektes „Energiesysteme der Zukunft“, bestehend aus: Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina, arcatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften und Union der deutschen Akademien der Wissenschaften Berlin 2015
EU-Kommission	2015	Vorschlag für eine Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates zur Änderung der Richtlinie 2008/98/EG über Abfälle. Brüssel, 02.12.2015
European Parliament	2015	European Parliament resolution of 9 July 2015 on resource efficiency: moving towards a circular economy (2014/2208(INI)) P8_TA-PROV(2015(INI))
Friege, H,	2015	Ressourcenmanagement und Siedlungsabfallwirtschaft. Challenger Report für den Rat für nachhaltige Entwicklung, Texte Nr. 48, Januar 2015
G7 Germany	2015	Abschluss Erklärung (inkl. Annex) G7-Gipfel Schloss Elmau 07.-08.06.2015
GasNZV	2005	Gasnetzzugangsverordnung – Verordnung über den Zugang zu Gasversorgungsnetzen <a href="http://www.umwelt-online.de/regelwerk/energie/gasnzvz2005">www.umwelt-online.de/regelwerk/energie/gasnzvz2005</a> Zugriff 24.08.2015
GasNZV	2014	Gesetz zur grundlegenden Reform des Erneuerbar-Energie-Gesetzes und zur Änderung weiterer Bestimmungen des Energiewirtschaftsrechts. Artikel 4 Änderung der Gasnetzzugangsverordnung <a href="http://www.umwelt-online.de/regelwerk/energie/z14_1066">www.umwelt-online.de/regelwerk/energie/z14_1066</a> Zugriff 24.08.2015
GemIni	2014	Wertstofffassung und Wertstoffrecycling ohne Systembetreiber und in kommunaler Verantwortung. Vorschlag für einen neuen Regelungsrahmen (Konzeptpapier). Gutachten und Stellungnahmen im Auftrag der Gemeinschaftsinitiative zur Abschaffung der dualen Systeme (GemIni), erstellt durch Hartmut Gaßner/Wolfgang Siederer Berlin 13.03.2014
GemIni	2015	Kritische Stellungnahme von GemIni zum Arbeitsentwurf des BMUB für ein Wertstoffgesetz. Gutachten und Stellungnahmen im Auftrag der Gemeinschaftsinitiative zur Abschaffung der dualen Systeme (GemIni), erstellt durch Hartmut Gaßner/Wolfgang Siederer Berlin 11.11.2015
Gosten, Alexander	2015	Möglichkeiten der energetischen und stofflichen Abfallverwertung – Wertstofftonne, Biotonne, Restabfalltonne, Recycling- oder Wertstoffhof. in: K. J. Thomé-Kozmiensky (Hrsg.) Strategie, Planung, Umweltrecht Bd. 9 Nietwerder 2015
Grundmann, T. Ketelsen, K.	2012	Grundlagen zur Ermittlung der Recyclingquote für Siedlungsabfälle in Abhängigkeit vom Anlagenstatus von MBA/MA/MVA Fachgespräch beim BMU Bonn 10.07.2012
HWWI	2012	Auswirkungen der Abfallgesetzgebung auf das Abfallaufkommen und die Behandlungskapazitäten bis 2020. HWWI Policy Paper 64 Hamburg 2012
ICU	2014	Erweiterte Bewertung der Bioabfallsammlung. Bearbeitet für ITAD e. V., ICU Ingenieurconsulting Umwelt und Bau Berlin 2014
INFA	2014	Erarbeitung von Erfassungsmengen und Recyclingquoten. Dokumentation erstellt im Auftrag der GemIni Ahlen 2014

ITAD	2015a	Entsorgungssicherheit fällt nicht vom Himmel. ITAD-Pressemitteilung vom 21.09.2015 Düsseldorf 2015
Jendrischik, M.	2015	Sprit aus Ökostrom dank Elektrolyse. in: Energy 2.0, Heft 08/2015, publish-industry-Verlag München 2015
Kägi, T.	2015	Ökobilanz KS Verwertung in DE. Vergleich stoffliches Recycling mit thermischer Verwertung in einer MVA oder Zementwerk. beauftragt von ITAD e. V., Carbotech AG Zürich 23.06.2015
Kanning, K. Gosten, A. Rücker, T. Ketelsen, K.	2015	Ein Jahr Biokraftstoff aus BIOGUT – Betriebserfahrungen und Klimagasbilanzdaten aus der neuen Vergärungsanlage in Berlin. in: Müll und Abfall Heft 10/2015, Erich-Schmidt-Verlag Berlin 2015
Kappa, S. Peters, U.	2015	Rahmenbedingungen in der Kraftwerkswirtschaft für die Mitverbrennung von SBS. Fachlicher Teil zur Mitgliederversammlung des BGS e. V., Münster 19.11.2015
Kern, M. Raussen, T.	2014	Biogas-Atlas 2014/15 – Anlagenhandbuch der Vergärung biogener Abfälle in Deutschland und Europa. Witzenhausen 2014
Kern, M. Siepenkothen, J.	2014	Bioabfallpotenzial im Hausmüll, Modellbetrachtung zur Steigerung der Erfassung von Bioabfällen aus dem Hausmüll. in: Müll und Abfall Heft 07/2014, Erich-Schmidt-Verlag Berlin 2014
Ketelsen, K.	2013	MBT's Contribution to Climate Protection and Ressource Conservation. Waste-to-Resources Hannover 11.-14.06.2013
Ketelsen, K.	2012	Berechnungshack. in: RECYCLINGmagazin Heft 07/2012, S. 18-22, München 2012
Ketelsen, K. Fischer, N.	2012	Quote ist nicht gleich Quote – Grundlagen zur Ermittlung der Recyclingquoten nach AbfRRL und KrWG. Internationale 9. ASA-Abfalltage Hannover, 29.02.-03.03.2012
Ketelsen, K. Kanning, K.	2015	BSR Biogas West – Ergebnisse des Evaluierungsprozesses zur Klimagasbilanz. Abschlussbericht im Auftrag der BSR Hannover 2015
Ketelsen, K. Nelles, M.	2015	Stand und neue Entwicklungstendenzen / Perspektiven von MBA in Deutschland. Waste-to-Resources 2015, 6. Internationale Tagung MBA, Sortierung und Recycling, S. 166-189 Hannover 05.-07. Mai 2015
Kovacs, A.	2014	Europäische Biomethan Roadmap - Stand und Ausbaupotenzial Biome- than. Biogaspartner Jahrestagung „European Biogas Association“ Berlin 02.12.2014
Kranert, M. et al.	2012	Ermittlung der weggeworfenen Lebensmittelmengen und Vorschläge zur Verminderung der Wegwerfrate bei Lebensmitteln in Deutschland. ISWA, Universität Stuttgart, gefördert durch BLE (FKZ: 2810HS033) Stuttgart 2012
NABU	2009	Müllverbrennung in Deutschland wächst unkontrolliert – Recycling ist gefährdet, Müllimport wird attraktiver. Ergebnisse aus der durch die prognos AG durchgeführten Untersuchung: Der Abfallmarkt in Deutschland und Perspektiven bis 2020 Berlin 03.03.2009
Radde, C.-A. Oehlmann, C.	2015	Zehn Jahre striktes Ablagerungsverbot. Meilenstein für die Kreislaufwirtschaft in Deutschland: Perspektive für Europa? in : Müll und Abfall, Heft 10/2015, Erich Schmidt Verlag Berlin 2015

Roll, H. Chartschenko, P.	2014	Marktumfeld für die Abfallverbrennung in Deutschland. in: K. J. Thomé-Kozmiensky (Hrsg.) Strategie, Planung, Umweltrecht Bd. 8 Neuruppin 2014
SRU	2015	10 Thesen zur Zukunft der Kohle bis 2040. Sachverständigenrat für Umweltfragen – Kommentar zur Umweltpolitik Nr. 14 Berlin 2015
Sterner, M.	2009	Bioenergy and renewable power methane in integrated 100 % renewable energy systems. Dissertation an der Universität Kassel, University press Kassel 2009
Thiel, S.	2013	Im Ländervergleich. Über Gemeinsamkeiten, Unterschiede und Kapazitäten von Ersatzbrennstoff-Kraftwerken in Deutschland und Österreich liegen aktuelle Daten vor. in: ReSource Heft 01/2013, Rhombos Verlag Berlin 2013
Thomé-Kozmienski, K. J.	2012	Irrungen und Wirrungen – Warum die Bezeichnung Kreislaufwirtschaft täuscht und die Verantwortung der Kommunen in der Abfallwirtschaft gestärkt werden sollte. in: ReSource Heft 03/2012, Rhombos Verlag Berlin 2012
Treder, M.	2015	Die thermische Abfallbehandlung im Energiemarkt der Zukunft. ITAD E. V., 20. Dreiländertreffen Wien 18.-20.10.2015
UBA	2014	Verpflichtende Umsetzung der Getrenntsammlung von Bioabfällen. Erstellt von UEC GmbH + GAVIA mbH & Co. KG UBA-Texte 84/2014, Forschungs-KZ: 3712 33 328 Dessau-Roßlau 2015
UN	2015	Adoption of the Paris Agreement. Conference of the Parties, Draft decision -/CP.21, FCCC/CP/2015/L.9/Rev.1, 12.12.2015
Verbio AG	2015	Herstellung von Verbiogas. <a href="http://www.verbio.de/produkte/verbiogas/herstellung">www.verbio.de/produkte/verbiogas/herstellung</a> Zugriff 25.08.2015
WBGU	2014	Klimaschutz als Weltbürgerbewegung (Sondergutachten). Wiss. Beirat der Bundesregierung, Globale Umweltveränderungen Berlin 18.07.2014
Wörner, A.	2014	Zukünftige Speicher- und Flexibilitätsoptionen durch Power-to-X. EnergieSpeicherSymposium Stuttgart 12.03.2014
WWF	2009	Modell Deutschland – Klimaschutz bis 2050 (Kurzfassung) hrsg, von Prognos/Öko-Institut/Dr. H.-J. Ziesing Berlin 2009







## **ASA-Strategie 2030**

**Ressourcen- und Klimaschutz durch eine  
stoffspezifische Abfallbehandlung**

**Herausforderungen, Chancen, Perspektiven**

**= Anhang =**





## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>NEUE RAHMENBEDINGUNGEN FÜR DIE KREISLAUFWIRTSCHAFT AUS DER NEUAUSRICHTUNG DER ENERGIEWIRTSCHAFT</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>STAND DER STOFFSPEZIFISCHEN ABFALLBEHANDLUNG IN 2015</b>	<b>6</b>
2.1	Aktueller Stand der stoffspezifischen Abfallbehandlung in Deutschland	6
2.1.1	Einleitung	6
2.1.2	Entwicklung und Verbleib der Siedlungsabfälle (inkl. Verwertung)	6
<b>2.2</b>	<b>Recycling- und Verwertungsquoten</b>	<b>9</b>
2.2.1	Stand der getrennten Sammlung im Siedlungsabfallbereich	9
2.2.2	Entwicklung der Recycling- und Verwertungsquoten	10
<b>3</b>	<b>ENTWICKLUNG DER STOFFSPEZIFISCHEN ABFALLBEHANDLUNG MITTELS MBA-TECHNOLOGIE IN DEUTSCHLAND</b>	<b>14</b>
3.1	Einleitung	14
3.2	Phase I: bis 2001 (Konzeptentwicklung und Erarbeitung des rechtlichen Rahmens)	14
3.3	Phase II: 2001 bis 2005/6 (Kapazitätsaufbau)	16
3.4	Phase III: 2005 bis 2015 (Konsolidierung und Optimierung)	17
3.5	Phase IV: 2016 bis 2030 (Weiterentwicklung und neue Nutzungen)	19
<b>4</b>	<b>STAND DER ABFALLBEHANDLUNG IN MBA</b>	<b>20</b>
4.1	Verfahrensübersicht MA/MBA/MBS/MPS	20
4.2	Anzahl, Durchsatz und Stoffbilanz MBA 2013	21
<b>5</b>	<b>PROGNOSEN ZUM ANLAGENBEDARF FÜR DIE BEHANDLUNG VON SIEDLUNGSABFALL</b>	<b>29</b>
5.1	Behandlungskapazitäten	29
5.2	Mittelfristige Entwicklung der MBA-Kapazitäten	30
<b>6</b>	<b>RESSOURCEN- UND KLIMASCHUTZ DURCH STOFFSPEZIFISCHE ABFALLBEHANDLUNG</b>	<b>35</b>
6.1	Energieeffizienz, Klima- und Ressourcenschutz durch Kombinationsverfahren mit MBA	35
6.2	Weiterentwicklung der MBA unter Klima- und Ressourcenschutz- gesichtspunkten	40
<b>7</b>	<b>VERWERTUNG VON BIO- UND GRÜNABFALL</b>	<b>42</b>
7.1	Stand der Kompostierung und Vergärung	42
7.2	Entwicklungstendenzen der Bioabfallsammlung und –verwertung	43
7.3	Erzeugung und Verwertung von Biogas aus Bioabfall	45
7.4	Fazit Bioabfall	47

<b>8</b>	<b>BIOENERGIE AUS ORGANISCHEN RESTSTOFFEN UND FEUCHTER BIOMASSE</b>	<b>49</b>
<b>8.1</b>	<b>Aktuelle Entwicklungen im Bereich Bioenergie</b>	<b>49</b>
<b>8.2</b>	<b>Biomethan – sinnvoller Baustein in der Partnerschaft von Energie- und Kreislaufwirtschaft</b>	<b>49</b>
<b>8.3</b>	<b>Technologische Entwicklungen = Zukunftstechnologien?</b>	<b>51</b>

## 1 Neue Rahmenbedingungen für die Kreislaufwirtschaft aus der Neuausrichtung der Energiewirtschaft

Die künftige Ausrichtung der Kreislaufwirtschaft in Deutschland und Europa ist auf Grund der engen Verknüpfungen mit der Energiewirtschaft sehr stark von den Entwicklungen im Energiesektor abhängig. Da sich inzwischen auch international auf höchsten politischen Entscheidungsebenen die Erkenntnis durchgesetzt hat, dass dem Klimaschutz zukünftig höchste Priorität im politischen Handeln beizumessen ist (siehe Abschlussprotokoll G7-Gipfel Elmau (G7 GERMANY, 2015) und Weltklimaabkommen Paris (UN, 2015)), wird es gerade im Energiesektor als Hauptverursacher von Treibhausgasemissionen zu großen Umwälzungen kommen müssen.

Für eine Stabilisierung der CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Atmosphäre (Einhaltung des 2 °C-Ziels bzw. des CO<sub>2</sub>-Konzentrationskorridors von 430 bis 530 ppm CO<sub>2</sub> wird es allgemein als notwendig anerkannt, dass die Freisetzung von CO<sub>2</sub> aus der Nutzung fossiler Energieträger vollständig eingestellt werden muss (IPCC 2014, hier CLARKE et al., 2014 zitiert in WBGU, 2014).

Bereits im Vorfeld der Weltklimakonferenz von Paris wurden in einem Sondergutachten des Wissenschaftlichen Beirats der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen folgende Kernbotschaften zum Klimawandel aufgestellt (WBGU, 2014):

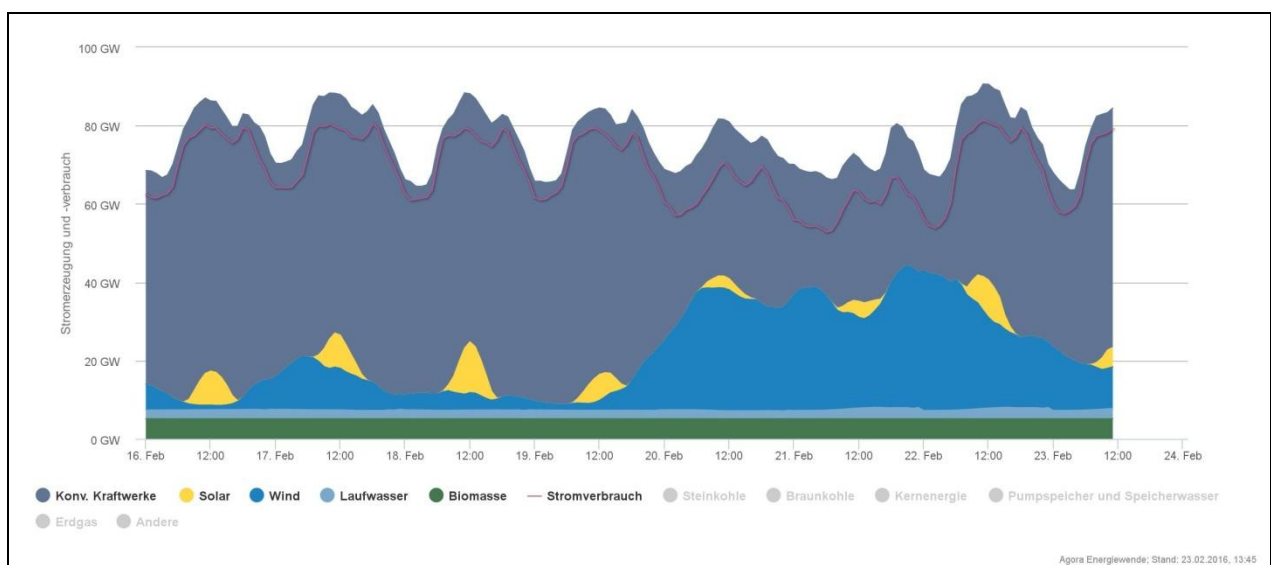
- „Klimawandel und Einfluss des Menschen auf das Klima sind eindeutig.
- Die Klimaprojektionen mit gegenwärtigen Emissionsraten laufen eher auf eine Erderwärmung von 4 ° C (gegenüber dem vorindustriellen Niveau) hinaus.
- Zur Vermeidung größerer Schäden wird die 2 °C Leitplanke wichtiger denn je.
- Ihre Einhaltung erfordert ein Nullemissionsziel: CO<sub>2</sub>-Emissionen aus fossilen Energieträgern sollten bis spätestens 2070 auf Null sinken.
- Je weiter das Handeln verzögert wird, desto teurer wird die Einhaltung der 2 °C Leitplanke und desto riskanter sind die Technologien dafür.
- Klimaschutz ist eine Investition in die Zukunft, die aber bezahlbar ist und auf lange Sicht die Kosten senken kann.
- Die Transformation zur klimaverträglichen Gesellschaft bietet erhebliche Zusatznutzen.“

Unter dem Stichwort „Decarbonisierung“ (= Reduktion des Kohlenstoffanteils) der Wirtschaft soll nach den internationalen Langfristszenarien zum Klimaschutz der Verbrauch an fossilen Ressourcen begrenzt und soweit wie möglich durch klimaschonende Verfahren ersetzt werden. Durch den verstärkten Einsatz erneuerbarer Energien wird dem Elektrizitätssektor hier das am schnellsten umsetzbare Umstellungspotenzial zugewiesen. Der Anteil klimaschonender Verfahren für die Stromerzeugung soll nach den Klimaschutzenszenarien bis zum Jahr 2050 weltweit von derzeit 30 % auf über 80 % ansteigen (IPCC 2014 (hier BRUCKNER et al., 2014)).

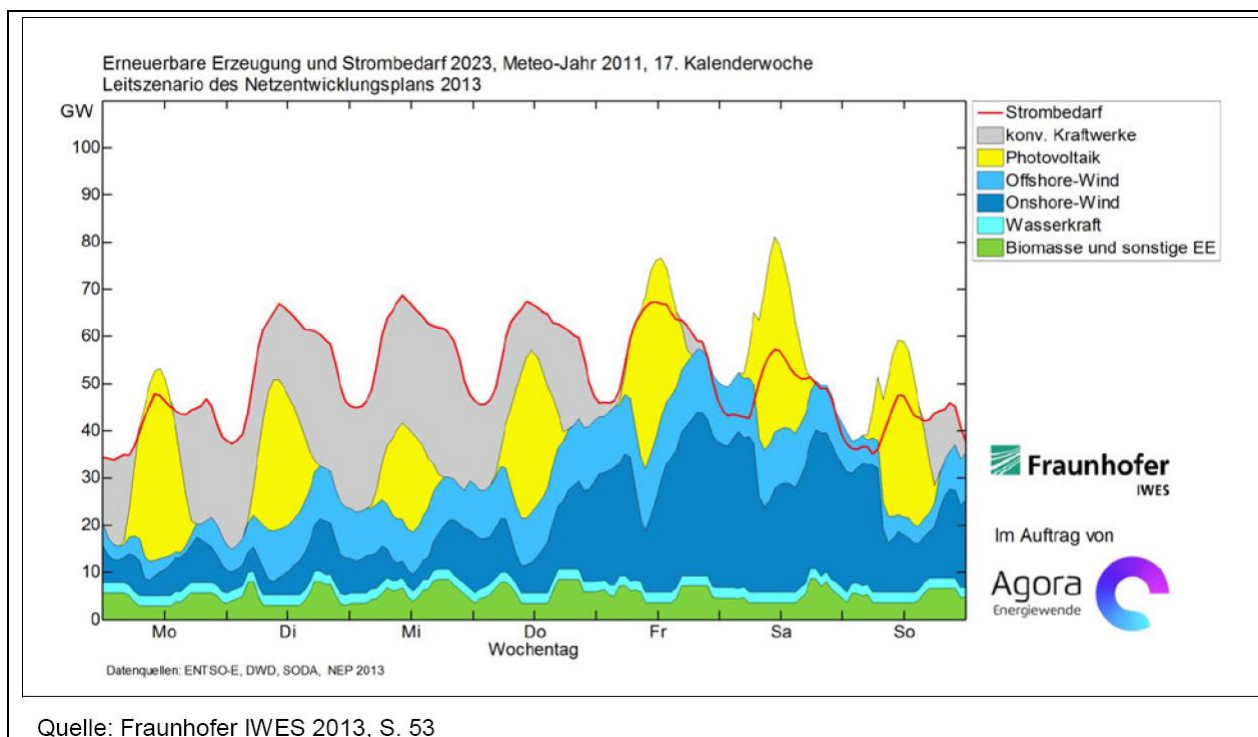
Der Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU, 2015) folgert daraus: „Eine mittelfristige Beendigung der Kohleverstromung ist die unabwiesbare Voraussetzung dafür, dass Deutschland und die EU ihre Ziele für 2050 erreichen können.“

Weiter heißt es hierzu in SRU, 2015: „Die zentrale Herausforderung der Zukunft ist daher die Flexibilität: Das Stromsystem muss darauf ausgerichtet werden, große Mengen fluktuierender Erzeugung zu integrieren. Es werden sich Zeiten mit einem großen und Zeiten mit einem geringen Stromangebot aus erneuerbaren Energien abwechseln.“

In diesem System ist auf Dauer kein Platz für Grundlastkraftwerke, also Atom- und Kohlekraftwerke, die aus technischen oder ökonomischen Gründen im Volllastbetrieb laufen sollten (...).“



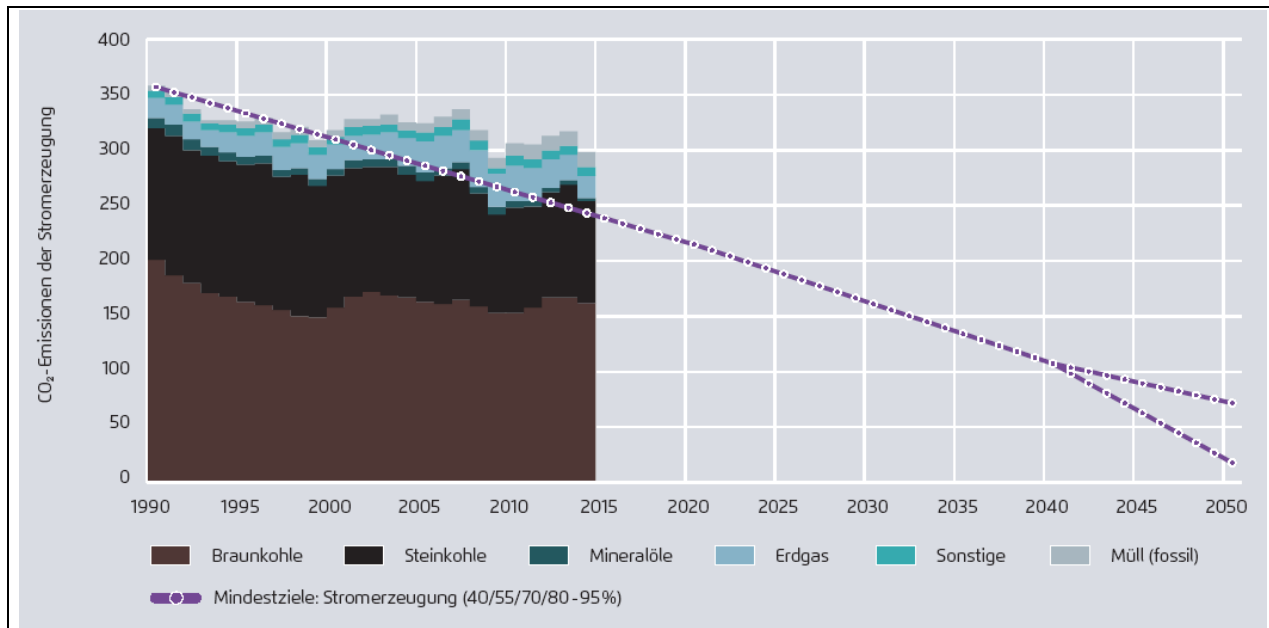
**Bild 1-1: Stromerzeugung und Stromverbrauch in Deutschland aktuell 16. bis 23.02.2016 (Quelle: Agora Energiewende, 2015)**



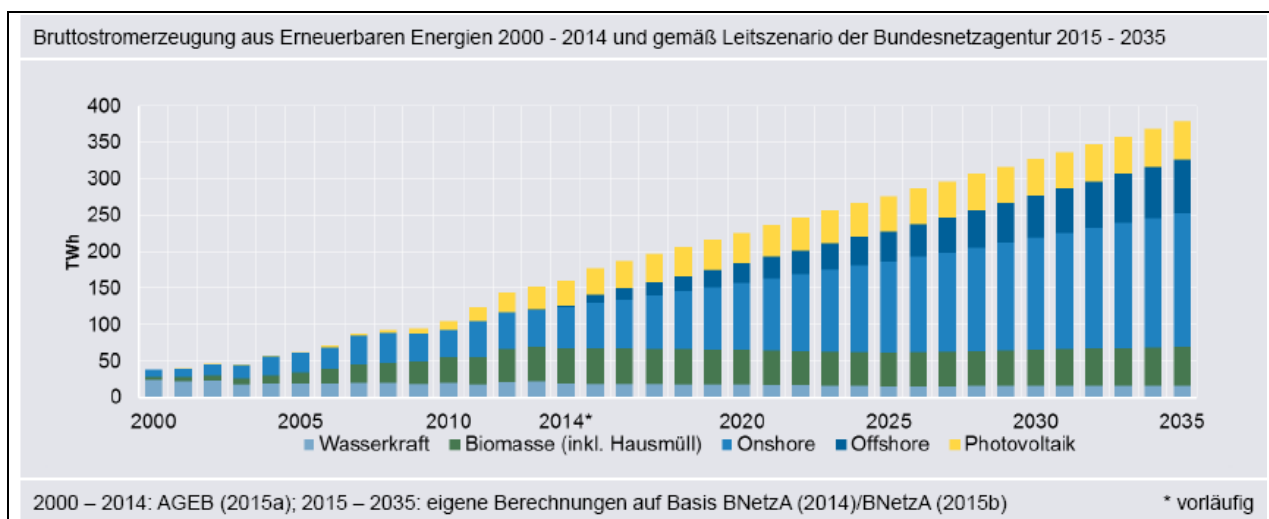
Quelle: Fraunhofer IWES 2013, S. 53

**Bild 1-2: Mögliche Schwankungen der Einspeisung von Strom aus Wind und Photovoltaik in Deutschland künftig (Stromerzeugung und Verbrauch in GW, modelliert für April 2023 (SRU, 2015))**

Wie in SRU, 2015 festgestellt wird, ist die schwankende Einspeisung von erneuerbarem Strom in Abhängigkeit von Wetter, Jahres- und Tageszeit schon heute im Gesamtsystem deutlich sichtbar. Dies zeigt auch das aktuelle Beispiel einer Woche im Februar 2016 (s. Bild 1-1). Simulationen aus Wetterdaten in Verbindung mit EE-Ausbauszenarien ergeben, dass durch den höheren Anteil dargebotsabhängiger erneuerbarer Energien die Schwankungsbreite schon in der kommenden Dekade massiv zunehmen wird. Dies illustriert die Modellierung einer sonnigen Aprilwoche im Jahr 2023 (s. Bild 1-2). Das Stromsystem muss darauf ausgerichtet werden, große Mengen fluktuierender Erzeugung zu integrieren.



**Bild 1-3: Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emissionen der Stromerzeugung in Deutschland (Angaben in Mio. t CO<sub>2</sub> pro Jahr; aus enervis energy advisors, 2015)**



**Bild 1-4: Bruttostromerzeugung aus Erneuerbaren Energien in Deutschland, aus Agora Energiewende, 2015**

Ein Großteil der Emissionen der Energiewirtschaft speist sich aus den Emissionen der Stromerzeugung und insbesondere der Kohlekraftwerke. Bild 1-3 verdeutlicht die Entwicklung der Emissionen der Stromerzeugung nach Brennstoffen. Die politischen Ziele wurden als lineare Entwicklung den historischen Emissionswerten vergleichend gegenübergestellt. Erkennbar ist, dass in den letzten Jahren die Emissionen der Stromerzeugung deutlich hinter die politischen Ziele zurückfallen und dass der Rückstand größer wird, wenn nicht deutliche Erfolge in der Einsparung von Treibhausgasemissionen erzielt werden.



Der geplante kontinuierliche Ausbau der Bruttostromerzeugung mittels erneuerbarer Energien ist in Bild 1-4 dargestellt. Die Schwerpunkte des weiteren Ausbaus liegen demnach klar im Bereich der on- und offshore-Windkraft. Relevante Steigerungspotenziale für die Bruttostromerzeugung aus Biomasse (in 2014 ca. 50 TWh) werden dagegen nicht gesehen. Wesentliche Gründe dafür sind der Stopp des Ausbaus der Biogaserzeugung aus NawaRo sowie eine erwartete Verschiebung der Biogasverwertung hin zum Biomethan. Der aktuelle Beitrag des biogenen Anteils im Hausmüll ist trotz weitgehender energetischer Verwertung von geringer Relevanz. Durch die angestrebte Steigerung der Energieeffizienz bei der Nutzung des biogenen Anteils im Hausmüll (z. B. Ausbau der Kaskadennutzung mittels Vergärung) ist eine Erhöhung des Beitrags zu erwarten.

Für Deutschland und Europa bedeutet dies, dass mittelfristig der Ausstieg aus der Kohleverstromung durch entsprechende politische Lenkung rasant an Fahrt gewinnen müsste und die bestehenden Kohlekraftwerke weitestgehend durch erneuerbare Energien und durch Gaskraftwerke (evtl. verstärkt als Übergangstechnologie) ersetzt werden. Die Entwicklung der erneuerbaren Energieerzeugung in Deutschland zeigt bereits jetzt den zunehmenden Bedarf an Regelenergie auf, wodurch die bestehende grundlastfähige Stromerzeugung in Großkraftwerken auf Kohle- oder nuklearer Basis zunehmend weniger benötigt wird. Die notwendige Transformation des Kraftwerksparks wird auch die Grundlaststromerzeugung aus Abfällen treffen, sei es im Bereich der Mitverbrennung in Kohlekraftwerken oder bei der reinen Abfallverbrennung in MVA. Zukünftig werden in Deutschland in Ergänzung zu Wind- und Solarstrom flexible Kraftwerke benötigt, die Regelenergie bereitstellen können. Diese sind klimaschonend und daher möglichst ohne Brennstoffe fossilen Ursprungs zu betreiben.

Viele Langfrist-Prognosen bzw. –Szenarien (DLR et al., 2012, prognos/ewi/gws, 2014, ESYS, 2015) gehen dabei für Deutschland bis 2050 von einer durch Effizienzsteigerungen weitgehend stagnierenden bis leicht rückläufigen Brutto- bzw. Nettostromerzeugung aus (aktuelle Bruttostromerzeugung: ca. 650 TWh/a; AGE, 2016).

## **2 Stand der stoffspezifischen Abfallbehandlung in 2015**

### **2.1 Aktueller Stand der stoffspezifischen Abfallbehandlung in Deutschland**

#### **2.1.1 Einleitung**

Die zunehmende Bedeutung der stoffspezifischen Abfallbehandlung spiegelt sich wider in der Entwicklung der getrennt erfassten Abfallfraktionen sowie in der Menge gemischter Siedlungsabfälle, die in Anlagen mit mechanischer und/oder biologischer Technologie behandelt wurden. Während der Anteil der in Deutschland getrennt gesammelten trockenen Wertstoffe sowie Bio- und Grünabfälle am gesamten Siedlungsabfallaufkommen 1996 noch bei ca. 1/3 lag, macht er heute etwa 60 % aus. Die absoluten Mengen haben sich von ca. 15 Mio. Mg/a auf ca. 28 Mio. Mg/a fast verdoppelt.

Zeitgleich stieg der Anteil an Abfällen in MA/MBA/MBS/MPS-Anlagen im selben Zeitraum von ca. 1 Mio. Mg/a auf ca. 6- bis 7 Mio. Mg/a an.

Neben den Sortieranlagen für trockene Wertstoffe haben sich folgende Hauptlinien der stoffspezifischen Abfallbehandlung etabliert:

- a) getrennte Sammlung von Bio- und Grünabfall, Küchen- und Kantinenabfall und deren stoffspezifische Behandlung in Kompostwerken und Vergärungsanlagen
- b) mechanisch-biologische Behandlung von Rest-Siedlungsabfall
- c) mechanische Aufbereitung von Gewerbe- und Siedlungsabfällen

Deren heutige Rolle in der deutschen Abfall- und Kreislaufwirtschaft wird anhand der Entwicklung der Siedlungsabfallmengen deutlich.

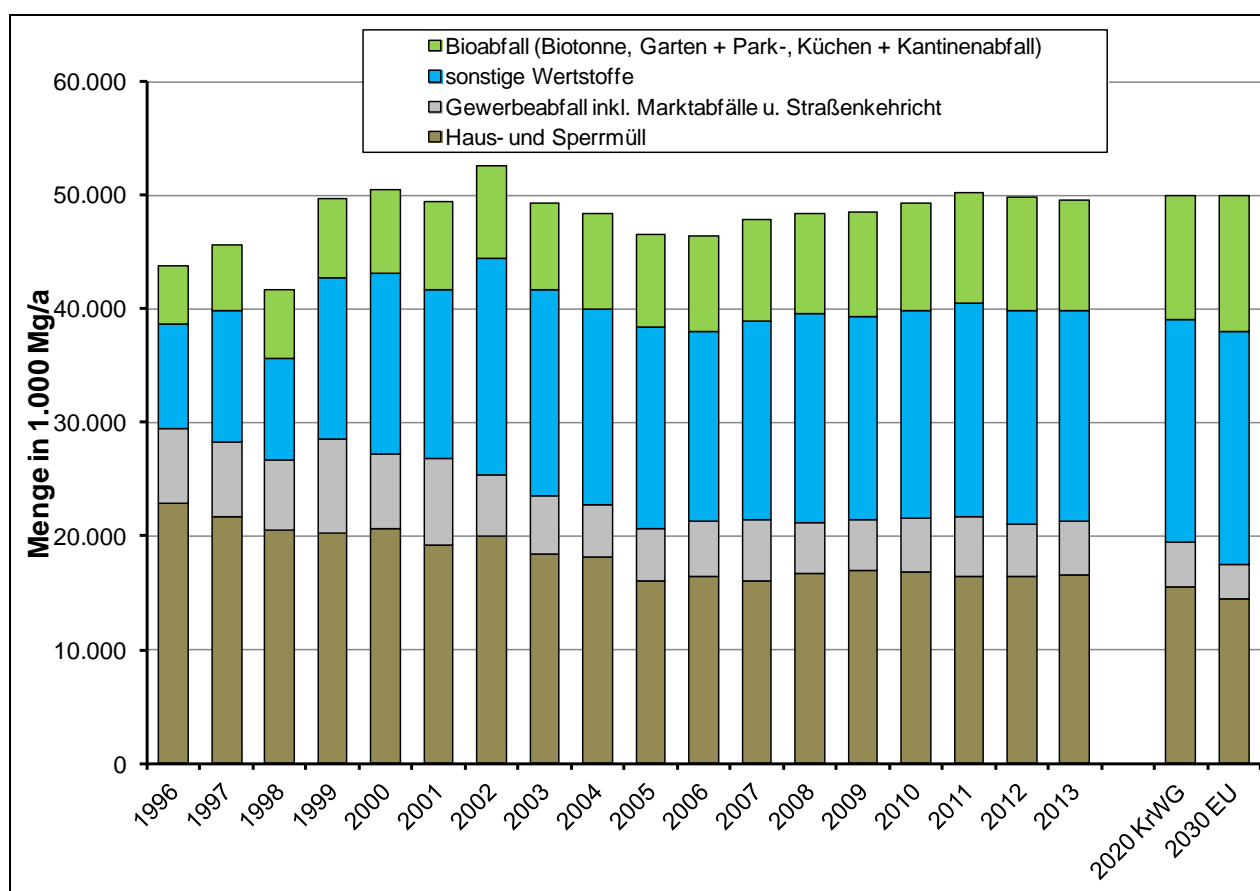
#### **2.1.2 Entwicklung und Verbleib der Siedlungsabfälle (inkl. Verwertung)**

Das Aufkommen an Siedlungsabfällen liegt seit Jahren bei ca. 50 Mio. Mg/a. Dabei ist bis 2005 ein deutlicher Rückgang des Anteils an Restabfall zu verzeichnen gewesen. Seither stagniert die Summe aus Haus- und Sperrmüll sowie Gewerbeabfall bei ca. 21 Mio. Mg/a, während die Mengen an getrennt gesammelten organischen Abfällen und an sonstigen Wertstoffen zur stofflichen Verwertung eine leicht steigende Tendenz aufweisen (Bild 2-1).

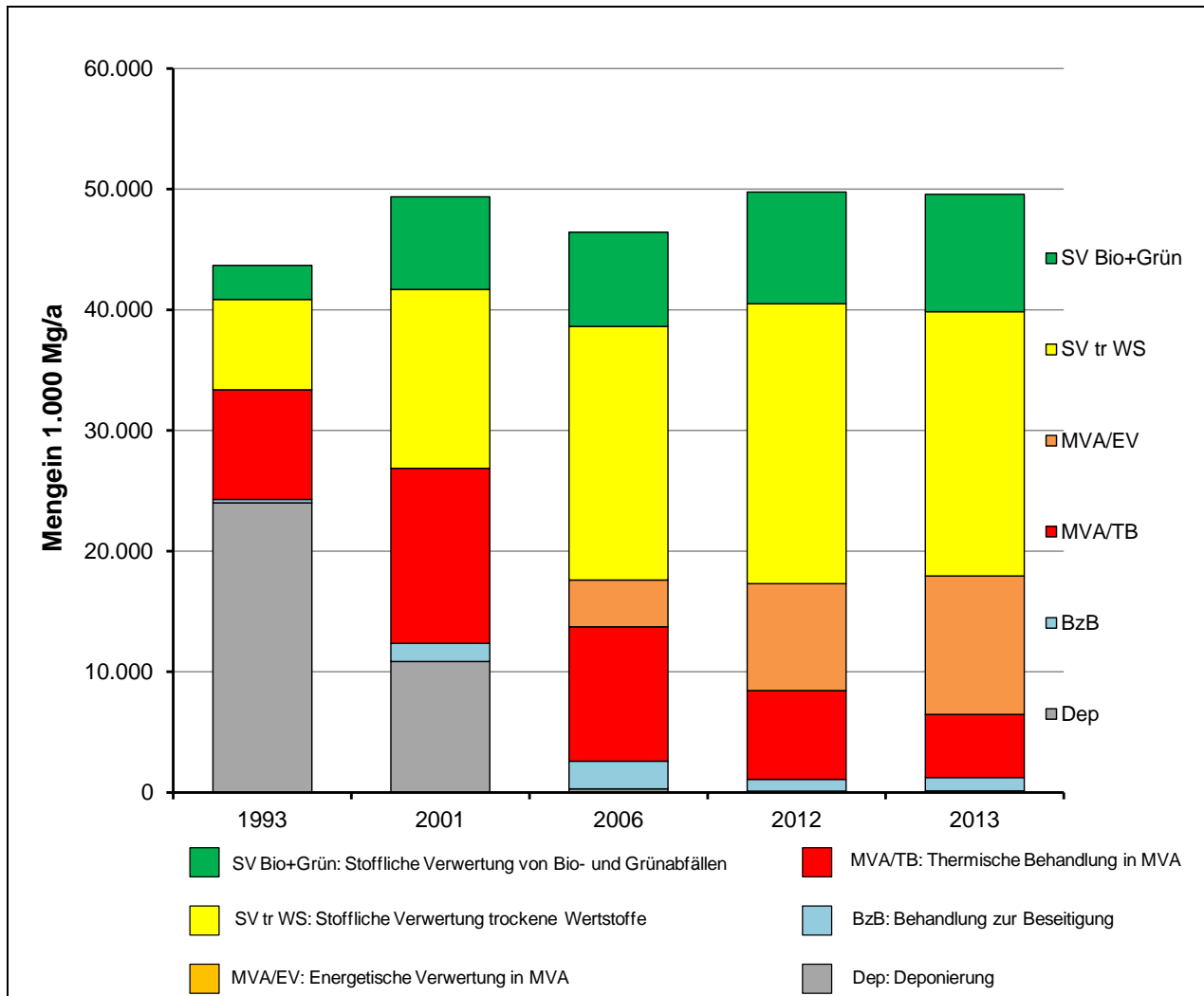
In Studien wird ohne Berücksichtigung der aktuellen Recyclingquotenzielvorgaben nach KrWG und EU ein weiterer Rückgang der Restabfallmengen ab Bezugsjahr 2011 von 0 bis max. ca. 3 Mio. Mg/a prognostiziert ALWAST, H. (2014), HWWI (2012), NABU (2009), BRIESE, D. (2015).

Bei Umsetzung der abfallpolitischen Zielquoten von KrWG und gemäß den Vorschlägen des EU-Parlaments, Stand 07/2015 (European Parliament, 2015) wird sich die Summe der verbleibenden Rest-Siedlungsabfallmengen ggü. den 90er-Jahren bis 2030 voraussichtlich halbieren

auf nur noch ca. 15 Mio. Mg/a. Dies entspricht einem Mengenrückgang ggü. 2011 von mindestens 6 Mio. Mg/a (bei Annahme eines gleichbleibenden Abfallpotenzials). Im Gegenzug werden die Abfallmengen zur stofflichen Verwertung weiter ansteigen. Aus der demografischen Entwicklung können sich Abweichungen in der Höhe der Gesamtabfallmenge ergeben, aus der Art der Quotenberechnung (input-/outputbezogen) können weitere Verschiebungen zwischen den Abfallanteilen zum Recycling und den verbleibende Restabfallmengen resultieren. Die aktuellen Vorschläge der EU-Kommission (Stand 12/2015; EU-Kommission, 2015) sehen hier eine outputbezogene Quotenberechnung mit etwas weniger ambitionierten Zielquoten vor.



**Bild 2-1: Entwicklung der Siedlungsabfallmengen bis 2013 und Zielwerte für 2020 und 2030 bei Umsetzung der Zielquoten nach KrWG und Vorschlag EU-Kommission, Stand 12/2015 (Annahme: gleichbleibendes Abfallaufkommen)**



**Bild 2-2: Verbleib der Siedlungsabfallmengen 1993 bis 2013 (Zuordnung nach Destatis, nur Primärabfälle, ohne Abfälle aus Behandlungsanlagen)**

Auf der Verbleibseite der Siedlungsabfälle spiegeln sich die Entwicklungen ausgelöst durch rechtliche Vorgaben sowie die Veränderungen in der statistischen Zuordnung der Behandlungsanlagen durch Destatis wider (Bild 2-2).

Im Jahr 1993 (Inkrafttreten TA Siedlungsabfall) wurde noch der überwiegende Teil der Siedlungsabfälle deponiert. Mit Inkrafttreten der AbfAbIV, 2001 hatte sich die Bedeutung der Deponie in der Siedlungsabfallentsorgung mehr als halbiert. Mit Beendigung der Übergangsfristen von TAsi und AbfAbIV werden seit 2005 de facto nahezu keine Siedlungsabfälle mehr unvorbehandelt abgelagert.

Die Entwicklung in den Bereichen thermische Behandlung (TB), energetische Verwertung (EV) und stoffliche Verwertung (SV) trockener Wertstoffe seit 2006 spiegelt lediglich die vom Statistischen Bundesamt vorgenommene neue Zuordnung der Anlagen nach R- und D-Verfahren wi-

der, insbes. wird ab 2012 die zunehmende Einstufung der MVA als Anlagen zur energetischen Verwertung (EV) deutlich.

Die MBA/MBS/MPS wurden nach der Systematik von Destatis unterschiedlich den Anlagen-  
gruppen der stoffliche Verwertung (SV), der energetischen Verwertung (EV) oder der Behand-  
lung zur Beseitigung (BzB) zugeordnet, das heißt diese Anlagen sind in allen drei Bereichen  
enthalten.

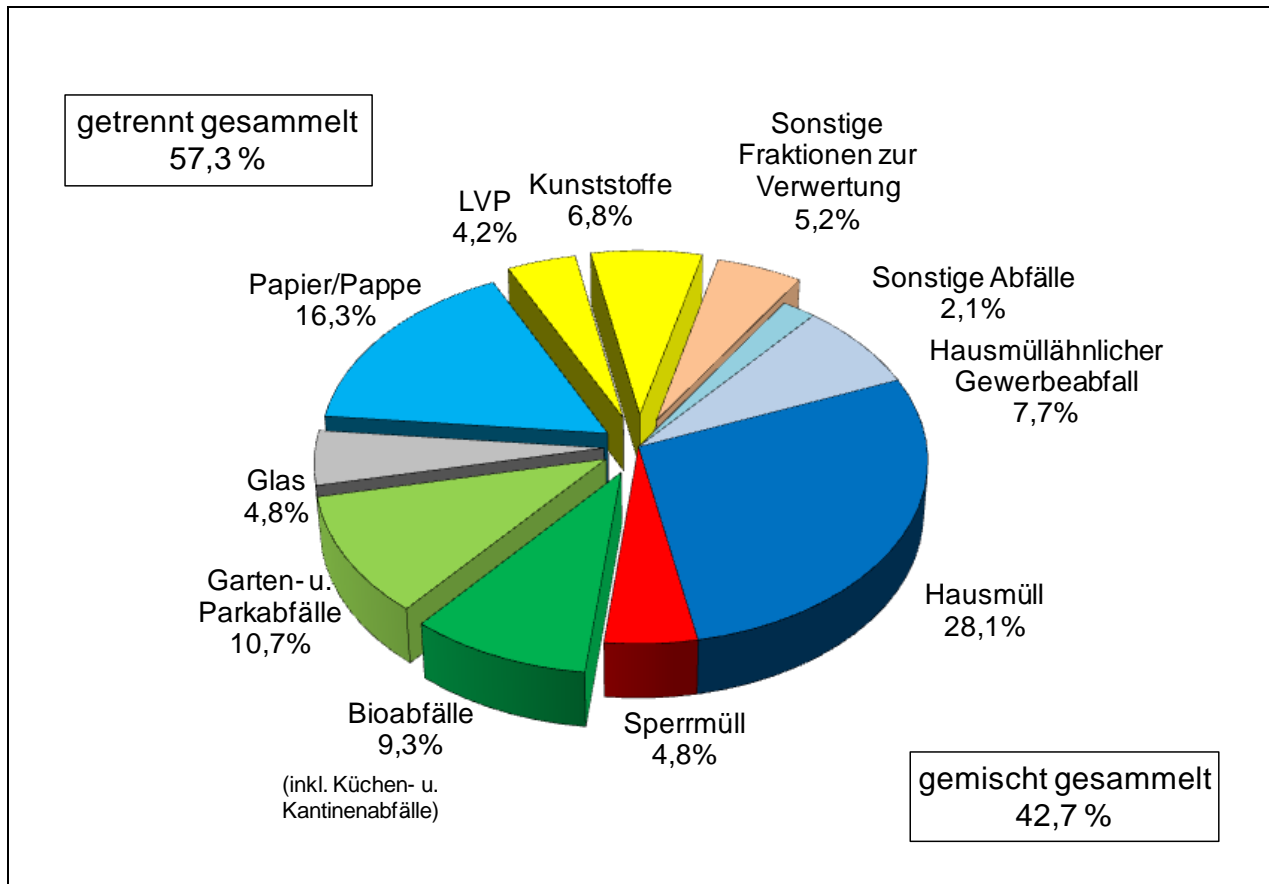
Die Daten enthalten nur die Primärabfälle, das heißt Abfälle bei Erstanlieferung zur ersten An-  
lage. Abfälle aus Behandlungsanlagen wie z. B. EBS zur energetischen Verwertung in EBS-  
Kraftwerken sind darin nicht enthalten.

## **2.2 Recycling- und Verwertungsquoten**

Mit der Berechnung von Quoten soll der erreichte Stand an stofflicher und energetischer Ver-  
wertung dokumentiert werden. Die Quotenvorgaben in Deutschland beziehen sich auf die Ge-  
samtheit der Siedlungsabfälle, wobei die Recyclingquote den Stand der stofflichen Verwertung  
und die Verwertungsquote die Summe aus stofflicher und energetischer Verwertung widerge-  
ben soll. Maßgebend ist der Status der Anlage (R/D) bei der die Abfälle erstmalig angeliefert  
werden (inputbezogener Berechnungsansatz).

### **2.2.1 Stand der getrennten Sammlung im Siedlungsabfallbereich**

In 2012 wurden ca. 57 % der Siedlungsabfälle getrennt erfasst, um sie im Wesentlichen einer  
stofflichen Verwertung zuzuführen, ca. 43 % wurden als Haus-, Sperr- oder Gewerbeabfall er-  
fasst und an Abfallbehandlungsanlagen angeliefert (Bild 2-3).



**Bild 2-3: Siedlungsabfallerfassung 2012**

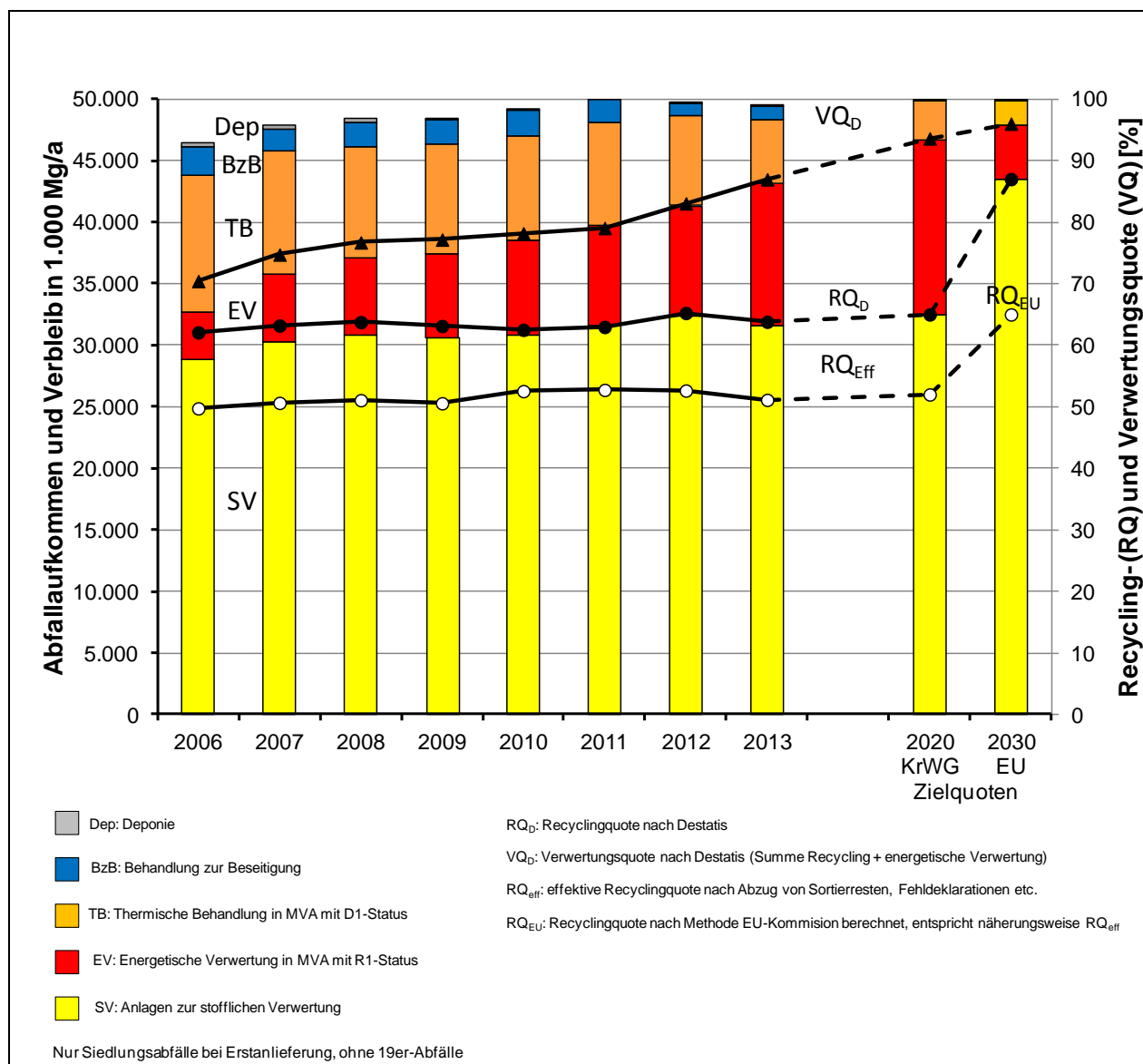
### 2.2.2 Entwicklung der Recycling- und Verwertungsquoten

Demgegenüber weist Destatis für 2012 eine Recyclingquote von 65 % aus. Die Diskrepanz zur getrennt erfassten Menge ist damit begründet, dass bei der Berechnung der Recyclingquote nach Destatis alle Abfallanlieferungen zu Anlagen, die in der Bundesstatistik mit einem Verwertungsstatus R2 bis R12 geführt werden, berücksichtigt werden. Damit gehen auch gemischte Abfälle, die in MBA oder sonstigen Sortier- und Behandlungsanlagen mit R12-Status angeliefert werden, mit der gesamten Anlieferungs Menge in die Recyclingquote ein. Durch den Bezug auf die Inputmenge ohne Berücksichtigung der erreichten Sortierquote gibt die nach Destatis ermittelte Recyclingquote nicht den tatsächlichen Anteil zur stofflichen Verwertung wider.

Nach der offiziellen Berechnung nach Destatis wurde schon 2012 das im KrWG vorgegebene Recyclingziel 2020 erreicht. Danach würden sich bis 2020 keine großen Verschiebungen zwischen den Abfallanlieferungen zu Recyclinganlagen und Anliefermengen zu sonstigen Behandlungsanlagen (z. B. MBA, TB, EV) ergeben. Der tatsächlich erreichte Recyclinganteil liegt nach eigenen Abschätzungen jedoch um mindestens 10 %-Punkte unter den Werten der offiziellen Quote (Bild 2-4, dort  $RQ_{eff}$ ). Andere Autoren schätzen die in Deutschland erreichte effektive

Recyclingquote dagegen auf deutlich unter 50 % ein (DGAW, 2012 und 2016; THOMÉ-KOZMIENSKY, 2012).

Weitergehende Ausführungen zur Berechnung der Recyclingquoten finden sich u. a. in KETELSEN, 2012; GRUNDMANN/KETELSEN, 2012, KETELSEN/FISCHER, 2012; GOSTEN, 2014.



**Bild 2-4: Entwicklung der Verwertungs- und Recyclingquoten nach Destatis (bis 2013) und angenommener Verlauf bei Umsetzung der Zielquoten nach KrWG und Vorschlag EU-Kommission (Stand 12/2015)**

Die Vorgabe von Recyclingzielen und deren Berechnungsmethode werden je nach Ansatz einen erheblichen Einfluss auf den künftigen Verbleib der Siedlungsabfälle und dem Aufkommen an Sortierresten aus Behandlungsanlagen haben.

Auf EU-Ebene werden aktuell gegenüber den Vorgaben im deutschen KrWG anspruchsvollere Ziele für das Recycling diskutiert, insbesondere auf Grund der Methode zur Berechnung der Recyclingquote, da trotz gleichem Zahlenwert (65 %) die Berechnung der Recyclingquote bei der EU-Vorgabe auf den Output der Recyclinganlagen bezogen werden soll (EU-Kommission, 2015).

Bei Umsetzung der von der EU-Kommission (Stand 12/2015) vorgeschlagenen Recyclingquote in Höhe von 65 % müssten bei Anwendung der outputbezogenen Berechnungsmethode künftig mindestens 80 bis 90 % der Siedlungsabfälle getrennt erfasst bzw. als Abfall zur Verwertung in Aufbereitungs- und Sortieranlagen angeliefert werden. Nach der aktuell von Destatis verwendeten Berechnungsmethode würde das einer Recyclingquote von 80 bzw. 90 % entsprechen. Danach müssten ggü. dem Ansatz von KrWG und Destatis bei Anwendung der EU-Berechnungsmethode zusätzlich weitere ca. 12,5 Mio. Mg Siedlungsabfall in Recyclinganlagen aufbereitet werden. Für die klassischen Restabfallbehandlungsanlagen blieben danach nur noch unbedeutende Mengenanteile. DEHOUST UND MÖCK, 2015 haben den Anteil von nicht aufbereiteten gemischten Primärabfällen zur MVA für 2030/2050 mit nur noch ca. 2 Mio. Mg/a abgeschätzt. Das entspräche nur noch einem Anteil von < 5 % des Gesamtabfallaufkommens.

Das EU-Parlament (Stand 07/2015) hat mit der Forderung nach einer outputbezogenen Recyclingquote von 70 % neue Maßstäbe für die Umsetzung der Abfallhierarchie mit Vorrang der stofflichen Verwertung gesetzt. Der aktuelle Vorschlag der EU-Kommission (Stand 12/2015) bleibt zwar etwas dahinter zurück, auf Grund des Outputbezugs bei der Berechnung ist das Recyclingziel dennoch als anspruchsvoll zu bewerten. Obwohl es fachlich nicht unumstritten ist, ob eine stoffliche Verwertung in der genannten Größenordnung allein schon aus qualitativen, physikalischen Gründen technisch möglich und aus der Notwendigkeit zur Schadstoffausschleusung aus den Wertstoffkreisläufen sinnvoll ist (vgl. THOME-KOSMIENSKY, 2012; GOSTEN, 2015; FRIEGE, 2015), wird sich der Zugriff auf die Abfälle bei Erstanlieferung von den Anlagen zur Beseitigung (D 1, D 8) hin zu Vorbehandlungsanlagen vor dem Recycling (R 2 bis R 12) verschieben.

Künftig wird für den überwiegenden Anteil der Abfälle erst in den Vorschaltanlagen über deren Verwertbarkeit (stofflich, energetisch, thermisch, ablagerungsfähig) und damit über deren Verbleib entschieden. Dies gilt sowohl für getrennt erfasste Abfallfraktionen als auch in stärkerem Umfang für gemischte Siedlungsabfälle.

Hier bestehen für Anlagen mit mechanischer und biologischer Verfahrenstechnik neue Chancen, aber zugleich auch hohe Anforderungen hinsichtlich der Realisierung höherer Stoffstromanteile zur stofflichen Verwertung.



Es bleibt jedoch abzuwarten, ob sich die ambitionierten Recyclingziele der EU durchsetzen lassen oder ob letztlich die vorgegebenen Recyclingquoten durch angepasste Berechnungsmethoden nachgewiesen werden können, ohne dass sich an den Stoffströmen zur Verwertung etwas ändert.

### **3 Entwicklung der stoffspezifischen Abfallbehandlung mittels MBA-Technologie in Deutschland**

#### **3.1 Einleitung**

Das Konzept der stoffspezifischen Abfallbehandlung bildet eine wesentliche Basis für den Übergang zur Kreislaufwirtschaft und stellt mit den MBA-Verfahren in Ergänzung zur getrennten Sammlung von Wertstoffen und organischen Abfällen heute eine wichtige Säule der deutschen Kreislaufwirtschaft dar.

Die etablierten stoffspezifischen Behandlungsverfahren basieren auf langjährigen Betriebserfahrungen. Ausgangspunkt hierfür war, dass im Zuge der Diskussion um das Ablagerungsverbot in den 1990er Jahren eine Alternative zur damals überwiegend favorisierten Müllverbrennung für Rest-Siedlungsabfälle gesucht und mit der stoffspezifischen Abfallbehandlung mit MBA-Technologie gefunden wurde.

Mit dem Fokus auf Behandlung von Restabfällen hat sich die MBA-Technologie hinsichtlich Technik und inhaltlicher Ausrichtung der Behandlungsziele deutlich weiterentwickelt. Die Erzeugung von Ersatzbrennstoffen zur energetischen Verwertung bildet heute in den meisten Anlagen den Behandlungsschwerpunkt. Ersatzbrennstoffe stellen daher auch die Hauptmenge der von MBA abgegebenen Stoffströme dar. Der Anteil zur Deponie ist dagegen deutlich rückläufig.

Mit der stoffspezifischen Abfallbehandlung werden bereits heute gegenüber der direkten Verbrennung von gemischtem Siedlungsabfall im Hinblick auf Energieeffizienz, Klima- und Ressourcenschonung deutlich bessere Werte erzielt (s. Anhang Kap. 6). MBA bilden wichtige Schaltstellen für die im Zuge der Kreislaufwirtschaft unerlässliche Stoffstromteilung von Siedlungsabfällen und besitzen damit eine gute Ausgangsposition im zukünftigen Wettbewerb um die Abfallströme.

#### **3.2 Phase I: bis 2001 (Konzeptentwicklung und Erarbeitung des rechtlichen Rahmens)**

Die Arbeitsgemeinschaft Stoffspezifische Abfallbehandlung (ASA) e. V. wurde in 1997 als Zusammenschluss deutscher Betreiber von Anlagen mit MBA-Technologie gegründet. Primäre Ziele waren damals

- die Umsetzung der TA Siedlungsabfall (TA Si) sowie
- die Verbesserung des Deponiestandards durch mechanische und biologische Vorbehandlung des Abfalls.

Erste Anlagen mit einfachen Verfahren zur mechanisch-biologischen Abfallbehandlung wurden in Deutschland schon vor 1990 betrieben (z. B. als Rottedeponie, Müllkompostwerk). Mit der

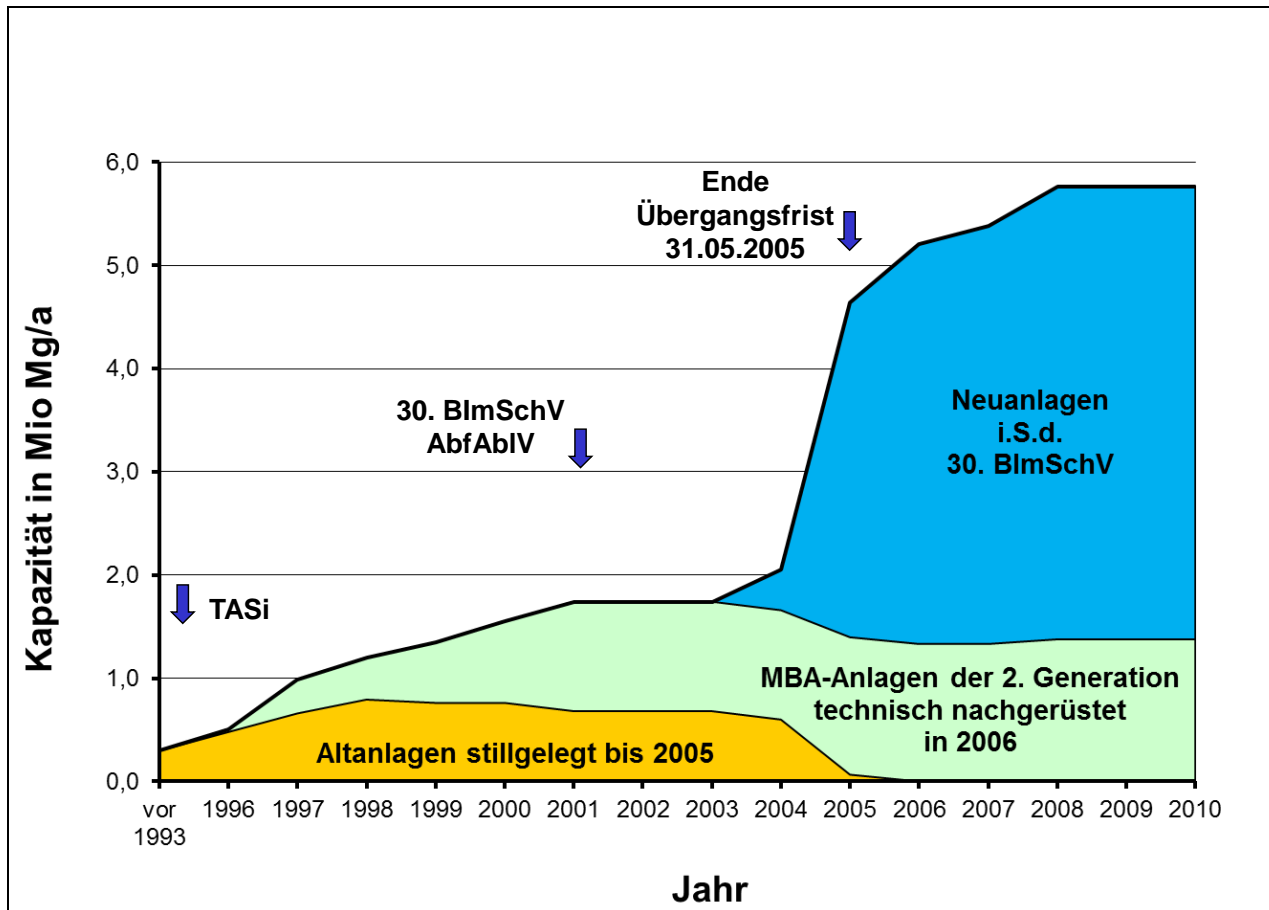
Diskussion um die TA Siedlungsabfall in den 1990er Jahren und dem damals angestrebten Deponierungsverbot ab 2005 wurden technische Alternativen zur vorgesehenen Abfallverbrennung gesucht und mit der MBA-Technologie gefunden.

Nach diversen wissenschaftlichen Forschungsvorhaben in Bund und Ländern und dem Bau von Demonstrationsanlagen, die einen technisch und emissionsseitig höheren Standard aufwiesen, wurden in 2001 mit der 30. BImSchV und AbfAbIV die genehmigungsrechtlichen Anforderungen an den Bau und Betrieb von MBA nach dem 31. Mai 2005 definiert (Bild 3-1).

Damit wurden die Grundlagen der stoffspezifischen Behandlung von Rest-Siedlungsabfällen gelegt mit den Anlagenbausteinen

- Mechanische Aufbereitung (MA)
- Energetische Verwertung (EV) der erzeugten Ersatzbrennstoffe (EBS)
- Stoffliche Verwertung (SV) von abgetrennten Metallen und in Einzelfällen auch von Kunststoffen, Papier, Holz
- Biologische Behandlung (BB) als Biologische Trocknung (BT) vor der Aufbereitung oder biologischer Abbau über Vergärung und/oder Rotte vor der Ablagerung
- Emissionsarme Ablagerung der biologisch inertisierten Reste auf DK II-Deponien

Der Zeitraum bis 2001 stellt somit die **1. Phase** der stoffspezifischen Behandlung von Rest-Siedlungsabfällen dar. Mit den genannten Verordnungen wurde die Gleichwertigkeit von MBA und MVA auch von gesetzgeberischer Seite anerkannt. Die Weichen für den Aufbau eines Systems zur stoffspezifischen Behandlung von Rest-Siedlungsabfällen als Alternative zu den thermischen Beseitigungsverfahren waren gestellt.



**Bild 3-1: Entwicklung der Anlagenkapazität von MBA/MBS/MPS bis 2010**

### 3.3 Phase II: 2001 bis 2005/6 (Kapazitätsaufbau)

Innerhalb der Übergangsfrist von 2001 bis zum 31.05.2005 wurde der Großteil der heute betriebenen neuen Anlagen mit MBA-Technologie konzipiert und gebaut. Für ihre Realisierung stand ein vergleichsweise kurzer Zeitraum zur Verfügung. Bis 2006 wurden zudem die nach 1996 in Betrieb gegangenen Anlagen technisch an den Standard der 30. BlmSchV und AbfAbIV angepasst. Altanlagen mit einfacher Technologie wurden in 2005 überwiegend stillgelegt. Die MBA-Kapazitäten wurden so in den Jahren 2004 bis 2008 um ca. 4 Mio. Mg auf insgesamt 5,8 Mio. Mg/a in 46 Anlagen erhöht.

Der Ausbau der MBA-Kapazitäten in Phase II beinhaltete gleichzeitig auch die Weiterentwicklung der Technologie mit Ausprägung verschiedener technischer Verfahrens- und Ausführungsvarianten mit unterschiedlicher Schwerpunktsetzung aber gleichen Zielen. Folgende verfahrenstechnische Konzepte haben sich bei diesem Entwicklungsprozess etabliert:

- Mechanische Aufbereitung (MA-Verfahren, z. T. als eigenständige Anlage in Kooperation mit einer MBA zur Behandlung der organischen Feinfraktion)
- Mechanisch-Biologische Abfallbehandlung (klassische MBA-Verfahren)

- aerob (mit Rotte)
  - anaerob (mit Vergärung und Nachrotte)
- Mechanisch-Biologische Stabilisierung (MBS-Verfahren)
- Mechanisch-Physikalische Stabilisierung (MPS-Verfahren)

Während die klassische MBA in der Regel auf bestehenden Deponiestandorten realisiert worden ist, wurden die weiteren Anlagenkonzepte in der Regel auf Standorten ohne Deponieanbindung errichtet. Demzufolge wurde mit der MBA nach Abtrennung von Metallen und den heizwertreichen Abfallbestandteilen auch das Ziel verfolgt, weiterhin eine ablagerungsfähige Fraktion zu erzeugen.

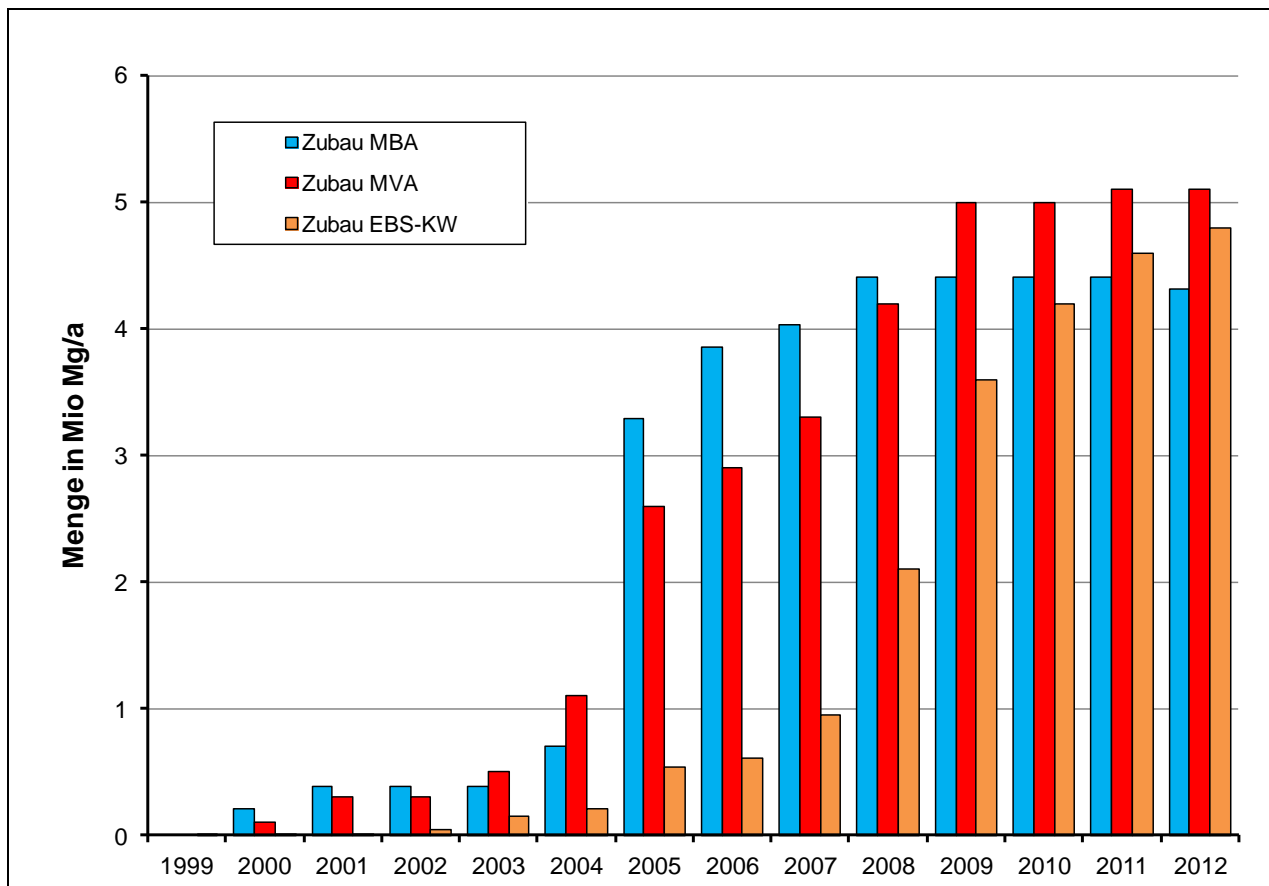
Im Gegensatz dazu lag bei den MBS- und MPS-Verfahren schon bei Beginn der Schwerpunkt auf Minimierung der Abfallmasse durch physikalische oder biologische Trocknung und der Erzeugung von Brennstoffen ohne Anfall relevanter Mengen zur Ablagerung.

### **3.4 Phase III: 2005 bis 2015 (Konsolidierung und Optimierung)**

Der Ausstieg aus der Ablagerung unvorbehandelter Abfälle wurde quasi zum Stichtag 01.06.2005 erreicht. Daran schließt sich die technische und wirtschaftliche Optimierung der stoffspezifischen Behandlungsanlagen sowie die Absicherung der Verwertung der erzeugten Stoffströme an (Phase III).

Mit der Erzeugung von EBS und deren Verwertung in EBS-, Kohlekraft- und Zementwerken wurde von MBA-Seite frühzeitig der effizienten energetischen Verwertung Vorrang vor der thermischen Behandlung in MVA eingeräumt (entspricht Abfallhierarchie des KrWG mit Vorrang EV vor TB).

Die Phase III ist nicht nur geprägt durch den weiteren Ausbau der Anlagenkapazitäten von MBA, sondern in dieser Zeit erfolgte ebenfalls ein erheblicher Ausbau der Kapazitäten von EBS- und Biomasse-Kraftwerken sowie der Mitverbrennung in Kohlekraftwerken und Zementwerken. Aber auch die Verbrennungskapazitäten in MVA wurden deutlich erweitert (Bild 3-2).



**Bild 3-2: Zubau von Behandlungskapazitäten von MBA, MVA und EBS-Kraftwerken seit 1999 in Deutschland (kumuliert, zzgl. Kapazitäten von MA, Biomasse-KW, Mitverbrennung, Sperrmüll- und sonstige Aufbereitungsanlagen) (eigene Daten sowie Daten nach Thiel, S., 2013 und Alwast, H., 2014)**

Im Bereich MVA und mit zeitlicher Verzögerung im Bereich EBS-Kraftwerke wurden bis 2012 ca. 10 Mio. Mg/a an Behandlungskapazitäten neu errichtet. Im Bereich der Mitverbrennung wurde die Verwertung von siedlungsabfallstämmigen Ersatzbrennstoffen auf ca. 2 bis 3 Mio. Mg/a gesteigert. Insgesamt wurden in 2012 in Kohle- und Zementwerken ca. 4,6 Mio. Mg an Abfällen und Klärschlamm (bezogen auf TS) energetisch verwertet (nach CUTEK/FRAUNHOFER, 2016).

Damit standen 2005 bis 2007 rechnerisch noch keine ausreichenden Kapazitäten im Bereich der EBS-Kraftwerke für eine vollständige Aufnahme aller EBS-Mengen aus MBA zur Verfügung. In der Praxis sind daher in den ersten Jahren EBS-Mengen in höherem Maß in MVA behandelt worden. Ab 2009 hat sich durch den Zubau an Verbrennungskapazitäten die Situation umgekehrt. Allein die Kapazität der EBS-Kraftwerke reicht aus, die gesamte EBS-Menge aus allen MA/MBA/MBS/MPS-Anlagen zu behandeln; tatsächlich wurden 2013 nur ca. 55 % der EBS-Menge aus MBA in EBS-Kraftwerken verwertet. Insgesamt übersteigen die installierten thermischen Behandlungskapazitäten (MVA, EBS-KW, Biomasse-KW, Mitverbrennung in Kraft- und

Zementwerken) das Aufkommen an EBS aus MBA/MBS/MPS/MA, inkl. der verbleibenden Restabfälle.

Die dennoch erreichte aktuell sehr hohe Anlagenauslastung in den MVA und EBS-Kraftwerken von über 90 % (ITAD, 2015a) ist unter anderem begründet im hohen Aufkommen an sekundären Abfällen aus Behandlungsanlagen, die bei Erstanlieferung als Abfall zum Recycling bilanziert wurden, sowie mit der Annahme von Abfallimporten.

Darüber hinaus ist bedingt durch erzielte niedrige Preise bei öffentlichen Ausschreibungen eine gewisse Verdrängung von Marktteilnehmern mit MA/MBA-Technik zu Gunsten von MVA zu beobachten gewesen.

### **3.5 Phase IV: 2016 bis 2030 (Weiterentwicklung und neue Nutzungen)**

Die heute realisierten MBA sind überwiegend ausgelegt auf die Behandlung von Rest-Siedlungsabfall nach getrennter Sammlung und Recycling. Dies wird insbesondere schon dadurch deutlich, dass Bau und Inbetriebnahme der ersten MBA in den 1990er Jahren parallel und ergänzend zur Einführung und zum Ausbau der getrennten Erfassung von Bio- und Grünabfall sowie von trockenen Wertstoffen verliefen.

Mit den installierten Systemen zur mechanischen Aufbereitung und biologischen Behandlung stehen grundsätzlich Verfahren zur Verfügung, mit denen auch andere Abfälle als gemischte (Rest-)Siedlungsabfälle behandelt und andere Verfahrensziele realisiert werden können.

Damit bieten sie optimale Voraussetzungen, um den Anteil zur stofflichen sowie hochwertigen energetischen Verwertung aus Abfällen entsprechend der 5-stufigen Abfallhierarchie zukünftig weiter zu erhöhen.

Vor dem Hintergrund der sich verändernden wirtschaftlichen und rechtlichen Rahmenbedingungen und den Anforderungen der Kreislaufwirtschaft müssen MBA daher

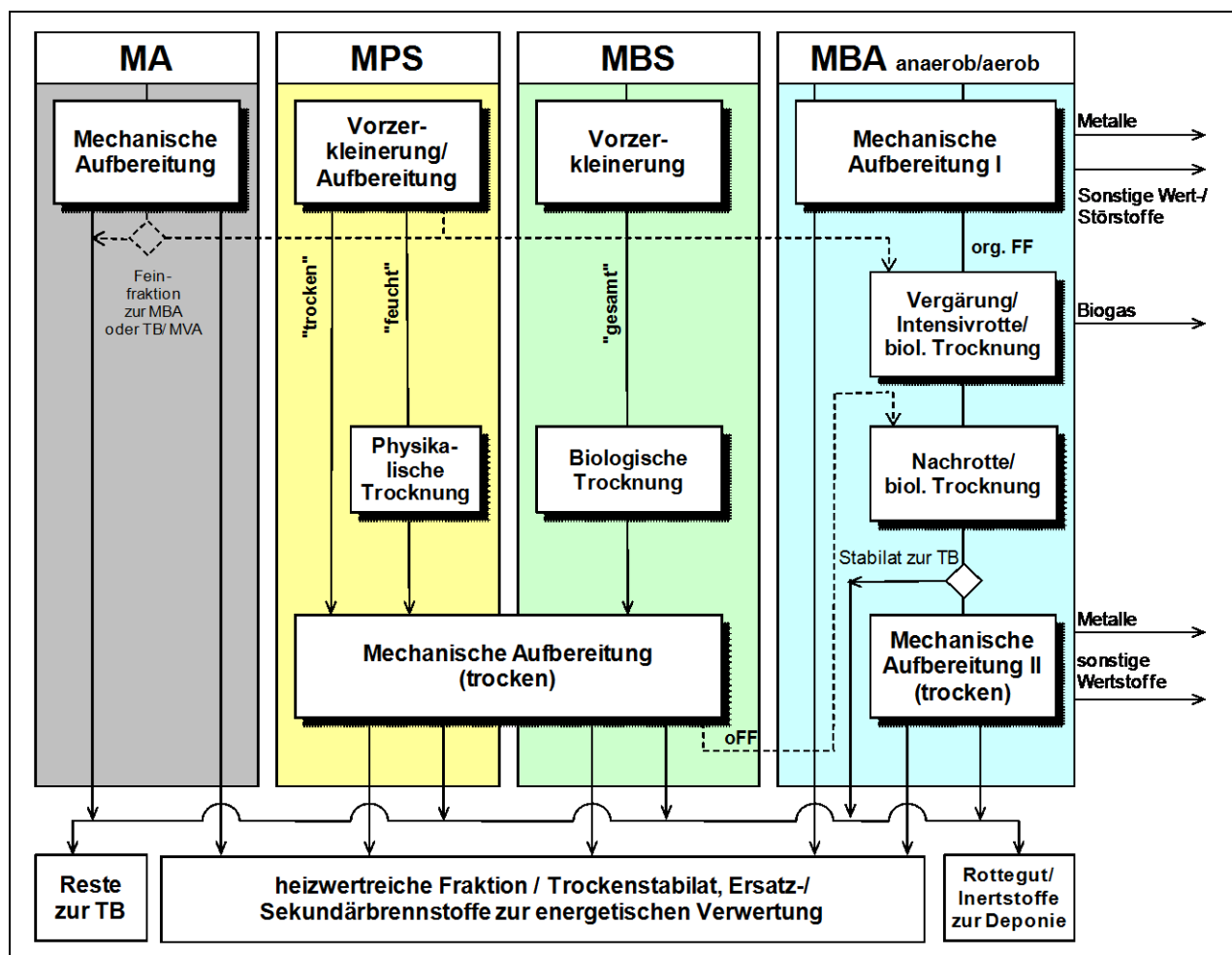
- sich öffnen für weitere Geschäftsmodelle wie z. B. Mitbehandlung von weiteren Abfallarten, Kooperation mit anderen Anlagen (Bildung von Kompetenzzentren)
- die Aufbereitung stärker auf Recycling ausrichten
- den Betrieb auf die sich verändernde Zusammensetzung der Abfälle anpassen
- die Aufbereitung, Logistik und Zwischenspeicherung an die Qualitätsanforderungen und die bedarfsorientierte Bereitstellung der erzeugten Stoff- und Energieströme anpassen
- Potenziale zur wirtschaftlichen Optimierung nutzen durch Senkung der Betriebskosten und stoffstrombezogenen Kosten

## 4 Stand der Abfallbehandlung in MBA

### 4.1 Verfahrensübersicht MA/MBA/MBS/MPS

Bei den Anlagen zur stoffspezifischen Behandlung von Siedlungsabfällen haben sich unterschiedliche Verfahrenstypen entwickelt, die sich in den Behandlungszielen unterscheiden (Bild 4-1).

Auf Grund unterschiedlicher Aufbereitungstechnik und Zielsetzung der biologischen Verfahrensschritte (Trocknung oder weitestgehender Organikabbau) unterscheiden sich die Verfahren hinsichtlich ihrer Stoff- und Energiebilanzen sowie in den Eigenschaften der erzeugten Stoffströme. Allen Verfahren gemein ist die Erzeugung von Ersatzbrennstoffen, die je nach Zusammensetzung der angelieferten Abfälle und dem Verbleib der Brennstoffe den Anforderungen der Verwertungsanlagen (Monokraftwerke mit Rost- oder Wirbelschicht-System; Mitverbrennung in Kraft- und Zementwerken; MVA bis hin zu alternativen Verwertungswegen) aufbereitet werden.



**Bild 4-1:** Vereinfachte Darstellung der Anlagenkonzepte mit mechanischen und biologischen Verfahren



Im Rahmen der Brennstoffkonditionierung werden marktorientiert Ersatzbrennstoffe produziert, die sich hinsichtlich ihrer Eigenschaften und Qualitäten wie z. B.

- Wassergehalt, Heizwert
- Stückgröße
- Schüttgewicht
- Aschegehalt
- Biogener Kohlenstoffgehalt
- Schadstoffgehalt

unterscheiden. Dabei bedürfen die Ersatzbrennstoffe zur Mitverbrennung in Zement- und Kraftwerken einer tiefergehenden Aufbereitung, als diejenigen zur Monoverbrennung in EBS-Kraftwerken. Die Flexibilität der Aufbereitungstechnik und der biologischen Verfahren erlaubt eine an die Erfordernisse und Kosten der Verwertungsanlagen angepasste Massenaufteilung und Qualitätsherstellung.

Die Abtrennung von Stoffströmen für das stoffliche Recycling beschränkt sich bisher weitgehend auf den Metallbereich. Für eine weitergehende Selektierung von z. B. Kunststoffen stehen sensorische Sortierverfahren zur Verfügung, sind bisher aber nur vereinzelt im Einsatz (z. B. auch zur Abtrennung chlorhaltiger Abfallbestandteile).

## 4.2 Anzahl, Durchsatz und Stoffbilanz MBA 2013

In 2013 wurden mit ca. 6 Mio. Mg ca. ein Drittel der Rest-Siedlungsabfälle in MA/MBA/MBS/MPS-Anlagen stoffspezifisch behandelt (Anlagenkapazität ca. 8 Mio. Mg/a), davon ca. 4 Mio. Mg in den 41 MBA/MBS/MPS-Anlagen. In weiteren 4 Anlagen wurde in 2013 nur die MA-Stufe betrieben. Insgesamt wird der Gesamtdurchsatz in MA-Anlagen in 2013 auf 2,0 Mio. Mg abgeschätzt (Tab. 4-1).

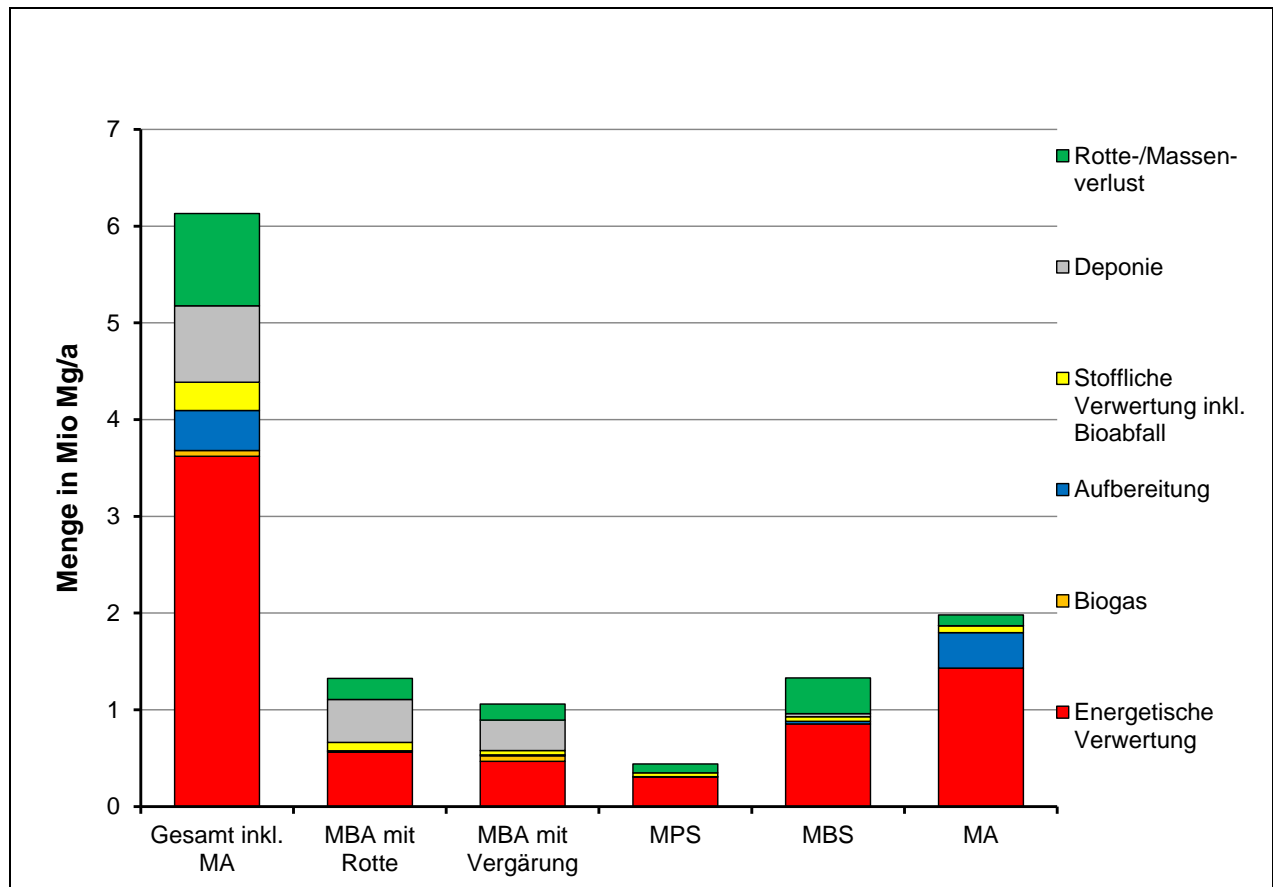
**Tab. 4-1: Anzahl, Kapazität und Durchsatz in MBA/MBS/MPS und MA-Anlagen 2013**

		MBA Rotte	MBA Vergärung	MBS	MPS	MA <sup>1)</sup> vormals MBA/MBS	<b>Gesamt<sup>2)</sup></b>	MA Gesamt
Anzahl	-	15	12	11	3	4	<b>45</b>	> 30
Kapazität	Mio Mg/a	1,71	1,32	1,65	0,53	0,45	<b>5,66</b>	≥ 3,0
Durchsatz	Mio Mg/a	1,33	1,06	1,33	0,44	0,22	<b>4,38</b>	≥ 2,0

1) hier nur auf MA-Betrieb umgestellte MBA/MBS-Anlagen

2) ohne eine Anlage, die in 2011 außer Betrieb genommen und in 2013 auf Bioabfall umgestellt wurde

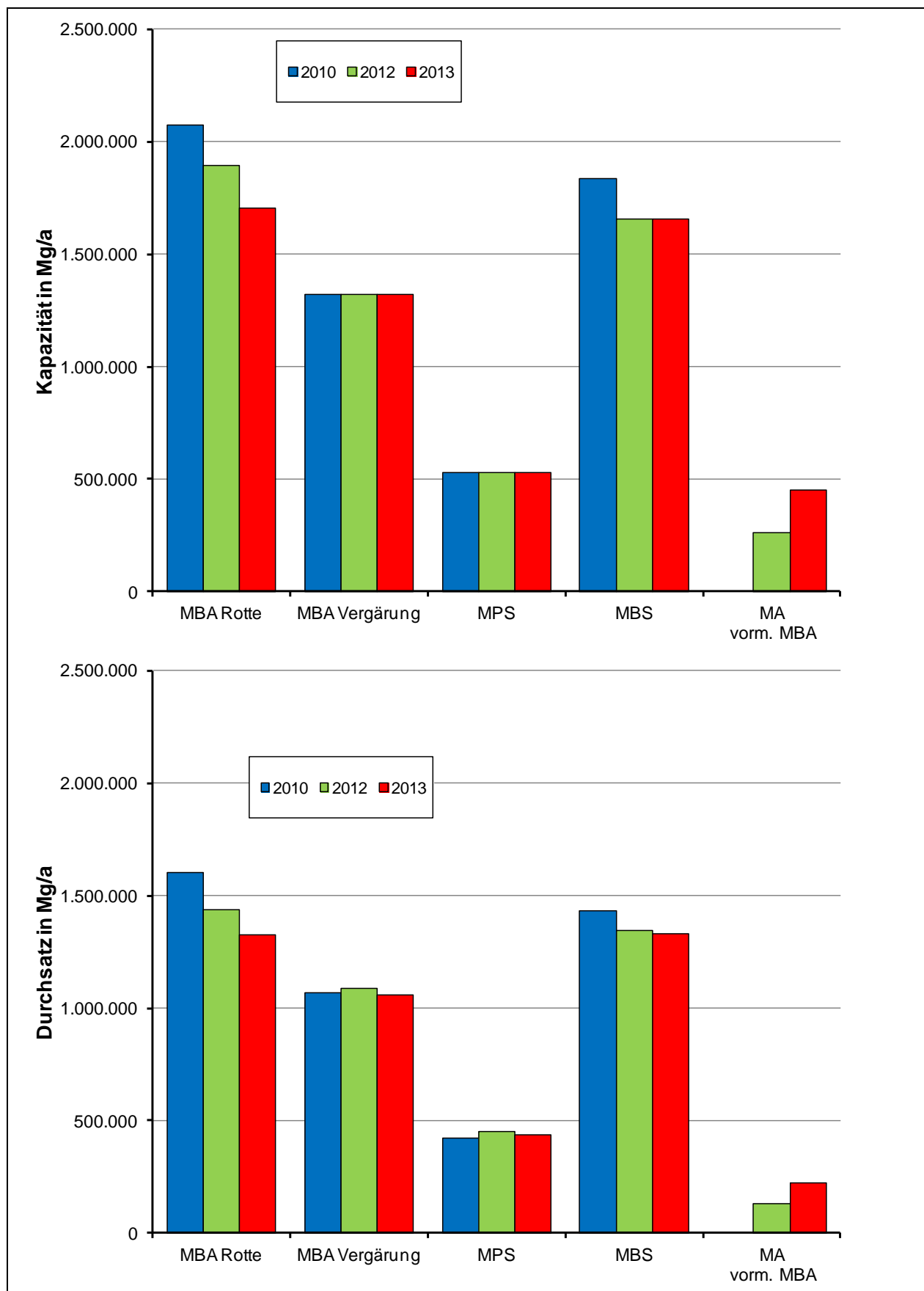
Die erzeugten Stoffströme aus den stoffspezifischen Behandlungsanlagen sind in Bild 4-2 ersichtlich.



**Bild 4-2: Erzeugte Stoffströme aus den M(B)A-Anlagen 2013**

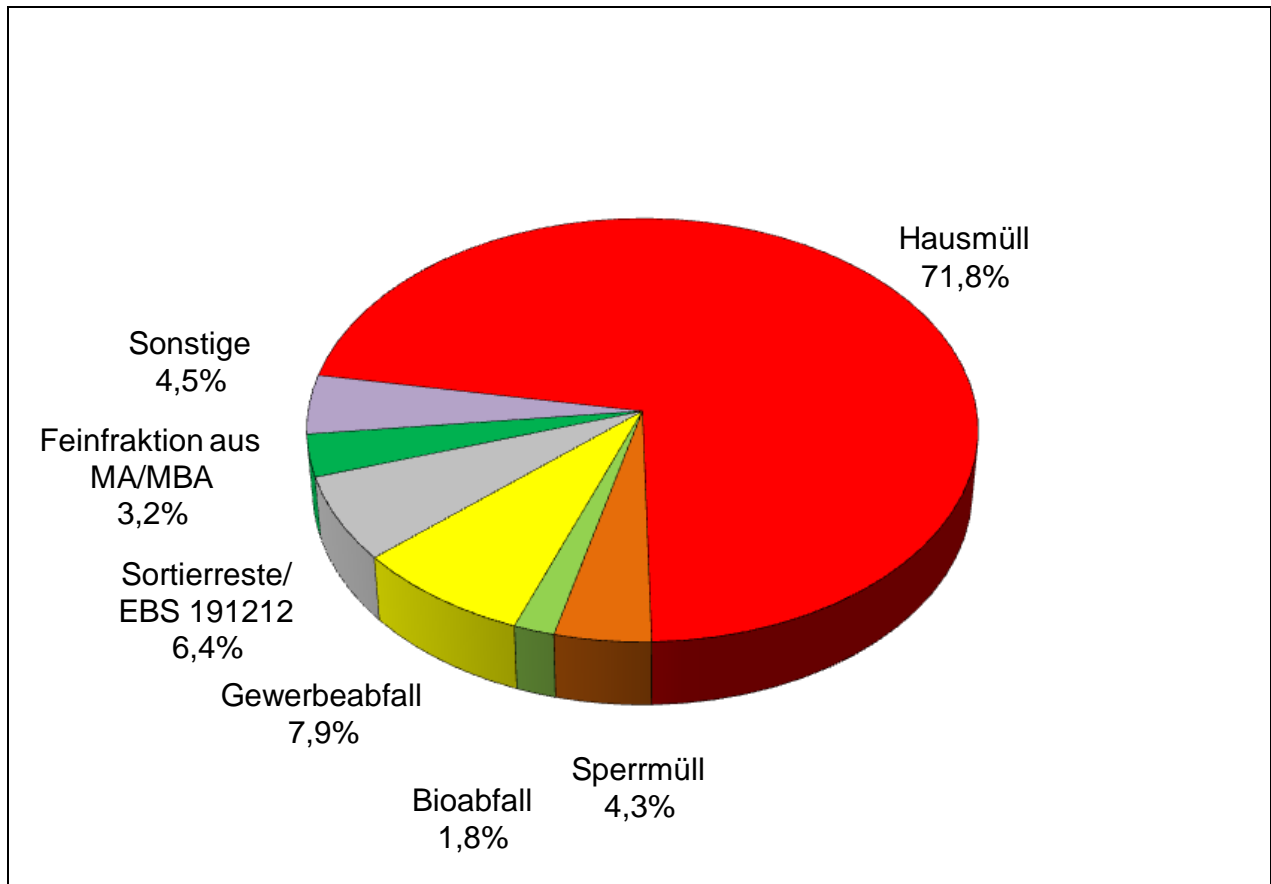
Die MBA/MBS/MPS-Anlagen weisen seit 2010 eine relativ konstante Auslastung von im Mittel ca. 80 % auf.

Die rückläufige Entwicklung von Kapazität und Durchsatz bei MBA mit Rotte und MBS geht zurück auf eine Umstellung von Anlagen auf Betrieb der MA-Stufe, das heißt sie spiegelt den aktuellen Wandel in der Nutzung dieser Anlagen wider (Bild 4-3).



**Bild 4-3: Aktuelle Entwicklung von Kapazität und Durchsatz in MBA/MBS/MPS-Anlagen**

In den MBA/MBS/MPS-Anlagen wird überwiegend Hausmüll und hausmüllähnlicher Gewerbeabfall behandelt. Nur in geringem Umfang werden darüber hinaus Sperr- und Gewerbeabfälle angeliefert (Bild 4-4).



**Bild 4-4: Anteil angelieferter Abfallarten in MBA/MBS/MPS-Anlagen 2013**

Der hohe Anteil an Hausmüll mit seinen hohen feuchten organischen Anteilen führt zu relativ geringen Heizwerten der Abfälle im Eintrag der MBA und erklärt die nachfolgend erläuterten Stoffbilanzen und Qualitäten der Stoffströme.

Entsprechend den unterschiedlichen Verfahrenskonzepten unterscheiden sich die Anlagen auch in ihrer Stoffbilanz (Bild 4-5). In MBS/MPS/MA-Anlagen wird mit 65 bis 80 % der überwiegende Anteil als Brennstoff ausgeschleust. Aber auch in den MBA-Anlagen werden die heizwertreichen Bestandteile quantitativ aus dem Abfall abgetrennt, wobei sich je nach Sieblochweite unterschiedliche Mengenanteile ergeben (Mittel ca. 45 %).

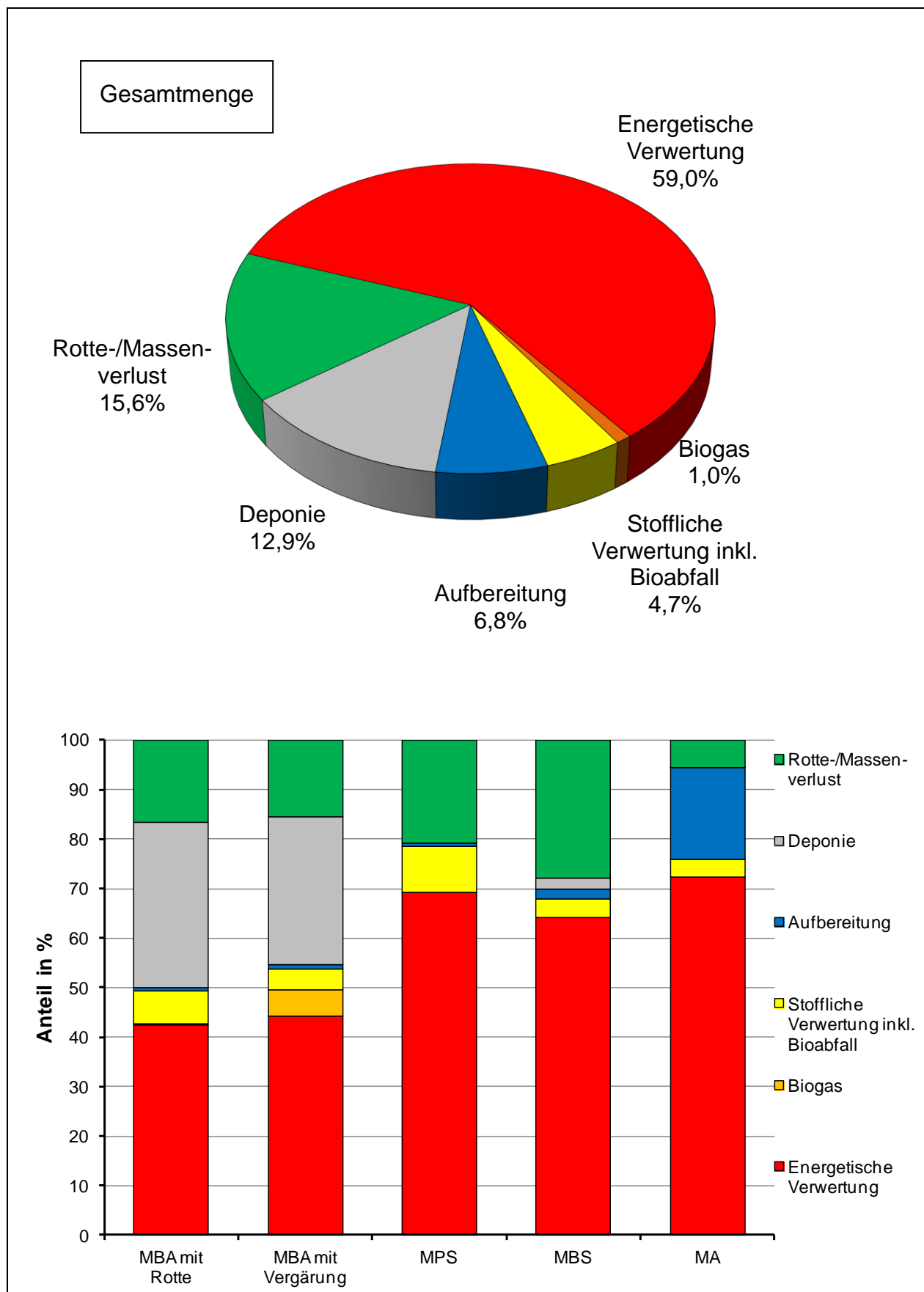
Nur noch ca. 13 % der mechanisch und biologisch behandelten Abfälle fielen in 2013 nach der Behandlung zur Deponierung an (ca. 800.000 Mg/a).

Lediglich bei den MBA, die in Verbindung mit der Weiternutzung einer Deponie realisiert wurden, werden noch relevante Anteile zur Ablagerung bilanziert (ca. 25 bis 30 %). Durch Umstel-

lung der Rotte auf biologische Trocknung und Stabilataufbereitung ist der Anteil jedoch auch hier rückläufig.

Die Massenbilanz bei MPS und hier insbesondere der erzielte Massenverlust ist abhängig vom Grad an thermischer Trocknung der Abfälle: Je höher der Wasseraustrag, desto höher ist der Gasverbrauch, desto geringer ist die EBS-Menge, desto höher ist aber deren Heizwert. Bei Einsparung von Erdgas fällt ein höherer Anteil an EBS, aber mit geringeren Heizwerten an. In den MPS-Anlagen ist zzt. eine Tendenz zur Reduzierung des Gasverbrauchs ersichtlich.

Bei der biologischen Trocknung der organischen Feinfraktion kann über die Trocknungszeit und den zugelassenen Organikabbau der Endwassergehalt eingestellt werden (meist aus Staubgründen limitiert auf  $> 20\%$ ).

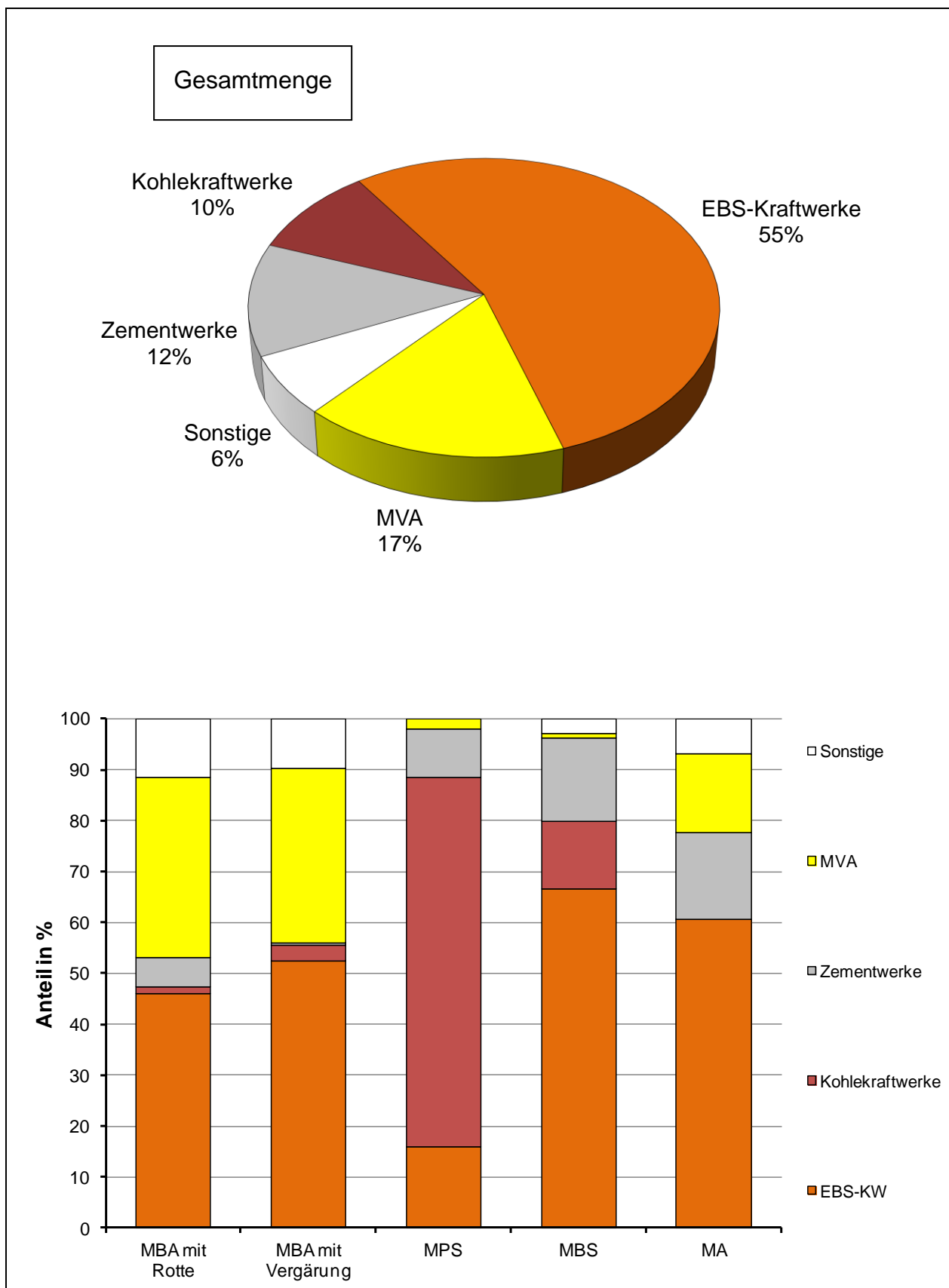


**Bild 4-5: Stoffbilanz der einzelnen Verfahren und Hochrechnung auf Gesamtmenge 2013**

Der überwiegende Anteil der EBS wird in Mono-Kraftwerken energetisch verwertet (55 %). Auf die Mitverbrennung in Kraft- und Zementwerken entfallen in der Summe 22 %. Die MVA (17 %) wird vorrangig aus MBA bedient. Die unterschiedliche Aufteilung der EBS zwischen den Verfahrenstypen spiegelt die Unterschiede in

- Aufbereitungstiefe
- Regionaler Nähe zu Zement- und Kraftwerken
- Zeitpunkt der Ausschreibung

wider. Entsprechend der unterschiedlichen aktuellen Verwertungsstrukturen werden sich die zu erwartenden Veränderungen im Energiesektor bei den einzelnen Anlagen auch sehr unterschiedlich auswirken (Bild 4-6).



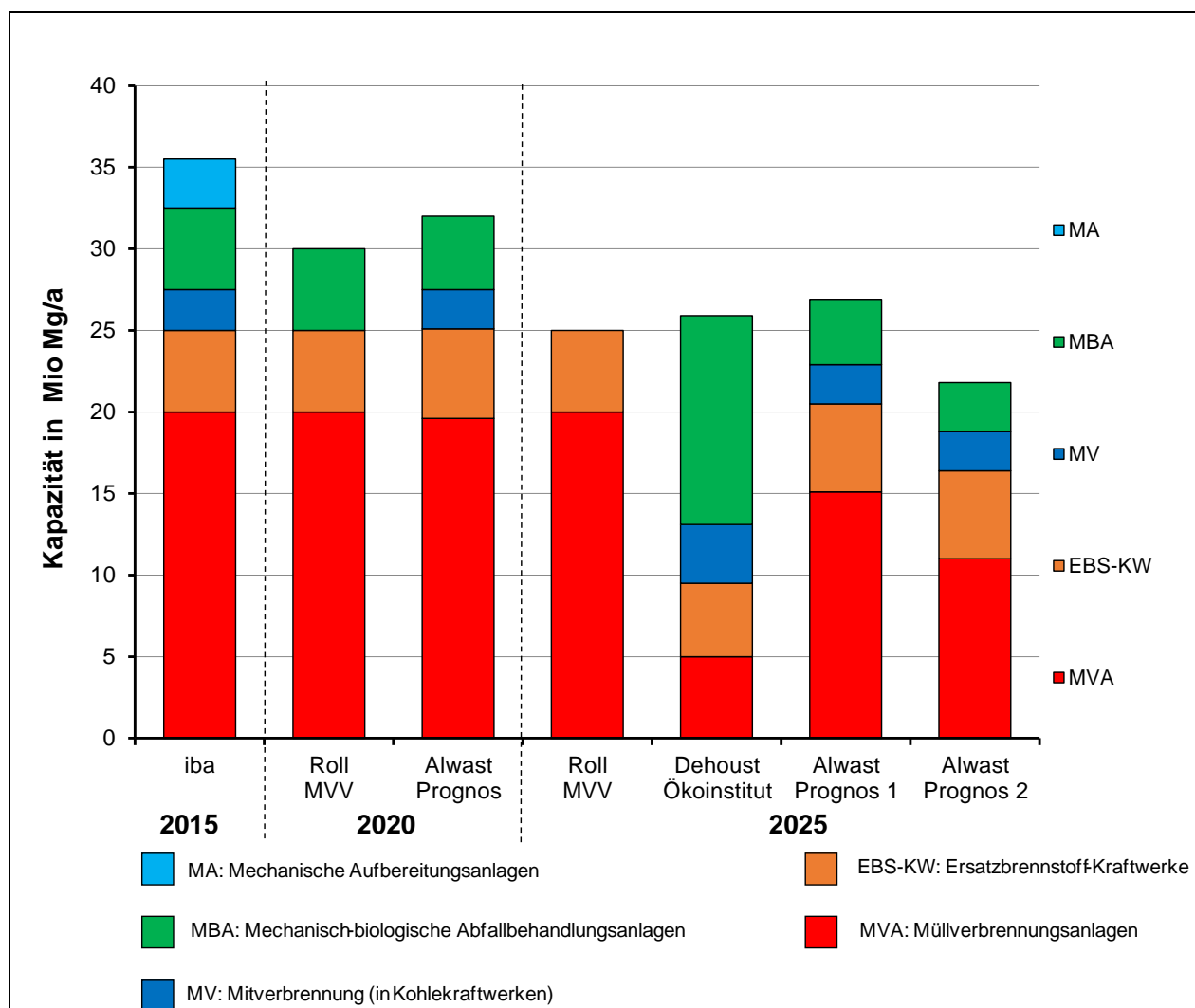
**Bild 4-6: Verbleib der EBS aus MBA/MBS/MPS/MA 2013 (Gesamtmenge ca. 4 Mio. Mg/a)**



## 5 Prognosen zum Anlagenbedarf für die Behandlung von Siedlungsabfall

### 5.1 Behandlungskapazitäten

Aktuell stehen Behandlungsanlagen für Siedlungsabfall mit einer Behandlungskapazität von ca. 35 Mio. Mg zur Verfügung (Bild 5-1). In den Prognosen werden trotz rückläufiger Restabfallmengen bis 2020 keine wesentlichen Veränderungen im Anlagenbestand erwartet. Nach 2020 wird von einer Anpassung der Anlagenkapazitäten ausgegangen, wobei je nach Szenario die erwarteten Veränderungen in den einzelnen Verfahren sehr unterschiedlich eingeschätzt werden.

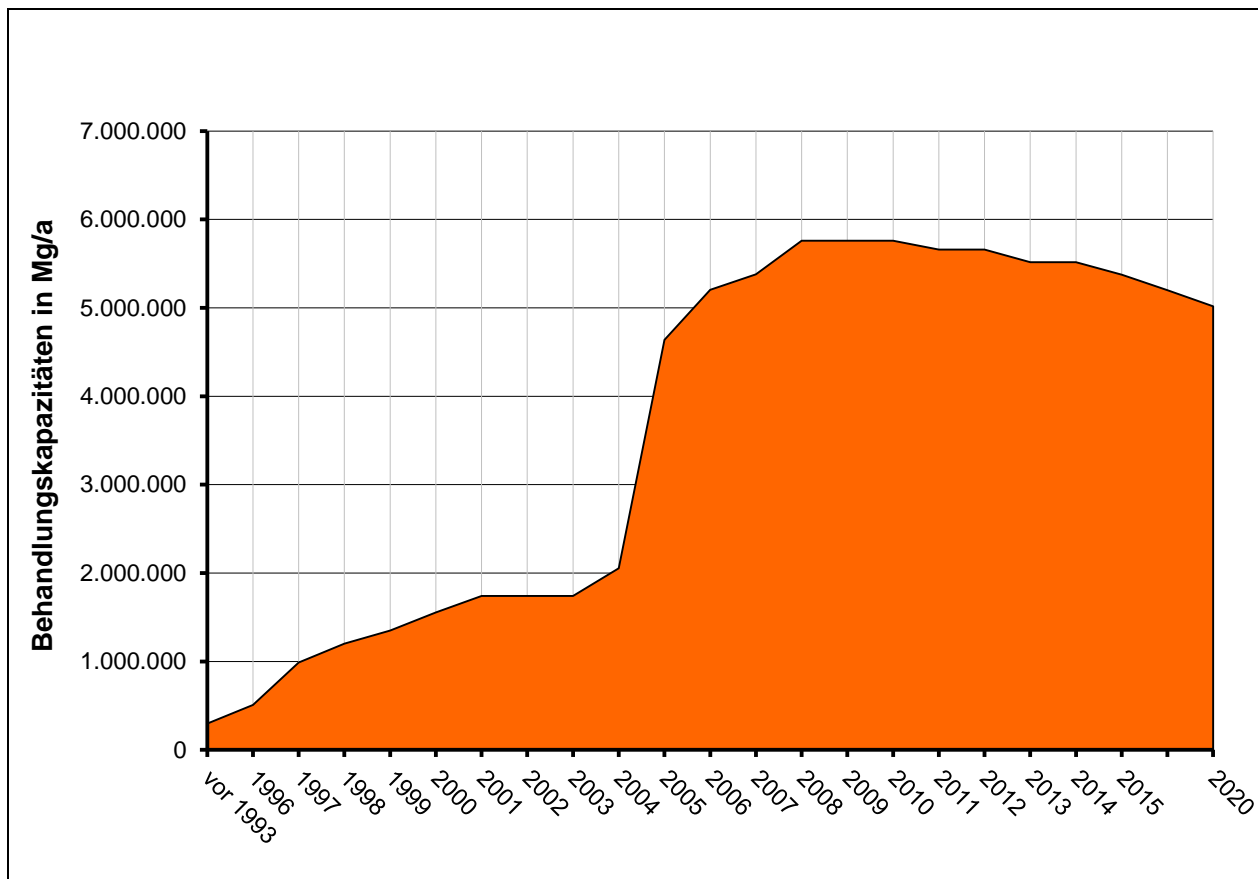


**Bild 5-1: Anlagenbestand und Prognosen zum Anlagenbedarf für die Behandlung von Siedlungsabfällen und EBS nach 2020**

Für MVA reichen die Szenarien für 2025 von einem vollständigen Erhalt der Kapazitäten (100 %) bis zu einem Rückgang des Anlagenbedarfs um ca. 15 Mio. Mg/a auf ca. 25 % der derzeit vorhandenen MVA-Kapazität. Bei der Mitverbrennung in Kraftwerken wird von einem Rück-

gang der Kapazitäten ausgegangen. Die Szenarien zur Entwicklung der MBA-Kapazitäten liegen zwischen leichtem Rückgang bis hin zu einer Außerbetriebnahme sämtlicher MBA-Anlagen. In einem Fall wird angenommen, dass die Bedeutung der MBA-Behandlung in Zukunft deutlich ansteigen wird, um die Ziele einer Kreislaufwirtschaft verwirklichen zu können.

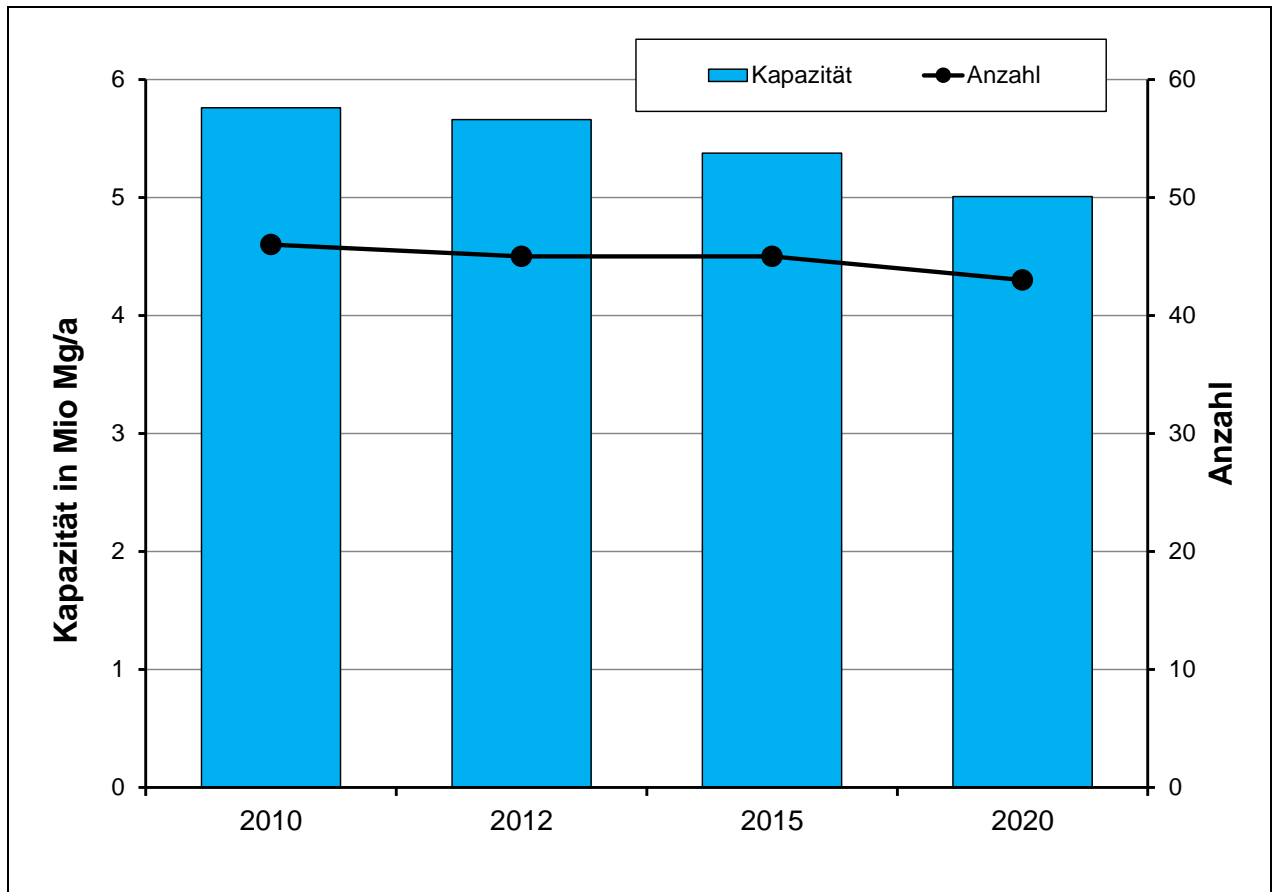
## 5.2 Mittelfristige Entwicklung der MBA-Kapazitäten



**Bild 5-2: Entwicklung Behandlungskapazitäten MBA mit Ausblick auf 2020**

Die Behandlungskapazität in den realisierten MBA hat in 2008 ein Maximum von ca. 5,8 Mio. Mg/a erreicht. Seit 2010 findet durch verschiedene Entwicklungen eine Anpassung der Kapazitäten an die aktuellen Bedingungen des Abfallmarktes statt (Bild 5-2).

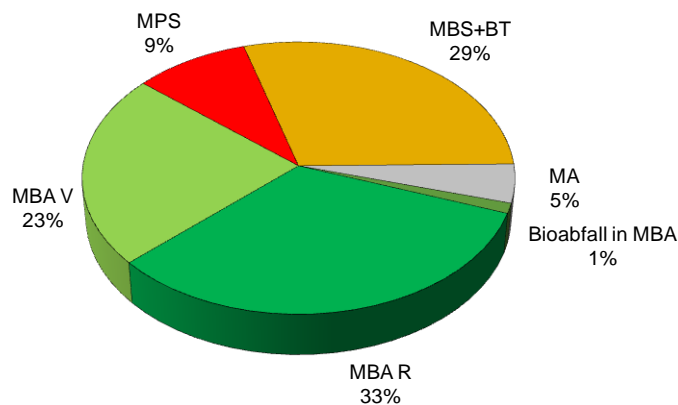
Nach eigenen Auswertungen der Entwicklungen aus den letzten Jahren unter Berücksichtigung der bisher geplanten und bekannten Änderungen auf den Anlagenstandorten kann bis 2020 von einem Rückgang der Kapazitäten auf ca. 5 Mio. Mg/a ausgegangen werden. Für den Zeitraum nach 2020 können noch keine verlässlichen Prognosen abgegeben werden (Bild 5-3).



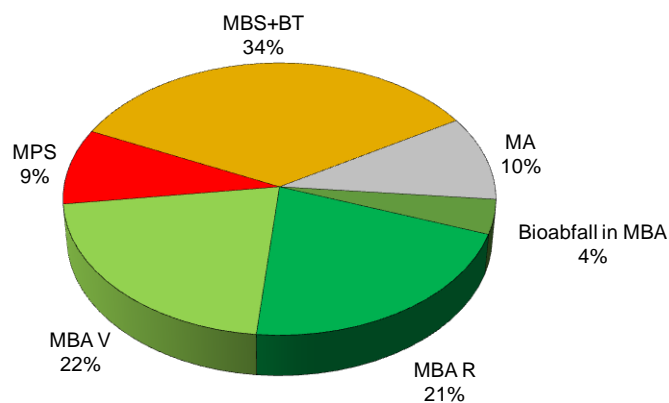
**Bild 5-3: Entwicklung Behandlungskapazitäten und Anzahl MBA/MBS/MPS 2010-2020**

Die Anpassung der Kapazitäten resultiert neben der Außerbetriebnahme einzelner Anlagen auch aus einer zukünftig veränderten Nutzung der MBA-Anlagen, wie z. B.

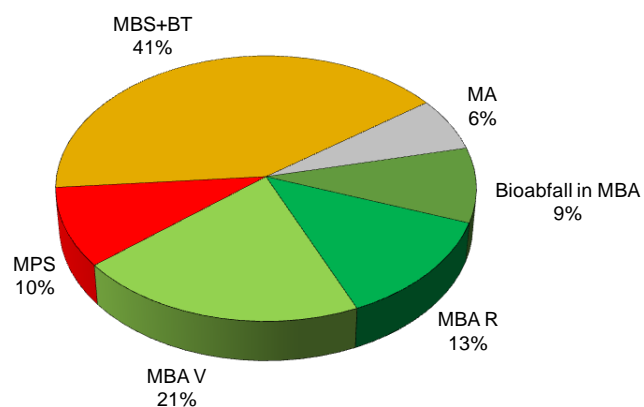
- Umstellung auf oder Mitbehandlung von Bioabfall
- Umstellung auf mechanische Aufbereitung
- Umstellung auf biologische Trocknung
- Anpassung der Betriebszeiten/Anzahl an Schichten.



Kapazität 2012: 5,66 Mio Mg/a



Kapazität 2015: 5,4 Mio Mg/a



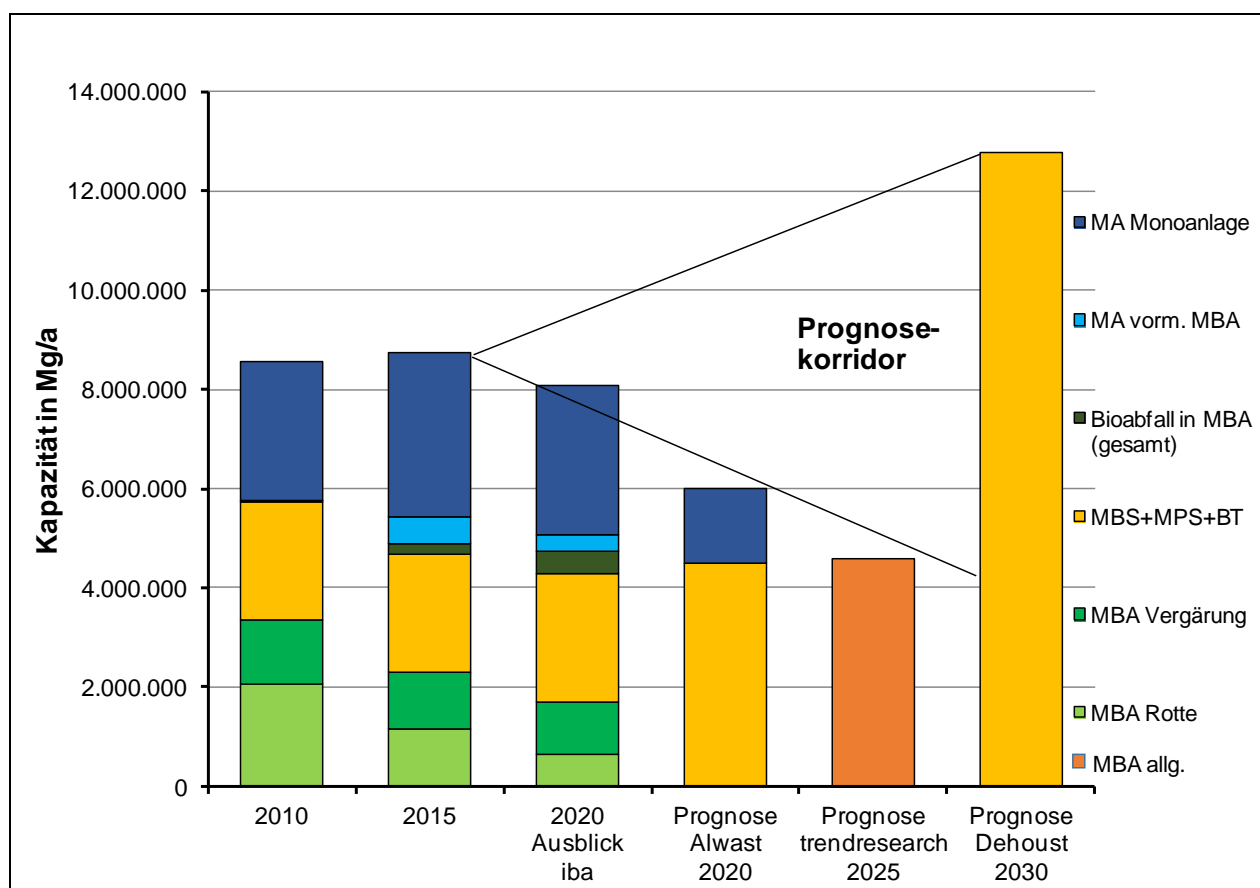
Kapazität 2020: 5,0 Mio Mg/a

MBS+BT: Mechanisch-biologische Stabilisierung und Biologische Trocknung / MA: Mechanische Aufbereitung  
 Bioabfall in MBA: Nutzung von MBA-Kapazitäten zur Bioabfall-Verwertung  
 MBA R: MBA mit Rotte / MBA V: MBA mit Vergärung / MPS: Mechanisch-physikalische Stabilisierung

**Bild 5-4: Entwicklung der Nutzung von MBA/MBS/MPS**  
 (MA: Hier nur Anlagen, die vormalig als MBA/MBS betrieben wurden)

Die klassischen MBA mit Rotte und Vergärung werden danach an Bedeutung verlieren. Dabei werden Verfahren ohne Vergärung von dem Rückgang stärker betroffen sein als Verfahren mit Vergärung. Mit dem Rückgang der klassischen MBA ist jedoch kein gleichartiger Rückgang von Anlagen und Behandlungskapazitäten verbunden. Wenn auch wenige Einzelanlagen bis 2020 stillgelegt werden, so wird bei den meisten MBA durch Umstellung des Betriebes auf biologische Trocknung, durch Reduzierung des Betriebs auf die mechanische Aufbereitung und durch Behandlung von Bioabfall die verfügbare Anlagenkapazität im MBA-Bereich nur geringfügig abnehmen. In Summe wird nach aktueller Kenntnislage für MBA bis 2020 von einem geringen Kapazitätsrückgang um 5 bis 10 % ausgegangen (Bild 5-5). Für die Kapazitäten von MA Monoanlagen wird ein Rückgang in ähnlicher Größenordnung abgeschätzt.

Im Vergleich dazu gehen ALWAST (2012 und 2014) und DEHOUST et al. (2014) in ihren Prognosen davon aus, dass sich nach den Anforderungen des KrWG bei MBA über kurz oder lang die Stabilisierungsverfahren (MBS, MPS) durchsetzen und Verfahren mit Endrotte in Deutschland vollständig verschwinden werden.



**Bild 5-5: Prognosen zur weiteren Entwicklung der Anlagenkapazität zur stoffspezifischen Behandlung von Rest-Siedlungsabfall (inkl. Bioabfall in MBA)**

Bei konsequenter Beachtung der Zielvorgaben von EU-AbfRRL, KrWG und Ausführungsverordnungen (z. B. GewAbfV, Entwurf 2015) ist mittel- bis langfristig ein deutlicher Anstieg des Bedarfs an Anlagen mit M(B)A-Technologie in Deutschland erforderlich (siehe auch DEHOUST et al., 2014).

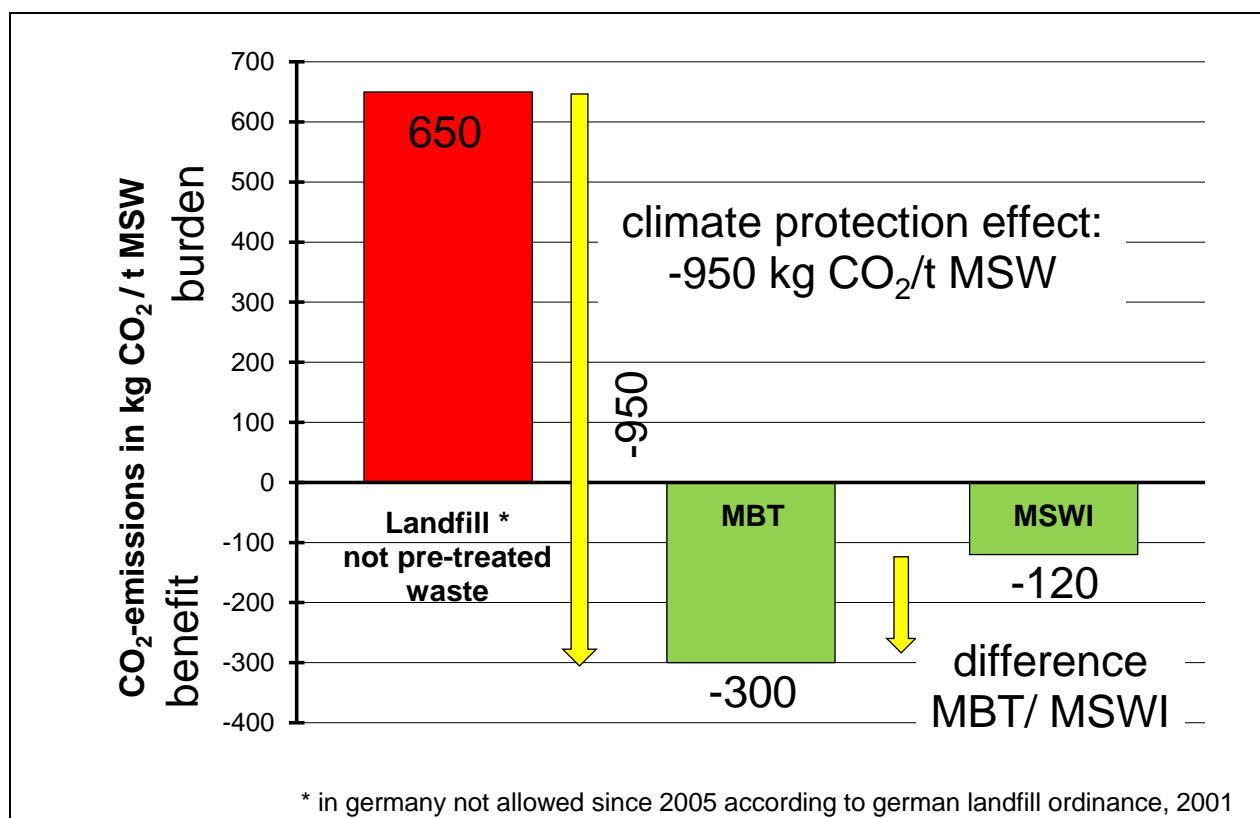
Auch bei Ausweitung der Getrenntsammlung von Bioabfällen werden die im Restabfall verbliebenen biogenen Bestandteile weiterhin eine biologische Trocknung der Abfälle oder auch eine Vergärung der organikhaltigen Feinfraktion ermöglichen. Insbesondere vor dem Hintergrund der bei der Restabfallvergärung erzielbaren hohen Biogaserträge und in Hinblick auf die wachsende Bedeutung von Biomethan im Energie- und Rohstoffmarkt hat die Vergärung in MBA mit Biogasaufbereitung und Biomethaneinspeisung weiterhin ihre Berechtigung und kann zukünftig sogar an Bedeutung gewinnen. Diese Entwicklung wird voraussichtlich unterstützt durch eine verstärkte Nutzung der Vergärungskapazitäten in MBA für Bio- und Restabfall. Darüber hinaus wird eine Umstellung von MBA auf biologische Trocknung erwartet.

## 6 Ressourcen- und Klimaschutz durch stoffspezifische Abfallbehandlung

### 6.1 Energieeffizienz, Klima- und Ressourcenschutz durch Kombinationsverfahren mit MBA

Der ökologische Nutzen einer Abfallbehandlung lässt sich an der Höhe der durch die Behandlung und Verwertung eingesparten klimawirksamen CO<sub>2</sub>-Emissionen sowie der Energieeffizienz ablesen und bewerten.

Der Ausstieg aus der Ablagerung unvorbehandelter Siedlungsabfälle und der Übergang in die mechanisch-biologische sowie thermische Abfallbehandlung wird anschaulich in Bild 6-1 verdeutlicht. Hier wurde die mit MBA erzielte CO<sub>2</sub>-Einsparung der Bilanz einer Deponierung gegenübergestellt, wie sie sich ergeben hätte, wenn die in MBA behandelten Restabfälle in ihrer aktuellen Menge und Zusammensetzung weiterhin deponiert worden wären. Einer vermiedenen Klimagasbelastung von +650 kg CO<sub>2</sub>/Mg steht eine tatsächliche Entlastung von -300 kg CO<sub>2</sub>/Mg gegenüber, so dass sich insgesamt ggü. einem Referenzszenario Deponie für die MBA eine Klimagasreduktion von -950 kg CO<sub>2</sub>/Mg ergibt. Eine thermische Behandlung der Restabfälle führt dagegen zu einem geringeren CO<sub>2</sub>-Reduktionseffekt.



**Bild 6-1: CO<sub>2</sub>-Einsparung durch Vorbehandlung und Verwertung von Siedlungsabfall ggü. einer Ablagerung unvorbehandelter Abfälle (KETELSEN, K., 2013)**

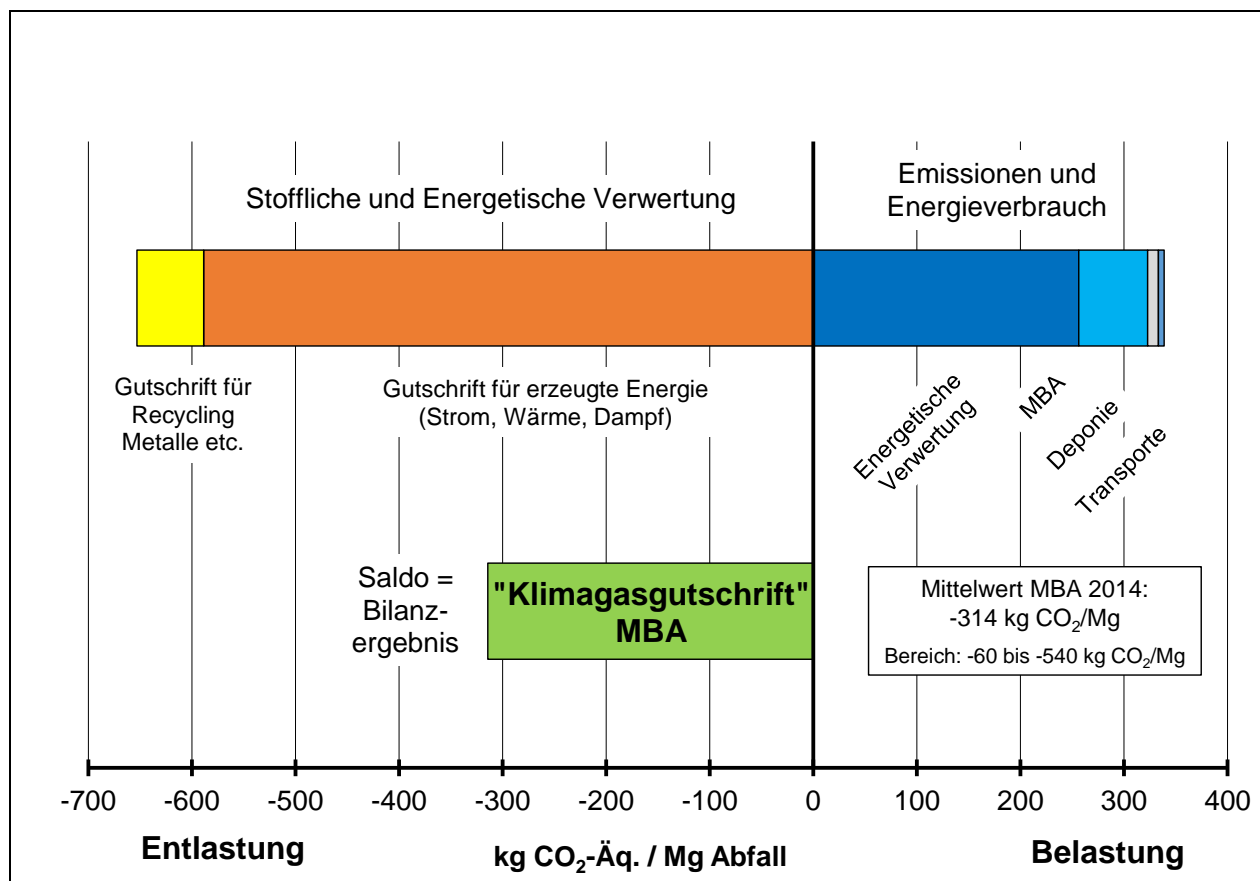
Der in Bild 6-1 ausgewiesene CO<sub>2</sub>-Faktor für MBA entspricht dem für 2012 über alle in Deutschland betriebenen MBA/MBS/MPS-Anlagen, für die einheitlich nach dem ASA-Bilanzmodell die tatsächlich erreichte Energieeffizienz und Klimagasbilanz berechnet wurde.

Als Maßstab für die Energieeffizienz des Gesamtverfahrens wird die über alle Verfahrensschritte erzeugte und nach Abzug des Energieeigenverbrauchs verbleibende Netto-Primärzielenergie und der damit berechnete Netto-Primärwirkungsgrad nach VDI 3461/2 zu Grunde gelegt. Die Klimabilanz ergibt sich aus der durch die erzeugte Energie aus Abfall vermiedenen Emissionen bei der Verbrennung fossiler Brennstoffe sowie aus der CO<sub>2</sub>-Einsparung durch die Verwertung der in MBA abgetrennten Sekundärrohstoffe. Eine weitergehende Erläuterung der Methodik und des Bilanzmodells findet sich u. a. in ASA/KETELSEN, 2014.

Von den gesamten MBA-Anlagen wurden mit diesem Modell zum Teil schon über mehrere Jahre die anlagenbezogenen Daten zur Energieeffizienz und Klimagasbilanz ermittelt. Eine vergleichbare Untersuchung über den Gesamtprozess der Abfallbehandlung liegt für andere Verfahren und Anlagen bisher nicht vor.

Das Klimagasbilanzergebnis der MBA wird maßgeblich bestimmt von der Energieeffizienz der nachgelagerten Anlagen, in denen die Ersatzbrennstoffe verwertet werden. Je höher der Energieertrag, desto höher die Gutschrift. Die Gutschrift wird verrechnet mit den bei der EV freigesetzten CO<sub>2</sub>-Emissionen fossilen Ursprungs (Bild 6-2).





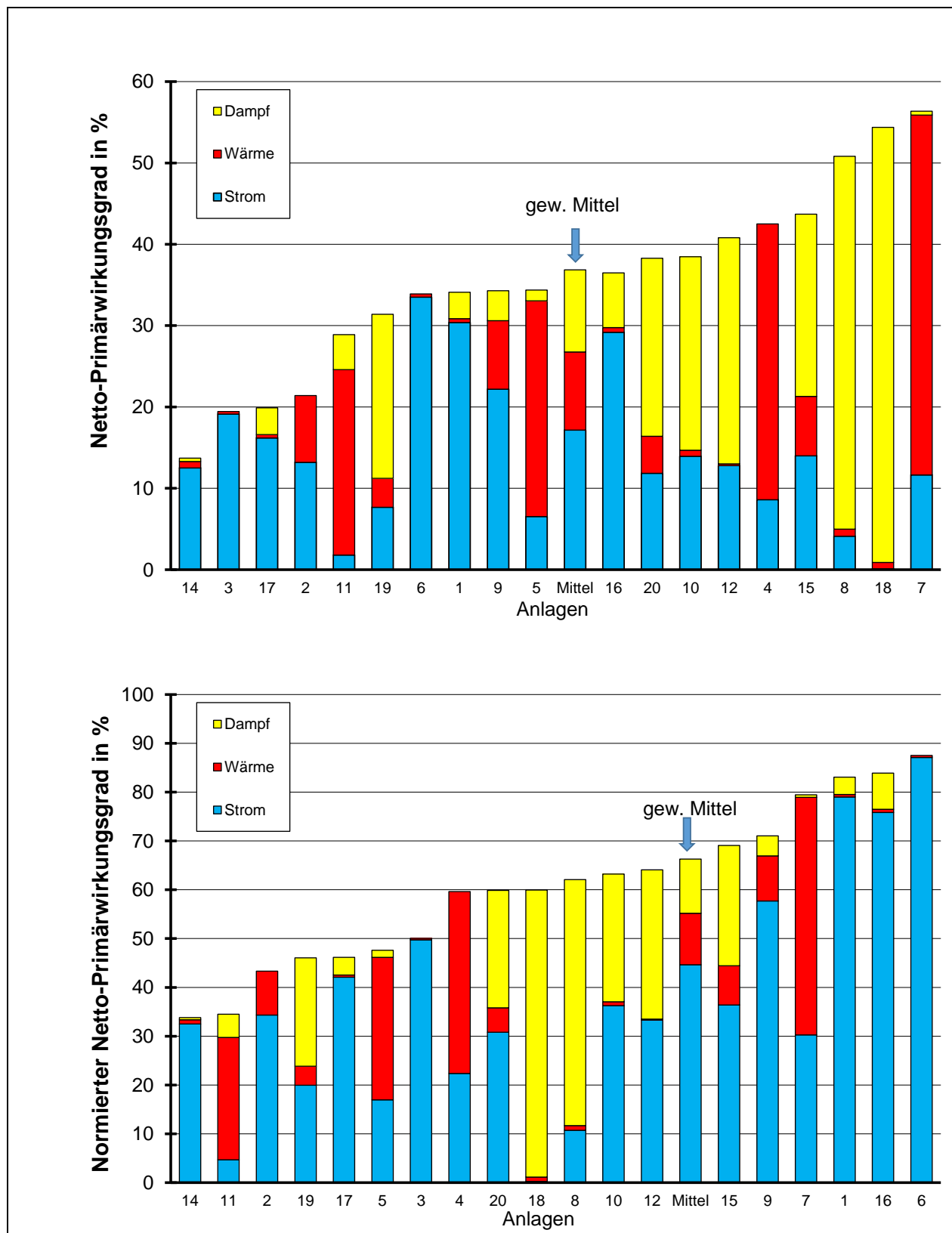
**Bild 6-2: Klimagasbilanz MBA 2014 (gewichtetes Mittel über alle MBA/MBS/MPS)**

Das günstigste saldierte CO<sub>2</sub>-Ergebnis liefern EBS mit hohen Heizwerten und hohen biogenen C-Gehalten. Heizwerte größer 16 MJ/kg sind allerdings nur zu erzielen, wenn die EBS höhere Anteile an fossilen C-Gehalten (d. h. Kunststoffe!) enthalten. Hier besteht eine gewisse Diskrepanz zum Ansatz, künftig verstärkt EBS mit geringen fossilen C-Gehalten zu produzieren, vorausgesetzt, dass die ausgelesenen Kunststoffe auch stofflich verwertbar sind.

Die CO<sub>2</sub>-Belastung aus dem Betrieb der MBA (Energieverbrauch und Emissionen) fällt im Verhältnis zur CO<sub>2</sub>-Freisetzung bei der Verbrennung gering aus. Die Emissionen aus dem Transport der Stoffströme und der Ablagerung des Deponats sind bezogen auf das Gesamtergebnis eher als nachrangig zu bewerten, wenngleich auch hier noch nicht alle Optionen zur Optimierung ausgeschöpft sind.

Die Energieeffizienz der stoffspezifischen Abfallbehandlung in den untersuchten Anlagen weist je nach Verfahrenskonzept und Stoffstromaufteilung unterschiedliche Werte zwischen 14 und 56 % bei einem gewichteten Mittelwert von 36 % auf. Um die unterschiedliche Wertigkeit der verschiedenen Energieformen Strom und Wärme zu berücksichtigen und die Energieeffizienz zwischen den Anlagen vergleichen zu können, wurde der Wirkungsgrad zusätzlich normiert. Das Ergebnis nach Normierung zeigt die untere Grafik in Bild 6-3. Die Energieeffizienz der

MBA/MBS/MPS schwankt danach zwischen 34 und 88 % um bis zu 30 %-Punkte um den Jahresmittelwert von 66 % über alle Anlagen.

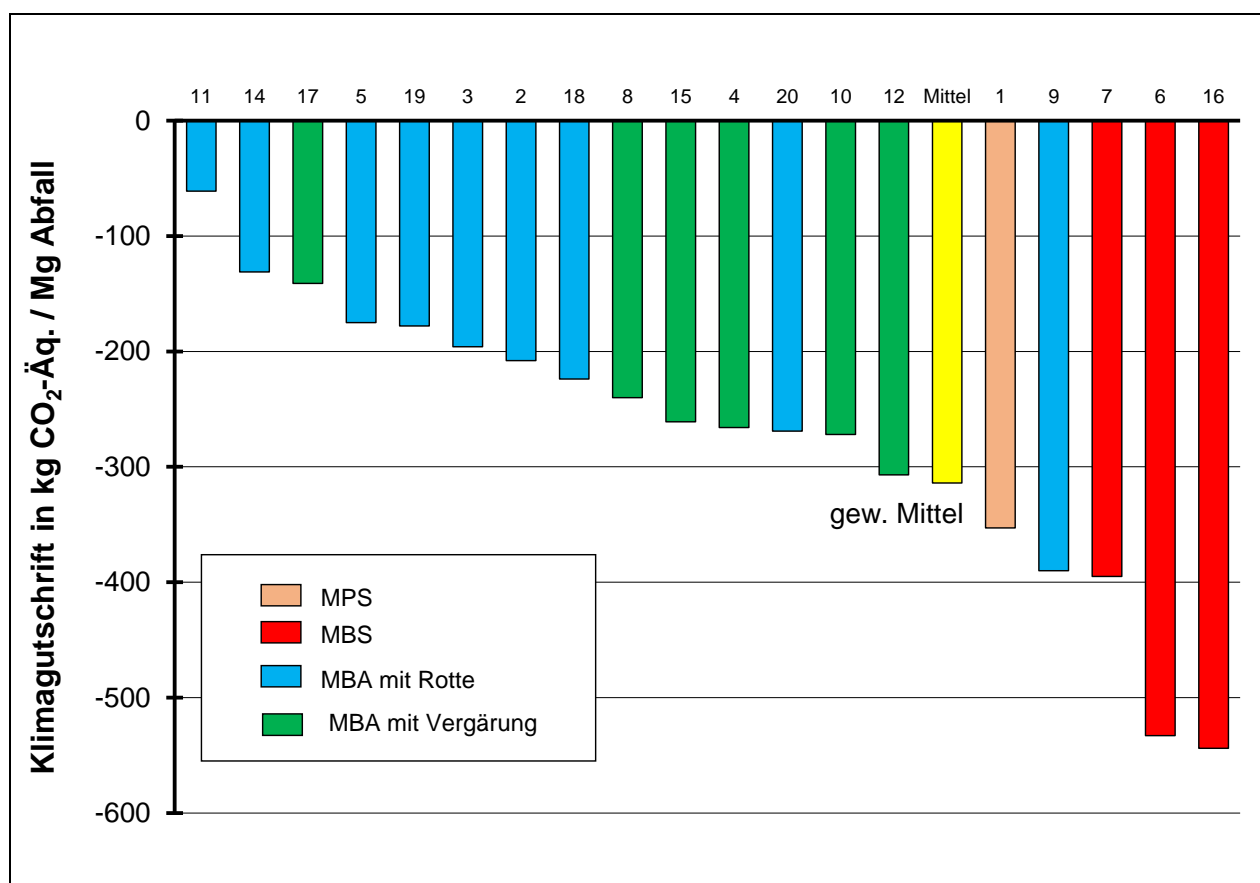


**Bild 6-3: Energieeffizienz MBA/MBS/MPS 2014 dargestellt als Netto-Primärwirkungsgrad**

Die unterschiedlichen Verfahrenskonzepte und die unterschiedliche Verwertung der Ersatzbrennstoffe spiegelt sich ebenfalls in der weiten Bandbreite der erzielten Klimagasbilanzwerte wider. Dabei werden systembedingt die höchsten CO<sub>2</sub>-Bilanzwerte von den Verfahren erzielt, die die größte Ausbeute an Ersatzbrennstoffen haben (MBS/MPS).

Die MBA-Verfahren mit Vergärung weisen gegenüber den Rotte-MBA klimabilanzielle Vorteile auf.

Die Behandlung von Siedlungsabfall in MBA führt im Vergleich zur thermischen Behandlung zu deutlich höheren CO<sub>2</sub>-Einsparungen. Die Unterschiede zwischen den MBA/MBS/MPS-Verfahren verdeutlichen, dass mit Umstellung des Rottebetriebs auf Vergärung und/oder biologische Trocknung zusätzliche CO<sub>2</sub>-Einsparpotenziale erschlossen werden können (Bild 6-4).



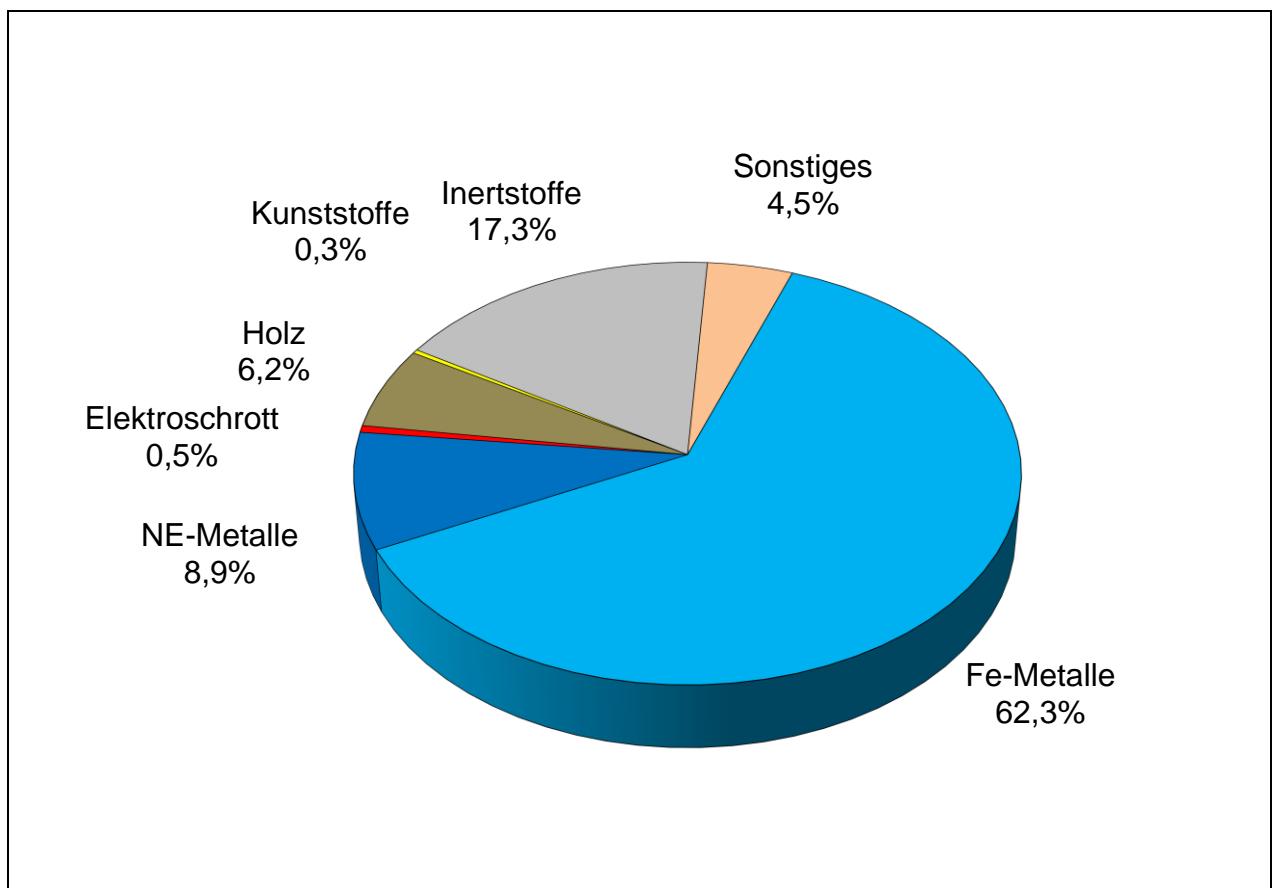
**Bild 6-4: Klimagasbilanz der untersuchten MBA/MBS/MPS-Anlagen 2014**  
 (Anmerkung: Anlage 9 nach Umstellung auf biologische Trocknung)

## 6.2 Weiterentwicklung der MBA unter Klima- und Ressourcenschutzgesichtspunkten

Der ökologische Nutzeneffekt der stoffspezifischen Behandlung in MBA lässt sich verbessern durch

- stärkere Ausrichtung auf stoffliches Recycling
- Optimierung der Erzeugung und energetischen Verwertung von Ersatzbrennstoffen und Biogas
- Optimierung des Anlagenbetriebs

Die stoffliche Verwertung ist bisher nachrangiges Aufbereitungsziel und beschränkt sich bei MBA derzeit weitgehend auf die Auslese von Metallen und hier vorwiegend von Fe-Metallen (Bild 6-5). Insgesamt werden bisher lediglich 2 bis 4 % vom Anlageninput einer stofflichen Verwertung zugeführt.



**Bild 6-5: Beiträge zur stofflichen Verwertung aus MBA 2013**

Zur weiteren Erhöhung der Energieeffizienz und Verbesserung der Klimagasbilanz der MBA-Verfahren stehen folgende Ansätze zur Verfügung, deren Wirkung und Eignung auch von der weiteren Entwicklung der Zusammensetzung der künftig angelieferten Abfälle abhängt. Zu un-

terscheiden ist zwischen Ansätzen, die in der Klimagasbilanz zu einer Belastung führen und denen, die die Höhe der CO<sub>2</sub>-Gutschriften beeinflussen.

### **1. Verringerung der CO<sub>2</sub>-belastenden Bilanzfaktoren**

- Reduzierung der Energieverbräuche
- Nutzung von erneuerbaren Energien für den Betrieb der Anlagen
- Reduzierung der Emissionen der Anlage (betrifft vorrangig Anlagen, die nicht der 30. BImSchV unterliegen)
- Reduzierung der Emissionen aus der Ablagerung
- Reduzierung der fossilen Kohlenstoffgehalte in den Brennstofffraktionen zur energetischen Verwertung

### **2. Erhöhung der Faktoren, die zu CO<sub>2</sub>-Gutschriften führen**

- Erhöhung der Metallauslese, Fe und insbesondere NE aus allen Stoffströmen, inkl. Einberechnung der Metallauslese aus EBS bei weitergehender Aufbereitung und aus Asche nach der Verbrennung
- Verbesserung der Metallqualitäten durch (zentrale) Aufbereitung der Metallfraktionen (z. B. mit Querstromzerspaner)
- Auslese von recycelbaren Fraktionen durch sensorgestützte Sortiertechniken, sofern die Zusammensetzung von angelieferten Abfallarten dies ermöglicht
- Erhöhung der EBS-Anteile (qualitativ bzw. heizwertbezogen) durch Umstellung der (Nach-) Rotte auf biologische Trocknung mit nachfolgender Stabilataufbereitung
- Erhöhung der Heizwerte in den EBS-Fraktionen durch Umstellung auf mehrstufige Siebung mit Überführung der feuchten Mittelkornfraktion zur biologischen Trocknung
- Verbesserung der EBS-Qualitäten durch optimierte Abtrennung von inerten und organischen Anhaftungen bzw. Bestandteilen
- Einsatz von EBS in Anlagen mit hohem elektrischem und thermischem Wirkungsgrad
- Erhöhung der Biogasausbeute aus der Vergärung der organischen Fraktion
- Optimierung der Nutzung des erzeugten Biogases in BHKW (bedarfsangepasster Anlagenbetrieb, Erhöhung Gasspeicherkapazitäten, Betrieb BHKW verstärkt unter Volllast zur Vermeidung von Verlusten im Teillastbetrieb, verstärkte Wärmenutzung, Verringerung Fackelverluste durch optimierte Anlagenbewirtschaftung etc.)

## **7 Verwertung von Bio- und Grünabfall**

### **7.1 Stand der Kompostierung und Vergärung**

#### ***Übersicht***

Die Menge an getrennt gesammelten Bio- und Grünabfällen hat sich seit 1996 etwa verdoppelt. Sie liegt seit 2010 bei knapp 10 Mio. Mg/a (inkl. Küchen- und Kantinenabfälle) bei bis 2013 stagnierendem Aufkommen (Destatis).

Der ganz überwiegende Teil der Bio- und Grünabfälle wird nach wie vor kompostiert und als hochwertiger Kompost der landwirtschaftlichen oder gartenbaulichen Verwertung zugeführt. Hierfür standen nach Destatis in 2013 über 930 biologische Behandlungsanlagen zur Verfügung in denen ca. 8 Mio. Mg/a Bio- + Grünabfälle angeliefert wurden, die übrigen Mengen wurden in Feuerungsanlagen, Sortieranlagen und sonstigen Behandlungsanlagen angeliefert.

Insgesamt werden von Destatis für 2013 1.439 Biogas- und Vergärungsanlagen (inkl. kombinierte Vergärungs- und Kompostierungsanlagen) mit einem Durchsatz von 5,5 Mio. Mg aufgelistet. Davon entfällt der überwiegende Anteil auf Anlagen für Klärschlamm, sowie Abfälle aus der Land- und Forstwirtschaft.

Bei der BGK werden zzt. 489 Kompostierungsanlagen und 126 Vergärungsanlagen geführt, die der Gütesicherung unterliegen (BGK, 2015).

#### ***Park- und Gartenabfälle***

*Park- und Gartenabfall*, Baum-, Strauch- und Grünschnitt werden zzt. schon weitestgehend der stofflichen Verwertung zugeführt (Kompostierung) oder vor Ort verwertet (Mulch). Trockene holzige Anteile werden z. T. separiert und energetisch verwertet. Der Anteil von Park- und Gartenabfällen, die zzt. als gemischte Siedlungsabfälle entsorgt werden, ist als gering einzuschätzen.

#### ***Küchen- und Kantinenabfälle***

Küchen- und Kantinenabfälle werden über separate Systeme getrennt gesammelt, um sie vorzugsweise einer Vergärung zuzuführen. In 2013 wurden nach Destatis unter der EAK 20 01 08 insgesamt 630.000 Mg gesammelt und in 133 Anlagen behandelt, davon entfallen 100 auf biologische Behandlungsanlagen. Der darin enthaltene Anteil an Vergärungsanlagen wird nicht ausgewiesen.

### ***Vergärung von getrennt gesammelte Bioabfällen***

Die Vergärung von getrennt gesammelten Bioabfällen ist im Zuge der Energiewende in den letzten Jahren forciert worden. Kompostwerke wurden um Vergärungsstufen erweitert oder Bioabfälle als Substrate für die Co-Fermentation in landwirtschaftlichen oder industriellen Biogasanlagen sowie in geringem Umfang in kommunalen Kläranlagen aufgenommen. Zurzeit werden in 75 bis 80 Bioabfallvergärungsanlagen ca. 1,4 Mio. Mg/a an Bio- und Grünabfällen zur Erzeugung von Biogas genutzt (KERN und RAUSSEN, 2014, eigene Auswertungen).

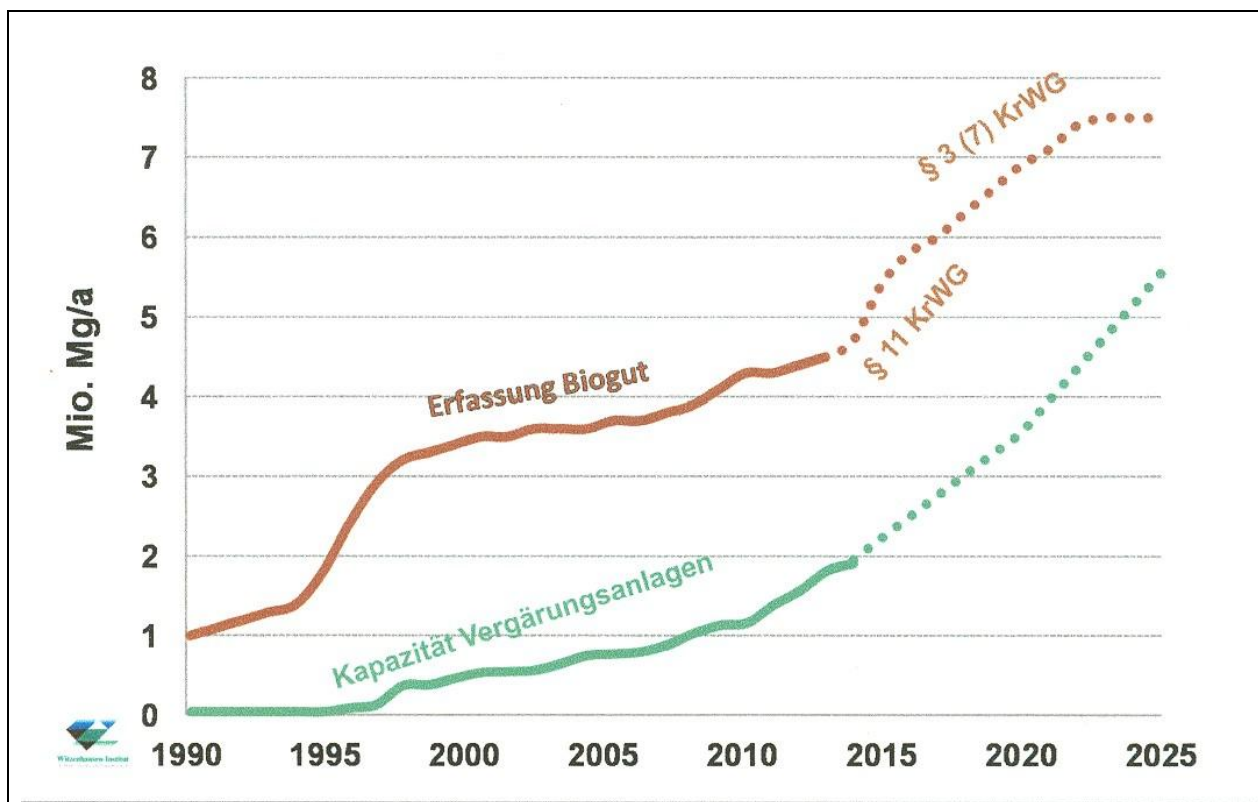
## **7.2 Entwicklungstendenzen der Bioabfallsammlung und –verwertung**

Auf EU-Ebene sind die Recycling-Ziele nur durch einen massiven Ausbau der Getrenntsammlung und Verwertung von Bioabfällen zu erreichen. Die aktuellen Vorgaben des KrWG sehen bereits eine flächendeckende Bioabfallsammlung aus Haushalten vor. Hierdurch ist auch in Deutschland in den nächsten Jahren eine weitere Steigerung der Sammelmengen zu erwarten. Für Bioabfälle mit überwiegend anaerob abbaubaren Anteilen wird eine hochwertige Kaskadennutzung mittels Vergärung angestrebt.

Aktuelle Vermeidungskampagnen bezüglich Lebensmittelabfällen (BMEL: Weniger Lebensmittel als Abfall entsorgen, s. KRANERT et al. 2012; BMEL, 2014), die entsprechenden Forderungen der EU-Kommission zur Vermeidung und die Forderung nach verstärkter Erfassung von Küchenabfällen über die Biotonne lassen letztlich geringere Organikanteile im Restabfall erwarten.

Die beim Bioabfall erwarteten Mehrmengen werden mit 2 bis 5 Mio. Mg abgeschätzt, wobei davon maximal 1 bis 2 Mio. Mg aus dem Restabfall abgezogen werden dürften. Der überwiegende Anteil der Mehrmengen wird aus einer Verlagerung von anderen Verwertungswegen in das System Biotonne resultieren (KERN, M. UND SIEPENKOTHEN, J., 2014; KETELSEN, K. UND NELLES, M., 2015; OETJEN-DEHNE (S. UBA, 2014); ICU, 2014 u. a.).

KERN und RAUSSEN (2014) rechnen dadurch bis 2025 mit einem deutlichen Anstieg der als Biogut erfassten Bioabfallmengen auf ca. 7 bis 8 Mio. Mg/a sowie einer Verdreifachung der Vergärungskapazitäten für Bioabfälle (Bild 7-1).



**Bild 7-1: Mögliche Entwicklung der Erfassung von Biogut und der Behandlungskapazität von Vergärungsanlagen für kommunale Bioabfälle (KERN UND RAUSSEN, 2014)**

Der erwartete und in vielen Studien berechnete klimaschonende Effekt der bevorzugten Verwertung für Bioabfälle durch eine Kaskadennutzung mit Vergärung, Erzeugung von Biogas bzw. Biomethan mit stofflicher Verwertung der Gärreste und energetischer Verwertung der Siebreiste konnte am Beispiel einer Praxisanlage in einem umfangreichen Mess- und Analysenprogramm bestätigt werden. Dies setzt jedoch eine emissionsoptimierte Vergärungsanlage sowie eine emissionsarm betriebene Nachrotte bei der Komposterzeugung aus Gärresten voraus (KETELSEN, K. UND KANNING, K., 2015; KANNING et al., 2015).

Da sich der rechtliche Rahmen für die Ausführung von Biogasanlagen (u. a. Emissionsstandard) sowie für die Verwertung der Gärprodukte (Einsatz als Dünger) in Deutschland seit einiger Zeit in der Diskussion befindet und die entsprechenden Verordnungen überarbeitet werden, ist die Bereitschaft zum Bau neuer Vergärungsanlagen zzt. nicht sehr ausgeprägt. In welchem Umfang sich die aktuelle Planungsunsicherheit auf die Realisierbarkeit der prognostizierten Ausbauziele auswirken wird, hängt von der Entwicklung der genehmigungsrechtlichen und förderpolitischen Rahmenbedingungen ab.

Zumal der mit dem Ausbau der Kaskadennutzung verbundene Vorteil für den Klimaschutz für den einzelnen Betreiber nur unter sehr günstigen Rahmenbedingungen kostenneutral zu errei-



chen ist. Sofern durch weitergehende immissionsschutzrechtliche Anforderungen und Beschränkungen bzgl. der Verwertung der Gärprodukte die Wirtschaftlichkeit der Vergärung und damit der Bau neuer Anlagen in Frage gestellt wird, können die abfallpolitischen Ziele einer gewünschten Kaskadennutzung von Bioabfall konterkariert werden.

Lösungen können hier z. B. interkommunale Zusammenarbeiten bieten, damit Bioabfälle gemeinsam in größeren und damit wirtschaftlicher zu betreibenden Anlagen behandelt werden können.

Angesichts rückläufiger Restabfallmengen derzeit bereits mehrfach mit Erfolg realisiert wurde die Umnutzung von MBA oder Teilen von MBA zur Verwertung von Bioabfällen. Dies ist wiederum ein gutes Beispiel für die flexiblen Einsatzmöglichkeiten der MBA-Technologie.

### **7.3 Erzeugung und Verwertung von Biogas aus Bioabfall**

Von den von KERN und RAUSSEN (2014) insgesamt erfassten 114 Vergärungsanlagen für biogene Abfälle (inkl. landwirtschaftliche Abfälle und Co-Fermentation) nutzen ca. 93 % BHKW zur Erzeugung von Strom und Wärme aus Biogas. Die hierfür installierte elektrische Leistung beträgt insgesamt etwa 110 MW.

Die KWK-Nutzung stellt bei hohem Wärmenutzungsanteil heute die wirtschaftlichste und klimaschonendste Nutzungsform für Biogas dar. Allerdings ist gerade bei abfallwirtschaftlichen Standorten nicht immer die Möglichkeit einer hohen Wärmenutzung gegeben. Aus diesem Grund sowie wegen der im Rahmen der Energiewende erforderlichen Anpassung der Energiesysteme wird zukünftig die Erzeugung von Biomethan zur Einspeisung in das Erdgasnetz an Bedeutung gewinnen. Der Stand der Biomethaneinspeisung wird daher nachfolgend näher beleuchtet.

#### ***Stand der Biomethaneinspeisung und Einspeiseziele***

Ein Abgleich der Daten nach KERN UND RAUSSEN, 2014 mit den Einspeisedaten nach BIOGASPARTNER, 2015 ergibt, dass bei 13 Anlagen, die Bioabfälle verwerten, mit einem Durchsatz in der Vergärungsstufe von insgesamt ca. 600.000 Mg/a eine Nutzung des Biogases mittels Biogasaufbereitung und Einspeisung von Biomethan in das öffentliche Gasnetz erfolgt. Die installierte Einspeiseleistung dieser 13 Anlagen beläuft sich auf 6.080 m<sup>3</sup>/h.

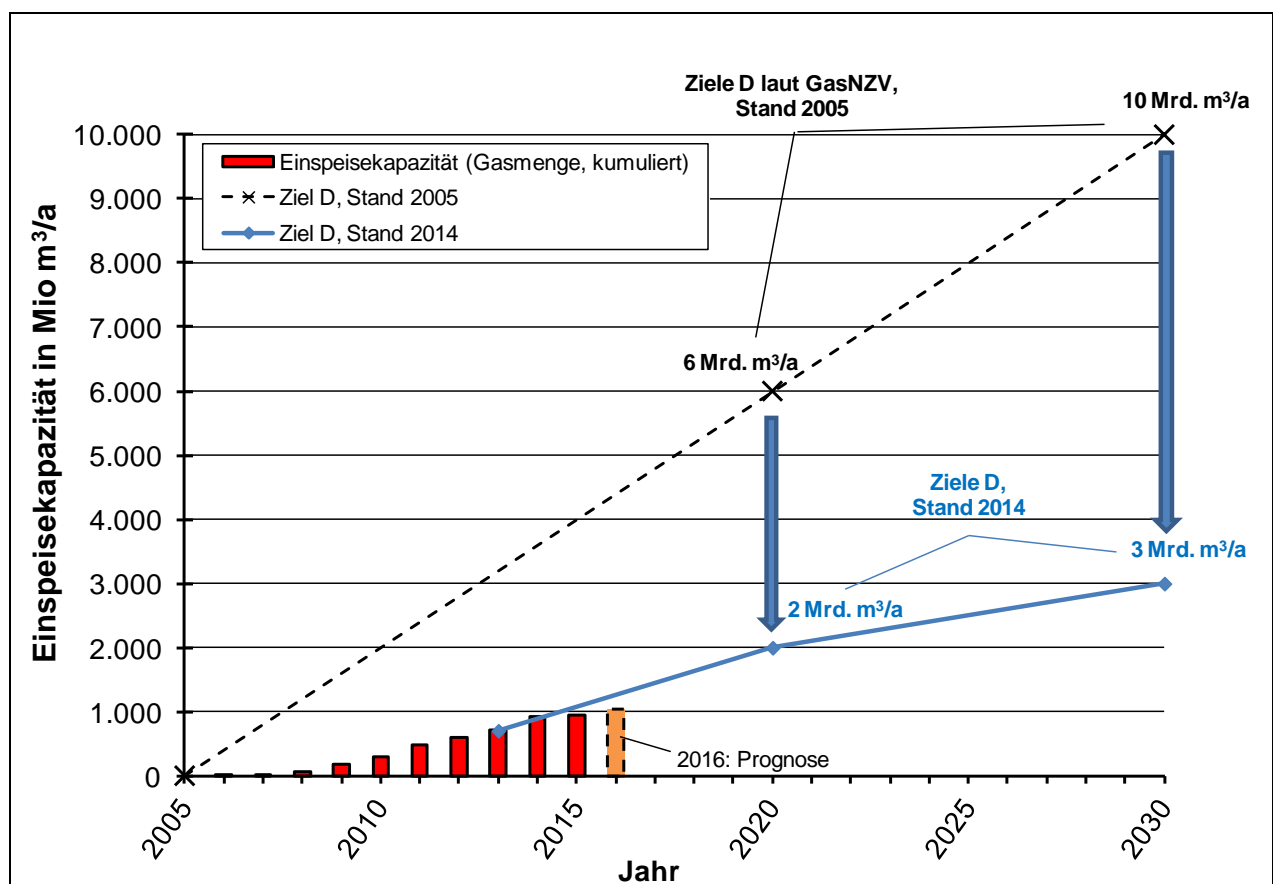
Etwas abweichend davon führen DANIEL-GROMKE et al., 2014 16 Anlagen mit einer Einspeiseleistung von insgesamt ca. 13.000 m<sup>3</sup>/h auf, in denen Biomethan überwiegend aus organischen Reststoffen gewonnen wird. Die deutlich höhere Gesamteinspeiseleistung bei nur 3 zusätzlich erfassten Anlagen lässt vermuten, dass es sich hierbei um die Großanlagen der VERBIO AG an den Standorten Zörbig und Schwedt handeln könnte, in denen u. a. Reststoffe

aus der Biokraftstoffproduktion sowie Stroh in der Vergärung eingesetzt werden (VERBIO AG, 2015).

Je nach Zuordnung der Anlagen lag die Einspeisekapazität von Biomethan aus biogenen Abfällen demnach in Deutschland in 2013 bei 53 bis 114 Mio. m<sup>3</sup>/a. Dies sind 7 bzw. 15 % der Gesamteinspeisekapazität (inkl. NawaRo-Biomethananlagen) von 766 Mio. m<sup>3</sup>/a in 2013 (DANIEL-GROMKE et al., 2014).

Nach KOVACS, 2014 wird das Biomethan-Ausbaupotenzial für Deutschland für 2015 mit 1,2 Milliarden m<sup>3</sup>/a und für 2020 mit 2,01 Milliarden m<sup>3</sup>/a angesetzt (Bild 7-2). Letzterer Wert entspricht ca. 2,6 % des deutschen Erdgasverbrauchs 2014 von 823 Milliarden kWh (Brennwert; AGEb, 2015).

Das heute angesetzte Ausbaupotenzial macht nur noch ein Drittel des in der GasNZV (2005) von der Bundesregierung formulierten Ziels der Einspeisung von 6 Milliarden m<sup>3</sup> bzw. ca. 65 Milliarden kWh (Brennwert) jährlich aus, was immerhin fast 8 % des deutschen Erdgasverbrauchs 2014 entsprochen hätte.



**Bild 7-2: Entwicklung der Ausbauziele Biomethan (Einspeisekapazitäten nach Biogaspartner, 2014 + 2015)**

Die Reduktion des Einspeiseziels ist Folge einer Überprüfung der Biomasse-Potenzialanalysen, der Diskussion um die Nutzung landwirtschaftlicher Flächen für die Biogaserzeugung sowie der Maßnahmen zur stärkeren Kontrolle der EEG-Umlage. Nach den aktuellen Energiewende-Szenarien wird das nachhaltige Potenzial zur Erzeugung von Biogas aus Kulturpflanzen für Deutschland heute als bereits weitgehend ausgeschöpft angesehen (DLR et al. 2012). In der Konsequenz wurde mit der Reform des EEG in 2014 die KWK-Nutzung aus NawaRo unwirtschaftlich gemacht (DANIEL-GROMKE et al., 2014) und auch das auf einem höheren Biogaspotenzial basierende Einspeiseziel aus 2005 in der GasNZV 2014 nach unten korrigiert. Heute heißt es hierzu in § 31 der GasNZV, 2014 nur noch ganz allgemein: „Ziel der Regelungen des Teils 6 [Biogas] ist es, die Einspeisung von Biogas in das Erdgasnetz zu ermöglichen.“

Mit der politisch gewollten Beschränkung des weiteren Ausbaus der Biogaserzeugung auf Abfälle und Reststoffe sind die alten Potenzialabschätzungen für die Biomethaneinspeisung nicht mehr zu erreichen. Angesichts des heutigen Standes (2015 ca. 1,0 Milliarden m<sup>3</sup>/a Gesamteinspeisekapazität), des aktuellen Ausblicks (nur wenige Anlagen für 2016 in Planung laut BIOGASPARTNER, 2015) sowie üblicher Projektlaufzeiten werden auch die reduzierten Ausbauziele für 2020 (s. o.) und 2030 (3,01 Milliarden m<sup>3</sup>/a) nur schwer zu erreichen sein.

## 7.4 Fazit Bioabfall

Die ASA unterstützt den Ausbau der Getrenntsammlung von Bioabfällen sowie die hochwertige Verwertung über Kaskadennutzung. Die qualitätsorientierte Erfassung hat dabei Vorrang vor einer rein quantitativen Mengenerfassung. Trockene und nicht anaerob abbaubare Anteile bzw. Teilströme sollten z. B. in Biomasse-Kraftwerken hochwertig energetisch verwertet werden.

In begründeten Ausnahmefällen bei Nachweis ökologischer Gleichwertigkeit werden auch alternative Verfahren zur Behandlung der biogenen Abfälle als zulässig angesehen.

Im Zuge des Umbaus der Energiesysteme wird darüber hinaus die Erzeugung von Biomethan mit Einspeisung in das Erdgasnetz, Nutzung als Kraftstoff oder mittels KWK für viele Standorte als mittel- bis langfristig sinnvolle und wirtschaftlich zukunftsfähige Option gesehen. Die Nutzung der vorhandenen Kapazitäten zur Vergärung in MBA werden als sinnvolle und ergänzende Option zur Behandlung und Kaskadennutzung von Bioabfällen angesehen.

*Küchen- und Kantinenabfällen* werden heute bereits zu großen Teilen durch Vergärung in separaten Anlagen verwertet (s. o.). Ziele müssen hier sein, die Erfassungsgrade weiter zu erhöhen, die Effizienz der Vergärung und Biogasverwertung zu steigern und die Emissionen zu minimieren.

**Weitere Faktoren und Entwicklungen mit Einfluss auf künftige Mengen und Verwertungskonzepte:**

Mit den neuen Vorgaben zur Kreislaufwirtschaft soll sich die Menge an getrennt gesammelten Bioabfällen in Deutschland und in der EU deutlich erhöhen. Deren Verwertung über Kompostierung und Kaskadennutzung mit Vergärung hat steigende Austragsmengen an Kompost sowie an festen und flüssigen Gärresten zur Folge. Diese sollen aus Sicht der Kreislaufwirtschaft z. B. als Dünger in der Landwirtschaft oder im Gartenbau stofflich verwertet werden.

Dem stehen jedoch, in Folge des Vertragsverletzungsverfahrens gegen Deutschland wegen zu hoher Nitrat-Gehalte im Grundwasser, absehbar zunehmende Restriktionen aus dem Düngerecht entgegen. Mit der anstehenden Novelle der Düngeverordnung (DüV) und des Düngegesetzes (DüG) sind Verschärfungen u. a. hinsichtlich der Ausbringungsmengen für Stickstoff sowie bei den Sperrfristen für die Ausbringung organischer Düngemittel geplant. Hierdurch können sich in Abhängigkeit von der letztendlichen Ausgestaltung der Vorschriften deutliche Einschränkungen hinsichtlich der landwirtschaftlichen Verwertung von Kompost und Gärresten ergeben. In der Folge würde sich die Kostensituation für die stoffliche Verwertung deutlich verschlechtern.

Durch die derzeit laufende Novellierung der TA Luft bestehen im Markt zusätzliche Unsicherheiten hinsichtlich der zukünftigen Anforderungen an den Emissionsschutzstandard von Anlagen zur Bioabfallverwertung. Als Konsequenz der zu erwartenden Verschärfung der Anforderungen (z. B. Einführung eines Grenzwertes für TOC-Emissionen) wäre mit einem höheren Aufwand für die technische Ausführung und einem Anstieg der Behandlungskosten bei Neuanlagen zu rechnen.

Bereits von der Bundesregierung vollzogen wurde die Absenkung der wirtschaftlichen Anreize des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) für Investitionen in Vergärungsanlagen. Die Neuerichtung von Anlagen zur Biogaserzeugung aus nachwachsenden Rohstoffen (NawaRo) wurde mit dem EEG 2014 wirtschaftlich erschwert, so dass der weitere Ausbau dieser Anlagen praktisch zum Erliegen gekommen ist. Auch die verbliebenen Anreize für die Vergärung von Rest- und Abfallstoffen reichen angesichts der Unsicherheiten im Markt derzeit nicht aus, um den gewünschten Zubau an Anlagen zu unterstützen.

Insofern stehen dem aus Sicht der Kreislaufwirtschaft gewünschten Ausbau der hochwertigen Verwertung getrennt gesammelter Bioabfälle über Kaskadennutzung zwar keine technischen, aktuell aber gleich mehrere Hemmnisse durch rechtliche und ökonomische Rahmenbedingungen entgegen.

## **8 Bioenergie aus organischen Reststoffen und feuchter Biomasse**

### **8.1 Aktuelle Entwicklungen im Bereich Bioenergie**

Weitere Ausbaupotenziale im Bereich der nachhaltigen Erzeugung von Bioenergie werden nach den aktuellen Leitszenarien für Deutschland kaum noch im Bereich der Anbaubiomasse bzw. Nutzung landwirtschaftlicher Flächen gesehen. In Folge entsprechender Anpassungen mit dem EEG 2014 wird es für die bestehende Energieerzeugung aus NawaRo daher zukünftig vor allem um Optimierungen des Bestandes im Hinblick auf Flexibilisierung der Stromerzeugung, Energieeffizienz und Nachhaltigkeit bzw. um Konsolidierung sowie Umstellung auf die Nutzung von Reststoffen gehen. Allenfalls ein stark wachsender Markt z. B. mit steigenden Preisen für Biomethan könnte hier auch den Einsatz von NawaRo weiter attraktiv machen.

Für biogene Abfälle und Reststoffe besteht derzeit noch ein deutliches Ausbaupotenzial, was deren hochwertige Kaskadennutzung angeht. Dieses soll unter Berücksichtigung der erforderlichen Humusreproduktion sowie einer bedarfsgerechten Düngung von Böden weitestgehend ausgeschöpft werden.

Im landwirtschaftlichen Bereich steht der Ausbau der Biogaserzeugung aus Fest- und Flüssigmist (Gülle) im Vordergrund. Im Bereich der Siedlungsabfälle soll die getrennte Erfassung biogener Abfallbestandteile in Form von Bio- und Grünabfällen flächendeckend ausgeweitet und optimiert werden. Anaerob abbaubare/feuchte Bio- und Grünabfälle sollen möglichst einer Vergärung zugeführt werden. Trockene, holzige Biomasse ist dagegen besser direkt thermisch zu verwerten oder über Holzvergaser o. ä. zu nutzen. Für die organikhaltige Feinfraktion aus Restabfällen bietet sich ebenfalls eine Kaskadennutzung in Form von Vergärung mit anschließender Trocknung und Stabiliserzeugung aus den Gärresten sowie der energetischen Verwertung des Stabilats an.

### **8.2 Biomethan – sinnvoller Baustein in der Partnerschaft von Energie- und Kreislaufwirtschaft**

Da feuchte organikhaltige Reststoffe für eine direkte energetische Verwertung ungeeignet sind, bietet sich für derartige Stoffströme eine Kaskadennutzung mittels Vergärung und stofflicher oder (nach Trocknung) energetischer Verwertung der Gärreste an. Die im Biogas enthaltene Energie kann als Biomethan im Erdgasnetz gespeichert und dadurch flexibel und effizient verwertet werden.

Die Erhöhung der Energiedichte aus feuchter Biomasse durch Überführung in Biomethan weist wesentliche Vorteile auf:

- Es existieren bereits langjährig etablierte, wirtschaftlich darstellbare Produktionsverfahren auf Basis von Bio- und Restabfällen.
- Es stehen etablierte Technologien zur flexiblen Erzeugung von Strom und Wärme aus Biomethan zur Verfügung.
- Biomethan ersetzt unter Nutzung etablierter Fahrzeugtechnologie praktisch 1:1 fossile Kraftstoffe im Verkehrssektor.
- Es können feuchte und inertstoffhaltige Reststoffe als Inputstoffe eingesetzt werden.
- Die Gärreste können bei entsprechender Qualität des Inputs vollständig stofflich in Landwirtschaft und Gartenbau verwertet werden. Gärreste aus Restabfällen können bei entsprechendem Verfahrensaufbau getrocknet und energetisch verwertet werden.
- Es kann bestehende Infrastruktur in Form des vorhandenen Erdgasnetzes für die Speicherung und Verteilung des Biomethans genutzt werden.

Außerdem kann das bei der Biomethan-Erzeugung aus Biogas abgetrennte biogene Kohlendioxid zukünftig (mittelfristig) über Power-to-Gas- oder Power-to-Liquid-Technologien zur Produktion zusätzlichen Biomethans oder Biokraftstoffs unter Abpufferung von Lastspitzen der regenerativen Stromerzeugung verwendet werden (DLR et al. 2012, WÖRNER, 2015).

Von hohem Interesse sind an dieser Stelle auch die technischen Entwicklungen im Bereich des Aufschlusses und der Umwandlung von holzigen bzw. Lignocellulose-haltigen Reststoffen in deren Grundbausteine, das heißt Zucker und Lignin. Derartige Verfahren könnten genutzt werden, um bisher im Gärprozess nicht abbaubare organische Bestandteile von Reststoffen und Abfällen zu großen Teilen in vergärbare Substanzen zu überführen. Dadurch könnte der Biogasertrag z. B. aus Bio- und Grünabfällen deutlich gesteigert werden. Erste Erfolge in dieser Richtung gibt es offenbar im Bereich der Monovergärung von Stroh (VERBIO AG, 2015), wobei die Auswirkungen auf die Humusbilanz sowie die Wirtschaftlichkeit derartiger Prozesse vor einer massiven Ausweitung des Einsatzes kritisch zu prüfen sind.

Nachteilig am Biomethan ist, z. B. im Vergleich mit der Nutzung von Wasserstoff, dass das Methan selbst klimawirksam ist und daher eine Freisetzung in die Atmosphäre nicht nur unter Sicherheitsaspekten, sondern auch unter Klimaschutzaspekten wirksam verhindert werden muss. Die Technologie ist diesbezüglich in den letzten Jahren deutlich weiterentwickelt worden, so dass entsprechend optimierte Verfahren heute zu wirtschaftlich akzeptablen Konditionen am Markt verfügbar sind.

Biomethan stellt daher im Rahmen der Energiewende einen wichtigen Baustein und eine sinnvolle Option für die Verwertung von Bioabfällen bzw. feuchten biogenen Reststoffen dar.

### 8.3 Technologische Entwicklungen = Zukunftstechnologien?

Neben den etablierten Verfahren der energetischen Biomassenutzung mittels

- Verbrennung
- thermochemischer Umwandlung fester, trockener Biomasse (z. B. Holzvergasung mit Nutzung im BHKW)
- Erzeugung von Biokraftstoffen aus Anbaubiomasse (1. Generation)
- Vergärung feuchter Biomasse mit Verwertung von Biogas/Biomethan

stehen für die weitere Entwicklung der Nutzung organischer Reststoffe und deren Einbindung in das zukünftige Energiesystem eine Reihe neuer Verfahren in der Diskussion und/oder Erprobung:

- BtL bzw. Erzeugung von Biokraftstoffen der 2. Generation
- Vergasung und Verwertung mittels Brennstoffzelle
- Pyrolyse mit Stromerzeugung
- Erzeugung und Verwertung von Pflanzenkohle, HTC-Kohle, Pyrokohle
- Kombinationen mit Power-to-X, Wasserstoffwirtschaft und CO<sub>2</sub>-Nutzung

Zukünftige Nutzungsszenarien für trockene bzw. holzige Biomasse sehen neben der Kompostierung eine zunehmende Einbindung in die Bereitstellung von Kraftstoffen und Grundstoffen für die chemische Industrie vor. Hierfür erforderliche Verfahren befinden sich in der Entwicklung bzw. Erprobung (z. B. Holzvergasung mit stofflicher Verwertung von Synthesegas, Aufschluss von Lignocellulose zur biotechnologischen Verwertung der Kohlenhydratanteile, BtL-Kraftstoffe, Bioraffinerie-Konzepte, Hydrothermale Carbonisierung).

Für feuchte Biomasse kann neben der Vergärung z. B. die hydrothermale Carbonisierung oder die Vorschaltung einer Trocknung vor der Nutzung anderer Konversionsverfahren angewendet werden.

Bei einer Reihe von Konversionsverfahren wird wegen feuchter oder flüssiger organikhaltiger Reststoffe die Kombination mit einer Vergärungsstufe empfohlen. Der Aufbau von Vergärungskapazitäten und Know-How auf Basis derzeit bereits verfügbarer biogener Abfälle kann daher einen Standortvorteil für die Umsetzung zukünftiger Konzepte der Biomasse-Nutzung in der Kombination von Vergärung mit anderen Konversionsverfahren (z. B. Bioraffinerie-Konzepte (BMFB, 2014)) darstellen.

Vergärungskonzepte mit Biomethaneinspeisung bieten perspektivisch die Möglichkeit der Kombination mit Power-to-Gas-Verfahren. Vorzugsweise mit aus Überschussstrom aus erneuerbaren Energien erzeugtem Wasserstoff wird hierbei der Wasserstoff mit dem Kohlendioxid aus Biogas zu Methan umgesetzt. Entsprechend regelbare Elektrolyse-Systeme sowie



Methanisierungsverfahren (biologisch oder chemisch) werden derzeit mit Hochdruck entwickelt und auch bereits großtechnisch getestet. Die Biomasse-bezogene Methanausbeute kann dadurch um ca. 70 % gesteigert werden. Ca. 50 bis 60 % des Energieeinsatzes für die Elektrolyse können in Form von Methan in das Gasnetz eingespeist und dort zwischengespeichert werden (dena, 2015).

Beim Power-to-Liquids-Konzept wird mit den gleichen Ausgangsstoffen wie beim Power-to-Gas das Zwischenprodukt Synthesegas und daraus synthetischer (Flüssig-)Kraftstoff erzeugt (JENDRISCHIK, 2015).

Der langfristig prognostizierte Einstieg in die Wasserstoffwirtschaft (DLR et al. 2012) spielt auf Grund der hierzu noch erforderlichen technischen und energiewirtschaftlichen Entwicklungen derzeit noch keine Rolle, auch wenn die Automobilindustrie gemeinsam mit der Mineralöl- und der Energiewirtschaft aktuell Initiativen zur Erhöhung der Einsatzquote von mit H<sub>2</sub> betriebenen Kraftfahrzeugen aufgelegt hat (z. B. Clean Energy Partnership).

Inwieweit auch bei den Verfahren der Umwandlung von Biomasse die Nutzung, Verwertung oder Speicherung des freigesetzten biogenen CO<sub>2</sub> (CCS-Technologien, Power-to-Gas, Power-to-Liquid) künftig stärker Anwendung finden wird, wie z. B. vom WWF (2009) gefordert wird, kann noch nicht abgeschätzt werden. Auf jeden Fall wäre damit eine zusätzliche Klimagasreduktion (C-Senke) und eine zusätzliche Klimagasgutschrift für diese Verwertungsverfahren verbunden.

Die Erfahrungen neuer Konversionsverfahren konzentrieren sich bisher im Wesentlichen auf Versuchsanlagen und Pilotprojekte. Der Nachweis der Wirtschaftlichkeit steht häufig noch aus. In welchem Umfang zukünftig alternative Verwertungsmöglichkeiten für organische Abfälle an Bedeutung gewinnen, bleibt daher abzuwarten.

Ob sich langfristig einige wenige Verfahren durchsetzen werden, oder eine Vielzahl von Nutzungswegen parallel bestehen, hängt von den zukünftigen Rahmenbedingungen ab.

Durch die bereits vorhandene enge Verknüpfung mit der Energiewirtschaft ergeben sich für die stoffspezifische Abfallbehandlung im Zuge der Umgestaltung der Energiesysteme eine gute Ausgangsposition für die Übernahme weiterer Funktionen und damit eine Reihe von Entwicklungsoptionen im Bereich der bedarfsgerechten Energieerzeugung und Bereitstellung von Systemdienstleistungen (Bild 8-1).



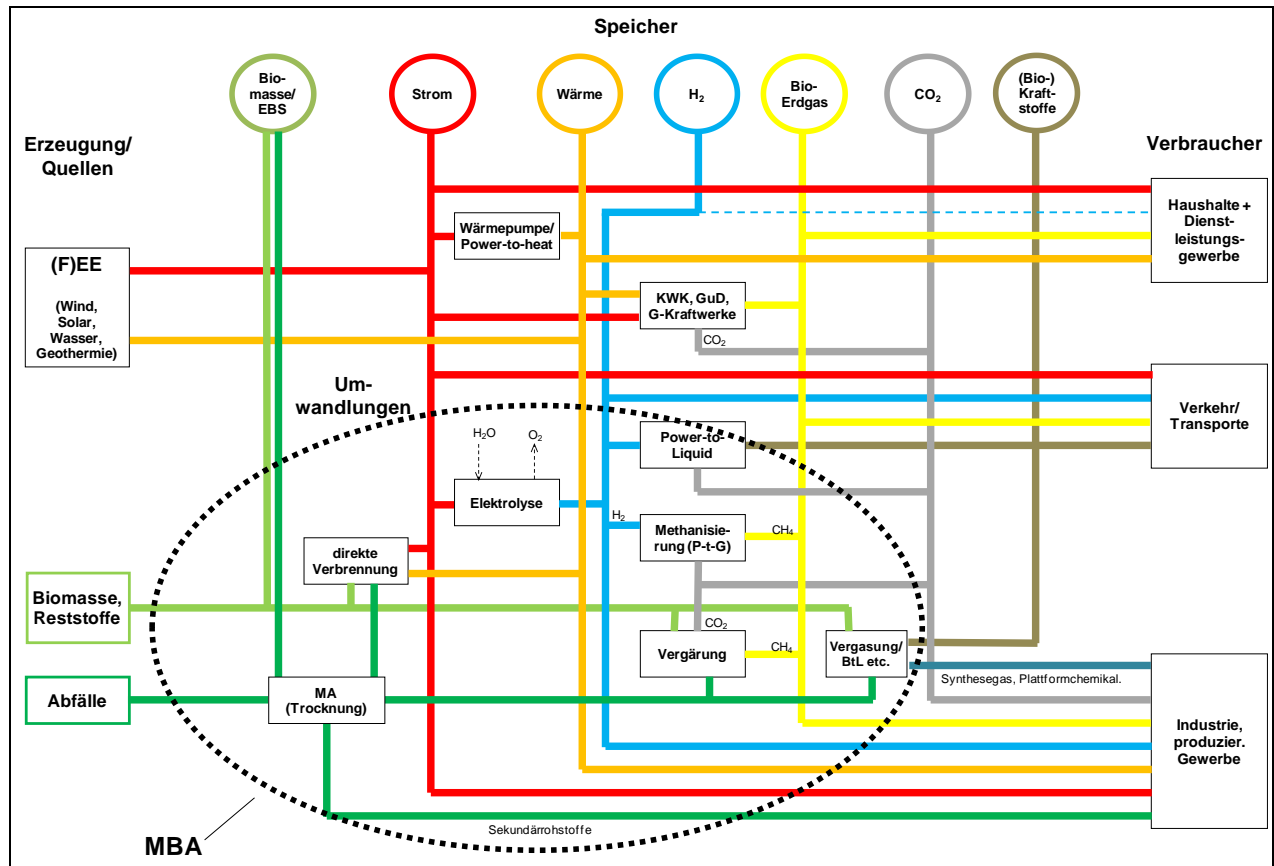


Bild 8-1: Struktur einer zukünftigen Energieversorgung mit erneuerbaren Energien, Wasserstoffwirtschaft und CO<sub>2</sub>-Nutzung sowie Speicheroptionen (angelehnt an [STERNER 2009] zitiert in DLR et al, 2012, ergänzt)