

Martin Kranert, Detlef Clauß

Abfallwirtschaft, Kreislaufwirtschaft

S. 3 bis 17

URN: urn:nbn:de:0156-5599010



CC-Lizenz: BY-ND 3.0 Deutschland

In:

ARL – Akademie für Raumforschung und Landesplanung (Hrsg.):
Handwörterbuch der Stadt- und Raumentwicklung

Hannover 2018

ISBN 978-3-88838-559-9 (PDF-Version)

Abfallwirtschaft, Kreislaufwirtschaft

Gliederung

- 1 Definition, Aufgaben und Ziele
 - 2 Abfallrecht
 - 3 Abfallmenge und Zusammensetzung
 - 4 Sammlung und Transport
 - 5 Aufbereitung und Verwertung trockener Wertstoffe
 - 6 Biologische Behandlung zur Verwertung
 - 7 Behandlung und Beseitigung
 - 8 Fazit
- Literatur

Die Abfallwirtschaft umfasst alle Aktivitäten und Erfordernisse, die mit der Entstehung, der Erfassung, der Sammlung, der Aufarbeitung und Behandlung, der Verwertung sowie der Beseitigung von Abfällen zusammenhängen. Die zunehmende Verknappung an Ressourcen macht die Kreislaufwirtschaft zu einem maßgeblichen Element der Ressourcenwirtschaft und trägt zum Klimaschutz bei.

1 Definition, Aufgaben und Ziele

Die Abfallwirtschaft umfasst alle Aktivitäten und Erfordernisse, die mit der Entstehung, der Erfassung, der Sammlung und dem Transport, der Aufarbeitung und Behandlung, der Verwertung und der Beseitigung von Abfällen zusammenhängen. Da die Begrifflichkeit des Abfalls in großem Umfang von Wertvorstellungen geprägt wird, ist die Festlegung, ob ein Stoff oder Produkt Abfall ist, neben der gesetzlichen Definition immer auch subjektiv beeinflusst.

Bis in die 1970er Jahre war die Behandlung von Abfällen im Wesentlichen davon geleitet, seuchenhygienischen Gefahren zu begegnen. Ungeachtet dessen wird die ökonomisch getriebene Wiederverwendung bzw. Verwertung von Stoffen, sei es wegen ihres hohen Materialwertes oder sei es aufgrund von Mangelwirtschaft, schon seit Jahrtausenden realisiert (z. B. für Metalle, Steine, Glas, Holz, Lumpen, Papier, teilweise organische Abfälle) (vgl. Erhard 1954).

Mit der Entwicklung der modernen Konsumgesellschaft in den westlichen Industriestaaten in den vergangenen 50 Jahren, die mit starkem Wirtschaftswachstum und einem hohen Umsatz an Stoffen und Produkten einschließlich der Verpackungen verbunden war, stiegen zugleich die Abfallmengen drastisch an. Fehlende Entsorgungsmöglichkeiten, besonders in größeren Städten, und die Prognosen des Club of Rome im Jahr 1972, die die Grenzen des Wachstums aufzeigten (vgl. Meadows 1972), führten dazu, Abfallwirtschaft insbesondere auch unter dem Aspekt der Rückführung der im Abfall enthaltenen Stoffe in den Stoffkreislauf zu betreiben, was eine schrittweise Etablierung der getrennten Sammlung von trockenen Wertstoffen und Bioabfällen in den 1980er und 1990er Jahren zur Folge hatte. Die Abfallwirtschaft entwickelte sich zu einer Stoffstrom- und Kreislaufwirtschaft, die nicht nur „end of pipe“-Lösungsansätze verfolgt, sondern eine Maßnahme des vorsorgenden Umweltschutzes (▷ *Umweltpolitik*) darstellt. Hierbei ist zu beachten, dass aufgrund von Dissipationsverlusten, Schadstoffentfrachtung und begrenzter Erfassbarkeit eine hundertprozentige Kreislaufführung nicht möglich ist.

Eine wesentliche Anforderung an die Abfallwirtschaft, die auch in gesetzlichen Rahmenbedingungen Niederschlag gefunden hat, ist zudem, dass jede Generation ihre abfallwirtschaftlichen Probleme selbst zu lösen hat und nicht auf die nächste Generation übertragen sollte. Vor diesem Hintergrund sind daher die Abfälle in einen Zustand zu überführen, der gewährleistet, dass aus ihnen keine Altlasten entstehen, sie sich also weitgehend umweltneutral verhalten. Folglich ist in Deutschland die Deponierung von nicht vorbehandelten Siedlungsabfällen seit 2005 nicht mehr zugelassen (Deponieverordnung (DepV); BMUB 1993). Die EU-Deponierichtlinie (Richtlinie 1999/31/EG) folgt dieser Philosophie in modifizierter Weise.

Abfallwirtschaftliche Behandlungsverfahren haben auch die Aufgabe, eine Schadstoffentfrachtung zu erzielen (z. B. durch thermische Verfahren organische Schadstoffe zu zerstören), anorganische Schadstoffe aufzukonzentrieren (z. B. Schwermetalle) und von der Biosphäre fernzuhalten (z. B. durch unterirdische Ablagerung).

Seit den 1990er Jahren gewinnt die Abfallwirtschaft als Maßnahme zum ▷ *Klimaschutz* wachsende Bedeutung. Allein durch die Reduktion an Treibhausgasen aus Deponien hat die Abfallwirtschaft das Ziel der Emissionsminderung des nationalen Klimaschutzprogrammes (2000) erreicht und zu über einem Fünftel zur Gesamtreaktion an Treibhausgasen seit 1990 in Deutschland

beigetragen. Hinzu kommen Reduktionseffekte durch die Nutzung der in Abfällen enthaltenen Energie sowie die Energieeinsparung durch das Recycling (vgl. Dehoust/Wiegmann/Fritsche et al. 2005).

Die zunehmende Verknappung an Ressourcen, sei es aus Gründen der Reichweite, der regionalen oder unternehmerischen Konzentration oder deren Ersetzbarkeit, macht die Kreislaufwirtschaft zu einem maßgeblichen Element der Ressourcenwirtschaft. Besonders die Wiederverwertung der für eine Industriegesellschaft strategisch wichtigen Elemente, die für Hochtechnologieprodukte erforderlich sind, beispielsweise seltene Erden für die Elektronikindustrie, steht vermehrt im Fokus (► *Rohstoffsicherung*). Auch zur Verbesserung der Ressourceneffizienz durch Entkopplung des Rohstoffverbrauches von der Wohlfahrt kommt der Kreislaufwirtschaft eine tragende Rolle zu (vgl. SRU 2012: 73 ff.).

Im Zusammenhang mit dem weltweiten Wachstum von Bevölkerung und Wirtschaft ist langfristig die weitgehende Wiederverwertung aller in das System eingebrachter Stoffe anzustreben. Dies umfasst auch das „urban mining“ mit der Wiedernutzung der in anthropogenen Lagern (z. B. Infrastruktur, Deponien) vorhandenen Sekundärrohstoffe.

2 Abfallrecht

Mit dem im Jahr 2012 verabschiedeten Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) wurde die EU-Abfallrahmenrichtlinie (Richtlinie 2008/98/EG) in deutsches Abfallrecht umgesetzt. Das KrWG ist in neun Teile (plus vier Anlagen) gegliedert: (1) allgemeine Vorschriften, (2) die Grundsätze und Pflichten der Erzeuger und Besitzer von Abfällen sowie der öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger, (3) die Produktverantwortung, (4) die Planungsverantwortung, (5) die Absatzförderung und Abfallberatung, (6) die Entsorgungsfachbetriebe, (7) die Betriebsorganisation, (8) Betriebsbeauftragte für Abfall und Erleichterungen für auditierte Unternehmensstandorte sowie (9) allgemeine Schlussbestimmungen.

Der Abfallbegriff umfasst alle Stoffe oder Gegenstände, deren sich ihr Besitzer entledigt oder entledigen will (subjektiver Abfallbegriff) oder entledigen muss (objektiver Abfallbegriff), z. B. aus Gründen des Wohls der Allgemeinheit oder des Umweltschutzes. Es wird unterschieden in Abfälle zur Verwertung und zur Beseitigung. Zudem ist von Bedeutung, dass eine Vielzahl an Abfällen nicht dem Geltungsbereich des KrWG unterliegt; als wesentliche Beispiele sind u. a. tierische Nebenprodukte, Kernbrennstoffe, Fäkalien, Bergematerialien, Böden am Ursprungsort (in situ) und damit auch Altlasten, Kampfmittel oder auch Kohlenstoffdioxid (z. B. in Zusammenhang mit der unterirdischen CO₂-Speicherung) zu nennen.

Auf Grundlage der EU-Abfallrahmenrichtlinie wird eine fünfstufige Abfallhierarchie formuliert:

- 1) Vermeidung
- 2) Vorbereitung zur Wiederverwendung
- 3) Recycling
- 4) Sonstige Verwertung, insbesondere energetische Verwertung und Verfüllung
- 5) Beseitigung

Abfallwirtschaft, Kreislaufwirtschaft

Für die Abfallvermeidung ist gemäß EU-Abfallrahmenrichtlinie vorgesehen, Zielvorgaben für das Jahr 2020 zu formulieren und eine Entkopplung der Abfallmenge vom Wirtschaftswachstum zu erreichen. Für die Vorbereitung zur Wiederverwertung und das Recycling von Papier, Metall, Glas und Kunststoffen für Haushalts- und haushaltsähnliche Abfälle wird für 2020 eine Quote von 50 % gefordert (vgl. Richtlinie 2008/98/EG). Derzeit werden in der EU (Basis 2013) 31 % der Siedlungsabfälle deponiert, 25 % thermisch behandelt, 27 % stofflich recycelt und 15 % biologisch verwertet (kompostiert bzw. anaerob behandelt), 2 % werden nicht behandelt (vgl. Eurostat 2015). Auch wenn die Abfallvermeidung als oberste Stufe der Hierarchie genannt ist, so muss konstatiert werden, dass unter Zugrundelegung der Abfallmengen und der in Verkehr gebrachten Güter eine Vermeidung in relevanter Größenordnung nicht erkennbar ist. Durch ein Abfallvermeidungsprogramm sollen Maßnahmen zur Abfallvermeidung verstärkt werden (vgl. BMUB 2013).

Unter den Aspekten der Landesplanung (▷ *Landesplanung, Landesentwicklung*) und der Raumplanung kommt der Planungsverantwortung im Bereich der Kreislaufwirtschaft besondere Bedeutung zu. Abfallwirtschaftliche Maßnahmen sind hinsichtlich des Ortes der Abfallentstehung, der Logistik und der Standorte für Anlagen raumwirksam (▷ *Fachplanungen, raumwirksame*). Abfallwirtschaftspläne werden von den Ländern erstellt, während die Umsetzung auf Ebene der nach Landesrecht zur Entsorgung verpflichteten juristischen Personen (öffentlich-rechtliche Entsorgungsträger, i. d. R. Landkreise und kreisfreie Städte) erfolgt. Zur Erfüllung der Pflichten der Entsorgung können sich die öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger Dritter (z. B. der privaten Entsorgungswirtschaft) bedienen, was in der Praxis häufig der Fall ist. Erzeuger und Besitzer von Abfällen aus privaten Haushaltungen sind bis auf definierte Ausnahmen verpflichtet, diese Abfälle den öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträgern zu überlassen (§17 KrWG).

Die Erkundung und Ausweisung von Standorten für Abfallentsorgungsanlagen ist bei der Errichtung neuer Anlagen eine wesentliche Aufgabe. Voraussetzung im Hinblick auf die Anlagenakzeptanz ist das Vorliegen eines (integrierten) Abfallwirtschaftskonzeptes (s. auch § 21 KrWG), das die Notwendigkeit und Sinnhaftigkeit der Anlage nachvollziehbar macht bzw. begründet. Eine frühzeitige Einbindung aller Interessengruppen und Planungsakteure sowie ein transparenter Planungs- und Entscheidungsprozess ist hinsichtlich einer erfolgreichen Realisierung von Anlagen unabdingbar.

Für die Errichtung und den Betrieb von Abfallentsorgungsanlagen, die keine Deponien sind, ist eine Genehmigung gemäß Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) erforderlich (▷ *Immissionsschutz*). Für Deponien ist ein Planfeststellungsverfahren zwingend; hierbei ist auch eine ▷ *Umweltprüfung* durchzuführen.

3 Abfallmenge und Zusammensetzung

In Deutschland fallen pro Jahr ca. 344 Mio. Megagramm (Mg) Abfälle (ohne Abfälle aus Abfallbehandlungsanlagen) an. Dies entspricht einem einwohnerspezifischen Aufkommen von ca. 4,1 Mg für 2012. Den größten Anteil daran haben die Bau- und Abbruchabfälle mit ca. 60 %. Siedlungsabfälle haben einen Anteil von ca. 15 % am Nettoaufkommen. Die absoluten und einwohnerspezifischen Mengen sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Tabelle 1: Abfallaufkommen in Deutschland 2012

Abfallaufkommen in Deutschland 2012	1.000 Mg	kg/(E.a)*	%
Siedlungsabfälle	49.759	618	14,9
Abfälle aus dem Bergbau (nicht gefährliche Abfälle)	30.318	377	9,1
Abfälle aus Produktion und Gewerbe	54.218	673	16,3
Bau- und Abbruchabfälle (einschließlich Straßenaufbruch)	199.303	2.475	59,7
Nettoaufkommen:	333.598	4.143	100,0
Abfälle aus Abfallbehandlungsanlagen	46.978	583	
Bruttoaufkommen:	380.576	4.726	

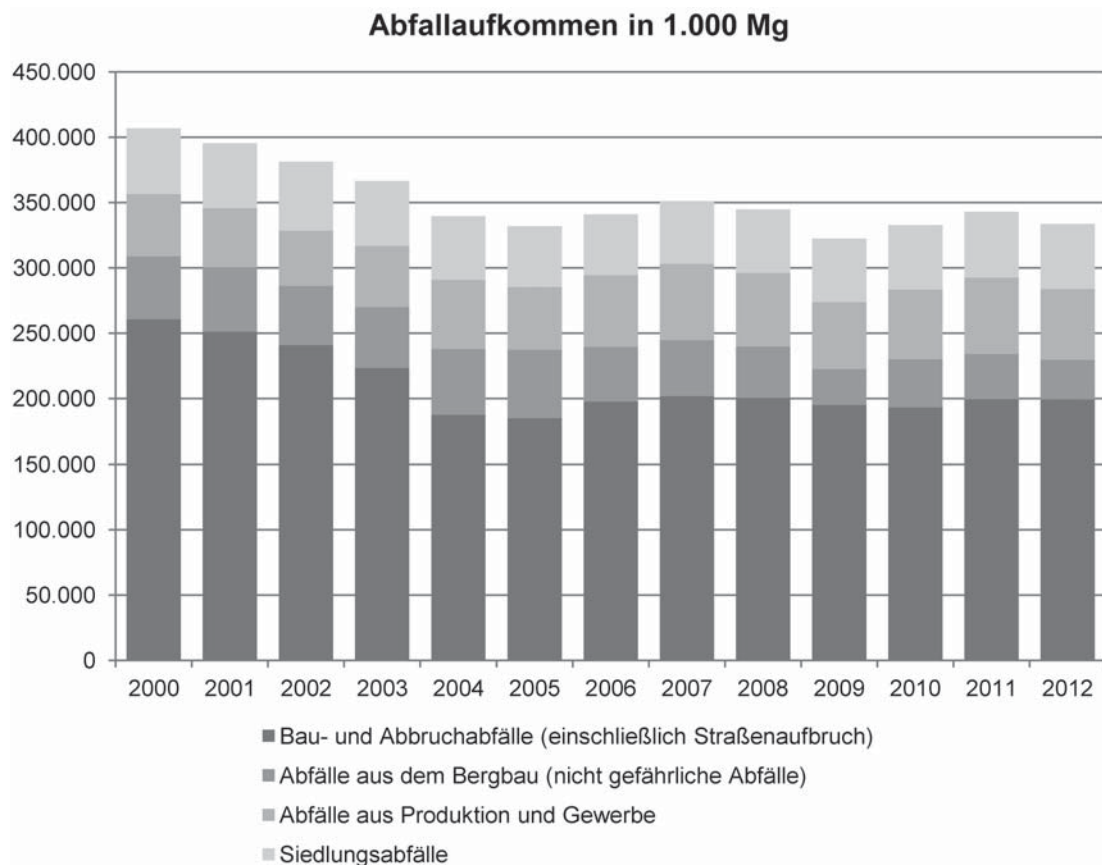
* Einwohnerzahl: 80.523.746 zum 31.12.2012 (Destatis 2013)

Quelle: Eigene Berechnungen auf Grundlage von UBA 2015

In der Abbildung 1 ist der zeitliche Verlauf des Abfallaufkommens von 2000 bis 2012 grafisch dargestellt. Die Abfallmenge nimmt bis 2005 ab und schwankt ab 2006 zwischen ca. 360 Mio. Mg und ca. 386 Mio. Mg. Die Abnahme bis 2005 ist u. a. durch eine veränderte Abfallzuordnung (z. B. Umstellung auf einen neuen Abfallartenkatalog) begründet. Der größte Rückgang findet sich im Bereich der Bau- und Abbruchabfälle. Bei den Siedlungsabfällen schwankt das Aufkommen zwischen ca. 46 Mio. Mg (2006) und ca. 53 Mio. Mg (2002). Seit 2007 liegt die Siedlungsabfallmenge relativ stabil zwischen ca. 48 Mio. Mg und ca. 50 Mio. Mg. Veränderungen im Abfallaufkommen sind neben den Änderungen in der statistischen Erfassung auch durch konjunkturelle Einflüsse bedingt.

Im Folgenden werden nur die haushaltstypischen Siedlungsabfälle (Abfälle aus Haushalten, Geschäften, Kleingewerbe) innerhalb der Siedlungsabfälle betrachtet (s. Tab. 2). In 2012 fielen hiervon in Deutschland ca. 36,7 Mio. Mg bzw. durchschnittlich 456 kg pro Einwohner und Jahr (kg/E.a) an. Das Aufkommen und die Zusammensetzung dieser Abfälle hängen jedoch von verschiedenen Parametern ab und weisen in Deutschland hohe Streubreiten auf. Als Parameter zu nennen sind u. a. die ländliche und städtische Siedlungsstruktur (*Siedlung/Siedlungsstruktur*) und die Bebauungsstruktur (z. B. ein bis zwei Wohnungen pro Gebäude, Großwohnanlagen). Besonders das Aufkommen von biologisch abbaubaren Abfällen, im Wesentlichen die Menge an Garten- und Parkabfällen, variiert innerhalb der Siedlungs- bzw. Bebauungsstrukturen. In Baden-Württemberg wurden zum Beispiel in den Stadt- und Landkreisen zwischen 22 und 241 Kilogramm pro Einwohner in 2012 getrennt gesammelt, was einem Durchschnittswert von 85 kg/E.a entspricht (vgl. UM Baden-Württemberg 2012). Daneben spielen abfallwirtschaftliche Rahmenbedingungen (Behältersystem, Gebühren, Abfuhrhythmus etc.) eine Rolle beim Aufkommen und bei der Zusammensetzung der Abfälle.

Abbildung 1: Abfallaufkommen in Deutschland in den Jahren 2000 bis 2012

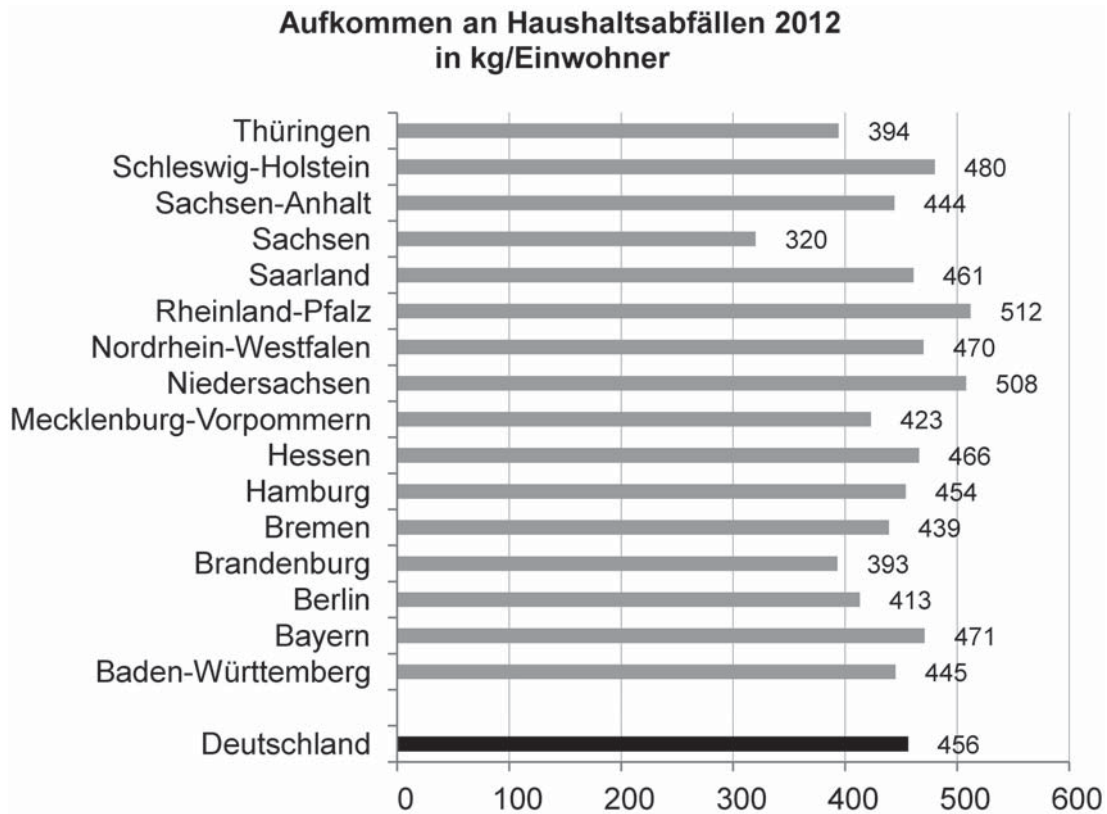


Quelle: UBA 2015

In der Abbildung 2 ist das Aufkommen an Haushaltsabfällen in den jeweiligen Bundesländern grafisch dargestellt. Die Spannweite reicht von 320 kg/E.a in Sachsen bis 512 kg/E.a in Rheinland-Pfalz. Worin der Unterschied von fast 200 kg/E.a tatsächlich begründet ist, von den oben genannten Einflussfaktoren (z. B. Siedlungsstruktur) von ökonomischen bzw. abfallwirtschaftlichen Rahmenbedingungen oder der statistischen Erhebung, ist nicht abschließend geklärt.

Von den durchschnittlich 456 kg/E.a wurden ca. 58 % getrennt gesammelt und einer Verwertung zugeführt. Dies sind im Wesentlichen Papier, Pappe, Kartonagen, Abfälle aus der Biotonne, Garten- und Parkabfälle sowie Leichtverpackungen inkl. Kunststoffen. Die absoluten und einwohnerspezifischen Abfallmengen sind, zusammen mit weiteren Fraktionen, in der Tabelle 2 zusammengestellt. Der verbleibende Rest von ca. 42 % (Hausmüll, Sperrmüll) wird der Restabfallbehandlung (thermisch, mechanisch-biologisch) zugeführt.

Abbildung 2: Aufkommen an Haushaltsabfällen in den Bundesländern



Quelle: Destatis 2014

Wie in Abbildung 2 dargestellt, variiert das Aufkommen an haushaltstypischen Siedlungsabfällen in Abhängigkeit von verschiedenen Parametern. Gleiches gilt für die Zusammensetzung der Abfälle. Neben der Siedlungs- und Bebauungsstruktur spielen hier vor allem abfallwirtschaftliche Rahmenbedingungen eine wichtige Rolle (z. B. Bring- Holsysteme, Gebührensatzung, Getrenntsammlungssystem). Im Folgenden wird am Beispiel des Resthausmülls (s. Tab. 2), welcher der Restabfallbehandlung zugeführt wird, die Abfallzusammensetzung aufgezeigt. Vom Umweltbundesamt wurde eine mittlere Restabfallzusammensetzung veröffentlicht, die auf einem Forschungsprojekt beruht, bei dem verschiedene Restabfallanalysen zusammengefasst wurden (vgl. UBA 2014). In Abbildung 3 sind exemplarisch die verschiedenen Stoffgruppen in Prozent dargestellt. Es ist dabei festzustellen, dass im Restabfall noch Wertstoffe enthalten sind, die zu einem gewissen Grad einer getrennten Sammlung zugeführt werden könnten. Den größten Anteil nehmen mit ca. 31 % die biologisch abbaubaren Fraktionen (Organik, Gartenabfälle) ein, gefolgt von der Fraktion Papier, Pappe, Kartonagen mit 21,5 %. Weitere Potenziale ergeben sich bei Kunststoffen, Glas und

Abfallwirtschaft, Kreislaufwirtschaft

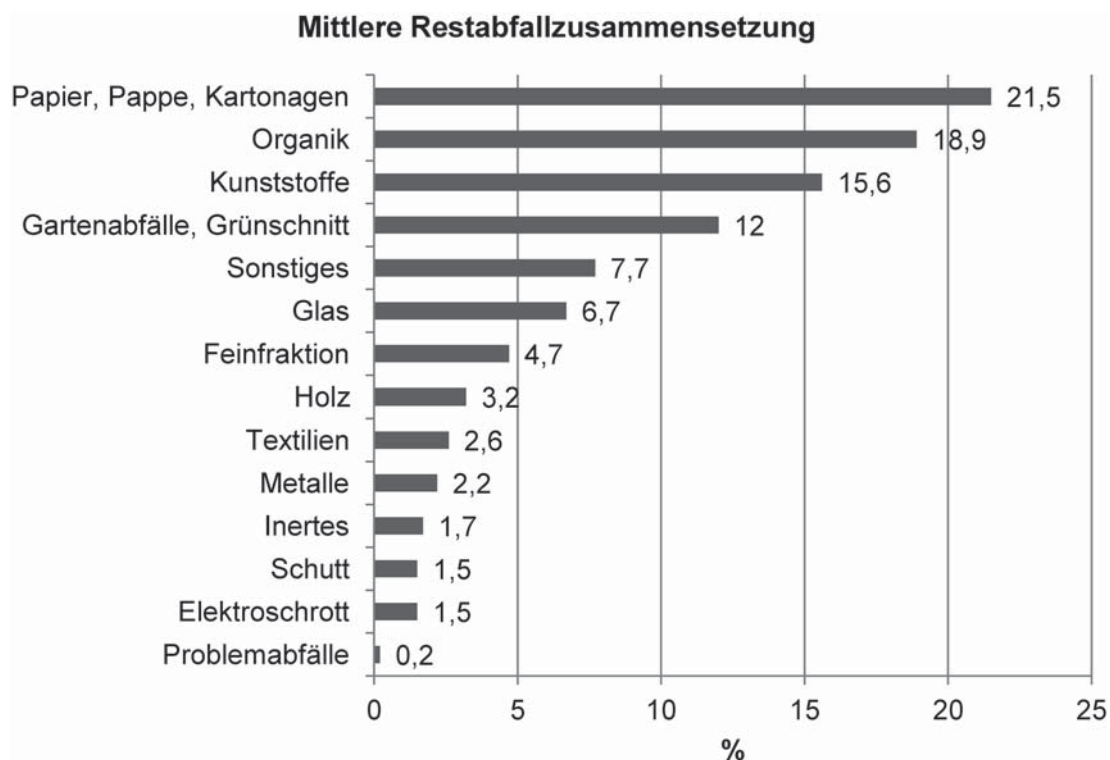
Metallen. Dies bedeutet, dass durch die Optimierung der Getrenntsammlensysteme mehr Wertstoffe der Verwertung – in den Kreislauf – zugeführt und die erforderlichen Restabfallbehandlungskapazitäten verringert werden könnten.

Tabelle 2: Aufkommen der Haushaltsabfälle in Deutschland 2012

Haushaltsabfälle 2012	Aufkommen an Haushaltsabfällen	
	1.000 t	kg/Einw.
Insgesamt	36.721,8	456
Haus- und Sperrmüll	15.573,1	193
Hausmüll	13.212,8	164
Sperrmüll	2.360,3	29
Getrennt erfasste organische Abfälle	9.095,5	113
Abfälle aus der Biotonne	4.358,5	54
Biologisch abbaubare Abfälle (Garten- und Parkabfälle)	4.737,0	59
Getrennt gesammelte Wertstoffe	11.917,9	148
Glas	1.908,8	24
Papier, Pappe, Karton (PPK)	5.837,8	72
Metalle	253,3	3
Holz	1.122,0	14
Kunststoffe	126,1	2
Textilien	100,0	1
Gemischte Wertstoffe/Verpackungen (inkl. Leichtverpackungen), Verbunde	2.570,0	32
Sonstige Abfälle (gefährliche und nicht gefährliche Abfälle)	135,3	2

Quelle: Destatis 2014

Abbildung 3: Mittlere Restabfallzusammensetzung



Quelle: UBA 2014; bearbeitet

4 Sammlung und Transport

Abfälle zur Verwertung und zur Beseitigung werden in normierten Müllbehältern direkt beim Bürger (Holsystem) oder über dezentrale Systeme wie Depotcontainer oder Recyclinghöfe (Bringsysteme) eingesammelt. Die Wertstoffe wie Altpapier, Altglas, Bioabfälle und Verkaufsverpackungen werden getrennt gesammelt, um eine hochwertige Verwertung zu garantieren. Für den Transport werden unterschiedliche Sammelfahrzeuge eingesetzt. In den ländlichen Räumen (*▷ Ländliche Räume*) kommen zunehmend Seitenladersysteme zum Einsatz. Gegenüber den konventionellen Heckladersystemen mit einem Fahrer und zwei Personen zum Entladen der Müllbehälter übernimmt der Fahrer des Seitenladersystems mithilfe eines automatischen Greifarms das Entleeren der Müllbehälter. Sperrmüll wird systemlos entweder zu vorgegebenen Abfuhrhythmen oder mehrheitlich auf Anforderung gesammelt.

5 Aufbereitung und Verwertung trockener Wertstoffe

Die getrennt gesammelten Wertstoffe müssen aufgrund von Verunreinigungen (Störstoffe) und/oder aufgrund des heterogenen Materialgemisches einer Sortierung unterzogen werden, um eine hochwertige Verwertung der unterschiedlichen Materialströme zu gewährleisten. Die im Gelben Sack oder der Gelben Tonne gesammelten Leichtverpackungen bestehen vornehmlich aus Metallen (z. B. Konservendosen), Kunststoffen (z. B. Folien, Joghurtbecher, Flaschen) und Materialverbunden (z. B. Milchtüten). In Sortieranlagen werden diese unterschiedlichen Materialien manuell (von Hand) bzw. durch vollautomatische Systeme separiert. Die Metalle werden mit Magnetscheidern (Fe-Metalle) und Wirbelstromscheidern (Nicht-Fe-Metalle) automatisch ausgelesen. Die Kunststoffe und Materialverbunde können aufgrund der unterschiedlichen Reflexionseigenschaften mit Nahinfrarotsystemen automatisch detektiert und mit Druckluftdüsen aus dem Materialstrom ausgeblasen werden. Dadurch können Monofractionen der unterschiedlichen Kunststoffarten (wie z. B. Polyethylen, Polypropylen etc.) erzeugt werden. Neben den genannten Systemen kommen Windsichter zur Abtrennung von Folien zum Einsatz. Die so erzeugten Sekundärrohstoffe (Papier, Metalle, Kunststoffe etc.) können dann der Verwertung zugeführt werden.

Durch das Schließen des Kreislaufs von der Produktion über den Konsum, der Aufbereitung sowie der Bereitstellung der Sekundärrohstoffe für die Produktion ergibt sich eine Reihe von Vorteilen. Zunächst werden Primärrohstoffe durch recycelte Abfallwertstoffe ersetzt, wodurch der Ressourcenverbrauch gesenkt wird. Daneben ergeben sich positive Effekte hinsichtlich des Energieeinsatzes und des Wasserverbrauchs. Des Weiteren entstehen bei der Verwertung von Abfällen weniger Treibhausgasemissionen als bei der Verwendung von Primärrohstoffen. So entstehen bei der Produktion von 1 Mg Aluminium aus Primärrohstoffen ca. 11 Mg CO₂-Äquivalente, beim Einsatz von Aluminiumabfällen jedoch nur ca. 1 Mg CO₂-Äquivalente (vgl. Fraunhofer UMSICHT 2008).

6 Biologische Behandlung zur Verwertung

Ein großer Teil der Abfälle aus Haushalten besteht aus biologisch abbaubaren Anteilen (ca. 30 bis 40 %). Küchenabfälle (Reste aus der Zubereitung von Speisen, Lebensmittelabfälle etc.) und Grünabfälle (Topfpflanzen, Strauchschnitt, Gras etc.) werden über die Biotonne der Verwertung zugeführt. Daneben werden Garten- und Parkabfälle getrennt erfasst. Bei der Verwertung von Bioabfällen wird zwischen der aeroben (Kompostierung) und der anaeroben (Vergärung) Behandlung unterschieden. Bei der Kompostierung erfolgt der Ab- bzw. Umbau der Biomasse durch Mikroorganismen mit freiem Luftsauerstoff. Als Produkt wird ein Kompost erzeugt, der als Sekundärrohstoffdünger und Bodenverbesserer u. a. in der Landwirtschaft und im Garten- und Landschaftsbau eingesetzt wird. Die Kompostierung kann in einfachen offenen Mieten (Freiland), gekapselten Systemen (Boxen, Container) oder in geschlossenen Verfahren (Halle) wie z. B. Tafelmieten mit automatischen Umsetzgeräten stattfinden. Durch das Umsetzen bzw. Durchmischen der Bioabfälle sowie das Belüften wird eine optimale Zufuhr von Sauerstoff erreicht. Durch Bewässerung kann der für den Prozess erforderliche Wassergehalt eingestellt werden. Infolge der im Rotteprozess

auftretenden Temperaturen kann eine Hygienisierung erzielt werden. Der Kompostierung sind mechanische Aufbereitungsschritte wie Siebung, Zerkleinerung, manuelle Störstoffentnahme, Magnetscheidung und Sichtung vor- bzw. nachgeschaltet. Je nach eingesetztem Verfahren und Qualität der Komposte beträgt die Behandlungsdauer zwischen zwei und zwölf Wochen.

Die Vergärung von Bioabfällen geschieht ohne freien Sauerstoff. Beim anaeroben Abbau entsteht durch Mikroorganismen Biogas (Methan und Kohlenstoffdioxid). Bei Vergärungsanlagen kommen unterschiedliche Systeme zum Einsatz. Je nach Feststoffgehalt wird zwischen „nassen“ (5 bis 15 % Trockenmasse) und „trockenen“ (20 bis 40 % Trockenmasse) Verfahren unterschieden. Die Betriebstemperatur liegt im mesophilen (30 bis 37 °C) oder thermophilen (50 bis 55 °C) Bereich. Weitere Unterscheidungsmerkmale sind die Prozessführung (einstufig, mehrstufig), die Betriebsweise (diskontinuierlich, kontinuierlich) und die Art der Durchmischung. Das Gärprodukt kann bei thermophilen Systemen direkt als Sekundärrohstoffdünger genutzt werden. Bei mesophilen Systemen muss es zur Gewährleistung der Hygienisierung nachkompostiert werden. Das Biogas kann in Strom und Wärme umgewandelt (z. B. Blockheizkraftwerk) oder ins Gasnetz (nach Aufbereitung) eingespeist bzw. als Treibstoff verwendet werden.

Im Sinne der Effizienzsteigerung bei der biologischen Behandlung wird zunehmend eine Kombination von Vergärung und Kompostierung der Gärprodukte (z. B. mit Grünabfällen) eingesetzt. Im Jahr 2012 wurden in Deutschland ca. 3,9 Mio. Mg Bioabfälle über die Biotonne erfasst und der Kompostierung bzw. Vergärung zugeführt. Zusätzlich wurden ca. 5,3 Mio. Mg biologisch abbaubare Garten- und Parkabfälle verwertet.

7 Behandlung und Beseitigung

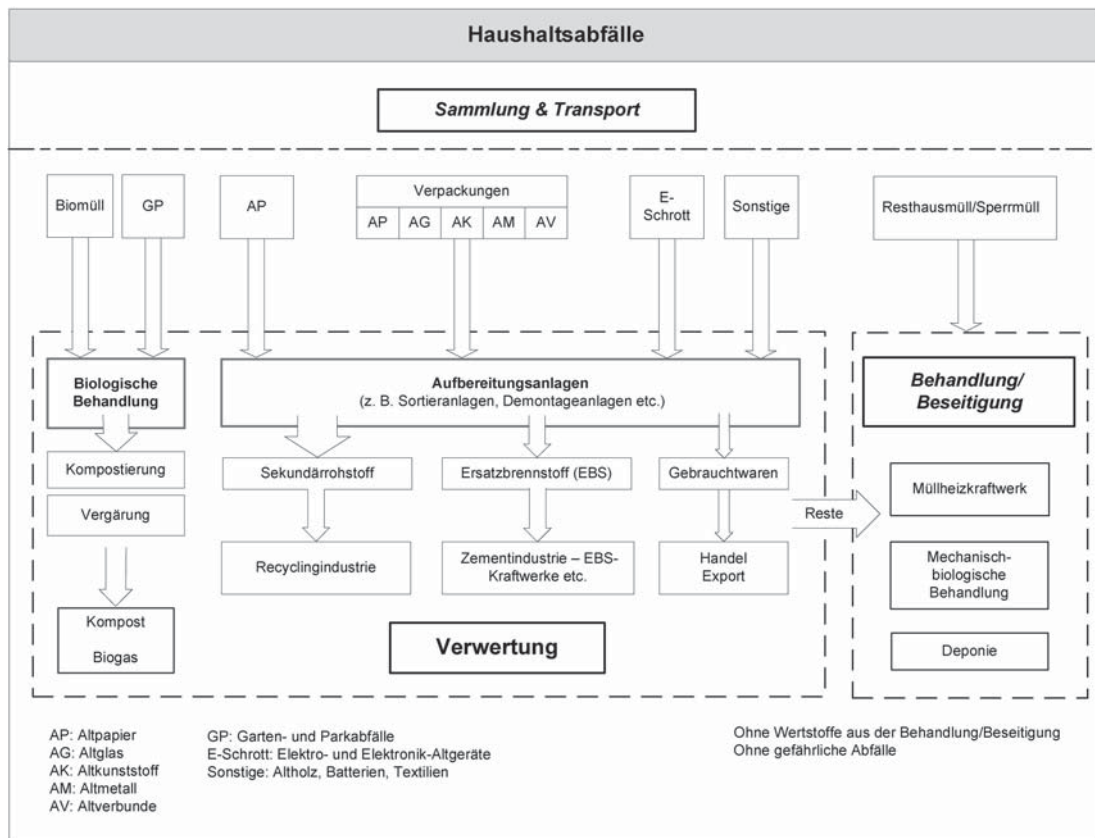
Seit dem 1. Juni 2005 ist die Ablagerung von unbehandelten Abfällen in Deutschland verboten. Ziel des Deponieverbotes ist es, die Auswirkungen hinsichtlich der Emissionen von Deponiegas und Deponiesickerwasser zu minimieren. Die aufgrund dessen erfolgende Behandlung der nicht stofflich verwerteten Siedlungsabfälle (Restabfälle) erfolgt in thermischen bzw. in mechanisch-biologischen Abfallbehandlungsanlagen.

Bei der thermischen Restabfallbehandlung – umgangssprachlich Müllheizkraftwerk (MHKW) – werden die Restabfälle bei Temperaturen von ca. 1.000 °C auf einem Rost verbrannt. Hierbei werden verschiedene Rostsysteme eingesetzt. Müllheizkraftwerke bestehen prinzipiell aus verschiedenen verfahrenstechnischen Bereichen: dem Bunker, in dem die Abfälle zwischengelagert werden, der eigentlichen Verbrennungslinie und der Abgasreinigung. Die beim Verbrennungsprozess entstehenden Gase werden in der Nachbrennkammer bei 850 °C nachverbrannt. Der Energieinhalt der Abgase wird im Kesselbereich zur Dampferzeugung (Wärme und Strom) genutzt. Der Abluftstrom wird danach dem verfahrenstechnisch aufwendigsten und kostenintensivsten Teil in Form der Rauchgasreinigung zugeführt. Hier werden schädliche Abgasinhaltsstoffe (z. B. Stickoxide, SO₂, HCL, HF) sowie anorganische (z. B. Schwermetalle) und organische Schadstoffe (wie z. B. Dioxine und Furane) entfernt. Die gereinigten Rauchgase werden anschließend über einen Schornstein abgeführt. Bei der Verbrennung entstehen feste Output-Ströme. Dies sind u. a.

Abfallwirtschaft, Kreislaufwirtschaft

Müllverbrennungsschlacken, Aschen und Filterstäube sowie Reststoffe aus der weitergehenden Rauchgasreinigung. Im Jahr 2013 waren 68 Müllheizkraftwerke mit einer Behandlungskapazität von ca. 19,6 Mio. Mg in Betrieb (vgl. Alwast 2014).

Abbildung 4: Vereinfachte Übersicht der Verwertung und Beseitigung der Haushaltsabfälle in Deutschland



Quelle: Eigene Darstellung

Eine weitere Methode zur Vorbehandlung ist die mechanisch-biologische Abfallbehandlung (MBA). Hierbei kommen verschiedene verfahrenstechnische Konzeptionen zum Einsatz. Prinzipiell besteht eine MBA aus mehreren mechanischen Stufen und einer biologischen Stufe. In den vor- bzw. nachgeschalteten mechanischen Stufen (Grob- und Feinaufbereitung) werden die Restabfälle durch Siebung, Zerkleinerung, Metallscheidung etc. so konditioniert, dass zum einen Wertstoffe ausgeschleust werden können und zum anderen eine heizwertreiche Fraktion als Sekundär- bzw. Ersatzbrennstoff (u. a. Kunststoffe) erzeugt wird. Diese Brennstoffe werden zur energetischen Verwertung u. a. in Ersatzbrennstoffkraftwerken oder Zementwerken eingesetzt. Des Weiteren wird ein Stoffstrom erzeugt, in dem die biologisch abbaubaren Fraktionen angereichert sind und der einer biologischen Behandlung zugeführt wird. Diese kann als aerobe (Rotte) oder

anaerobe (Vergärung) Stufe ausgeführt sein. Der Output kann bei Einhaltung der gesetzlichen Grenzwerte auf Siedlungsabfalldeponien abgelagert oder energetisch genutzt werden. Bei den anaeroben Verfahren entsteht zusätzlich Biogas, das energetisch verwertet werden kann. Im Jahr 2013 standen für die mechanisch-biologische Abfallbehandlung 61 Anlagen mit einer Behandlungskapazität von 6,1 Mio. Mg zur Verfügung (vgl. Alwast 2014).

Es können nur solche Siedlungsabfälle auf Deponien abgelagert werden, die den Kriterien der Deponieverordnung genügen. Dies hat dazu geführt, dass die überwiegende Zahl an Siedlungsabfalldeponien zwischenzeitlich stillgelegt wurde und sich in der Nachsorgephase befindet. Die Entlassung aus der Nachsorge kann erst dann erfolgen, wenn die Emissionen (besonders Sickerwasser und Deponiegas) auf ein umweltverträgliches Maß abgesunken sind. Es ist davon auszugehen, dass dieser Zeitraum über 100 Jahre andauern kann.

Die oben beschriebenen Elemente der Kreislaufwirtschaft, der Sammlung und des Transports der Abfälle, die Verwertung der getrennt gesammelten Wertstoffe, die Behandlung der nicht verwerteten Restabfälle bis zur Beseitigung der Reststoffe auf Deponien sind in vereinfachter Form in der Abbildung 4 als Übersicht grafisch zusammengefasst.

8 Fazit

Auf Ebene der EU werden in naher Zukunft die Reduktion der auf Deponien verbrachten organischen Abfälle und das Recycling von Stoffen die wichtigsten Aufgaben auf dem Gebiet der Kreislaufwirtschaft darstellen. Die Anforderungen zur Abfallvermeidung und Produktverantwortung werden zunehmend auch Einfluss auf die Produktion und Rücknahmeverpflichtungen durch Handel und Industrie nehmen. Beispiele auf Ebene der Hersteller und Nutzer sind veränderte Produktgestaltung (Recyclingfähigkeit, Innovationsoffenheit, Langlebigkeit), neue Nutzungssysteme (Sharing, Leasing) und technologieorientierte Ansätze (Multifunktionalität, Materialsubstitution) (vgl. SRU 2012: 73 ff.; Seelig/Stein/Zeller et al. 2015).

Die demografische Entwicklung wird mittel- und langfristig deutliche Auswirkungen auf die Abfallwirtschaft haben. So wird bei zurückgehender Bevölkerungszahl unter Ansatz eines konstanten spezifischen Abfallanfalls die absolute Abfallmenge abnehmen. Hierbei werden regional große Unterschiede auftreten, die auf eine demografisch bedingte Mengenentwicklung zwischen -42 % und +19 % geschätzt werden. Dies wird in Regionen mit abnehmender Bevölkerungszahl aufgrund hoher Fixkostenanteile zu höheren spezifischen Entsorgungskosten und damit höheren Gebühren führen. Gleichzeitig werden Anlagenkapazitäten ggf. frei, was eine Unterauslastung und Veränderung der Einzugsgebiete von Anlagen zur Folge haben kann. Aufgrund der Veränderung in der Altersstruktur und den Lebensgewohnheiten wird die Größe der Haushalte weiter abnehmen, was mit einer Zunahme der spezifischen Abfallmenge verbunden ist. Auch ist zu erwarten, dass sich altersbedingt die Konsumgewohnheiten ändern und damit die Abfallmenge beeinflusst wird (vgl. Hoffmeister/Timpe 2013).

Abfallmenge und -zusammensetzung werden ebenfalls in starkem Maße von den gesetzlichen Rahmenbedingungen und dem Verbraucherverhalten (Produktverantwortung und Rücknahmeverpflichtungen, Nutzung von Leasingssystemen, Verwendung des Einkommens für materielle bzw. immaterielle Güter u. Ä.) beeinflusst werden.

Abfallwirtschaft, Kreislaufwirtschaft

Kreislaufwirtschaft wird auch zukünftig einen relevanten Beitrag zur Energiewende leisten können. Neben der Reduzierung treibhausgasrelevanter Emissionen (besonders aus Deponien) stehen die Substitution von Primärrohstoffen durch stoffliche Verwertung und die hierdurch eingesparte Energie sowie die Substitution von Primärenergieträgern im Vordergrund. Hierzu gehört insbesondere auch die Nutzung biogener Abfälle (u. a. Biogas, Kraftstofferzeugung), die Herstellung und Nutzung von Ersatzbrennstoffen, Verbesserungen der Energieeffizienz bei Abfallverbrennungsanlagen durch Kraft-Wärme-Kopplung und die weitestgehende Verwertung der Eisen- und Nichteisenmetalle (vgl. Berlo/März/Wagner 2013). Im Hinblick auf die Kaskadennutzung sollte die stoffliche Verwertung vor der energetischen Nutzung stehen.

Generell wird die Kreislaufwirtschaft hinsichtlich Ressourceneffizienz und Rohstoffsicherung zunehmend an Bedeutung gewinnen. Dies betrifft neben den konventionellen Wertstoffen und organischen Abfällen speziell auch die strategisch wichtigen Elemente (Beispiele: Seltenerdmetalle), da deren Recyclingquoten bis dato mehrheitlich bei null oder im einstelligen Bereich liegen. Durch „urban mining“, die Nutzung anthropogener Lager (Infrastruktur, Deponien), sind Primärressourcen zu substituieren.

Literatur

- Alwast, H. (2014): Abfallwirtschaft im Gleichgewicht? Entwicklung von Restabfallmengen und die künftig notwendigen Behandlungskapazitäten in Deutschland. http://www.prognos.com/uploads/tx_atwpubdb/140508_HAL_IFAT-Vortrag.pdf (23.03.2015).
- Berlo, K.; März, S.; Wagner, O. (2013): Kommunale Abfallwirtschaft als Energiewendeakteur. In: *Raumplanung* (166), 19-24.
- BMUB – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (Hrsg.) (1993): TA Siedlungsabfall: Technische Anleitung zur Verwertung, Behandlung und sonstigen Entsorgung von Siedlungsabfällen. = Dritte allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz vom 14. Mai 1993. http://www.bmub.bund.de/fileadmin/bmu-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/tasi_ges.pdf (27.04.2015).
- BMUB – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (Hrsg.) (2013): Abfallvermeidungsprogramm des Bundes vom 31.07.2013. <http://www.bmub.bund.de/service/publikationen/downloads/details/artikel/abfallvermeidungsprogramm/> (26.08.2015).
- Dehoust, G.; Wiegmann, K.; Fritsche, U.; Stahl, H.; Jenseit, W.; Herold, A.; Cames, M.; Gebhardt, P. (2005): Statusbericht zum Beitrag der Abfallwirtschaft zum Klimaschutz und mögliche Potentiale. <http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/3006.pdf> (27.04.2015).
- Destatis – Statistisches Bundesamt (Hrsg.) (2013): 80,5 Millionen Einwohner am Jahresende 2012 – Bevölkerungszunahme durch hohe Zuwanderung. https://www.destatis.de/DE/PresseService/Presse/Pressemitteilungen/2013/08/PD13_283_12411.html (23.03.2015).
- Destatis – Statistisches Bundesamt (Hrsg.) (2014): Abfallentsorgung 2012. = Fachserie 19 Reihe 1. https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/UmweltstatistischeErhebungen/Abfallwirtschaft/Abfallentsorgung2190100127004.pdf?__blob=publicationFile (24.09.2015).

- Erhard, H. (1954): Aus der Geschichte der Städtereinigung. Stuttgart/Köln.
- Eurostat – Statistisches Amt der Europäischen Union (Hrsg.) (2015): Municipal waste generation and treatment, by type of treatment method. <http://ec.europa.eu/eurostat/web/waste/key-waste-streams> (31.08.2015).
- Fraunhofer UMSICHT – Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik (Hrsg.) (2008): Recycling für den Klimaschutz. Ergebnisse der Studie von Fraunhofer UMSICHT und INTERSEROH zur CO₂-Einsparung durch den Einsatz von Sekundärrohstoffen. http://www.upj.de/fileadmin/user_upload/MAIN-dateien/Aktuelles/Nachrichten/interseroh_studie_2008.pdf (24.03.2015).
- Hoffmeister, J.; Timpe, P. (2013): Auswirkungen des demografischen Wandels auf das regionale Abfallaufkommen. In: Raumplanung (166), 9-13.
- Meadows, D. (1972): Die Grenzen des Wachstums. Stuttgart.
- Seelig, J.; Stein, T.; Zeller, T.; Faulstich, M. (2015): Möglichkeiten und Grenzen des Recycling. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Goldmann, D. (Hrsg.): Recycling und Rohstoffe, Band 8. Neuruppin, 55-70.
- SRU – Sachverständigenrat für Umweltfragen (Hrsg.) (2012): Umweltgutachten 2012: Verantwortung in einer begrenzten Welt. Berlin.
- UBA – Umweltbundesamt (Hrsg.) (2014): Ratgeber Abfälle im Haushalt: Vermeiden, Trennen, Verwerten. <http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/ratgeber-abfaelle-im-haushalt>. (24.09.2015).
- UBA – Umweltbundesamt (Hrsg.) (2015): Abfallaufkommen – Deutschlands Abfall. <http://www.umweltbundesamt.de/daten/abfall-kreislaufwirtschaft/abfallaufkommen> (24.09.2015).
- UM Baden-Württemberg – Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg (Hrsg.) (2012): Abfallbilanz 2012.. https://um.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-um/intern/Dateien/Dokumente/2_Presse_und_Service/Publikationen/Umwelt/Abfallbilanz_2012_1_.pdf (23.09.2015).

Weiterführende Literatur

- Bilitewski, B.; Härdtle, G. (2013): Abfallwirtschaft: Handbuch für Praxis und Lehre. Berlin/Heidelberg.
- Bilitewski, B.; Quicker, P.; Schnurer, H.; Zeschmar-Lahl, B. (2013): Müll-Handbuch: Sammlung und Transport, Behandlung und Ablagerung sowie Vermeidung und Verwertung von Abfällen. Berlin.
- Kranert, M. (Hrsg.) (2010): Einführung in die Abfallwirtschaft. Wiesbaden.

Bearbeitungsstand: 12/2017