

Recycling-Quotenzauber – Schaffen wir in Deutschland die europäischen Recyclingziele?

Thomas Obermeier und Sylvia Lehmann

1.	Ausgangslage.....	60
2.	Output-basierter Ansatz zur Ermittlung der Recyclingquote.....	61
3.	Abfallwirtschaftspaket und neue Berechnungsmethode der Recyclingquote	66
4.	Abschätzung der Recyclingquote mit der Berechnungsmethode der EU-Kommission.....	70
5.	Maßnahmen zur Erreichung der Recyclingziele.....	74
6.	Fazit.....	76
7.	Quellen	77

Bereits nach Vorliegen statistischer Daten der Abfallmengen 2012 hat die DGAW darauf verwiesen, dass nicht über 60 %, wie die offizielle Statistik erklärt, sondern unter 40 % der Siedlungsabfälle tatsächlich recycelt, also als Sekundärwertstoff der Wirtschaft oder Landwirtschaft wieder zugeführt werden.

Seit Juli 2017 sind die statistischen Zahlen für die Bundesrepublik von 2015 veröffentlicht und das Trilog-Verfahren zwischen EU-Kommission, Parlament und Rat in Brüssel zum Abfallpaket und den Quoten ist in vollem Gange. Deutschland bringt eigene Ideen zur Berechnung ein.

Wo stehen wir wirklich auf Basis der neuesten verfügbaren Zahlen?

Die Autoren haben die veröffentlichten Zahlen von 2015 ausgewertet und die von der EU-Kommission vorgeschlagenen Berechnungsgrundlagen für das Recycling im Rahmen des Kreislaufwirtschaftspaketes vom Dezember 2015 angesetzt.

Das Ergebnis ist desillusionierend. Auch im Jahr 2015 werden nur 36 bis 40 % und nicht – wie die Statistik glauben machen will – 67 % tatsächlich recycelt.

Nach der neuen EU-Berechnungsmethode sind es etwa 47 % bis 52 %.

Die Recyclingziele der Trilog-Verhandlungspartner für die Jahre 2025 und 2030 sind unterschiedlich ambitioniert. Nach dem Ansatz des EU-Parlamentes sollen erst 60 % und dann 70 %, nach Ansicht der EU-Kommission erst 60 %, dann 65 % und nach Meinung der Europäischen Rates erst 50 % und dann 60 % der Siedlungsabfälle einem finalen Recyclingprozess zugeführt werden.

Nur bei dem Vorschlag des Rates könnte Deutschland gegebenenfalls die Vorgaben für 2025 annähernd erreichen, sofern die Gewerbeabfallverordnung wirklich greift, ansonsten ist auch Deutschland noch meilenweit davon entfernt.

1. Ausgangslage

Mit einer deklarierten Recyclingquote von 67 % der Massen (Gewichte) der gesamten Siedlungsabfallmengen im Jahr 2015 werden die EU-Vorgaben der Abfallrahmenrichtlinie 2008/98/EC [4], die in Artikel 11

eine Recyclingquote von 50 Gewichtsprozent für mindestens Papier, Metall, Kunststoff und Glas aus Haushalten und gegebenenfalls aus anderen Quellen, soweit die betreffenden Abfallströme Haushaltsabfällen ähnlich sind,

vorsieht, in Deutschland deutlich übertroffen. Die im Kreislaufwirtschaftsgesetz [23] für 2020 angestrebte Recyclingquote von 65 % der Siedlungsabfallmengen wurde bereits ebenfalls übertroffen. In Realiter werden dem Wirtschaftskreislauf wesentlich weniger Sekundärrohstoffe zugeführt.

Zur Ermittlung der Recyclingquote sind bisher 4 Methoden zulässig, wobei die Methoden 1 und 2 für bestimmte getrennt erfasste Abfallfraktionen Anwendung finden und die Methoden 3 und 4 für die Summe der Haushaltsabfälle bzw. der Siedlungsabfälle (Bild 1).

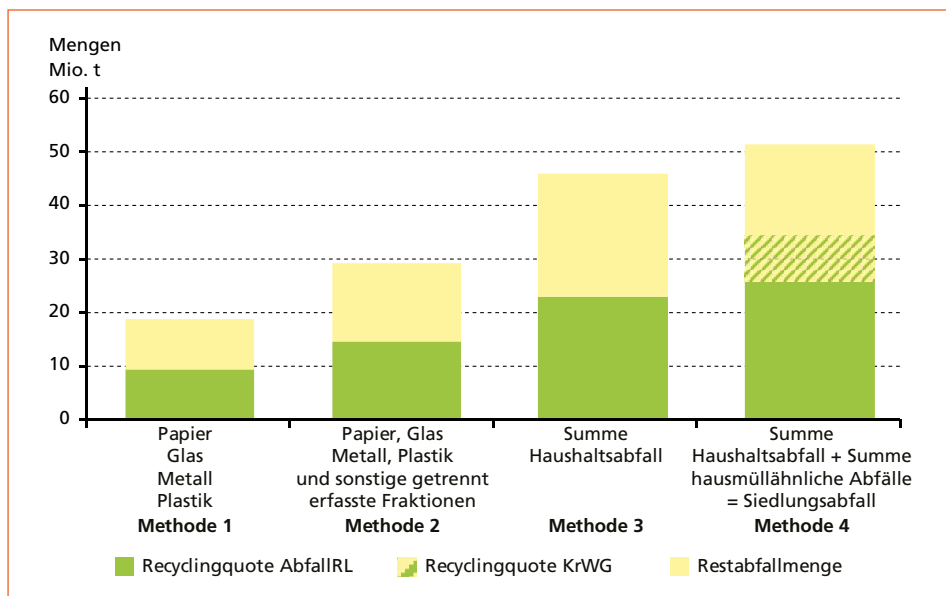


Bild 1: Zulässige Methoden zur Bestimmung der Recyclingquote entsprechend der Vorgaben der Abfallrahmenrichtlinie 2008/98/EC am Beispiel der Siedlungsabfallmengen 2015

Quellen:

Abfallbilanz, Umwelt Abfallbilanz 2015, Statistisches Bundesamt, Wiesbaden 2017

Kommissionsbeschluss: Beschluss der Kommission vom 18. November 2011 mit Vorschriften und Berechnungsmethoden für die Überprüfung der Einhaltung der Zielvorgaben gemäß Artikel 11 Absatz 2 der Richtlinie 2008/98/EG des Europäischen Parlaments und des Rates

Deutschland setzt die Methode 4 entsprechend KrWG [23] ein.

Die Festlegung, welche Verfahren als Vorbereitung zur Wiederverwendung bzw. als Recycling gelten, erfolgt unter Beachtung der Definition des Recyclings:

...jedes Verwertungsverfahren, durch das Abfälle zu Erzeugnissen, Materialien oder Stoffen entweder für den ursprünglichen Zweck oder für andere Zwecke aufbereitet werden; es schließt die Aufbereitung organischer Materialien ein, nicht aber die energetische Verwertung und die Aufbereitung zu Materialien, die für die Verwendung als Brennstoff oder zur Verfüllung bestimmt sind (KrWG §3 [23]).

Das statistische Bundesamt fasst unter dem Oberbegriff *Behandlung und Stoffliche Verwertung* alle R 2 bis R 13 Verfahren zusammen. Die Summe des Inputs in diese Anlagen und Verfahren wird dem Gesamtsiedlungsabfall gegenüber gestellt und so für das Jahr 2015 eine Recyclingquote von 67 % angegeben.

2. Output-basierter Ansatz zur Ermittlung der Recyclingquote

In Wahrheit wird mit dieser statistischen Größe und mit der Wahl der Grundgesamtheit Siedlungsabfall jedoch geblendet. Abhängig vom Einsatzmaterial und Anlagentyp der als R2 bis R13 klassifizierten Verfahren betragen die tatsächlich stofflich verwerteten Mengen nur zwischen 10 % und 90 % des Inputs. Zur Ermittlung der tatsächlichen Recyclingquote für das Jahr 2015 werden die stofflich verwerteten Mengen anhand einer Input-Outputanalyse von Anlagendaten von Destatis bzw. anhand von aktuellen Veröffentlichungen zu Abfallarten bzw. Abfallbehandlungsanlagen ermittelt.

Bei den getrennt gesammelten Fraktionen werden aus Altpapier in den Altpapiersortieranlagen 87%, bei der Altglasaufbereitung 89 %, in Sortieranlagen u.a. Anlagen für Kunststoffe, LVP zu 50 %, Metalle zu 93 % und Holz zu 27 % stofflich verwertet, Daten für Verpackungsabfälle UBA 64/2016 [26]. Andere Quellen gehen für Sortieranlagen für Kunststoffe und LVP von einer Verwertungsquote von 20 % [17] bzw. 30 % [6] aus.

In der Abfallbilanz 2015 werden unter Sonstiges (Verbunde, Textilien, Metalle) verschiedene getrennt gesammelte Fraktionen zusammengefasst. Die Recyclingquote für die Sammelposition wird anhand der prozentualen Anteile der Einzelfraktionen am Input in die Sortieranlagen und deren jeweiligen Recyclingquoten ermittelt (Tabelle 1).

Damit liegt der Anteil der stofflichen Verwertung für die Sammelposition *Sonstiges (Verbunde, Textilien, Metalle...)* insgesamt bei 56 %.

Getrennt gesammelte Bio- und Grünabfälle werden in Kompostwerken und in Vergärungsanlagen behandelt. Die Input-/Outputanalyse bei den verschiedenen Anlagentypen für das Jahr 2015 [3] zeigt, dass Bioabfallkompostierungsanlagen 45 % und Grünabfallkompostierungsanlagen 60 % des Inputs als Produkte bzw. Sekundärstoffe abgeben, davon 97 % bzw. 83 % als Kompost, welcher wieder dem Bodenkreislauf zur Verfügung gestellt wird. Der Rest wird biologisch abgebaut, Wasser verdampft oder ein geringer Störstoffanteil energetisch verwertet. Das gleiche gilt grundsätzlich auch für Vergärungsanlagen, hier werden 79 % stofflich verwertet, davon 80 % als Gärrückstände, welche überwiegend in der Landwirtschaft zur Bodenverbesserung eingesetzt werden sowie 10 % Kompost.

Tabelle 1: Ermittlung der stofflichen Verwertung (Recyclingquote) der getrennt gesammelten Position Sonstiges (Verbunde, Textilien, Metalle) der Abfallbilanz 2015, anhand der Recyclingquoten der Einzelfractionen und der prozentualen Zusammensetzung des Inputs von Sortieranlagen

Sonstiges (Verbunde, Textilien, Metalle, usw.)	AVV	Input	Anteil am Input	Recyclingquote, Einzelstoffe [Korolkow, Schüler, TOMM+C]	Anteilige Recyclingquote am Input
		1.000 t	%	%	%
Verbundverpackungen	150105	10,8	2	76	2
Textilien	150109, 200110, 200111	244,5	47	80	38
Metalle	200140, 150104	28,5	5	93	5
Holz	200138, 150103	221,8	43	27	11
Sonstiges (Gefährliche Abfälle, usw.)	200113*, 200114*, 200115*, 200399, 200117*, 200119*, 200127*, 200128, 200132, 200133*, 200134	15,9	3	10	0
Sonstiges, gesamt		521,5	100	Recyclingquote, Sonstiges	56

Quellen:

Abfallbilanz, Umwelt Abfallbilanz 2015, Statistisches Bundesamt, Wiesbaden 2017

Abfallentsorgung 2015, Fachreihe 19 Reihe 1, Wiesbaden: Statistisches Bundesamt, 2017

Korolkow, J.: Konsum, Bedarf und Wiederverwendung von Bekleidung und Textilien in Deutschland, bvse, 2015

Schüler, K.: Aufkommen und Verwertung von Verpackungsabfällen in Deutschland in Jahr 2014, UBA-Texte 64/2016

TOMM+C: Recyclingquote, eigene Schätzung

Die Recyclingquote für Bioabfall und Grünabfall wird entsprechend ihres Mengenanteils, welcher in Kompostierungs- bzw. Vergärungsanlagen behandelt wird, anteilig berechnet. Im Handbuch der Bioabfallbehandlung [25] wird angegeben, dass 31 % des Inputs in Vergärungsanlagen auf Bioabfälle und <10 % auf Grünabfälle entfallen (Daten von 2009). Mit Hilfe dieser Angaben und dem Input der Bio- und Grünabfälle in Biologische Behandlungsanlagen wird die Mengenaufteilung auf die Behandlungsverfahren ermittelt und die Recyclingquote bestimmt (Tabelle 2):

Biologische Behandlungs- anlagen*	Input, gesamt (In-, Ausland)	Output Stoffliche Verwertung**	Recycling- quote
	1.000 t	1.000 t	%
Bioabfall- kompostierungsanlagen	3.604	1.605	45
Grünabfall- kompostierungsanlagen	3.768	2.247	60
Vergärungsanlagen	6.481	5.133	79

Tabelle 2:

Ermittlung der Recyclingquoten der biologischen Behandlungsverfahren 2015

Quelle: Abfallentsorgung 2015, Fachreihe 19 Reihe 1, Wiesbaden: Statistisches Bundesamt, 2017

* alle AVV

** Abgabe an Sonstige, einschließlich Sekundärrohstoffe und Produkte

Tabelle 3: Ermittlung des Inputs an Bioabfällen und Grünabfällen in Vergärungsanlagen, prozentualer Anteil von Bioabfall bzw. Grünabfall am Gesamtinput in Vergärungsanlagen

Vergärungsanlagen		
Abfallarten	Behandlungsanteil	Input
	%	1.000 t
Gesamt (alle AVV), Inland	100	5.509
Bioabfall	31	1.708
Grünabfälle	10	551

Quellen:

Abfallentsorgung 2015, Fachreihe 19 Reihe 1, Wiesbaden: Statistisches Bundesamt, 2017

Rettenberger, G.; Urban-Kiss, R.; Schneider, R.: Handbuch Bioabfallbehandlung

Tabelle 4: Ermittlung der stofflichen Verwertung (Recyclingquote) für Bioabfälle und Grünabfälle

2015	Input in Biologische Behandlungsanlagen	Vergärungsanlagen			Kompostierungsanlagen			Recyclingquote, gesamt
		Input	Behandlungsanteil	Recyclingquote	Input	Behandlungsanteil	Recyclingquote	
		in 1.000 t	%	%	in 1.000 t	%	%	
Bioabfall	4.193	1.708	41	79	2.485	59	45	59
Grünabfälle	4.650	551	12	79	4.099	88	60	62

Quelle: Abfallentsorgung 2015, Fachreihe 19 Reihe 1, Wiesbaden: Statistisches Bundesamt, 2017

Insgesamt liegt damit die Recyclingquote für Bioabfall bei 59 %, wobei abgeschätzt 41 % der Abfälle in Vergärungsanlagen und 59% in Bioabfallkompostierungsanlagen behandelt werden. Für Grünabfälle liegt die Recyclingquote bei 62 %, wobei 12 % in Vergärungsanlagen und 88 % in Grünabfallkompostierungsanlagen behandelt werden. Für die gewerblichen biologisch abbaubaren Küchen- und Kantinenabfälle wird die überwiegende Behandlung in Vergärungsanlagen mit einer Recyclingquote von 79% und für die Marktabfälle eine den Bioabfällen vergleichbare Behandlung mit einer Recyclingquote von 59 % angenommen.

Hausmüllähnliche Gewerbeabfälle, die in Sortieranlagen (MA) behandelt werden, werden je nach Marktlage stofflich nur zu etwa 13 bis 20 % verwertet [7]. Etwa 80 bis 87 % der Eingangsmenge bleiben Abfall zur energetischen Verwertung.

Tabelle 3 und Bild 2 zeigen eine Abschätzung der tatsächlichen stofflichen Verwertungsmengen und Recyclingquoten für die Siedlungsabfallmengen im Jahr 2015.

Tabelle 5: Gegenüberstellung der anhand des Inputs in Verwertungsanlagen ermittelten Recyclingquote und der tatsächlichen minimalen und maximalen Recyclingquote, die sich an der Rückführung in den Stoffkreislauf orientiert

2015 Siedlungs- abfälle	Abfallverzeichnis-Verordnung	Abfallart	Abfallmenge, insgesamt 1.000 Tonnen	Behandlung und stoffliche Verwertung			
				Recyclinganlagen R2 – R13	Input R2 – R13	Output R2 – R13	
				Anteil am Abfallaufkommen	1.000 Tonnen	%	
Haushalts- abfälle	20030101, ex 20030100	Hausmüll, hausmüllähnliche Gewerbe- abfälle [Abfallsortierung]	14.147	MBA / MPS	2.443	5	122
	200307	Sperrmüll [TOMM+C]	2.495	Sortieranlage	1.434	20–50	287–717
	20030104	Abfall aus der Biotonne [Abfallsortierung], [Rettenberger]	4.232	Kompostierung/ Vergärung	4.147	59	2.447
	200201	Garten- und Parkabfälle biologisch abbaubar [Abfallsortierung], [Rettenberger]	5.771	Kompostierung/ Vergärung	5.623	62	3.486
	150107, 200102	Glas [Schüler]	2.553	Sortieranlage	2.550	89	2.270
	150101, 200101	Papier, Pappe, Kartonagen [Schüler]	8.103	Sortieranlage	8.047	87	7.025
	150102, 15010600, 15010601, 15010602, 20019901, 200139	Leichtverpackungen/Kunststoffe [DRK], [Friege], [Schüler]	5.952	Sortieranlage	4.925	20–50	985–2.472
	200123*, 200135*, 200136	Elektroaltgeräte	591	Sortieranlage	590	70–80	413–472
	150103, 150104, 150105, 150109, 200110, 200111, 200113*, 200114*, 200115*, 200140, 20019900, 200399, 200117*, 200119*, 200126*, 200127*, 200128, 200129*, 200130, 200131*, 200132, 200133*, 200134, 200138	Sonstiges (Verbunde, Metalle, Textilien usw.) [Abfallsortierung], [Koroikow], [Schüler]	2.087	Sortieranlage	1.528	56	856
	20030102, ex 20030100	Hausmüllähnliche Gewerbeabfälle, getrennt vom Hausmüll gesammelt [Dehne]	3.506	Sortieranlage	1.365	13–20	177–273
200202, 200203, 200303	Straßenkehr-/Garten- und Parkabfälle (Boden, Steine)	986	k.A.	717	0	0	
200108	Biologisch abbaubare Küchen- und Kantinenabfälle	928	Vergärung	875	79	691	
200302	Marktabfälle	60	Kompostierung/ Vergärung	50	59	30	
200121*	Leuchtstoffröhren und andere quecksilberhaltige Abfälle [TOMM+C]	11	Sortieranlage	10	70–80	7–8	
150110*, 150111*, 200125, 200137*, 200141, 200304, 200306	Andere getrennt gesammelte Fraktionen [TOMM+C]	205	Sortieranlage	147	10	15	
Siedlungsabfall, insgesamt			51.625	67 %	34.453	36–40 %	18.810–20.883

Tabelle 5: Gegenüberstellung der anhand des Inputs in Verwertungsanlagen ermittelten Recyclingquote und der tatsächlichen minimalen und maximalen Recyclingquote, die sich an der Rückführung in den Stoffkreislauf orientiert – Fortsetzung –

Quellen:

- Abfallbilanz, Umwelt Abfallbilanz 2015, Statistisches Bundesamt, Wiesbaden 2017
- Abfallentsorgung 2015, Fachreihe 19 Reihe 1, Wiesbaden: Statistisches Bundesamt, 2017
- Dehne, I.; Oetjen-Dehne, R.; Siegmund, N.: Stoffstromorientierte Lösungsansätze für eine hochwertige Verwertung von gemischten gewerblichen Siedlungsabfällen
- DKR – Deutsche Gesellschaft für Kunststoffrecycling mbH
- Friege, P. D.: Für den Nachhaltigkeitsrat der Bundeskanzlerin
- Korolkow, J.: Konsum, Bedarf und Wiederverwendung von Bekleidung und Textilien in Deutschland, bvse, 2015
- Rettenberger, G.; Urban-Kiss, R.; Schneider, R.: Handbuch Bioabfallbehandlung
- Schüler, K.: Aufkommen und Verwertung von Verpackungsabfällen in Deutschland in Jahr 2014, UBA-Texte 64/2016
- TOMM+C: Recyclingquote, eigene Schätzung

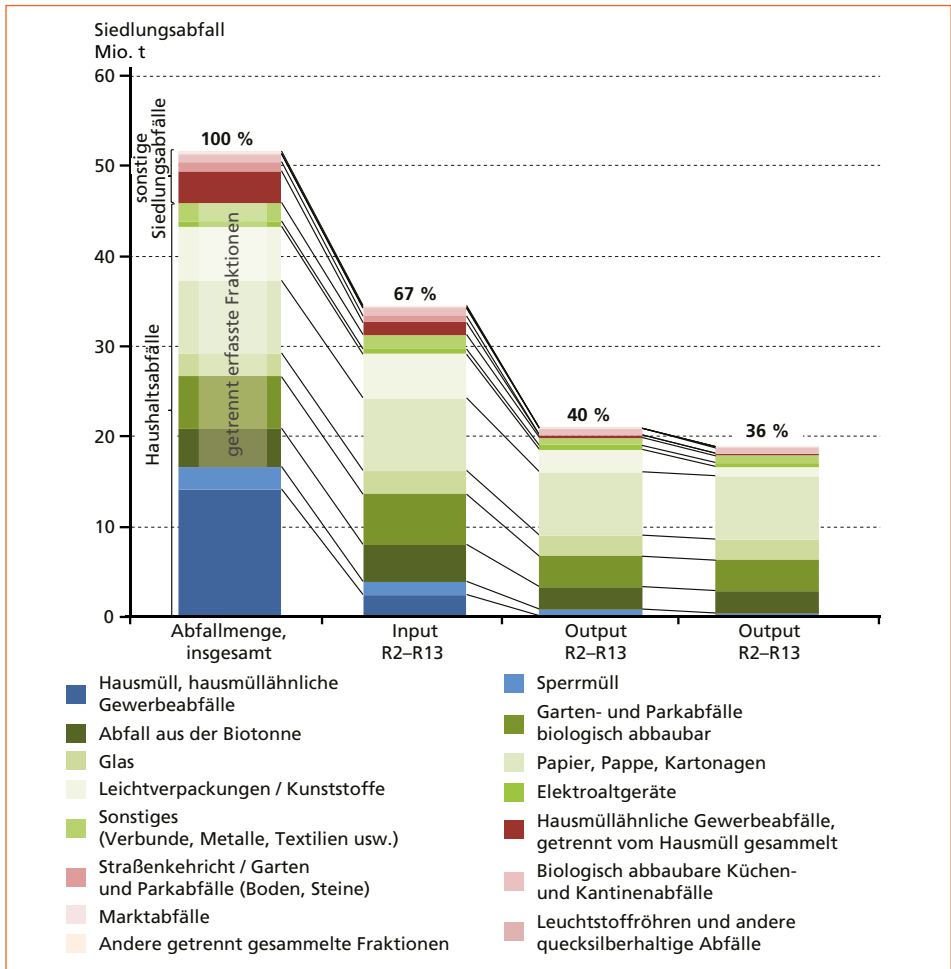


Bild 2: Gegenüberstellung der anhand des Inputs in Verwertungsanlagen ermittelten Recyclingquote und der tatsächlichen minimalen und maximalen Recyclingquote, die sich an der Rückführung in den Stoffkreislauf orientiert

Quelle: Abfallbilanz, Umwelt Abfallbilanz 2015, Statistisches Bundesamt, Wiesbaden 2017

Danach liegt die dem Wirtschafts- und Stoffkreislauf zugeführte stoffliche Verwertungsquote tatsächlich zwischen 36 und 40 % und nicht bei 67 % wie die Statistik von Destatis angibt.

Eine bereits mit den Siedlungsabfallmengen 2009, 2012 und 2013 (34 bis 38 %, 64 % Destatis) von der DGAW durchgeführte Abschätzung kam zu vergleichbaren Ergebnissen. Es bleibt demnach festzustellen, dass es seit 6 Datenjahren nicht gelingt prozentual mehr Menge dem Wirtschaftskreislauf zuzuführen und tatsächlich zu recyceln.

3. Abfallwirtschaftspaket und neue Berechnungsmethode der Recyclingquote

Am 02.12.2015 wurde das neue Kreislaufwirtschaftspaket von der Europäischen Kommission veröffentlicht. Es sieht unter anderem neue, europaweit gültige Vorgaben für die Recyclingquoten vor, welche im Entwurf der Abfallrahmenrichtlinie vom 02.12.2015 [8] enthalten sind:

- 2025: Recyclingquote 60 % des Siedlungsabfallaufkommens,
- 2030: Recyclingquote 65 % des Siedlungsabfallaufkommens.

Nur die Mitgliedsstaaten Estland, Griechenland, Kroatien, Lettland, Malta, Rumänien und die Slowakei sollen eine Übergangsfrist von 5 Jahren erhalten.

Das Parlament meldete sich zu Wort und fordert für 2030 sogar 70 %. Erwartungsgemäß ruderte der Rat zurück und liegt bei 50 % in 2025 und 60 % in 2030. Eine Übersicht der jeweiligen Positionen gibt Tabelle 6.

Im sogenannten Trilog-Verfahren versuchen die drei Europäischen Institutionen einen Kompromiss zwischen ihren Positionen zu erreichen. Seit 01. Juli 2017 verfügt Estland über den Ratsvorsitz und hat sich zum Ziel gesetzt, das Trilog-Verfahren zum Abfallwirtschaftspaket bis zum Ende des Jahres 2017 erfolgreich abzuschließen [14].

Damit würde die nach KrWG ab 2020 für Deutschland geltende Recyclingquote von 65 % bezogen auf den Siedlungsabfall europaweit mit mindestens 60%, maximal 70% im Jahr 2030 eingeführt.

Zusätzlich wird eine neue einheitliche Berechnungsmethode zur Ermittlung der Recyclingquote in der Abfallrahmenrichtlinie vorgesehen, der Kommissionsvorschlag [8] in Artikel 11a bezieht sich auf

- den Input in das abschließende Recyclingverfahren (Definition in Artikel 17a), wobei keine weitere mechanische Trennung erforderlich ist und die Abfallmaterialien einem Produktionsprozess zugeführt und effektiv zu Produkten, Materialien oder Stoffen aufbereitet werden,
- den Input in den Wiederverwendungsprozess, wobei das Material alle erforderlichen,
 - Prüf-, Reinigungs- und Reparaturvorgänge durchlaufen hat und die Wiederverwendung ohne weitere Trennung oder Vorbehandlung möglich ist bzw.



Deutschlands Online-Magazin
für die Recyclingwirtschaft

++ Immer online ++ Immer verfügbar ++ Immer aktuell ++



Jetzt 6 Wochen kostenfrei testen!
www.320grad.de

TEST-ABO

RECYCLING MAGAZIN LESEN, WAS DIE BRANCHE BEWEGT

2 AUSGABEN GRATIS PROBELESEN

- ▶ Neueste Entwicklungen zu Technik, Wirtschaft, Politik und Recht
- ▶ Reportagen, Interviews, Marktanalysen
- ▶ jeden Monat neu



JETZT ONLINE ANFORDERN UNTER:
www.recyclingmagazin.de/probelesen

RECYCLING
magazin

- den Output von Sortieranlagen, welcher einem abschließenden Recyclingverfahren zugeführt wird, wobei der Anteil der Abfälle, welche deponiert oder energetisch verwertet werden <10% beträgt. Grundsätzlich sind die beiden erstgenannten Berechnungsmethoden zu verwenden. Letztere Möglichkeit sollte nur zur Begrenzung des Verwaltungsaufwandes und unter strikter Einhaltung der Bedingungen eingesetzt werden.
- Neu werden die Metalle, welche aus der Verbrennungsrasche der Abfallverbrennungsanlagen einem finalen Recyclingprozess zugeführt werden, dem Recycling zugerechnet, sofern bestimmte Qualitätsanforderungen erfüllt werden.

Tabelle 6: Stand Abfallwirtschaftspaket 2017 – Positionen von EU-Kommission, EU-Parlament, des Europäischen Rates und von Deutschland

Vorgeschlagene Abfallwirtschaftsziele	EU-Kommission		EU-Parlament		Europäischer Rat		Deutschland	
	2025	2030	2025	2030	2025	2030	2025	2030
	%							
Anteil Vorbereitung zur Wiederverwendung & Recycling am Siedlungsabfallaufkommen	60	65	60	70	50	60	60	65
Anteil Vorbereitung zum Recycling am Bioabfallaufkommen					50	65		
Anteil der Deponierung am Siedlungsabfallaufkommen	–	10	–	5			–	10
Anteil Vorbereitung zur Wiederverwendung ¹ & Recycling ² am Verpackungsabfallaufkommen	65 ¹	75 ¹	70 ²	80 ²			70	80
Anteil Vorbereitung zur Wiederverwendung am Verpackungsabfallaufkommen	–	–	5	10				
Anteil Vorbereitung zur Wiederverwendung & Recycling am:								
• Kunststoffverpackungsaufkommen	55	–	60				50	70
• Holzverpackungsaufkommen	60	75	65					
• Eisenmetallverpackungsaufkommen	75	85	80					
• Aluminiumverpackungsaufkommen	75	85	80				50	70
• Glasverpackungsaufkommen	75	85	80					
• Papier-/Pappeverpackungsaufkommen	75	85	90					
Berechnungsmethode für Recyclingraten	Nur 1 Berechnungsmethode für alle Mitgliedsstaaten, Input in den finalen Recyclingprozess				Durchschnittliche Verlustrate <i>average loss rate</i>		Durchschnittliche Verlustrate <i>average loss rate</i>	
Getrennte Erfassung	Papier & Pappe, Metall, Kunststoff, Glas		Papier & Pappe, Metall, Kunststoff, Glas, Textilien, Bioabfall					
*Ausnahmen	Mitgliedsstaaten mit < 20 % Recyclingrate in 2013 oder einer erwarteten Recyclingrate < 50 % in 2025 erhalten 5 weitere Jahre				Zeitverlängerung für Mitgliedsstaaten mit 65 % Deponierung			

Quellen:

320grad. URL: <http://320grad.de/eu-abfallpaket-das-steht-im-parlamentsbeschluss/>

EU-Parliament: Briefing EU Legislation in Progress, February 2017 – Circular economy package, Four legislative proposals on waste

EUWID: Rats-Arbeitsgruppe diskutiert neue Kompromissvorschläge zum Abfallpaket, EUWID Recycling und Entsorgung, Nr. 3.2017, S. 25

Das **Europäische Parlament** will hingegen, die Möglichkeit den Output von Sortieranlagen zu verwenden, aus der Richtlinie streichen und nur den Input in das abschließende Recyclingverfahren als Berechnungsgrundlage zulassen. Darüber hinaus wird die Erarbeitung von Qualitätsnormen für die Abfallstoffe, explizit für Kunststoffe, die einem abschließenden Recyclingverfahren zugeführt werden und an die Sekundärrohstoffe, die daraus gewonnen werden, gefordert. Die Einhaltung von einschlägigen Qualitätsnormen wird für den Output von Behandlungsanlagen für biologische Abfälle gefordert [9].

Der EURIC (Europäischer Bund der Recyclingindustrien) [11] hat in seiner Stellungnahme vom Mai 2017 die Streichung der *Outputregelung* kritisiert. Seiner Ansicht nach ist der Output des abschließenden Trennverfahrens der einzige Ort (mit Ausnahme von biologischen Abfällen), an dem sowohl der Ursprung der Eingangsstoffe (Siedlungs-, Industrieabfälle) als auch der Anteil der Verluste (thermische Verwertung und Beseitigung) ermittelt werden kann. Beim Input in das abschließende Recyclingverfahren werden die Rohstoffe von den Betreibern aufgrund von Preis, Quantität und Qualität, nicht aufgrund ihrer Herkunft, eingekauft. Dies zeigen die Spezifikationen der einschlägigen Produktionsfirmen. Eine Rückführung auf die ursprüngliche Herkunft der Materialien ist daher i.d.R. aufgrund der vorgelagerten Trenn- und Prozessierungsschritte nicht möglich. Noch schwieriger wird die Ermittlung der erforderlichen Daten für EU-Mitgliedsstaaten, die nicht über eigene abschließende Recyclingverfahren verfügen. Nach Ansicht des EURIC sind keine verlässlichen statistischen Daten zur Berechnung der Recyclingquote über den Input in den finalen Recyclingprozess (Ausnahme Bioabfälle) zu erhalten.

Überraschenderweise kam **Deutschland** mit einer nach unserer Ansicht untauglichen Quotenberechnung mit Einrechnung einer *average loss rate* der Inputmengen um die Ecke, welche auch vom Europäischen Rat unterstützt wird. Diese beinhaltet die getrennt gesammelte Abfallmenge, abzüglich noch festzulegender Standardverluste bzw. durchschnittlicher Verluste, differenziert nach Abfallart und Behandlungsverfahren. Alle 3 bis 4 Jahre müssten typische Verlustraten für Abfallströme und Sortierverfahren ermittelt werden; Position von Herrn Jaron, Referatsleiter im Umweltministerium [15].

4. Abschätzung der Recyclingquote mit der Berechnungsmethode der EU-Kommission

Wird die im Entwurf der Abfallrahmenrichtlinie genannte Kalkulationsmethode (Output von Sortieranlagen) angewendet, können das Recycling von den getrennt erfassten Wertstoffen PPK (87 %), Glas (89 %) und Metall (93 %) annähernd mit 100 % bewertet werden, weil bei der Aufbereitung nur etwa 10 % Abfälle anfallen, die deponiert oder energetisch verwertet werden müssen. Bei allen übrigen getrennt gesammelten Fraktionen mit Ausnahme der biologischen Abfälle werden die in Tabelle 5 genannten Outputdaten verwendet.

Biologische Verfahren wie Kompostierung und Vergärung müssten in der Abfallrahmenrichtlinie als finaler Recyclingprozess gewertet werden. In diesem Fall wird der gesamte Input als Recycling gewertet, ohne dass Gewichtsverluste von Materialien durch physikalische oder chemische Umwandlungsprozesse, die im Zusammenhang mit dem abschließenden Recyclingverfahren stehen, abgezogen werden (Erwägung 17).

In den Abänderungen des EU-Parlamentes von Artikel 22 zur getrennten Erfassung von Bioabfällen wird darüber hinaus gefordert, dass Maßnahmen in Bezug auf die Rückverfolgung sowie Qualitätssicherungssysteme für Input und Output ergriffen werden, um sicherzustellen, dass das organische Recycling von Bioabfällen auf eine Art und Weise erfolgt, die ein hohes Maß an Umweltschutz gewährleistet, und dass sein Output den einschlägigen hohen Qualitätsnormen genügt. Das Gewicht der Materialien und Stoffe, die keinem abschließenden Recyclingverfahren zugeführt, sondern beseitigt oder energetisch verwertet werden, darf nicht als recycelt gemeldet werden [9].

Nach Auswertung der statistischen Daten für biologische Behandlungsanlagen im Jahr 2015 liegt der Anteil der energetisch verwerteten bzw. deponierten Stoffe am Input der Anlagen zwischen 7 % bei Vergärungsanlagen und zwischen 9 bis 12 % bei Kompostierungsanlagen (Tabelle 7).

Tabelle 7: Ermittlung des Anteils der Abfälle zur Beseitigung und energetischen Verwertung am Output bzw. Input von biologischen Behandlungsanlagen 2015

Biologische Behandlungsanlagen*	Input, gesamt (In-, Ausland)	Output, gesamt (In-, Ausland) Abfälle zur Beseitigung und Verwertung	Output (In-, Ausland)	Anteil am Output, gesamt	Anteil am Input, gesamt
	1.000 t			%	
Bioabfall-kompostierungsanlagen	3.604	2.033	428	21	12
Grünabfall-kompostierungsanlagen	3.768	2.604	358	14	9
Vergärungsanlagen	6.481	5.608	476	8	7

* alle AVV

** Abgabe an Sonstige, einschließlich Sekundärrohstoffe und Produkte

Quelle: Abfallentsorgung 2015, Fachreihe 19 Reihe 1, Wiesbaden: Statistisches Bundesamt, 2017

Diese Mengen müssten bei den Vorgaben des EU-Parlamentes vom Input in Abzug gebracht werden.

Für die Abschätzung der Recyclingquoten für 2015 wird der Input in biologische Behandlungsanlagen (Kompostierung und Vergärung) mit 100 % bewertet, entsprechend der Kalkulationsmethode in dem Entwurf der Abfallrahmenrichtlinie der EU-Kommission.

Zusätzlich wird noch der Anteil des Metallrecyclings der energetischen Verwertungsanlagen mit in die Recyclingquote einbezogen. Anhand der Abfallstatistik 2015 kann nur der direkte Output an Metallen aus energetischen Verwertungsanlagen ermittelt werden (Tabelle 8).

Tabelle 8: Ermittlung des Metall-Outputs von thermischen Behandlungsverfahren anhand der Daten von Destatis 2015

EAV	Metalle	Davon			
		Output insgesamt	Abfälle zur Beseitigung	Abfälle zur Verwertung	Abgabe an Sonstige
		1.000 t			
170401	Kupfer, Bronze, Messing	0,3	–	0,0	0,3
170402	Aluminium	0,1	–	0,0	0,0
170405	Eisen und Stahl	1,6	–	1,5	0,0
170407	gemischte Metalle	1,4	–	1,4	–
190102	Eisenteile, aus der Rost- und Kesselasche entfernt	68,8	0,0	52,0	16,8
191202	Eisenmetalle	3,7	–	3,4	0,3
191203	Nichteisenmetalle	2,5	0,1	2,4	–
200140	Metalle	0,7	–	0,7	–
Summe Metall-Output		79,1	0,1	61,4	17,4
Input in thermische Behandlungsanlagen		23.794	Anteil am Input		0,3 %

Quelle: Abfallentsorgung 2015, Fachreihe 19 Reihe 1, Wiesbaden: Statistisches Bundesamt, 2017

Nach Gosten [19] führen viele Verbrennungsanlagen keine oder nur eine rudimentäre Metallabscheidung auf dem Gelände der Verbrennungsanlage durch und geben die Rostaschen an spezialisierte Schlackeaufbereiter ab, die über die Effektivität der Rückgewinnung der Metalle nicht berichten, so dass die dort gewonnenen Mengen nicht in der Statistik erfasst werden. Dies hat zur Folge, dass der Beitrag der energetischen Abfallbehandlung in R1-Anlagen zum Metallrecycling unterbewertet wird. Laut UBA [5] wurden 2009 etwa 380.000 Tonnen Metallschrotte aus Abfallverbrennungsanlagen produziert, die ITAD geht von etwa 400.000 Tonnen Metallschrotten und einer derzeitigen Recyclingquote von 92 % aus [20]. Neuere Studien [24] gehen davon aus, dass aus den Rostaschen 9 % der Metalle zurückgewonnen werden können, bei flächendeckender Umsetzung entspricht dies 70.000 bis 80.000 Tonnen mehr.

Somit erhöht sich der Menge der recycelten Siedlungsabfälle um minimal 0,1 Millionen Tonnen bis zu 0,4 Millionen Tonnen durch die Metallrückgewinnung aus der Verbrennungsschlacke der energetischen Verwertungsanlagen (Abschätzung ohne Berücksichtigung von Qualitätsaspekten).

Die folgende Tabelle zeigt die Kalkulation der Recyclingquote 2015 mit der neuen Berechnungsmethode:

Tabelle 9: Gegenüberstellung der anhand des Inputs in Verwertungsanlagen ermittelten Recyclingquote und der minimalen und maximalen Recyclingquote bei Kalkulation entsprechend Entwurf Abfallrahmenrichtlinie

2015 Siedlungsabfälle, insgesamt	Abfallverzeichnis-Verordnung	Abfallart	Abfallmenge, insgesamt 1.000 Tonnen	Recyclinganlagen R2 – R13		Behandlung und stoffliche Verwertung	
				R2 – R13 Anteil am Abfallaufkommen	Input R2 – R13 1.000 Tonnen	Output R2 – R13 %	Output R2 – R13 1.000 Tonnen
Haushaltsabfälle	20030101, ex 20030100 200307	Hausmüll, hausmüllähnliche Gewerbeabfälle [Abfallentsorgung]	14.147	MBA / MPS	2.443	5	122
		Sperrmüll [TOMM+C]	2.495	Sortieranlage	1.434	20–50	287–717
	20030104	Abfall aus der Biotonne [Abfallentsorgung], [Rettenberger]	4.232	Kompostierung/Vergärung	4.147	100	4.147
		Garten- und Parkabfälle biologisch abbaubar [Abfallentsorgung], [Rettenberger]	5.771	Kompostierung/Vergärung	5.623	100	5.623
	150107, 200102	Glas [Schüler]	2.553	Sortieranlage	2.550	100	2.550
		Papier, Pappe, Kartonagen [Schüler]	8.103	Sortieranlage	8.047	100	8.047
	150102, 15010600, 15010601, 15010602, 20019901, 200139	Leichtverpackungen/Kunststoffe [DRK], [Friege], [Schüler]	5.952	Sortieranlage	4.925	20–50	985–2.463
		Elektroaltgeräte	591	Sortieranlage	590	70–80	413–472
	150103, 150104, 150105, 150109, 200110, 200111, 200113*, 200114*, 200115*, 200140, 20019900, 200399, 200117*, 200119*, 200126*, 200127*, 200128, 200129*, 200130, 200131*, 200132, 200133*, 200134, 200138	Sonstiges (Verbunde, Metalle, Textilien usw.) [Abfallentsorgung], [Korolkow], [Schüler]	2.087	Sortieranlage	1.528	56	856
		Hausmüllähnliche Gewerbeabfälle, getrennt vom Hausmüll gesammelt [Dehne]	3.506	Sortieranlage	1.365	13–20	177–273
Sonstige Siedlungsabfälle	200202, 200203, 200303	Straßenkehricht/Garten- und Parkabfälle (Boden, Steine)	986	k.A.	717	0	0
		Biologisch abbaubare Küchen- und Kantinenabfälle	928	Vergärung	875	100	875
150110*, 150111*, 200125, 200137*, 200141, 200304, 200306	200108	Marktabfälle	60	Kompostierung/Vergärung	50	100	50
		Leuchtstoffröhren und andere quecksilberhaltige Abfälle [TOMM+C]	11	Sortieranlage	10	70–80	7–8
Siedlungsabfall, insgesamt	200141, 200304, 200306	Anders getrennt gesammelte Fraktionen [TOMM+C]	205	Sortieranlage	147	10	15
		insgesamt	51.625	67 %	34.453	47–51 %	24.154–26.217
100 % Menge in Tonnen			Metallrecycling aus Abfallverbrennungsanlagen (Abfallentsorgung), [Alwast] [Gosten], [ITAD]		47–52 %		80–400
			Recyclingquoten mit Metallrecycling				24.234–26.617

Output Sortieranlagen > 90 % / Finaler Recyclingprozess nach Entwurf EU-Kommission [EU-Kommission]

Tabelle 9: Gegenüberstellung der anhand des Inputs in Verwertungsanlagen ermittelten Recyclingquote und der minimalen und maximalen Recyclingquote bei Kalkulation entsprechend Entwurf Abfallrahmenrichtlinie – Fortsetzung –

Quellen:

Abfallentsorgung 2015, Fachreihe 19 Reihe 1, Wiesbaden: Statistisches Bundesamt, 2017

Alwast, H.; Riemann, A.: Verbesserung der umweltrelevanten Qualitäten von Schlacken aus Abfallverbrennungsanlagen, Umweltbundesamt, Oktober 2010

DKR – Deutsche Gesellschaft für Kunststoffrecycling mbH

Dehne, I.; Oetjen-Dehne, R.; Siegmund, N.: Stoffstromorientierte Lösungsansätze für eine hochwertige Verwertung von gemischten gewerblichen Siedlungsabfällen

EU-Kommission: Vorschlag für eine Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates zur Änderung der Richtlinie 2008/98/EG über Abfälle

Friege, P. D.: Für den Nachhaltigkeitsrat der Bundeskanzlerin

Gosten, A.: Potential des Metallrecyclings durch Abfallverbrennung. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Goldmann, D. (Hrsg.): Recycling und Rohstoffe, Band 6. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2013, S. 455-470

ITAD: Thermische Abfallbehandlung, mechanische Schlackenaufbereitung und Metallrecycling, Pressemitteilung vom 12.06.2013

Korolkow, J.: Konsum, Bedarf und Wiederverwendung von Bekleidung und Textilien in Deutschland, bvse, 2015

Rettenberger, G.; Urban-Kiss, R.; Schneider, R.: Handbuch Bioabfallbehandlung

Schüler, K.: Aufkommen und Verwertung von Verpackungsabfällen in Deutschland in Jahr 2014, UBA-Texte 64/2016

TOMM+C: Recyclingquote, eigene Schätzung

Wird die neue Kalkulationsmethode der EU-Kommission angewendet, führt dies dazu, dass wie oben ausgeführt, in Deutschland beispielhaft für das Jahr 2015 eine deutlich niedrigere Recyclingquote von nur mehr 47 % bis 52 % ermittelt werden wird, gegenüber 67 %, welche mit Hilfe des Inputs in R2-R13-Verfahren von Destatis errechnet wurde.

5. Maßnahmen zur Erreichung der Recyclingziele

Bioabfall

Seit 01.01.2015 ist die getrennte Erfassung von Bioabfällen im KrWG [23] vorgeschrieben. Durch die sukzessive flächendeckende Einführung der Biotonne ist in den Folgejahren mit einer weiteren Steigerung der Erfassungsquote von Bioabfällen zu rechnen. 2015 wurden 4,2 Millionen Tonnen Bioabfall getrennt erfasst. Dies entspricht einer durchschnittlichen Erfassungsmenge von 51 kg/Ew,a¹. Bei einem weiteren Ausbau der getrennten Erfassung können gegebenenfalls 60 kg/Ew,a erreicht werden, entsprechend etwa 4,9 Mio. t/a. Dies entspricht einer Erhöhung der Recyclingquote um lediglich 1 % (0,7 Mio. t/a).

¹ Einwohnerzahl im Jahr 2015: 82.176.000. Quelle: Abfallbilanz, Umwelt Abfallbilanz 2015, Statistisches Bundesamt, Wiesbaden 2017

Gewerbeabfall

Die neue Gewerbeabfallverordnung [18], die in 2017 in Kraft getreten ist, wird hier durch die explizite Verpflichtung zur getrennten Erfassung von Wertstoffen (PPK, Glas, Kunststoff, Metall, Holz, Textilien, Bioabfall) und die Erhöhung des Outputs an Wertstoffen aus den Gewerbeabfallsortieranlagen (85 % Sortierquote und 30 % Recyclingquote ab 01.01.2019) zu deutlichen Verbesserungen führen, sofern die Umsetzung durch die zuständigen Behörden entsprechend kontrolliert wird.

Ausgehend von der Behandlung der Summe der gemischten Gewerbeabfälle² lässt sich in einem *best-case*-Szenario die stofflich verwertete Menge von 0,4 Millionen Tonnen entsprechend einer Recyclingquote von 7 % auf 3,7 Mio. t/a entsprechend 60 % Recyclingquote steigern (Bild 3) [27].

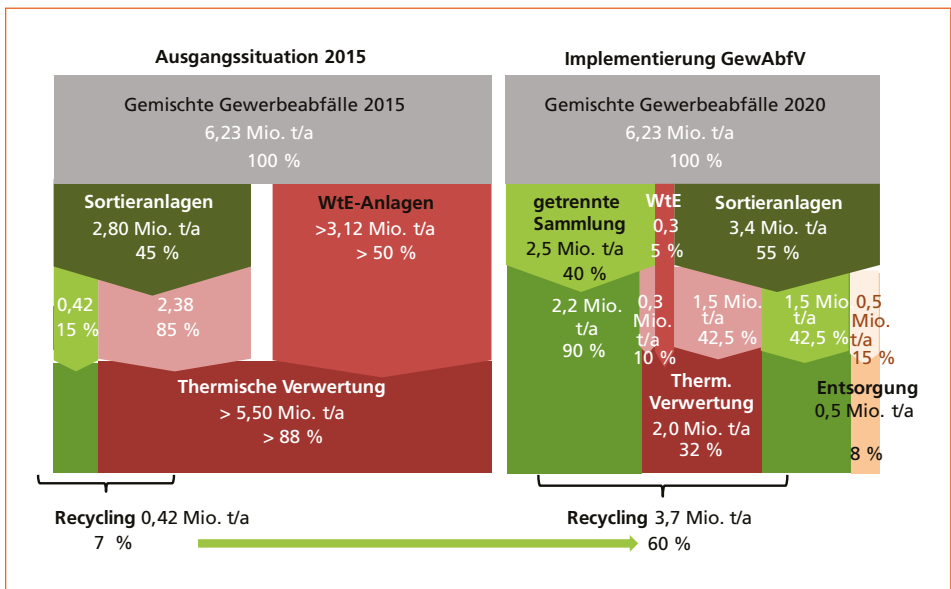


Bild 3: Entwicklung der Gewerbeabfallströme nach Umsetzung der GewAbfV in einem *best case*-Szenario

Quelle: Eigene Mengenabschätzung

Bezogen auf ein Siedlungsabfallaufkommen von 51,6 Millionen Tonnen in 2015 ließe sich die Recyclingquote so um immerhin 6 % (3,3 Millionen Tonnen) steigern.

² Die Summe der gemischten Gewerbeabfälle für 2015 wird berechnet aus den Mengen der folgenden Abfallschlüsselnummern (15010600, 20030102, zuzüglich 200399, 20030100, 20030101, unter Berücksichtigung der prozentualen Anteile des Gewerbeabfalls von 21 %), entsprechend Dehne, I.; Oetjen-Dehne, R.; Siegmund, N.: Stoffstromorientierte Lösungsansätze für eine hochwertige Verwertung von gemischten gewerblichen Siedlungsabfällen

6. Fazit

Deutschland muss erhebliche Anstrengungen unternehmen, um die Recyclingziele auf Grundlage der neuen Berechnungsmethode zu erreichen.

Mit der flächendeckenden Einführung der Biotonne seit 01.01.2015, der Gewerbeabfallverordnung und dem Verpackungsgesetz sind gesetzliche Regelungen in Kraft getreten, die bei konsequenter Umsetzung gegebenenfalls die Erfüllung der Zielvorgaben von 60 % Recyclingquote unter Anwendung der neuen Berechnungsmethode der EU-Kommission ermöglichen können. Große Steigerungen der stofflichen Verwertung sind nicht mehr zu erwarten.

Selbst bei Steigerung der Recyclingquote von derzeit abgeschätzt 50 % auf 60 % sinkt der sonstige verwertete Abfall nicht relevant, da seit 2006 die Siedlungsabfallmengen angestiegen sind (Bild 4).

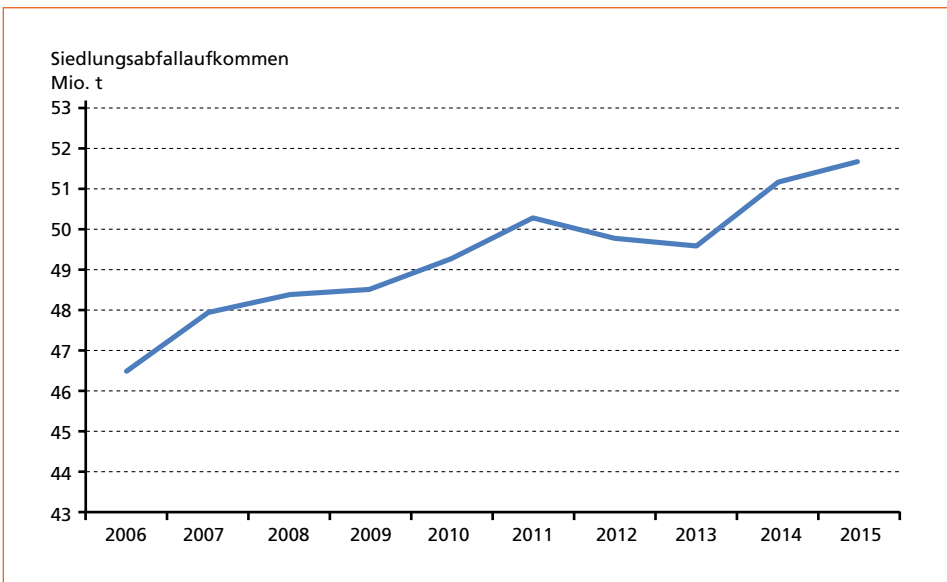


Bild 4: Entwicklung des Siedlungsabfallaufkommens in Deutschland 2006 bis 2015

Quelle: Abfallbilanz, Umwelt Abfallbilanz 2015, Statistisches Bundesamt, Wiesbaden 2017

Während in der europäischen Union ein Rückgang des Abfallaufkommens pro Kopf zu verzeichnen ist, weist Deutschland den gegenteiligen Trend auf. Das Abfallaufkommen pro Kopf liegt im Jahr 2015 mit 625 kg/Ew,a deutlich über dem Durchschnitt der EU-28 mit 476 kg/Ew,a (Bild 5)³.

³ Hierbei ist zu berücksichtigen, dass die Mitgliedsländer zur Zeit die Siedlungsabfallmengen, nicht einheitlich erheben, so dass der Anteil der hausmüllähnlichen Gewerbeabfälle, welcher Berücksichtigung findet, erheblich voneinander abweichen kann. Quelle: Eurostat: Stand 27.07.2017, online.

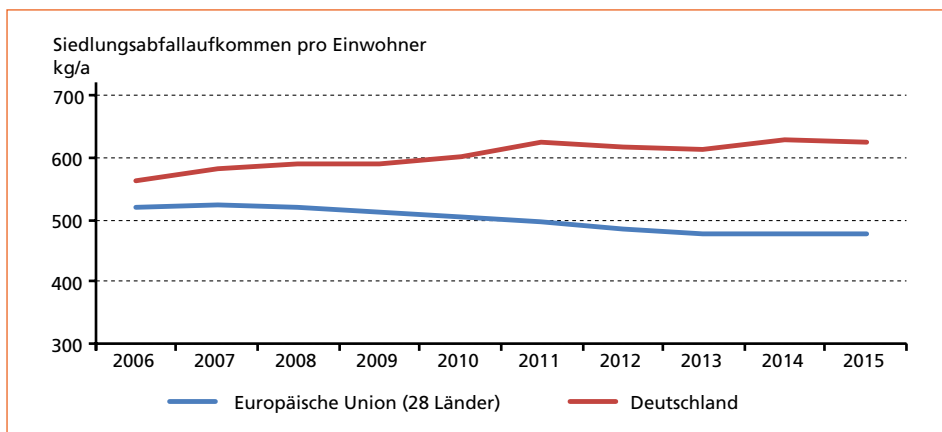


Bild 5: Entwicklung des Siedlungsabfallaufkommens pro Kopf in der EU-28 und in Deutschland 2006 bis 2015

Quelle: Eurostat; Stand 27.07.2017, online

Die Autoren üben seit Jahren Kritik, dass auf Recyclingquoten für Massenabfälle wie PPK, Glas, usw... abgehoben wird, statt den Fokus auf strategische Metalle, seltene Erden u.a. zu legen. Insgesamt legen Deutschland und die EU zu viel Augenmerk auf die Stufe 3 der Abfallhierarchie (Recycling) und vernachlässigen die Stufen 1 und 2 (Vermeidung und Vorbereitung zur Wiederverwendung).

7. Quellen

- [1] 320grad: URL: <http://320grad.de/eu-abfallpaket-das-steht-im-parlamentsbeschluss/>
- [2] Abfallbilanz, Umwelt Abfallbilanz 2015, Statistisches Bundesamt, Wiesbaden 2017
- [3] Abfallentsorgung, Abfallentsorgung 2015, Fachreihe 19 Reihe 1, Wiesbaden: Statistisches Bundesamt, 2017
- [4] Abfallrahmenrichtlinie, Richtlinie 2008/98/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. November 2008 über Abfälle und zur Aufhebung bestimmter Richtlinien, Artikel 11 Wiederverwendung und Recycling, 2a)
- [5] Alwast, H.; Riemann, A.: Verbesserung der umweltrelevanten Qualitäten von Schlacken aus Abfallverbrennungsanlagen, Umweltbundesamt, Oktober 2010, UBA-Texte 50/2010
- [6] DKR – Deutsche Gesellschaft für Kunststoffrecycling mbH
- [7] Dehne, I.; Oetjen-Dehne, R.; Siegmund, N.: Stoffstromorientierte Lösungsansätze für eine hochwertige Verwertung von gemischten gewerblichen Siedlungsabfällen, UBA-Texte 18/2015
- [8] EU-Kommission: Vorschlag für eine Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates zur Änderung der Richtlinie 2008/98/EG über Abfälle, 02.12.2015
- [9] EU-Parlament: Abänderungen des Europäischen Parlaments vom 14. März 2017 zu dem Vorschlag für eine Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates zur Änderung der Richtlinie 2008/98/EG, Erste Lesung, P8_TA(2017)0

- [10] EU-Parlament: Briefing EU Legislation in Progress, February 2017 – Circular economy package, Four legislative proposals on waste
- [11] EuRIC, EuRIC reaction on the Roadmap: Development of a Monitoring Framework for the Circular Economy, May 2017
- [12] Eurostat: Stand 27.07.2017, online
- [13] Eurostat: URL: <http://ec.europa.eu/eurostat/web/waste/transboundary-waste-shipments/key-waste-streams/municipal-waste>
- [14] EUWID: Nächster Trilog über Abfallpaket Ende September, EUWID Recycling und Entsorgung, Nr. 30.2017, Seite 27
- [15] EUWID: Rats-Arbeitsgruppe diskutiert neue Kompromissvorschläge zum Abfallpaket, EUWID Recycling und Entsorgung, Nr. 3.2017, S. 25
- [16] EUWID: Feintuning bei Verhandlungen in Rats-Arbeitsgruppe über Abfallpaket, EUWID Recycling und Entsorgung, Nr. 14.2017, S. 28
- [17] Friege, P. D.: Für den Nachhaltigkeitsrat der Bundeskanzlerin
- [18] GewAbfV: Verordnung über die Bewirtschaftung von gewerblichen Siedlungsabfällen und von bestimmten Bau- und Abbruchabfällen, Bundesgesetzblatt Jahrgang 2017, 18.04.2017
- [19] Gosten, A.: Potential des Metallrecyclings durch Abfallverbrennung. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Goldmann, D. (Hrsg.): Recycling und Rohstoffe, Band 6. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2013, S. 455-470
- [20] ITAD: Thermische Abfallbehandlung, mechanische Schlackenaufbereitung und Metallrecycling, Pressemitteilung vom 12.06.2013
- [21] Kommissionsbeschluss: Beschluss der Kommission vom 18. November 2011 mit Vorschriften und Berechnungsmethoden für die Überprüfung der Einhaltung der Zielvorgaben gemäß Artikel 11 Absatz 2 der Richtlinie 2008/98/EG des Europäischen Parlaments und des Rates
- [22] Korolkow, J.: Konsum, Bedarf und Wiederverwendung von Bekleidung und Textilien in Deutschland, bvse, 2015
- [23] KrWG: Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen (Kreislaufwirtschaftsgesetz – KrWG) vom 24. Februar 2012 (BGBl. I S. 212)
- [24] Kuchta, K.; Enzner, V.: Ressourceneffizienz der Metallrückgewinnung vor und nach der Verbrennung. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Mineralische Nebenprodukte und Abfälle 2 – Aschen, Schlacken, Stäube und Baurestmassen. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2015, S. 107-116
- [25] Rettenberger, G.; Urban-Kiss, R.; Schneider, R.: Handbuch Bioabfallbehandlung, UBA-Texte 54/2012
- [26] Schüler, K.: Aufkommen und Verwertung von Verpackungsabfällen in Deutschland in Jahr 2014, UBA-Texte 64/2016
- [27] TOMM+C: Eigene Mengenabschätzung
- [28] TOMM+C: Recyclingquote, eigene Schätzung