

Ökoeffizienz in der Kunststoffverwertung

Matthias Franke, Katharina Reh und Peter Hense

1.	Ökoeffizienz und CO ₂ -Vermeidungskosten	355
2.	Kunststoffverwertung am Beispiel der Verpackungskunststoffe	355
2.1.	Erfassung	355
2.2.	Vorbehandlung und Verwertung	357
3.	Ökologische Betrachtung.....	358
4.	Ökonomische Betrachtung	363
5.	CO ₂ -Vermeidungskosten der Entsorgung von LVP-Abfällen	365
6.	Fazit und Optimierungsansätze	366
7.	Literatur	367

Im Integrierten Energie- und Klimaprogramm der Bundesregierung aus dem Jahr 2007 wurde eine Reduzierung der nationalen Treibhausgasemissionen bis 2020 im Vergleich zu 1990 um vierzig Prozent festgehalten. Im Vergleich der Quellkategorien wurde bisher die stärkste anteilige Senkung der Emissionen mit fast 75 Prozent im Abfallbereich erreicht [18]. Dies ist hauptsächlich auf die Einführung des Ablagerungsverbot für unbehandelte Abfälle sowie die Gasfassung und -verwertung bei Deponien zurückzuführen. Doch die Abfallwirtschaft trägt auch heutzutage durch Recycling und die energetische Nutzung von Abfällen weiterhin bedeutend zu Ressourcenschonung und Einsparung von Treibhausgas (THG)-Emissionen bei. Im Folgenden wird die Ökoeffizienz von Verwertungswegen am Beispiel der Kunststoffabfälle betrachtet, da dieser Abfallstrom sowohl stofflich als auch energetisch genutzt werden kann.

Der überwiegende Teil der Kunststoffe wird aus Erdöl hergestellt – insgesamt wurden im Jahr 2007 etwa fünf Prozent des weltweiten Mineralölverbrauchs zur Herstellung von Kunststoffen benötigt. Der Großteil des Verbrauchs ist jedoch auf die Bereiche Verkehr und Heizung zurückzuführen (Bild 1).

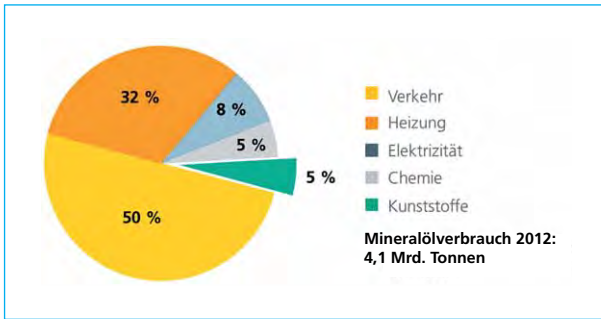


Bild 1: Globaler Mineralölverbrauch in verschiedenen Sparten

Quellen:

Exxon Mobil und Wintershall: Weltweiter Mineralölverbrauch 2005.

Erdöl-Vereinigung: Welt-Erdölverbrauch nach Regionen in 2012.

Daraus folgt, dass der Kunststoffsektor im Vergleich zu den großen Verbrauchssektoren Wärme und Mobilität nur einen sehr kleinen Hebel für THG-Einsparungen darstellt. In Deutschland wurden im Jahr 2011 etwa 10 Millionen Tonnen Kunststoffe für die Produktherstellung verbraucht. Dabei gingen etwa 30 Gew.-% des Verbrauchs auf den Verpackungsbereich zurück [4]. Da die Produkte im Verpackungsbereich vergleichsweise kurzlebig sind, hatten diese an den jährlich anfallenden post-consumer-Kunststoffabfällen mit 61 Gew.-% aber den höchsten Anteil (Bild 2). Nachfolgend sollen deshalb die Verpackungskunststoffe genauer beleuchtet werden.

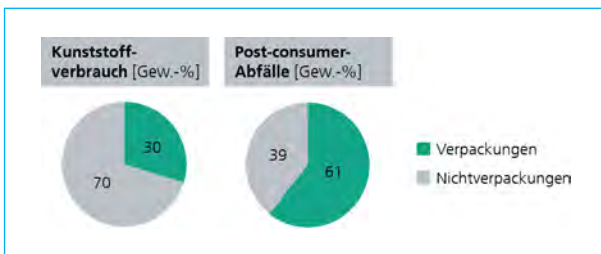


Bild 2: Anteil der Verpackungskunststoffe am Kunststoffverbrauch und den Post-consumer-Kunststoffabfällen in Deutschland 2011

Quelle:

Consultic Marketing & Industrieberatung GmbH: Produktion, Verarbeitung und Verwertung von Kunststoffen in Deutschland 2011.

Wie die Verwertung und Erfassung dieser Kunststoffverpackungsabfälle am sinnvollsten gestaltet werden kann, wird in der Fachwelt kontrovers diskutiert. Es stellt sich die Frage, ob aus ökologischer Sicht eine Steigerung der stofflichen Kunststoffverwertung forciert werden sollte, oder im Gegenzug der energetisch verwertete Anteil zu erhöhen ist. Die dafür erforderliche Organisation der Erfassung und Verwertung sollte dabei auch volkswirtschaftlich effizient ausgerichtet sein. Die gemeinsame Betrachtung von ökologischen und ökonomischen Aspekten wird unter dem Begriff Ökoeffizienz zusammengefasst.

1. Ökoeffizienz und CO₂-Vermeidungskosten

Mit dem Begriff Ökoeffizienz wird die Kosten- beziehungsweise Erlössituation eines Produktes, eines Prozesses oder einer umweltbezogenen Maßnahme im Verhältnis zum erforderlichen Ressourceneinsatz und/oder den entstehenden beziehungsweise eingesparten THG-Emissionen betrachtet. Als CO₂-Vermeidungskosten ausgedrückt wird die Reduzierung von Umweltbelastungen – hier: durch eine Verwertung von Kunststoffabfällen – den damit verbundenen Kosten gegenübergestellt. Im Bereich der erneuerbaren Energien liegen die CO₂-Vermeidungskosten zwischen etwa 20 EUR je Tonne CO₂-Äquivalenten (Wind onshore) und 151 EUR je Tonne CO₂-Äquivalenten (Photovoltaik) [5, 11, 22]. In diesem Kontext stellt sich daher die Frage, zu welchen Kosten die CO₂-Vermeidung durch Kunststoffrecycling realisiert werden kann.

2. Kunststoffverwertung am Beispiel der Verpackungskunststoffe

Für Verpackungen gilt seit Inkrafttreten der Verpackungsverordnung die Produktverantwortung für Inverkehrbringer. Die Gestaltung des durch die Verpflichteten organisierten Systems zur Entsorgung der Verpackungsabfälle sowie die bestehenden Missstände werden in [2, 3, 12, 21] umfassend beschrieben. Pfandpflichtige Einweggetränkeverpackungen (Ewgv) sind nicht dem dualen System sondern dem Pfandsystem zugeordnet.

2.1. Erfassung

In Deutschland wurden im Jahr 2011 etwa 2,36 Millionen Tonnen LVP-Abfälle mit der Sammlung der dualen Systeme erfasst. Die erfasste und lizenzierte Menge an LVP sowie die bepfandete Verpackungsmenge sind, mit darin enthaltenem Kunststoffanteil, in Bild 3 dargestellt.

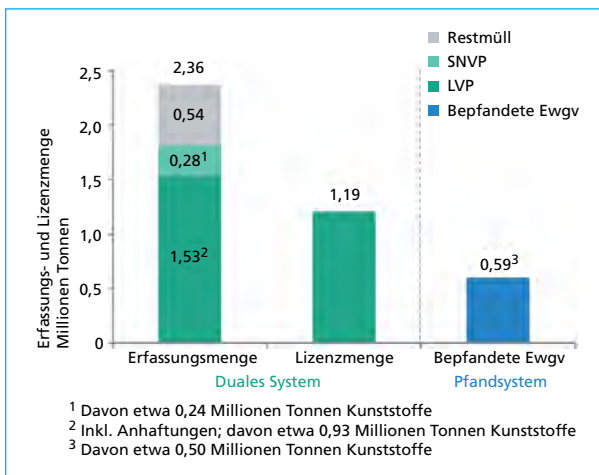


Bild 3: Durch duale Systeme erfasste und lizenzierte Mengen an LVP in Deutschland im Jahr 2011 mit darin enthaltenem Kunststoffanteil sowie Pfandmengen im Jahr 2010

Quellen:

Bundeskartellamt: Sektoruntersuchung duale Systeme.

Bünemann, A.; Rachut, G.; Christiani, J.; Langen, M.; Wolters, J.: Planspiel zur Fortentwicklung der Verpackungsverordnung. Teilvorhaben 1: Bestimmung der Idealzusammensetzung der Wertstofftonne.

Schüler, K.: Wirksamkeit der 5. Novelle der Verpackungsverordnung – die Lizenzierung von Verkaufsverpackungen.

Der Fehlwurfanteil in der getrennten Erfassung der dualen Systeme beträgt etwa 35 Gew.-%. Die Fehlwürfe bestehen etwa zu zwei Dritteln aus Restmüll (23 Gew.-%) und zu einem Drittel aus stoffgleichen Nichtverpackungen (12 Gew.-%) [3] (Bild 3 und 4a).

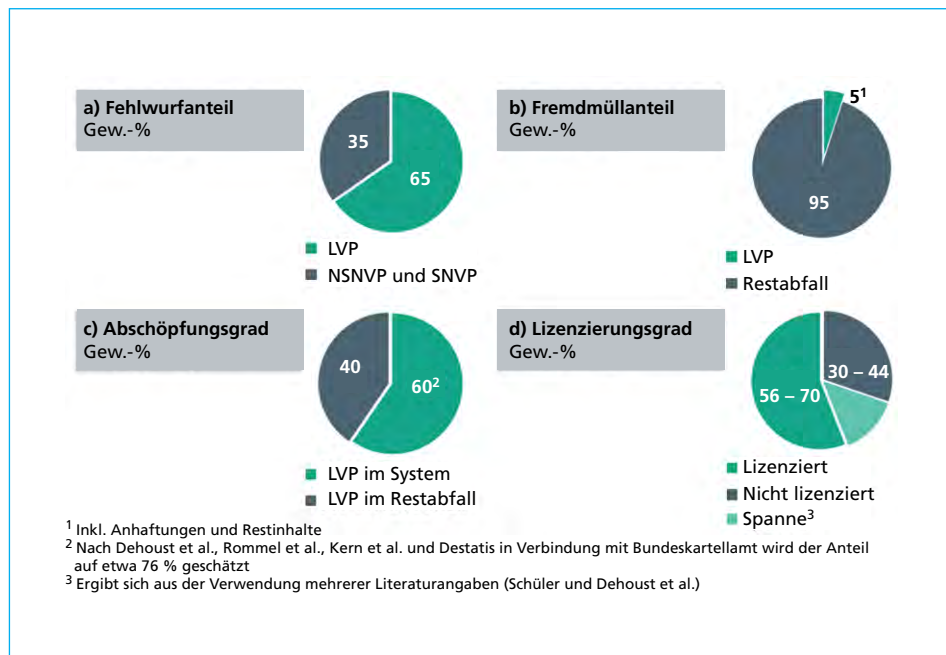


Bild 4: a) Fehlwurfanteil nach Bundeskartellamt und Dehoust et al., b) Fremdmüllanteil nach Rommel et al. und Kern et al., c) Abschöpfungsgrad nach Dehoust et al., d) Lizenzierungsgrad nach Schüler und Dehoust et al.

Bundeskartellamt: Sektoruntersuchung duale Systeme. Zwischenbilanz der Wettbewerbsöffnung.

Kern, M.; Siepenkothen, J.: Wertstoffe im Hausmüll – Potenziale für die Wertstofftonne. .

Rommel, W.; Hertel, M.; Meyer, S.; Nordsieck, H.; Schipf, R.: Wertstoffpotenziale im Restmüll in Bayern – Konsequenzen für eine optimale Erfassung.

Schüler, K.: Wirksamkeit der 5. Novelle der Verpackungsverordnung – die Lizenzierung von Verkaufsverpackungen.

Dehoust, G.; Christiani, J.: Analyse und Fortentwicklung der Verwertungsquoten für Wertstoffe. Sammel- und Verwertungsquoten für Verpackungen und stoffgleiche Nichtverpackungen als Lenkungsinstrument zur Ressourcenschonung.

Statistisches Bundesamt: Bevölkerung auf Grundlage des Zensus 2011.

Des Weiteren befinden sich LVP-Mengen nicht nur in der getrennten Erfassung, sondern als Fremdmüllanteil auch im Restabfall (Bild 4b). Das Potenzial im Restabfall wird durchschnittlich auf etwa 0,6 bis 1 Million Tonnen geschätzt [13, 15, 20]. Dem stehen 1,53 Millionen Tonnen LVP in der getrennten Erfassung gegenüber. Aufgrund des LVP-Anteils im Restabfall werden also, je nach Literaturquelle, insgesamt nur etwa 60 bis 76 Gew.-% der LVP in die getrennte Erfassung abgeschöpft, obwohl diese flächendeckend angeboten wird [3, 13, 15, 20, 24] (Bild 4c). Sowohl die Höhe des Fehlwurf- als auch des Fremdmüllanteils beeinträchtigen die ökoeffiziente Systemgestaltung und lassen den Rückschluss zu, dass die Akzeptanz des Systems bei den Bürgern gering ist.

Zur Akzeptanz des dualen Systems bei den Inverkehrbringern stellt der Lizenzierungsgrad einen Anhaltspunkt dar. Nach [16] und [20] sind lediglich etwa 30 bis 44 Gew.-% der in Verkehr gebrachten Verpackungen bei Systembetreibern lizenziert (Bild 4d). Nach Auffassung des Bundeskartellamtes ist der Anteil an Unterlizenzierung demgegenüber deutlich geringer. Die Differenz zwischen erfasster und lizenzierter Menge (Bild 3) soll nur mit den enthaltenen Anhaftungen begründbar sein. Diese Einschätzung basiert jedoch auf der Annahme, dass die gesamte lizenzierte LVP-Menge der getrennten Erfassung zugeführt wird. In der Realität findet sich aber ein erheblicher Anteil des Materials im Restabfall wieder (Bild 4b und c). Daraus ist abzuleiten, dass ein deutlicher Anteil der Verpackungen nicht lizenziert wird. Es besteht also sowohl auf Seiten der Verbraucher als auch auf Seiten der Inverkehrbringer ein Akzeptanzproblem. Als Ursachen für die Unterlizenzierung werden unter anderem die in der VerpackV vorhandenen *definitorischen Unschärfen* gesehen, welche eine behördliche Kontrolle erschweren. Auch die Totalverweigerung der Lizenzierung durch einige Inverkehrbringer, pauschale Abzüge bei den Lizenzmengen oder Spielräume bei der Verpackungsdefinition werden in diesem Zusammenhang genannt [16].

2.2. Vorbehandlung und Verwertung

Etwa 50 Gew.-% der getrennt gesammelten LVP-Menge besteht aus LVP- und SNVP-Kunststoffen [19]. Zur stofflichen Verwertung werden aus dem LVP-Material 11 Gew.-% an sortenreinen Kunststoffen sowie 10 Gew.-% an gemischten Kunststoffen aussortiert. Etwa die gleiche Menge an Kunststoffen wird als MKF-Fraktion energetisch verwertet (23 Gew.-%) (Bild 5). Zudem beinhaltet auch der energetisch verwertete Sortierrest einen bestimmten Anteil an Kunststoffen.

Für die Ermittlung der Verwertungsquoten des dualen Systems werden die Inputmengen des Verwertungsschrittes herangezogen. Wie Bild 5 zeigt, sind jedoch im Recyclingprozess zum Teil erhebliche Verluste durch den Feuchtegehalt und den aus der Stofflichen nachträglich in die energetische Verwertung abgesteuerten Mengen zu verzeichnen. Bei den Mischkunststoffen werden beispielsweise lediglich zwei Drittel des Verwertungsinputs tatsächlich wiedereingesetzt. Außerdem wird hier durch das Recycling zu etwa 60 Prozent kein Primärkunststoff, sondern Holz und Beton als Baumaterial ersetzt. Die Ursachen für die vergleichsweise hohen Verluste im Recyclingprozess sind in der zu geringen Qualität der Inputmaterialien zu sehen. Mögliche Gründe für die Ausbringung minderwertiger Stoffströme für das Recycling sind zum einen der Kostendruck auf Seiten der Lohnsortierer, die in der Folge ihre Anlagen überlasten [17]. Zum anderen werden die Fraktionen teilweise nicht witterungsgeschützt gelagert, was einen hohen Feuchteverlust in der Verwertung nach sich zieht. Da nur durch einen möglichst verlustarmen Verwertungsschritt eine hohe Ökoeffizienz für das Gesamtsystem erreicht werden kann, sind Anstrengungen für eine bessere Qualität des Inputmaterials erforderlich. Dies kann jedoch durch die derzeit gemessen am gesamten Anlageninput ermittelte Verwertungsquote nicht erreicht werden. Hier wird der Fokus auf die Menge, nicht aber auf die Qualität gelegt, weshalb durch diese Quote auch keine Lenkungswirkung hin zu höheren Wiedereinsatzmengen besteht.

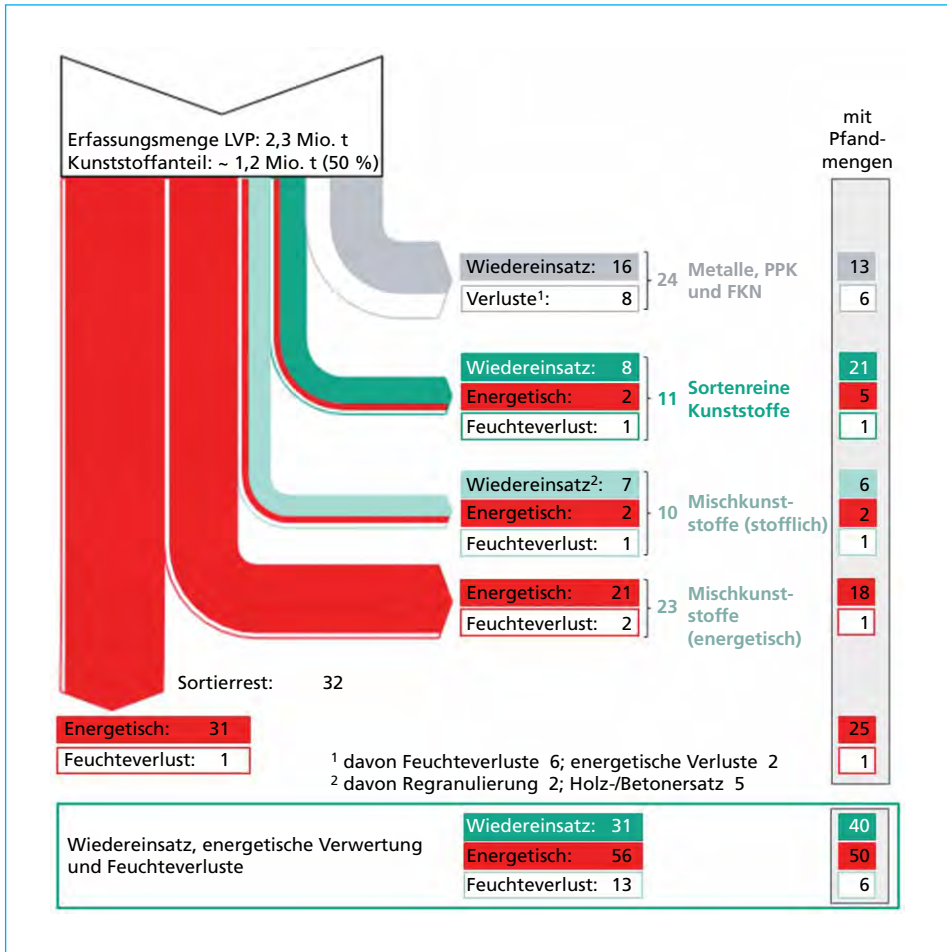


Bild 5: Durch Sortierung gewonnene Fraktionen zur Verwertung aus getrennt erfassten LVP in Deutschland mit Verlusten im Verwertungsschritt in Gew.-%.

Eigene Darstellung nach:

Bünemann, A.; Rachut, G.; Christiani, J.; Langen, M.; Wolters, J.: Planspiel zur Fortentwicklung der Verpackungsverordnung. Teilvorhaben 1: Bestimmung der Idealzusammensetzung der Wertstofftonne.

Dehoust, G.; Christiani, J.: Analyse und Fortentwicklung der Verwertungsquoten für Wertstoffe. Sammel- und Verwertungsquoten für Verpackungen und stoffgleiche Nichtverpackungen als Lenkungsinstrument zur Ressourcenschonung.

3. Ökologische Betrachtung

Zur Beurteilung der ökologischen Effizienz der Prozesskette der Erfassung und Verwertung von Kunststoffverpackungen werden nachfolgend die THG-Emissionen herangezogen. Da bei hohen THG-Emissionen meist auch andere ökologische Wirkungskategorien schlecht bewertet werden, ist diese Vereinfachung gegenüber einer ganzheitlichen Ökobilanz gerechtfertigt. Das für die THG-Bilanzierung verwendete Berechnungsmodell ist methodisch an die DIN EN ISO 14040 angelehnt und

ÖSTERREICH IST EUROPAMEISTER



Österreich ist europaweit Spitzenreiter. Zwar nicht beim Fußball, aber beim Recycling: Mit 63% Verwertungsrate bei Siedlungsabfällen führt Österreich das EU Ranking an.

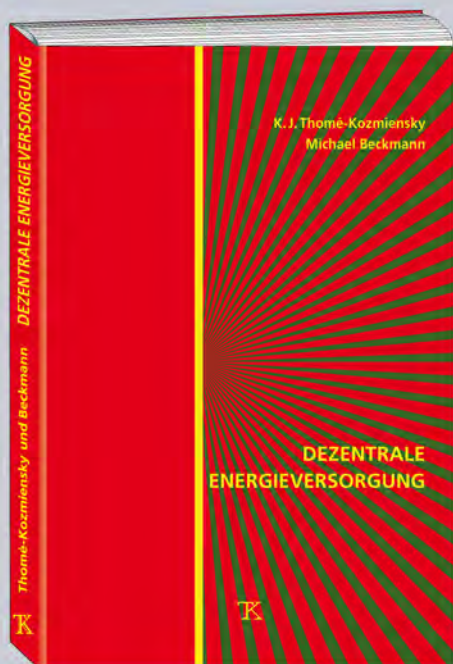
Wir von der ARA, Österreichs führendem Sammel- und Verwertungssystem für Verpackungen, tragen unseren Teil dazu bei: Mit jährlich 830.000 Tonnen Verpackungsabfällen liefern wir wertvolle Rohstoffe für die Wirtschaft und ersparen der Umwelt 640.000 Tonnen CO₂.

ARA.recycling www.ara.at

SO MACHT RECYCLING SINN.

ARA Altstoff Recycling Austria

Dezentrale Energieversorgung



Dezentrale Energieversorgung

ISBN: 978-3-935317-95-5
Erschienen: Juni 2013
Gebundene Ausgabe: 468 Seiten
mit zahlreichen farbigen Abbildungen
Preis: 40.00 EUR

Herausgeber: Karl J. Thomé-Kozmiensky und Michael Beckmann • Verlag: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky

Die Energiewende mit der Umstrukturierung des Energieversorgungssystems stellt technische, wirtschaftliche und gesellschaftliche Herausforderung dar. Hinsichtlich Ausmaß und Tragweite ist dies eine industrielle Revolution. Die Probleme sind komplex und vielschichtig: Anstrengungen zum Klimaschutz, ungewisse Reichweiten und Verfügbarkeiten fossiler und regenerativer Energieressourcen, Umsetzung des Kernenergieausstiegs bei Aufrechterhaltung der Versorgungssicherheit, dabei stark steigende Energiepreise. Dennoch soll die Versorgungssicherung auch stromintensiver Unternehmen und von Kommunen sicher sein.

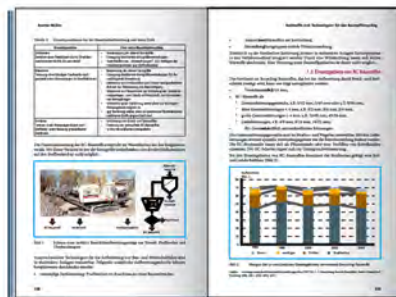
Insbesondere sollen trotz der fluktuierenden Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien und des zögerlichen Ausbaus der Netze und Speicher die Energieeffizienz gesteigert und ausreichende Kraftwerksreservekapazitäten vorgehalten werden.

Dezentrale Lösungen können im günstigen Fall die entscheidende Maßnahme sein.

Etlche Gebietskörperschaften, Industrieunternehmen und Gewerbetreibende haben schon Erfahrungen mit dezentralen Energieversorgungskonzepten. Sie werden ihre Erfahrungen und Aktivitäten bei der Berliner Konferenz präsentieren.

Themenschwerpunkte sind:

- Strategien, Konzepte, Wirtschaft, Recht,
- Stadtwerke und regionale Energieversorger – Modelle und Beispiele –,
- Dezentrale Versorgung mit Strom und Wärme – Systemintegration von Erzeugern, Netzen und Verbrauchern –,
- Energetische Verwertung von Biomasse.



Bestellungen unter www.vivis.de
oder

Dorfstraße 51
D-16816 Nietwerder-Neuruppin
Tel. +49.3391-45.45-0 • Fax +49.3391-45.45-10
E-Mail: tkverlag@vivis.de

vivis
TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky

umfasst die Prozessschritte Erfassung, Transport, Vorbehandlung, Nachtransport und Verwertung. Dabei beinhaltet die Erfassung den Transport des Materials bis zu einer Umschlagstelle. Für das Bringsystem Wertstoffhof werden die Emissionen, die aus dem Eigentransport resultieren, vernachlässigt. Der Transport bepfandeter Ewgv von Rücknahmestelle zu Umschlagplatz wird nicht berücksichtigt. Der Prozessschritt Transport umfasst, für den Fall dass ein Umschlag stattfindet, den Transport von Umschlagstelle zur Vorbehandlung. Im Nachtransport werden Mengen von Vorbehandlung zur Verwertung transportiert. Innerhalb der Verwertung werden nachgelagerte Schritte, wie die Schlackenaufbereitung zur Metallrückgewinnung aus Verbrennungsprozessen, mit betrachtet. Die in den Prozessschritten auftretenden Belastungen und Gutschriften sind in Bild 6 dargestellt.

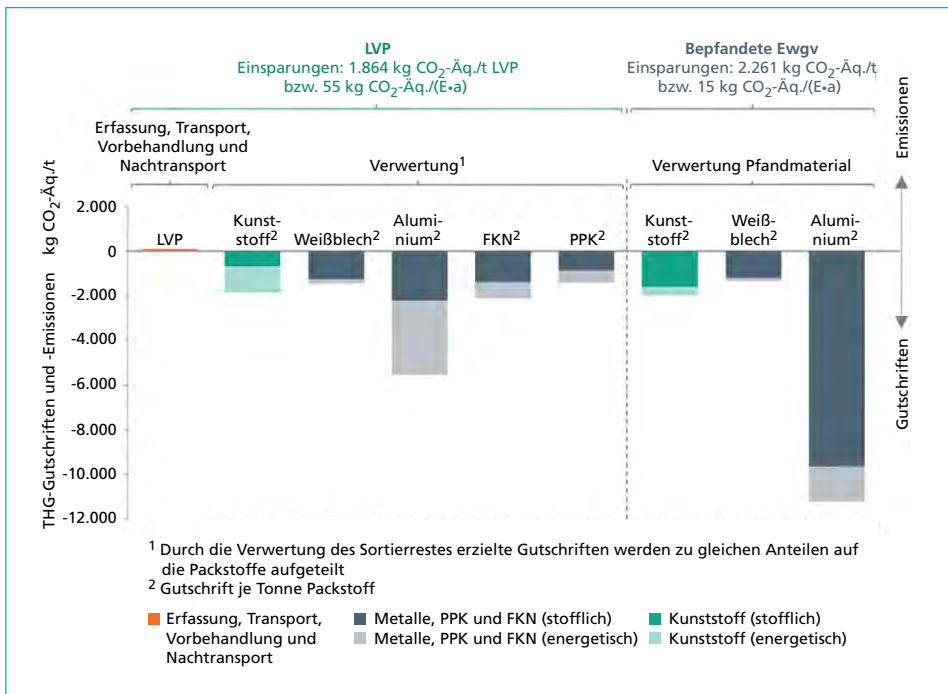


Bild 6: THG-Gutschriften und Emissionen von Sammlung, Transport, Vorbehandlung und Verwertung von LVP sowie Verwertung von Pfandmaterial

Eigene Berechnung nach:

Bundeskartellamt: Sektoruntersuchung duale Systeme. Zwischenbilanz der Wettbewerbsöffnung.

Dehoust, G.; Christiani, J.: Analyse und Fortentwicklung der Verwertungsquoten für Wertstoffe. Sammel- und Verwertungsquoten für Verpackungen und stoffgleiche Nichtverpackungen als Lenkungsinstrument zur Ressourcenschonung.

Für LVP-Material sind die durch Erfassung, Transport, Sortierung sowie Nachtransport verursachten Emissionen gegenüber den durch energetische und stoffliche Verwertung der einzelnen Packstoffe erzielten Gutschriften gering. Die durch die Verwertung von Kunststoffen erreichten Einsparungen sind im Vergleich zu den Packstoffen Weißblech, Flüssigkeitskartonagen (FKN) und Papier, Pappe und Kartonagen (PPK) vergleichbar hoch.

Da etwa die Hälfte der enthaltenen Kunststoffe für eine energetische Verwertung aussortiert wird und zusätzlich Mengen aus der stofflichen Verwertung aufgrund zu geringer Qualität nachträglich energetisch verwertet werden (Bild 5), ist der Anteil der durch das Recycling erzielten Gutschriften an den gesamten Gutschriften je Tonne Kunststoff relativ gering. Im Vergleich der Packstoffe ist einzig für Aluminium eine deutlich höhere spezifische Einsparung möglich, da der Primärherstellungsprozess für dieses Metall mit einem sehr hohen Energieverbrauch verbunden ist. Bei Betrachtung der bepfandeten Kunststoffverpackungen zeigt sich, dass die Einsparungen spezifisch im Vergleich zu den LVP-Kunststoffmengen etwas höher sind. Das bepfandete Material besteht größtenteils aus PET-Flaschen, die sortenrein und relativ wenig verschmutzt vorliegen. Damit ist hierfür ein hoher Anteil an stofflicher Verwertung möglich, welche für PET gegenüber der energetischen Verwertung mit höheren Einsparungen verbunden ist (Bild 7).

Ob hinsichtlich der THG-Emissionen eine stoffliche oder eine energetische Verwertung von Kunststoffen günstiger ist, hängt von der Kunststoffart sowie den Wirkungsgraden der energetischen Verwertung ab (Bild 7).

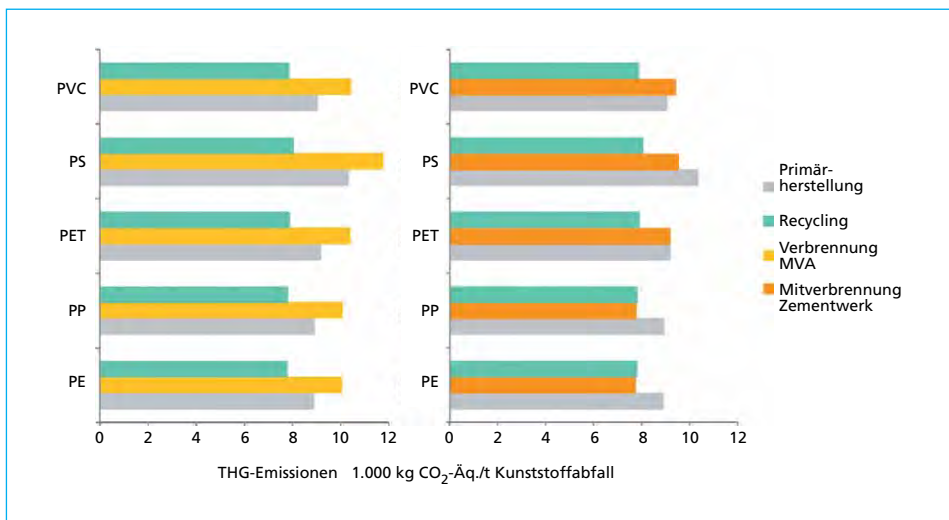


Bild 7: THG-Emissionen bei der stofflichen und energetischen Verwertung sowie der Primärherstellung für verschiedene Kunststoffarten (eigene Berechnung)

Durch das Recycling werden für alle betrachteten Kunststoffarten gegenüber der Primärherstellung THG-Emissionen eingespart. Auch gegenüber einer Verbrennung der Kunststoffabfälle in einer Abfallverbrennungsanlage mit durchschnittlichem Wirkungsgrad fällt die THG-Bilanz für die stoffliche Verwertung günstiger aus. Findet die energetische Verwertung jedoch mit einem hohen Wirkungsgrad statt, wie bei der Mitverbrennung im Zementwerk der Fall, sind die THG-Emissionen bei Recycling und energetischer Verwertung für einige Kunststoffarten vergleichbar hoch. Dies gilt

für Kunststoffe, bei denen die Herstellung mit einem vergleichsweise geringen Energieaufwand verbunden ist, wie es bei Polypropylen (PP) und Polyethylen (PE) der Fall ist. Für die Kunststoffarten, deren Herstellungsprozess aufwändiger ist, bleibt der Vorteil geringerer THG-Emissionen bei dem Recycling gegenüber der energetischen Nutzung bestehen.

4. Ökonomische Betrachtung

Der Umsatz der Dualen Systeme lag im Jahr 2011 bezogen auf die lizenzierte Menge für Kunststoffe etwa fünfmal so hoch wie für die Fraktionen Glas sowie PPK. Bei diesen Fraktionen war der Umsatz je Tonne innerhalb der letzten zehn Jahre darüber hinaus stabil, für Kunststoffe hat sich dieser dagegen von etwa 1.020 EUR je Tonne im Jahr 2003 auf etwa 620 EUR je Tonne im Jahr 2011 verringert [3]. Dies spiegelt sich auch in den Lizenzgebühren wider. Diese lagen bei einem ausgewählten Systembetreiber im Jahr 2013 für Kunststoffverpackungen fünfmal höher als für PPK (860 EUR je Tonne gegenüber 158 EUR je Tonne) sowie zwölfmal höher als für Glas (71 EUR je Tonne) [23].

Die Höhe des Lizenzentgeltes spiegelt den für den Systembetreiber erforderlichen Aufwand in den drei Wertschöpfungsstufen Erfassung, Vorbehandlung und Verwertung wider. Das Bundeskartellamt hat für das Jahr 2011 Angaben zu den Kosten für Erfassung, Vorbehandlung und Verwertung veröffentlicht, die durch Befragung der Systembetreiber ermittelt wurden. Der Verwertungsschritt wird darin als kostenneutral angegeben [3] (Bild 8). Angaben zur Aufteilung auf die einzelnen Packstoffe im LVP-Material standen den Autoren jedoch nicht zur Verfügung.

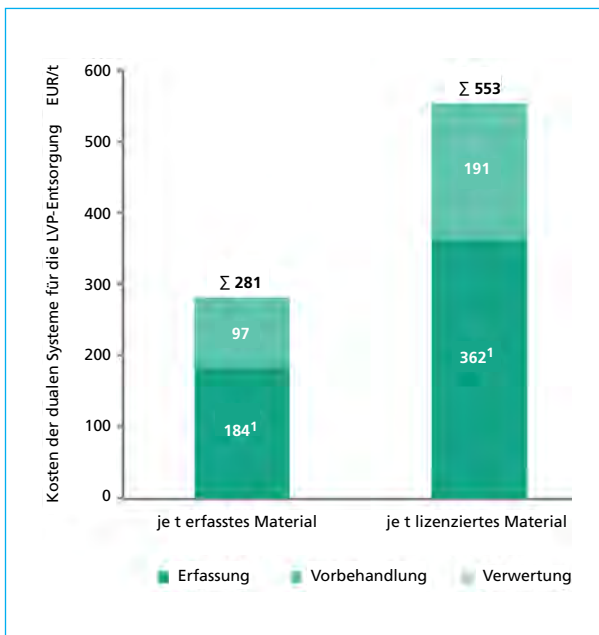


Bild 8:

Kosten der dualen Systeme für die LVP-Entsorgung

Quelle: Bundeskartellamt: Sektoruntersuchung duale Systeme. Zwischenbilanz der Wettbewerbsöffnung.

Durch den hohen Fehlwurfanteil und den geringen Lizenzierungsgrad sind die erfassungsmengenspezifischen etwa halb so hoch wie die lizenzmengenspezifischen Kosten. Zwei Drittel der Entsorgungskosten werden durch die Aufwendungen für die Erfassung verursacht, welche auch die an die Kommunen zu zahlenden Nebenentgelte beinhalten. Im Jahr 2011 beliefen sich die operativen Kosten der dualen Systeme für die LVP-Entsorgung insgesamt auf etwa 663 Millionen EUR [3]. Für das Pfandsystem in Deutschland sind keine validierten Daten verfügbar. Es wird jedoch in Fachkreisen als wenig kosteneffizient eingeschätzt [2, 10].

Nachfolgend soll der Bereich der Verwertungskosten zusätzlich auf Ebene der verwerteten Sortierfraktionen betrachtet werden. In Deutschland stellen die Fraktionen Sortierrest und Mischkunststoffe etwa 65 Gew.-% der Mengen zur Verwertung aus dem getrennt erfassten LVP-Material (Bild 5). Diese gemischten Stoffströme sind im Gegensatz zu den Sortenreinen im Verwertungsschritt mit Zuzahlungen verbunden. Werden Schätzungen zu Erlösen und Zuzahlungen für Sortierfraktionen aus dem Jahr 2011 herangezogen, so zeigt sich, dass die von den Systembetreibern bzw. dem Bundeskartellamt angegebene Kostenneutralität des Verwertungsschrittes damit zumindest nicht belegt werden kann (Tabelle 1).

Sortierfraktion	Kosten (+)/ Erlöse (-) EUR/Tonne	Anfallende Menge Tonne/Jahr	Kosten (+)/ Erlöse (-) (Mittelwert) Mio. EUR/Jahr
Weißblech	-50/-100	258.900	-45,3
Aluminium	-20/-160	63.600	-6,4
Folien	-30	124.800	-5,6
Sortenreine Kunststoffe	-200	131.200	-39,4
Mischkunststoffe	+50	749.200	+56,2
FKN	+/-0	140.900	+/-0
PPK	+/-0	75.000	+/-0
Sortierrest	+340 / +70	726.400	+272,4
Gesamt	+102 EUR/Tonne Output aus der Sortierung		

Quellen:

Bünemann, A.; Christiani, J.: Die Idealszusammensetzung der Wertstofftonne.

Krähling, H.: Wertstoffeffassung: Bürger-nah, effizient und fair finanziert.

Dehoust, G.; Christiani, J.: Analyse und Fortentwicklung der Verwertungs-quoten für Wertstoffe. Sammel- und Verwertungsquoten für Verpackungen und stoffgleiche Nichtverpackungen als Lenkungsinstrument zur Ressourcenschonung.

Tabelle 1: Erlöse und Zuzahlungen von Sortierfraktionen aus LVP-Material

Je Tonne sortiertem Material wären überschlägig etwa 102 EUR an Zuzahlungen notwendig. Die Annahmehöhen in kommunalen Abfallverbrennungsanlagen bewegten sich im Jahr 2012 dagegen zwischen 45 und 200 EUR je Tonne Abfall, und sind damit zum Teil deutlich günstiger, als die prognostizierten Kosten für die LVP-Verwertung [7]. Da es sich hier lediglich um eine Abschätzung handelt, sollen für die folgenden Betrachtungen jedoch weiterhin die Angaben des Bundeskartellamtes herangezogen werden.

5. CO₂-Vermeidungskosten der Entsorgung von LVP-Abfällen

Aus den dargestellten THG-Einsparungen je Tonne erfasster LVP-Menge sowie den Angaben des Bundeskartellamtes zur Kostensituation lassen sich überschlägig CO₂-Vermeidungskosten ermitteln. Diese werden in Bild 9 beispielhaft den CO₂-Vermeidungskosten von regenerativen Energiequellen gegenübergestellt.

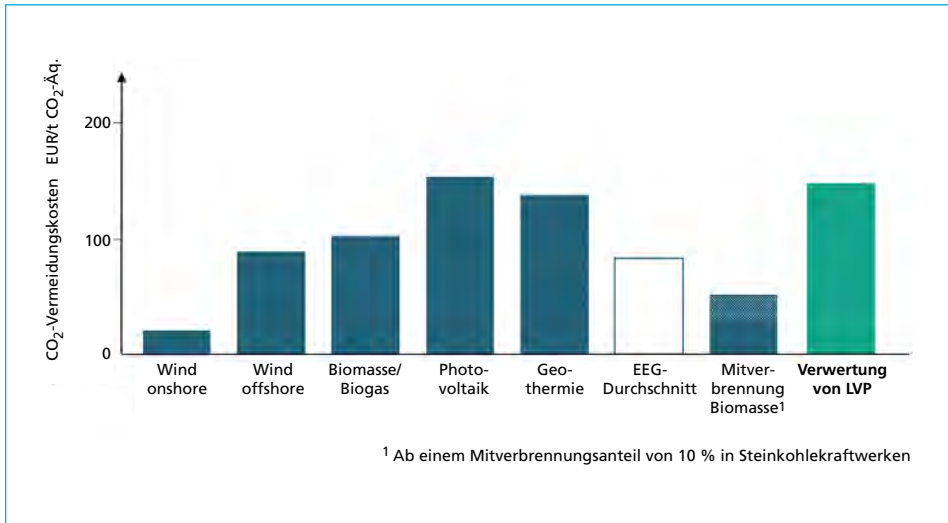


Bild 9: CO₂-Vermeidungskosten der LVP-Verwertung im Vergleich zu regenerativen Energiequellen

Eigene Berechnung nach:

Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena) (Hrsg.): Die Mitverbrennung holzartiger Biomasse in Kohlekraftwerken.

Wirth, H.: Aktuelle Fakten zur Photovoltaik in Deutschland. Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE.

Kost, C.; Mayer, J.; Thomsen, J.; Hartmann, N.; Senkpiel, C.; Philipps, S.; Nold, S.; Lude, S.; Schlegl, T.: Stromgestehungskosten erneuerbare Energien. Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme.

Bundeskartellamt: Sektoruntersuchung duale Systeme. Zwischenbilanz der Wettbewerbsöffnung.

Die ermittelten CO₂-Vermeidungskosten der LVP-Verwertung, inklusive der Prozessschritte Erfassung und Vorbehandlung, liegen mit etwa 150 EUR/t CO₂-Äquivalenten etwas höher als bei den dargestellten regenerativen Energiequellen. Die Photovoltaik ist mit vergleichbaren Vermeidungskosten verbunden. Eine Abschätzung der Vermeidungskosten für Verpackungskunststoffe ist mangels verfügbarer Kostendaten nicht möglich. Für eine grobe Einordnung ist zu berücksichtigen, dass die spezifischen CO₂-Einsparungen durch die Verwertung von Verpackungskunststoffen im Vergleich zu den anderen LVP-Packstoffen vergleichbar hoch oder geringer sind (Bild 6) und die von den Systembetreibern geforderten Lizenzgebühren im Vergleich zu anderen Packstoffen deutlich höher liegen. Deshalb dürften die Vermeidungskosten für Verpackungskunststoffe deutlich höher ausfallen als für das LVP-Gemisch.

6. Fazit und Optimierungsansätze

Die Verwertung von Abfällen leistet einen wesentlichen Beitrag zur Ressourcenschonung und Treibhausgaseinsparung. Welche Verwertungs- und Erfassungswege hierbei für die verschiedenen Abfallarten am sinnvollsten sind, wird in der Fachwelt besonders für den Stoffstrom Kunststoffe kontrovers diskutiert. Wird die Ausgestaltung der Entsorgung im Verpackungsbereich genauer betrachtet, sind einige Defizite festzustellen. So ist die Akzeptanz des Erfassungs- und Verwertungssystems bei den Bürgern (hoher Fehlwurf- und Fremdmüllanteil) sowie bei den Verpflichteten (niedriger Lizenzierungsgrad) gering. Nach der Sortierung werden lediglich 45 Gew.-% des Materials als Fraktionen für eine stoffliche Verwertung bereitgestellt. Im anschließenden Recyclingprozess treten erhebliche Verluste durch den Feuchtegehalt und Mengen, die aufgrund geringer Qualität nachträglich energetisch verwertet werden, auf. In Summe werden deshalb nur etwa 31 Gew.-% des erfassten Materials tatsächlich wiedereingesetzt.

Für eine Einordnung der Ökoeffizienz der Kunststoffverwertung wurden zum einen die THG-Gutschriften durch die Verwertung gegenüber anderen Packstoffen betrachtet. Hier zeigt sich, dass diese für Kunststoffe im Vergleich zu dem überwiegenden Teil der Packstoffe ähnlich hoch sind. Ob die energetische oder die stoffliche Verwertung bezüglich der THG-Emissionen günstiger ist, ist dabei in starkem Maße von der betrachteten Kunststoffart sowie dem Wirkungsgrad der energetischen Verwertung abhängig. In der Regel ist das Recycling mit Einsparungen verbunden. Bei hohem Wirkungsgrad der energetischen Verwertung und für Kunststoffarten mit geringem Aufwand für die Primärproduktion weisen beide Wege jedoch vergleichbare Emissionen auf. Bei der ökonomischen Betrachtung ist festzustellen, dass die Lizenzgebühren für Kunststoffe gegenüber anderen Packstoffen um ein Vielfaches höher liegen. Damit ist auch anzunehmen, dass die für LVP überschlägig ermittelten CO₂-Vermeidungskosten von etwa 150 EUR je Tonne bei einer Einzelbetrachtung des Kunststoffanteils deutlich höher und damit über den Kosten für die zum Vergleich herangezogenen regenerativen Energiequellen liegen würden. Zudem ist anzunehmen, dass die stoffliche Verwertung des LVP-Materials mit höheren Kosten verbunden ist als eine energetische Nutzung bei einer theoretischen Belassung des Materials im Restabfall.

Insgesamt leistet die stoffliche Verwertung von post-consumer-Verpackungskunststoffen aus dem Haushaltsbereich einen wertvollen Beitrag zu Klima- und Ressourcenschutz. Das Recycling ist jedoch nur dann sinnvoll, wenn es sich um einen qualitativ hochwertigen Inputstrom handelt, da hierfür ein vergleichsweise hoher Aufwand für Erfassung und Sortierung erforderlich ist. Für minderwertige Stoffströme sollte eine energetische Verwertung mit hohen Wirkungs- bzw. Nutzungsgraden erfolgen. Bezüglich der aktuellen Diskussion um die Miterfassung von stoffgleichen Nichtverpackungen in einer Wertstofftonne ist abzuwarten, ob sich der enthaltene Kunststoffanteil positiv auf die Bilanz der Kunststoffverwertung auswirken würde.

Für das duale System sind Verbesserungspotenziale in Bezug auf die ökoeffiziente Gestaltung vor allem durch eine ökologische Gewichtung der Lizenzentgelte, eine effizientere Gestaltung der Erfassung sowie eine Orientierung der Verwertungsquoten an dem tatsächlich wieder eingesetzten Anteil festzuhalten.

Durch die Orientierung der Lizenzentgelte an dem Aufwand für Erfassung, Vorbehandlung und Verwertung der Packstoffe kann derzeit keine ökologische Lenkungswirkung erzielt werden. Darüber hinaus ist der Anteil des Lizenzentgeltes am Produktpreis sehr gering und wird an den Konsumenten durchgereicht. Die Auswahl der eingesetzten Packstoffart sowie -menge durch die Inverkehrbringer orientiert sich deshalb nicht an ökologischen Gesichtspunkten, sondern beispielsweise an Marketing-, Schutz- oder Convenience-Aspekten. Durch eine ökologische Gewichtung der Lizenzentgelte, beispielsweise an Recyclingfähigkeit oder Umweltauswirkungen der Packstoffe ausgerichtet, könnten die Anstrengungen bei Abfallvermeidung und Verwendung recyclinggerechter und ökologisch vorteilhafter Packstoffe verstärkt werden [9]. Im Bereich der Erfassung führt die Pflicht zur Flächendeckung für jeden Systembetreiber zu einem hohen ökonomischen und organisatorischen Aufwand [12]. Dagegen wäre eine kumulative Flächendeckung deutlich weniger komplex. Des Weiteren werden durch die Ermittlung der Verwertungsquoten anhand des Input in die Verwertungsanlagen vermehrte Recyclinganstrengungen behindert. Hier wäre eine Orientierung an der tatsächlich wiedereingesetzten Menge zielführender. Zudem wird die Situation des Recyclings durch den Bezug der für die Systembetreiber geltenden Verwertungsquoten auf die Lizenzmenge zu optimistisch eingeschätzt. Bei dieser Bezugsmenge würde ein steigender Anteil an Trittbrettfahren bei gleichbleibender recycelter Menge rechnerisch zu einer verbesserten Recyclingquote führen. Durch Bezug der Quoten auf die Marktmenge könnte eine solche Verzerrung vermieden werden.

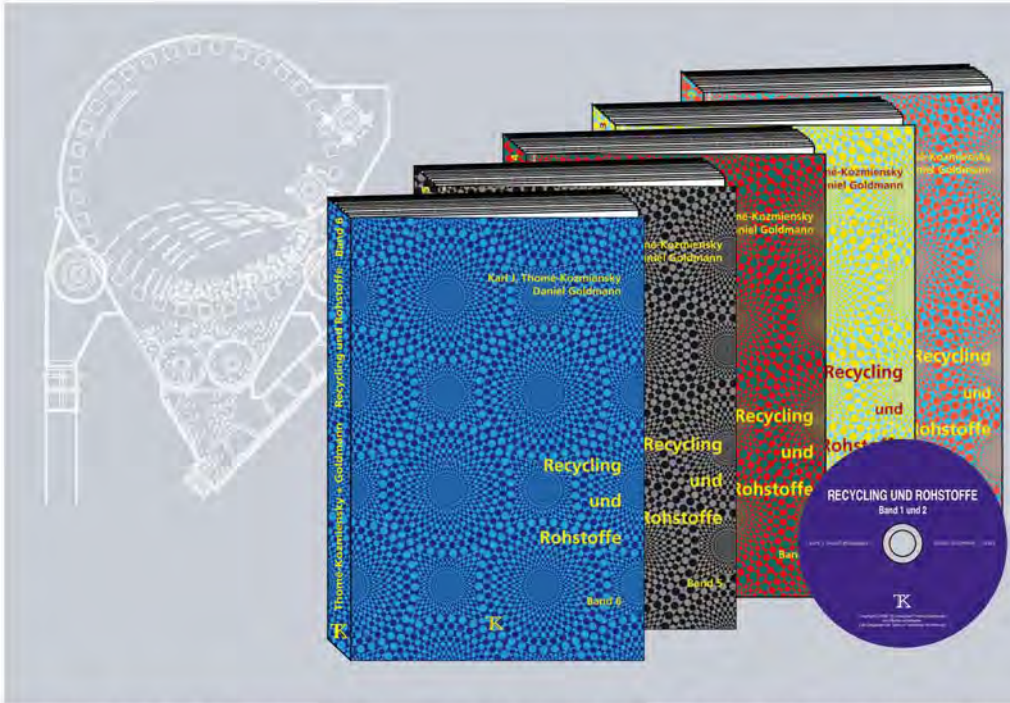
7. Literatur

- [1] Bünemann, A.; Christiani, J.: Die Idealzusammensetzung der Wertstofftonne. Vortrag auf dem Cyclos focus congress: Die Einführung der Wertstofftonne. Berlin: 17. März 2011. http://www.cyclos.de/fileadmin/user_upload/Vortrag_05_Buenemann_Christiani_Idealzusammensetzung.pdf, abgerufen am 7. August 2013
- [2] Baum, H.-G.: Zur Rationalität staatlicher Eingriffe im Abfallsektor – dargestellt am Beispiel der Verpackungsverordnung (VerpackV) – eine Philippika – Teil I und II. In: Müll und Abfall 7 und 8. Berlin: Erich Schmidt Verlag GmbH & Co. KG, 2012, Seiten 366 – 372 (Teil I), Seiten 412 – 420 (Teil II).
- [3] Bundeskartellamt: Sektoruntersuchung duale Systeme. Zwischenbilanz der Wettbewerbsöffnung. Abschlussbericht. Bonn: 2012, 118 Seiten.
- [4] Consultic Marketing & Industrieberatung GmbH: Produktion, Verarbeitung und Verwertung von Kunststoffen in Deutschland 2011 – Kurzfassung. Alzenau: August 2012. – <http://www.bvse.de/10/5790/Neue%20Studie%20zu%20Produktion,%20Verbrauch%20und%20Verwertung%20von%20Kunststoffen%20in%20Deutschland>, abgerufen am 5. Dezember 2013
- [5] Deutsche Energie-Agentur GmbH (Hrsg.): Die Mitverbrennung holzartiger Biomasse in Kohlekraftwerken. Berlin: August 2011, 36 Seiten. – http://www.dena.de/fileadmin/user_upload/Presse/Meldungen/2011/Dokumente/Endbericht_Biomassenutzung_in_Kohlekraftwerken_final_01.pdf, abgerufen am 17. Dezember 2013
- [6] Erdöl-Vereinigung: Welt-Erdölverbrauch nach Regionen in 2012. Zürich: 2012. – http://www.erdoel-vereinigung.ch/Libraries/Zahlen_und_Fakten/Jahresgrafiken_2012_d_4.pdf, abgerufen am 19. Dezember 2013
- [7] Europäischer Wirtschaftsdienst Recycling und Entsorgung: Entsorgungsmarkt für Siedlungsabfälle. Gernsbach: EUWID Europäischer Wirtschaftsdienst GmbH, Ausgabe 50, Jahrgang 22. 2012, Seite 21.

- [8] Exxon Mobil und Wintershall: Weltweiter Mineralölverbrauch 2005. In: Reimer, V.; Künkel, A.; Philip, S.: Sinn oder Unsinn von Bio. *Kunststoffe* 8/2008. München: Carl Hanser-Verlag, 2008. Seiten 32-36. – <https://www.kunststoffe.de/kunststoffe-zeitschrift/archiv/artikel/eine-oeko-effizienz-betrachtung-sinn-oder-unsinn-von-bio-541118.html>, abgerufen am 19. Dezember 2013
- [9] Franke, M.; Mocker, M.; Faulstich, M.; Baum, H.-G.: Wertstoffe und Verpackungsabfälle – ein alternatives Duales System. In: Flamme, S.; Gallenkemper, B.; Gellenbeck, K.; Rotter, S.; Kranert, M.; Nelles, M. (Hrsg.): 12. Tagungsband der Münsteraner Abfallwirtschaftstage. Münster: LASU der Fachhochschule Münster, 15. - 16. Februar 2011, Seiten 79-86
- [10] Hartwig, W.: 21 Jahre Verpackungsverordnung – Irrwege und Ineffizienzen. In: Verband kommunaler Unternehmen e.V. (VKU) (Hrsg.): *Schwarzbuch Verpackungsentsorgung. Eine kritische Bilanz nach über 20 Jahren Verpackungsverordnung*. Berlin: 2013, Seiten 6-9.
- [11] Kost, C.; Mayer, J.; Thomsen, J.; Hartmann, N.; Senkiper, C.; Philipps, S.; Nold, S.; Lude, S.; Schlegl, T.: *Stromgestehungskosten erneuerbare Energien*. Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme. Freiburg: November 2013, 45 Seiten. – <http://www.ise.fraunhofer.de/de/veroeffentlichungen/veroeffentlichungen-pdf-dateien/studien-und-konzeptpapiere/studie-stromgestehungskosten-erneuerbare-energien.pdf>, abgerufen am 18. Dezember 2013
- [12] Schulze et al. 2010: Schulze, S.; Straubhaar, T.: *Der Markt für die Entsorgung von Verpackungen in Deutschland: Situation und Reformoptionen*. Hamburgisches WeltWirtschaftsinstitut. Hamburg: 2010, 65 Seiten.
- [13] Kern, M.; Siepenkothen, J.: Wertstoffe im Hausmüll – Potenziale für die Wertstofftonne. In: Wiemer, K.; Kern, M. (Hrsg.): *Bio- und Sekundärrohstoffverwertung VII*. Witzenhausen-Institut für Abfall, Umwelt und Energie GmbH. Witzenhausen: 2012, Seiten 327-339.
- [14] Krähling, H.: Wertstofffassung: Bürgernah, effizient und fair finanziert. Vortrag auf dem Kolloquium Zukunft Kunststoffverwertung. Krefeld: 6. September 2011. – http://www.bkv-gmbh.de/fileadmin/fuerRedakteur/downloads/PDF/Wertstofftonne/tecpol_BKV_Umsicht_2011_01_1_.pdf, abgerufen am 7. August 2013
- [15] Rommel, W.; Hertel, M.; Meyer, S.; Nordsieck, H.; Schipf, R.: Wertstoffpotenziale im Restmüll in Bayern – Konsequenzen für eine optimale Erfassung. Vortrag auf der VKS-Jahresfachtagung der Landesgruppe Bayern. Würzburg: 1. Juli 2013. – http://www.vku.de/fileadmin/get/?25528/WRommel_Bifa_Umweltinstitut_Wertstoffpotenziale_im_Restmuell.pdf, abgerufen am 7. August 2013
- [16] Schüler, K.: Wirksamkeit der 5. Novelle der Verpackungsverordnung – die Lizenzierung von Verkaufsverpackungen. Tagungsband der 16. Tagung Siedlungsabfallwirtschaft Magdeburg. Magdeburg: LOGiSCH-Verlag, 2011, Seiten 45-52.
- [17] Scriba, M.: Recycling von Hartkunststoffen. Vortrag im Rahmen einer Veranstaltung der VKS Landesgruppen Hessen, Rheinland-Pfalz/Saarland. Friedberg: 26. September 2013.
- [18] Dehoust, G.; Schüler, D.; Vogt, R.; Giegrich, J.: Klimaschutzpotenziale der Abfallwirtschaft am Beispiel von Siedlungsabfällen und Altholz. Im Auftrag des: Umweltbundesamtes und des Bundesverbandes der Deutschen Entsorgungswirtschaft e.V., 2010, Dessau-Roßlau: 138 Seiten.
- [19] Bünemann, A.; Rachut, G.; Christiani, J.; Langen, M.; Wolters, J.: Planspiel zur Fortentwicklung der Verpackungsverordnung. Teilvorhaben 1: Bestimmung der Idealzusammensetzung der Wertstofftonne. Im Auftrag des: Umweltbundesamtes, Dessau-Roßlau: 2011, 188 Seiten.
- [20] Dehoust, G.; Christiani, J.: Analyse und Fortentwicklung der Verwertungsquoten für Wertstoffe. Sammel- und Verwertungsquoten für Verpackungen und stoffgleiche Nichtverpackungen als Lenkungsinstrument zur Ressourcenschonung. Im Auftrag des Umweltbundesamtes. Dessau-Roßlau: 2012, 75 Seiten.
- [21] Wenzel, F.: Prozess ohne Ende – Die Verpackungsverordnung in der juristischen Praxis. In: Verband kommunaler Unternehmen e.V. (VKU) (Hrsg.): *Schwarzbuch Verpackungsentsorgung. Eine kritische Bilanz nach über 20 Jahren Verpackungsverordnung*. Berlin: 2013, Seiten 28-33.

- [22] Wirth, H.: Aktuelle Fakten zur Photovoltaik in Deutschland. Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE. Freiburg: November 2013, 88 Seiten – <http://www.ise.fraunhofer.de/veroeffentlichungen/studien-und-positions-papiere/aktuelle-fakten-zur-photovoltaik-in-deutschland>, abgerufen am 18. Dezember 2013
- [23] Zentek: Angaben zu Lizenzgebühren (netto) verschiedener Packstoffe. http://www.baehr-verpackung.de/entsorgungsportal/entsorgung_lizenz#tab2, abgerufen am 19. Dezember 2013
- [24] Statistisches Bundesamt: Bevölkerung auf Grundlage des Zensus 2011. Wiesbaden: 2013. – https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/GesellschaftStaat/Bevoelkerung/Bevoelkerungsstand/Tabellen/Zensus_Geschlecht_Staatsangehoerigkeit.html. Daten vom 17. Dezember 2013

Recycling und Rohstoffe



Herausgeber: Karl J. Thomé-Kozmiensky und Daniel Goldmann • Verlag: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky

CD Recycling und Rohstoffe, Band 1 und 2
 ISBN: 978-3-935317-51-1
 Erscheinung: 2008/2009
 Preis: 35.00 EUR

Recycling und Rohstoffe, Band 2
 ISBN: 978-3-935317-40-5
 Erscheinung: 2009
 Gebundene Ausgabe: 765 Seiten
 Preis: 35.00 EUR

Recycling und Rohstoffe, Band 3
 ISBN: 978-3-935317-50-4
 Erscheinung: 2010
 Gebundene Ausgabe: 750 Seiten,
 mit farbigen Abbildungen
 Preis: 50.00 EUR

Recycling und Rohstoffe, Band 4
 ISBN: 978-3-935317-67-2
 Erscheinung: 2011
 Gebundene Ausgabe: 580 Seiten,
 mit farbigen Abbildungen
 Preis: 50.00 EUR

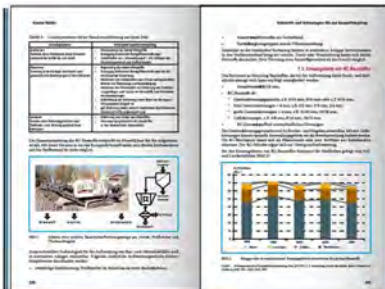
Recycling und Rohstoffe, Band 5
 ISBN: 978-3-935317-81-8
 Erscheinung: 2012
 Gebundene Ausgabe: 1004 Seiten,
 mit farbigen Abbildungen
 Preis: 50.00 EUR

Recycling und Rohstoffe, Band 6
 ISBN: 978-3-935317-97-9
 Erscheinung: 2013
 Gebundene Ausgabe: 711 Seiten,
 mit farbigen Abbildungen
 Preis: 50.00 EUR

162.00 EUR
 statt 270.00 EUR

Paketpreis

CD Recycling und Rohstoffe, Band 1 und 2 • Recycling und Rohstoffe, Band 2 bis 6



Bestellungen unter www.vivis.de
 oder

Dorfstraße 51
 D-16816 Nietwerder-Neuruppin
 Tel. +49.3391-45.45-0 • Fax +49.3391-45.45-10
 E-Mail: tkverlag@vivis.de

vivis
 TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky

Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme

Recycling und Rohstoffe – Band 7

Karl J. Thomé-Kozmiensky, Daniel Goldmann.

– Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2014

ISBN 978-3-944310-09-1

ISBN 978-3-944310-09-1 TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky

Copyright: Professor Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. Karl J. Thomé-Kozmiensky

Alle Rechte vorbehalten

Verlag: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky • Neuruppin 2014

Redaktion und Lektorat: Professor Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. Karl J. Thomé-Kozmiensky,

Dr.-Ing. Stephanie Thiel, M.Sc. Elisabeth Thomé-Kozmiensky

Erfassung und Layout: Ginette Teske, Fabian Thiel, Janin Burbott, Cordula Müller,

Katrin Krüger

Druck: Mediengruppe Universal Grafische Betriebe München GmbH, München

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürfen.

Sollte in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien, z.B. DIN, VDI, VDE, VGB Bezug genommen oder aus ihnen zitiert worden sein, so kann der Verlag keine Gewähr für Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen. Es empfiehlt sich, gegebenenfalls für die eigenen Arbeiten die vollständigen Vorschriften oder Richtlinien in der jeweils gültigen Fassung hinzuzuziehen.