

# Ermittlung von Substitutionsquoten durch Recyclingmaterial für verschiedene Verpackungsmaterialien mit besonderer Berücksichtigung der Kunststoffe

Roman Maletz, Nina Perschau und Christina Dornack

1.	Verwertungsquoten .....	364
2.	Substitutionsquoten .....	365
3.	Methodik .....	366
4.	Ergebnisse und Auswertung .....	368
4.1.	Kunststoffverpackungen .....	369
4.2.	PET in Getränkeflaschen .....	369
4.3.	Hemmnisse und Steigerungspotenziale des Rezyklateinsatzes .....	370
5.	Verwendbarkeit von Substitutionsquoten .....	373
5.1.	Möglichkeiten .....	373
5.2.	Grenzen .....	373
6.	Zusammenfassung .....	374
7.	Literatur .....	375

Für eine nachhaltige und damit zukunftsfähige Weltgesellschaft wird eine moderne und innovative Kreislaufwirtschaft als Lösungsweg angesehen. Eine der wichtigsten Aufgaben einer solchen Kreislaufwirtschaft ist es, zu einer Entkopplung des Wirtschaftswachstums vom Ressourcenverbrauch beizutragen. Um dieses Ziel zu erreichen, müssen Produktionskreisläufe künftig so konzipiert werden, dass sie mit möglichst wenig Primärmaterial auskommen. Recyclingmaterial aus Abfällen ist dann der wichtigste Rohstoff neuer Produkte. Abfälle müssen vermehrt als Ressource erkannt und genutzt werden.

In Deutschland wird die Kreislaufwirtschaft bzw. die erneute Nutzung von Abfällen im Wesentlichen mittels Verwertungsquoten bewertet. Diese Quoten geben jedoch lediglich Auskunft darüber, welche Menge der angefallenen Abfälle einer Verwertung oder einem Recycling zugeführt werden. Anhand dessen kann allerdings der Zustand einer tatsächlichen Kreislaufführung nicht ausreichend festgestellt werden.

Es ist nicht möglich anhand von Verwertungsquoten abzuschätzen, wie hoch der wieder nutzbare Rezyklat-Output aus Aufbereitungsverfahren sein kann und wie viel primäre Rohstoffe schlussendlich durch Sekundärmaterial substituiert werden.

Daher stellt sich die Frage, wie Aussagen zum tatsächlichen Sekundärrohstoffeinsatz in der Herstellung neuer Produkte möglich gemacht werden können.

Eine Möglichkeit hierfür stellt die Einführung sogenannter Substitutionsquoten dar, welche im vorliegenden Beitrag vorgestellt und für einige Stoffströme beispielhaft ermittelt wurden. Diese wurden im Rahmen einer Abschlussarbeit am Institut für Abfall- und Kreislaufwirtschaft der TU Dresden erarbeitet, damit soll ein Anstoß für weitere Forschungsbestrebungen gegeben werden.

## 1. Verwertungsquoten

Die zurzeit bekannten Verwertungsquoten sind für verschiedene Verpackungsmaterialien gesetzlich vorgeschrieben und bieten die Möglichkeit, den aktuellen Zustand der Nutzung unterschiedlicher Abfallströme zu quantifizieren.

Im Zuge der Ermittlung von Verwertungsquoten finden Export- und Importmengen von Abfällen vor der Verwertung sowie Aufbereitungsverluste allerdings keine ausreichende Berücksichtigung. Daher können anhand der reinen Verwertungsquote keine Aussagen über die in Deutschland verbleibende Netto-Verwertungsrückführungsmenge getroffen werden. Inwieweit eine nationale Rückführungsquote aufgrund des

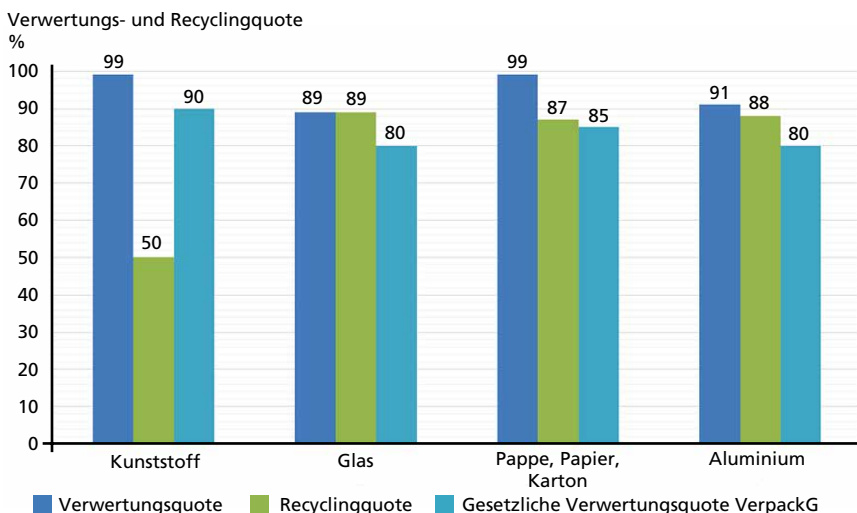


Bild 1: Verwertungs- und Recyclingquoten verschiedener Verpackungsmaterialien des Betrachtungsjahres 2014 im Vergleich mit der gesetzlich vorgeschriebenen Verwertungsquote

Quelle: Umweltbundesamt (UBA): Aufkommen und Verwertung von Verpackungsabfällen in Deutschland im Jahr 2014. 2016, aufgerufen am 11.08.2017, [http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/texte\\_64\\_2016\\_aufkommen\\_und\\_verwertung\\_von\\_verpackungsabfaellen\\_2014.pdf](http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/texte_64_2016_aufkommen_und_verwertung_von_verpackungsabfaellen_2014.pdf); §16 Abs. 2 VerpackG, modifiziert

globalisierten Marktgeschehens und des stark verflochtenen europäischen Binnenhandels zukünftig anwendbar ist, soll hier nicht beachtet werden.

Verwertungsquoten geben weiterhin in der gegenwärtigen Verwendung in unzureichendem Maße Auskunft über Ausschleusungen und Aufbereitungsverluste, die erst nach der Zuführung zu einem Verwertungsverfahren von Bedeutung sind. Der Output der Recycling- und Verwertungsverfahren kann somit nicht betrachtet werden.

## 2. Substitutionsquoten

Aufgrund der genannten geringen Aussagekraft bei den Verwertungsquoten zur Leistungsfähigkeit einer Recyclingwirtschaft werden sogenannte Substitutionsquoten vorgeschlagen.

Als Substitutionsquote soll im Folgenden das Mengenverhältnis von wieder in die Produktion einsetzbaren Sekundärrohstoffen zum gesamtwirtschaftlichen Materialeinsatz bzw. der Produktionsmenge eines Materialstroms bezeichnet werden.

Diese Quote hat das Ziel, den Erreichungsgrad einer Kreislaufführung, bezogen auf einen oder auch mehrere Materialströme realistischer darzustellen und dadurch den Zustand einer Kreislaufwirtschaft bewerten zu können.

Dazu ist es hilfreich, den Begriff der Substitutionsquote zu unterteilen:

- theoretische oder potentielle Substitutionsquote (pot. SQ)

Unter diesem Begriff wird die prozentuale Angabe über das Verhältnis zwischen der Menge an Rezyklaten, die theoretisch als Sekundärrohstoff genutzt werden kann, zur Herstellung neuer Produkte zur Verfügung stehen, und dem gesamten Materialeinsatz, der für die Produktion einer Produktart genutzt wurde bzw. der Produktionsmenge eines Produktes verstanden.

$$\text{Pot.SQ (in \%)} = \frac{\text{Theoretisch nutzbare Recyclatmenge aus Recycling}}{\text{Gesamtwirtschaftlicher Materialeinsatz}} \times 100 \% \quad (1)$$

Dabei sollen Gewinne und Verluste, die während des Recyclings zu erwarten sind, berücksichtigt werden, um eine realistische Abschätzung der entstehenden Rezyklatmenge, die als Sekundärmaterial eingesetzt werden kann, möglich zu machen. Die potenzielle Substitutionsquote bemisst sich daher nach der technischen Leistungsfähigkeit von Entsorgungs- und Aufbereitungsstrukturen und kann sich mit fortschreitender technischer Entwicklung bzw. einem verbesserten Sammelverhalten der Abfallströme erhöhen.

- reale Substitutionsquote (reale SQ)

Als reale Substitutionsquote wird die prozentuale Angabe der tatsächlich in der Industrie eingesetzte Menge an Rezyklaten, die als Sekundärrohstoffe genutzt werden, bezogen auf den gesamtwirtschaftlichen Materialeinsatz, bezeichnet. Damit stellt sie den gegenwärtigen Erreichungsgrad einer Kreislaufführung dar.

Zu den Substitutionsquoten sind immer der jeweilige Bezugsraum und Betrachtungszeitraum anzugeben.

### 3. Methodik

Die gesuchten Substitutionsquoten zu den entsprechenden Materialströmen wurden zum einen über Literaturrecherche ermittelt und zum anderen anhand einer erarbeiteten Prozesskette berechnet. Um die Aussagekraft der ermittelten Quoten zu erhöhen, sind die Ergebnisse beider Methoden im Anschluss miteinander verglichen worden.

Die zur Berechnung genutzte Prozesskette (Bild 2) enthält die relevanten Daten eines Materialstroms von der Produktion bis zur entsprechenden Rezyklatmenge. Zu beachten sind dabei vor allem die wichtigsten Gewinne und Verluste, welche zur Berechnung der potentiell nutzbaren bzw. real genutzten Rezyklatmenge, und damit zur Ermittlung der Substitutionsquoten benötigt werden. Dazu zählen die Aufbereitungs- und Verwertungsverluste, die während des Recyclings zu erwarten sind, sowie Importe und Export von recyclingfähigem Abfall oder auch fertigen Rezyklaten.

Des Weiteren sollten alle Veränderungen beachtet werden, die durch die Nutzung von Rezyklaten in bzw. aus fremden Stoffkreisläufen entstehen.

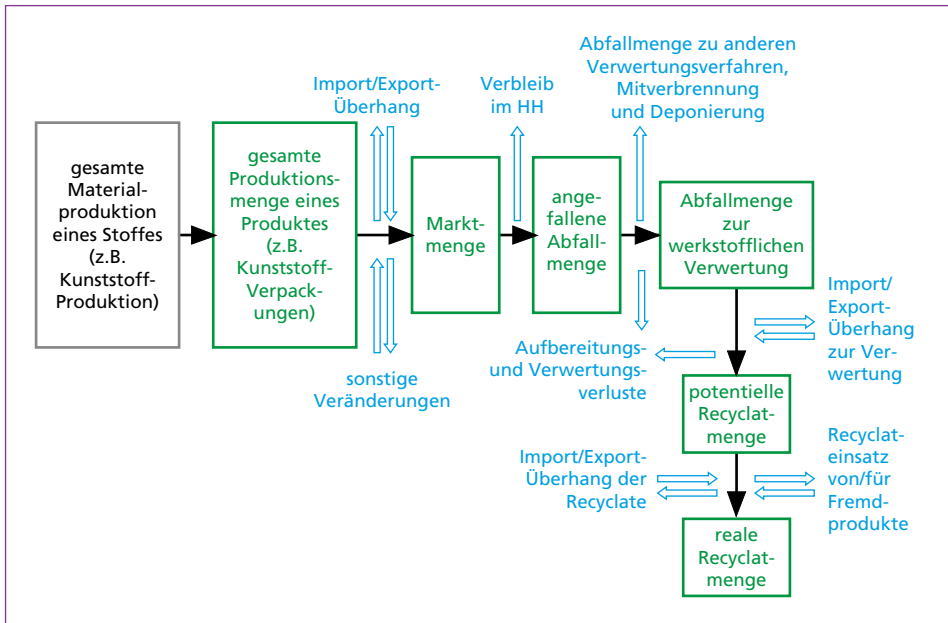


Bild 2: Vereinfachte und schematische Darstellung der Prozesskette eines Materialstroms von der Produktion bis zur realen Rezyklatmenge

Quellen: Darstellung angelehnt an:

Consultic Marketing & Industrieberatung GmbH (2016): Produktion, Verarbeitung und Verwertung von Kunststoffen in Deutschland 2015 - Kurzfassung, 2016, aufgerufen am 15.08.2017, [http://www.bvse.de/images/pdf/kunststoff/2016/161020\\_Con-sultic\\_Endbericht\\_2015\\_19\\_09\\_2016\\_Kurzfassung.pdf](http://www.bvse.de/images/pdf/kunststoff/2016/161020_Con-sultic_Endbericht_2015_19_09_2016_Kurzfassung.pdf)

Umweltbundesamt (UBA): Aufkommen und Verwertung von Verpackungsabfällen in Deutschland im Jahr 2014. 2016, aufgerufen am 11.08.2017, [http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/texte\\_64\\_2016\\_aufkommen\\_und\\_verwertung\\_von\\_verpackungsabfaellen\\_2014.pdf](http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/texte_64_2016_aufkommen_und_verwertung_von_verpackungsabfaellen_2014.pdf)

GVM: Aufkommen und Verwertung von PET-Getränkeflaschen in Deutschland 2015, aufgerufen am 26.08.2017, [http://www.forum-pet.de/rs/u/files/2016\\_09\\_22\\_Bericht\\_Verwertung%20PET-Getr%C3%A4nkeflaschen%202015.pdf](http://www.forum-pet.de/rs/u/files/2016_09_22_Bericht_Verwertung%20PET-Getr%C3%A4nkeflaschen%202015.pdf), modifiziert

Entlang dieser Prozesskette erfolgte nun die Ermittlung der potentiellen bzw. realen Rezyklatmenge; also diejenige Menge, die nach der Beachtung aller relevanten Veränderungen zur Substitution von Primärmaterial zur Verfügung steht. Dabei wird ausschließlich das Verfahren der werkstofflichen Verwertung betrachtet, da als Ergebnis dieses Verfahrens Regranulate und daraus Rezyklate entstehen, die als Sekundärrohstoff in neuen Produkten genutzt werden können.

Zur Ermittlung der potentiellen bzw. realen Substitutionsquote wurden diese berechneten Rezyklatmengen mit der gesamten Produktionsmenge eines Produktes ins Verhältnis gesetzt.

Dafür wurde die entsprechende Berechnungsformel genutzt.

Diese Methodik wurde für folgende Materialströme angewendet:

- Kunststoffe im Allgemeinen,
- Kunststoffverpackungen,
- PPK-Verpackungen,
- PET in Getränkeflaschen und
- Glasverpackungen.

### Datenerhebung und Datenlage

Die für die Berechnungen benötigten Zahlen und Daten wurden über eine Literaturrecherche erhoben. Die Verfügbarkeit, Qualität und Kompatibilität der benötigten Daten zu den betrachteten Materialströmen ist aufgrund der Komplexität der Nutzung im Wirtschaftskreislauf insbesondere bei den Kunststoffen bekanntermaßen uneinheitlich. Während einige Materialströme, wie z.B. Polyethylenterephthalat (PET) für Getränkeflaschen sehr gut untersucht sind und somit belastbare Daten aufweisen, ist die Datenlage zu anderen Stoffströmen aktuell noch unzureichend. Die verwendeten Daten stammen zum überwiegenden Teil aus Studien und Publikationen des Umweltbundesamtes, der Consultic Marketing & Industrieberatung GmbH, sowie Gesellschaft für Verpackungsmarktforschung mbH.

Da die verfügbaren Zahlen nicht für den Zweck der Berechnung von Substitutionsquoten erhoben worden sind, war es nicht möglich alle Daten aus einer Quelle zu beziehen. Es ist somit davon auszugehen, dass die Ergebnisse aufgrund von Zuordnungsdiskrepanzen zwischen den verschiedenen Daten Ungenauigkeiten aufweisen können.

Zu beachten ist außerdem, dass Aussagen zu Import- und Exportmengen und zu Aufbereitungs- und Verwertungsverlusten teilweise auf Umfragen oder Schätzungen beruhen. Die Datenlage zur direkten oder indirekten Ermittlung von Substitutionsquoten stellt sich somit aktuell als nicht optimal dar. Hier wird im Hinblick auf die Ziele der Kreislaufwirtschaft eine konsistente Aufstellung aller Produktions- und Entsorgungsdaten empfohlen.

## 4. Ergebnisse und Auswertung

Die ermittelten Ergebnisse zu den potentiellen und realen Substitutionsquoten der betrachteten Materialströme sind in Bild 3 zusammen dargestellt. In diesen Vergleich wurden außerdem die aktuellen Verwertungsquoten entsprechend den Vorgaben des VerpackG mit einbezogen.

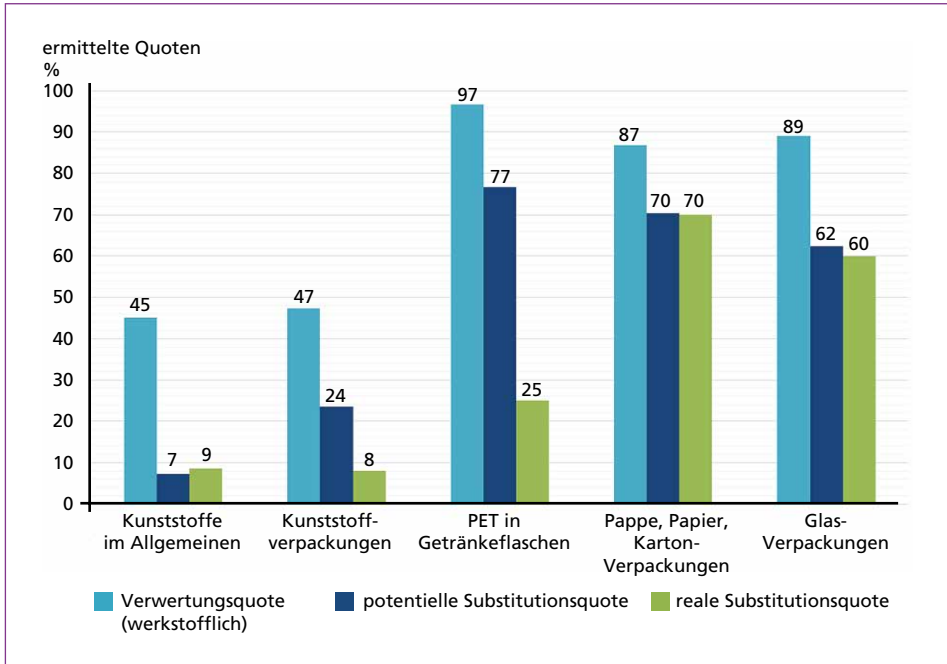


Bild 3: Vergleich der ermittelten Verwertungs- und Substitutionsquoten der betrachteten Materialströme

Die werkstoffliche Verwertungsquote stellt erwartungsgemäß die höchste Quote dar. Bei der Ermittlung der Verwertungsquoten werden Aufbereitungs- und Verwertungsverluste nicht beachtet und ausschließlich die verschiedenen Abfallmengen, nämlich die angefallene Abfallmenge und die Abfallmenge, die einer werkstofflichen Verwertung zugeführt wird, miteinander ins Verhältnis gesetzt. Dies ist als Grund für die relativ hohen Prozentsätze der Verwertungsquoten anzusehen.

Des Weiteren ist auffällig, dass die Differenz zwischen potenzieller Substitutionsquote und Verwertungsquote sehr verschieden ausfällt. Ein großer Unterschied zwischen den beiden Quoten liegt zum Beispiel bei den Kunststoffen und den Glasverpackungen vor. Diese lässt zum einen auf hohe Verluste entlang der Prozesskette und zum anderen auf große Differenzen zwischen produzierter Menge und angefallene Abfallmenge schließen.

Darüber hinaus unterscheiden sich die realen Substitutionsquoten erkennbar. Hohe potenzielle Substitutionsquoten bedingen demnach nicht automatisch hohe reale

Substitutionsquoten. Viel mehr ist davon auszugehen, dass die Qualität des gewonnenen Rezyklates über die tatsächliche Einsatzquote, also die reale Substitutionsquote, bestimmt. Durch die für das Recycling vorteilhaften stofflichen Eigenschaften von Glas und Papier lassen sich selbstredend höhere Substitutionsquoten erzielen. Zum einen findet hier eine separate Erfassung des Stoffstromes (Glas- und Papiersammlung) statt zum anderen ist die Vermischbarkeit der verschiedenen Produkte innerhalb des Stoffstromes für das Recycling prozesstechnisch unkritischer gegenüber dem sehr heterogenen Kunststoffstrom. Beispielhaft soll nachfolgend etwas detaillierter auf Kunststoffverpackungen und PET-Getränkeflaschen eingegangen werden.

### 4.1. Kunststoffverpackungen

Die werkstoffliche Verwertungsquote für Kunststoffverpackungen beträgt weniger als 50 Prozent. Das ist im Vergleich mit Glas- und PPK-Verpackungen eine niedrige Quote, aufgrund der großen Abfallmenge, die nicht dem werkstofflichen Recycling, sondern der energetischen Verwertung zugeführt wird. Gründe sind z.B. technische Grenzen beim Recycling und die damit verbundenen geringen ökonomischen Handlungsspielräume.

Die Differenz zwischen Verwertungsquote und potenzieller Substitutionsquote stellt sich als verhältnismäßig gering dar und ist zu etwa gleichen Teilen den Exporten zur Verwertung und den technischen Aufbereitungs- und Verwertungsverlusten zuzuschreiben.

Die reale Substitutionsquote ist gegenüber der potenziellen Substitutionsquote deutlich reduziert. Das heißt, dass in Deutschland weniger Rezyklate, die aus der Verwertung von alten Kunststoffverpackungen entstanden sind, wieder zur Herstellung von Kunststoffverpackungen eingesetzt werden, als theoretisch möglich wäre. Rezyklat-Export und der Verlust von Rezyklaten aus Kunststoffverpackungen an andere Stoffkreisläufe kommen als Erklärung dafür in Frage.

Beim Rezyklateinsatz in der Produktion neuer Kunststoffverpackungen nehmen die Lebensmittelverpackungen eine Sonderstellung ein. Denn diese unterliegen Hygienevorschriften, die durch den Einsatz von Rezyklaten meist nicht einhaltbar sind. PET-Getränkeflaschen stellen eine Ausnahme dar [4, 10].

### 4.2. PET in Getränkeflaschen

Im Vergleich zu den anderen untersuchten Materialströmen ist die werkstoffliche Verwertungsquote für PET-Getränkeflaschen sehr hoch. Lediglich eine kleine Abfallmenge wird anderen Verwertungsarten, einer Abfallmitverbrennung oder Deponierung zugeführt. Ein entscheidender Faktor hierfür ist die überdurchschnittlich hohe Erfassungsquote für PET-Getränkeflaschen von etwa 96 Prozent. Diese lässt sich durch die Befundung der meisten Getränkeflaschen erklären und führt dazu, dass wenig Material mit der Restabfallentsorgung verloren geht. [3, S. 24]

Da werkstoffliche Verwertungsverfahren nur dann zur Anwendung kommen können, wenn die Altkunststoffe sauber, sortiert und sortenrein vorliegen, ist davon auszugehen, dass die überwiegend separate Erfassung von PET-Getränkeflaschen einen großen Beitrag zur hohen werkstofflichen Verwertungsquote leistet.

Des Weiteren ist eine hohe potenzielle Substitutionsquote festzustellen. Das ist zum einen die Folge des großen Anteils werkstofflich verwerteten Abfalls, und zum anderen lässt es auf geringe Verluste entlang der Prozesskette schließen.

Dabei spielen vor allem die geringen Aufbereitungs- und Verwertungsverluste eine Rolle. Diese kommen zustande, weil die zur Berechnung verwendeten Daten sich ausschließlich auf den Netto- PET- Anteil der Getränkeflaschen beziehen. Somit wurden, anders als bei den anderen betrachteten Materialströmen, stoffgruppenfremde Materialien, wie z.B. Etiketten und Verschlüsse, in den Mengenangaben nicht berücksichtigt. [3, 8]

Die große Differenz zwischen realer und potenzieller Substitutionsquote ist an dieser Stelle hauptsächlich auf die Nutzung von PET-Recyclingmaterial in der Produktion von Fremdprodukten zurückzuführen. Das heißt, dass nur ein relativ geringer Anteil der potenziellen Rezyklatmenge im Bottle-to-Bottle-Kreislauf verbleibt und als reale Rezyklatmenge der Herstellung neuer PET-Getränkeflaschen zur Verfügung steht.

Etwa 65 Prozent der PET-Rezyklatmenge wird genutzt, um Folien, Non-Food-Flaschen oder Fasern für Kleidung herzustellen [7].

Wie bereits erwähnt, gelten für Lebensmittelverpackungen hohe Hygienevorschriften. Damit aus einer PET-Getränkeflasche wieder eine neue PET-Getränkeflasche werden kann, sind – neben den standardmäßigen Aufbereitungs- und Verwertungsschritten – zusätzliche Reinigungsschritte, sogenannte *super-clean* Recyclingprozesse, erforderlich [14].

Aus unternehmerischer Sicht sind Aufwendungen und Anforderungen dieser Art nicht immer technisch machbar oder ökonomisch sinnvoll. [14].

### 4.3. Hemmnisse und Steigerungspotenziale des Rezyklateinsatzes

Durch die ermittelten eher niedrigen, realen Substitutionsquoten, erscheint es sinnvoll die wichtigsten Hemmnisse und Steigerungsmöglichkeiten in Bezug auf den Einsatz von Sekundärmaterial zu betrachten.

Prinzipiell konnten dabei zwei Gründe für einen geringen Einsatz von Recyclingmaterial gefunden werden: Entweder werden Rezyklate seitens der Verwerter nicht in ausreichender Menge und Qualität zur Verfügung gestellt oder sie werden von den Herstellern nicht bzw. kaum als Sekundärmaterial genutzt.

#### **Hemmnisse**

Zunächst sollen Hemmnisse betrachtet werden, in deren Folge die potenziell nutzbare Rezyklatmenge reduziert wird.



Dazu zählt der Export von potenziell verwertbaren Abfällen zur werkstofflichen Verwertung im Ausland. So betrug z.B. der Exportüberschuss für Kunststoffabfälle im Jahr 2014 etwa 1.000.000 Tonnen. Den deutschen Recyclinganlagen gehen dadurch erhebliche Inputmengen verloren und es kommt zu einem Verlust an Ressourcen. [2, 5, 10].

An den teilweise sehr hohen Aufbereitungs- und Verwertungsverlusten ist abzulesen, dass eine weitere Ursache für die relativ geringen Rezyklatmengen in der unzureichende Getrennthaltung von Abfällen beim Verbraucher sowie in unvollkommenen Trennprozessen bei der Sortierung und nachgeschalteten Aufbereitungsprozessen liegt. Aus technischer Sicht werden diese Verluste vor allem durch zu hohe Durchsätze, ein zu breit gewähltes Kornspektrum und der Verzicht auf eine manuelle Nachsortierung verursacht [9, 10].

Die Quoten bei den Kunststoffen und Kunststoffverpackungen zeigen auf, dass der finanzielle Aspekt zu einer Konkurrenzsituation zwischen thermischer bzw. energetischer und werkstofflicher Verwertung führt. Ergebnis ist, dass knapp 50 Prozent der deutschen Kunststoffabfälle energetisch verwertet werden und somit dem Wertstoffkreislauf verloren gehen [9, 10].

Insbesondere im Hinblick auf Kunststoffverpackungen kann die mangelhafte Recyclingfähigkeit eines Produktes eine schlechte Rezyklatausbeute zur Folge haben. Manche Materialkombinationen von Kunststoffen bzw. Verbunden lassen sich schlecht trennen oder behindern die Aufbereitung und Verwertung und reduzieren damit das recycelbare Kunststoffpotenzial zusätzlich [9, 10].

Das größte Hemmnis für den tatsächlichen Einsatz der verfügbaren Menge an Sekundärmaterial liegt in den Vorbehalten der Hersteller bezüglich der qualitativen und technischen Eigenschaften des Recyclingmaterials [10].

Des Weiteren führen Akzeptanzprobleme auf Seiten der Verbraucher zur Vermeidung des Rezyklateinsatzes [10].

Die Folgen der Vorbehalte und der ökonomischen Überlegungen, der Produzenten und Hersteller sind die geringen realen Substitutionsquoten, verglichen mit der potenziell einsetzbaren Rezyklatmenge. Das wird am Beispiel des untersuchten Materialstroms der PET-Getränkeflaschen deutlich. Während die potenzielle Substitutionsquote aufgrund der separaten Erfassung mit wenigen Verlusten sehr hoch ist, liegt der tatsächliche PET-Rezyklateinsatz bei verhältnismäßig niedrigen 25 Prozent. Ein Großteil des PET-Sekundärmaterials wird einem nur bedingt gleichwertigen Recycling, z.B. der Folienherstellung oder dem Export zugeführt.

Wie die Rezyklat-Initiative der Marke Frosch zeigt, ist es möglich Non-Food-PET-Flaschen zu 100 Prozent aus Altkunststoffen herzustellen. Und auch bei der Herstellung von sonstigen PET-Flaschen ist eine reale Substitutionsquote von 50 Prozent erreichbar. [15]

### Steigerungspotenziale für den Rezyklateinsatz

Um eine Steigerung im Rezyklateinsatz bei der Herstellung neuer Produkte möglich zu machen, muss den erläuterten Hemmnissen entgegengewirkt werden.

Eine große Chance liegt dabei im Ausbau der konsequenten Getrennterfassung wertstoffhaltiger Abfälle. Die Einführung gesetzlicher Getrennthaltungspflichten könnte dazu beitragen, Verunreinigungen der verwertbaren Abfälle in Form von Störstoffen oder sonstigen Verschmutzungen, die sich negativ auf die Möglichkeit eines hochwertigen Recyclings auswirken können, zu vermeiden. [10]

Des Weiteren finden sich Potenziale zur Steigerung der Rezyklatmenge aus wertstoffhaltigem Abfall, in Form von sogenannten stoffgleichen Nichtverpackungen, in der Restabfalltonne der privaten Haushalte. [10]

Gerade für Kunststoffe ist es sinnvoll, dass diese Potenziale genutzt werden und nicht im Restabfall verloren gehen. Dadurch könnte die energetische Verwertungsquote zu Gunsten des Recyclings gesenkt werden. Eine gemeinsame Erfassung von Kunststoffverpackungen und sonstigen Kunststoffprodukten der privaten Haushalte, z.B. in Form einer Wertstofftonne, würde voraussichtlich dazu führen, dass deutlich größere Kunststoffmengen einer stofflichen Verwertung zugeführt werden können. [1, 10]

Eine weitere Möglichkeit, die reale Substitution zu steigern, liegt darin, das Design von Produkten recyclingfähiger zu gestalten. Hierfür sollen im neuen Verpackungsgesetz nach §21 Abs. 1 VerpackG künftig Anreize geschaffen werden. [10]

Um solche und ähnliche Maßnahmen gegen wirtschaftliche Interessen durchsetzen und umsetzen zu können, sind gesetzliche Regelungen unerlässlich. So könnten zum Beispiel spezifische Recyclingquoten sicherstellen, dass ein gewisser Prozentsatz eines Materialstroms stofflich bzw. werkstofflich und nicht energetisch verwertet wird. Solche Vorgaben finden sich z.B. im Verpackungsgesetz, allerdings nur für Verpackungen aus Kunststoffen. [10, §16 Abs. 2 VerpackG]

Die potenziell einsetzbare Rezyklatmenge eines Stoffstroms kann also durch gesetzlich vorgeschriebene Recyclingeinsatzquoten gesteigert werden. Um auch auf lange Sicht zu gewährleisten, dass solche Quoten ihre Lenkungsfunktion beibehalten, sollten sie in sogenannte selbstlernende Recyclingquoten überführt werden. Diese orientieren sich am aktuellen Stand der Technik und korrigieren sich in Abhängigkeit zur erreichten werkstofflichen Verwertungsleistung automatisch nach oben. [10]

Auch die Herstellung neuer Produkte kann mit Hilfe gesetzlicher Regelungen bezüglich des Rezyklateinsatzes optimiert werden. Mindest-Rezyklatquoten bzw. festgelegte Substitutionsquoten für verschiedene Produkte, würden dazu verpflichten, einen bestimmten Anteil des Primärmaterials durch Rezyklate zu substituieren. [10]

Außerdem wäre es denkbar, zusätzlich finanzielle Anreize für Hersteller zu schaffen. Dazu könnte die Nutzung von Primärrohstoffe, z.B. mit Hilfe zusätzlicher Steuern, künstlich verteuert oder der Einsatz von Sekundärmaterial, durch finanzielle Entlastungen, belohnt werden.

Beide Maßnahmen würden in Deutschland zu einer Erhöhung der Nachfrage nach hochwertigem Sekundärmaterial führen.

## 5. Verwendbarkeit von Substitutionsquoten

### 5.1. Möglichkeiten

Substitutionsquoten stellen eine Zustandsbeschreibung bezüglich der in der Produktion einsetzbaren und eingesetzten Menge an Recyclingmaterial, eines Stoffstroms dar. Sie machen Angaben darüber, welche Menge an Rezyklaten der Substitution von Primärmaterial potenziell zur Verfügung steht und wie viel davon tatsächlich als Sekundärmaterial genutzt wird.

Somit bieten Substitutionsquoten die Möglichkeit, den Erreichungsgrad einer Kreislaufführung verschiedener Materialkreisläufe hinsichtlich ihres Kreisschlusses zu quantifizieren. Außerdem kann der Vergleich zwischen potenzieller und realer Substitutionsquote dazu dienen, die Größenordnung des Steigerungspotenzials für den Rezyklateinsatz abzuschätzen.

Im Hinblick auf die untersuchten Materialströme können mit Hilfe der Substitutionsquoten unter anderem folgende Aussagen getroffen werden.

- Es kommt zu Verlusten innerhalb der Prozesskette.
- Bei keinem der betrachteten Stoffkreisläufe liegt eine geschlossene Kreislaufführung vor.
- Die Materialkreisläufe zu PPK- und Glasverpackungen kommen einem Kreisschluss deutlich näher als die der betrachteten Kunststoffströme.
- Das Steigerungspotenzial des Rezyklateinsatzes ist bei PET in Getränkeflaschen mit Abstand am höchsten.
- Bei PPK- und Glasverpackungen scheint es nahezu kein Steigerungspotenzial zu geben.

### 5.2. Grenzen

Die Aussagekraft von Substitutionsquoten wird durch verschiedene Faktoren begrenzt.

So geben die prozentualen Angaben der Substitutionsquoten allein keinen Aufschluss darüber, an welcher Stelle der Prozesskette es zu den ausschlaggebenden Verlusten kommt oder wo genau die Potenziale zur Steigerung des Rezyklateinsatzes liegen.

Es muss beachtet werden, dass durch die Berücksichtigung von Rezyklat-Importen und Importen verwertbarer Abfälle die Substitutionsquoten deutscher Materialkreisläufe nicht zwangsläufig den Anteil an Sekundärrohstoffen ausdrückt, der aus in Deutschland angefallenen Abfälle entstanden und ausschließlich in Deutschland verwertet worden ist. Damit kann mit Substitutionsquoten allein nicht ausgesagt werden, wie effizient ein Stoff in Deutschland wirklich recycelt und anschließend wiederverwendet wird, sondern nur wie viel Sekundärmaterial dieses Stoffes in Produkten enthalten ist.

Bei großen Importmengen kann das zu Fehleinschätzungen hinsichtlich des Kreisschlusses eines Stoffkreislaufes führen. Mit Hilfe der erarbeiteten Prozesskette können solche potenziellen Fehler vergleichsweise schnell erkannt und in der Interpretation der Quoten berücksichtigt werden.

Des Weiteren ist zu beachten, dass die Steigerungspotenziale, die durch vermehrtes werkstoffliches Recycling möglich sind, beim Vergleich zwischen potenzieller und realer Substitutionsquoten nicht berücksichtigt werden.

Der wichtigste begrenzende Faktor liegt in der Verfügbarkeit, der Qualität und Kompatibilität der benötigten Daten.

Ein großes Problem für die Berechnung von Substitutionsquoten stellt die Uneinheitlichkeit der erforderlichen Angaben dar. Den Daten aus unterschiedlichen Quellen zu den Materialströmen liegen teilweise abweichende Schätzungen, Annahmen und Ermittlungsmethoden zu Grunde. Diese konnte nicht in jedem Fall ausreichend nachvollzogen werden.

Als Folge dessen kann es wegen mangelnder Kompatibilität der Daten zu Ungenauigkeiten innerhalb der Berechnungen kommen. Außerdem ist es somit teilweise nur unzureichend erkennbar, welche Gewinne und Verluste in den Daten bereits berücksichtigt worden sind. Daher kann nicht uneingeschränkt davon ausgegangen werden, dass die in dieser Arbeit genutzte Prozesskette hinsichtlich ihrer Verluste und Gewinne vollständig ist.

Aufgrund der Unübersichtlichkeit des Verpackungsmarktes und des Außenhandels einiger Materialien basieren einige Angaben zum Verpackungsverbrauch, zur Verwertungsmenge, zu Aufbereitungs- und Verwertungsverlusten und den Importen sowie Exporten auf Schätzungen. Somit muss auch an dieser Stelle mit Unsicherheiten und Abweichungen von den realen Daten gerechnet werden. [10]

## 6. Zusammenfassung

Substitutionsquoten geben Auskunft darüber, welcher Anteil des, zur Herstellung eines neuen Produktes, benötigten Materials, durch Sekundärmaterial ersetzt werden kann bzw. ersetzt wird. Dadurch bieten sie die Möglichkeit den Zustand von Materialkreisläufen, bezüglich ihres Kreisschlusses, zu quantifizieren und zu vergleichen.

Substitutionsquoten sollten zusätzlich zu Verwertungsquoten in die politischen und technischen Vorgaben aufgenommen werden.

Die Ergebnisse zeigen, dass die anhand der ermittelten Substitutionsquoten getroffenen Aussagen dem angedachten Zweck entsprechen. So wurde gezeigt, dass bei keinem der betrachteten Materialströme ein vollkommener Kreisschluss vorliegt, dass es zu erheblichen Verlusten im Zuge des Recyclings kommen kann und somit Verwertungsquoten stets deutlich größer sind als die entsprechenden Substitutionsquoten.

Der angestellte Vergleich zwischen Substitutions- und Verwertungsquoten der verschiedenen Stoffströme ermöglichte es außerdem, die Größenordnung des Steigerungspotenzials des Sekundär Materialeinsatzes abzuschätzen. Mit Hilfe der erarbeiteten Prozesskette zur Berechnung von Substitutionsquoten konnten die Faktoren, die den Rezyklateinsatz hemmen, aufgezeigt werden. Zu den größten Hemmnisse zählen dabei der überproportional große Anteil an Abfällen, der einer energetischen Verwertung zugeführt wird, der Export von verwertbaren Abfällen und Rezyklaten, sowie das Nutzen von hochwertigem Recyclingmaterial für minderwertigere Recyclingprodukte.

Durch die separate Auswertung wurde deutlich, dass vor allem die Verwertung von Kunststoffverpackungen Hemmnissen unterliegt und damit die Substitutionsquote dieses Stoffstroms besonders niedrig ist.

Es muss angemerkt werden, dass die genutzten Daten zum Teil auf Schätzungen beruhen oder auf Grundannahmen basieren, deren Nachvollziehbarkeit in manchen Fällen schwierig war. Dahingehend sind die berechneten Ergebnisse in folgenden Untersuchungen zu validieren und zu spezifizieren. Hier empfiehlt sich gegebenenfalls die Konzentration auf ausgewählte Kunststoffsorten, die dann als einzelne Stoffströme mit höheren Qualitäten in Produktionsprozesse zurückgeführt werden können.

In weiteren Untersuchungen sollten Richtlinien zur standardisierten Erfassung und Angabe von Materialströmen entwickelt und eine umfangreichere Datengrundlage erarbeitet werden. Darüber hinaus könnte eine international vernetzte Erfassung, tatsächliche Angabe globaler Materialströme und Angaben von Substitutionsquoten für den weltweiten Materialeinsatz eines Stoffstroms ermöglichen.

Einige Institutionen, wie z.B. das Umweltbundesamt fordern bereits gesetzliche Mindestquoten für den Rezyklateinsatz. Durch die politische Umsetzung dieser Forderung können Substitutionsquoten ein Messinstrument zur Erreichung dieser Vorgaben darstellen und zukünftig ein Instrument zur Messbarkeit des Ersatzes von Primärrohstoffen durch Sekundärrohstoffe darstellen.

## 7. Literatur

- [1] Bünemann et al.: Planspiel zur Fortentwicklung der Verpackungsverordnung Teilvorhaben 1: Bestimmung der Idealzusammensetzung der Wertstofftonne, 2011, aufgerufen am 15.09.2017, <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/461/publikationen/4074.pdf>
- [2] Consultic Marketing & Industrieberatung GmbH (2016): Produktion, Verarbeitung und Verwertung von Kunststoffen in Deutschland 2015 - Kurzfassung, 2016, aufgerufen am 15.08.2017, [http://www.bvse.de/images/pdf/kunststoff/2016/161020\\_Consultic\\_Endbericht\\_2015\\_19\\_09\\_2016\\_Kurzfassung.pdf](http://www.bvse.de/images/pdf/kunststoff/2016/161020_Consultic_Endbericht_2015_19_09_2016_Kurzfassung.pdf)
- [3] GVM: Aufkommen und Verwertung von PET-Getränkeflaschen in Deutschland 2015, aufgerufen am 26.08.2017, [http://www.forum-pet.de/rs/u/files/2016\\_09\\_22\\_Bericht\\_Verwertung%20PET-Getr%C3%A4nkeflaschen%202015.pdf](http://www.forum-pet.de/rs/u/files/2016_09_22_Bericht_Verwertung%20PET-Getr%C3%A4nkeflaschen%202015.pdf)
- [4] Hennlich, W.: Hygienemanagement in der Verpackungsindustrie. Licht ins Dunkel gebracht, in: Pharma+Food, 2007 Nr. 10, aufgerufen am 04.09.2017, <http://www.pharma-food.de/licht-ins-dunkel-gebracht/>

- [5] ITAD, Consultic Marketing & Industrieberatung GmbH: Analyse/Beschreibung der derzeitigen Situation der stofflichen und energetischen Verwertung von Kunststoffabfällen in Deutschland, 2015, aufgerufen am 22.08.2017, <https://www.itad.de/information/studien/ITADConsulticKunststoffstudieApril2015.pdf>
- [6] Kreislaufwirtschaftsgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 24. Februar 2012 (BGBl. I S. 212), zuletzt geändert durch §44 Abs. 4 TiergesundheitsG. v. 22 Mai 2013 (BGBl. I S. 1324)
- [7] NABU: Das Geschäft mit dem Einwegpfand, aufgerufen am 11.08.2017, <https://www.nabu.de/umwelt-und-ressourcen/ressourcenschonung/einzelhandel-und-umwelt/mehrweg/21967.html>
- [8] Umweltbundesamt (UBA): Aufkommen und Verwertung von Verpackungsabfällen in Deutschland im Jahr 2014. 2016, aufgerufen am 11.08.2017, [http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/texte\\_64\\_2016\\_aufkommen\\_und\\_verwertung\\_von\\_verpackungsabfaellen\\_2014.pdf](http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/texte_64_2016_aufkommen_und_verwertung_von_verpackungsabfaellen_2014.pdf)
- [9] Umweltbundesamt (UBA): Entwicklung von Instrumenten und Maßnahmen zur Steigerung des Einsatzes von Sekundärrohstoffen – mit Schwerpunkt Sekundärkunststoffe. 2016, aufgerufen am 28.08.2017, [http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/texte\\_65\\_2016\\_steigerung\\_einsatz\\_sekundaerrohstoffe.pdf](http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/texte_65_2016_steigerung_einsatz_sekundaerrohstoffe.pdf)
- [10] Umweltbundesamt (UBA): Steigerung des Kunststoffrecyclings und des Rezyklateinsatzes. 2016, aufgerufen am 12.08.2017, [http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/377/publikationen/170601\\_uba\\_pos\\_kunststoffrecycling\\_dt\\_bf.pdf](http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/377/publikationen/170601_uba_pos_kunststoffrecycling_dt_bf.pdf)
- [11] Umweltbundesamt (UBA): Verpackungen, 2016. aufgerufen am 28.08.2017, <https://www.umweltbundesamt.de/themen/abfall-ressourcen/produktverantwortung-in-der-abfallwirtschaft/verpackungen>
- [12] Verpackungsgesetz- Entwurf in der Fassung vom 30. März 2017, aufgerufen am 10.08.2017, [http://m.bmub.bund.de/fileadmin/Daten\\_BMU/Download\\_PDF/Gesetze/verpackg\\_fortentwicklung\\_getrennterfassung\\_bf.pdf](http://m.bmub.bund.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Gesetze/verpackg_fortentwicklung_getrennterfassung_bf.pdf)
- [13] Verpackungsverordnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 21. August 1998 (BGBl. I S. 2379), zuletzt geändert durch Artikel 11 Absatz 10 des Gesetzes v. 18. Juli 2017 (BGBl. I S. 2745)
- [14] Welle, F.: Verpackungsmaterial aus Polyethylenterephthalat (PET). In: DLG-Expertenwissen, 2016 Nr. 4, aufgerufen am 08.09.2017, [http://2015.dlg.org/fileadmin/downloads/food/Expertenwissen/Lebensmitteltechnologie/2016\\_4\\_Expertenwissen\\_PET.pdf](http://2015.dlg.org/fileadmin/downloads/food/Expertenwissen/Lebensmitteltechnologie/2016_4_Expertenwissen_PET.pdf)
- [15] Werner und Mertz GmbH: Die Recyclat-Initiative von Frosch, aufgerufen am 12.09.2017, <http://ganzheitlich-nachhaltig.de/intelligente-Verpackung/Recyclat-Initiative/Recyclat-Initiative.pdf>

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.dnb.de> abrufbar

Stephanie Thiel • Elisabeth Thomé-Kozmiensky • Daniel Goldmann (Hrsg.):  
**Recycling und Rohstoffe** – Band 11

ISBN 978-3-944310-40-4 Thomé-Kozmiensky Verlag GmbH

Copyright: Elisabeth Thomé-Kozmiensky, M.Sc., Dr.-Ing. Stephanie Thiel  
Alle Rechte vorbehalten

Verlag: Thomé-Kozmiensky Verlag GmbH • Neuruppin 2018

Redaktion und Lektorat: Dr.-Ing. Stephanie Thiel, Dr.-Ing. Olaf Holm,  
Elisabeth Thomé-Kozmiensky, M.Sc.

Erfassung und Layout: Claudia Naumann-Deppe, Janin Burbott-Seidel, Sandra Peters,  
Ginette Teske, Cordula Müller, Gabi Spiegel

Druck: Universal Medien 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 Funk- sendung, 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.