

Festlegung von Quoten in der Kreislaufwirtschaft Empfehlungen und Hintergrund

Autorinnen und Autoren:

Prof. Dipl.-Ing. Frank Baur	HTW des Saarlandes
Prof. Dr. Peter Hense	HS Bochum
Prof. Dr. Soraya Heuss-Aßbichler	LMU München
Prof. Dr. rer. nat. techn. Marion Huber-Humer	BOKU Wien
Prof. Dr. Mario Mocker	HS Amberg-Weiden
Prof. Dr. techn. Helmut Rechberger	TU Wien
Prof. Dr.-Ing. Gerhard Rettenberger	HS Trier
Prof. Mag. rer. soc. oec. Dr. Christoph Scharff	TU Wien
Prof. Dr. rer. nat. Liselotte Schebek	TU Darmstadt
Prof. Dr.-Ing. Daniel Vollprecht	Univ. Augsburg
Prof. Dr. Martin Wittmaier	HS Bremen

Ansprechperson:

Prof. Dr. Peter Hense
Hochschule Bochum, Fachbereich Bau- und Umweltingenieurwesen
Tel.: +49 (0) 234 32 10275 E-Mail: peter.hense@hs-bochum.de

Die Akademie der Kreislaufwirtschaft

Die Akademie der Kreislaufwirtschaft versammelt Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, die mit Expertise aus über 40 Jahren Abfall- und Kreislaufwirtschaft aktuelle Themenfelder unabhängig und wissenschaftsbasiert diskutieren. Sie analysiert zugrundeliegende Fakten und Daten und erarbeitet darauf aufbauend Empfehlungen für eine resiliente und leistungsfähige Abfall- und Kreislaufwirtschaft. Die Akademie gibt Empfehlungen zu relevanten Forschungsthemen und -programmen ab und macht auf Bereiche aufmerksam, die derzeit (noch) wenig Beachtung finden. Mensch, Klima, Umwelt und Ressourcen stehen dabei im Kontext abfallwirtschaftlicher / -rechtlicher Rahmenbedingungen und aktueller technologischer Lösungsansätze.

Die Akademie steht mit ihrer Arbeit und ihren Empfehlungen für die Wissenschaft und wendet sich damit an diejenigen, die in ihren Arbeiten und bei ihren Entscheidungen auf wissenschaftliche Erkenntnisse setzen wollen. Sie denkt hierbei insbesondere an den Gesetzgeber und dessen nachgeordnete Einrichtungen und adressiert politische Vertreter*innen sowie die Fachöffentlichkeit.

Beauftragter der Akademie bei der DGAW:

Prof. Dr. Gerhard Rettenberger,
Reichenspergerstraße 55, 54296 Trier
Tel.: +49 (0) 178 2675930 E-Mail: rettenberger@ruk-online.de

Empfehlungen

Quoten wurden als ein Lenkungsinstrument in der Kreislaufwirtschaft eingeführt, um einen möglichst hohen Anteil von Abfällen als Rohstoff in die Wirtschaft zurückzuführen und damit zu den übergeordneten Zielen der Kreislaufwirtschaft – Schutz von Menschen und Umwelt, Schonung der natürlichen Ressourcen und Klimaschutz – beizutragen. Bisherige Erfahrungen zeigen aber, dass das Werkzeug „Quote“ diesen Erwartungen häufig nicht ausreichend entspricht und zudem praktische Probleme in der Anwendung auftreten. Es wird einerseits ein hoher Aufwand für Umsetzung und Monitoring von Quoten beklagt, andererseits werden immer noch zu wenige Sekundärrohstoffe in die Wirtschaft zurückgeführt. Auch wird die Wirksamkeit von Quoten in Bezug auf die eigentlichen Ziele der Kreislaufwirtschaft i. a. weder im Vorhinein systematisch geprüft noch im Nachhinein empirisch nachgewiesen (Bsp. Klimaschutz).

Die Akademie der Kreislaufwirtschaft ist der Überzeugung, dass gut gewählte Quoten zu einer effizienten und effektiven Erreichung der Ziele der Kreislaufwirtschaft beitragen und gleichzeitig einen volkswirtschaftlichen Nutzen haben. Dazu ist es jedoch nötig, Konzeption und Anwendung von Quoten sehr viel stärker als bislang wissenschaftlich zu unterlegen und die Wirkungen von Quoten zu analysieren. Daher gibt die Akademie folgende Empfehlungen:

- Quoten sind kein Selbstzweck und sollen nur nach sorgfältiger Abwägung als Steuerungselement verwendet werden. Dies gilt sowohl für Quoten in der Abfallwirtschaft (z. B. Recyclingquote) als auch für solche in der Produktion (z. B. Substitutionsquote).
- Quoten sollen sich an den übergeordneten Zielen der Kreislaufwirtschaft orientieren; bei Zielkonflikten ist eine transparente Priorisierung vorzunehmen.
- Unter Berücksichtigung vorab definierter Rahmenbedingungen (z. B. Grenzwerte, Energiemix) soll eine „optimale“ Quote den maximal möglichen Beitrag zu den Zielen der Kreislaufwirtschaft leisten.
- Vor der gesetzgeberischen Festlegung einer Quote soll sie im Rahmen einer Systembetrachtung mit wissenschaftlichen Methoden in Bezug auf ihre erwarteten Wirkungen quantifiziert und dokumentiert werden.
- Gegenüber der derzeitigen Verwendung von Quoten, bei der eine Zielwertsteigerung stets die Maxime war, sollen Quoten in ihrer Höhe dynamisch gestaltet werden, da sich die gesellschaftlichen, technologischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen im Laufe der Zeit ändern.
- Die zielgerichtete Wirkung einer Quote ist regelmäßig auf Basis valider Daten zu überprüfen. Gegebenenfalls ist eine Unterstützung durch flankierende Maßnahmen (z. B. Steuern, Subventionen) notwendig.

Hintergrund

Status Quo der Verwendung von Quoten in der Kreislaufwirtschaft

Die Kreislauf- und Abfallwirtschaft ist heute unter der Bezeichnung „Circular Economy“ ein wesentlicher Bestandteil der Nachhaltigkeitspolitik. Die übergreifenden Zielsetzungen sind der Schutz von Menschen und Umwelt sowie die Schonung der natürlichen Ressourcen¹. Das Konzept der Circular Economy beinhaltet zur Erreichung dieser Ziele u. a. Strategien sowohl für die Kreislauf- und Abfallwirtschaft als auch für die allgemeine Wirtschaft. Diese Strategien werden häufig als sogenannte „R-Strategien“ (z. B. Refuse, Reuse, Recycle, Recover) bezeichnet. Eine wesentliche, auch rechtlich relevante Unterscheidung abfallwirtschaftlicher Strategien ist die in Vermeidung / Wiederverwendung einerseits und in Verwertung andererseits: während Strategien der Vermeidung und der möglichen Wiederverwendung im Vorfeld der Abfallentstehung ansetzen, z. B. beim Design von Produkten, geht es bei der Verwertung darum, Abfälle so zu behandeln, dass sie nach Möglichkeit einer stofflichen Nutzung (Recycling) bzw. energetischen oder sonstigen Verwertung (z. B. Verfüllung) zugeführt werden können². Die Abfallhierarchie und auch die aktuelle Politik der Circular Economy geben der Vermeidung von Abfällen die höchste Priorität. Jedoch ist klar, dass eine vollständige Vermeidung von Abfällen weder praktikabel noch zielführend ist³, so dass auch

¹ Natürliche Ressourcen: Definition des Glossar Ressourcenschutz des Umweltbundesamts (UBA) in Anlehnung an EU Thematic strategy on the sustainable use of natural resources (COM(2005) 670 final) und die Roadmap to a resource efficient Europe (2011) (EU Commission): "Ressource, die Bestandteil der Natur ist. Hierzu zählen erneuerbare und nicht erneuerbare Primärrohstoffe, physischer Raum (Fläche), Umweltmedien (Wasser, Boden, Luft), strömende Ressourcen (z. B. Erdwärme, Wind-, Gezeiten- und Sonnenenergie) sowie die Biodiversität. Es ist hierbei unwesentlich, ob die Ressourcen als Quellen für die Herstellung von Produkten oder als Senken zur Aufnahme von Emissionen (Wasser, Boden, Luft) dienen." (<https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/4242.pdf>)

² Grundsätzlich sei zu beachten, dass das Produktdesign signifikante Auswirkungen auf die Recyclingfähigkeit eines Produktes hat und daher eine relevante Maßnahme zur Verbesserung dieser darstellt.

³ Beispielhaft seien hier die Ausschleusung von Schadstoffen aus dem Wirtschaftskreislauf oder ein sicherheitsrelevanter Austausch veralteter Komponenten zu nennen

langfristig die Behandlung und Verwertung von Abfällen ein wesentlicher Bestandteil der Kreislaufwirtschaft bleiben wird. Hier wiederum setzt die Abfallhierarchie die Priorität auf die stoffliche Verwertung, insbesondere das Recycling von Abfällen: dieses führt zur Bereitstellung von Sekundärrohstoffen, die Primärrohstoffe substituieren können. Findet eine solche Substitution statt, so entfallen nach dem Lebenszyklusprinzip alle Aufwendungen für die Erzeugung der substituierten Materialien / Güter. Insofern erwartet man aus Sicht der Politik einen wesentlichen Beitrag des Recyclings zu Klima- und Ressourcenschutz, aber auch zur Versorgung der EU mit (insbesondere kritischen) Rohstoffen (Critical Raw Materials Act: EC COM(2023) 165 final⁴).

Um diese Ziele des Recyclings zu erreichen, ist ein starker Hebel der Politik die Vorgabe von **Quoten**. Der Begriff der Quote beinhaltet dabei zwei Dinge: zum einen die Vorgabe eines Rechenverfahrens, mit dem das Verhältnis bestimmter Flüsse in der Kreislaufwirtschaft über einen festgelegten Zeitraum ermittelt wird, zum anderen die Vorgabe eines Zielwertes, den dieses Verhältnis annehmen soll. Diesbezüglich finden sich auf Europäischer Ebene *drei* Arten von Quoten, die in unterschiedlichen legislativen Instrumenten und bezogen auf unterschiedliche Abfallströme definiert sind.

Die **historisch erste** und heute mit Abstand am häufigsten zu findende Art ist die rein massebezogene *Sammel-/ Verwertungs-/ Recyclingquote*, welche bezogen auf das gesamte Aufkommen eines Stoffstroms entsprechende Anteile vorgibt, die einem Sammelsystem zuzuführen sind (Sammelquote), stofflich oder energetisch verwertet werden (Verwertungsquote) bzw. recycelt werden soll (Recyclingquote). Umgesetzt ist diese in differenzierter Art z. B. für Verpackungsabfälle, Altbatterien, Altfahrzeuge, Baurestmassen und Elektro(nik)-Altgeräte (EAG). So werden beispielhaft gemäß der für die Verwertung von EAG geltende WEEE-Richtlinie (2012/19/EU) Mindestzielvorgaben bzgl. Verwertung (75 - 80 %) sowie Vorbereitung zur Wiederverwendung und Rezyklierung (55 - 80 %) definiert.

Neben der teils unklaren Abgrenzung von Verwertungs- und Recyclingquote ist an dieser Art der Vorgaben insbesondere zu kritisieren, dass sie rein massebezogene und nicht qualitativ auf die Art von Materialien bezogene Vorgaben macht. Auf diese Weise kann das Recycling nicht so beeinflusst werden, dass bspw. versorgungskritische Materialien dem Wirtschaftskreislauf vorrangig als Sekundärrohstoffe zurückzuführen sind.

Die **zweite Art** stellen *material- bzw. elementspezifische Recyclingquoten* dar. Diese jüngste Art der Quoten finden sich erstmals in der novellierten Europäischen Batterieverordnung (2023/1542/EU), welche die seit 2006 geltende Batterierichtlinie (2006/66/EG) ablöst. Neben Mindestvorgaben zu Sammelquoten und Rezyklatgehalten müssen ab 2027 auch 50 % des in Lithium-Ionen-Batterien enthaltenen Lithiums (80 % ab 2031) sowie 90 % von Kobalt, Kupfer, Blei und Nickel (95 % ab 2031) zurückgewonnen werden.

Diese bewusst hoch gesteckten Rückgewinnungsraten einzelner Metalle schließen das o. g. Schlupfloch der klassischen Recyclingquoten, demzufolge ein hoher Masseanteil eher geringwertiger Bauteile (z. B. Aluminium und Glas bei Photovoltaik-Modulen) recycelt wird, während geringere, aber wertvollere Masseanteile (z. B. die Photovoltaik-Zellen) nicht recycelt werden müssen, um die Recyclingquote zu erfüllen. Das Werkzeug der materialspezifischen Recyclingquoten löst bereits heute eine Steigerung der F&E-Anstrengungen hinsichtlich neuer Recyclingverfahren für entsprechende Metalle aus. Mit Blick auf die Kreislaufschließung, insbesondere versorgungskritischer Materialien, könnten so die Recyclingquoten vieler Materialien erstmals über 1 % gehoben werden. Als eine weitere Zielsetzung können materialspezifische Quoten – in diametral angepasster Weise – auch für solche Stoffe angewandt werden, die als Schadstoffe aus Stoffkreisläufen herausgezogen werden sollen, bspw. Schwermetalle wie Cadmium und Quecksilber.

Die **dritte Art** stellen *Rezyklateinsatz- / Substitutionsquoten* dar, welche quantitativen und qualitativen Charakter haben und ggü. den vorgenannten Quoten direkte Auswirkungen auf Produktionsprozesse haben. Erstmals umgesetzt in der sog. Einwegplastik-Richtlinie (engl. *Single-Use Plastics* (SUP-) Directive; 2019/904/EU) werden hier für Flaschen aus Polyethylenterephthalat (PET) Vorgaben gemacht, wie viel Rezyklat bei der Herstellung neuer Flaschen eingesetzt werden muss: die Vorgaben sehen ab 2025 mind. 25 %, ab 2030 mind. 30 % Rezyklat vor. Ebenfalls findet sich diese Art der Quote in der o. g. Batterieverordnung (2023/1542/EU) wieder.

Diese Art der Quote stellt ein rechtlich besonders spannendes Werkzeug dar, da es sehr weitreichende Auswirkungen haben kann und der Umsetzung gleichzeitig viel Spielraum lässt. Die wahrscheinlich deutlichste Auswirkung ist, dass sich auf den Märkten nun zwei Preise ergeben

⁴ EC COM(2023) 165 final (<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:52023DC0165>)

können: Einerseits der (insbesondere) aus Angebot und Nachfrage gegebene Preis für Primärrohstoffe, andererseits der tendenziell erhöhte Preis für Sekundärrohstoffe, infolge der künstlichen Nachfragesteigerungen durch die Quotenvorgabe. Dies kann nicht nur bewirken, dass sich neuere und / oder aufwändigere Recyclingverfahren rechnen, sondern dass sich auch ein Pull-Effekt auf die Rezyklate infolge höherer Nachfrage ggü. dem Angebot einstellen kann. Liegt die Quotenvorgabe deutlich über den kurzfristig am Markt verfügbaren Mengen an Sekundärrohstoffen, werden die F&E-Aufwendungen für neue Recyclingverfahren steigen. Weiter könnten sogar alte „Lagerstätten“ wie Deponien (Landfill-Mining) oder zuvor exportierte Mengen in den Fokus der Rezyklatgewinnung rücken. Bei der Einführung von Rezyklateinsatzquoten muss der rechtliche und technische Rahmen entwickelt werden, welcher einerseits sicherstellt, dass maximale Schadstofflevel eingehalten werden (können) und andererseits, dass es sich bei den eingesetzten Materialien um Sekundärrohstoffe handelt. Hier können neben klassischen Zertifizierungen der Lieferkette auch chemisch-analytische Fingerprint-Ansätze ausgenutzt werden, die darauf beruhen, dass sich die Herkunft und / oder Verwendung von Materialien i. d. R. in ihrer genauen Zusammensetzung zeigt.

Die nachfolgende Abbildung 1 zeigt die drei genannten Arten der Quoten mit den jeweiligen Quotienten. Es wird deutlich, dass sich die bislang definierten Quoten ausschließlich auf sogenannte post-consumer-Abfälle beziehen, also Produkte nach Ende deren Nutzungsdauer. Insofern haben die festgelegten Quoten auch einen direkten Bezug zum Produktlebenszyklus.

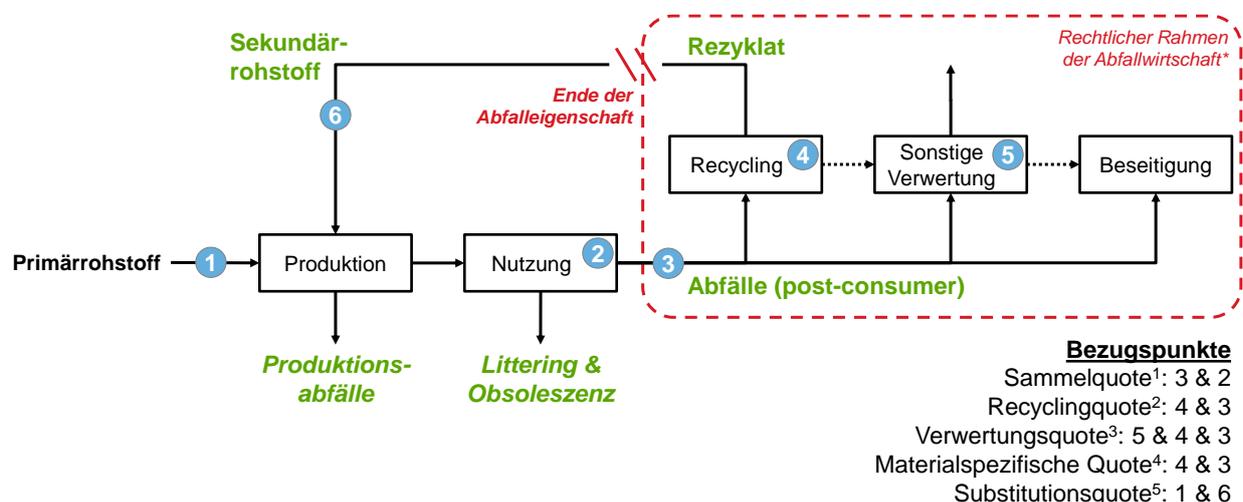


Abbildung 1: Quotienten und Verortung der Sammel-/ Recycling-/ Verwertungsquote, materialspezifischen Quote und Substitutionsquote im Produktlebenszyklus.

*rechtlicher Rahmen der Abfallwirtschaft für post-consumer Abfälle; ¹Sammelquote = $\frac{\text{Abfallaufkommen}}{\text{Abfallaufkommen} + \text{Littering} + \text{Obsoleszenz}}$; ²Recyclingquote = $\frac{\text{Menge an Zielmaterialien}}{\text{Abfallaufkommen}}$; ³Verwertungsquote = $\frac{\text{Mengen von Zielmaterialien} + \text{Ersatzbrennstoffe} + \text{Ersatz-} + \text{Versatzbaustoffe}}{\text{Abfallaufkommen}}$; ⁴Materialspezifische Quote = $\frac{\text{Menge von Zielmaterial} i}{c}$; in Abfallaufkommen; ⁵Substitutionsquote = $\frac{\text{eingesetzte Sekundärrohstoffmenge } i}{\text{(eingesetzte Menge Primärrohstoff } i + \text{eingesetzte Sekundärrohstoffmenge } i)}$

„Zielmaterialien“ sind gem. Durchführungsbeschluss (EU) 2019/1004 „Abfallmaterialien in Siedlungsabfällen, die im Rahmen eines bestimmten Recyclingverfahrens wieder zu Produkten, Materialien oder Stoffen weiterverarbeitet werden, die nicht als Abfall anzusehen sind“.

Theoretische Überlegungen zur „optimalen Quote“

Derzeit ist in der Politik das Verständnis vorherrschend, dass grundsätzlich möglichst hohe Zielwerte für Quoten anzustreben seien und jede Erhöhung positiv zu bewerten sei. Dabei werden ohne weiteres Hinterfragen teils Zielwerte bis zu 90 % angestrebt; mitunter sogar – (zumindest) thermodynamisch – nicht umsetzbare 100 % („Zero Waste“) postuliert. In den Diskussionen und politischen Entscheidungsprozessen wird dabei außer Acht gelassen, dass Quoten kein Ziel per se, sondern eine Maßnahme zum Erreichen eines oder mehrerer übergeordneter Ziele sind. Diese politisch und gesellschaftlich gewünschten Ziele haben sich in der Entwicklung der Kreislaufwirtschaft über die letzten Jahrzehnte herausgebildet und sind in den aktuellen Strategien der EU und ihrer Mitgliedsstaaten enthalten. Wie bereits eingangs genannt, umfassen sie die drei Bereiche des Schutzes des Menschen und der Umwelt (auch im Sinne der Gefahrenabwehr), des Schutzes der natürlichen Ressourcen (v. a. im Hinblick auf Klimaziele) und der Rohstoffsicherung (v. a. versorgungskritische Rohstoffe).

Die Festlegung einer „optimalen Quote“ – sowohl hinsichtlich der *Art der Quote* als auch hinsichtlich ihres *Zahlenwertes* – für einen *spezifischen Abfallstrom* kann daher grundsätzlich nur in Bezug zu den relevanten Zielen aus diesen Bereichen erfolgen. Der theoretische Weg dafür kann wie folgt skizziert werden:

Wahl von Indikatoren für die Zielerreichung: Bereits die Auflistung von drei Zielbereichen verdeutlicht, dass in der Kreislaufwirtschaft mehrere, unter Umständen konkurrierende oder gegenläufige Zielsetzungen verfolgt werden. Darüber hinaus beinhalten alle drei Bereiche differenzierte Einzelziele, die sich bspw. auf unterschiedliche Aspekte des Schutzes der Gesundheit oder auf einzelne von mehreren natürlichen Ressourcen beziehen. Die Wahl von Indikatoren im Sinne eines quantitativen Maßes für die Feststellung der Zielerreichung sollte daher eine Auswahl eines Zielindikators oder eine Priorisierung bei mehreren Indikatoren umfassen. Dies ist letztlich eine politische Entscheidung, die jedoch transparent und auf Basis einer sachlichen Begründung erfolgen muss. Eine solche sachliche Begründung ist durch wissenschaftliche Studien möglich, die den Beitrag des Recyclings zu unterschiedlichen Einzelzielen differenziert für konkrete Abfallströme ausweisen und unter Heranziehung aktueller Daten auch eine eventuell nötige zeitliche Anpassung begründen können. Grundlage solcher Studien ist die wissenschaftliche Analyse von Stoffströmen und Rahmenbedingungen der Abfallwirtschaft; als Methode für die Ermittlung der Beiträge zur Verminderung von Umweltwirkungen und Ressourcenverbräuchen kommt derzeit die Ökobilanzierung (Life Cycle Assessment, LCA) zum Einsatz. So kann bspw. gesagt werden, dass Quoten im Kontext von Kunststoffen stärker am Treibhauspotenzial gemessen werden sollen, während sich solche für versorgungskritische Rohstoffe primär an Faktoren der aktuellen und zukünftigen Verfügbarkeit sowie etwaig an der Vulnerabilität unserer Wirtschaft bei labilen Lieferketten orientieren sollen; bei mineralischen Baustoffen (bzw. Kies oder Gips) wiederum sind auch Aspekte der Flächenverfügbarkeit und Schonung von Ökosystemen von großer Bedeutung.

Konzeptentwicklung einer Quote: Die Konzeptentwicklung einer Quote beinhaltet zwei Aufgabenstellungen: zum einen die Festlegung eines theoretischen Konzepts, die auf Grundlage einer der drei o. g. Arten erfolgt und welche eine klare Definition der Methodik zur Ermittlung dieser beinhaltet. Dabei ist abfallspezifisch und zielgerichtet festzulegen, an welchem Referenzpunkt des Materialkreislaufes die Mengen erfasst werden, bspw. zur Berücksichtigung von Fehlwürfen und Produkthanftungen bei Verpackungsabfällen. Zu berücksichtigen ist dabei die Verfügbarkeit bzw. der Aufwand der Erhebung der entsprechenden Daten. Zum anderen muss ein entsprechender Zielwert für die so definierte Quote festgelegt werden, der von den Akteuren der Kreislaufwirtschaft erreicht werden soll. Es sollte also (theoretisch) für jeden Abfall eine differenzierte, optimale Quote in qualitativer (vgl. die drei Arten) und quantitativer Form (Zielwert) gefunden werden, welche dazu beiträgt, die gewählten Ziele der Kreislaufwirtschaft bestmöglich zu erreichen. Diese Quote ist abfallspezifisch und von etlichen Parametern abhängig. Zur Findung des Zielwertes ist die reale Nutzungsdauer von Produkten zu berücksichtigen, die ausschlaggebend dafür ist, welche Mengen an Abfällen als Ausgangsmaterial für ein Recycling zu welchem Zeitpunkt zur Verfügung stehen. Insbesondere im Falle langlebiger Produkte wird hier die wissenschaftliche Methode von Materialflussanalysen (MFA) empfohlen⁵, die in Kombination mit Szenarioanalysen auch für längere Zeithorizonte belastbare Aussagen ermöglicht. Der Beitrag zur Erreichung der jeweils gesetzten einzelnen Ziele, z. B. Klimaschutz, kann auch hier durch ökobilanzielle Bewertungen (LCA) untersucht werden, um die Machbarkeit der Zielerreichung zu belegen. Eine solche umfassende Überprüfung sollte sinnvollerweise vor der gesetzlichen Festlegung einer Quote erfolgen.

Monitoring der Zielerreichung: Auf Basis eines festgelegten Konzepts und Zielwerts sind Methode und Datengrundlagen zu definieren, mit denen nach der gesetzlichen Implementierung einer Quote regelmäßig die Zielerreichung bezüglich der gewählten Indikatoren in der Realität ermittelt werden kann. Ein solches Monitoring muss die Mengenentwicklung der abfallwirtschaftlichen Stoffströme umfassen, aus denen die gesetzte Quote berechnet wird. Dazu ist es zentral, einen Referenzpunkt zu definieren. Gemäß Durchführungsbeschluss (EU) 2019/1004 für die Ermittlung von Recyclingquoten nach der EU-Abfallrahmenrichtlinie werden recycelte Abfälle grundsätzlich an dem Punkt gemessen, an dem die Abfälle dem Recyclingverfahren zugeführt werden, um Nichtzielmaterialien, Anhaftungen oder Restinhalte auszuschließen. Zur einheitlichen Anwendung werden entlang der Stoffströme u. a. sog. Messungspunkte, Berechnungspunkte und durchschnittliche Verlustraten festgelegt. Ein Monitoring sollte auch verfolgen, inwieweit sich die Rahmenbedingungen ändern, unter denen eine Quote konzipiert und der Zielwert festgelegt wurde. Ändert sich bspw. die Zusammensetzung der Abfallgruppe mit der Zeit, so hat dies eine Auswirkung auf die optimale Recyclingquote. Gerade der Einfluss des Produktdesigns auf die Abfallstoff-

⁵ Insbesondere bei Produkten mit einer vergleichsweise langen Lebensdauer und starken Mengenzuwächsen wie Elektro(nik)-Geräten wird der Aufbau des anthropogenen Lagers nicht adäquat berücksichtigt, so dass die Quotenart unpassend erscheinen und der gesetzte Zielwert deutlich verfehlt werden kann (vgl. UBA 2023: Elektro- und Elektronikaltgeräte (<https://www.umweltbundesamt.de/daten/ressourcen-abfall/verwertung-entsorgung-ausgewaehelter-abfallarten/elektro-elektronik-altgeraete>; <https://www.euwid-recycling.de/news/wirtschaft/weniger-altgeraete-erfas-st-sammelquote-fuer-e-schrott-faellt-auf-32-prozent-210224/>))

ströme sollte omnipräsent sein, da die Waren in unserer Gesellschaft tendenziell stets komplexer werden und die Materialvielfalt zunimmt. Doch nicht nur die Produkte selbst, sondern auch die Gestaltung ihres Lebensendes entwickeln sich weiter. So sind heutige Recyclinganlagen mit weiterentwickelter Technik und / oder neuen Technologien ausgestattet. Aufgrund der hohen Komplexität der externen und internen Treiber solcher und weiterer Einflussfaktoren, muss auch eine optimale Recyclingquote an die jeweiligen Gegebenheiten adaptiert werden, sprich ein „Moving Target“ sein. Würde, wie oben dargelegt, die Konzeptentwicklung einer Quote durch wissenschaftliche Studien unterlegt, so können die Bilanzierungsansätze dieser Studien ggf. dazu herangezogen werden, mit aktualisierten Daten die Anpassung einer optimalen Quote vorzunehmen.

Konsequenzen

Während in der Politik die Ziel- und Konsensfindung zwischen gesellschaftlichen Gruppen im Fokus ist, stellt die Wissenschaft Erkenntnisse sowie Sachwissen für Entscheidungsfindungen und zur Identifizierung von Problemstellungen bereit. Im Bereich der Kreislaufwirtschaft beinhaltet der Beitrag der Wissenschaft neue Entwicklungen im technologischen, organisatorischen und logistischen Bereich, aber auch wie oben beschrieben Methoden und Wissensbestände zur Bilanzierung der Effekte abfall- / kreislaufwirtschaftlicher Maßnahmen. Gerade diese Bilanzierungsmethoden werden bislang im Bereich der Entwicklung gesetzlicher Quoten im Kontext von Kreislaufwirtschaft und Recycling nur unzureichend genutzt. Die Herleitung von Quoten sollte daher zukünftig viel stärker wissenschaftlich vorbereitet und im Bereich der Umsetzung begleitet werden. Das bedeutet, dass abfallgruppenspezifisch die wesentlichen Einflussparameter erhoben und quantifiziert werden müssen sowie bspw. mittels Materialflussanalysen und ökobilanziellen Bewertungen die (aktuell) optimale Quote (R_0) hergeleitet werden sollte. Im Idealfall wird die gesetzlich festgelegte Quote R_G so gewählt, dass sie etwas unter der R_0 liegt, um den höchstmöglichen (volkswirtschaftlichen) Nutzen auf Basis definierter Indikatoren zu ermöglichen. Nachdem der Zielwert einer R_0 kein fixer Wert ist, muss er in geeigneten Intervallen überprüft und bei Bedarf die R_G angepasst werden.

Liegt die gesetzlich getroffene Entscheidung zum Zielwert einer Quote (R_G) quantitativ gesehen signifikant unter der optimalen Quote (R_0), d. h. $R_G < R_0$, so wird das volle Potenzial dieses Werkzeugs zur Erreichung der abfallwirtschaftlichen Ziele schlichtweg nicht ausgeschöpft. Im gegengesetzten Fall ($R_G > R_0$) hingegen, kann die Zielerreichung ebenfalls in weitere Ferne rücken und es können sich sogar ökologische sowie sozioökonomische bzw. volkswirtschaftliche Nachteile einstellen. Durch die Gesetze der Thermodynamik lassen sich auch mit immer höherem Einsatz von physikalischer, thermischer und / oder chemisch gebundener Energie nicht alle Stoffe sortenrein voneinander trennen, insbesondere dann nicht, wenn sehr heterogene Stoffe mit entsprechend vielen Wechselwirkungen vorliegen⁶. Aus diesem Grund ist kein Recyclingverfahren „perfekt“, sondern es können sich Zielkonflikte oder sogar gegenläufige Effekte einstellen. Kurz, der Aufwand übersteigt den (volkswirtschaftlichen und ökologischen) Nutzen, was sinnbildlich in sog. „Badewannenkurven“ deutlich wird, in denen eine gesteigerte Recyclingquote (Sekundärgewinnung) dem dafür notwendigen Aufwand (gemessen in ökonomischen oder ökologischen Kenngrößen) gegenübergestellt wird.

Die Notwendigkeit, Quoten in der Kreislaufwirtschaft wissenschaftlich zu fundieren, gewinnt daher immer mehr an Bedeutung, sowohl auf Grund der Aktualität neuer gesetzlicher Instrumente unter Nutzung von Quoten als auch wegen der bislang ungebrochenen Tendenzen, Zielwerte von Quoten ohne genauere Betrachtungen der Wirkungen immer höher anzusetzen und damit Gefahr zu laufen, dass der Fall $R_G > R_0$ eintritt (was bereits (vereinzelt) dokumentiert ist⁷). Darüber hinaus muss wiederkehrend überprüft werden, ob der einmal gesetzte Zielwert R_0 noch sinnvoll ist, um Entwicklungen in der Kreislaufwirtschaft (und insgesamt in der Wirtschaft) einzubeziehen. Damit kann Aufschluss darüber gewonnen werden, ob die vermehrten Bestrebungen in Richtung Kreislaufwirtschaft erfolgreich sind. Dies wäre dann der Fall, wenn R_0 mit der Zeit zunimmt. Ist dies nicht der Fall, dann zeigt die Bestimmung zumindest, bei welchen Einflussfaktoren Handlungsbedarf besteht und ob zur Erreichung der gesetzten Ziele (andere) flankierende Maßnahmen zu einer Quote erforderlich sind.

⁶ Zu diesen heterogenen Stoffströmen zählen insbesondere Abfälle mit Stör- und Schadstoffen wie bspw. sulfat- oder asbesthaltige Bau- und Abbruchabfälle sowie Papiere, welche Bisphenol-A enthalten. Eine vollständige Abtrennung der Stör- und Schadstoffe für ein Recycling der Hauptkomponente ist dabei ggü. einer sonstigen Verwertung oder Beseitigung des gesamten Stoffstroms oftmals ökologisch und ökonomisch nicht vorteilhaft.

⁷ Van Eygen, Fellner (ÖWAV, Vol. 72, 2020, 38 - 46) zeigten, dass zur Erreichung einer Verwertungsquote von 50 % für Kunststoffverpackungen in Österreich die Rezyklatproduktion um ebenfalls rund 50 % erhöht werden müsste, wodurch Treibhausgas- (THG-) Emissionen von ca. 80.000 t CO₂-Äquivalent p. a. eingespart werden könnten. Dem stünden allerdings Zusatzkosten von rund 60 Mio. €/a gegenüber, was zu sehr hohen spezifischen THG-Vermeidungskosten von ca. 770 €/t CO₂-Äq. führen würde.