



Energie

Nationale Forschungsprogramme 70 und 71

Synthese

Abfallmanagement als Beitrag zur Energiewende





Energie

Nationale Forschungsprogramme 70 und 71

Abfallmanagement als Beitrag zur Energiewende

Verbundsynthese

1. Abfallmanagement als Beitrag zur Energiewende

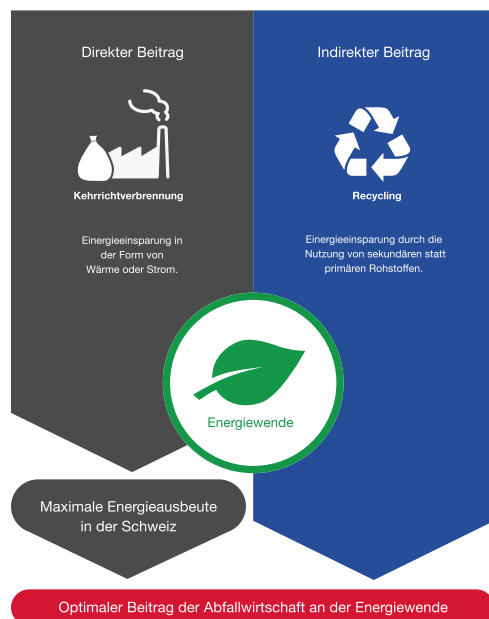
Synthese des NFP-70-Verbundprojekts
«Abfallmanagement als Beitrag zur
Energiewende (wastEturn)»



1.1. Im Abfall steckt ein grosses, zusätzliches Energiepotenzial

Das Verbundprojekt «Abfallmanagement als Beitrag zur Energiewende» hat untersucht, wie und in welchem Umfang die Abfallwirtschaft die Transformation des Schweizer Energiesystems unterstützen kann. Die vorliegende Synthese integriert die Erkenntnisse für den Bereich Siedlungsabfälle in acht thematischen Bereichen und leitet daraus sieben Kernaussagen sowie neun konkrete Handlungsempfehlungen für die relevanten Akteure ab.

1.1.1. Zusammenfassung



Direkter und indirekter Beitrag zur Energiewende, welche gesamtheitlich optimiert werden sollen. *Quelle: Melanie Haupt, ETH Zürich*

Im Abfall steckt sowohl direkt wie auch indirekt viel Energie. So werden in der Schweiz pro Jahr Siedlungsabfälle mit einem Energiegehalt von rund 60 Petajoule verbrannt. Die daraus direkt zurückgewonnene Energie deckt etwa 4 Prozent des Endenergiebedarfs. Das grösste Potenzial der Abfallwirtschaft liegt aber meist darin, beim Recycling sekundäre Rohstoffe zu gewinnen und so indirekt die energieintensive Produktion von primären Rohstoffen zu verhindern.

Um den Beitrag der Abfallwirtschaft zur Energiewende zu optimieren, braucht es in einem ersten Schritt vor allem Verbesserungen hinsichtlich einer transparenten Dokumentation der Material- und Geldflüsse und darauf aufbauend eine energetische Priorisierung der verschiedenen Verwertungs- und Entsorgungswege. Als diejenigen Abfallfraktionen mit dem grössten Verbesserungspotenzial wurden Papier und Karton sowie Plastik identifiziert. Bei Papier und Karton lassen sich aufgrund der sehr grossen Mengen bedeutende Effekte erzielen. Gebrauchte Kunststoffe werden mit Ausnahme der PET-Getränkeflaschen bisher erst wenig getrennt gesammelt. Ein grosses Optimierungspotenzial wurde auch bei der Energieeffizienz der Verbrennungsanlagen identifiziert. Damit KVs die entstehende Wärme wirkungsvoller nutzen können, müssen aber Abnehmer für Dampf und Wärmeenergie in ihrer Nähe angesiedelt sein. Ein entscheidender Erfolgsfaktor für einen Wandel hin zu einer energieeffizienten Abfallwirtschaft ist die Zusammenarbeit zwischen den vielen Akteuren der föderalistisch organisierten Branche. Diese muss sich zum einen vermehrt entlang der Wertschöpfungsketten organisieren. Zum anderen gilt es dabei aber auch, die Freiräume der föderalen Vielfalt zu nutzen, um unterschiedliche Lösungswege zu testen.

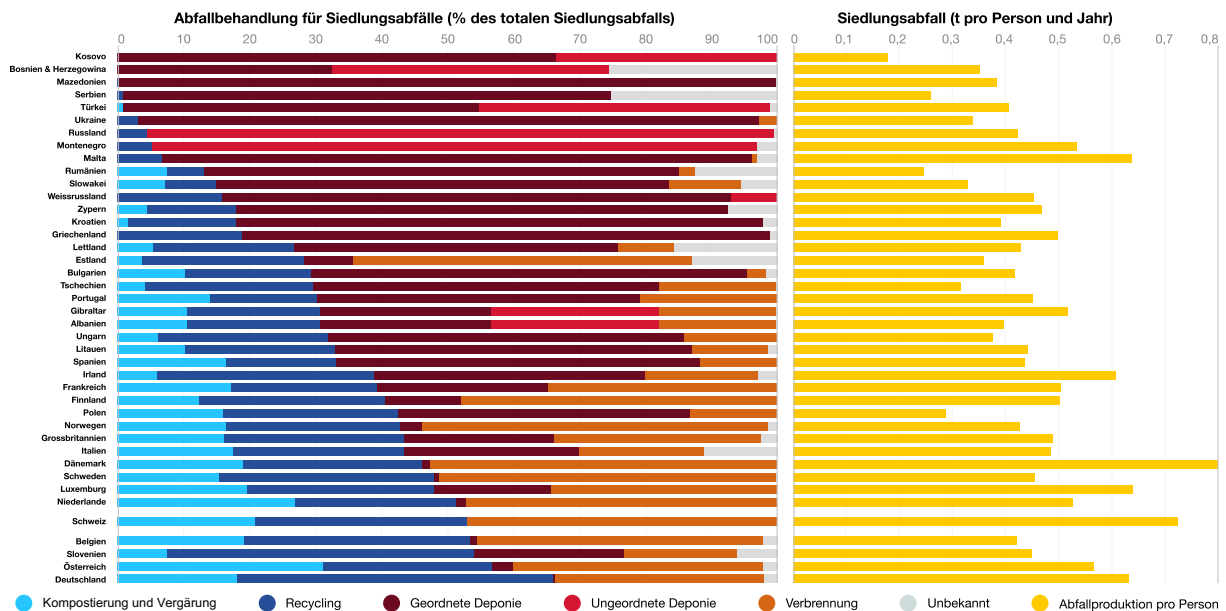


1.2. Die Energie spielt bisher nur eine Nebenrolle

Das Schweizer Abfallsystem zeichnet sich durch grosse Pro-Kopf-Mengen, hohe Sammelraten und die ausgeprägt föderalistische Organisation aus. Aus energiepolitischer Sicht problematisch ist die geringe Bedeutung des Energie- und Sekundärproduktverkaufs für die Geschäftserfolge der Verbrennungsanlagen.

Wertstoff # Recycling # Biomasse # Haushalte # Betriebe

1.2.1. Grosse Mengen pro Kopf, aber auch hohe Sammelraten



Vergleich der Abfallproduktion und Sammelraten der Schweiz mit diversen europäischen Ländern, geordnet nach dem Anteil der materiell verwerteten Abfälle (Kompostierung, Vergärung und Recycling). Quelle: Daten aufbereitet in Pollak (2019), basierend auf Daten aus Kaza et al. (2018).

Die Abfallwirtschaft in der Schweiz muss einerseits die sichere Entsorgung aller Abfälle gewährleisten und dabei negative Einwirkungen auf die Umwelt minimieren. Andererseits soll das Ressourcenpotenzial des Abfalls durch Recycling oder Energierückgewinnung möglichst optimal ausgeschöpft werden.

Pro Jahr produziert jede in der Schweiz lebende Person durchschnittlich rund 700 kg Siedlungsabfall und damit klar mehr als die europäischen Nachbarn. Gleichzeitig verfügt unser Land aber auch über eine vergleichsweise weit entwickelte Abfallwirtschaft. Rund 50 Prozent aller Siedlungsabfälle werden in über 10 Fraktionen separat gesammelt. Dabei werden zum Teil sehr hohe Sammel- und Recyclingraten erreicht. Die mengenmässig grössten Fraktionen sind Papier, Karton, Grüngut und Glas. Als Anreiz für das getrennte Sammeln dienen Kehrrechtsackgebühren. Schweizweite Pfandsysteme gibt es demgegenüber keine.

Der Einsatz der aus den Sammlungen gewonnenen sekundären Materialien ist stark von ihrer Qualität abhängig. Bei Grüngut können zum Beispiel durch Verunreinigungen Kunststoffe auf Felder und somit in die Umwelt gelangen. Auch die Farbe des Materials kann eine wichtige Rolle spielen. Während rezyklierte blaue und transparente PET-Flaschen wieder für Flaschen genutzt werden, sind grüne und braune Flaschen heute nur in Verpackungen oder als PET-Fasern einsetzbar. Beim Glas erlaubt die Trennung nach Farbe die Eingliederung der

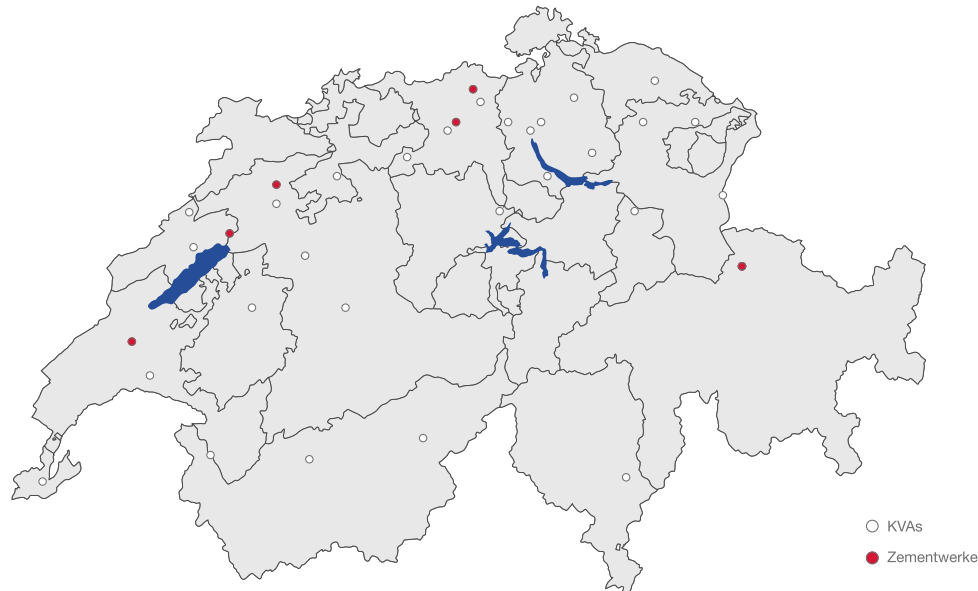


Scherben in den Produktionsprozess von Flaschen mit der entsprechenden Farbe. Farbgemischtes Glas kann demgegenüber nur bei der Herstellung von Grünglas, Schaumglas (Wärmedämmstoff) oder Glassand eingesetzt werden.

Die gemischten Siedlungsabfälle werden in der Schweiz vollumfänglich thermisch verwertet. Als erste Kehrichtverbrennungsanlage (KVA) in der Schweiz und als vierte auf dem europäischen Kontinent nahm bereits 1904 die KVA Josefstrasse in Zürich ihren Betrieb auf. Heute gibt es in der Schweiz 30 KVA, die je zwischen 36'000 und 240'000 Tonnen Abfall pro Jahr verbrennen. Die freigesetzte Energie wird zu einem steigenden Anteil entweder direkt als Wärme oder zur Stromherstellung genutzt.

Markt # Steuerung # Öffentliche Verwaltung # Betriebe # Politik (Bund, Kanton, Gemeinde)

1.2.2. Föderalistische Organisation mit vielen Akteuren



Das föderalistische Abfallsystem der Schweiz: Da die Kantone und die Gemeinden für die Abfallentsorgung verantwortlich sind, sind auch die KVA entsprechend verteilt (weisse Punkte). Auch die Zementwerke, welche teilweise Abfälle verwerten, sind über die Schweiz verstreut (rote Punkte). *Quelle: Melanie Haupt, ETH Zürich*

Im Umweltschutzgesetz wird die Hoheit über die Verwertung der Siedlungsabfälle an die Kantone abgegeben. Diese haben sie zum Teil an die Gemeinden übergeben. In Bezug auf die thermische Abfallverwertung hat diese föderalistische Organisation dazu geführt, dass Gemeinden und in einzelnen Fällen Kantone die Träger der Verbrennungsanlagen sind. Die Recyclingsysteme sind demgegenüber heute meist national organisiert. Sie werden von diversen Verbänden und Swiss Recycling getragen. Rund 100 Betriebe (KVA, Recyclingbetriebe, Kompostierungsanlagen etc.) sind zudem in der nationalen Dachorganisation VBSA (Verband der Betreiber Schweizerischer Abfallverwertungsanlagen) zusammengeschlossen.

Dass die zahlreichen Akteure in der Siedlungsabfallwirtschaft auf unterschiedlichen Ebenen aktiv sind, hat einen prägenden Einfluss auf die Innovations- und Veränderungsfähigkeit des Systems. Auf der einen Seite lassen sich in der föderalen Organisation zentrale Strategieänderungen und eine nationale Steuerung selten umsetzen. Die vielen gegenseitigen Abhängigkeiten können zudem zu technischen Lock-ins führen, aufgrund deren neue, vielversprechende Technologien gar nicht oder nur schleppend eingeführt werden (zum Beispiel kann eine KVA-Überkapazität den Aufbau von Recyclingsystemen erschweren). Auf der anderen Seite haben einzelne Gemeinden und Kantone in einem föderalen System aber auch die Möglichkeit, innerhalb der bundesweiten Gesetze Experimente zu wagen und Neuheiten auszuprobieren, die dann – wenn die Innovationen

funktionieren – von anderen Gemeinden und Kantonen übernommen werden können.

Um in der föderalistischen Schweizer Siedlungsabfallwirtschaft koordinierte Veränderungen erfolgreich anzustossen und umzusetzen, ist es unerlässlich, die verschiedenen Akteure und deren Interessen und Ziele genau zu kennen. Dabei müssen die Akteure aus Behörden sowie aus Industrien und Verbänden sowohl auf nationaler als auch auf kantonaler Ebene berücksichtigt werden. Da die Schweiz sehr vielfältige, regionalverwurzelte Kulturen in sich vereint, ist es zudem zentral, auch den soziopolitischen Kontext zu analysieren.

Wertstoff # Markt # Preis # Energiebereitstellung # Betriebe

1.2.3. Energieproduktion und Recycling sind heute für KVA wirtschaftlich wenig relevant

Die Verbrennung von Siedlungsabfällen in den Schweizer KVA war im Jahr 2012 unter dem Strich kostendeckend. Der mit rund 70 Prozent überwiegende Anteil der Erlöse setzt sich dabei aber aus Gebühren zusammen. Zu diesen gehören Abfallsackgebühren, Abfallgebühren, welche über die Gemeinde bezahlt werden, und die Gebühren für den direkt an die Anlage gelieferten Hausmüll. Die Markterlöse aus dem Verkauf von Energie und Sekundärrohstoffen decken demgegenüber nur etwa 30 Prozent der Vollkosten.¹

Dass die Einnahmen aus der verkauften Energie nur zu einem kleinen Teil zur Finanzierung der Verbrennung beitragen, hat einen grossen Einfluss auf die Geschäftsmodelle der KVA. Sie sind aus diesem Grund nicht auf eine Maximierung der Energieproduktion ausgelegt, sondern auf eine Maximierung der Menge der behandelten Abfälle.

Im Rahmen des Verbundprojekts erhobene Daten zeigen zudem, dass zurzeit bei einer Vollkostenrechnung eine thermische Behandlung der meisten Abfälle günstiger ist als das Recycling. Mit dem Anteil an separat gesammeltem und rezykliertem Material steigt also der Preis der Siedlungsabfallwirtschaft. Die Mehraufwände, die durch eine Steigerung der Sammel- und Recyclingraten anfallen, können aber nur durch die Abfallwirtschaft selbst gedeckt werden, wenn parallel auch die Marktpreise für Energie und Sekundärmaterialien steigen. Unter den heutigen Bedingungen wären Gebühren- oder Steuererhöhungen notwendig.²

Einen positiven Einfluss auf die Höhe der Markterlöse können staatliche Regulierungen im Bereich der Verwendung der Sekundärmaterialien haben. So führt die im Rahmen des Kreislaufwirtschaftspaketes der EU ab 2025 gültige Vorschrift, wonach neue Plastikverpackungen einen Mindestanteil von 25 Prozent Recyclingmaterial enthalten müssen, bereits heute zu einer Steigerung von Nachfrage und Preis bei rezykliertem PET. Es darf erwartet werden, dass entsprechende Vorschriften diesen Effekt auch bei anderen Materialien auslösen.

Anmerkungen und Referenzen

1 Projekt «Wirtschaftlichkeit der Abfallenergie»

2 Projekt «Wirtschaftlichkeit der Abfallenergie»

Ressourcen # Kälte / Wärme # Heizen # Energiebereitstellung # Betriebe

1.2.4. Die Abfallwirtschaft als Teil der Energiewirtschaft



Die in der Kehrichtverbrennungsanlage Hagenholz (rechts) zurückgewonnene Wärme deckt das ganze Jahr über einen Grossteil des Energiebedarfs des Fernwärmenetzwerkes um Zürich. Zwischen Oktober und Mai wird sie unterstützt durch das Holzheizkraftwerk Aubrugg (links). *Quelle: Melanie Haupt, ETH Zürich*

Sowohl die Verbrennung als auch das Recycling von Abfall können durch die Bereitstellung von Wärme und Strom bzw. den Ersatz von Primärmaterialien Energie an anderer Stelle einsparen. Die Abfallwirtschaft kann somit einen wichtigen Beitrag zur Energiewende leisten. Bei einer thermischen Nutzung werden Abfälle ohne die Zugabe von Brennstoff in einer Kehrichtverbrennungsanlage (KVA) verbrannt. Dabei wird Wärmeenergie freigesetzt, die entweder selbst oder zur Produktion von Dampf und Strom genutzt werden kann. Zu einer Senkung des Energiebedarfs führen die sekundären Materialien, die durch das Recycling gewonnen werden. Sie ersetzen Materialien aus primären Ressourcen, die in der Regel energieintensiv produziert werden müssen.

Der direkte Beitrag der Abfallverbrennung an die Schweizer Stromproduktion liegt heute bei 3 Prozent des schweizerischen Endenergiebedarfs in Bezug auf Strom¹. Der Beitrag an die Wärmeversorgung von Haushalten und Industrie kann über das Fernwärme- oder Dampfnetz einer KVA lokal weit über 80 Prozent liegen. Damit leistet die Abfallverbrennung je nach Region einen grossen Beitrag zur Wärmeversorgung. Im Gegensatz zur zurückgewonnenen Wärmeenergie, die in der Schweiz genutzt wird, fallen die indirekten Einsparungen durch das Recycling immer dort an, wo die Primärmaterialproduktion ersetzt wird, und das ist meist im Ausland.

Über den ganzen Lebenszyklus betrachtet, kann häufig – aber nicht immer – durch das

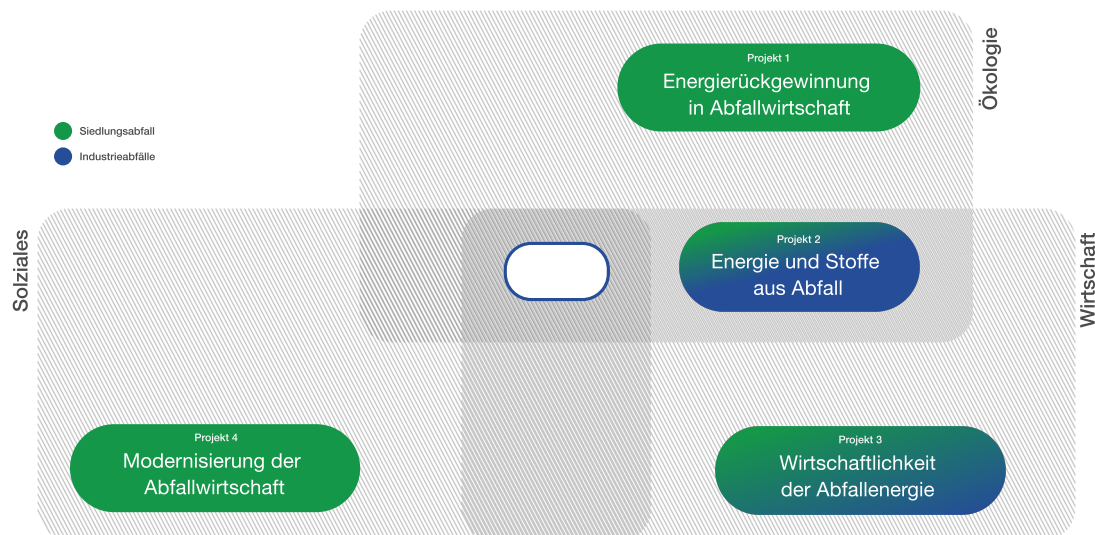
Recycling mehr Energie eingespart werden, als bei einer Verbrennung nutzbar wird. Die Bilanz ist allerdings von vielen Faktoren abhängig und wurde daher im Rahmen des Verbundprojekts «Abfallmanagement als Beitrag zur Energiewende» für jede Abfallfraktion mittels Ökobilanz genauer analysiert². Die grundsätzlich wirkungsvollste Strategie, um in der Abfallwirtschaft Energie zu sparen, ist selbstredend die Vermeidung von Abfällen. Dies wurde im vorliegenden Projekt jedoch nicht untersucht. Ziel des Verbundprojekts war es, die Nutzung der entstehenden Abfälle in Hinsicht auf ihre Beiträge zur Energiewende zu optimieren.

Anmerkungen und Referenzen

1 BFE. 2018. Energieverbrauch in der Industrie und im Dienstleistungssektor, Resultate 2017. Bundesamt für Energie. Bern, Switzerland.

2 Haupt, M., T. Kägi, and S. Hellweg. 2018. Modular life cycle assessment of municipal solid waste management. Waste Management 79: 815–827.

1.2.5. In den Industrieabfällen steckt zusätzliches Potenzial



Das Verbundprojekt wastEturn deckt alle drei Säulen der Nachhaltigkeit ab. Während sich alle Subprojekte (mind. teilweise) mit Siedlungsabfall (grün) auseinandergesetzt haben, haben Projekt 2 und 3 auch noch chemische Industrieabfälle (blau) betrachtet. Die vorliegende Synthese befasst sich nur mit dem Siedlungsabfall. Quelle: Melanie Haupt, ETH Zürich

Das übergeordnete Ziel des Verbundprojekts «Abfallmanagement als Beitrag zur Energiewende» bestand in der Optimierung der Schweizer Abfallwirtschaft aus umweltbezogener und wirtschaftlicher Perspektive sowie in der Analyse von gesellschaftlich akzeptierten Umsetzungsstrategien. Es umfasste damit die drei für eine nachhaltige Entwicklung fundamentalen Säulen Ökologie, Ökonomie und Soziales. Vier interdisziplinäre Forschungsgruppen haben sich sowohl der Siedlungs- wie auch der Industrieabfälle angenommen.

Die vorliegende Synthese fokussiert sich auf die Erkenntnisse aller Subprojekte im Bereich Siedlungsabfall. Dafür wurden die Resultate des auf die Umwelt bezogenen Projekts «Energierückgewinnung in Abfallwirtschaft»¹, des ökonomischen Projekts «Wirtschaftlichkeit der Abfallenergie»² und des Projekts «Modernisierung der Abfallwirtschaft»³, das sich mit Umsetzungsstrategien befasst, zusammengeführt.

Neben den in der Synthese ausgewerteten Arbeiten zum Siedlungsabfall wurde im Verbundprojekt zusätzlich der mögliche Beitrag der chemischen Industrieabfälle an der Energiewende untersucht. Dabei zeigte sich, dass mit einer energetischen Optimierung der Industrieabfallwirtschaft in der Schweiz eine erhöhte Nutzung von Lösungsmitteln und Mutterlaugen als Ersatzbrennstoffe (+8 Prozent) möglich wäre. Die zunehmende lokale

thermische Verwertung dieser Abfälle verringert zudem auch den Transport von gefährlichen Chemikalien. Die maximale Höhe des Beitrags der Industrieabfallbewirtschaftung zur Energiewende hängt allerdings erheblich von der zukünftigen Abfallmenge und von der Zusammensetzung ab.^{4 5 6 7}

Anmerkungen und Referenzen

1 Projekt «**Energierückgewinnung in Abfallwirtschaft**»

2 Projekt «**Wirtschaftlichkeit der Abfallenergie**»

3 Projekt «**Modernisierung der Abfallwirtschaft**»

4 Bolis, V., E. Capón-García, and K. Hungerbühler. 2016. Optimal Design of Industrial Waste-to-Energy Networks. Computer Aided Chemical Engineering. Vol. 38. Elsevier Masson SAS.

5 Bolis, V., E. Capón-García, and K. Hungerbühler. 2017. Optimal Design of Multi-Enterprise Industrial Waste-to-Energy Networks. Computer Aided Chemical Engineering. Vol. 40. Elsevier Masson SAS.

6 Bolis, V., E. Capon-Garcia, M. Roca-Puigros, A. Gazzola, and K. Hungerbühler. 2019. Optimal design and management of industrial waste-to-energy systems. Industrial & Engineering Chemistry Research: acs.iecr.8b03129.

7 Bolis, V., E. Capón-García, O. Weder, and K. Hungerbühler. 2018. New classification of chemical hazardous liquid waste for the estimation of its energy recovery potential based on existing measurements. Journal of Cleaner Production 183: 1228–1240.

1.3. Die Analyse aller Abfallströme und der Zusammenhänge legt Potenziale offen

Um die energetischen Auswirkungen des Abfalls optimieren zu können, muss zuerst eine verlässliche Datenbasis geschaffen werden. Die stärksten Effekte versprechen die grossen Abfallfraktionen, eine bessere Energieeffizienz der KVA und eine effektivere Zusammenarbeit der Akteure.

Ressourcen # Recycling # Steuerung # Energiebereitstellung

1.3.1. Systematische Erfassung aller Mengen- und Energieflüsse



Energieflussanalyse der Schweizer Siedlungsabfallwirtschaft (2012). *Quelle: Melanie Haupt, ETH Zürich*

Die systematische Erfassung aller relevanten Indikatoren des schweizerischen Siedlungsabfalls ist eine grundlegende Voraussetzung, um das System optimieren zu können. Im Projekt «Energierückgewinnung in Abfallwirtschaft»¹ wurden die Material- und Energieflüsse sämtlicher Fraktionen abgebildet und die noch ungenutzten energetischen und materiellen Potenziale von Papier, Karton, Glas, Aluminium, Stahlblech und PET-Flaschen und der Recyclingprozesse genauer ermittelt.

Wichtige gewonnene Kennzahlen:

- 2012 wurden in der Schweiz total ca. 21 Millionen Tonnen Abfälle produziert.
- Bauabfälle sind mit rund 13 Millionen Tonnen im Jahr 2012 die mengenmässig grösste Fraktion (62 Prozent), aber energetisch weniger relevant (24 Prozent, siehe Abbildung). Sie bestehen zu einem grossen Teil aus inertem, mineralischem Material, das in Betonaggregaten oder mineralischem Füllmaterial rezykliert wird².
- Siedlungsabfälle stellen mit 5,5 Millionen Tonnen mengenmässig die zweitwichtigste (26 Prozent) und energetisch die wichtigste Abfallfraktion in der Schweiz dar (52 Prozent, siehe Abbildung). 2012 wurden 52 Prozent der Siedlungsabfälle separat gesammelt und 48 Prozent einer Kehrichtverbrennungsanlage zugeführt.
- Ein substantieller Anteil der für das Recycling gesammelten Fraktionen wird exportiert (42 Prozent der industriellen Separatsammlungen, 65 Prozent des Sonderabfalls, 27 Prozent

der kommunalen Separatsammlungen).

Der Beitrag der Schweizer Abfallwirtschaft zum Energiesystem erreichte 2012 insgesamt 61 Petajoule (PJ, 10^{15} J), was einem rechnerischen Anteil von rund 4 Prozent des Energiebedarfs der Schweiz entsprach³. Davon wurden 16 PJ als Strom oder Wärme in den Kehrichtverbrennungsanlagen zurückgewonnen und 45 PJ indirekt durch Recycling eingespart. Die indirekten Einsparungen fallen dabei in der Regel nicht in der Schweiz an, sondern in den Ländern, in denen die Primärmaterialien produziert worden wären, die durch die Recyclingprodukte ersetzt werden. Im Bereich der Stromproduktion liegt der Beitrag der KVA bei rund 3 Prozent.

Anmerkungen und Referenzen

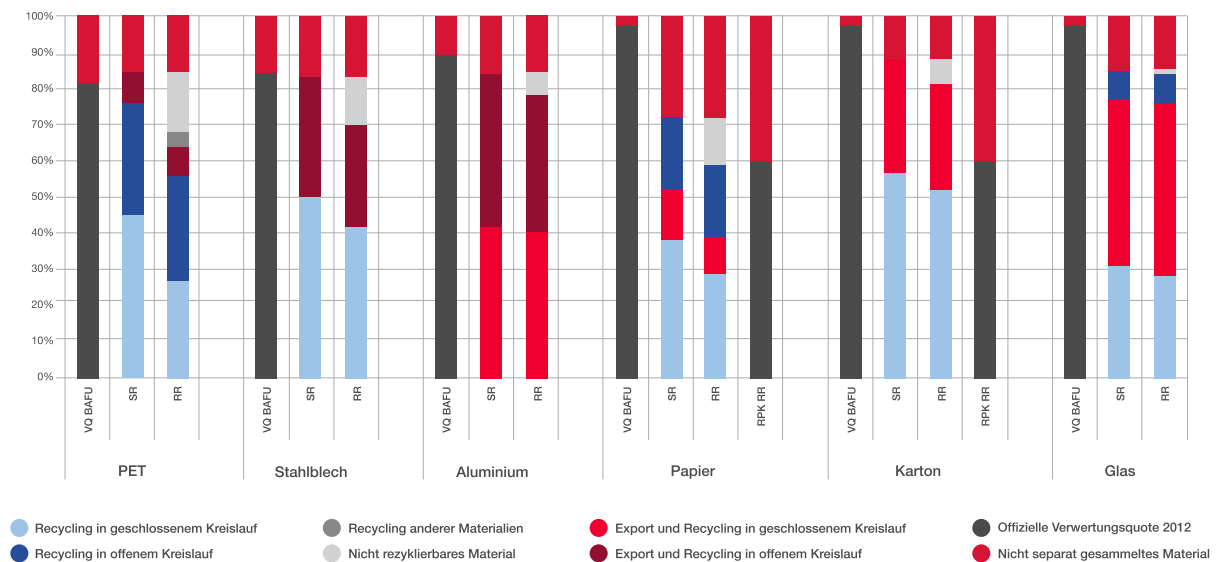
1 Projekt «**Energierückgewinnung in Abfallwirtschaft**»

2 Dettli, R., R. Fasko, U. Frei, and F. Habermacher. 2014. Transformation der Abfallverwertung in der Schweiz für eine hohe und zeitlich optimierte Energieausnutzung [Transformation of waste management in Switzerland towards a high and time-wise optimal energy recovery]. Zurich, Switzerland.

3 Frischknecht, R., C. Nathani, S.B. Knöpfel, R. Itten, F. Wyss, and P. Hellmüller. 2014. Entwicklung der weltweiten Umweltauswirkungen der Schweiz. Technischer Bericht.

Wertstoff # Recycling # Steuerung # Betriebe

1.3.2. Eindeutige und aussagekräftige Indikatoren für die Bewertung des Recyclings



Ergebnisse aus der Studie Haupt et al. (2017): Die Sammel- und Recyclingraten (SR und RR) der Schweiz im Jahr 2012. VQ BAFU = Verwertungsquoten wie vom BAFU publiziert, RPK RR = Recyclingrate vom Verein für Papier und Kartonrecycling (RPK).

Quelle: Haupt et al. (2017)

Die Erfolge der Siedlungsabfallwirtschaft werden in der Schweiz – so wie dies auch weltweit üblich ist – in erster Linie als Verwertungsquoten und Recyclingraten gemessen. Diese zwei Indikatoren sind allerdings ungenau definiert. Weder die Wahl der Systemgrenzen («Wo werden welche Flüsse gemessen?») noch die Abgrenzung von Verunreinigungen («Inklusive oder exklusive Stoffstromverschmutzungen?») sind eindeutig festgelegt, obwohl sie einen grossen Einfluss auf die berechneten Quoten haben. Um vergleichbare Daten zu bekommen, ist es notwendig, eindeutig festzulegen, an welchen Stellen im Materialfluss die Raten und Quoten gemessen werden. Im Verbundprojekt «Abfallmanagement als Beitrag zur Energiewende» wurden gemeinsam mit den relevanten Akteuren die tatsächlichen Materialflüsse erfasst und die optimalen Messpunkte für die Quoten festgelegt. Alle Raten wurden für die Schweiz quantifiziert und untereinander verglichen (Abbildung YZ). Um die tatsächlichen Flüsse genauer abzubilden, wurden einige Raten in der Zwischenzeit von Fachverbänden überarbeitet. Die systematischen Analysen zeigen, dass es besser wäre, das Gesamtsystem in Zukunft über die Recyclingraten und nicht mehr über die Sammelraten zu bewerten. Nur so werden die Effekte von Verunreinigungen und alle Verbesserungen in den Recyclingprozessen miteingefasst¹.

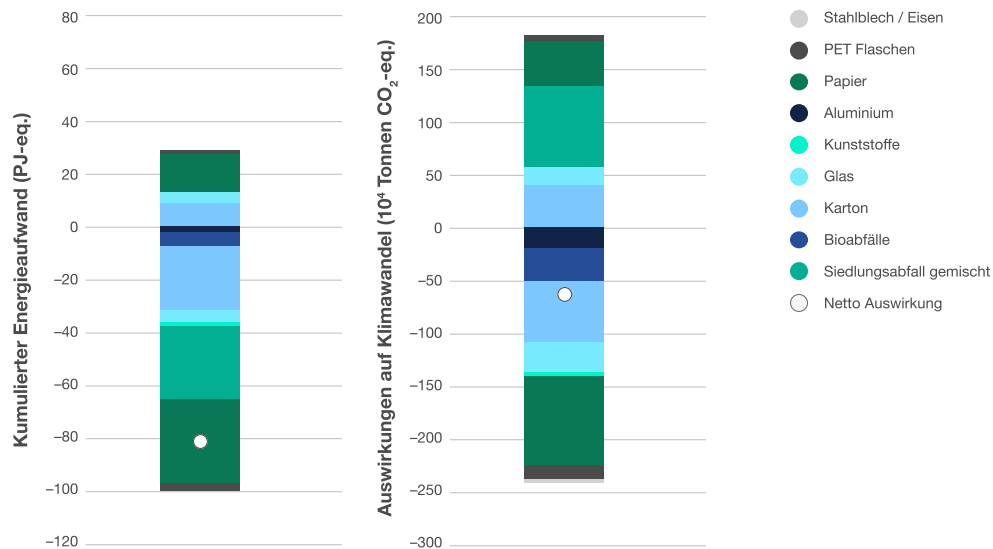


Anmerkungen und Referenzen

1 Haupt, M., C. Vadenbo, and S. Hellweg. 2017. Do We Have the Right Performance Indicators for the Circular Economy? Insight into the Swiss Waste Management System. *Journal of Industrial Ecology* 21(3): 615–627.

Recycling # CO₂ / Treibhausgase # Energieeffizienz # Nachhaltigkeit # Betriebe

1.3.3. Die grössten Materialfraktionen verursachen die grössten Umweltwirkungen



Ergebnisse der Ökobilanz der Schweizer Siedlungsabfallwirtschaft. Links: kumulierter Energieaufwand, rechts: Auswirkungen auf den Klimawandel. Positive Zahlen repräsentieren Umweltauswirkungen (z.B. Emissionen oder Energiebedarf), negative Zahlen Umweltnutzen (vermiedene Emissionen oder gewonnene Energie). Quelle: Haupt et al. (2018)

Die Ökobilanz der Schweizer Siedlungsabfallwirtschaft ist heute vorteilhaft: Sie senkt unter dem Strich die nationalen Treibhausgasemissionen um rund 1 Prozent und spart rund 4 Prozent des kumulierten Energiebedarfs der Schweiz ein¹. Als mengenmässig grösste, separat gesammelte Fraktionen sind die Papier- und Kartonabfälle für einen erheblichen Anteil dieser Umwattleistung verantwortlich. Die mengenmässig dominierenden gemischten Siedlungsabfälle haben demgegenüber eine ambivalente Ökobilanz: Ihre thermische Nutzung ist bezüglich des kumulierten Energieaufwands vorteilhaft, führt aber zu substanziellen, zusätzlichen Treibhausgasemissionen. Diese stammen zu einem grossen Teil aus dem Kunststoff, der in der Schweiz hauptsächlich im gemischten Siedlungsabfall landet.

Im Bereich der Kunststoffe ist das Optimierungspotenzial dementsprechend gross. Obwohl sie nur einen kleinen Teil des gemischten Siedlungsabfalls darstellen, sind sie für 35 Prozent des Heizwertes in den KVA verantwortlich (beziehungsweise für gut 60 Prozent, falls die mehrheitlich aus Kunststoffen bestehenden Verbundverpackungen mitberücksichtigt werden) und tragen somit erheblich zur Energierückgewinnung der KVA bei. Die Verbrennung der Kunststoffe ist jedoch auch für einen Grossteil der CO₂-Emissionen der Kehrichtverbrennung verantwortlich. Aus einer ökologischen Perspektive ist es daher zentral, dass die Energie aus diesem CO₂-intensiven Material mit möglichst wenig Verlusten zurückgewonnen wird. Dafür



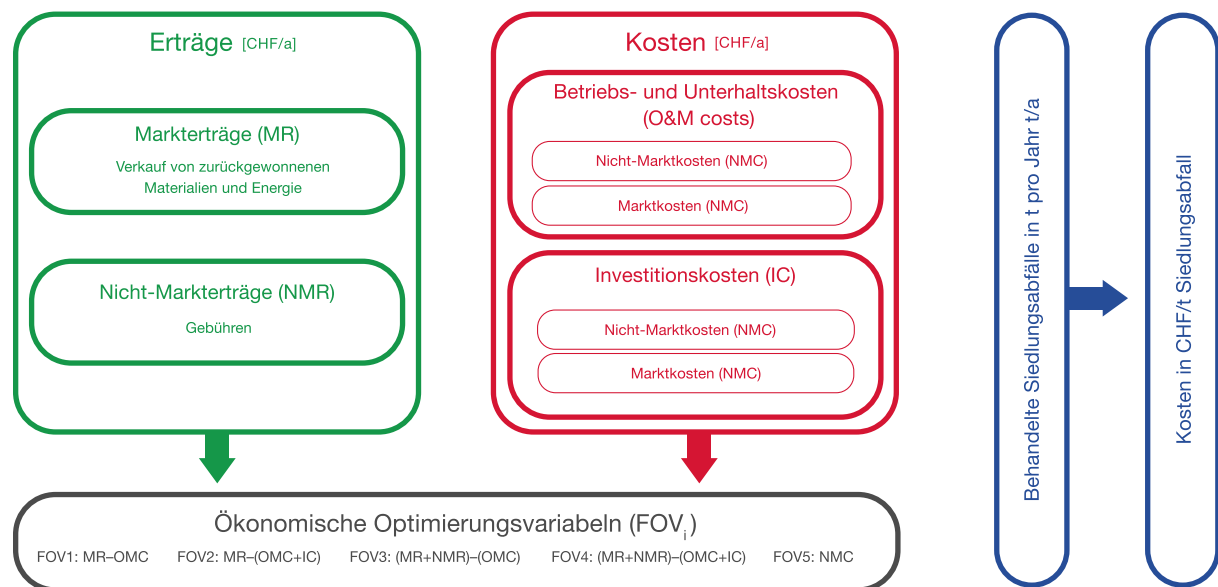
sind separate Sammlungen notwendig. So können die Kunststoffe entweder rezykliert oder als Ersatz von fossilen Brennstoffen in Zementwerken eingesetzt werden. Beide Nutzungen sind aus ökologischer Sicht dem Verbrennen in der KVA vorzuziehen.

Anmerkungen und Referenzen

1 Frischknecht, R., C. Nathani, S.B. Knöpfel, R. Itten, F. Wyss, and P. Hellmüller. 2014. Entwicklung der weltweiten Umweltauswirkungen der Schweiz. Technischer Bericht.

Markt # Akzeptanz # Steuerung # Kosten / Nutzen # Betriebe # Politik (Bund, Kanton, Gemeinde)

1.3.4. Lebenszykluskosten aller Materialströme bilden Grundlage für Optimierung



Aufgebaute Methodik zur Berechnung der Lebenszykluskosten für Siedlungsabfälle.

Quelle: Christoph Hugi, FHNW

Für die Optimierung des Abfallmanagements sind Kosten- und Ertragsrechnungen fundamental. Im Rahmen des Projekts «Wirtschaftlichkeit der Abfallenergie» wurde die Methode der Lebenszykluskosten auf das Abfallsystem adaptiert¹. Dafür wurden die Finanzdaten aller Materialströme von den Kosten für die Sammlung, die Sortierung und die Verarbeitung bis zum Verkauf von Rohstoffen und Energie erfasst und einander gegenübergestellt.

Die Analyse zeigt, dass die Kosten für die meisten Materialströme die Erträge selbst dann übersteigen, wenn Gebühren wie vorgezogene Recyclingbeiträge in die Berechnung einfließen. Dieses Resultat ist insofern überraschend, als die meisten Systeme schon seit Längerem betrieben werden und dabei offiziell kostendeckend arbeiten. Mögliche Erklärungen für die Differenz sind, dass in den Berechnungen die Kosten überschätzt (z.B. Lebensdauer der Investitionen zu kurz angenommen) oder anderweitig abgegolten werden (z.B. subventionierte Sammelkosten) oder die längerfristigen Erträge unterschätzt wurden (nur ein Jahr betrachtet). Speziell bei der Sammlung von Recyclingfraktionen kann die Allokation der Kosten schwierig sein. Wenig hilfreich ist in diesem Zusammenhang die fehlende Kostentransparenz in vielen Bereichen. Kosten und Erträge sind häufig nicht öffentlich zugänglich und werden als Betriebsgeheimnis behandelt².

Problematisch ist die fehlende Transparenz vor allem auch hinsichtlich der Akzeptanz von

Massnahmen zur Steigerung der Recyclingquoten, wie sie aus ökologischer und energetischer Sicht sinnvoll wären. Diese sind nämlich, wie die Berechnungen zeigen, mit deutlichen Kostensteigerungen für die Siedlungsabfallbewirtschaftung verbunden. Wie die **Synthese «Akzeptanz»** des Nationalen Forschungsprogramms «Energie» verdeutlicht, ist Transparenz eine Grundvoraussetzung für das Vertrauen der Bevölkerung in politische Massnahmen. Dies gilt umso mehr, wenn mit Zusatzkosten gerechnet werden muss.

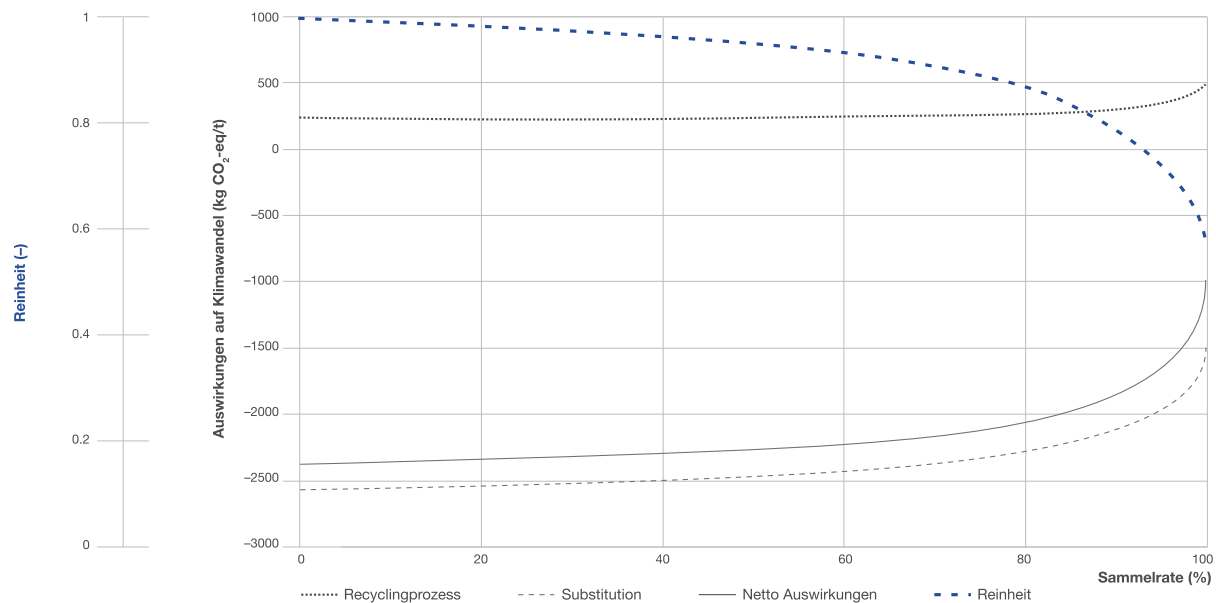
Anmerkungen und Referenzen

1 Projekt **«Wirtschaftlichkeit der Abfallenergie»**

2 Projekt **«Wirtschaftlichkeit der Abfallenergie»**

Wertstoff # Recycling # Preis # Haushalte # Betriebe

1.3.5. Die Materialqualität hat einen grossen Einfluss auf den ökologischen Nutzen



Zusammenhang zwischen der Reinheit einer PET-Flaschen-Sammlung und der Sammelrate der PET-Flaschen. Zudem wird der Zusammenhang zwischen der Sammelrate und den Auswirkungen auf den Klimawandel gezeigt. Positive Zahlen repräsentieren Umweltauswirkungen (z.B. Emissionen oder Energiebedarf), negative Zahlen Umweltnutzen (vermiedene Emissionen oder gewonnene Energie). Quelle: Haupt et al. (2018)

In zwei Fallstudien wurden einerseits die Auswirkungen des Sammelverhaltens auf die Materialqualität und andererseits der Materialqualität auf die Ökobilanz von Recyclingprozessen untersucht. Dafür wurden das PET-Getränkeflaschen-Recycling und der Stahlschrott aus den KVA genauer unter die Lupe genommen.

Die Fallstudie des PET-Recyclings konnte klar aufzeigen, dass eine Steigerung der Sammelraten mit einem Absinken der Materialreinheit verbunden ist. Dies führt in der Folge zu grösseren Aufwänden im Recyclingsystem; angefangen bei längeren Transporten über einen grösseren Sortierbedarf bis hin zur Entsorgung der zusätzlichen Rückstände. Die bisher verwendeten linearen Modelle, die davon ausgehen, dass mit jeder zusätzlich gesammelten Tonne der gleiche ökologische Nutzen addiert werden kann, sind also zu optimistisch. Das neue, auf Basis der Studienresultate entwickelte, dynamische Modell zeigt allerdings auch, dass das PET-Flaschen-Recycling unter dem Strich auch noch bei sehr hohen Recyclingraten gegenüber der Verbrennung ökologisch vorteilhaft ist.¹

Einen grossen Einfluss auf die Umweltwirkungen hat die Reinheit der Materialien auch im Fall des Stahlschrotts. Aus den Produktionsdaten eines Industriepartners konnte abgeleitet

werden, dass der Stromverbrauch bei verschmutztem Stahlschrott, der aus der Verbrennungsschlacke von Siedlungsabfällen zurückgewonnen werden kann, um 40 Prozent höher ist als bei getrennt gesammeltem Schrott mittlerer Qualität. Ist der Stahlschrott mit anderen Metallen wie Kupfer verunreinigt, sinkt die Qualität des produzierten Stahls und damit auch seine Einsatzmöglichkeiten, weil sich Kupfer nicht mehr aus der Stahlschmelze entfernen lässt. Senken lassen sich die Verunreinigungen durch eine vorhergehende mechanische Aufbereitung des KVA-Schrotts.

Anmerkungen und Referenzen

1 Haupt, M., E. Waser, J.-C. Würmli, and S. Hellweg. 2018. Is there an environmentally optimal separate collection rate? Waste Management.

Wertstoff # Brennstoff / Treibstoff # Energieeffizienz # Suffizienz # Betriebe

1.3.6. Die Schweizer Abfallwirtschaft hat noch Verbesserungspotenzial

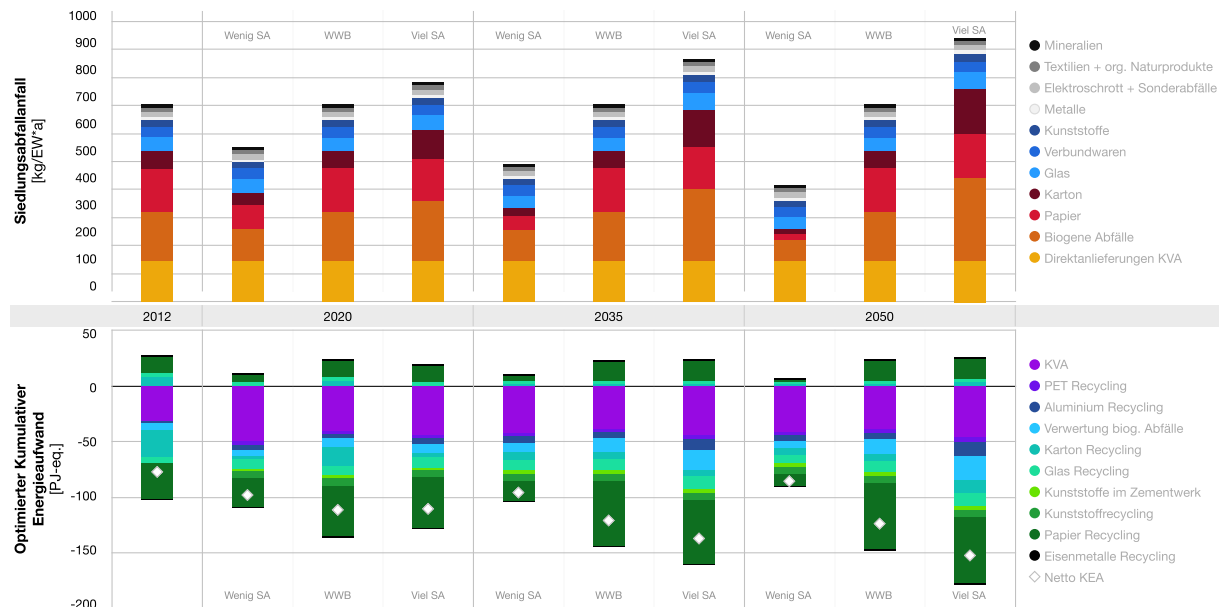


Abbildung oben: Siedlungsabfallproduktion in den verschiedenen Szenarien (SA = Siedlungsabfälle, WWB = weiter wie bisher). Abbildung unten: optimaler Beitrag zur Energiewende als kumulierter Energieaufwand für alle Szenarien (Energieszenario: Neue Energiepolitik, BFE). Der kumulierte Energieaufwand beschreibt die Gesamtheit des primärenergetisch bewerteten Aufwands, der im Zusammenhang mit der Herstellung, der Nutzung und der Beseitigung eines Produktes entsteht. Quelle: Melanie Haupt, ETH Zürich

Das ökologische Optimierungspotenzial der Schweizer Abfallwirtschaft ist noch bei Weitem nicht ausgeschöpft. Zu diesem Schluss kommen umfassende Modellierungen, die im Rahmen des Verbundprojekts vorgenommen wurden. Unter Berücksichtigung der vier Umweltindikatoren Auswirkungen auf den Klimawandel, kumulierter Energieaufwand, Humantoxizität und Ökotoxizität wurden dafür drei Abfall- und Energierahmenszenarien über drei Zeithorizonte (2020, 2035 und 2050) betrachtet¹.

Bei hohen Abfallmengen kann sich die direkt und die indirekt zurückgewonnene Energie bis 2050 unabhängig vom Energiemix mehr als verdoppeln. Wird von einer um 40 Prozent reduzierten Abfallmenge ausgegangen, können immer noch 10 Prozent mehr Energie zurückgewonnen werden. Eine sehr wichtige Rolle spielen dabei die indirekten Energiegutschriften, die durch die Substitution von Primärmaterialien durch Sekundärmaterialien erreicht werden. Es müssen dafür aber zwei Bedingungen erfüllt sein: Erstens muss das Recyclingmaterial tatsächlich Primärmaterial ersetzen und es darf nicht zur günstigen Zusatzquelle werden, die den Verbrauch ankurbelt. Zweitens darf die Steigerung der Wiederverwertung nicht einfach das Resultat von grösseren Abfallmengen sein. Die Vermeidung von Abfall ist aus ökologischer Sicht immer wesentlich vorteilhafter als dessen



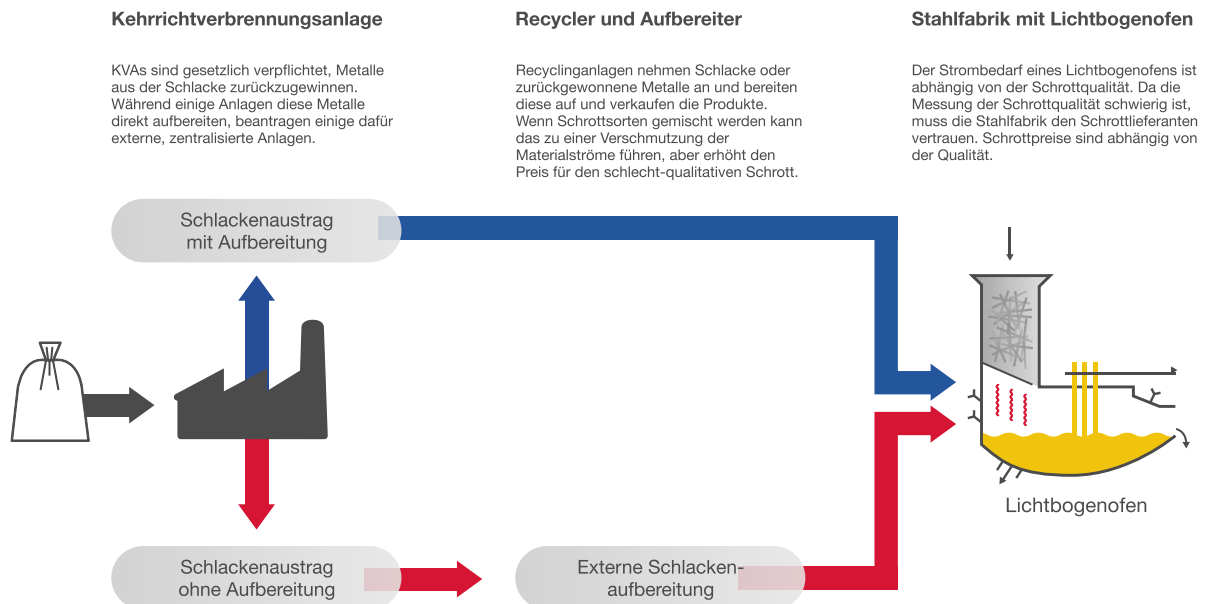
Recycling.

Anmerkungen und Referenzen

1 Meylan, G., M. Haupt, M. Duygan, S. Hellweg, and M. Stauffacher. 2018. Linking energy scenarios and waste storylines for prospective environmental assessment of waste management systems. *Waste Management* 81: 11–21.

Akzeptanz # Steuerung # Nachhaltigkeit # Dezentralisierung # Betriebe # Politik (Bund, Kanton, Gemeinde)

1.3.7. Die Vielfalt der Akteure ist Hindernis und Chance zugleich



Wertschöpfungskette am Beispiel von Stahlschrott aus der KVA. Die KVA, die Recycler und die Aufbereiter üben einen grossen Einfluss auf die Materialqualität aus. Das Stahlwerk hingegen ist stark von den anderen Akteuren abhängig, da der Stromverbrauch und die Stahlqualität von der Qualität des Schrottes abhängen. Quelle: Melanie Haupt, ETH Zürich

Die verschiedenen Akteure in der Schweizer Abfallwirtschaft verstehen unter Nachhaltigkeit zum Teil sehr unterschiedliche Dinge. So legen etwa Wirtschafts- und Handelsorganisationen den Fokus vor allem auf die wirtschaftliche Dimension. Sie stellen darum gewisse Recyclingpraktiken infrage, bei denen es aus ihrer Sicht keinen zuverlässigen Markt für die Sekundärprodukte gibt. Keine Einigkeit herrscht auch bezüglich der Frage, ob die ökologische Nachhaltigkeit besser anhand von Abfallhierarchien oder Ökobilanzen bewertet werden soll. Die im Rahmen des Projekts «Modernisierung der Abfallwirtschaft»¹ durchgeführte Diskursanalyse lässt vermuten, dass hinter diesen Differenzen unterschiedliche Grundüberzeugungen und pragmatische Interessen der Akteure stecken.

Die beobachtete Fragmentierung kann auf der einen Seite eine Chance sein, indem durch die verschiedenen Akteure unterschiedliche Neuerungen getestet und damit vielfältigere Erfahrungen mit neuen Technologien und Praktiken gemacht werden können. Auf der anderen Seite setzt ein Systemwandel aber einen Dialog und eine intensive Zusammenarbeit der relevanten Akteure voraus, damit sich die verschiedenen Aktivitäten nicht zuwiderlaufen. Wie wichtig dies für das Erschliessen von Potenzialen sein kann, hat sich bei der Verbesserung der Wertschöpfung von Stahlschrott aus den KVA gezeigt. Gemeinsam gelang es, den Energiebezug zu senken und gleichzeitig die Qualität der Ressource zu steigern. Für

viele Recyclingprozesse typisch war dabei, dass die entscheidenden Massnahmen von einem Akteur vorgenommen werden müssen, der selbst nicht von den erst viel später in der Kette erzielten Einsparungen profitieren kann.

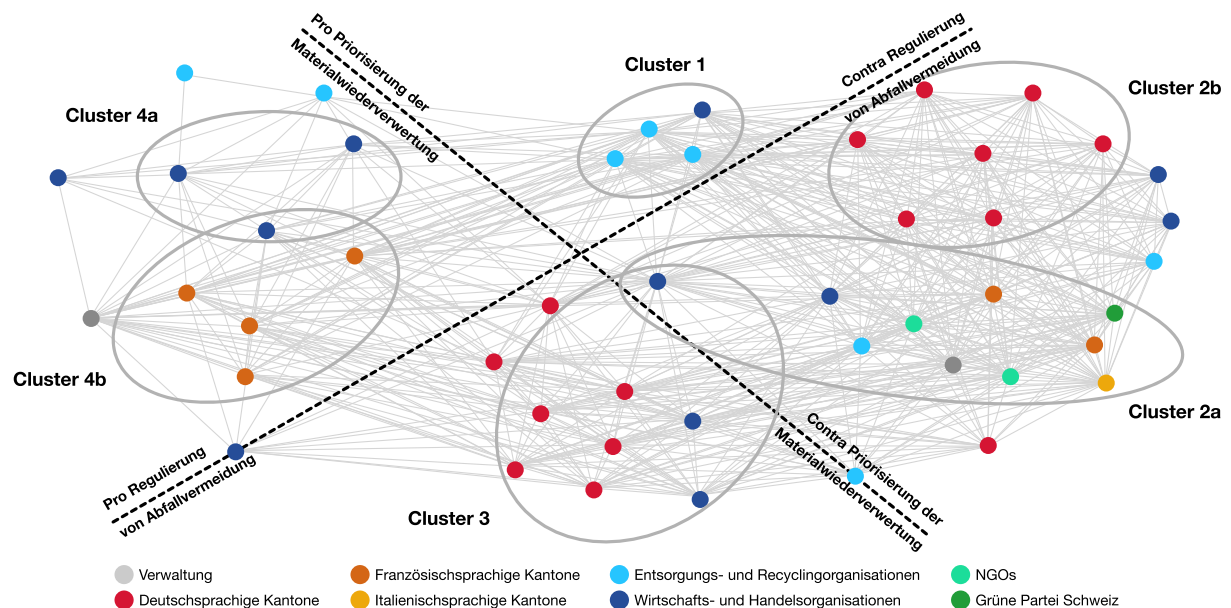
Nur ein nebensächliches Thema ist für die Akteure der Schweizer Abfallwirtschaft die soziale Dimension der Nachhaltigkeit etwa in Form von Lebensqualität oder inter- und intragenerationeller Gerechtigkeit. Wie die Synthese «Akzeptanz» aufzeigt, kann dies aber zum Bumerang werden, wenn – zum Beispiel für die Verlegung eines KVA-Standorts – die Zustimmung der Bevölkerung benötigt wird. Die Bevölkerung gewichtet nämlich die Lebensqualität und die Gerechtigkeit **meistens viel stärker als ökologische Aspekte**

Anmerkungen und Referenzen

1 Projekt **«Modernisierung der Abfallwirtschaft»**

Markt # Konsens # Steuerung # Öffentliche Verwaltung # Betriebe # Politik (Bund, Kanton, Gemeinde)

1.3.8. Netzwerkanalysen zeigen den Einfluss einzelner Akteure und ihre Verbindungen



Diskursnetzwerk in der Debatte um die Abfallhierarchie. Die grauen Verbindungen zeigen die Anzahl der von den Akteuren geteilten Grundsatzserklärungen zur Abfallhierarchie. Es wurden sechs Cluster zum Thema identifiziert. *Quelle: Duygan et al. (2018)*

Soziotechnische Systeme wie die Siedlungsabfallwirtschaft zeichnen sich dadurch aus, dass unterschiedliche Systeme und Technologien miteinander verknüpft sind und damit voneinander abhängen. Auch bestehen zwischen den beteiligten wirtschaftlichen, politischen und gesellschaftlichen Akteuren und Organisationen vielfältige gegenseitige Abhängigkeiten. Im Zusammenspiel gelten viele geschriebene, aber auch ungeschriebene Regeln. Wer das System beeinflussen will, sollte darum die Akteure und ihre Interessen möglichst genau kennen. Dies gilt insbesondere, wenn grundlegende Veränderungen initiiert werden sollen, wie sie für eine ökologische Optimierung der Schweizer Siedlungsabfallwirtschaft notwendig sind.

Das Projekt «Modernisierung der Abfallwirtschaft» hat die Netzwerke in der Siedlungsabfallwirtschaft erfasst und analysiert¹. Akteure werden im Netzwerk umso näher platziert, je ähnlicher die Meinungen und Interessen sind, die sie vertreten (Abbildung). Bei der Erfassung des Netzwerkes wurden unter anderem auch Akteure identifiziert, die mehreren unterschiedlichen Interessengruppen angehören. Sie könnten als Brückenbauer helfen, Diskussionen zu führen und eine Zusammenarbeit zwischen zwei Gruppierungen zu fördern². Zudem konnten auch einzelne Akteure bestimmt werden, die bisher einen grossen Einfluss auf die politischen Geschäfte wie etwa die Überarbeitung der technischen

Verordnung über Abfälle hatten.

Zu starken Barrieren für die Optimierung des Abfallwirtschaftssystems dürfte der für soziotechnische Systeme typische Widerstand gegenüber Veränderungen führen. Die etablierten Akteure haben in der Regel ein Interesse daran, dass das System mit seinen technischen und institutionellen Ausprägungen erhalten bleibt, wie es ist.

Anmerkungen und Referenzen

1 Projekt «**Modernisierung der Abfallwirtschaft**»

2 Duygan, M., M. Stauffacher, and G. Meylan. 2018. Discourse coalitions in Swiss waste management: gridlock or winds of change? *Waste Management*, 72, 25–44.

<https://doi.org/10.1016/J.WASMAN.2017.11.006>

1.4. Die lohnenden Elemente und das System als Ganzes optimieren

Plastik, Papier und Karton sowie die Energieeffizienz der KVA zählen zu den Elementen der Schweizer Abfallwirtschaft mit dem grössten Verbesserungspotenzial. Dabei sollten aber immer der ganze Lebenszyklus und das ganze System in dessen Bewertung berücksichtigt werden.

Recycling # Preis # Kosten / Nutzen # Politik (Bund, Kanton, Gemeinde)

1.4.1. Die Qualität macht auch bei den Abfällen einen grossen Unterschied



Je nach Sammelsystem variiert die Qualität von Kunststoffen stark. Gemischte Kunststoffe aus Haushalten bestehen aus diversen Polymeren, welche mit grossem Aufwand sortiert werden müssen. Aus gemischten Kunststoffen entstehen meist minderwertige Produkte wie Kabelschutzrohre. Farbsortierte PET-Flaschen (Mitte) hingegen können wieder zu PET-Flaschen recycelt werden. *Quelle: Maja Wiprächtiger, ETH Zürich*

Die ökologische und energetische Optimierung der Siedlungsabfallwirtschaft hat gezeigt, dass durch ein vermehrtes Recycling mehr Energie eingespart werden kann, als sich durch ein Verbrennen zurückgewinnen lässt. Allerdings spielen dabei nicht nur die Verwertungsmengen eine Rolle, sondern auch die Qualität des Recyclings. Nur wenn die Qualität der aus dem Recyclingprozess entstehenden Sekundärmaterialien den Ansprüchen der Abnehmer entspricht, können hochwertige Primärmaterialien ersetzt und Umweltwirkungen vermindert werden.

Potenzielle Qualitätseinbussen bringt die Steigerung der Sammelraten mit sich¹. Wird die Rücklaufquote von Materialien beispielsweise gesteigert, indem Abfälle auch auf öffentlichen und nicht überwachten Plätzen gesammelt werden, ist die Verschmutzungsgefahr viel höher als bei Detailhändlern oder bei zentralen Sammelstellen wie Ökohöfen. Fehlwürfe etwa von Verbundmaterialien erschweren dann die Sortierung oder machen sie sogar unmöglich. Essenziell ist daher auch die Sensibilisierung der Bevölkerung.

Aber auch wenn eine hohe Sammelqualität erreicht wird, wird in der heutigen Praxis meist nur dann sekundäres Material verwendet, wenn dieses entweder preislich deutlich günstiger oder

sein Einsatz gesetzlich gefordert ist. Um den Absatz von Sekundärmaterial zu steigern, sind deshalb entsprechende politische Rahmenbedingungen oder finanzielle Anreizsysteme notwendig. Eine grosse Wirkung könnten beispielsweise Reglementierungen für ein grünes Beschaffungswesen der öffentlichen Hand erzielen.

In diesem Zusammenhang muss allerdings auch beachtet werden, dass ein geschlossener Kreislauf nicht zwingend besser ist als eine weitere Nutzung in einem anderen Produkt (zum Beispiel die Nutzung von Verpackungsglas für Schaumglas isolation). Die ökologisch und energetisch beste Verwertung sollte deshalb für alle Materialien und Verwendungen mittels einer Ökobilanz bestimmt werden, die den gesamten Lebenszyklus des Materials miteinbezieht².

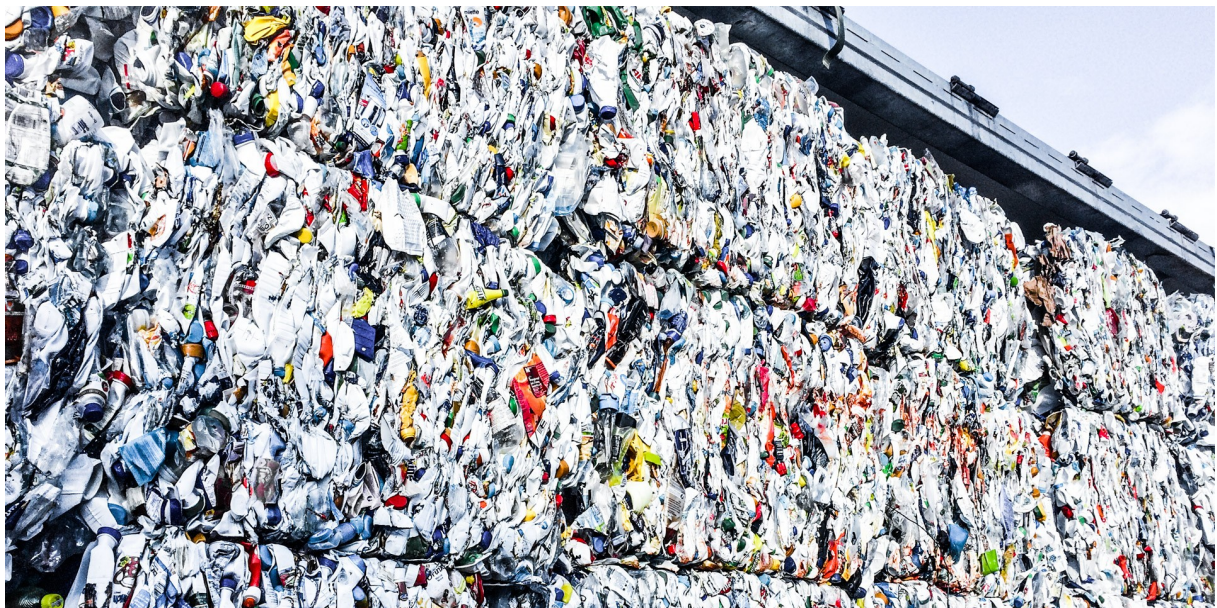
Anmerkungen und Referenzen

1 Haupt, M., E. Waser, J.-C. Würmli, and S. Hellweg. 2018. Is there an environmentally optimal separate collection rate? Waste Management.

2 Haupt, M., T. Kägi, and S. Hellweg. 2018. Modular life cycle assessment of municipal solid waste management. Waste Management 79: 815–827.

Recycling # Energieeffizienz # Kosten / Nutzen # Öffentliche Verwaltung # Betriebe # Politik
(Bund, Kanton, Gemeinde)

1.4.2. Kunststoffe bieten ein grosses noch ungenutztes Recyclingpotenzial



Kunststoffrecycling – gesammelte Hohlkörper. *Quelle: Maja Wiprächtiger, ETH Zürich*

Kunststoffe werden bis jetzt mehrheitlich im gemischten Siedlungsabfall gesammelt und anschliessend in der Kehrichtverbrennungsanlage entsorgt. Dies ändert sich langsam, denn seit einigen Jahren werden zusätzlich zum bald 30-jährigen System für das PET-Flaschen-Recycling auch Sammelsysteme für andere Polymere wie Polyethylene und Polypropylen aufgebaut. Ökologisch attraktiv sind dabei vor allem sogenannte Monomaterialien; also Produkte, die aus nur einem Polymer aufgebaut sind, oder solche, die sich einfach in einzelne Polymere trennen lassen. Zurzeit erlauben die Materialqualitäten des Sammelguts meist nur einen Einsatz in niederwertigen Anwendungen. Da das Angebot an Sekundärpolymeren zurzeit noch sehr klein ist, können sie aber trotzdem verkauft werden und Primärmaterialien ersetzen. Dies wird bei einer markanten Steigerung der Recyclingraten nur dann weiterhin möglich sein, wenn parallel dazu auch ein grösserer Fokus auf eine sortenreine Sammlung gelegt wird und die Märkte für Sekundärmaterialien gezielt entwickelt werden.

Auch die Finanzierung der Kunststoffrecyclingsysteme muss geklärt werden, denn die erwirtschafteten Erlöse können nach heutigen Erkenntnissen die Kosten nicht decken¹. Aktuell werden die noch sehr kleinen Systeme entweder über die Sackgebühren oder durch Quersubventionierungen finanziert. Für das PET-Flaschen-Recycling wird dafür seit Jahren ein vorgezogener Recyclingbeitrag beim Kauf erhoben. Ob solche Strukturen auch für andere Kunststoffe sinnvoll sind, muss geprüft werden.

Für qualitativ weniger wertige Kunststoffe und viele Verbundmaterialien ist eine thermische

Nutzung die ökologisch und energetisch sinnvollste Verwertungsform². Diese sollte möglichst in einem Zementwerk stattfinden, wo Kunststoffe meist CO₂-intensive Kohle als Brennstoff ersetzen. In einer KVA wird demgegenüber in der Regel ein weniger CO₂ produzierendes Gemisch aus nicht erneuerbaren und erneuerbaren Energieträgern wie Gas, Holz und Erdöl substituiert. Wichtig ist bei der Mitverbrennung von Kunststoffen im Zementwerk, dass das Material keine anorganischen Schadstoffe oder Halogene beinhaltet, wie dies zum Beispiel in PVC der Fall ist.

Anmerkungen und Referenzen

1 Projekt «Wirtschaftlichkeit der Abfallenergie»

2 Haupt, M., T. Kägi, and S. Hellweg. 2018. Modular life cycle assessment of municipal solid waste management. Waste Management 79: 815–827.

Recycling # Energieeffizienz # Kosten / Nutzen # Öffentliche Verwaltung # Betriebe # Politik
(Bund, Kanton, Gemeinde)

1.4.3. Papier und Karton ermöglichen mit ihren grossen Mengen grosse Einsparungen



Abbildung links: Faserstoff aus Papierrecycling vor und nach der Druckfarbenentfernung. Abbildung rechts: Lagerhalle mit gemischtem Altpapier und Altkarton bei der ehemaligen Papierfabrik Utzenstorf AG *Quelle: Melanie Haupt, ETH Zürich*

Im Papier- und Kartonrecycling steckt ein grosses Verbesserungspotenzial, zumal die tatsächlichen Verwertungsquoten tiefer sind als bisher angenommen. So wurden zum Beispiel die stark wachsenden Verpackungsimporte durch den Onlinehandel bei der Berechnung der Recyclingrate bisher nicht berücksichtigt, was zu einer Überschätzung führte¹. Um zu verhindern, dass durch eine Erhöhung der Sammelquoten die Papierqualität sinkt, sind allerdings **neue Sammel- oder Sortiermechanismen notwendig**.

Von einem energetischen Standpunkt aus gesehen, sollten sowohl Papier wie auch Karton in der Schweiz rezykliert werden. Eine Ausnahme ist die Verbrennung von Karton in einer sehr energieeffizienten KVA, welche die freigesetzte Wärme optimal nutzt. Die eingesparten Treibhausgasemissionen können in diesem Fall grösser sein als beim Recycling. Die Unterschiede in den Umweltauswirkungen sind jedoch klein und eine Verbesserung der Effizienz im Kartonrecycling würde das Verhältnis wieder zugunsten der materiellen Nutzung verschieben.²

Anmerkungen und Referenzen

1 Haupt, M., C. Vadenbo, and S. Hellweg. 2017. Do We Have the Right Performance

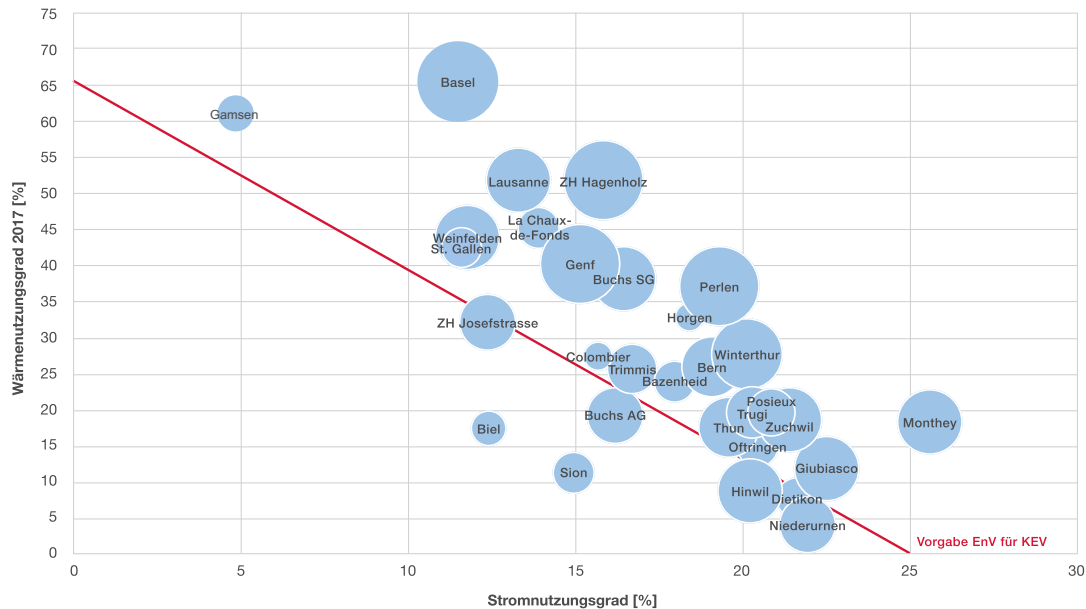


Indicators for the Circular Economy? Insight into the Swiss Waste Management System.
Journal of Industrial Ecology 21(3): 615–627.

2 Haupt, M., T. Kägi, and S. Hellweg. 2018. Modular life cycle assessment of municipal solid waste management. Waste Management 79: 815–827.

Brennstoff / Treibstoff # Energieeffizienz # Energiebereitstellung # Öffentliche Verwaltung # Politik (Bund, Kanton, Gemeinde)

1.4.4. Die Energieeffizienz der KVA lässt sich stark steigern



Netto Wärme- und Stromnutzungsgrade der Schweizer Kehrverbrennungsanlagen im Jahr 2017. EnV = Schweizerische Energieverordnung, KEV = Kostendeckende Einspeisevergütung. Quelle: Ryttec (2018), angepasst von Melanie Haupt, ETH Zürich

Die Schweizer Verbrennungsanlagen erreichen bei Weitem nicht die heute machbaren Energierückgewinnungseffizienzen. Dies hat verschiedene Gründe. Einerseits sind diverse Anlagen relativ alt. Andererseits wurde früher bei der Standortplanung die energetische Seite zu wenig berücksichtigt, da die Entsorgungssicherheit im Zentrum stand. An den aktuellen Standorten sind deshalb oft nicht genügend Abnehmer in einer Entfernung angesiedelt, über die sich Wärme oder Dampf transportieren lassen. Wie die Nähe zur Industrie für das Erreichen einer sehr hohen Energieeffizienz genutzt werden kann, zeigen beispielhaft die KVA in Gamsen, Lausanne, Perlen oder Basel (siehe Abbildung).

Das Potenzial einer nationalen Standortstrategie zeigen im Rahmen des Verbundprojekts durchgeführte Berechnungen auf. Im Extremszenarium wurde eine Reduktion auf schweizweit fünf Anlagen angenommen¹. Diese Anlagen könnten an strategischen Orten platziert werden, an denen sich einerseits die Anlieferungsdistancen minimieren lassen und andererseits die Energieausbeute maximieren lässt. Die Ergebnisse zeigen, dass das Verbesserungspotenzial durch Anpassungen im KVA-Park stark vom Abfall-, aber auch vom Energieszenario abhängt.

- Szenarien mit wenig KVA (Reduktion auf 5 Anlagen bis 2050) und weniger Siedlungsabfällen: Die thermische Kapazität der KVA wird voll ausgenutzt durch gemischte Siedlungsabfälle und Direktanlieferungen. Eine Reduktion der Anlagenzahl und damit des verbrannten Abfalls, kombiniert mit einer Erhöhung der Wirkungsgrade, führt zu einer

ähnlichen Energierückgewinnung wie im Jahr 2012.

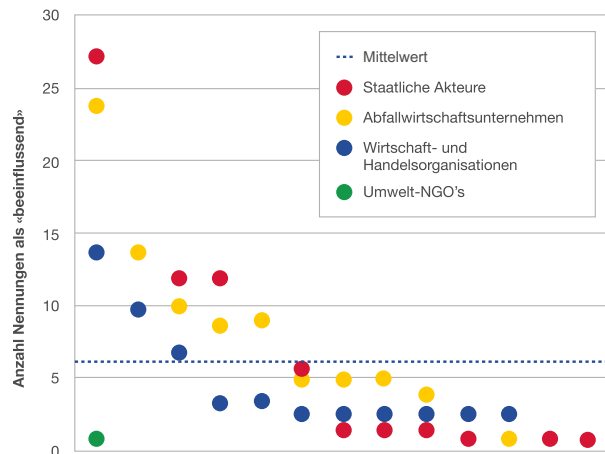
- Szenarien mit 27 bis 29 KVA und 700 bis 900 kg Siedlungsabfällen pro Person und Jahr: Eine energetische Optimierung führt zu höheren Recyclingquoten, was wiederum bedeutet, dass im Jahr 2050 nur etwa zwei Drittel der KVA-Kapazitäten ausgelastet wären.
- Greenpeace-Energieszenarien (vollständig erneuerbare Energie im Jahr 2050): Da die zurückgewonnene Wärme erneuerbare Energien ersetzt, fallen die ökologischen Gutschriften entsprechend klein aus. Daher wird weniger Abfall den Kehrichtverbrennungsanlagen zugeführt und, damit einhergehend, auch weniger Energie zurückgewonnen. Es muss jedoch angemerkt werden, dass im Gegenzug mehr indirekte Energie durch das Recycling der Materialien eingespart wird.

Anmerkungen und Referenzen

1 Meylan, G., M. Haupt, M. Duygan, S. Hellweg, and M. Stauffacher. 2018. Linking energy scenarios and waste storylines for prospective environmental assessment of waste management systems. *Waste Management* 81: 11–21.

Akzeptanz # Energieeffizienz # Steuerung # Kosten / Nutzen # Bevölkerung # Politik (Bund, Kanton, Gemeinde)

1.4.5. Transparenz ist die unabdingbare Grundlage für Optimierungen



Einfluss einzelner Akteure auf den Entscheidungsprozess. *Quelle: Mert Duygan, ETH Zürich*

Für die vorliegende Studie mussten viele Daten neu erhoben werden. Um das System langfristig zu optimieren und laufend die Fortschritte überprüfen zu können, wird eine systematische Erhebung von Mengen- und Geldflüssen benötigt. Zudem sollten auch die Entscheidungsprozesse transparent gestaltet und rapportiert werden.^{1 2}

Auf der Materialebene ist Transparenz notwendig, um Stoffkreisläufe zu schliessen und die verschiedenen Abfallströme wieder in marktfähige Sekundärprodukte umwandeln zu können. Voraussetzung für die Schliessung von Stoffkreisläufen oder den Ersatz anderer hochwertiger Materialien ist eine sauber getrennte Sammlung. Dafür muss zum Beispiel bekannt sein, woraus das Material besteht und welche Fraktionen in der Sammlung bereits vermischt wurden. Labels könnten hierbei die Materialerkennung unterstützen.

Im finanziellen Bereich ist Transparenz unverzichtbar, um fundierte politische Entscheidungen zu treffen und entsprechende Zielsetzungen gezielt weiterentwickeln zu können. Gerade bei der Beurteilung der Kosten und Erträge wurden aber offensichtliche Lücken in der Kommunikation der finanziellen Daten festgestellt. Die Akteure im Abfallmanagementsystem sollten daher verpflichtet werden, transparente Finanzdaten vorzulegen. Dies könnte auch zuhänden der Verbände erfolgen, welche dann die Daten aggregieren und anonymisiert kommunizieren.

Für die Akzeptanz von neuen Strategien bei der Bevölkerung **ist eine grössere Transparenz im Entscheidungsfindungsprozess nötig**. Die heutigen politischen Prozesse in der Abfallwirtschaft sind anfällig für Lobbyarbeit, und dies untergräbt das Vertrauen von Bevölkerung und Industrie in die Politik. Mit transparenten und analytischen Verfahren liesse sich der übermässige Einfluss einzelner Akteure vermindern.³

Anmerkungen und Referenzen

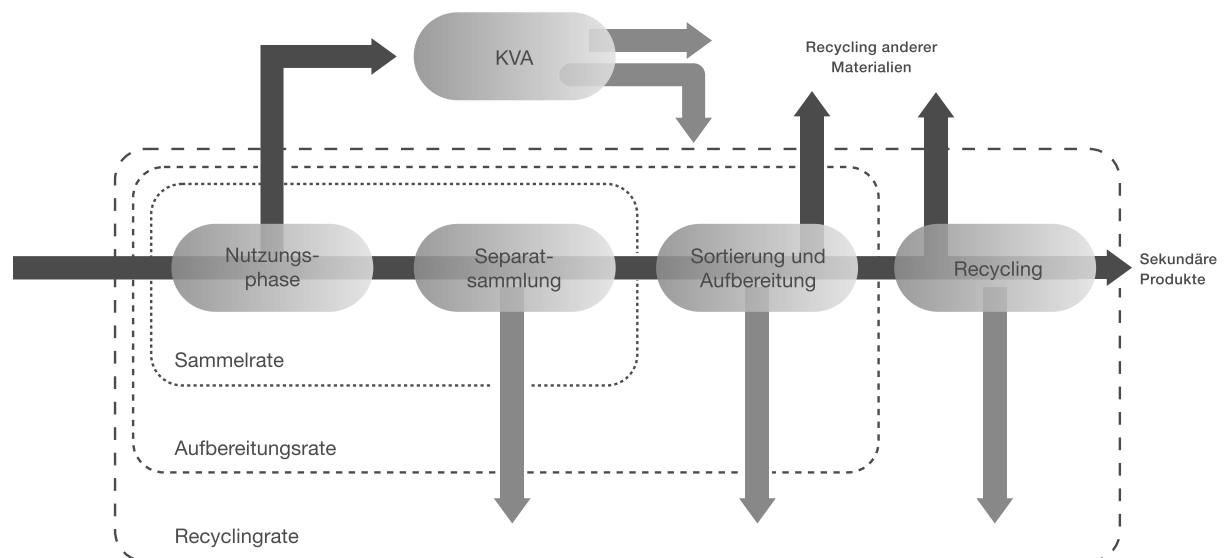
1 Haupt, M., C. Vadenbo, and S. Hellweg. 2017. Do We Have the Right Performance Indicators for the Circular Economy?: Insight into the Swiss Waste Management System. *Journal of Industrial Ecology* 21(3): 615–627.

2 Projekt «Wirtschaftlichkeit der Abfallenergie»

3 Duygan, M., M. Stauffacher, and G. Meylan. Determinants of strong agency in socio-technical transitions: A study of Swiss waste management. In Preparation.

Wertstoff # CO₂ / Treibhausgase # Steuerung # Nachhaltigkeit # Energiebereitstellung #
Betriebe # Politik (Bund, Kanton, Gemeinde)

1.4.6. Die Nachhaltigkeit der Schweizer Abfallwirtschaft muss messbar werden



Messpunkte der bisherigen Indikatoren der schweizerischen Abfallwirtschaft. *Quelle: Haupt et al. (2017)*

Nur was gemessen wird, kann auch gesteuert werden. Dieser Grundsatz gilt selbstverständlich auch für die Schweizer Abfallwirtschaft. Sie benötigt dringend Zielsysteme, die eine nachhaltige Entwicklung unterstützen. Die aktuelle Überwachung des Abfallmanagements basiert mehrheitlich auf Sammelquoten; einer quantitativen, aber rein mengenbasierten Kenngrösse ohne Berücksichtigung der Auswirkungen auf Mensch und Umwelt. Das Projekt «Energierückgewinnung in Abfallwirtschaft»¹ zeigte auf, dass mengenbasierte Ziele weder gute Indikatoren für geschlossene Ressourcenkreisläufe sind noch einen Hinweis auf die Umweltfreundlichkeit des Systems geben^{2,3}. Die bisherige Steuerung und Zielsetzung auf der Ebene von Sammelraten deckt also weder die politischen Ziele einer nachhaltigen Abfallwirtschaft ab, noch zeigt sie die vorhandenen Potenziale richtig auf.

Um die Nachhaltigkeit des materiellen Recyclings zu messen, ist es zwingend notwendig, nicht nur die Sammelraten zu kennen, sondern auch die nach der Sammlung angewandten Prozesse, deren Verluste und Energiebezüge. Die einzige mengenbasierte Statistik, welche alle Verluste berücksichtigt und daher die Grundlagen für eine umfassende Bewertung der Nachhaltigkeit bereithält, ist die Recyclingquote. Um auch die weitere Verwertung ökologisch und ökonomisch bewerten zu können, sind zusätzlich Angaben über die nachfolgenden Prozesse und die Nutzung der rezyklierten Materialien zu sammeln. Es muss beispielsweise

erfasst werden, ob Materialien in einem geschlossenen Kreislauf (closed loop) oder in einem offenen Kreislauf (open loop, d. h. in einer Kaskade) geführt werden. Basierend auf einer derartigen umfassenden mengenbasierten Statistik der Recyclingquoten kann anschliessend eine aussagekräftige Bewertung der Umweltauswirkungen und der Lebenszykluskosten stattfinden.

Anmerkungen und Referenzen

1 Projekt «**Energierückgewinnung in Abfallwirtschaft**»

2 Haupt, M., C. Vadenbo, and S. Hellweg. 2017. Do We Have the Right Performance Indicators for the Circular Economy?: Insight into the Swiss Waste Management System. *Journal of Industrial Ecology* 21(3): 615–627.

3 Haupt, M., T. Kägi, and S. Hellweg. 2018. Modular life cycle assessment of municipal solid waste management. *Waste Management* 79: 815–827.

Wissens- und Technologietransfer # Verteilungsgerechtigkeit # Konsens # Steuerung #
Öffentliche Verwaltung # Betriebe

1.4.7. Ein Systemwechsel erfordert eine gemeinsame Strategieumsetzung durch alle



Systemwandel statt Klimawandel. Junge Protestierende fordern einen Systemwechsel.

Quelle: Flickr (Joe Brusky)

Die umfassenden Analysen im Rahmen des Verbundprojekts zeigen, dass für einen Übergang zu einem möglichst umweltfreundlichen Abfallwirtschaftssystem alle Dimensionen der Nachhaltigkeit berücksichtigt werden müssen. Die Erkenntnisse des Projekts liefern damit eine Grundlage, auf der die in der Abfallwirtschaft in Gang gesetzten Diskussionen um Ressourceneffizienz und den ökologischen Vorteil von Recycling sowie von anderen Werterhaltungsprozessen in Richtung einer praktischen Umsetzung weitergeführt werden können.

Die Gespräche mit und auch zwischen industriellen und staatlichen Akteuren zeigen denn auch bereits erste Auswirkungen. Die Kreislaufwirtschaft, welche international gefördert wird und auch in der Schweiz politischen Anklang findet, hat diesen Dialog noch verstärkt. Energetische und ökologische Aspekte werden zunehmend in eine breite Palette von Planungsaktivitäten miteinbezogen. Die Erkenntnis, dass die Verwertungswege nicht nur aus mengenbezogener Sicht bewertet werden sollten, hat dazu geführt, dass die Abfallwirtschaft generell vermehrt als System aufgefasst wird. Die Beiratsmitglieder und weitere Industriepartner haben viele Türen geöffnet, durch die das Wissen in die Industrie hinein transferiert werden kann.

Eine grosse Barriere für den vorgeschlagenen Systemwechsel sind sogenannte technologische Lock-ins. Die Infrastrukturen der Abfallwirtschaft haben in der Regel eine

lange Lebensdauer, über die sie amortisiert werden müssen. Dies behindert die Einführung von neuen Technologien und Prozessen und damit auch die Umsetzung neuer Strategien. So widerspricht beispielsweise die getrennte Sammlung von Kunststoffen den Eigeninteressen von KVA-Betreibern, die ihre Anlagen unter Berücksichtigung von Kunststoffen als Brennstoff konzipiert haben. Die technologische Anbindung kann so zu einem Widerstand gegen strukturelle Veränderungen führen.

1.5. Neun Empfehlungen für eine energieeffizientere Abfallwirtschaft

Die Erkenntnisse des Verbundprojekts «Abfallmanagement als Beitrag zur Energiewende» wurden zu konkreten Handlungsempfehlungen verdichtet, die sich jeweils gezielt an die relevanten Akteure der Schweizer Siedlungsabfallwirtschaft richten.

Steuerung # Nachhaltigkeit # Verbände und NGOs # Betriebe # Politik (Bund, Kanton, Gemeinde)

1.5.1. Abfallwirtschaft anhand von Nachhaltigkeitskriterien statt nur Menge steuern!



Eine integrierte Abfallwirtschaft kann massgeblich zu den internationalen Zielen für eine nachhaltige Entwicklung (Sustainable Development Goals, SDG) beitragen. Die Abbildung zeigt, wie dies im Rahmen des Optimierungsmodells der schweizerischen Siedlungsabfallwirtschaft berücksichtigt wurde. *Quelle: Melanie Haupt, ETH Zürich*

Für die Steuerung der Abfallwirtschaft braucht es messbare und aussagekräftige Indikatoren. Nur wenn diese Nachhaltigkeitskriterien abbilden, kann die Abfallwirtschaft im Sinn der Energiestrategie 2050 optimiert werden.

Die heutigen Indikatoren der Schweizer Abfallwirtschaft zielen vor allem darauf ab, die Mengen, die dem Recycling zugeführt werden, zu erhöhen¹. Potenziale, die zum Beispiel in der Qualität des Recyclings stecken, werden so bisher vernachlässigt. Es werden Indikatoren benötigt, welche die Abfallwirtschaft in Bezug auf soziale, ökologische und ökonomische Auswirkungen bewerten und die gesamte Abfallwirtschaft von der Sortierung im Haushalt bis hin zur Nutzung der sekundären Ressourcen abdecken. Die Indikatoren sollten zudem breiter definiert werden, damit sie nicht nur auf einzelne Produkte (z.B. Aluminiumdosen), sondern auch auf ganze Materialströme (gesamte Aluminiumfraktion) anwendbar sind.

Umfassendere und detailliertere Nachhaltigkeitskriterien schaffen die Grundlage für gesamtheitliche Optimierungen:

- Indirekte Energienutzung: Eine gute Sammelinfrastruktur verstärkt die Sensibilisierung der Bevölkerung und fördert die Sammlung von qualitativ hochwertigen Fraktionen

(ökologische Dimension). Dies führt aber zu Mehrkosten (ökonomische Dimension).

- Direkte Energienutzung: Der Miteinbezug des lokalen Wärmebedarfs in die Standortwahl von KVA oder die Schaffung von lokalem Wärmebedarf (z.B. Ansiedlung Treibhäuser, Industrie oder Ausbau von Fernwärmenetzwerken) steigert deren Energieeffizienz (ökologische Dimension). Die Berücksichtigung der Akzeptanz in der Bevölkerung und das Zusammenbringen der Akteure hilft, den Erfolg von Projekten sicherzustellen. Ein gestärkter Dialog zwischen Gemeinden und Kantonen erleichtert das Verfolgen von koordinierten Strategien (soziale Dimension). Die Berücksichtigung von finanziellen Faktoren wie Transportdistanz und Energieeffizienz oder auch von Unterstützungsbeiträgen wie der kostendeckenden Einspeisevergütung ermöglicht eine Optimierung von Erträgen und Kosten und ist wichtig, um ökonomische Anreize setzen zu können (ökonomische Dimension).

Die Definition derartiger Kriterien auf nationaler Ebene und für alle Materialströme ist Sache des Bundes. Allerdings können Verbände eine Vorreiterrolle für einzelne Systeme übernehmen, so wie dies zurzeit im Bereich von Siedlungsabfällen stattfindet².

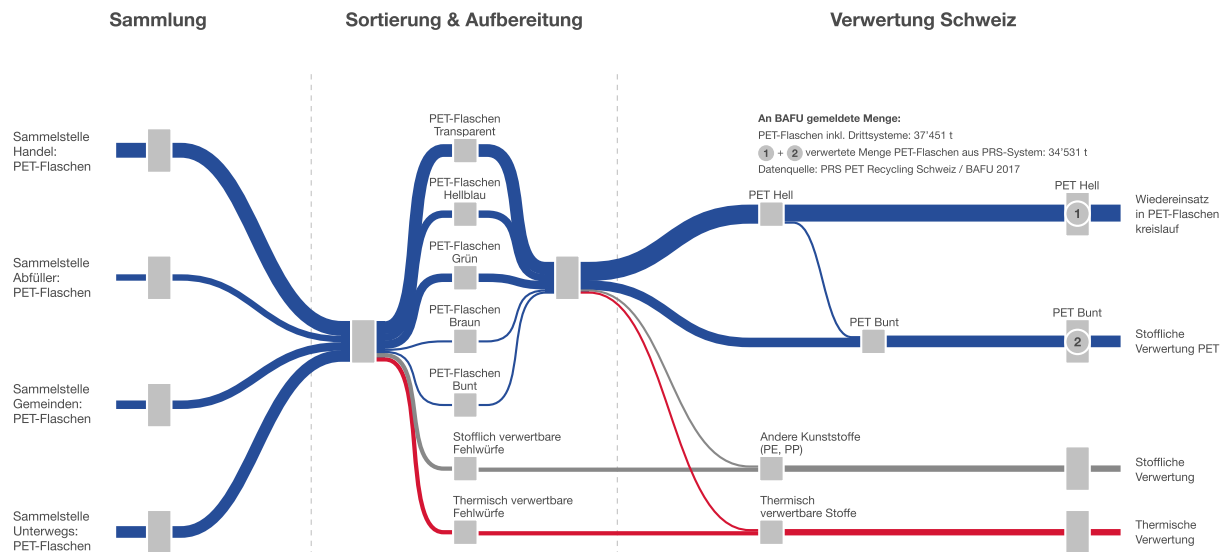
Anmerkungen und Referenzen

1 Haupt, M., C. Vadenbo, and S. Hellweg. 2017. Do We Have the Right Performance Indicators for the Circular Economy?: Insight into the Swiss Waste Management System. *Journal of Industrial Ecology* 21(3): 615–627.

2 Entwicklung des Zielsystems 2030 durch Swiss Recycling und Experten. Mehr Infos unter: <https://www.circular-economy.swiss/schwerpunkte/indikatoren/>

Digitalisierung # Steuerung # Kosten / Nutzen # Verbände und NGOs # Betriebe # Politik
(Bund, Kanton, Gemeinde)

1.5.2. Vollständige Transparenz über Kosten, Materialflüsse und Entscheide schaffen!



Neue Transparenz in der Schweizer Siedlungsabfallwirtschaft. Auszug aus dem Leistungsbericht 2019 der Swiss Recycling. Quelle: Swiss Recycling

Transparenz ist unerlässlich, um das Gesamtsystem der Schweizer Abfallwirtschaft zu verstehen und gezielt zu verbessern. Die grosse Anzahl der Akteure und die föderalistische Organisation erschweren jedoch die Übersicht.

Die Erfassung der Materialflüsse in der Schweiz funktioniert für einige klar definierte Abfallfraktionen wie etwa die PET-Flaschen-Sammlung vorbildlich. Auf der anderen Seite wird aber beispielsweise der ursprüngliche Verbrauch von Metallen nur sehr grob abgeschätzt. Entsprechend sind durch die Messung der separat gesammelten Mengen kaum Rückschlüsse auf die Sammel- und Recyclingraten möglich. Um Verbesserungspotenziale identifizieren zu können, muss in den folgenden Bereichen die Transparenz hergestellt oder erhöht werden:

- Abfallverwerter sollten Daten zu den Abfallströmen zur Verfügung stellen. In der Abfallverordnung (VVEA) wird dies zwar neu geregelt, aber bisher ist es nicht zwingend, auch die Herkunft des Abfalls zu deklarieren.
- Für Daten zu den Recyclingprozessen (Effizienzen der Sortier- und Recyclingprozesse, entfernte Verunreinigungen, sekundäre Verwendung) sind die Recyclingbranche und deren Verbände gefragt.
- Die KVA sollten die Herkunft und die Zusammensetzung der Abfälle genauer erfassen und verfügbar machen (insbesondere bei den direkten Anlieferungen gibt es grosse

Datenlücken).

- Zusätzliche Daten zum Konsum der Primärprodukte können nur durch eine Zusammenarbeit der produzierenden Industrie (Absatz von Produkten) mit den Behörden (Angaben zum Konsumverhalten der Bevölkerung) gesammelt und analysiert werden.
- Kenntnisse zur genauen Produktzusammensetzung sind die Voraussetzungen für hochqualitatives Recycling und geschlossene Kreisläufe. Es braucht daher auch eine möglichst vollständige Transparenz hinsichtlich der Inhaltsstoffe aller Produkte. Diese könnte entweder durch Produktlabel oder durch eine Standardisierung der stofflichen Zusammensetzung von Materialströmen erreicht werden. Spannende Möglichkeiten zur Stoffstromverfolgung und zum Markieren von Produkten mit Informationen zu ihren Inhaltsstoffen eröffnet die Digitalisierung.

Genauso wichtig ist eine möglichst grosse Transparenz bei Vernehmlassungen und in allen anderen wichtigen politischen Entscheidungsprozessen. Das gilt sowohl für die unterschiedlichen Positionen von Politikern, Verbänden etc. und Stellungnahmen wie auch für die daraus abgeleiteten Entscheidungen.

Wertstoff # Recycling # Öffentliche Verwaltung # Haushalte # Betriebe # Politik (Bund, Kanton, Gemeinde)

1.5.3. Abfälle möglichst sauber getrennt sammeln und dann auch sauber halten!



Abfallsammlung ist Lifestyle – mindestens bei dieser Separatsammelstelle in Singapur.

Quelle: Melanie Haupt, ETH Zürich

Eine sortenreine Sammlung von Abfällen durch die Konsumentinnen und Konsumenten ist die Grundlage für eine effiziente Verarbeitung der Abfälle zu vermarktbareren Ressourcen. Dies gilt insbesondere für Materialien, die nachträglich nicht mehr sortiert werden können.

Bei der separaten Sammlung spielen die Gemeinden eine Schlüsselrolle. Sie sind einerseits für die Sammelstellen verantwortlich und legen mit diesen Infrastrukturen den Grundstein für eine saubere Trennung der unterschiedlichen Fraktionen. Andererseits nehmen sie mit ihren Entsorgungsorganisationen auch eine entscheidende Funktion in der Kommunikation mit der Bevölkerung ein und können ihre Einwohnerinnen und Einwohner für die Wichtigkeit einer sauber getrennten Sammlung sensibilisieren.

Sortenrein gesammeltes Material muss auch in den Weiterverarbeitungsprozessen sauber getrennt bleiben. Es ist daher zentral, dass die Recyclingbetriebe über alle Aspekte der Qualität von sekundären Ressourcen informiert werden. Heute sind ihnen meistens nur die ökonomischen Konsequenzen von Verschmutzungen bekannt. Die ökologischen Vorteile einer sortenreinen Sammlung werden demgegenüber bisher erst wenig berücksichtigt. Um das Recycling gesamtheitlich zu optimieren, sind daher Ziele für alle Nachhaltigkeitsdimensionen (ökonomisch, ökologisch, sozial) und definierte Zielsetzungen (z.B. hinsichtlich Fremdkörperanteil in Sammlungen) zwingend.

Wissens- und Technologietransfer Betriebe # Recycling # Information / Kommunikation # Suffizienz

1.5.4. Abfälle vermeiden – aber nur, wenn es Sinn macht!



Die Abfallvermeidung ist die oberste Priorität der Abfallhierarchie und bringt auch meist einen ökologischen Vorteil. Allerdings müssen dabei einige Dinge beachtet werden, um wirklich ökologischen Mehrwert zu generieren. *Quelle: Melanie Haupt, ETH Zürich*

Ökologisch und ökonomisch ist es in vielen Fällen das Beste, wenn die Entstehung der Abfälle vermieden wird. Weder die produzierende Industrie noch die Recyclingbetriebe fühlen sich aber diesem Thema verpflichtet.

Im Jahr 2017 produzierte die Schweizer Bevölkerung 720 kg Siedlungsabfall pro Person. Im Verbundprojekt wurden für das Jahr 2050 Siedlungsabfallmengen zwischen 400 und 850 kg pro Jahr und Person angenommen. Die Reduktion auf 400 kg pro Person würde unter anderem eine Abnahme des Papier- und Kartonverbrauchs sowie der Lebensmittelabfälle voraussetzen.¹

Abfallvermeidung führt aber nicht in jedem Fall zu einer Reduktion der Umweltauswirkungen. So ist es zum Beispiel nicht sinnvoll, wenn ein Tablet ausschliesslich zum Lesen der Zeitung gekauft wird, auch wenn dadurch der Papierverbrauch deutlich gesenkt wird. Für eine genaue Untersuchung der Konsequenzen einer Abfallvermeidung ist eine Zusammenarbeit der Industrie mit Forschungsinstitutionen und Produktentwicklern notwendig. Da der Kaufentscheid letztendlich bei den Konsumenten liegt, müssen diese zudem informiert und mit Handlungsempfehlungen versorgt werden.

Fakten zum Thema Abfallvermeidung in der Schweiz:

- Es ist selten sinnvoll, eine nicht rezyklierbare, aber ordnungsgemäss entsorgte Kunststoffverpackung durch rezyklierbares Einwegglas zu ersetzen. Letzteres ist deutlich aufwendiger in der Produktion und auch der Recyclingprozess ist wegen der hohen Schmelztemperaturen energetisch wenig vorteilhaft.
- Viele Verpackungen von Konsumentenprodukten könnten reduziert werden. So werden zum Beispiel Kosmetikprodukte häufig doppelt verpackt (zum Beispiel Glasbehälter in Kartonschachtel), wobei die äussere Verpackung oft nur für Marketingzwecke genutzt wird und häufig einfach vermieden werden könnte.
- Verpackungen schützen Produkte und tragen durch eine Verlängerung der Haltbarkeit zur Vermeidung von Lebensmittelabfällen bei. Da die Lebensmittel ökologisch meist viel relevanter sind als deren Verpackung, muss bei einer Verpackungsvermeidung gewährleistet sein, dass das eigentliche Produkt trotzdem nicht verdirbt.
- Wird Kunststoff durch Materialien aus nachwachsenden Rohstoffen ersetzt, werden die Produkte meist langlebiger. Ökologischer sind sie jedoch nur, wenn sie auch lange im Gebrauch sind: Baumwolltragtaschen müssen beispielsweise viele Male genutzt werden, bis sie ökologischer sind als Plastiksäcke.

Anmerkungen und Referenzen

1 Meylan, G., M. Haupt, M. Duygan, S. Hellweg, and M. Stauffacher. 2018. Linking energy scenarios and waste storylines for prospective environmental assessment of waste management systems. *Waste Management* 81: 11–21.

Kälte / Wärme # Energiebereitstellung # Dezentralisierung # Betriebe # Politik (Bund, Kanton, Gemeinde)

1.5.5. Fernwärme und Dampf aus KVA brauchen Abnehmer in der Nähe!



Die Kehrrechtverwertungsanlage als Kraftwerk: Bei der KEZO in Hinwil sind zwei grosse Treibhäuser angeschlossen, die die Wärme der Kehrrechtverbrennung nutzen. Zudem wird in dieser KVA auch Strom produziert. *Quelle: Christian Merz*

Damit die Verbrennungswärme der Abfälle zur Produktion von Elektrizität genutzt oder als Wärme zurückgewonnen werden kann, müssen entweder Abnehmer in der Nähe der KVA angesiedelt oder die KVA zu den Abnehmern umgesiedelt werden.

Die historische Entwicklung und die föderalistische Politik haben dazu geführt, dass die Schweiz heute über einen grossen KVA-Park verfügt. Davon stehen aber nur wenige Anlagen an für die Wärmerückgewinnung optimalen Standorten. Generell sollte der Anschluss oder die Ansiedlung von Abnehmern von Wärme evaluiert werden. Vor anstehenden Modernisierungen sollte auch eine Umsiedlung der Anlage in ein Gebiet mit einem höheren Wärmebedarf geprüft werden. Problematisch ist, dass heute die Einnahmen aus dem Verkauf der Energie nur wenig zu den Erträgen einer KVA beitragen¹. Somit fehlen die finanziellen Anreize für eine energetische Optimierung. Um die Effizienz zu steigern, soll die Umsetzung der Anforderung, nach der die KVA bis Ende 2025 eine Nettoenergieeffizienz von 55 Prozent erreichen müssen², daher beschleunigt werden.

Zur Optimierung der Wärmenutzung müssen eine ganze Reihe von Akteuren beitragen:

- Modellierung des zukünftigen Wärmebedarfs insbesondere im Wohngebiet
(Energieversorger, Forschung): Eine immer bessere Isolation von Gebäuden führt zu

einem sinkenden Wärmebedarf pro Quadratmeter Wohnfläche. Fernwärmenetze sind Infrastrukturen mit langer Lebensdauer und hohem Investitionsbedarf, sodass Informationen über die Entwicklung des zukünftigen Wärmebedarfs für die Wirtschaftlichkeit essenziell sind.

- Verringerung der Anlagenzahl prüfen (Kantone, Bund): Es muss eine Zentralisierung der Energieproduktion an Standorten mit hohem Wärmebedarf, wie etwa in Industriegebieten oder Städten, analysiert werden. Eine Reduktion der Anlagenzahl muss jedoch mit Abklärungen hinsichtlich der Versorgungssicherheit und der langfristigen Entwicklung des Wärmebedarfs einhergehen.
- Identifikation der Potenziale der Niedertemperatur- oder Restwärmenutzung (Betriebe, Verbände): Diese Wärme muss lokal genutzt werden und eignet sich zum Beispiel für Gewächshäuser.

Für die zwingend notwendige Koordination der verschiedenen Aktivitäten sind staatliche Stellen wie das Bundesamt für Umwelt am besten geeignet.

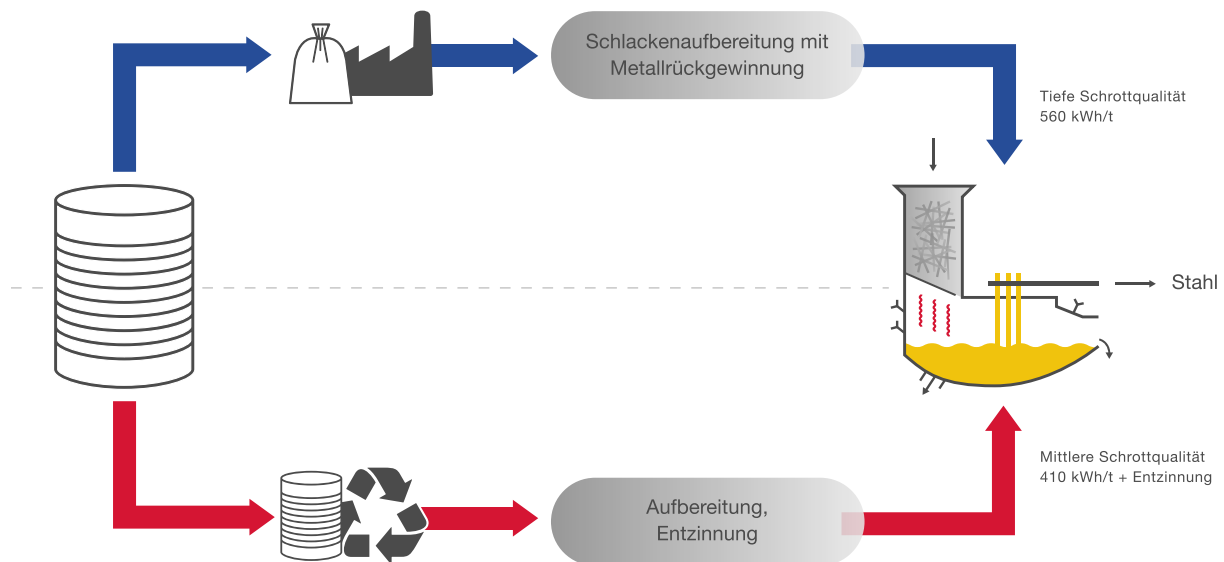
Anmerkungen und Referenzen

1 Projekt «**Wirtschaftlichkeit der Abfallenergie**»

2 VVEA. 2016. Verordnung über die Vermeidung und die Entsorgung von Abfällen (Abfallverordnung, VVEA). Bern, Switzerland.

Wertstoff # Recycling # Lenkung / Förderung # Verbände und NGOs # Betriebe # Politik
(Bund, Kanton, Gemeinde)

1.5.6. Qualitätsstandards und Verwendungspflicht für Recyclingmaterialien festlegen!



Der Einfluss der Qualität beim Weissblechrecycling. Während aus einer separaten Sammlung mittlere Schrottqualitäten resultieren, ist Schrott aus der KVA (ohne nachfolgende Aufbereitung) von tiefer Qualität. Dies hat grossen Einfluss auf den Stromverbrauch im Recycling. *Quelle: Melanie Haupt, ETH Zürich (basierend auf Haupt et al. [2017])*

Die Industrie soll zum einen verpflichtet werden, in gewissen Produkten einen Mindestanteil an Recyclingmaterialien zu verwenden. Zum anderen müssen die Sekundärmaterialien aber auch klar definierten, marktkonformen Qualitätsstandards genügen.

Die sekundäre Produktion von Materialien aus Abfällen durch ein Recycling benötigt häufig deutlich weniger Energie als die Produktion aus primären Rohstoffen. Damit qualitativ hochwertige Sekundärmaterialien hergestellt werden können, sind jedoch alle Beteiligten gefordert: Die Abfälle müssen möglichst sauber gesammelt und die gesammelten Materialien unter Berücksichtigung von Qualitätsanforderungen in den Sortier- und Recyclingbetrieben zu marktfähigen Sekundärmaterialien verarbeitet werden.

Damit ist die Kette aber noch nicht zu Ende. Damit das Recycling sein indirektes Energiesparpotenzial voll ausschöpfen kann, muss auch dafür gesorgt werden, dass die Sekundärmaterialien in der produzierenden Industrie möglichst hochwertige Rohstoffe ersetzen. Um dies zu vereinfachen, sollten die Firmen der Recyclingindustrien gemeinsam Qualitätsstandards für ihre sekundären Produkte schaffen, welche die Vermarktbarkeit vereinfachen und zu einem Imagewandel der Recyclingprodukte führen. Zusätzlich sind aber

auch Hilfestellungen aus der Politik notwendig, die eine Verwendung von Sekundärmaterialien fördern. Ein Beispiel dafür ist die EU-Vorschrift, nach der bis 2025 alle neuen Plastikverpackungen einen Anteil von 25 Prozent Recyclingmaterial enthalten müssen.

Zu den Massnahmen, mit denen der Einsatz von qualitativ hochwertigen sekundären Rohstoffen gesteigert werden kann, gehören:

- ein «grünes» Beschaffungswesen der öffentlichen Hand
- gezielte Richtlinien zur grünen Beschaffung für einzelne Industrien
- Vorgaben zum minimalen Anteil an sekundären Materialien in bestimmten Produkten und Baumaterialien

Information / Kommunikation # Akzeptanz # Suffizienz # Verbände und NGOs #
Bevölkerung # Politik (Bund, Kanton, Gemeinde)

1.5.7. Die Bevölkerung für Abfalltrennung und -vermeidung sensibilisieren!



Bild der Sensibilisierungskampagne «Bring's zurück» von Swiss Recycling. Quelle:
Swiss Recycling

Die Bevölkerung hat durch ihr Konsum- und Sammelverhalten einen entscheidenden Einfluss auf die Abfallmengen und auf die Qualität der Sammlungen – und sie trägt über die Gebühren einen grossen Teil der Kosten. Entsprechend viel lässt sich mit Sensibilisierungskampagnen erreichen.

Abfall entsteht in allen Haushalten. Die Bevölkerung leistet einen wichtigen Beitrag zum Recycling, indem sie Abfall sammelt und vorsortiert. Je besser sie dies macht, umso nachhaltiger können die gesamten nachfolgenden Prozesse gestaltet werden. Entsprechend wichtig ist eine umfassende Information und Sensibilisierung der Bevölkerung. Erfahrungsgemäss ist es jedoch schwierig, alle Mitglieder einer Gesellschaft zu erreichen, und so kursieren rund um den Abfall und seine Verwertung viele Mythen, wie «Es braucht Glas in der Abfallverbrennung» oder «Um Abfälle in der KVA zu verbrennen, werden Treibstoffe benötigt». Um solche falschen Vorstellungen richtigzustellen, ist eine beharrliche Kommunikation durch die Gemeinden und die Verbände notwendig.

Ein zentrales Element, in dem die Bevölkerung immer wieder geschult werden muss, ist die saubere Sortierung von Recyclingfraktionen nach dem Schema «was gehört wohin». Es soll für jede Person klar sein, welche Verschmutzungen in einer Sammlung annehmbar sind (Fenstercouverts gehören ins Altpapier!) und welche für den Kreislauf fatale Folgen haben



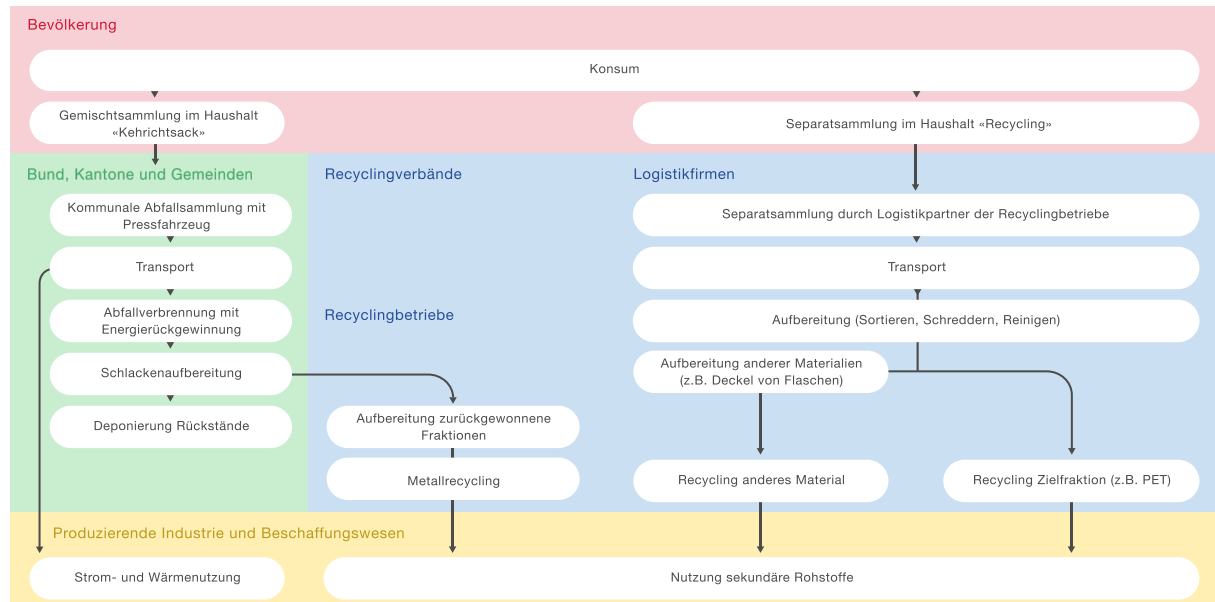
Energie

Nationale Forschungsprogramme 70 und 71

(kaputte Trinkgläser gehören nicht in die Haushaltsglassammlung!). Ebenso wichtig ist die Kommunikation von ökologisch sinnvollen Abfallvermeidungsstrategien wie «Bring die eigene Einkaufstüte mit zum Supermarkt» oder «Kauf offenes Gemüse ohne Plastiktüte». Der Kommunikationsbedarf macht aber nicht beim Abfall halt. So sollten etwa auch Hauseigentümer über die Vorteile eines Anschlusses an ein Fernwärmenetzwerk informiert werden.

Steuerung # Kooperation # Verbände und NGOs # Betriebe # Politik (Bund, Kanton, Gemeinde)

1.5.8. Bildet Kooperationen entlang der Wertschöpfungsketten!



Die Wertschöpfungskette in der Siedlungsabfallwirtschaft Schweiz und die betroffenen Akteure. Wichtig ist es, eine Kooperation entlang der Wertschöpfungskette zu bilden, um das System zu optimieren. *Quelle: Melanie Haupt, ETH Zürich*

Der Wandel zu einer energieeffizienteren und ökologischeren Abfallwirtschaft gelingt nur, wenn die vielen Akteure auf den unterschiedlichen Ebenen, von den Konsumenten und den Produktherstellern über die Gemeinden, KVA und Recyclingorganisationen bis hin zu den Abnehmern von Energie und Sekundärmaterialien, am gleichen Strick ziehen.

Die Umsetzung von neuen Strategien im Bereich der Siedlungsabfallwirtschaft Schweiz bedingt aufgrund der föderalen und vielschichtigen Organisation eine enge Zusammenarbeit der betroffenen Akteure. Dabei muss zuerst ein gemeinsames Verständnis der Problematiken und der Zielsetzungen geschaffen werden, um anschliessend gemeinsame Lösungen zu erarbeiten. Aufgrund der unterschiedlichen Verantwortlichkeiten unterscheidet sich die Art der benötigten Kollaborationsnetzwerke für die Separatsammlungen und für die Abfallverbrennung signifikant.

Die thermische Abfallbehandlung ist heute mehrheitlich durch die Gemeinden und einzelne Kantone sichergestellt, an die der Bund das Abfallmonopol abgetreten hat. Dabei werden über den Dachverband VBSA (Verband der Betreiber Schweizerischer Abfallverwertungsanlagen) zwar einige Aktivitäten national koordiniert. Eine gesamtschweizerische Planung der Abfallanlagen und der Energierückgewinnung aus Abfall fehlt aber, was sich negativ auf die Effizienz des Gesamtsystems auswirkt. Um eine Planung auf nationaler Ebene realisieren zu können, müssen alle wichtigen Akteure wie

Sammeldienste, Verbrenner, Energieabnehmer sowie Schlacken- und Flugaschenaufbereiter miteinbezogen werden.

Im Bereich der Separatsammlungen existieren grosse Unterschiede zwischen den einzelnen Materialströmen. In allen nehmen aber die entsprechenden Recyclingverbände, wie PET Recycling Schweiz, IGORA oder Biomasse Suisse, eine zentrale Rolle ein. Allerdings decken die Verbände mehrheitlich die Verarbeiterseite des bereits angefallenen Abfalls ab, also den Recyclingprozess. Die Abfallvermeidung beim Konsumenten, die Akteure, die sich der Wiederverwendung oder Reparatur widmen, und die Industrie, die das im Recycling produzierte Sekundärmaterial verwendet, werden demgegenüber kaum berücksichtigt. Um einen optimalen Beitrag zur Energiewende leisten zu können, müssen alle relevanten Perspektiven miteinbezogen und die Zusammenarbeit umfassender gestaltet werden.

Steuerung # Lenkung / Förderung # Dezentralisierung # Verbände und NGOs # Politik (Bund, Kanton, Gemeinde)

1.5.9. Experimentieren und experimentieren lassen!



Das Recycling von Getränkekartons wurde gestartet, aber anschliessend wieder abgebrochen, da es zu erfolgreich war: Die Sammelmengen für ein kleines Sammelsystem waren zu gross. *Quelle: Maja Wiprächtiger, ETH Zurich*

Die föderalistische Organisation der Schweizer Abfallwirtschaft soll dazu genutzt werden, unterschiedliche Lösungen auszuprobieren und dabei immer wieder Neues zu wagen. Von Ergebnissen solcher Versuche profitieren alle. Die Politik muss die notwendigen Rahmenbedingungen schaffen.

Kantone und Gemeinden haben in der Abfallwirtschaft viele Freiheiten, sei es bei der Gestaltung der Infrastruktur, bei der Logistik oder bei den institutionellen Konstrukten. Entsprechend stark unterscheiden sich denn auch beispielsweise das abfallwirtschaftliche System der Stadt Genf und dasjenige einer Bündner Kommune. Diese föderalistische Struktur erschwert zwar eine gesamtschweizerische Koordination. Dafür haben aber die einzelnen Gemeinden und Kantone die Möglichkeit, innerhalb der bundesweiten Gesetze Experimente zu wagen und Neuheiten auszuprobieren. Um diese Freiheiten effektiv nutzen zu können, ist auch aufseiten der zuständigen Behörden eine Offenheit gegenüber neuen Strategien notwendig, immer unter der Bedingung, dass die Entsorgungssicherheit gewährleistet bleibt.¹

Von der Vielfalt profitieren letztlich alle, indem sie funktionierende Neuerungen übernehmen und aus Fehlschlägen lernen können. Zeitlich sollten Experimente zuerst auf etwa 5 Jahre begrenzt sein. Dadurch können genügend Daten ausgewertet werden, um faktenbasiert über eine Fortführung und eine mögliche Ausweitung auf andere Gebiete oder Materialien zu entscheiden. Um die Erfolgswahrscheinlichkeit zu erhöhen, ist es in vielen Fällen zudem empfehlenswert, die Bevölkerung in die Planung des Experiments miteinzubeziehen. Sie spielt zum einen im Haushalt, als Konsumentin und Konsument oder Ökihof-Besucherin oder -Besucher häufig eine entscheidende Rolle. Zum anderen gehört eine möglichst frühe und transparente Beteiligung der Bevölkerung zu den **Schlüsselementen für die Akzeptanz von**

Projekten und Massnahmen.

Der Bund soll in diesen Versuchen eine koordinierende Rolle einnehmen. Er steht im Mittelpunkt vieler abfallwirtschaftlicher Netzwerke und geniesst überdies im ganzen Land Legitimität. Er sollte Experimente anregen und insbesondere dafür sorgen, dass sie systematisch ausgewertet werden. Der Cercle Déchets (Vereinigung der Fachleute für Abfall und Ressourcen beim Bund und bei den Kantonen) und die Kommunale Infrastruktur (Kompetenzzentrum für Infrastrukturmanagement in Städten und Gemeinden) sind weitere Organisationen, die unterstützend wirken können.

Anmerkungen und Referenzen

1 Duygan, M., M. Stauffacher, and G. Meylan. Determinants of strong agency in socio-technical transitions: A study of Swiss waste management: 1–40.

2 Duygan, M., M. Stauffacher, and G. Meylan. 2019. A heuristic for conceptualizing and uncovering the determinants of agency in socio-technical transitions. *Environmental Innovation and Societal Transitions* (February): 1–17.