

Optionen und Maßnahmen



UniNETZ –
Universitäten und Nachhaltige
Entwicklungsziele

Österreichs Handlungsoptionen
zur Umsetzung
der UN-Agenda 2030
für eine lebenswerte Zukunft.

Schutz der Umwelt bei abfallwirtschaftlichen Prozessen

11_09

Target 11.6

Autor_innen:

Allesch, Astrid (*Universität für Bodenkultur*); Bockreis, Anke (*Universität Innsbruck*); Huber-Humer, Marion (*Universität für Bodenkultur*)

Reviewer_innen:

Flamme, Sabine (*Fachhochschule Münster*); Kraft, Eckhard (*Bauhaus-Universität Weimar*); Widmann, Renatus (*Universität Duisburg Essen*);

Inhalt

3		Abbildungsverzeichnis
3		Tabellenverzeichnis
4	11_09.1	Ziele der Option
4	11_09.2	Hintergrund der Option
6	11_09.3	Optionenbeschreibung
6	11_09.3.1	Beschreibung der Option bzw. der zugehörigen Maßnahmen bzw. Maßnahmenkombinationen
12	11_09.3.2	Erwartete Wirkweise
13	11_09.3.3	Bisherige Erfahrungen mit dieser Option oder ähnlichen Optionen
14	11_09.3.4	Zeithorizont der Wirksamkeit
14	11_09.3.5	Vergleich mit anderen Optionen, mit denen das Ziel erreicht werden kann
15	11_09.3.6	Interaktionen mit anderen Optionen
15	11_09.3.7	Offene Forschungsfragen
17		Literatur

Abbildungsverzeichnis

- 12 **Abb. O_11-09_01:** Systembild – Materialflussanalyse österreichische Abfallwirtschaft. Eigene Darstellung (2021).
// **Fig. O_11-09_01:** System image – material flow analysis of the Austrian waste management. Own illustration (2021).

Tabellenverzeichnis

- 5 **Tab. O_11-09_01:** Zusammensetzung des gemischten Siedlungsabfalls. Quelle: BMK (2020).
// **Tab. O_11-09_01:** Composition of mixed municipal solid waste. Source: BMK (2020).
- 7 **Tab. O_11-09_02:** Maßnahmenkombination: Getrennte und verwertungsorientierte Abfallsammlung etablieren. Eigene Darstellung (2021).
// **Tab. O_11-09_02:** Combination of actions: establish separate and recycling-oriented waste collection systems. Own illustration (2021).
- 10 **Tab. O_11-09_03:** Maßnahmenkombination: Emissionen aus der Abfallbehandlung reduzieren. Eigene Darstellung (2021).
// **Tab. O_11-09_03:** Combination of actions: reduce short-term and long-term emissions from waste treatment. Own illustration (2021).

11_09.1 Ziele der Option

Nachhaltige Abfallwirtschaft als Bestandteil des Ressourcenmanagements bedarf klarer Ziele und Prioritäten. Während der Umgang mit Abfällen in vielen Entwicklungs- und Schwellenländern ein erhebliches Gesundheitsrisiko darstellt, haben Industrieländer hygienische Ziele der Abfallwirtschaft gesetzlich vorgegeben und weitestgehend erreicht (Friege & Dornack, 2019). Die österreichische Abfallwirtschaft befindet sich auf einem hohen Niveau mit modernen Verwertungs- und Entsorgungsstrukturen. In einigen Bereichen zeigt sich aber auch, dass es innerhalb der österreichischen Abfallwirtschaft noch Optimierungspotentiale gibt (Brunner et al. 2015). Das Ziel dieser Option besteht darin, die österreichische Abfallwirtschaft hinsichtlich ihrer Ressourcenschonung, Umweltschutz und Nachhaltigkeit zu verbessern, um die Umweltbelastung pro Kopf zu senken.

11_09.2 Hintergrund der Option

Das Abfallaufkommen Österreichs lag im Jahr 2018 bei rund 66,47 Millionen Tonnen. Dieses beinhaltet ein Aufkommen an Primärabfällen von 63,50 Millionen Tonnen sowie 2,97 Millionen Tonnen an Sekundärabfällen, die aus der Behandlung von Primärabfällen resultieren (Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK), 2020). Die Behandlung sämtlicher Abfälle teilte sich 2018 wie folgt auf und erfolgt in über 3.000 Behandlungsanlagen (BMK, 2020).

- 45 % wurden stofflich verwertet (recykliert und verfüllt);
- 7 % wurden in Anlagen, die der Abfallverbrennungsverordnung unterliegen, thermisch behandelt;
- 43 % wurden deponiert;
- 5 % der Abfälle wurden in sonstiger Art behandelt (mechanisch-biologische Abfallbehandlung, chemisch-physikalische Behandlung ...).

Von den rund 4,4 Millionen Tonnen Siedlungsabfällen aus Haushalten und ähnlichen Einrichtungen wurden 1,7 Millionen Tonnen oder 39 % als gemischter Siedlungsabfall (Restmüll) und Sperrmüll über die öffentliche Müllabfuhr einer Behandlung zugeführt. 2,7 Millionen Tonnen oder 61 % des gesamten Aufkommens konnten über die getrennte Sammlung erfasst werden (BMK, 2020). 2018 wurden mit rund 52 % der rund 4,4 Mio. t Siedlungsabfälle aus Haushalten und ähnlichen Einrichtungen einer stofflichen Verwertung zugeführt. Rund 43 % wurden thermisch und rund 5 % mechanisch-biologisch behandelt (BMK, 2020).

Abfallsammlung

Die Sammlung von Abfällen ist eine weithin sichtbare und wichtige kommunale Dienstleistung, die mit hohen Ausgaben verbunden ist. Bei der heutigen Abfallsammlung wird grundsätzlich nach Hol- und Bringsystemen unterschieden. Bei Bringsystemen muss der Abfall- und Wertstoffhersteller seine Abfälle zum Sammelbehälter bringen (z. B. Altstoffsammelinseln, Mistplätze). Die Holsysteme zeichnen sich durch die Abholung der Abfälle bei den Haushalten oder Gewerbegrundstücken aus (Gallenkemper, Dornbusch & Santjer, 2017). In Abhängigkeit der Abfalleigenschaften, der jeweiligen Anforderungen an die Behandlung und der gebotenen Services fallen unterschiedliche Kosten für die Sammlung/ den Transport sowie die Behandlung der Abfälle an. Zur Festsetzung der Gebühren werden verschiedene Modelle angewandt, wobei zumeist Behältergrößen und Frequenz der Entleerung der Sammelbehälter ausschlaggebend sind. Für Abfälle,

deren Sammlung und Behandlung weder über kommunale Gebühren noch über Gelder der Inverkehrsetzer_innen finanziert werden, hat der Abfallverursacher für die Kosten durch direkte Bezahlung aufzukommen. Dies trifft in erster Linie auf Abfälle aus Gewerbe und Industrie zu. Für Privathaushalte ist dieser Bereich kaum vorhanden (Ausnahmen sind beispielsweise fallweise Altfreifen oder Abfälle aus Bautätigkeiten, wenn bestimmte Mengengrenzen überschritten werden) (BMK, 2020).

Um die Rohstoffversorgung langfristig sichern zu können, ist die Nutzung von Sekundärrohstoffen ohne Alternative. Die Nutzung von Abfällen wird politisch häufig mit der Ressourceneinsparung ohne Rücksicht auf die Wertigkeit der jeweiligen Ressourcen durch pauschale Recyclingquoten gleichgesetzt, ohne auf den damit verbundenen ökologischen und ökonomischen Aufwand und die notwendige Qualitäten von Sekundärrohstoffen zu achten. Vielmehr sollten Qualitäten im Vordergrund stehen. Dafür stellt die getrennte Sammlung von Wertstoffen aus Siedlungsabfällen neben ihrer möglichst nicht umweltbelastenden Verwertung eine entscheidende Stellschraube dar (Friege & Dornack, 2019). Die Zusammensetzung des Siedlungsabfalls aus Haushalten und ähnlichen Einrichtungen in Österreich (siehe Table 1) zeigt, dass noch verwertbare Ressourcen abgetrennt werden können.

Fraktion	Anteil [%]
Kunststoff	17,6
Organik	17,8
Papier	14,0
Hygieneartikel	9,6
Glas	4,9
Textilien und Schuhe	9,8
Metalle	4,7
Sonstiges	21,7

Tab. O_11-09_01:
Zusammensetzung des
gemischten Siedlungsabfalls.
Quelle: (BMK 2020).

// Tab. O_11-09_01: Composition
of mixed municipal solid waste.
Source: (BMK 2020).

Emissionen aus der Abfallbehandlung

Laut Klimaschutzbericht verursachte der Sektor Abfallwirtschaft (Gesamtabfallaufkommen) im Jahr 2017 Emissionen im Ausmaß von 2,9 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalent und lag somit um 0,04 Millionen Tonnen unter der sektoralen Höchstmenge nach dem Klimaschutzgesetz. Der Sektor Abfallwirtschaft umfasst etwa 3,5 % der österreichischen Treibhausgas-Emissionen. Die Treibhausgas-Emissionen des Sektors stammen aus der Abfallverbrennung, der Deponierung, der biologischen Abfallbehandlung (Kompostierung, Vergärung), der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung sowie der kommunalen Abwas-

serbehandlung und -entsorgung. Die Abfallverbrennung¹ ist aktuell für 48 % der Treibhausgas-Emissionen des Sektors verantwortlich, Deponien für 39 %. Die biologische Abfallbehandlung (vor allem die Kompostierung) verursachte 6 %, die Abwasserbehandlung und -entsorgung rund 7 % der Treibhausgase in diesem Sektor. Während die Methan-Emissionen aus Deponien zurückgehen (– 69 % gegenüber 1990), verzeichnen die Treibhausgas-Emissionen aus der Abfallverbrennung mit anschließender Energiegewinnung einen deutlich ansteigenden Trend (+282 %), allerdings von einem geringen Ausgangsniveau 1990 ausgehend (Umweltbundesamt 2019).

Mit Inkrafttreten der Deponieverordnung hat es wesentliche Änderungen hinsichtlich der Deponierung von Abfällen gegeben. Deponien nach dem heutigen Stand können nicht mit alten Deponien (z. B. Hausmülldeponien) verglichen werden. Hinsichtlich der Umweltauswirkungen weisen aktuelle Deponien ein hohes technisches Niveau auf. Die Deponierung von Abfällen ist aber ein deutlicher Eingriff in die Natur und verändert die natürlichen Rahmenbedingungen. Vor allem hinsichtlich geologischer Prozesse (Erosion und Sedimentation) ist über einen längeren Betrachtungszeitraum (>1.000 Jahre) mit einer Abnahme der Deponiemächtigkeit und einer Verteilung der abgelagerten Abfälle (und Schadstoffe) in die Umgebung zu rechnen (Brunner et al. 2015). Deshalb ist hinsichtlich der Deponierung von Abfällen ein langer Betrachtungszeitraum (>1.000 Jahre) zu wählen, um Auswirkungen abzubilden. Ein weiteres Risiko stellen Überflutungen von Deponien da. Im Überschwemmungsfall sind Veränderungen der geohydraulischen Verhältnisse zu erwarten und als Folge des gelagerten (Schadstoff-) Potentials, massive Kontaminationen von Grund- und Oberflächenwässern möglich (Laner, Fellner & Brunner, 2008). Die Ablagerung von schwermetallhaltigen Abfällen stellt aufgrund möglicher Migration in die Umwelt ein Risiko und somit ein Defizit dar, welches mit der Reduktion von Schadstoffen in abgelagerten Abfällen verringert werden könnte. Ein Ziel der Abfallwirtschaft muss also die Reduktion von Schadstoffen in abgelagerten Abfällen sein (Brunner et al. 2015). Obwohl Deponien nach dem heutigen Stand der Technik während des Betriebs durch die eingebauten Sicherungssysteme grundsätzlich keinen negativen Einfluss auf das Grundwasser haben sollten, ist nach Abschluss der Deponiebewirtschaftung durch das Versagen dieser technischen Sicherungssysteme von mittel und langfristigen Sickerwasserbelastungen auszugehen (Laner, Fellner & Brunner, 2011).

11_09.3 Optionenbeschreibung

11_09.3.1 Beschreibung der Option bzw. der zugehörigen Maßnahmen bzw. Maßnahmenkombinationen

Mit den in dieser Option beschriebenen Maßnahmenkombinationen soll die österreichische Abfallwirtschaft optimiert werden, indem die Abfallsammlung verbessert sowie Emissionen reduziert werden. Im Detail werden folgende Maßnahmenkombinationen vorgeschlagen:

- Etablierung von getrennter und verwertungs-orientierter Abfallsammlung;
- Reduktion von Emissionen aus der Abfallbehandlung (Betrachtungszeitraum bei Deponierung bis zu 1.000 Jahre).

¹ Hier werden Hausmüll oder hausmüllähnliche Abfälle, Sonderbrennstoffe sowie gefährliche Abfälle berücksichtigt.

Maßnahmenkombination: Etablierung von getrennter und verwertungs-orientierter Abfallsammlung

Im Siedlungsabfall sind noch erhebliche Mengen an recyclingfähigen Wertstoffen enthalten, die durch eine optimierte getrennte Sammlung einer hochwertigen Verwertung zugeführt werden können. Um die Sammlung zu optimieren, sind Maßnahmen im Bereich der Gebühren und Rücknahmesystem möglich, die Vereinfachung der Sammlung durch ein einheitliches Sammelsystem und Attraktivieren der Abfallsammelstellen. Während die Abfallwirtschaft bisher stark durch ordnungsrechtliche Instrumente geprägt ist, geraten vor allem markt-basierte Ansätze in den Fokus, wenn durch die Schließung von Stoffkreisläufen die Effizienz der Ressourcennutzung und damit auch die Wettbewerbsfähigkeit von Volkswirtschaften erhöht werden soll. Mögliche Ansatzpunkte wären u. a. verursachergerechte Abfallgebühren (*pay as you throw*) oder der verstärkte Einsatz von Pfandsystemen (Wilts, Lucas, von Gries & Zirngiebl, 2014). Für diese Maßnahmenkombination werden folgende Maßnahmen vorgeschlagen:

Maßnahmen	Beispiele
Angepasstes Gebührenmodell	– Pay as you throw (Wirklichkeitsprinzip).
Rücknahme-Systeme	– Einwegpfand für Getränkeverpackungen; – Mehrwegsysteme für Getränkeverpackungen; – Mehrwegsysteme für Transportverpackungen; – Forcierung von Pfandsystemen auf diverse Produktgruppen (z. B. Batterien, Akkumulatoren, Bauteile).
Optimierung von Abfallsammelstellen	– Steigerung der Anzahl und Benutzerfreundlichkeit von Abfallsammelstellen; – Ausbau der Altstoffsammelzentren; – Essen-Hauszustellung/Online-Handel in die Abfallsammlung eingliedern.
Einheitliches Sammel-system	– Harmonisiertes Modell für die (getrennte) Sammlung von Abfällen.

Tab. O_11-09_02:
Maßnahmenkombination:
Getrennte und verwertungs-orientierte Abfallsammlung etablieren. Eigene Darstellung (2021).

// **Tab. O_11-09_02:** Combination of actions: establish separate and recycling-oriented waste collection systems. Own illustration (2021).

Abfallgebühren könnten sich stärker als bisher am tatsächlich anfallenden Abfall orientieren, um damit das Konsumverhalten und auch die Produktion zu beeinflussen. Dabei können die Gebühren sowohl am Volumen, am Gewicht oder auch an den verursachten Umweltbelastungen ausgerichtet werden (Wilts, Lucas, von Gries & Zirngiebl, 2014). Das Wirklichkeitsprinzip (*pay as you throw*) könnte dahingehend gestaltet werden, dass pro Masse an zu entsorgendem gemischten Siedlungsabfall (Restmüll) eine spezifische Gebühr zu entrichten ist. Für getrennt erfasste Abfälle (z. B. Altpapier) wäre wiederum die Gebühr empfindlich niedriger bzw. kostenlos und würde somit motivieren, verstärkt getrennt zu sammeln. Für die Umsetzung sind aber auch Kontrollen und Strafmechanismen notwendig, um die Verschleppung von Restmüll in andere Sammelsysteme (z. B. Altpapier) oder in die Umwelt zu vermeiden. Abfälle oder Wertstoffe können auf unterschiedliche Weise gesammelt werden. Unabhängig von der detaillierten Ausgestaltung einzelner Sammel- und Rücknahmesysteme kann zwischen drei Arten zur Sammlung unterschieden werden: Einwegpfand-Systeme, haushaltsnahe, kollektive Systeme (duale Systeme) oder Mehrweg-Systeme (mit/ohne Pfand). Pfandsysteme zielen darauf ab, das Recycling von Stoffen durch ökonomische Instrumente zu erhöhen, und können je nach Sektor unterschiedlich ausgestaltet werden.

Sind Abfälle erst einmal sortenrein (nach Materialart z. B. PET, PP) erfasst, reichen die ökonomischen Anreize, um diese einem hochwertigen Recycling zuzuführen (Wilts et al., 2014). Zum Beispiel könnte im Bausektor ein Bauträger eine bestimmte Summe hinterlegen, die erst bei Nachweis einer entsprechenden Recyclingrate wieder zurückerstattet wird. Um eine getrennte und verwertungsorientierte Sammlung zu forcieren, ist die Einführung von Pfandsystemen auf unterschiedliche Abfallfraktionen möglich. Für Getränkeverpackungen ist die Einführung eines Einweg-Pfandsystems möglich, welches schon bereits in zehn europäischen Ländern in verschiedenen Ausprägungen – zum Teil schon seit vielen Jahren – betrieben wird. In allen Ländern werden hohe Rücklaufquoten für Kunststoffgetränkeflaschen weit über 80 % erreicht (Hauer et al., 2020). Neben Getränkeverpackungen kann auch für Elektrokleingeräte, Akkumulatoren und Batterien ein Pfandsystem angedacht werden, um die separate Sammlung dieser Abfälle zu erhöhen (Wilts et al., 2014). Pfandsysteme könnten vor allem für ressourcenintensive Elektro- und Elektronikprodukte verwendet werden, um einerseits Wertstoffe (z. B. Metalle, seltene Erden) aber oft Schadstoffe (Additive in Kunststoffen) entsprechend zu behandeln.

Die Ausgestaltung des Sammelsystems ist unter anderem entscheidend für die Abfallmenge, die erfasst wird. Es spielen die Positionierung (Entfernung), Benutzerfreundlichkeit und Gestaltung/Funktion der Sammelbehälter eine bedeutende Rolle. Zum Beispiel könnte eine Optimierung der Altstoffsammelzentren (Professionalisierung, Ausweitung der Öffnungszeiten, Erhöhung der gesammelten Fraktionen, Erreichbarkeit auch mit öffentlichen Verkehrsmitteln, etc.) die getrennte Sammlung weiterer Wertstofffraktionen ermöglichen und vor allem die Qualität erhöhen (Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband (ÖWAV) - die Junge Abfallwirtschaft, 2020). Einwurf-Öffnungen bzw. -vorrichtungen in Bezug auf die Abfallform, wie man sie von Altglas- und Leichtverpackungs-Behältern kennt, könnten auch bei anderen Sammelfraktionen einen Beitrag zur Verminderung von Fehlwürfen leisten (ÖWAV - die Junge Abfallwirtschaft 2020). Weiters würde ein in Österreich flächendeckend einheitliches Sammelsystem die getrennte Sammlung gegenüber den Bürger_innen wesentlich erleichtern, da es aktuell Verwirrung darüber gibt, wo und vor allem warum welche

Fraktionen getrennt zu sammeln sind. Generell muss das öffentliche Bewusstsein für Abfallvermeidung und Ressourceneffizienz in der Bevölkerung gestärkt werden.

Maßnahmenkombination: Reduktion von Emissionen aus der Abfallbehandlung (Zeitraum 1 bis 1.000 Jahre)

Mit dieser Maßnahmenkombination werden ausschließlich die mit der Abfallbewirtschaftung einhergehenden Emissionen betrachtet. Zu beachten ist aber, dass eine etablierte Abfallwirtschaft auch positive Wirkungen hinsichtlich Ressourcenschonung (Rohstoffe, Energie etc.) zeigt und damit Emissionen entlang des gesamten Lebenszyklus von Produkten einsparen kann. Emissionen können auch durch Substitution (z. B. Kompostierung und Nutzung des Komposts als Düngemittel) innerhalb anderer Prozesse vermieden werden – dieser Bereich des Recyclings wird in SDG 12 näher betrachtet.

Emissionen sind in verschiedenen abfallwirtschaftlichen Prozessen unvermeidbar und müssten eigentlich mit der Unterlassung von sinnvoller Abfallbehandlung und daraus entstehenden Langzeitfolgen verglichen werden. Gewisse Emissionen von klimarelevanten Gasen insbesondere CO₂ sind somit unvermeidbar und können nicht auf null reduziert werden. Daher ist das Ziel dieser Maßnahmenkombination die Emissionen so gering wie möglich zu halten und dass nur solche Abfälle zurückbleiben, deren Ablagerung keine Gefährdung für nachfolgende Generationen darstellt. Wichtig ist die Tatsache, dass Abfälle nicht nur wertvolle Materialien enthalten, sondern auch Schadstoffe, die es im Sinne eines nachhaltigen Abfallmanagements zu reduzieren gilt (Brunner, 2010). Um ein nachhaltiges Ressourcenmanagement zu erreichen, müssen saubere Kreisläufe und sichere letzte Senken geschaffen werden, ohne Risiko und Probleme in die Zukunft zu verschieben. Gefahrstoffe sollen aus Materialzyklen ausgeschleust werden und in letzten Senken gelagert werden (Kral, Kellner & Brunner, 2013).

Bei einem Ausstieg aus der Deponierung unbehandelte Abfälle, einhergehend mit gesteigerten Recyclingraten sowie energieeffizienter Behandlung der Restabfälle, werden umgehend Erfolge bei der Treibhausgas-minderung erzielt, wie es sich ja durch das Deponierungsverbot unbehandelte Abfälle gezeigt hat. Um eine nachsorgefreie Deponie zu gewährleisten sind weitere Maßnahmen vor allem hinsichtlich der Sickerwasserbelastung notwendig. Zusätzlich sollte auch die Ablagerung von mechanisch-biologisch behandelten Abfällen reduziert werden, um weitere Treibhausgasemissionen zu minimieren.

Um Emissionen aus der Abfallbehandlung zu reduzieren sowie das Deponievolumen zu schonen, werden folgende Maßnahmen vorgeschlagen:

Maßnahmen	Beispiele
Qualität der deponierten Abfälle erhöhen	– Ausschleusung und Immobilisierung von Schadstoffen (Ablagerung von Schadstoffen auf ein Minimum reduzieren <--> saubere Kreisläufe).
Nachsorgefreie Deponien	– Reduzierung der Sickerwasserbelastung durch Optimierung der Deponienachsorge; – Reduzierung gasförmiger Emissionen durch Optimierung der Deponienachsorge (z. B. Methanoxidationsschicht); – Reduktion der Ablagerung von reaktiven Abfällen durch Vorbehandlung der Abfälle (Recycling, mechanisch biologische Behandlung und Verbrennung); – Entlassungskriterien für Deponien definieren; – Verlängerung der Nachsorgephase.
Reduktion des Deponievolumens	– Verwertungsmöglichkeiten von Schlacken und Aschen definieren; – keine Ablagerung (un-)behandelter Abfälle (z. B. keine Bau-restmassen); – Reduktion der Ablagerung von mechanisch-biologisch behandelten Siedlungsabfällen (z. B. durch Verbrennung).
Verringerung der Emissionen bei abfallwirtschaftlichen Prozessen	– Verbesserung der Rauchgasreinigung bei Abfallverbrennung; – Reduktion der Emissionen bei biologischer Abfallbehandlung.

Tab. O_11-09_03:
Maßnahmenkombination:
Emissionen aus der
Abfallbehandlung reduzieren.
Eigene Darstellung (2021).

// **Tab. O_11-09_03:** Combination
of actions: reduce short-term and
long-term emissions from waste
treatment. Own illustration (2021).

Die Deponierung von Abfällen bedingt deutliche Eingriffe in die Natur und verändert natürliche Rahmenbedingungen (Brunner et al., 2001) sowie ist mit einer Verteilung der abgelagerten Abfälle (und Schadstoffe) in die Umgebung zu rechnen (Brunner et al., 2015). Deshalb muss die Qualität der deponierten Abfälle erhöht werden, indem einerseits eine Ausschleusung und Immobilisierung von Schadstoffen erfolgt und andererseits keine Wertstoffe abgelagert werden. Die Ablagerung von Schadstoffen kann aber nur auf ein Minimum reduziert werden, da gleichzeitig saubere Produktkreisläufe zu schaffen sind.

Umso wichtiger ist es, Verlagerungen von Schwermetallen aus Deponien (z. B. durch Erosion) und Schwermetallfrachten aus dem Deponiesickerwasser ins Grundwasser zu verringern. Ein entsprechend niedrigeres Schadstofffreisetzungsverhalten von Deponien kann durch die Verlängerung der Nachsorgephase und einer damit verbundenen Verlängerung der Funktionstüchtigkeit technischer Einrichtungen sowie einer Verlängerung der Sickerwasseraufbereitung erreicht werden. Die Nachsorge umfasst sowohl die Erfassung und Behandlung von Sickerwasser und Deponiegas als auch die Wartung und den Betrieb von

deponietechnischen Einrichtungen. Hinsichtlich der Emissionen (1 bis 1.000 Jahre) von Deponiesickerwässern ist die Frage der Nachsorgedauer essentiell, da die aktuelle Nachsorgephase viel zu kurz für all die noch laufenden Maßnahmen und Emissionen aus einer Deponie sind.

Je nach Deponiebetrieb und Zusammensetzung der abgelagerten Abfälle müsste die Nachsorge mehrere hundert bis tausende Jahre betragen, um dem Ziel „*keine Gefährdung nachfolgender Generationen*“ gerecht zu werden (Laner, Fellner & Brunner, 2010). Hinsichtlich der gesetzlichen Vorgaben sind deshalb klare Regelungen (Kriterien) zu definieren, wann eine Deponie aus der Deponienachsorge zu entlassen ist. Zur Reduktion der Nachsorgephase kann auch nach Beendigung der Ablagerungsphase eine temporäre Oberflächenabdeckung² zur Steuerung des Wasserhaushaltes aufgebracht werden, um Auslaugungsprozesse während der Nachsorgephase ablaufen zu lassen. Die Reduktion gasförmiger Emissionen aus Deponien kann durch verschiedene rechtliche, aber auch technische Maßnahmen erreicht werden. Die Reduktion der Deponiegasbildung selbst wird durch ein Verbot bzw. Reduktion der Ablagerung organischer Abfälle (gemäß Deponieverordnung 2008 muss der TOC-Gehalt kleiner 5 % sein) geregelt und während des Betriebs der Deponie werden im Durchschnitt 50 % des gebildeten Deponiegases erfasst und verschiedenen Verwertungsmöglichkeiten zugeführt werden (Schachermayer & Lampert, 2008). Eine Reduktion der Methanemissionen kann aber zusätzlich durch eine Methanoxidationsschicht erfolgen. Mikroorganismen setzen das klimawirksame Methan unter Vorhandensein von Sauerstoff zu Kohlendioxid und Wasser um (Huber-Humer et al., 2008). In Abhängigkeit der verschiedenen Abdeckungen wird in der Literatur (Laner, Fellner & Brunner, 2010) ein Methanoxidationsfaktor von 0,1 für bindigen Boden bis 0,7 für optimierte Methanoxidationsschichten angegeben.

Im Jahr 2018 wurden 433.000 Tonnen Siedlungsabfälle nach entsprechender Behandlung deponiert. Werden alle Abfälle betrachtet setzen sich die deponierten Abfälle (Summe 29 Millionen Tonnen) im Jahr 2018 in Österreich zu 82 % aus Bodenaushub, 7,2 % sonstige verunreinigte Böden, 2,2 % Schlacken und Aschen aus Abfallverbrennungsanlagen, 3,2 % mineralischer Bauschutt und 5,5 % restliche Abfälle zusammen (BMK, 2020). Vor allem könnte das Deponievolumen durch Erhöhung der Verwertung mineralischer Stoffe geschont werden. Eine Verwertung von Aschen, Schlacken sowie mineralischer Stoffe ist sowohl im Straßenbau als auch als Sekundärroh- und Sekundärzumahlstoff in der Zementindustrie möglich. Zu beachten ist, dass es bei einem Einsatz von Aschen und Schlacken zu einer Erhöhung des Eintrags von Schwermetallen und anderen Elementen in den Zementherstellungsprozess oder in die Umwelt kommen kann (Umweltbundesamt (UBA), 2019).

Hinsichtlich der Nutzung von Abfällen sollten ‚saubere‘ (z. B. Kunststoffe ohne Additive, Altholz ohne Lackierung) Abfälle vorrangig stofflich verwertet werden. Belastete Abfälle sollten wiederum aus stofflichen Verwertungsprozessen ausgeschlossen werden und bei geringer Belastung als Ersatzbrennstoffe eingesetzt werden bzw. bei starker Belastung einer thermischen Abfallbehandlung mit entsprechender Rauchgasreinigung zugeführt werden (Brunner et al. 2015). Eine weitere Reduktion von Emissionen aus der Abfallwirtschaft kann durch geschlossene Kompostierung sowie die Reduktion gasförmiger Prozessverluste bei Biogasanlagen erfolgen. Es gibt unterschiedliche technische und

² Die Funktionsweise der Abdeckung hinsichtlich des Wasser- und Deponiegashaushalts muss gewährleistet sein.

organisatorische Maßnahmen, um Emissionen aus Biogasanlagen zu reduzieren. Technische Minderungsmaßnahmen umfassen beispielsweise die Installation neuer Komponenten oder die Wartung von Anlagenteilen und sind meist mit Kosten verbunden. Organisatorische Maßnahmen sind dagegen durch den Eingriff in den Betriebsablauf gekennzeichnet und können Methanverluste effizient reduzieren (z. B. Leckagensuche, Emissionsmessungen, regelmäßige Wartung) (Kompost & Biogas Verband, 2020). Generell soll der Fokus auf der kaskadischen Nutzung von Abfällen gelegt werden, sodass durch eine kaskadische Nutzung biogener Reststoffe effizient Sekundärrohstoffe und Energieträger erzeugt werden (Schneider & Bockreis, 2013, Kannengießer, 2016), um Emissionen aus Herstellungsprozessen zu vermeiden.

11_09.3.2 Erwartete Wirkweise

Neue Kreislaufwirtschaftsmodelle, Recycling, Energie- und Materialeffizienz sowie neue Konsummuster haben ein erhebliches Potenzial auf die Verringerung der Treibhausgasemissionen. Durch die Aufbereitung von Abfällen werden Sekundärstoffe, Energie oder auch Teile und komplexe Güter wiedergewonnen, die einen nachfolgenden Einsatz als Produkt erlauben. So können sie die Primärproduktion vergleichbarer Materialien, Energie oder Produkte ersetzen (Brunner et al., 2015). In dieser Option werden aber sogenannte Rezyklierbarkeits-Substitutionsmethoden nicht betrachtet (siehe dafür SDG 12).

Ziel dieser Option ist die Reduktion der Emissionen aus der Abfallbehandlung sowie Verbesserung der Abfallsammlung, um die Abfälle einer Wiederverwendung oder hochwertigem Recycling zuführen zu können (siehe folgende Abbildung).

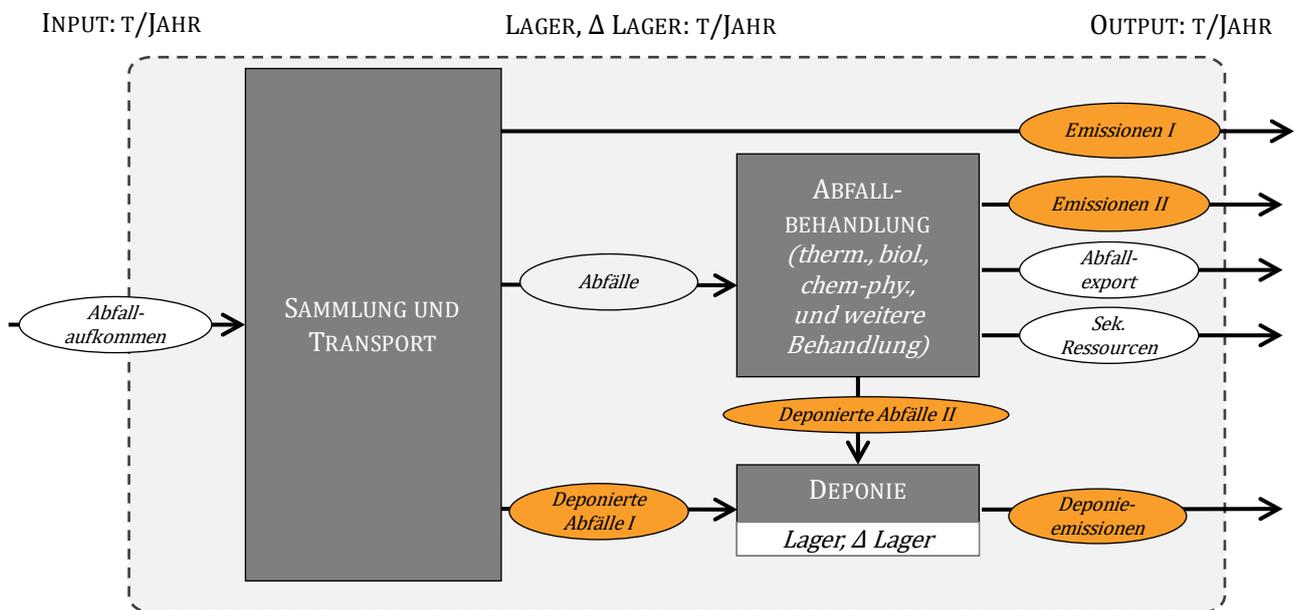


Abb. O_11-09_01: Systembild – Materialflussanalyse österreichische Abfallwirtschaft. Eigene Darstellung (2021).

// Fig. O_11-09_01: System image – material flow analysis of the Austrian waste management. Own illustration (2021).

Eine Verbesserung der getrennten Abfallsammlung zeigt sich indirekt dadurch, dass Ressourcen durch Wiederverwendung, Recycling oder auch thermische Verwertung optimal genutzt werden. Hinsichtlich Emissionen ist ein Monitoring dahingehend möglich, dass die Emissionen aus der Abfallsammlung, Abfallbehandlung und Deponie reduziert werden – wobei hier auch die Überwachung von Emissionen aus der Deponie von großer Bedeutung ist (Schaffung nachsorgefreier Deponie), um aktuelle Probleme nicht in die Zukunft zu verschieben. Durch getrennte Sammlung, Aufbereitung und Transport von Wertstoffen zu Recycling- und Produktionsanlagen wird, die in weiterer Folge verbleibende Abfallmasse zur Deponierung und Verbrennung wesentlich reduziert. Negative Umweltauswirkungen, welche sich z. B. durch Abluft- oder Abwasseremissionen bei der Deponierung und Verbrennung von Abfällen ergeben, werden dadurch vermindert (Meyer, Sommer, Kratena, Tesar & Neubauer, 2016).

Ein Ziel der Abfallwirtschaft muss die Reduktion von Schadstoffen in abgelagerten Abfällen sein. Allerdings nur durch Maßnahmen, die andere Bereiche nicht negativ beeinflussen. So stellt z. B. die Verschiebung der Schadstoffe in den Bereich der verwerteten Abfälle keine Lösung dar, da Akkumulation von Schadstoffen in Produkten sowohl die Produktqualität, die Umwelt, als auch die menschliche Gesundheit negativ beeinflusst. Notwendig ist stattdessen die Schaffung von sauberen Kreisläufen und von sicheren letzten Senken. Saubere Kreisläufe sind nur möglich, wenn Schadstoffe aus Recyclingprozessen ausgeschleust und in sichere letzte Senken verbracht werden (Kral et al. 2013). Letzte Senken sind definiert als Lagerstätten, welche Substanzen über einen Zeitraum von >10.000 Jahren ohne negative Auswirkungen auf die Umwelt zurückhalten (Brunner & Rechnberger, 2004).

Die Abfallwirtschaft leistet durch das Recycling von Abfällen und den nachgelagerten Einsatz von Sekundärrohstoffen in der Produktion einen Beitrag zur Steigerung der Ressourcenproduktivität, zu Energie- und Emissionseinsparungen und zur Entwicklung umweltschonender Wirtschaftsaktivitäten (Meyer, Sommer, Kratena, Tesar & Neubauer, 2016). Die Abfallwirtschaft ist bisher vor allem ordnungsrechtlich geprägt. Ökonomische Anreize zur Schließung von Stoffkreisläufen geraten aber inzwischen immer mehr in den Fokus, da sich neue Möglichkeiten zu einem nachhaltigeren Ressourcenmanagement ergeben und damit auch aus betriebswirtschaftlicher Sicht immer relevanter werden. Im Sinne nachhaltigen Denkens sollte die Abfallwirtschaft in erster Linie Materialien bzw. Produkte rückgewinnen, die eine möglichst große ökonomische, soziale, ökologische und strategische Bedeutung haben (Friege & Dornack, 2019).

11_09.3.3 Bisherige Erfahrungen mit dieser Option oder ähnlichen Optionen

- Einführung der Abfallgebühren nach dem Wirklichkeitsprinzip
Im Bereich der Abfallsammlung gibt es national und international Beispiele die Gebühren nach dem Wirklichkeitsprinzip zur Förderung der getrennten Sammlung einsetzen.
- Einführung eines Einwegpfandsystems im Bereich der Getränkeverpackungen
Hinsichtlich Pfandsystemen gibt es vor allem im Bereich der Getränkeverpackungen international Erfahrungen. In Europa setzen schon 10 Länder Einwegpfand als Lenkungsmaßnahme ein und in weiteren Ländern wird gerade an der Einführung eines Einwegpfandsystems gearbeitet. Auch in Österreich wird aktuell Einwegpfand auf Kunststoffgetränkeflaschen diskutiert.

- Einführung einer einheitlichen, getrennten Abfallsammlung

Die Einführung einer einheitlichen, getrennten Abfallsammlung wird in Österreich regelmäßig diskutiert, aber aufgrund regionaler Gegebenheiten bis dato nicht umgesetzt.

- Nachsorgefreie Deponien

Die Deponieverordnung definiert Zeitperioden für die Nachsorgephase; diese müssten anhand ökologischer Kriterien erweitert werden.

11_09.3.4 Zeithorizont der Wirksamkeit

Es kann davon ausgegangen werden, dass die Maßnahmen dieser Option sowohl kurz- aber auch langfristig ihre Wirkung zeigen. Die Maßnahmenkombination zur getrennten und verwertungs-orientierten Abfallsammlung kann mittelfristig etabliert werden und zeigt anschließend sehr schnell ihre Wirkung. Die Maßnahmenkombination zur Reduktion der Emissionen ist differenzierter zu betrachten. Die Reduktion von Emissionen aus der biologischen Abfallbehandlung und Abfallverbrennung können bei Anwendung entsprechender Technologien rasch Wirkung zeigen. Emissionen bei der Deponierung zeigen ihre Wirkung erst nach einem Zeitraum von mehreren hundert Jahren.

11_09.3.5 Vergleich mit anderen Optionen, mit denen das Ziel erreicht werden kann

- Nachhaltige Regionalentwicklung – Nachhaltigkeits-Perspektiven für den ländlichen Raum [Target 2.3, Option 2_5]
- Krisensicherung der Ernährung und Landwirtschaft: Sicherung einer ausgewogenen und langfristigen Eigenversorgung mit Lebensmitteln durch eine nachhaltige Lebensmittelwertschöpfungskette [Target 2.4, Option 2_6]
- Reduktion der Verschmutzung von Haushalts- und Umgebungsluft [Target 3.9, Option 3_15]
- An allen Hochschulen Nachhaltigkeitsstrategien entwickeln und implementieren (inkl. Partizipation aller Hochschulangehörigen) [Target 4.7, Option 4_9]
- Reduktion von diffusen Nährstoff- und Problemstoffeinträgen [Target 6.3, Option 6_5]
- Reduktion von Spurenstoffen [Target 6.1, Option 6_6]
- Verbessertes Grundwasserschutz durch bedarfsorientierte Forschung [Target 6.1, Option 6_8]
- Aufbau und Modernisierung einer nachhaltigkeitsorientierten Verwertungs- und Recyclinginfrastruktur [Target 9.1, Option 9_2]
- Förderung nachhaltigkeits- und kreislaforientierter Forschung & Entwicklung [Target 9.4, Option 9_3]
- *Circular Economy Innovation & Technology Roadmap* [Target 9.1, Option 9_4]
- Treibhausgasemissions-Bonus/Malus-System für öffentliche Gebäude [Target 11.6, Option 11_10]
- Nachhaltiger Umgang mit mineralischen Rohstoffen von der Gewinnung bis inklusive Halbzeuherstellung [Target 12.2, Option 12_1]
- Aktionsplan Hochwertiges Recycling: *Design for Recycling*, Schadstofffreiheit & Einsatz von Sekundärrohstoffen [Target 12.2, Option 12_2]
- Änderung des Abfallregimes (Beginn und Ende der Abfalleigenschaft) zur Verstärkung der
- Integration von Ökobilanzen in öffentliche Bau-Ausschreibungsverfahren unter Berücksichtigung der *Pre-* und *Post-procurement*-Phase [Target 12.7, Option 12_6]
- Konsum von Gebrauchsgütern in einer Kreislaufwirtschaft: nachhaltig und transformativ [Target 12.2, Option 12_7]
- Ökosoziale CO₂-Steuerreform [Target 13.1, Option 13_1]

11_09.3.6 Interaktionen mit anderen Optionen

- Nachhaltige Regionalentwicklung – Nachhaltigkeits-Perspektiven für den ländlichen Raum [Target 2.3, Option 2_5]
- Krisensicherung der Ernährung und Landwirtschaft: Sicherung einer ausgewogenen und langfristigen Eigenversorgung mit Lebensmitteln durch eine nachhaltige Lebensmittelwertschöpfungskette [Target 2.4, Option 2_6]
- Reduktion der Verschmutzung von Haushalts- und Umgebungsluft [Target 3.9, Option 3_15]
- An allen Hochschulen Nachhaltigkeitsstrategien entwickeln und implementieren (inklusive Partizipation aller Hochschulangehörigen) [Target 4.7, Option 4_9]
- Reduktion von diffusen Nährstoff- und Problemstoffeinträgen [Target 6.3, Option 6_5]
- Reduktion von Spurenstoffen [Target 6.1, Option 6_6]
- Verbessertes Grundwasserschutz durch bedarfsorientierte Forschung [Target 6.1, Option 6_8]
- Aufbau und Modernisierung einer nachhaltigkeitsorientierten Verwertungs- und Recyclinginfrastruktur [Target 9.1, Option 9_2]
- Förderung nachhaltigkeits- und kreislaforientierter Forschung & Entwicklung [Target 9.4, Option 9_3]
- *Circular Economy Innovation & Technology Roadmap* [Target 9.1, Option 9_4]
- Treibhausgasemissions-Bonus/Malus-System für öffentliche Gebäude [Target 11.6, Option 11_10]
- Nachhaltiger Umgang mit mineralischen Rohstoffen von der Gewinnung bis inklusive Halbzeuherstellung [Target 12.2, Option 12_1]
- Aktionsplan Hochwertiges Recycling: Design for Recycling, Schadstofffreiheit & Einsatz von Sekundärrohstoffen [Target 12.2, Option 12_2]
- Änderung des Abfallregimes (Beginn und Ende der Abfalleigenschaft) zur Verstärkung der
- Integration von Ökobilanzen in öffentliche Bau-Ausschreibungsverfahren unter Berücksichtigung der *Pre-* und *Post-procurement*-Phase [Target 12.7, Option 12_6]
- Konsum von Gebrauchsgütern in einer Kreislaufwirtschaft: nachhaltig und transformativ [Target 12.2, Option 12_7]
- Ökosoziale CO₂-Steuerreform [Target 13.1, Option 13_1]

11_09.3.7 Offene Forschungsfragen

Für die Bewertung der Abfallwirtschaft und dem Ableiten von Handlungsmaßnahmen müssen verschiedene zum Teil sehr komplexe Methoden angewandt werden, die es zu entwickeln bzw. zu verbessern gilt. Insbesondere bei den Kriterien ‚Schutz der menschlichen Gesundheit‘, ‚Ressourcenschonung‘ (saubere Kreisläufe) und ‚sichere letzte Senken‘ besteht ein großer, nicht nur auf Österreich bezogener Forschungsbedarf (Brunner et al., 2015).

Menschliche Gesundheit

Derzeit existiert für den Schutz der menschlichen Gesundheit kein Satz an Indikatoren, anhand dessen eine potentielle Gefährdung des Menschen zufriedenstellend beurteilt werden kann. Dies ist eine gravierende Wissenslücke für die gesamte Abfallwirtschaft nicht nur Österreichs, sondern auf globaler Ebene. Die enormen Leistungen, die Verfahren wie die Sammlung und Verbrennung von Abfällen bezüglich Mikroorganismen (Parasiten, Bakterien, Viren, u. a.) und humantoxischen Stoffen (Persistente, organische Verunreinigungen POPs, Schwermetalle, radioaktive Substanzen) erbringen, können derzeit nicht gewertet werden.

Ressourcenschonung (saubere Kreisläufe)

Die Abfallwirtschaft ist im Sinne des Vorsorgeprinzips und der Nachhaltigkeit danach auszurichten, dass Ressourcen (Rohstoffe, Wasser, Energie, Landschaft, Flächen, Deponievolumen) geschont werden. Dies kann einerseits durch die Gewinnung von Sekundärressourcen aus Abfällen oder durch die Minimierung des Ressourcenverbrauchs innerhalb der Abfallwirtschaft erreicht werden. Für die Schonung von Rohstoffen ist nicht nur der Mengenvergleich, sondern vor allem der Vergleich der Aufwendungen (z. B. Energie) für die Primär- und Sekundärerzeugung bedeutend. Forschung ist vor allem in der Bestimmung des Abfallaufkommens selbst (z. B. anthropogenen Lager, Lebensdauer) als auch in der Weiterentwicklung der lebenszyklischen Analyse (z. B. Ökobilanz) notwendig.

Zusätzlich ist die Abfallwirtschaft danach auszurichten, dass bei der stofflichen Verwertung die Abfälle oder die aus ihnen gewonnenen Stoffe kein höheres Gefährdungspotential aufweisen als vergleichbare Primärrohstoffe oder Produkte aus Primärrohstoffen (siehe auch Option SDG 12.04). Es sind Kriterien notwendig, die einerseits berücksichtigen, dass hohe Recyclingraten aus der Sicht der Rohstoffschonung wünschenswert sind, aber andererseits darf dadurch kein Gefährdungspotential für Mensch und Umwelt geschaffen werden. Die Bestimmung des Gefährdungspotentials ist eine komplexe Aufgabe. Neben den Gesamtschadstoffgehalten in Primär- und Sekundärprodukten sind, je nach Produkt, verschiedene weitere Kriterien zu berücksichtigen, wie z. B. Eluat-Werte, Einsatzbereiche, Verwendungszwecke, etc., die ebenfalls einen Einfluss auf das Gefährdungspotential haben. D. h., für die Beurteilung der Zielerreichung sind je Abfall/Sekundärrohstoff spezifische Untersuchungen der Schadstoffgehalte und der Auswirkungen der weiteren Kriterien sowohl für die Sekundärrohstoffe als auch für vergleichbare Primärrohstoffe notwendig.

Sichere letzte Senken

Die Abfallwirtschaft soll sicherstellen, dass nur solche Abfälle zurückbleiben, deren Ablagerung keine Gefährdung für nachfolgende Generationen darstellt. Deponien haben innerhalb der Abfallwirtschaft eine wichtige, unverzichtbare Funktion, falls sie als sichere Senke dienen und Schadstoffe umweltverträglich aus dem Produktkreislauf ausschließen. Deponien sind aktuell allerdings keine sicheren letzten Senken – vor allem nach Abschluss der Deponiebewirtschaftung – und deshalb sind klare Regelungen zur Ablagerung, der Nachsorgephase und zur Entlassung von Deponien aus derselben notwendig. Vor allem das Zusammenspiel zwischen Schadstoffen in Produkten („saubere Kreisläufe“) und die Verbringung von Schadstoffen in sichere Senken („nachsorgefreie Deponien“) ist noch nicht ausreichend untersucht.

Literatur

- Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK) (2020). Die Bestandsaufnahme der Abfallwirtschaft in Österreich.
- Brunner, P. (2010). Clean cycles and safe final sinks. *Waste Management & Research* 28(7): 575.
- Brunner, P. H., Allesch, A., Getzner, M., Huber-Humer, M., Pomberger, R., Müller, W. et. al. (2015). Benchmarking für die österreichische Abfallwirtschaft - Benchmarking for the Austrian waste management. Wien, Technische Universität Wien, Institut für Wassergüte, Ressourcenmanagement und Abfallwirtschaft.
- Brunner, P. H., Döberl, G., Eder, M., Frühwirth, W., Huber, R., Hutterer, H., Pierrard, R., Wilfried, S. & Wöginger, H. (2001). Bewertung abfallwirtschaftlicher Maßnahmen mit dem Ziel der nachsorgefreien Deponie - Assessment of waste management measures aiming at aftercare-free landfill Technische Universität Wien & Gesellschaft für umfassende Analysen GmbH.
- Brunner, P. H. & Rechberger, H. (2004). Practical handbook of material flow analysis. Boca Raton FL, CRC/Lewis.
- Friege, H. und Dornack, C. (2019). Abfall- und Kreislaufwirtschaft: Prioritäten für nachhaltiges Ressourcenmanagement. *Nachhaltiges Management*, Springer: 593-611.
- Gallenkemper, B., Dornbusch, H.-J. & Santjer, M. (2017). Sammlung und Transport. Einführung in die Kreislaufwirtschaft, Springer: 143-187.
- Hauer, W., Allesch, A., Beigl, P., Happenhofer, A., Huber-Humer, M., Obersteiner, G. et. al. (2020). Möglichkeiten zur Umsetzung der EU-Vorgaben betreffend Getränkegebinde, Pfandsysteme und Mehrweg. Wien, Technisches Büro HAUER Umweltwirtschaft GmbH, Institut für Abfallwirtschaft Universität für Bodenkultur Wien, Lehrstuhl für Abfallverwertungstechnik und Abfallwirtschaft Montanuniversität Leoben.
- Huber-Humer, M., Amann, A., Bogolte, T., Dos Santos, M., Hagenauer, I., Pauliny, W. et. al. (2008). Technischer Leitfaden Methanoxidationsschichten: erstellt im Rahmen der ÖVA-Arbeitsgruppe „Leitfaden Methanoxidationsschichten“. Wien.
- Kannengießner, J. (2016). „Das nutzbare Potenzial biologischer Siedlungsabfälle zur Erzeugung biobasierter Produkte–Beispiel Kompostwerk.“ *Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft* 68(1-2): 15-23.
- Kompost & Biogas Verband (2020). Erhebung und Verminderung von Methanemissionen in Biogasanlage: EvEmBi – Evaluation and reduction of methane emissions from different European biogas plant concepts. Wien.
- Kral, U., Kellner, K. & Brunner, P.H. (2013). „Sustainable resource use requires “clean cycles” and safe “final sinks”.“ *Science of The Total Environment* 461–462: 819-822.
- Laner, D., Fellner, J. & Brunner, P.H. (2008). Gefährdung durch Deponien und Altablagerungen im Hochwasserfall - Risikoanalyse und Minimierung (GEDES). Wien, Technische Universität Wien.
- Laner, D., Fellner, J. & Brunner, P.H. (2010). „Die Umweltverträglichkeit von Deponieemissionen unter dem Aspekt der Nachsorgedauer.“ *Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft* 2010(7-8): 2-11.
- Laner, D., Fellner, J. & Brunner, P.H. (2011). Standortbezogene Kriterien zur Beurteilung der Umweltverträglichkeit von Deponieemissionen unter dem Aspekt der Nachsorgedauer (SKUDENA). Wien, Technische Universität Wien.
- Meyer, I., Sommer, M., Kratena, K., Tesar, M. & Neubauer, C. (2016). „Volkswirtschaftliche Effekte durch Recycling ausgewählter Altstoffe und Abfälle. Präsentationsunterlagen.“ WIFO Studies.
- Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband (ÖWAV) - die Junge Abfallwirtschaft (2020). Recyclingziele 2025/2030: Maßnahmen zur Erreichung der geplanten Recyclingziele Wien.
- Schachermayer, E. & Lampert, C. (2008). Deponiegaserfassung auf österreichischen Deponien: Zeitreihe 2002 bis 2007. Wien, Umweltbundesamt GmbH.
- Schneider, I. & Bockreis, A. (2013). „Produktion von Milchsäure durch die kaskadische Nutzung von Bioabfall.“ *Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft* 65(1-2): 47-51.
- Umweltbundesamt (2019). Klimaschutzbericht: Analyse der Treibhausgas-Emissionen bis 2017. Wien, Umweltbundesamt.
- Wilts, H., Lucas, R., von Gries, N. & Zirngiebl, M. (2014). „Recycling in Deutschland–Status quo, Potenziale, Hemmnisse und Lösungsansätze. Wuppertal Institut für Klima.“ Umwelt, Energie GmbH, Wuppertal.