

Ina Meyer, Mark Sommer

Zur umweltökonomischen Relevanz der Abfall- und Ressourcenwirtschaft

Beschäftigungseffekte durch Restmüllverwertung

Zur umweltökonomischen Relevanz der Abfall- und Ressourcenwirtschaft. Beschäftigungseffekte durch Restmüllverwertung

Die Abfall- und Ressourcenwirtschaft leistet durch das Sammeln, Aufbereiten und Recycling von Altstoffen und Abfällen einen Beitrag zur Entwicklung von umweltschonenden Wirtschaftsaktivitäten. Wie die Analyse der potentiellen Beschäftigungseffekte unterschiedlicher Systeme einer weiteren Restmüllbehandlung zeigt, nimmt die Nachfrage nach Arbeitskräften mit der Komplexität der Behandlungssysteme zu. Eine Verbesserung der Getrenntsammlung kann Impulse für die heimische Wirtschaft auslösen, da Sekundärressourcen bereitgestellt und Primärressourcen mit hoher Importquote substituiert werden können.

On the Environmental-economic Significance of the Waste and Resource Economy. Employment Effects of Residual Waste Treatment

The waste and resource economy contributes to the development of environmentally friendly economic activities by collecting, processing and recycling waste materials. As the analysis of the potential employment effects of different systems of further residual waste treatment shows, the demand for labour increases with the complexity of the treatment systems. Improving separate collection can stimulate the domestic economy by providing secondary resources and substituting primary resources with high import quotas.

Kontakt:

Dipl.-Vw. Dr. Ina Meyer: WIFO, 1030 Wien, Arsenal, Objekt 20, ina.meyer@wifo.ac.at

Mag. Mark Sommer: WIFO, 1030 Wien, Arsenal, Objekt 20, mark.sommer@wifo.ac.at

JEL-Codes: Q43, Q53 • **Keywords:** Abfallwirtschaft, Beschäftigungseffekte, Kreislaufwirtschaft

Der vorliegende Beitrag beruht auf einer Studie des WIFO im Auftrag der Montanuniversität Leoben: Ina Meyer, Mark Sommer, Beschäftigungseffekte abfallwirtschaftlicher Modelle der Restmüllbehandlung (Mai 2019, 16 Seiten, 30 €, kostenloser Download: <https://www.wifo.ac.at/www/pubid/61774>)

Begutachtung: Kurt Kratena • **Wissenschaftliche Assistenz:** Susanne Markytan (susanne.markytan@wifo.ac.at)

1. Die Abfall- und Ressourcenwirtschaft aus energieökonomischer Sicht

Die Abfallwirtschaft leistet durch das Sammeln, Aufbereiten und Recycling von Altstoffen und Abfällen und den daraus resultierenden aufbereiteten Sekundärrohstoffen einen Beitrag zur Ressourcenschonung, zu Energie- und Emissionseinsparungen und zur Entwicklung umweltschonender Wirtschaftsaktivitäten und Geschäftsmodelle. Die drei Hauptaktivitäten werden in der Regel von verschiedenen Marktakteuren durchgeführt:

- Die Sammlung der Abfälle, die von Haushalten, Unternehmen und der Industrie erzeugt werden, wird üblicherweise von den Gemeinden und Städten organisiert.
- Beim Sortieren wird ein bestimmter Abfallstrom, z. B. gemischte Siedlungsabfälle, in seine Bestandteile getrennt. Das wird sowohl von öffentlichen Trägern als auch vom privaten Sektor durchgeführt.
- In der Sekundärrohstoffproduktion werden sortierte Abfälle wieder zu fertigen Rohstoffen verarbeitet. Diese Aufbereitung wird in der Regel von im Privatsektor tätigen Unternehmen durchgeführt. Die dabei entstehenden veredelten Sekundärrohstoffe – Metalle, Kunststoffe, Papier usw. – erzielen auf den Rohstoffmärkten Preise und können an Produktionsunternehmen verkauft werden. Im Bereich der Metalle liegen die Sekundärrohstoffpreise zumeist deutlich unter denen der Primärrohstoffe.

Das Recycling gilt als ein Geschäftsmodell der Kreislaufwirtschaft zur Rückgewinnung von Ressourcen und umfasst die Produktion von Sekundärrohstoffen aus Abfallströmen (OECD, 2019). Mit diesem und anderen kreislaufwirtschaftlichen Geschäftsmodellen, wie etwa der Verlängerung der Produktlebensdauer von Gebrauchsgegenständen durch Reparatur- und Modernisierungsmaßnahmen, hat sich die Abfallwirtschaft von einer reinen Beseitigung bereits angefallenen Abfalls zu einer Ressourcenwirtschaft entwickelt, deren Ziel es ist, Abfall bestmöglich zu verwerten. Eine zukunftsorientierte Abfall- und Ressourcenwirtschaft, die sich als Teil einer Kreislaufwirtschaft versteht, ist vor dem Hintergrund unterschiedlicher Trends des weltweiten und wirtschaftlichen Wandels zunehmend als Lösungsstrategie für gesellschaftliche Herausforderungen zu betrachten.

So muss etwa aufgrund des fortwährenden Mangels an recyclinggerechter Produktgestaltung die Branche "End-of-Pipe" immer wieder Lösungskompetenz für neuartige und zukünftige Abfallströme erbringen. Aktuelle Beispiele für "Future Wastes" sind etwa Lithium-Ionen-Batterien, kohle- und glasfaserverstärkte Kunststoffe, Nanomaterialien und Photovoltaikmodule (Pomberger – Ragossnig, 2014).

Das bislang ungebrochene Wachstum der weltweiten Treibhausgasemissionen – der Anstieg der CO₂-Emissionen aus der Nutzung fossiler Brennstoffe beträgt weiterhin jährlich über 1% und erreichte 2018 einen neuen Höchstwert von +2%¹⁾ – erfordert darüber hinaus, die Nutzung kohlenstoffhaltiger fossiler Energieträger durch die Nutzung erneuerbarer Energietechnologien zu ersetzen. Eine Energiewende regt weltweit die Nachfrage nach Metallen und anderen Rohstoffen an (Vidal – Goffé – Arndt, 2013). Die Weltbank analysiert den Mehrbedarf an metallischen Rohstoffen bis 2050 für drei Klimaszenarien (Weltbank, 2017) und schätzt für ein 2°C-Szenario den Zuwachs der Nachfrage nach metallischen Rohstoffen für die Produktion von Windkraftanlagen auf rund 250%. Dies betrifft u. a. die Metalle Aluminium, Kupfer, Eisen, Blei, Nickel, Zink, Molybdän, Neodym (Elshkaki – Greadel, 2013). Für die Nachfrage nach Photovoltaik wird ein Anstieg um 300% (2°C-Szenario) geschätzt. Von der Elektromobilität einschließlich Ladeinfrastruktur wird ein deutlicher Sog auf die Nachfrage nach den Rohstoffen Lithium, Kobalt und Nickel erwartet (Öko-Institut, 2017, McKinsey, 2018). Die Menge der Materialien, die in diesen Produktgruppen enthalten sind, wird am Ende des Lebenszyklus für die sekundäre Ressourcennutzung von Bedeutung sein (Scherhauer et al., 2019) und wirft schon heute Fragen der Recyclierbarkeit dieser Produktgruppen auf, auch wenn die Abfallströme und die darin enthaltenen Ressourcenmengen bisher gering sind.

Primäre Rohstoffgewinnung ist energieintensiv und treibt die Emission von Treibhausgasen (Umweltbundesamt, 2010). Primäre Rohstoffextraktion ist in der Regel auch mit einer Verschmutzung von Wasser, Böden und Luft verbunden, hat oftmals negative Folgen für die menschliche Gesundheit und beeinträchtigt die Funktionsfähigkeit von Ökosystemen wie den Wasserhaushalt und die Biodiversität (IRP, 2019, Rüttinger et al., 2014). Material-Effizienz-Strategien wie die Rückführung eines größeren Anteils von bereits im Umlauf befindlichen Materialien durch Recycling, aber auch die Verringerung von Produktionsabfällen, die Gewichtsreduzierung von Produkten und Strukturen, die Verlängerung der Lebensdauer von Produkten und die Einführung neuer Geschäftsmodelle wie "Sharing" können Ressourcen- und Energieeinsatz sowie Treibhausgasemissionen beträchtlich verringern (Material Economics, 2018). Nach aktuellen Untersuchungen sind 45% der weltweiten Treibhausgasemissionen auf die Produktion von Gütern und Nahrungsmitteln zurückzuführen (Ellen MacArthur Foundation, 2019). Die Dekarbonisierung der Industrie, der Landwirtschaft, Forstwirtschaft und anderen Landnutzung (Agriculture, Forestry and Other Land Use – AFOLU) steht damit im Zentrum des Klimaschutzes.

Die Abfall- und Ressourcenwirtschaft kann mit ihren drei Hauptaktivitäten einen substantziellen Beitrag zur Dekarbonisierung von Wirtschaft und Gesellschaft leisten und trägt durch die Produktion von Sekundärmaterialien zur Substitution von Primärrohstoffen und damit zum Umweltschutz bei. Das Potential der Kreislaufwirtschaft und mit ihr der Abfall- und Ressourcenwirtschaft, einen Beitrag zur Erreichung der Klimaziele zu

¹⁾ https://public.wmo.int/en/resources/united_in_science.

leisten, ist beträchtlich, wird jedoch bisher nicht ausreichend als Lösungsstrategie angesehen (Pomberger – Sarc, 2016, Ellen MacArthur Foundation, 2019).

Als nachhaltiges Modell der Ressourcenbewirtschaftung trägt die Branche auch zur Schaffung von lokalen Arbeitsplätzen und von innovativen Geschäftsmodellen, zur Entwicklung von umweltrelevanten Technologien und damit zur Wertschöpfung bei. Für Österreich wurden die volkswirtschaftlichen Effekte des Recyclings der Stoffgruppen Eisen und Stahl, Aluminium, Papier und Glas einschließlich der Primärrohstoffsubstitution in der Produktion mit etwa 0,5% des BIP oder 1,7 Mrd. € berechnet (2014). Damit einhergehend konnten ceteris paribus lebenszyklusbasierte Treibhausgasemissionen von rund 7,9 Mio. t CO₂-Äquivalenten vermieden werden (Meyer et al., 2016, Meyer – Sommer – Kratena, 2018A).

Vor dem Hintergrund stetig wachsender Abfallmengen und potentiell negativer Umweltauswirkungen sowie neuer europarechtlicher Vorgaben wie des EU-Kreislaufwirtschaftspaktes kommt der Abfall- und Ressourcenwirtschaft die Aufgabe zu, für eine Steigerung von Qualität und Quantität der Verwertung von Siedlungs- und Gewerbeabfällen zu sorgen. Meyer – Sommer (2019) gehen in einer aktuellen Studie der Frage nach, welche Beschäftigungseffekte potentiell mit einer Weiterentwicklung der Abfallwirtschaft im Sinne einer Kreislaufwirtschaft für Österreich verbunden sind. Die Analyse konzentriert sich auf eine Weiterentwicklung der Restmüllverwertung. Fragen einer vermehrten Wiederverwertung (Re-Use), die für eine Kreislaufwirtschaft und für die Abfallvermeidung ebenfalls von Bedeutung sind, werden in dieser Studie nicht betrachtet.

2. Beschäftigungspotentiale in der Restmüllverwertung

Für Österreich fehlten bislang Daten zu den möglichen Beschäftigungspotentialen einer Weiterentwicklung der Abfallwirtschaft im Sinne einer Kreislaufwirtschaft. Damit verbunden ist u. a. eine Zunahme an Arbeitsschritten zur Behandlung des Restmülls. Die Forschungsarbeit von Altendorfer (2018) geht der Frage nach, wie hoch der Arbeitskräftebedarf in weiteren Schritten der Restmüllbehandlung für Österreich sein könnte. Diese Bottom-up-Datenanalyse dient als Grundlage für die Ermittlung von indirekten und induzierten Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekten für die österreichische Volkswirtschaft.

In Österreich fielen 2015 laut aktuellen Daten 1,4 Mio. t gemischter Siedlungsabfall (Restmüll) aus Haushalten und ähnlichen Einrichtungen an (BMLFUW, 2018). Das entspricht einem jährlichen Pro-Kopf-Aufkommen von 166 kg (gemessen an der Bevölkerung), mit einer Bandbreite zwischen 83 kg in Vorarlberg und 289 kg in Wien. Die Zusammensetzung der gemischten Siedlungsabfälle hängt von unterschiedlichen Faktoren wie den bestehenden Abfallsammelsystemen, der sozioökonomischen Struktur der Bevölkerung und der Lage der Haushalte in städtischen oder ländlichen Gebieten ab. Die wesentlichen Bestandteile der gemischten Siedlungsabfälle sind Kunst- und Verbundstoffe, organische Anteile sowie Papier und Kartonagen. Getrennt gesammelte Altstoffe und biogene Siedlungsabfälle zählen nicht zum Restmüll. 2015 wurden 81% der gemischten Siedlungsabfälle direkt oder nach Aufbereitung im ersten Behandlungsschritt thermisch verwertet, 18% biologisch behandelt, und 1% wurde aus dem Siedlungsabfall aussortiert und stofflich verwertet.

2.1 Modelle der Restmüllverwertung und Eingangsdaten der Modellierung

Für die vergleichende Analyse einer Weiterbehandlung des Restmülls werden vier vereinfachte und idealtypische Abfallwirtschaftsmodelle der Restmüllbehandlung definiert, die eine auf das Wesentliche konzentrierte Abfolge des Abfallstroms abbilden (Altendorfer, 2018, Altendorfer – Pomberger – Gelbmann, 2019). Beginnend bei der Sammlung wird die auf 100.000 t normierte Restmüllfraktion durch die einzelnen grundlegenden abfallwirtschaftlichen Systeme geschleust, bis der verbleibende Abfall auf der Deponie landet oder wieder als Produkt aus dem Abfallregime ausgeschleust wird. Für jeden Behandlungsschritt wird der jeweilige Personalaufwand berechnet und aufsummiert. In den Modellen 1 bis 3 wird der gesamte Restmüll direkt

auf die verschiedenen Behandlungsanlagen verteilt. In Modell 4 gelangen Teile aus dem Restmüll durch weitere Trennung beim Abfallerzeuger in die Altstoffsammlung.

- *Modell 1 – Ungeordnete Deponierung (M1)*: In diesem Modell wird das gesamte Restmüllaufkommen unbehandelt auf einer naheliegenden Hausmülldeponie abgelagert. Eine Ablagerung des Abfalls ohne Vorbehandlung ist in Österreich seit der Deponieverordnung 2004 nicht mehr zulässig, wird aber in vielen europäischen Ländern wie Tschechien, Bulgarien oder Rumänien zum Teil noch immer so gehandhabt und geht deshalb in die vorliegende Betrachtung ein.
- *Modell 2 – Reine Abfallverbrennung (M2)*: Der gesamte Restmüll wird in eine Abfallverbrennungsanlage mit Rostfeuerung gebracht. Diese Anlagen können den unbehandelten Abfall direkt verbrennen. Die Rückstände der Verbrennung gelangen auf eine Reststoffdeponie. In den Verbrennungsrückständen befindet sich noch ein geringer Anteil an Metallen. Diese werden von der Deponiefraktion getrennt und recycelt.
- *Modell 3 – Mechanisch-biologische Behandlung (M3)*: Der Restmüll wird zuerst in eine mechanisch-biologische Behandlungsanlage (MBA) gebracht. Je nach Anlagentyp werden unterschiedliche Mengen an heizwertreicher Fraktion und Deponiefraktion erzeugt. Das Modell 3 ist in 4 Untermodelle gegliedert: In den Untermodellen 1 bis 3 wird der Output nach der Behandlung in der MBA auf unterschiedliche Weise verwertet. Das 4. Untermodell bildet eine mechanisch-biologische Behandlung mit Trockenstabilisierung, um einen möglichst hohen Anteil an energetisch verwertbaren Fraktionen zu erzeugen.
 - Modell 3.1 (M3.1): Mechanisch-biologische Behandlung und Verbrennung,
 - Modell 3.2 (M3.2): Mechanisch-biologische Behandlung, Verbrennung und Nutzung in Zementwerk,
 - Modell 3.3 (M3.3): Mechanisch-biologische Behandlung und Nutzung in Zementwerk,
 - Modell 3.4 (M3.4): Mechanisch-biologische Behandlung, Trockenstabilisierung, Verbrennung und Nutzung in Zementwerk.
- *Modell 4 – Verbesserte getrennte Sammlung (M4)*: Um die Qualität der Materialien für das Recycling zu erhöhen, muss schon bei der Trennung der einzelnen Sammelfraktionen durch die Haushalte angesetzt werden. In zwei Untermodellen wird die Aufteilung in einzelne Altstoffströme anhand realistischer Szenarien modelliert. Durch die Betrachtung von sechs Materialströmen (gesamte Restmüllfraktion, Leichtverpackungen, biogene Abfälle, Papier und Karton, Glas, Metalle) weist dieses Modell die größte Komplexität auf.
 - Modell 4.a (M4.a): Verbesserte getrennte Sammlung nach Benchmark-Studie (Brunner et al., 2015): Dies entspricht einer Entnahme von 50% der im Restmüll enthaltenen Wertstoffe (Übersicht 1).
 - Modell 4.b (M4.b): Verbesserte getrennte Sammlung nach Best-Practice aus Vorarlberg: Dies entspricht dem Restmüllaufkommen von Vorarlberg als Grundlage (Übersicht 1).

Übersicht 1: Szenarien für eine verbesserte Getrenntsammlung

	Baseline-Szenario	Szenario "Benchmark-Studie"	Szenario "Best-Practice Vorarlberg"
Anteile am Restmüllaufkommen in %			
<i>Sammelsystem</i>			
Restmüllsammlung	100	66,7	54,7
Altstoffsammlung Leichtverpackungen	0	8,1	10,4
Altstoffsammlung Bioabfall	0	14,6	20
Altstoffsammlung Altpapier	0	7	9,9
Altstoffsammlung Altglas	0	2,3	3,2
Altstoffsammlung Altmetalle	0	1,3	1,8
Insgesamt	100	100	100

Q: Altendorfer – Pomberger – Gelbmann (2019). Basierend auf Daten für Ende der 2010er-Jahre

Für eine empirische Schätzung potentieller indirekter und induzierter Effekte unterschiedlicher Verwertungs- und Behandlungsmethoden einer auf 100.000 t normierten Restmüllfraktion werden direkte Effekte an Anlagen, Transportkapazitäten und/oder Deponien als Eingangsdaten entsprechend den 4 Abfallwirtschaftsmodellen definiert (Übersicht 2). Dabei geht es um die Zahl der direkten Beschäftigung in Anlagen oder Deponien, um Investitionskosten und laufende Anlagen- und Instandhaltungskosten wie etwa Personalkosten oder Kosten der Lkw-Transporte. Darüber hinaus werden entsprechende Daten für Sammlung und Transport kalkuliert. Für die Erhebung von Daten zur Zahl der Beschäftigten pro 100.000 t wurden 105 Anlagenbetreiber mit Standorten in Österreich sowie drei ausländische Standorte befragt und Experteninterviews (Altendorfer, 2018) durchgeführt. Die Daten sind daher als realitätsnah und standortbezogen zu bezeichnen.

Übersicht 2: Inputdaten für die Modellierung – direkte Effekte auf die Beschäftigung und die Anlagenkosten bzw. -einnahmen

Je 100.000 t Restmüll und Jahr

	M1	M2	M3.1	M3.2	M3.3	M3.4	M4.a	M4.b
Beschäftigte Vollzeitäquivalente	95	121	144	146	139	155	174	181
Investitionskosten € pro Jahr	7,833.333	4,671.656	7,877.823	7,751.307	6,731.787	8,284.047	6,449.795	5,934.255
Fahrzeuge	333.333	352.323	381.406	381.640	382.120	388.630	385.748	387.021
Anlagen	7,500.000	4,319.333	7,496.417	7,369.667	6,349.667	7,895.417	6,064.046	5,547.234
Laufende Kosten € pro Jahr	4,982.379	5,249.366	7,356.590	7,452.736	5,351.250	6,702.403	8,825.382	9,164.791
Sonstige ¹⁾	1,000.000	6,355.000	6,795.600	6,731.250	5,439.250	7,831.000	6,115.263	5,832.338
Treibstoffe	20.625	22.061	24.826	25.647	25.775	26.846	25.572	25.517
Strom	0	5.200	506.500	584.500	584.500	86.500	458.294	410.813
Personal	3,961.754	5,065.605	6,168.289	6,293.839	6,024.225	6,723.682	7,443.763	7,744.853
Verkauf € pro Jahr								
Wärme	0	- 6,000.000	- 5,890.500	- 5,934.375	- 6,474.375	- 7,717.500	- 4,528.405	- 3,989.358
Material ²⁾	0	- 198.500	- 248.125	- 248.125	- 248.125	- 248.125	- 689.105	- 859.371

Q: Altendorfer (2018); Altendorfer – Pomberger – Gelbmann (2019); Prof. Pomberger, Universität Leoben, Lehrstuhl für Abfallverwertungstechnik und Abfallwirtschaft; WIFO-Berechnungen, basierend auf Daten für Ende der 2010er-Jahre. M1: ungeordnete Deponierung, M2: reine Abfallverbrennung, M3.1: mechanisch-biologische Behandlung und Verbrennung, M3.2: mechanisch-biologische Behandlung, Verbrennung und Nutzung in Zementwerk, M3.3: mechanisch-biologische Behandlung und Nutzung in Zementwerk, M3.4: mechanisch-biologische Behandlung, Trockenstabilisierung, Verbrennung und Nutzung in Zementwerk, M4.a: verbesserte getrennte Sammlung nach Benchmark-Studie (Brunner et al., 2015), M4.b: verbesserte getrennte Sammlung nach Best-Practice Vorarlberg. – ¹⁾ Laufende Anlagen- und Instandhaltungskosten. – ²⁾ Metalle, Altpapier, Kunststoffgranulat, Glasscherben oder Kompost.

2.2 Das Modell WIFO.DYNDK

Für die Modellierung der indirekten und induzierten Beschäftigungs- und Wertschöpfungseffekte von unterschiedlichen Modellen der Restmüllverarbeitung wurde das dynamische makroökonomische Ein-Region- und Multi-Sektor-Modell WIFO.DYNDK adaptiert und verwendet. Es basiert auf den Aufkommens- und Verwendungstabellen von Statistik Austria und bildet die Verflechtung von 62 Industrie- und Dienstleistungsbranchen sowie der Endnachfrage ab. Im Gegensatz zu statischen Input-Output-Modellen kann WIFO.DYNDK technologie- und preisgetriebene Veränderungen der wichtigsten Inputfaktoren für die Industriebranchen berücksichtigen: Kapital (K), Arbeit (L), Energie (E) sowie heimische (Md) und importierte Güter (Mm). Zudem sind die Energieinputs (E) an die energetische Endnachfrage der Gesamtenergiebilanz (Statistik Austria) gekoppelt, wodurch Auswirkungen der ökonomischen Entwicklungen auf Endenergienachfrage und energiebezogene CO₂-Emissionen abgebildet werden können. Anwendungsgebiete für das Modell liegen im Bereich unterschiedlicher energieökonomischer Analysen wie z. B. der Simulation von Energienachfrageszenarien (Sommer – Meyer – Kratena, 2018, Meyer – Sommer – Kratena, 2018B), von CO₂-Steuereffekten (Kirchner et al., 2019) sowie von Materialflussanalysen (Meyer – Sommer – Kratena, 2018A).

Die Ergebnisse der vorliegenden Modellanalyse umfassen u. a. Veränderungen der Wertschöpfung, Beschäftigung und Energienachfrage. Dabei werden folgende Effekte unterschieden:

- Direkte Effekte entstehen an der Anlage, Deponie oder Sammelstation und umfassen die entsprechenden Investitionskosten, laufenden Kosten sowie die direkte Beschäftigung (Übersicht 2).

- Indirekte Effekte oder Vorleistungs- bzw. Upstream-Effekte umfassen die Herstellung aller für die direkten Aktivitäten notwendigen Vorleistungen. Die entsprechenden Daten sind in einer Input-Output-Matrix als Vorleistungsverflechtung abstrahiert.
- Induzierte Effekte umfassen hier die Konsumreaktionen der privaten Haushalte, die aufgrund der Veränderung der Einkommen zu erwarten sind und anhand einer durchschnittlichen Konsumneigung berechnet werden.

Ziel der komparativ-statischen Simulation unterschiedlicher Modelle der Restmüllbehandlung ist es, die damit verbundenen indirekten und induzierten Beschäftigungs- und Wertschöpfungseffekte für Österreich zu schätzen und aufzuzeigen, welche volkswirtschaftlichen Effekte mit einer Weiterentwicklung der Restmüllbehandlung potentiell verbunden sind. Die Dimension der indirekten und induzierten ökonomischen Auswirkungen hängt einerseits von der Größe des direkten "Investitionsschocks" ab sowie von der Zusammensetzung der dadurch nachgefragten Güter und Dienstleistungen. Werden arbeitsintensive inländische Dienstleistungen, wie z. B. Bautätigkeiten nachgefragt, dann ist der ausgelöste Beschäftigungseffekt höher als wenn kapitalintensive Güter nachgefragt werden. Werden überwiegend importintensive Güter nachgefragt, wie z. B. Fahrzeuge, so fällt der BIP-Effekt gering aus, da die Wertschöpfung im Ausland erfolgt. Weiters sind die Menge und der angenommene Preis der aus der Abfallbehandlung gewonnenen Wertstoffe²⁾ und der Wärmeenergie (aus Müllverbrennungsanlagen) relevant. Die entstehenden Mengen- und Energieströme sind mit der Nachfragestruktur in WIFO.DYNK verknüpft. Aufgrund des Angebotes der Sekundärmaterialien aus der Abfallbehandlung sinkt die Nachfrage nach Primärrohstoffen (z. B. Stahl, Kupfer, Papier) in der Volkswirtschaft. Folglich nimmt deren Produktion im Inland oder Ausland ab. Je nach Importanteil der Produktion von Primärrohstoffen kann dieser isolierte Effekt die Wertschöpfung positiv (Dämpfung der Importe) oder negativ (Dämpfung der heimischen Produktion) beeinflussen.

Zu welchem Zeitpunkt die Effekte eintreten, ist nicht klar abgrenzbar. Manche Effekte können sehr kurzfristig (Ausgaben für Investitionen, Transporte), andere verzögert eintreten, z. B. wenn Maschinen oder Baumaterial aus Lagerbeständen verwendet werden und erst anschließend eine zusätzliche Produktion ausgelöst wird; das Arbeitseinkommen und der Konsum reagieren dann entsprechend verzögert. Da die induzierten Effekte wiederum indirekte Effekte auslösen, die weiter Einkommen generieren und induzierte Effekte auslösen, stellt sich der Endeffekt erst nach mehreren "Runden" vollständig ein. Die vollen volkswirtschaftlichen Effekte entfalten sich somit nicht zwangsläufig kurzfristig, z. B. im selben Jahr.

Für die vorliegende Studie wurden einzelne Module des umfangreichen WIFO.DYNK (z. B. Staatskonsum, Investitionen) deaktiviert, da der Fokus auf einer Dekomposition in direkte, indirekte und konsuminduzierte Effekte liegen sollte.

2.3 Modellergebnisse

Die Bruttowertschöpfungseffekte (bestehend aus Einkommen, Betriebsgewinnen und Steuereinnahmen) der vier untersuchten abfallwirtschaftlichen Grundmodelle der Restmüllbehandlung zeigt Abbildung 1.

Die direkten Effekte umfassen die simulierten Investitionen in Deponie- und Müllverbrennungs- und Behandlungsanlagen sowie die direkt nachgefragten Stoffströme, z. B. Strom für den Betrieb der Anlagen oder Dieseltreibstoff für den Transport von Sammelgut.

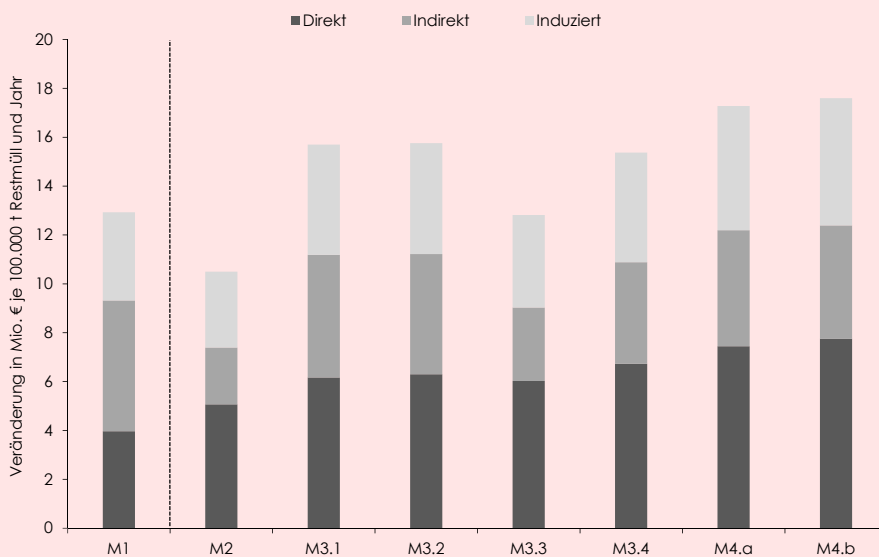
Zudem werden in allen Modellen mit Ausnahme von M1 Nebenprodukte wie Fernwärme und Materialien (Metalle, Altpapier, Granulat, Glasscherben oder Kompost) erzeugt (Übersicht 2). Diese generieren ebenfalls direkte Wertschöpfungseffekte, indirekt jedoch verdrängen sie die konventionelle Erzeugung bzw. den Einsatz von Primärrohstoffen. So verdrängt die aus Abfällen erzeugte Fernwärme andere Fernwärmeproduktion mit dem österreichischen Brennstoffmix (hauptsächlich Erdgas und Biomasse). Die aus dem Restmüll gewonnenen Sekundärrohstoffe werden in der heimi-

²⁾ Wertstoffe umfassen Altpapier, Metallschrott, Kunststoffgranulate, Kompost und Altglasscherben.

schen Produktion wieder in den Wirtschaftskreislauf eingespeist. Diese Strategie senkt die Produktionskosten heimischer Unternehmen, die kostenintensive Primärrohstoffe durch günstigere Sekundärrohstoffe substituieren, und verbessert die Außenbilanz. Die indirekten Effekte spiegeln demnach das Investitionsvolumen sowie Nachfrage- und Verdrängungseffekte wider:

Der Bruttowertschöpfungseffekt fällt in M2 (Verbrennung) geringer aus als in M1 (reine Deponierung). Im Modell M1 müssen je 100.000 t Restmüll jährlich 7,5 Mio. € in eine neue Deponie investiert werden (Übersicht 2), während eine Müllverbrennungsanlage mit einer Kapazität von mindestens 100.000 t eine Lebensdauer (Rostfeuerungsanlage) von rund 30 Jahren hat. Die Investition in eine solche Anlage fällt also pro Jahr geringer aus und generiert folglich niedrigere Bruttowertschöpfungseffekte, als wenn die gesamten Investitionskosten in einem Jahr anfallen. Dennoch ist der direkte Effekt in M2 größer als in M1, weil der Fernwärmeverkauf Gewinne und damit direkte Wertschöpfungseffekte generiert.

Abbildung 1: Bruttowertschöpfungseffekte der Restmüllbehandlung gemäß unterschiedlichen abfallwirtschaftlichen Modellen



Q: WIFO-Berechnungen, basierend auf Daten für Ende der 2010er-Jahre. M1: ungeordnete Deponierung, M2: reine Abfallverbrennung, M3.1: mechanisch-biologische Behandlung und Verbrennung, M3.2: mechanisch-biologische Behandlung, Verbrennung und Nutzung in Zementwerk, M3.3: mechanisch-biologische Behandlung und Nutzung in Zementwerk, M3.4: mechanisch-biologische Behandlung, Trockenstabilisierung, Verbrennung und Nutzung in Zementwerk, M4.a: verbesserte getrennte Sammlung nach Benchmark-Studie (Brunner et al., 2015), M4.b: verbesserte getrennte Sammlung nach Best-Practice Vorarlberg.

Die Produktion von Fernwärme sinkt, somit auch die Wertschöpfung der anderen Fernwärmeerzeuger. Daher ist der indirekte Effekt von M2 insgesamt relativ klein, da die Wertschöpfung in anderen Sektoren zurückgeht.

In M3.3 (mechanisch-biologische Behandlung und Verwertung in Zementwerk) ist der Bruttowertschöpfungseffekt merklich niedriger als in M3.2 (mechanisch-biologische Behandlung, Verbrennung und Nutzung in Zementwerk), hauptsächlich weil das Investitionsvolumen geringer ist.

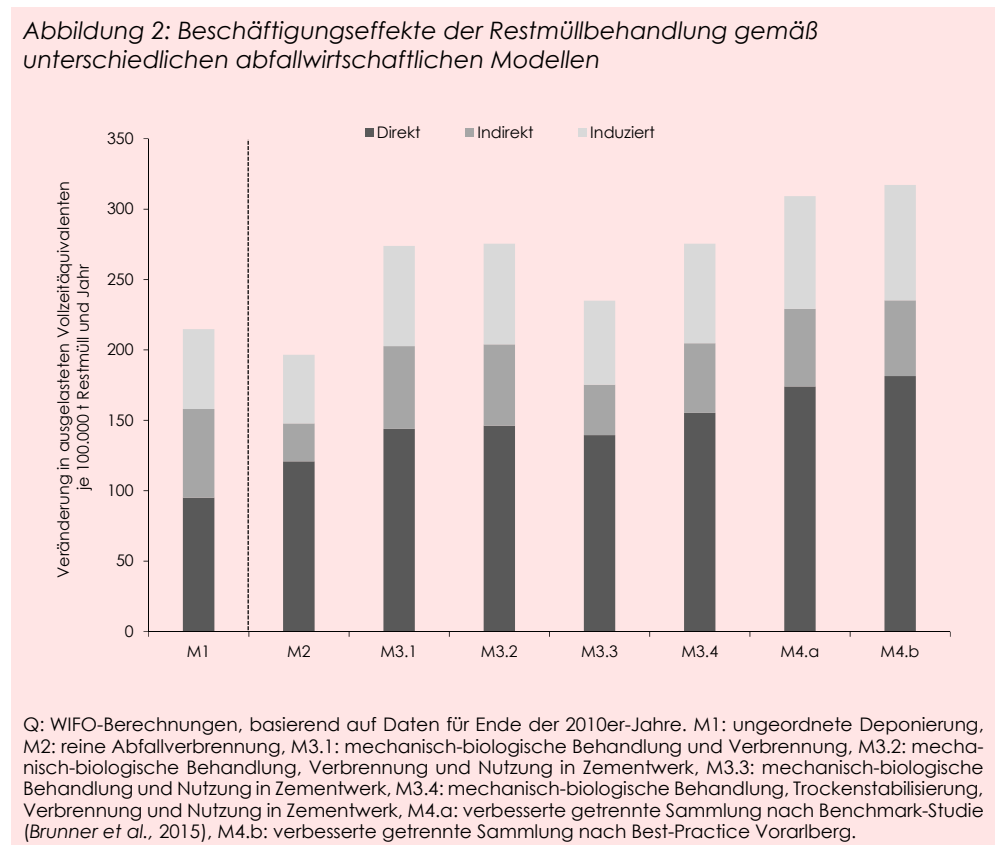
Die Größenordnung der induzierten Effekte folgt den durch die direkten und indirekten Effekte ausgelösten monetären Impulsen. Die Wertschöpfungseffekte einer Verbesserung der getrennten Sammlung von Restmüll nach dem Vorbild Vorarlbergs (Modell M4.b) betragen 18 Mio. € je 100.000 t Restmüll und Jahr. Impulsgeber für die Wertschöpfung sind relativ höhere laufende Kosten, insbesondere Personalkosten und geringere Investitionen in Anlagen als im Modell M3 (mechanisch-biologische Behandlung). Die Wiedereinspeisung von gewonnenen Sekundärrohstoffen in den Wirtschaftskreislauf bewirkt über einen höheren Strom an Materialien als in den anderen Modellen erheblich höhere Verkaufserlöse (Übersicht 2). Das bedeutet eine Steige-

rung der Substitution von Primärrohstoffen (annahmegemäß bei heimischen Produzenten) und – wegen des Importanteils in der Herstellung der Primärrohstoffe – eine Verbesserung der Außenhandelsbilanz mit entsprechend positiven wirtschaftlichen Impulsen.

Die Beschäftigungseffekte sind analog zu den Bruttowertschöpfungseffekten der einzelnen Modelle, da im Modell WIFO.DYNK die Arbeitskräftenachfrage der jeweiligen Sektoren eng mit der Produktion und somit der Wertschöpfung zusammenhängt (Abbildung 2). Die Beschäftigungseffekte einer weiteren Entwicklung der Restmüllbehandlung betragen zwischen 197 ausgelasteten Vollzeitäquivalenten je 100.000 t Restmüll pro Jahr für die reine Abfallverbrennung (M2) und 235 (M3.3) bzw. 275 (M3.3, M3.4) bei Behandlung in der mechanisch-biologischen Abfallanlage, in der ein höherer Anteil von heizwertrelevanten Fraktionen extrahiert wird. Die Szenarien einer besseren getrennten Sammlung und damit einer Verringerung des Restmülls erzielen die höchsten Beschäftigungseffekte mit rund 317 ausgelasteten Vollzeitäquivalenten. Der Bedarf an Arbeitskräften steigt daher mit der Komplexität und dem Aufwand für die Restmüllbehandlung.

Die Struktur der Beschäftigungseffekte fällt in allen berechneten Modellen ähnlich aus: Der Großteil der indirekten und induzierten Beschäftigung entsteht im produzierenden Gewerbe, im Verkehr, in der Beherbergung und Gastronomie, in der Erbringung von sonstigen wirtschaftlichen Dienstleistungen sowie im Gesundheits- und Sozialwesen.

Abbildung 2: Beschäftigungseffekte der Restmüllbehandlung gemäß unterschiedlichen abfallwirtschaftlichen Modellen



Die durch die Investitionen und den laufenden Betrieb der Restmüllverarbeitung ausgelösten Effekte auf die Endenergienachfrage zeigt Abbildung 3. Der direkte Effekt auf die Fernwärmeproduktion entspricht genau der Verringerung der Produktion anderer Fernwärmeanbieter und wird daher hier nicht ausgewiesen. Die Effekte auf die in den einzelnen Verbrennungsanlagen erzeugte Wärme fasst Übersicht 3 zusammen. Die direkten Effekte auf die Energienachfrage stammen ab Modell M3.1 (mechanisch-biologische Behandlung und Verbrennung) aus der Stromnachfrage des laufenden Betriebes, z. B. durch mechanisch-biologische Behandlungsanlagen, Leichtverpackungssortierung, Altpapier- und Altglassortieranlagen, Kunststoff-Recycling, Kom-

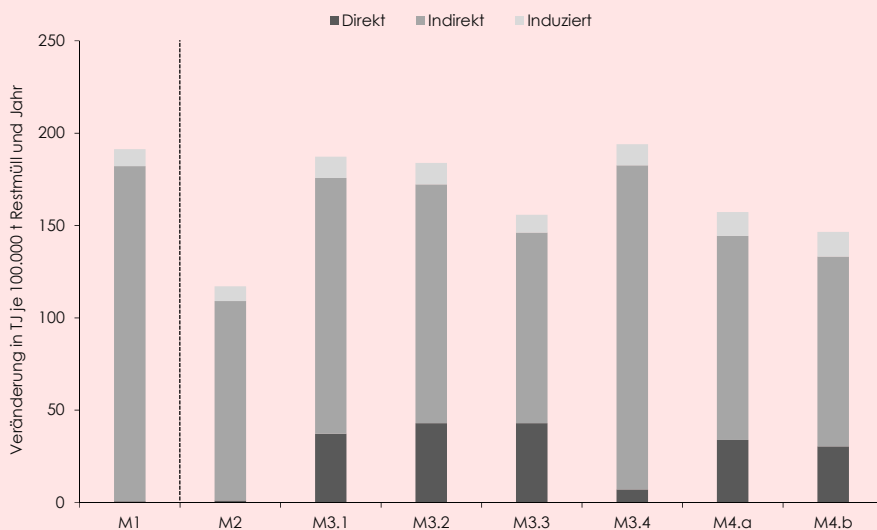
postierung, Groß-Shredder und Post-Shredder-Anlagen sowie – in geringem Ausmaß – aus der Nachfrage nach Dieseltreibstoff für die Transportdienstleistungen.

Übersicht 3: Effekte unterschiedlicher Restmüllbehandlungssysteme auf die Wärmeerzeugung in den Verbrennungsanlagen

	Veränderung je 100.000 t Restmüll und Jahr
M1	0
M2	720
M3.1	707
M3.2	712
M3.3	777
M3.4	926
M4.a	543
M4.b	479

Q: WIFO-Berechnungen, basierend auf Daten für Ende der 2010er-Jahre. M1: ungeordnete Deponierung, M2: reine Abfallverbrennung, M3.1: mechanisch-biologische Behandlung und Verbrennung, M3.2: mechanisch-biologische Behandlung, Verbrennung und Nutzung in Zementwerk, M3.3: mechanisch-biologische Behandlung und Nutzung in Zementwerk, M3.4: mechanisch-biologische Behandlung, Trockenstabilisierung, Verbrennung und Nutzung in Zementwerk, M4.a: verbesserte getrennte Sammlung nach Benchmark-Studie (Brunner et al., 2015), M4.b: verbesserte getrennte Sammlung nach Best-Practice Vorarlberg.

Abbildung 3: Effekte auf die Endenergienachfrage nach Restmüll gemäß unterschiedlichen abfallwirtschaftlichen Modellen



Q: WIFO-Berechnungen, basierend auf Daten für Ende der 2010er-Jahre. M1: ungeordnete Deponierung, M2: reine Abfallverbrennung, M3.1: mechanisch-biologische Behandlung und Verbrennung, M3.2: mechanisch-biologische Behandlung, Verbrennung und Nutzung in Zementwerk, M3.3: mechanisch-biologische Behandlung und Nutzung in Zementwerk, M3.4: mechanisch-biologische Behandlung, Trockenstabilisierung, Verbrennung und Nutzung in Zementwerk, M4.a: verbesserte getrennte Sammlung nach Benchmark-Studie (Brunner et al., 2015), M4.b: verbesserte getrennte Sammlung nach Best-Practice Vorarlberg.

Eine Weiterentwicklung der heimischen Abfall- und Ressourcenwirtschaft im Sinne der Restmüllverwertung geht daher mit einer Zunahme der Energienachfrage und in der Folge je nach Energiemix mit einem Anstieg der Treibhausgasemissionen in der heimischen Treibhausgasbilanz einher. Die Produktion von Sekundärrohstoffen, die ceteris paribus die Produktion von Primärrohstoffen substituiert, verursacht insgesamt relativ geringere Treibhausgasemissionen, diese scheinen je nach Importanteil in der Produktion in ausländischen Treibhausgasbilanzen auf. Für den Klimaschutz ist der Ort der Senkung von Treibhausgasemissionen irrelevant, vielmehr kommt es darauf an, die Emissionen in der Summe weltweit zu verringern. Die Abfallwirtschaft kann so den weltweiten CO₂-Fußabdruck über die Verwertung von Restmüll und die Herstellung von Sekundärrohstoffen bis zu einem gewissen Grad verkleinern.

3. Schlussfolgerungen

Komplexere Abfallwirtschaftssysteme leisten einen umfangreicheren Beitrag zur Schaffung von Arbeitsplätzen und zur Wirtschaftsleistung als einfachere Abfallbehandlungsformen. Sie verursachen allerdings auch einen höheren (heimischen) Energieverbrauch. Wie die Modellsimulation für Szenarien mit mechanisch-biologischer Behandlung und Verbrennung (Modelle 3) zeigt, erlaubt die Erzeugung von Wärme eine teilweise Substitution von fossilen Energieträgern. Die verbesserte getrennte Sammlung (Modelle 4) ermöglicht darüber hinaus eine Substitution von Primärrohstoffen und trägt damit letztlich (weltweit) zur Senkung des Energieverbrauches sowie der CO₂-Emissionen bei. Komplexere Abfallwirtschaftssysteme leisten so ceteris paribus einen Beitrag zur Emissionssenkung und zur Umsetzung der Kreislaufwirtschaft mit Dämpfung der Nachfrage nach Primärressourcen. Andere positive Umwelteffekte einer entwickelten Abfallwirtschaft betreffen die Vermeidung von Abluft- und Abwasseremissionen, die durch Deponierung und Verbrennung entstehen können.

Von der Abfallwirtschaft werden in Zukunft daher zu Recht strategische Wachstumsimpulse für die Wirtschaft und die Umweltqualität erwartet. Dies gilt im europäischen Kontext nicht allein für Industrieländer wie Österreich, deren Abfallbranche bereits als komplex und hochentwickelt einzustufen ist, gleichwohl Entwicklungspotentiale aufweist, sondern insbesondere für osteuropäische Länder, die bislang sehr niedrige Rückgewinnungsquoten aufweisen. Weltweit ergeben sich für die Abfall- und Ressourcenwirtschaft aufgrund weiterhin wachsender Abfallströme und unzureichender Orientierung an einer Kreislaufwirtschaft große Potentiale zur Verbesserung der Umweltsituation und als Beschäftigungsmotor für die lokale Wirtschaft. Für die österreichische Wirtschaft lassen sich weiters Potentiale im Außenhandel mit Abfallwirtschaftstechnologien ableiten. Das übergeordnete Ziel, den Material- und Energieverbrauch absolut zu senken und von der Wirtschaftsleistung zu entkoppeln, sollte dabei nicht außer Acht gelassen werden.

4. Literaturhinweise

- Altendorfer, M., Vergleich abfallwirtschaftlicher Systeme für Siedlungsabfälle mit Schwerpunkt Beschäftigungseffekte, Master-Arbeit, Graz, 2018.
- Altendorfer, M., Pomberger, R., Gelbmann, U., "Weiterentwicklung der Kreislaufwirtschaft – welche Beschäftigungseffekte bringt die optimierte Restabfallbehandlung?", in Thiel, S., Holm, O., Thomé-Kozmiansky, E., Goldmann, D., Friedrich, B. (Hrsg.), Recycling und Rohstoffe, Band 12, Neuruppin, 2019, S. 99-117.
- Brunner, P., Allesch, A., Färber, B., Getzner, M., Grüblinger, G., Huber-Humer, M., Jandric, A., Kanitschar, G., Knapp, J., Kreindl, G., Mostbauer, P., Müller, W., Obersteiner, G., Perfl, A., Pomberger, R., Plank, L., Salhofer, St., Schwarz, Th., Benchmarking für die österreichische Abfallwirtschaft, Technische Universität Wien, Institut für Wassergüte, Ressourcenmanagement und Abfallwirtschaft, Wien, 2015, https://publik.tuwien.ac.at/files/PubDat_247861.pdf.
- Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (BMLFUW), Bundes-Abfall-Wirtschaftsplan 2017, Teil 1, Wien, 2018.
- Ellen MacArthur Foundation, Material Economics, Completing the Picture How the Circular Economy Tackles Climate Change, Cowes, 2019, https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/Completing_The_Picture_How_The_Circular_Economy_Tackles_Climate_Change_V3_26_September.pdf.
- Elskaki, A., Graedel, T. E., "Dynamic Analysis of the Global Metals Flows and Stocks in Electricity Generation Technologies", Journal of Cleaner Production, 2013, 59, S. 260-273.
- International Resource Panel (IRP), Global Resource Outlook 2019: Natural Resources for the Future We Want. A Report of the International Resource Panel, United Nations Environment Programme, Nairobi, 2019.
- Kirchner, M., Sommer, M., Kratena, K., Kletzan-Slamani, D., Kettner-Marx, C., "CO₂ taxes, equity and the double dividend – Macroeconomic model simulations for Austria", Energy Policy, 2019, 126, S. 295-314, <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.11.030>.
- Material Economics, The Circular Economy. A Powerful Force for Climate Mitigation – Transformative innovation for prosperous and low-carbon industry, Stockholm, 2018.
- McKinsey, Lithium and cobalt – a tale of two commodities, Metals and Mining, New York, 2018, <https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/industries/metals%20and%20mining/our%20insights/lithium%20and%20cobalt%20a%20tale%20of%20two%20commodities/lithium-and-cobalt-a-tale-of-two-commodities.ashx>.
- Meyer, I., Sommer, M., Beschäftigungseffekte abfallwirtschaftlicher Modelle der Restmüllbehandlung, WIFO, Wien, 2019, <https://www.wifo.ac.at/wwa/pubid/61774>.

- Meyer, I., Sommer, M., Kratena, K. (2018A), "Volkswirtschaftliche Effekte durch Recycling ausgewählter Altstoffe und Abfälle", in Thiel, St., Thomé-Kozmiensky, E., Goldmann, D. (Hrsg.), Recycling und Rohstoffe, 2018, 11, S. 49-63, <http://www.vivis.de/>.
- Meyer, I., Sommer, M., Kratena, K. (2018B), Energy Scenarios 2050 for Austria, WIFO, Wien, 2018, <https://www.wifo.ac.at/www/pubid/61089>.
- Meyer, I., Sommer, M., Kratena, K., Tesar, M., Neubauer, Ch., Volkswirtschaftliche Effekte durch Recycling ausgewählter Altstoffe und Abfälle, WIFO, Wien, 2016, <https://www.wifo.ac.at/www/pubid/59158>.
- OECD, Business Models for the Circular Economy: Opportunities and Challenges for Policy, Paris, 2019, <https://doi.org/10.1787/g2g9dd62-en>.
- Öko-Institut, Strategien für die nachhaltige Rohstoffversorgung der Elektromobilität. Synthesepapier zum Rohstoffbedarf für Batterien und Brennstoffzellen, Studie im Auftrag von Agora Verkehrswende, Darmstadt, 2017.
- Pomberger, R., Ragossnig, A., "Future Waste – Waste Future", Waste Management and Research, 2014, 32(2), S. 89-90.
- Pomberger, R., Sarc, R., Der Beitrag der Abfallwirtschaft zur Ressourcenschonung und Ressourceneffizienz. Professor Dr. Ing. habil Dr. h.c. Karl J. Thomé-Kozmiensky – Festschrift zum 80. Geburtstag, Neuruppin, 2016, S. 258-276.
- Rüttiger, L., Treimer, R., Tiess, G. I., Grieslop, L., Schüer, F., Wittrock, J., Fallstudie zu den Umwelt- und Sozialauswirkungen der Gewinnung Seltener Erden in Bayan Obo, China, adelphi, Berlin, 2014.
- Scherhauser, S., Happenhofer, A., Meyer, I., Part, F., Sommer, M., Beigl, P., "The importance of the recycling of products used in the decarbonisation of the energy sector", in Cossu, R., He, P., Kjeldsen, P., Matsufuji, Y., Stegmann, R. (Hrsg.), Sardinia 2019 – 17th International Waste Management and Landfill Symposium (Sept 30 – Oct 4, 2019, S. Margherita di Pula, Cagliari, Italy). Proceedings, CISA Publisher, 2019.
- Sommer, M., Meyer, I., Kratena, K., "Neue Energieszenarien 2050 für Österreich", WIFO-Monatsberichte, 2018, 91(5), S. 375-385, <https://monatsberichte.wifo.ac.at/61103>.
- Umweltbundesamt Wien, "Klimarelevanz ausgewählter Recycling-Prozesse in Österreich", Report, 2010, (REP-0303).
- Vidal, O., Goffé, B., Arndt, N., "Metals for a low-carbon society", Nature Geoscience, 2013, 6, S. 894-896.
- Weltbank, The Growing Role of Minerals and Metals for a Low Carbon Future, Washington D.C., 2017.