

Ressourcennutzung in Österreich 2024

Band 4



Ressourcennutzung in Österreich 2024

Wien, 2024

Impressum

Medieninhaber, Verleger und Herausgeber:

Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie
Radetzkystraße 2, 1030 Wien
+43 (0) 800 21 53 59
bmk.gv.at

In Kooperation mit dem Bundesministerium für Finanzen, Abteilung VI/5 Mineralrohstoffpolitik
Johannesgasse 5, 1010 Wien
+43 1 514 33-0
bmf.gv.at

Gesamtumsetzung: BMK Sektion V Umwelt und Kreislaufwirtschaft

Autorinnen und Autoren:

Nina Eisenmenger, André Baumgart, Fridolin Krausmann, Hanspeter Wieland, Willi Haas (Institut für Soziale Ökologie, Universität für Bodenkultur Wien)
Milla Neubauer, Sylvia Gierlinger
(Statistik Austria)

Fachliche Koordination:

Erna Etlinger Van Der Veeren, Andreas Tschulik
(Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie)
Magdalena Pupp, Susanne Strobl, Robert Holnsteiner
(Bundesministerium für Finanzen, Sektion Post, Telekommunikation und Bergbau)

Gestaltung: COPE Content Performance Group

Illustrationen: Leonard Schwieger

Fotonachweise: BKA/Andy Wenzel (Portrait Magnus Brunner), BMK/Cajetan Perwein
(Portrait Leonore Gewessler)

Wien, 2024

Vorwort Magnus Brunner

Um die Sicherung unserer Lebensgrundlagen und den Weg zur Klimaneutralität gewährleisten zu können, braucht es eine Vielzahl an Maßnahmen und neuen Technologien. Zur Fertigung dieser Transformationstechnologien ist eine Steigerung des Bedarfs nach mineralischen Rohstoffen zu erwarten. Aufgrund ihres hohen Versorgungsrisikos werden derzeit 34 Rohstoffe von der Europäischen Union als kritisch, 17 davon als strategisch besonders wichtig eingestuft. Der im Mai 2024 in Kraft getretene Rechtsakt für kritische Rohstoffe sieht vor, die Versorgungsrisiken dieser Rohstoffe zu minimieren, indem heimischer Bergbau und die Kreislaufwirtschaft forciert und Lieferketten diversifiziert werden.

Versorgungssicherheit beinhaltet auch ein nachhaltiges und effizientes Ressourcenmanagement. Dabei bedarf es einer genauen Analyse von Angebot und Nachfrage und des gesamten Lebenszyklus – von der Gewinnung über die Nutzung bis hin zum Recycling. Der vorliegende Bericht, der vierte in der Reihe „Ressourcennutzung in Österreich“, beschäftigt sich mit diesen Themen und versucht einen Weg in die klimaneutrale Zukunft Österreichs zu weisen.



Bundesminister
Magnus Brunner

Vorwort Leonore Gewessler



Bundesministerin
Leonore Gewessler

Der Ressourcenverbrauch unserer Gesellschaft spielt bei der Transformation hin zu einer zukunftsfähigen, klimaneutralen, zirkulären und resilienten Wirtschaft eine zentrale Rolle. Der weltweite Ressourcenverbrauch hat sich in den letzten 50 Jahren mehr als verdreifacht und ohne Gegensteuern wird laut dem aktuellen Global Resource Outlook der Ressourcenverbrauch im Jahr 2060 um 60 Prozent höher sein als heute. Ein geringerer Verbrauch unserer wertvollen Ressourcen reduziert die Treibhausgasemissionen und Belastungen für unsere Umwelt erheblich.

Ressourcenschonung bedeutet Klimaschutz. Ein Schlüsselbaustein für den zirkulären Übergang ist die Kreislaufwirtschaftsstrategie, die 2022 von der österreichischen Bundesregierung beschlossen wurde. Diese zielt darauf ab, die österreichische Wirtschaft und Gesellschaft bis 2050 in eine klimaneutrale und nachhaltige Kreislaufwirtschaft umzugestalten. In einer Kreislaufwirtschaft werden Ressourcen effizient eingesetzt, Produkte werden lange genutzt, geteilt, wiederverwendet, repariert und am Lebensende wiederaufbereitet oder stofflich verwertet. Ein nachhaltiger und vorausschauender Umgang mit unseren Ressourcen eröffnet uns und zukünftigen Generationen die Möglichkeit, eine gerechte und klimaneutrale Zukunft zu gestalten.

Die Bereitstellung von zuverlässigen Daten ist eine essenzielle Grundlage für politische Entscheidungen. Der vorliegende Bericht analysiert anhand neuester Daten den österreichischen Ressourcenverbrauch und stellt damit eine fundierte Basis für nachhaltige Ressourcen- und Kreislaufwirtschaftspolitik zur Verfügung. Ich wünsche allen Leserinnen und Lesern viel Freude beim Lesen!

Inhalt

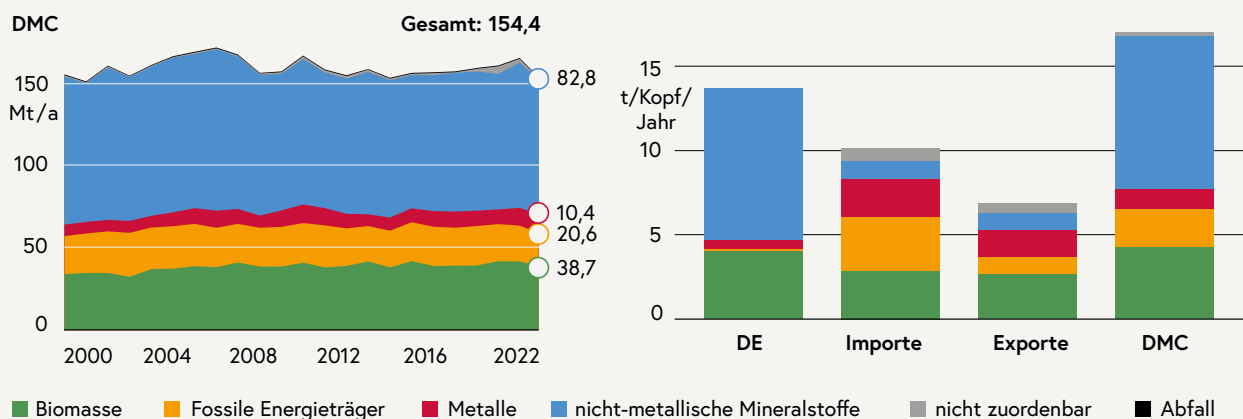
Vorwort Magnus Brunner	3
Vorwort Leonore Gewessler	4
Mit der Kreislaufwirtschaft zu einer nachhaltigen Ressourcennutzung?	
Das Wichtigste in Kürze	8
1 Die planetaren Grenzen sind vielfach überschritten	10
Die Materialflussrechnung dient als Datengrundlage für die Diskussion nachhaltiger Ressourcennutzung.....	15
2 Ressourcennutzung in Österreich	20
Der Ressourcenverbrauch Österreichs stieg in 60 Jahren von 100 Millionen Tonnen auf 154 Millionen Tonnen und übersteigt die planetaren Grenzen.....	23
Ressourcenverbrauch ist eine Kombination aus lokaler Materialentnahme und internationalen Handelsverflechtungen – Österreich zwischen 2000 und 2022.....	29
Unser Ressourcenverbrauch setzt sich aus vier Materialkategorien zusammen: Biomasse, fossile Energieträger, Metalle, nichtmetallische Mineralstoffe.....	39
Biophysische Bestände bestimmen Ressourcenflüsse (stock-flow-service nexus).....	55
Alle materiellen Inputs werden zu Outputs – Abfälle und Emissionen.....	60
Material-Fußabdruck – Österreichs Ressourcennutzung wirkt über die Landesgrenzen hinaus.....	63
Der Ressourcenverbrauch soll vom Wirtschaftswachstum entkoppelt und so die Ressourcenproduktivität gesteigert werden.....	70
Unter den EU-Länder liegt Österreich im hinteren Mittelfeld.....	76
3 Kreislaufwirtschaft	82
Die Herausforderungen im Wandel von einem linearen Wirtschaftssystem zur Kreislaufwirtschaft.....	84
Die Ziele der österreichischen Kreislaufwirtschaftsstrategie sind sehr ambitioniert.....	88
Die 10 R-Strategien der Kreislaufwirtschaft von Rethink bis Recover.....	89
Kreislaufwirtschaftsindikatoren können absolute Mengen oder relative Zahlen abbilden.....	94
Die Visualisierung der Kreislaufwirtschaft in Sankey-Diagrammen.....	97
Österreich auf dem Weg in die Kreislaufwirtschaft – der Fortschritt bei den vier Hauptzielen.....	102
Dekarbonisierung und Kreislaufwirtschaft – Szenarien einer möglichen Zukunft. Österreich bis 2040.....	104

4 Zusammenfassung und Ausblick	116
Ressourcenverbrauch treibt das Überschreiten planetarer Grenzen an	118
Erst durch ambitionierte Kreislaufwirtschaftsmaßnahmen ist ein Material-Fußabdruck von 7 t/cap/a denkbar	120
Eine deutliche Reduktion der Ressourcenflüsse erfordert eine tiefgreifende gesellschaftliche Transformation	121
Wie die großen Materialflüsse kleine, aber kritische nach sich ziehen	122
Kreislaufwirtschaft kann Ressourcenschonung und Dekarbonisierung erfolgversprechend integrieren	123
5 Methoden	124
Materialflussrechnung – Konzept, Datengrundlage und Methode	125
Projekt ACeDC – Methoden zu den Kreislaufwirtschaftsmaßnahmen in den Modulen Gebäude und Mobilität	130
6 Anhang	134
Glossar	135
Abkürzungen	140
Einheiten	140
Datentabellen	141
Literaturverzeichnis	146
Verzeichnis der Abbildungen	162
Verzeichnis der Tabellen	164
Verzeichnis der Statements	165

Mit der Kreislaufwirtschaft zu einer nachhaltigen Ressourcennutzung? Das Wichtigste in Kürze

Ressourcenverbrauch in Österreich

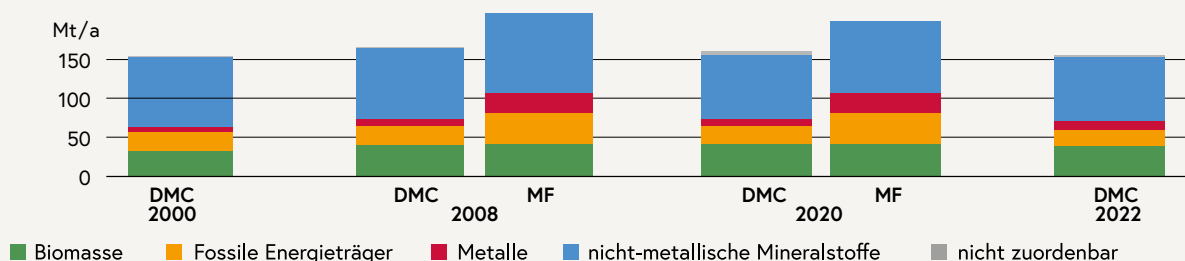
Der Ressourcenverbrauch Österreichs ist seit 1960 kontinuierlich angestiegen und erreichte 2000 154 Millionen Tonnen. Bis 2022 blieb der Verbrauch relativ konstant aber auf hohem Niveau, der pro-Kopf Verbrauch von 17 t/Kopf/Jahr im Jahr 2022 übersteigt die planetaren Grenzen.



Erläuterungen: Die Kategorie „Abfall“ inkludiert die Netto-Importe an Abfällen zur Endbehandlung und Deponierung. „Abfall“ zeigt daher nicht die gesamten Abfälle, die in Österreich behandelt oder deponiert werden. Die Kategorie „nicht zuordenbar“ umfasst einerseits Fertigwaren aus einem Materialmix, der keine Zuordnung zu einer der vier Materialgruppen erlaubt, und andererseits Rohstoffe oder Güter, die aus Gründen der Geheimhaltung in den statistischen Daten nicht genauer benannt werden dürfen.
Quelle: Statistik Austria 2024

Materialfußabdruck in Österreich

Der Materialfußabdruck Österreichs ist größer als der DMC, das bedeutet, der globale Rohstoffbedarf durch den Endkonsum ist größer als der Materialverbrauch innerhalb der Österreichischen Grenzen. In der Entwicklung zeigen sich MF und DMC sehr ähnlich, zwischen 2008 und 2020 ist der MF von 209 Mt/a auf 199 Mt/a um 5% gesunken.

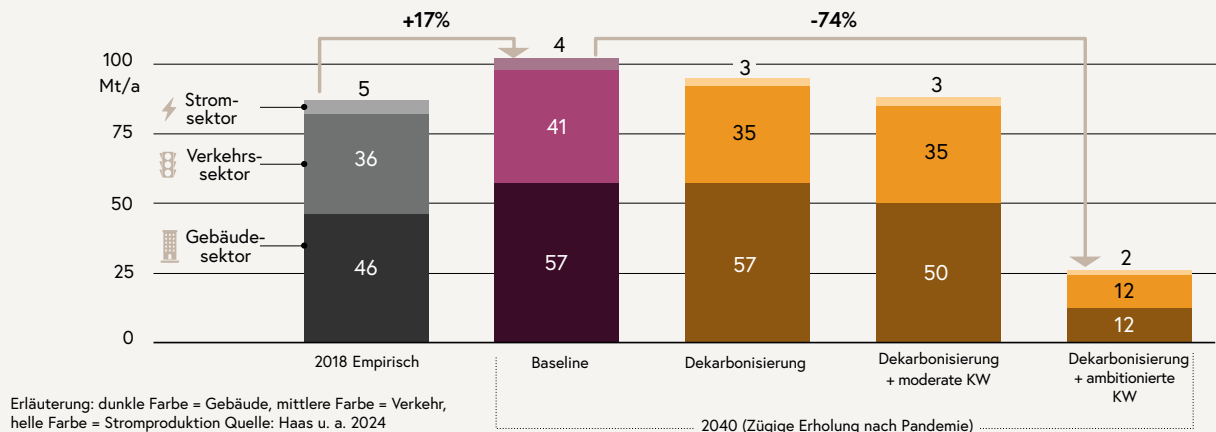


Erläuterungen: Die Kategorie „nicht zuordenbar“ umfasst einerseits Fertigwaren aus einem Materialmix, der keine Zuordnung zu einer der vier Materialgruppen erlaubt, und andererseits Rohstoffe oder Güter, die aus Gründen der Geheimhaltung in den statistischen Daten nicht genauer benannt werden dürfen. Quelle: Statistik Austria 2024

Einfluß von Kreislaufwirtschaftsmaßnahmen

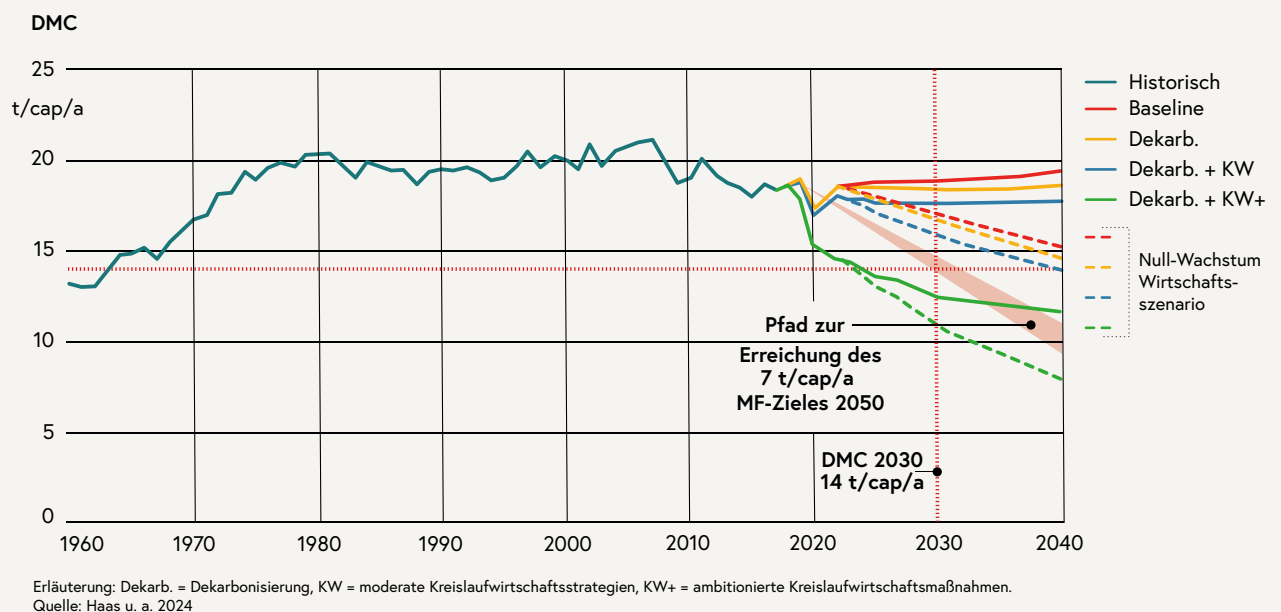
Ambitionierte Kreislaufwirtschaftsmaßnahmen können zu einer deutlichen Reduktion des Materialverbrauchs auf 26 Mt/a im Jahr 2040 führen (-37 %). Die wichtigsten Maßnahmen sind tiefgreifende, suffizienzbasierte Maßnahmen wie z.B. ein Baustopp auf unbebauter Fläche, eine Lebenszeitverlängerung von Gebäuden, und eine Verschiebung im Modal-Split hin zu aktiver Mobilität, Car-Sharing.

PROZESSIERTE MATERIALIEN

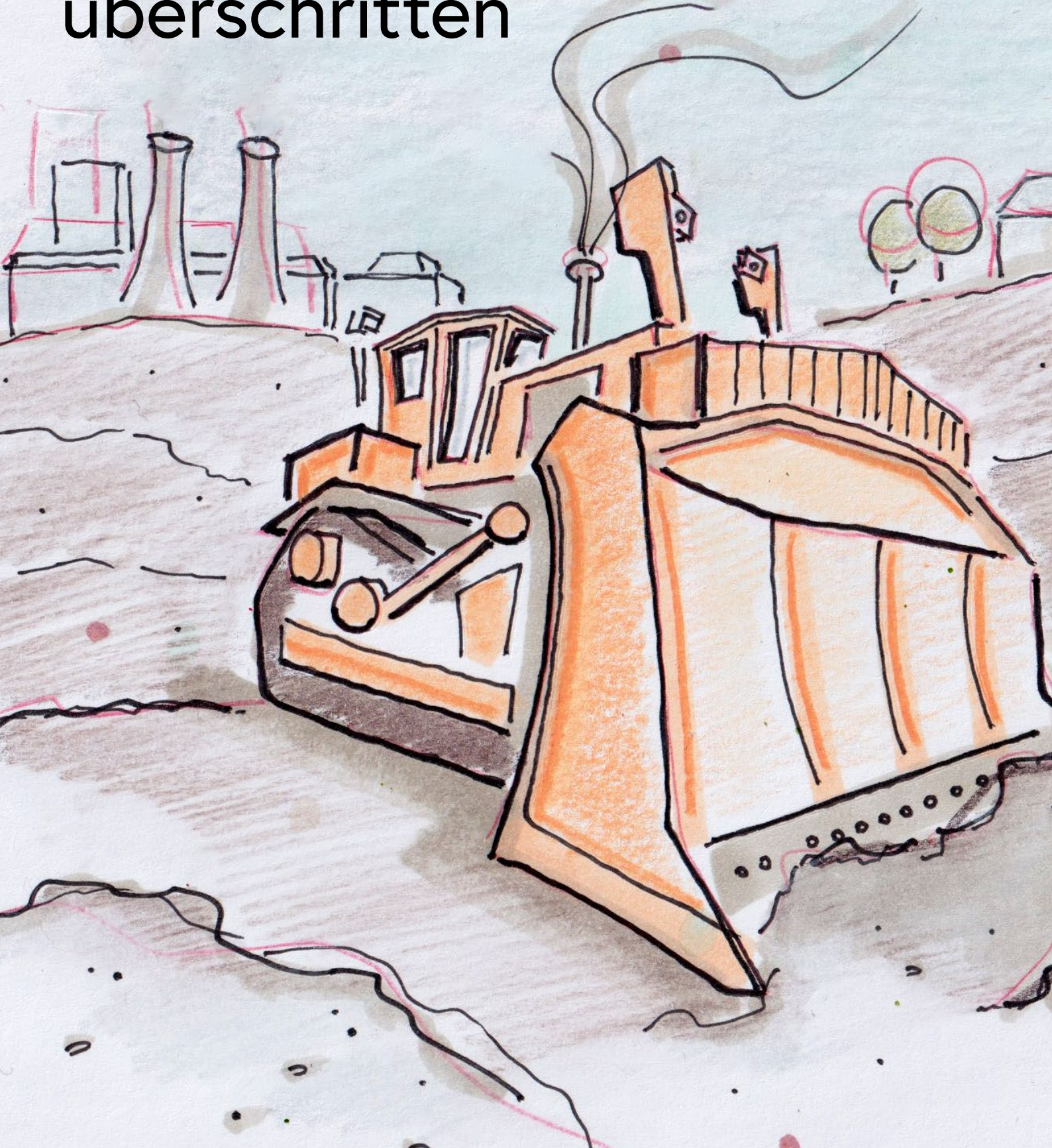


Erreichung der Ziele der Kreislaufwirtschaftsstrategie

Um die Ziele der Kreislaufwirtschaftsstrategie zu erreichen, ist eine deutliche Abkehr von der aktuellen Entwicklung erforderlich. Den größten Effekt haben Verringerungsstrategien (narrowing), die den Materialverbrauch um bis zu 70 % senken können.



1 Die planetaren Grenzen sind vielfach überschritten





Der derzeitige Lebensstil vor allem der industrialisierten Welt ist nicht nachhaltig; ganz im Gegenteil, unsere gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Aktivitäten verursachen Umweltbelastungen, welche die planetaren Grenzen übersteigen (Rockström u. a. 2009b; Steffen u. a. 2015; Fanning u. a. 2022). Eine jüngste Veröffentlichung von Richardson u. a. (2023) argumentiert, dass global sechs der neun planetaren Grenzen überschritten sind, drei bis vier davon in der High-Risk-Zone (biosphere integrity, climate change, biogeochemical flows und novel entities). Die Autor:innen zeigen weiters, dass der Grad der Überschreitung seit den ersten Bewertungen (Rockström u. a. 2009b; Steffen u. a. 2015) weiter zugenommen hat. Umweltbelastungen steigen also weiter an, und das rasant; ein Effekt, der in der wissenschaftlichen Literatur als die „große Beschleunigung“ (great acceleration; Steffen u. a. 2015) bezeichnet wird.

Alle Umweltauswirkungen des gesellschaftlichen Handelns sind Folgen der sozioökonomischen Ressourcennutzung (siehe die Ausführungen im nächsten Kapitel) und sind eng gekoppelt an wirtschaftliche Aktivitäten und gesellschaftlichen Konsum (Brand-Correa u. a. 2020). Ein Umdenken und eine Ressourcenwende hin zu weniger Ressourcenverbrauch fällt uns daher sehr schwer. Dennoch, die immer stärker sichtbaren und spürbaren Umweltkrisen, z. B. die Klimakrise oder die Biodiversitätskrise, mahnen zu raschem Handeln: Wir müssen die Umweltbelastungen und den Ressourcenverbrauch senken. Bisherige Studien sehen bis jetzt leider wenige Erfolgsgeschichten (siehe z. B. den systematischen Literaturüberblick von Haberl u. a. 2020). Die empirische Analyse zeigt, dass deutliche Veränderungen oder sogar Trendwenden nur in Phasen von Wirtschaftskrisen zu beobachten sind.

Im letzten Jahrzehnt gab es eine rasche Abfolge von unterschiedlichen sozialen, ökonomischen und ökologischen Krisen; sie scheinen zu einem prägenden Merkmal unserer globalisierten Welt geworden zu sein. Alleine die letzten fünf Jahre waren charakterisiert durch eine sich verschärfende Klimakrise mit einer Häufung von Hitzewellen und Extremwetterereignissen. Die gesellschaftliche Nutzung von fossilen Energieträgern und die massiven Änderungen in der Landnutzung treiben diese Situation an, gleichzeitig verursachen die Folgen der Klimakrise enorme Schäden für die Infrastrukturen wie auch für Land- und Forstwirtschaft. Ein Ausstieg aus der Nutzung fossiler Energieträger in den nächsten Jahren ist unabdingbar. Die COVID-Pandemie hat eine in den letzten Jahrzehnten nicht gekannte Gesundheitskrise ausgelöst, die zumindest teilweise auf die zunehmende raumgreifende landwirtschaftliche Ressourcennutzung zurückzuführen ist. Das ständige Zurückdrängen von Habitaten macht ein Überspringen von Krankheitserregern zwischen Wild- und Nutztieren und schließlich auf den Menschen immer wahrscheinlicher (Zoonosen) (Dobson u. a. 2020; White und Razgour 2020; Bernstein u. a. 2022). Die COVID-Pandemie hat außerdem Lieferketten und damit die gesellschaftliche Versorgung mit Ressourcen immer wieder unterbrochen (Chowdhury u. a. 2021). Schließlich hat der russische Angriffskrieg auf die Ukraine Europa mit weitreichenden politischen und wirtschaftlichen Auswirkungen überrascht. Auch der Ukrainekrieg hat einen engen Zusammenhang zu Fragen der Ressourcennutzung, sowohl in der Ursache des Konflikts (hohe Vorkommen an Rohstoffen für Zukunftstechnologien in der Ukraine;

Zeit Online 2022) als auch in den Auswirkungen des Krieges. Letztere zeigen sich vor allem in Einbrüchen der Versorgungsketten bei fossilen Energieträgern und Getreide (Behnassi und El Haiba 2022; Zhou u. a. 2023).

Jede Krise hat neben den vordergründigen Problemen auch großes Potenzial für Veränderung. Eingetretene Pfade werden zumindest kurzfristig verlassen, Neues wird ausprobiert und erlebbar gemacht. So war beispielsweise eine breite Umsetzung von Home-Office für einen guten Teil der Gesellschaft vor der Pandemie nicht denkbar. Neue Arbeitsmodelle wurden durch die COVID-Pandemie sehr schnell entwickelt und ausprobiert und in vielen Bereichen auch über die Pandemie hinaus dauerhaft umgesetzt. Ebenso war ein Verzicht auf oder eine Reduktion von Flugreisen (egal ob für Arbeitszwecke oder privat) bisher undenkbar. Einige der Veränderungen waren zwar vorerst nur temporär, sie haben jedoch Optionen aufgezeigt, die ein Großteil der Bevölkerung erlebt hat und die auch in Zukunft verfügbar wären. Aktuell zeigt sich, wie sehr der Umstieg auf erneuerbare Energieträger und eine Reduktion des Energieverbrauchs, angetrieben durch die stark steigenden Energiepreise im Zuge des Ukrainekrieges, beschleunigt werden kann.

Mit dem Blick auf eine notwendige Ressourcenwende stellt sich die Frage, wie sich die Ressourcenflüsse in diesen turbulenten Jahren entwickelt haben, was aus den Krisenjahren gelernt werden kann, welche Hebel erfolgversprechend sind und ob sie sich in Maßnahmen übersetzen lassen. Gleichzeitig muss bedacht werden, dass gerade die aktuellen Problemlagen Fragen zu regionalen, nationalen wie auch globalen Ungleichheiten aufwerfen. Es muss daher beobachtet werden, wer den Nutzen aus dem Ressourcenverbrauch zieht und wer unter den negativen ökologischen und sozialen Auswirkungen der Extraktion, Verarbeitung und der übermäßigen Nutzung der Ressourcen leidet.

Damit wir Handlungsoptionen erkennen und Maßnahmen entwickeln können, brauchen wir erstens einen Überblick über die gesellschaftliche Entnahme, Verteilung, Nutzung und Entsorgung von natürlichen Ressourcen (Biomasse, fossile Energieträger, Metalle und mineralische Rohstoffe sowie Wasser, Land und Ökosystemleistungen) und zweitens eine Analyse der sozioökonomischen Zusammenhänge und Triebkräfte, die den Ressourcenverbrauch antreiben und in seiner Qualität und Quantität bestimmen. Die empirischen Daten werden von der Materialflussrechnung (material flow analysis/accounting, MFA; Eurostat 2018; Krausmann u. a. 2017) als Teil der Umweltgesamtrechnungen bereitgestellt (siehe den folgenden Abschnitt bzw. die methodischen Ausführungen im Anhang unter „Materialflussrechnung“). Mit dieser Datengrundlage können Zusammenhänge aufgezeigt werden, einerseits zwischen Ressourcenentnahme, Handel und Endnachfrage und andererseits zwischen Wirtschaftsentwicklung und Ressourcenverbrauch sowie zwischen politischen Maßnahmen und deren Wirkung auf biophysische Indikatoren.

Der aktuelle Ressourcennutzungsbericht, herausgegeben vom Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK) und dem Bundesministerium für Finanzen (BMF), ist Teil einer Reihe, die nunmehr vier Bände umfasst. Die Berichte fassen die aktuelle Forschung zur österreichischen Ressourcennutzung zusammen und diskutieren Entwicklungen und Trends des Materialverbrauchs in

den letzten zwei bis drei Jahrzehnten. Darüber hinaus greift jeder Bericht ein aktuelles Schwerpunktthema auf. Widmete sich der erste Bericht (BMLFUW und BMWFJ 2011) in seinem Schwerpunktthema den Baurohstoffen, die mehr als die Hälfte des Ressourcenverbrauchs in Österreich ausmachen, so fokussierte der zweite Bericht (BMLFUW und BMWFW 2015) auf die Biomassematerialien als Rückgrat einer Bioökonomie und der dritte Bericht (BMK und BMLRT 2020) auf die nachhaltige Ressourcennutzung als Querschnittsfeld zwischen Ressourceneffizienz, Klimaschutz und Rohstoffen für Zukunftstechnologien. Der vorliegende vierte Bericht widmet sich der Kreislaufwirtschaft und somit der empirischen Grundlage für zwei der jüngsten politischen Strategien: die nationale Kreislaufwirtschaftsstrategie Österreichs (BMK 2022), im Dezember 2022 von der Regierung im Ministerrat beschlossen, die darauf abzielt, die österreichische Wirtschaft und Gesellschaft bis 2050 in eine klimaneutrale, nachhaltige Kreislaufwirtschaft umzugestalten; sowie den Masterplan Rohstoffe 2030 (BMLRT 2021), der eine ökologisch und sozial sichere Versorgung Österreichs mit mineralischen Rohstoffen aus nationalen und internationalen Quellen zum Ziel hat.

Die Inhalte des vorliegenden Berichts sind entlang von zwei Hauptkapiteln organisiert: Kapitel 2 zeigt die aktuellen Zahlen und Trends der österreichischen Ressourcennutzung von 2000 bis 2022 anhand von vier Materialkategorien (Biomasse, fossile Energieträger, Metalle und nichtmetallische Mineralstoffe) und der materiellen Outputs, die Einbettung in globale Lieferketten, einen Vergleich mit den EU-Mitgliedstaaten und den Zusammenhang mit der Wirtschaftsentwicklung (Ressourcenproduktivität und Entkoppelung). Kapitel 3 widmet sich der Kreislaufwirtschaft und diskutiert die Ziele der nationalen Kreislaufwirtschaftsstrategie vor dem Hintergrund der aktuellen Daten der Materialflussrechnung. Darauf aufbauend wird ein Blick in die Zukunft vorgestellt, der auf den Ergebnissen des Forschungsprojekts „Kreislaufwirtschaft und Dekarbonisierung: Synergien und Trade-Offs“¹ aufbaut. Dabei wird die Entwicklung der Kreislaufwirtschaft in Österreich entlang von vier Zukunftspfaden bis 2040 modelliert. Dieser Blick in eine mögliche Zukunft zeigt, wie ein klimaneutrales und ressourcenschonendes Leben im Jahr 2040 aussehen kann.

1 forschung.boku.ac.at/fis/suchen.projekt_uebersicht?sprache_in=de&menue_id_in=300&id_in=13725

Die Materialflussrechnung dient als Datengrundlage für die Diskussion nachhaltiger Ressourcennutzung

Statement 1 – Österreich als internationaler Vorreiter systematischer Ressourcenberichterstattung: Österreich kann zu Recht als einer der internationalen Vorreiter systematischer Ressourcenberichterstattung gelten. Zwar hatte Japan schon 2004 auf einem G8-Treffen seinen Vorschlag zum Aufbau einer „sound material cycle society: reduce, reuse, recycle“ vorgelegt. In Europa und den USA jedoch dominierte eine verwirrende Vielfalt emissionsseitiger Belastungen (Waldsterben, Luftverschmutzung, Lärmbelästigung, Gewässergüte ...) die Umweltberichterstattung. Dem Zugang über Ressourcen lag die Einsicht zugrunde, dass alles, was als Emissionen und Abfälle belastet, letztlich vom Input abhängt – und mithilfe ökonomischer Statistiken systematisch erfassbar ist. Diese Sichtweise war in Österreich sowohl im Umweltministerium als auch in der Bundesanstalt Statistik Österreich sehr willkommen. Sie unterstützten die Entwicklung einer entsprechenden Materialflussstatistik. Nach diesem Vorbild entstand schließlich auch bei Eurostat eine solche Datenbasis europaweit (EW-MFA) ab 2011. Einen wichtigen Schritt setzte die UNEP mit der Einrichtung eines „International Resource Panel“ (2007), der 2011 in einen ersten Bericht „Decoupling natural resource use and environmental impacts from economic growth“ (UN IRP 2011) mündete und u. a. in weiterer Folge (2016) zu einem globalen Datensatz von Ressourcenflüssen in Zeitreihen führte. – em. Univ.-Prof. Dr. Marina Fischer-Kowalski, Institut für Soziale Ökologie (SEC), BOKU University

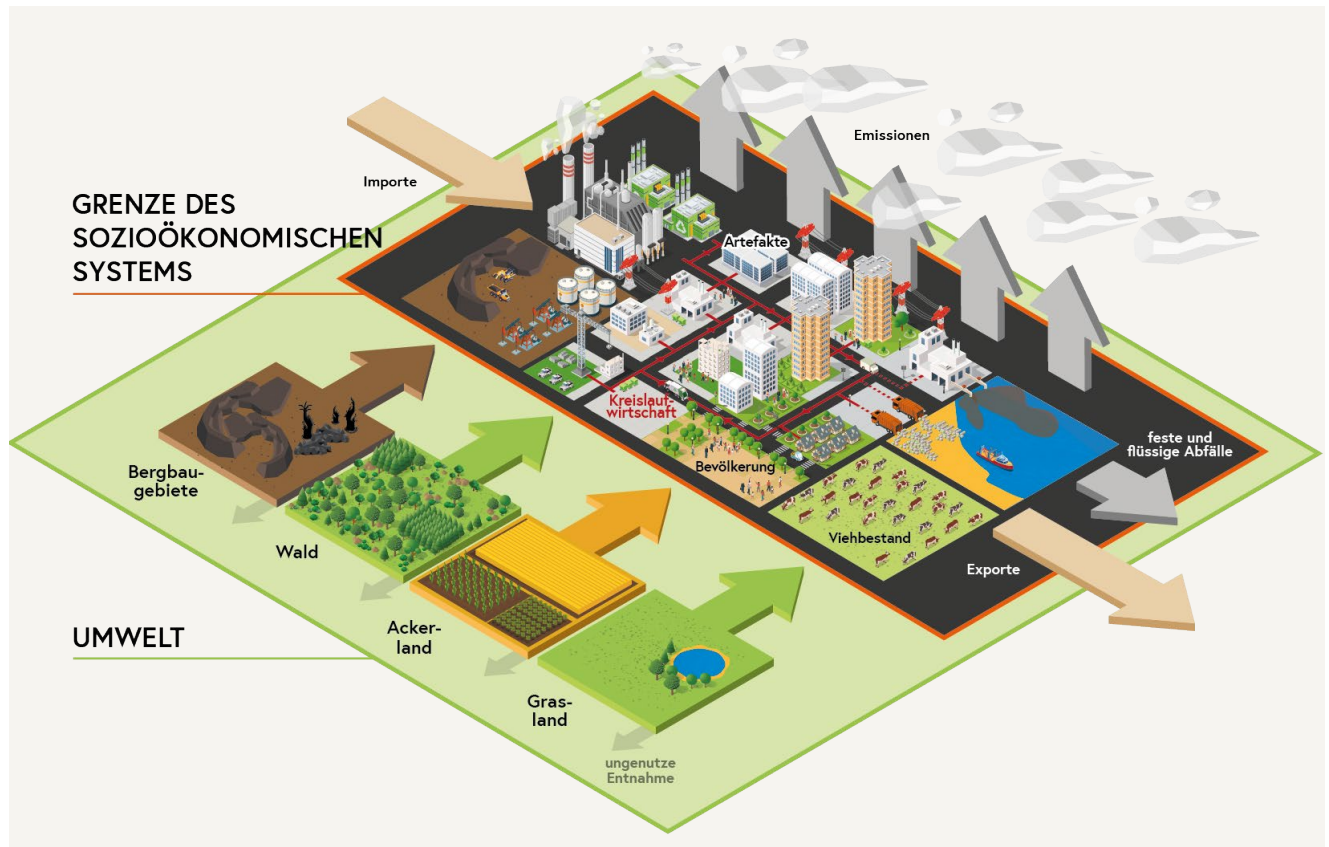
Unser Leben als Gesellschaft mit all unseren Aktivitäten in Produktion und Konsum ist direkt mit der Nutzung von natürlichen Ressourcen verbunden. Wir benötigen Ressourcen insbesondere für den Aufbau und Erhalt von gebauten Beständen (z. B. Gebäude, Straßen, sonstige Infrastruktur wie Kanalisation, Energieinfrastruktur, Brücken etc.) und die Ernährung von Menschen sowie Nutz- und Haustieren, aber auch für die produzierten Konsumgüter (z. B. Kleidung, Möbel, Gerätschaft). Durch die steigenden Bevölkerungszahlen und die sich verändernden Bedürfnisse und Wünsche unserer Gesellschaft wachsen Bestände kontinuierlich, d. h., wir bauen neue Häuser, Fahrzeuge, Straßen, wir kaufen zunehmend mehr Geräte und Konsumgüter und wir müssen eine wachsende Bevölkerung und einen größer werdenden Nutztierbestand ernähren. Einer wachsenden Gesellschaft steht jedoch nur eine Erde mit einer begrenzten Menge an Ressourcen zur Verfügung. Aus diesem Konflikt entstehen jene Umweltprobleme, die immer deutlicher spürbar werden, beispielsweise in Form von immer häufiger und intensiver werdenden Hitzewellen und anderen Extremwetterereig-

nissen sowie von Biodiversitätsverlusten. Die zunehmend globale Vernetzung unserer Produktion und unseres Konsums führt auch vermehrt zu Versorgungsunsicherheiten und -engpässen bei bestimmten Rohstoffen und Gütern.

Um gesellschaftliche Ressourcennutzung zu verstehen und passende Maßnahmen zu entwickeln, braucht es eine wissenschaftlich fundierte, theoretische Basis und konsistente Analysen von Mustern und Trends. Das wissenschaftliche Konzept, auf das sich dieser Bericht in der Analyse des gesellschaftlichen Ressourcenverbrauchs bezieht, ist jenes des gesellschaftlichen Metabolismus (Haberl u. a. 2016; Haberl u. a. 2019) (siehe Abbildung 1).

Gesellschaften werden darin analog zu einem Organismus verstanden, der die Zufuhr von Nahrung benötigt, um mit Energie versorgt zu werden und zu wachsen und seinen Aktivitäten nachgehen zu können. Ressourcen werden innerhalb bestimmter Systemgrenzen aus der Natur entnommen oder zwischen sozioökonomischen Systemen gehandelt und schließlich als Abfälle und Emissionen wieder an die Natur abgegeben (siehe Abbildung 1). Den physikalischen Grundgesetzen der Thermodynamik folgend werden alle materiellen Inputs (Rohstoffe) am Ende der Nutzungsphase zu Outputs (Emissionen in Luft und Wasser sowie feste Abfälle) umgewandelt. Ein längeres Verweilen von Rohstoffen in der Gesellschaft geschieht dann, wenn Ressourcen in Form von Beständen (Gebäude, Straßen, Konsumgüter etc.) mit einer gewissen Lebensdauer in der Gesellschaft genutzt werden. Inputs und Outputs, vermittelt über Bestände, stehen also in direktem Zusammenhang. Daraus folgt: Wenn wir Emissionen reduzieren wollen, müssen wir unsere Rohstoffinputs verringern und unsere Bestände dahingehend überdenken und anpassen.

Damit wir besser verstehen, wofür wir die verschiedensten Ressourcen nutzen, müssen wir diese entlang ihres Weges von Extraktion über die gesellschaftliche Produktion bis hin zum Konsum verfolgen. Die MFA hat sich nach einer Konsolidierung der Methoden, Daten und Analysen zu den gesellschaftlichen Inputs (UN 2017; Eurostat 2018) in den letzten Jahren in diese Richtung weiterentwickelt. Aktuelle Forschungsschwerpunkte sind die Berechnung der gesellschaftlichen Bestände (Krausmann, Wiedenhofer, u. a. 2017; Krausmann u. a. 2020; Wiedenhofer u. a. 2021; Haberl u. a. 2023), die massenbilanzierte Verknüpfung der Materialinputs und Materialoutputs unter Berücksichtigung eben dieser Bestände, wodurch in einem weiteren Schritt eine empirische Analyse der gesamtwirtschaftlichen Kreislaufwirtschaft möglich wurde (Haas u. a. 2015; Mayer u. a. 2018; Haas u. a. 2020). Ebenso wurden globale Handelsverflechtungen analysiert und Umweltauswirkungen von z.B. österreichischen Konsumaktivitäten auf anderen Kontinenten identifiziert (Lenzen u. a. 2012; Schaffartzik u. a. 2014; Wiedmann u. a. 2015; UN IRP 2019a; Dorninger u. a. 2021; Lenzen u. a. 2021). Auch die Umweltauswirkungen von Materialverbrauch und -Extraktion werden zunehmend erfasst und analysiert, insbesondere die Auswirkungen auf Biodiversität (Lenzen u. a. 2012; Marques u. a. 2019; Luckeneder u. a. 2021; Giljum u. a. 2022). Schließlich werden MFA-Daten auch in größeren Rahmenkonzepten zu wellbeing, doughnut economics und den planetaren Grenzen aufgegriffen (O'Neill u. a. 2018; Fanning u. a. 2022).



Die Umweltgesamtrechnungen (BMK 2021) und darin die MFA (Krausmann, Schandl u. a. 2017; Eurostat 2018) liefern uns die Datengrundlage zur Analyse der gesellschaftlichen Ressourcennutzung und zur Entwicklung und Evaluierung von politischen Strategien. Die Ressourcennutzung beinhaltet viele verschiedene Materialien mit sehr unterschiedlichen biophysischen Charakteristika und gesellschaftlichen Verwendungsarten. In der MFA werden die Daten daher zum besseren Verständnis in vier Hauptkategorien unterteilt: Biomasse, fossile Energieträger, Metalle und nichtmetallische Mineralstoffe. Jede dieser vier Hauptkategorien kann wiederum in Unterkategorien (z. B. Feldfrüchte, Nichteisenmetalle, basaltische Gesteine) gegliedert und schließlich auf einzelne Materialien (z. B. Weizen, Laubholz, Kohle, Nickelerz, Kalkstein, Phosphate) heruntergebrochen werden.

Zusätzlich zu den vier Hauptmaterialgruppen werden in der MFA und in diesem Bericht weitere Kategorien verwendet. Die Kategorie „nicht zuordenbar“ setzt sich aus zwei unterschiedlichen Gruppen zusammen: Zum einen handelt es sich hier um Fertigwaren aus einem Materialmix, der keine Zuordnung zu einer der vier Materialgruppen erlaubt (z. B. Kunstwerke, Messinstrumente etc.); diese Materialgruppe wird in anderen Berichten auch „andere Erzeugnisse“ oder „andere Produkte“ genannt. Zum anderen werden hier Güter inkludiert, die aus Gründen der Geheimhaltung in den statistischen Daten nicht genauer genannt werden dürfen (Ergebnisse dazu siehe Abbildung 7). Die Kategorie „Abfall zur Endbehandlung und Deponierung“ umfasst Importe und Exporte von Abfällen unterschiedlicher Materialzusammensetzung, die im Zielland der Endbehandlung zugeführt werden.

Abbildung 1:
gesellschaftlicher
Metabolismus.

Wasser² wird in der MFA nicht erfasst, was nicht einer geringeren Bedeutung, sondern vielmehr den großen Mengen geschuldet ist, die jene der anderen Materialien um einen Faktor 50 (Krausmann u. a. 2018; UN IRP 2019a) übersteigt. Wasserverbrauch wird in gesonderten Wasserbilanzen erfasst (Eurostat 2015; UN 2023). Im vorliegenden Ressourcenbericht wird nur kurz (siehe nächstes Kapitel) auf den österreichischen Wasserbedarf und -verbrauch eingegangen.

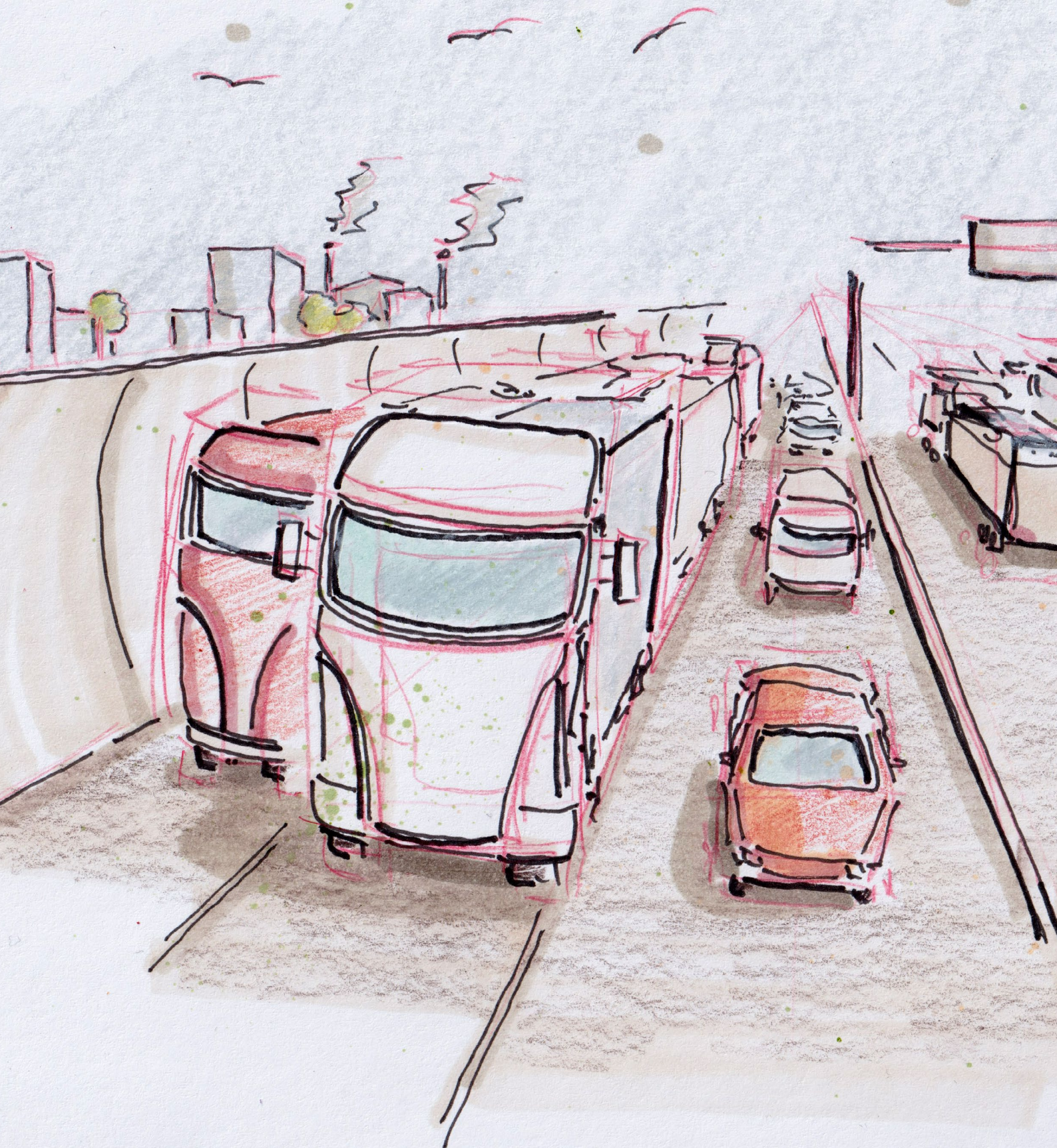
Die MFA umfasst somit alle materiell und energetisch genutzten Rohstoffe (Biomasse, fossile Energieträger, Metalle und nichtmetallische Mineralstoffe) in der Einheit metrische Tonnen (Methoden und Datenquellen sind im Anhang „Materialflussrechnung“ erläutert). Die wichtigsten spezifischen Begrifflichkeiten der MFA sind im Glossar (siehe Anhang „Glossar“) und in der Methodenbeschreibung (siehe Anhang „Methoden“) aufgelistet und erklärt.

In den nunmehr vier Ressourcennutzungsberichten (BMLFUW und BMWFJ 2011; BMLFUW und BMWFW 2015; BMK und BMLRT 2020) werden die aktuellen Daten der MFA, d. h. die Art und Menge der Rohstoffe, welche in der österreichischen Wirtschaft verarbeitet werden und den inländischen Konsum befriedigen, vorgestellt und diskutiert. Die Daten der MFA werden ebenso in verschiedenen Publikationen der Statistik Austria präsentiert (Statistik Austria 2024).

Abschließend ein Hinweis: Alle Daten sind als gerundete Werte angegeben. Etwaige Rundungsdifferenzen wurden nicht ausgeglichen.

2 Ausgenommen jenes Wasser, das in verschiedenen Materialien enthalten ist, z. B. in landwirtschaftlichen Produkten, Holz, fossilen Energieträgern etc. Siehe Anhang „Materialflussrechnung“.

2 Ressourcennutzung in Österreich





Statement 2 – Eine Reduktion des Materialbedarfs ist technisch machbar und würde einen wichtigen Beitrag zum Klima- und Naturschutz leisten: Österreich nutzt Naturressourcen aus aller Welt, Metalle, fossile Energie, Dünger und Futtermittel, wie der Bericht eindrucksvoll zeigt. Materialproduktion ist für ein Viertel der globalen Treibhausgasemissionen verantwortlich. Eine Reduktion des Materialbedarfs ist technisch machbar und würde einen wichtigen Beitrag zum Klima- und Naturschutz leisten. Wohnungen anstatt von Einfamilienhäusern, Auto teilen oder ganz darauf verzichten, gute Qualität einkaufen anstatt Wegwerfprodukte. Die Politik sollte dazu Anreize geben. – Univ.-Prof. Dr. Edgar Hertwich, Prof. für Industrielle Ökologie, NTNU Norwegen, und Mitglied des Europäischen Wissenschaftlichen Beirats für Klimawandel der Europäischen Kommission

Um unsere gesellschaftlichen Aktivitäten und Wirtschaftsprozesse zu betreiben, werden in Österreich jährlich große Mengen natürlicher Ressourcen genutzt und verbraucht. Im Jahr 2022 lag der Materialverbrauch (domestic material consumption, DMC) in Österreich bei 17 Tonnen pro Kopf und Jahr, der Energieverbrauch lag bei etwa 150 MJ pro Kopf und Jahr. 25 % des Materialverbrauchs stellten Biomassematerialien, die als Nahrungs- oder Futtermittel sowie Energieträger verwendet wurden; metallische und nichtmetallische Mineralstoffe (60 %) kommen unter anderem im Hoch- und Tiefbau oder der Produktion von Konsumgütern zum Einsatz, während fossile Energieträger (13 %) u. a. Wohn- und Arbeitsräume beheizen und unsere vielfältigen Maschinen und Geräte betreiben. Doch wir nutzen nicht nur die oben genannten Materialien, wir nutzen zusätzlich Wasser u. a. für Getränke, in Kühlprozessen und in vielen Industrieprozessen (z. B. Lösungs- oder Bindemittel). Österreich ist ein wasserreiches Land, dennoch sind auch wir von lokalen Trockenzeiten und von Starkregenereignissen, die zu Überschwemmungen führen können, betroffen.³ Durch die rasch zunehmende Klimaveränderung wird eine ressourcenschonende Wasserverwendung zukünftig an Bedeutung gewinnen.

3 umweltbundesamt.at/wasser

Statement 3 – Österreich ist reich an Wasser – aber der Wasserverbrauch wird in Zukunft deutlich ansteigen: Österreich wird auch in Zukunft ein hohes Wasserdargebot haben, aber der Anteil der nutzbaren Grundwasserressourcen kann sich durch Effekte wie z. B. den Klimawandel von derzeit 5,1 Mrd. m³ pro Jahr bis 2050 um bis ein Fünftel verringern. Es werden sich regional noch deutlichere Unterschiede speziell in niederschlagsarmen Regionen im Osten Österreichs ergeben. Der genutzte Anteil wird in Zukunft steigen (Anstieg Nutzungsintensität des Grundwassers von 16 % auf 26 %). Die Grundwassernutzung macht 40 % des gesamten Wasserbedarfs in Österreich aus. Der stärkste Anstieg mit fast einer Verdopplung des Bedarfs wird für die Bewässerung in der Landwirtschaft bis 2050 erwartet. Grundwasservorkommen werden für Kühlung und Energiegewinnung in Zukunft stärker genutzt werden. Die intensive Nutzung von Fließgewässern und die damit einhergehende Verbauung führen aufgrund hydromorphologischer Beeinträchtigungen zu massiven Auswirkungen auf die ökologische Situation, mehr als die Hälfte der Gewässer erreicht nicht den Zielzustand nach EU-Wasserrahmenrichtlinie. Rund 60 % der Fischarten Österreichs sind daher gefährdet. – Univ.-Prof. Dr. Thomas Hein, Institut für Hydrobiologie und Gewässermanagement (IHG), BOKU University

Der Ressourcenverbrauch Österreichs stieg in 60 Jahren von 100 Millionen Tonnen auf 154 Millionen Tonnen und übersteigt die planetaren Grenzen

Im Zuge des wirtschaftlichen Aufschwungs nach dem Zweiten Weltkrieg erlebten viele heute industrialisierte Staaten einen kontinuierlichen Anstieg des Wohlstandsniveaus. Durch diese ökonomische Entwicklung sowie die Verdreifachung der weltweiten Bevölkerung seit 1950 ist der globale Ressourcenverbrauch von 15 Milliarden Tonnen im Jahr 1950 auf 89 Milliarden Tonnen im Jahr 2015 (Krausmann u. a. 2018) angestiegen, hat sich also versechsfacht. Dieser rasante Anstieg des Material- und Energieverbrauchs, der auch als „Große Beschleunigung“ (great acceleration; Steffen u. a. 2015) bezeichnet wird, steigert auch die mit dem Verbrauch verursachten Umweltbelastungen wie Treibhausgasemissionen, die industrielle oder landwirtschaftliche Beanspruchung natürlicher Lebensräume, Biodiversitätsverluste und die Ausbeutung von natürlichen Ressourcen, beispielsweise in Form von Entwaldung, Überfischung oder Bodenversiegelung. Knappheiten von kritischen Rohstoffen sind der geologischen Ungleichverteilung, geopolitischen Spannungen und der Auslagerung von Bergbau- und Weiterverarbeitungsaktivitäten aus Europa geschuldet.

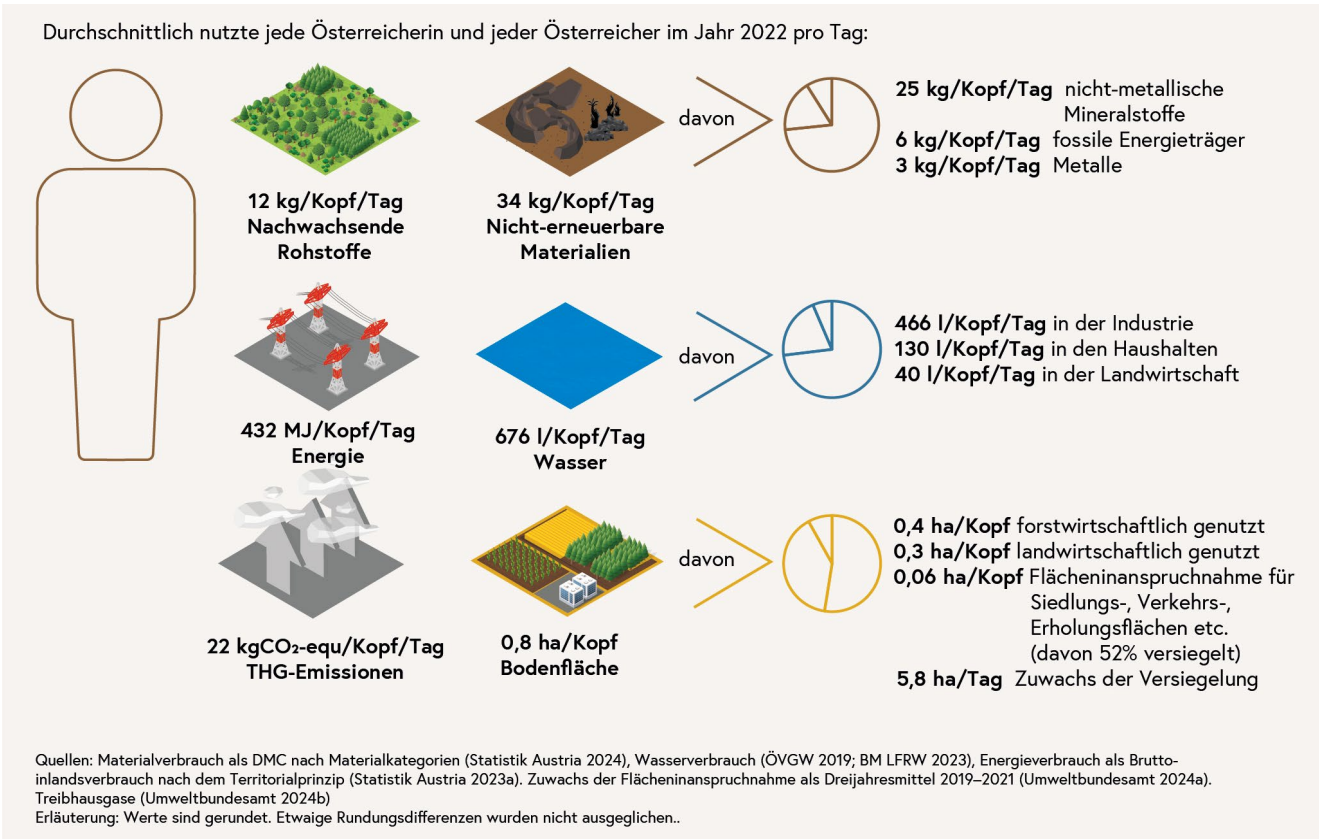
Statement 4 – Materialentnahme und Bestandsaufbau forcieren Versiegelung und Fragmentierung von Landschaften und verursachen Biodiversitätsverluste: Die natürlichen Ökosysteme brauchen mehr Platz, sprich mehr Fläche. Das ist entscheidend für den Erhalt und die Wiederherstellung der biologischen Vielfalt sowie für die Gewährleistung vielfältiger Services für die Gesellschaft, wie z. B. die Unterstützung der Ernährungssicherheit, die Sicherstellung der Wasserversorgung, den Klimaschutz und die Klimawandelanpassung durch mehr natürliche Pufferkapazitäten. Damit das möglich wird, braucht es eine Trendumkehr in der Dynamik des wachsenden Flächenverbrauchs sowie eine Extensivierung der Landwirtschaft und eine Reduktion der Fragmentierung von Lebensräumen. Was hat das mit Ressourcenverbrauch zu tun? Sehr viel, weil die Ressourcenentnahme in Bergbau, Land- und Forstwirtschaft und die Ressourcenverwendung für Straßen, Gebäude und Infrastrukturen den Flächenverbrauch antreiben. Das führt zu Versiegelung und Fragmentierung von Landschaften. Wie gut das Umsteuern zu einer ressourcenarmen Wirtschaft gelingt, wird eine entscheidende Rolle für die Biodiversität in Österreich spielen. – Assoc. Prof. Mag. Dr. Franz Essl, Dept. für Botanik und Biodiversitätsforschung, Universität Wien

Gleichzeitig intensivieren sich die Handelsverflechtungen in der zunehmend globalisierten Weltökonomie. Produkte, die von Konsumentinnen und Konsumenten in einem Land verbraucht werden, wurden in einem anderen produziert, die in der Produktion benötigten Rohstoffe werden oftmals in einem dritten Land extrahiert. Gleichzeitig werden Produkte in ihrer materiellen Zusammensetzung immer komplexer und die Abhängigkeit von einer Vielzahl an Regionen, in denen gefragte Rohstoffe extrahiert werden, immer größer.

Auch in Österreich stieg der Materialverbrauch ausgehend von etwa 100 Millionen Tonnen im Jahr 1960 bis zu seinem Höhepunkt im Jahr 2007 mit 170 Millionen Tonnen um einen Faktor von 1,7 an. Zum Vergleich: Die österreichische Bevölkerung stieg im gleichen Zeitraum (1960–2007) um den Faktor 1,2 (Eurostat 2023a). Seit 2007 ist ein leichter Rückgang im inländischen Materialverbrauch zu beobachten, sodass dieser im Jahr 2022 bei nur mehr 154 Millionen Tonnen/Jahr lag. Dies entspricht einem täglichen Verbrauch einer Person von 12 kg nachwachsenden Rohstoffen, 3 kg Metallen, 25 kg nichtmetallischen Mineralstoffen und 6 kg fossilen Energieträgern (siehe Abbildung 2). Zusätzlich wurden pro Person und Tag 676 Liter Wasser (466 Liter in der Industrie, 130 Liter in Haushalten und 40 Liter in der Landwirtschaft⁴) und 432 MJ Energie (Bruttoinlandsverbrauch, Territorialprinzip; Statistik Austria 2023a) benötigt. Der Verbrauch fossiler Energieträger verursachte einen täglichen Ausstoß an Treibhausgasemissionen (THG-Emissionen) von 22 kg CO₂-Äquivalenten pro Kopf (Umweltbundesamt 2023a).

4 trinkwasserinfo.at

Die Landesfläche Österreichs beträgt 8,39 Millionen Hektar, das sind rund 0,8 Hektar pro Kopf (Statistik Austria 2023b); 0,3 ha/Kopf davon werden für Landwirtschaft und 0,4 ha/Kopf für Forstwirtschaft genutzt. Die Flächeninanspruchnahme für Siedlungs-, Verkehrs-, Erholungs-, Freizeitflächen etc. betrug 2021 630 m²/Kopf (ÖROK 2024), 52 % dieser Flächen sind versiegelt. Laut Umweltbundesamt (2024a) werden in Österreich jeden Tag durchschnittlich 11,3 ha Boden für Siedlungsflächen etc. neu in Anspruch genommen, 5,8 ha (52%) davon werden versiegelt.



Im Jahr 2022 verbrauchte eine Österreicherin oder ein Österreicher im Durchschnitt 17 Tonnen Material pro Kopf, 14 Tonnen wurden im Inland entnommen. Der Großteil des inländisch entnommenen Materials bestand aus Biomasse zur Lebensmittelproduktion sowie Holz und nichtmetallischen mineralischen Rohstoffen, die primär in den Bau und Erhalt von Gebäuden, Straßen und sonstiger Infrastruktur flossen. Dem gegenüber stand ein Import von 10 Tonnen und ein Export von 7 Tonnen Material pro Kopf und Jahr. Seit 2000 ist ein gradueller Rückgang der inländischen Entnahme (domestic extraction, DE) von 8 % zu beobachten, bei einer gleichzeitig deutlichen Zunahme der Außenhandelsaktivitäten von 35 % bei Importen und 47 % bei Exporten.

Abbildung 2: Ressourcennutzung in Österreich 2022.

Statement 5 – Boden ist nach wie vor ein Einwegprodukt: Allseits bekannt ist die Tatsache, dass der Bodenverbrauch in Österreich sehr hoch ist. Rund 11 Hektar pro Tag oder 40 km² pro Jahr werden jährlich verbaut. Damit sind wir weit von den zu erreichenden Zielen entfernt. Wir haben schon so viel gebaut, dass jede Österreicherin und jeder Österreicher rein rechnerisch in einem Einfamilienhaus leben könnte, jedem Auto zahlreiche Parkplätze zur Verfügung stehen und Büroflächen und Gewerbeparks im Überfluss vorhanden sind – aber leider nie da, wo sie gerade gebraucht werden. Ansatzpunkte für Veränderung sind Begrenzung des Baulands und angemessene Bepreisung der Zerstörung des Bodens. Weniger Bodenverbrauch würde letztlich auch den hohen Ressourcenverbrauch Österreichs deutlich reduzieren. – Gundula Prokop, Expertin für Bodenverbrauch und Versiegelung im Umweltbundesamt

Der Ressourcenverbrauch in Österreichs hat globale Auswirkungen

Unser individueller Ressourcenverbrauch, also die Menge an Material, die wir tatsächlich in unseren direkten Konsumaktivitäten nutzen und verbrauchen, ist jedoch in den meisten Fällen niedriger als der gesamtösterreichische Verbrauch pro Kopf. Dies liegt daran, dass natürliche Ressourcen nicht nur für den individuellen Privatkonsum verwendet werden, sondern zu einem beträchtlichen Teil für die Bereitstellung gesamtgesellschaftlicher Gemeingüter, beispielsweise die Verkehrsinfrastruktur, Gesundheits-, Bildungs-, Freizeiteinrichtungen etc. Der gesellschaftliche Metabolismus ist folglich größer als die Summe der individuellen Ressourcennutzungen.

Auch die Entnahme und Verarbeitung sowie der Transport von Ressourcen selbst erfordern den Einsatz von Material und Energie, beispielsweise in Form von agrarischer Bewässerung oder Treibstoffen für den Güterverkehr. Da der österreichische Ressourcenbedarf nicht allein durch die heimische Produktion gedeckt werden kann, muss ein Teil des Materials aus dem Ausland importiert werden. Dieser Außenhandel ist schließlich seinerseits mit Transport und Energieaufwand verbunden. Die Teilnahme Österreichs am globalen Handelsmarkt bedeutet zudem, dass der österreichische Materialverbrauch inklusive der gesamten Versorgungskette größer ist als jene Ressourcen, die innerhalb österreichischer Grenzen verbraucht werden (inländischer Materialverbrauch). Der Materialverbrauch der österreichischen Konsumgüter inklusive des vorgelagerten Materialverbrauchs entlang der Produktionsketten der importierten Güter, der außerhalb Österreichs stattfindet, wird Material-Fußabdruck genannt. Der Konsum Österreichs hat somit auch Einfluss auf den Ressourcenverbrauch anderer Länder.

Der weltweite Materialverbrauch lag im Jahr 2022 im Schnitt bei 13 t/cap/a oder 36 kg pro Kopf und Tag (UN IRP 2024), der Material-Fußabdruck Österreichs lag 2020 bei 61 kg/Kopf/Tag (Statistik Austria 2024). Berücksichtigt man also die gesamte Produktionskette inklusive des vorgelagerten Ressourcenverbrauchs, so werden 15 kg oder 30 % mehr Material pro Kopf und Tag verbraucht als direkt im Inland. Dies betrifft

vor allem Metalle und fossile Energieträger, welche im Gegensatz zur Biomasse und zu nichtmetallischen Mineralstoffen zum Großteil importiert werden, da Lagerstätten im Inland nicht (mehr) wirtschaftlich abbauwürdig sind, eine Förderung momentan nicht stattfindet oder die Rohstoffe in Österreich nicht verfügbar sind. Bei den Metallen kommt hinzu, dass ein Großteil des Materials in Form von hochverarbeiteten Produkten wie zum Beispiel Fahrzeugen oder Maschinen importiert wird, deren Produktion einen Materialverbrauch im Ausland verursacht hat. Mit einer Konsumperspektive verdreifacht sich somit der Verbrauch von Metallen, während sich der Verbrauch fossiler Energieträger verdoppelt.

Der Wasser-Fußabdruck lag 2022 bei 4 377 l/Kopf/Tag (Neunteufel u. a. 2021), das ist mehr als das Sechsfache des direkten Wasserverbrauchs. Der Energie-Fußabdruck (644 MJ/Kopf/Tag) und der Land-Fußabdruck (1,2 ha/Kopf) (beides UN Environment 2024) lagen um 50 % über dem inländischen Verbrauch, der Kohlenstoff-Fußabdruck (28 kg CO₂equ/Kopf/Tag; UN Environment 2024) überstieg die inländischen Emissionen um 28 %.



Ein nachhaltiger Lebensstil darf keine ökologischen Grenzen überschreiten und muss gleichzeitig soziale Mindeststandards gewährleisten

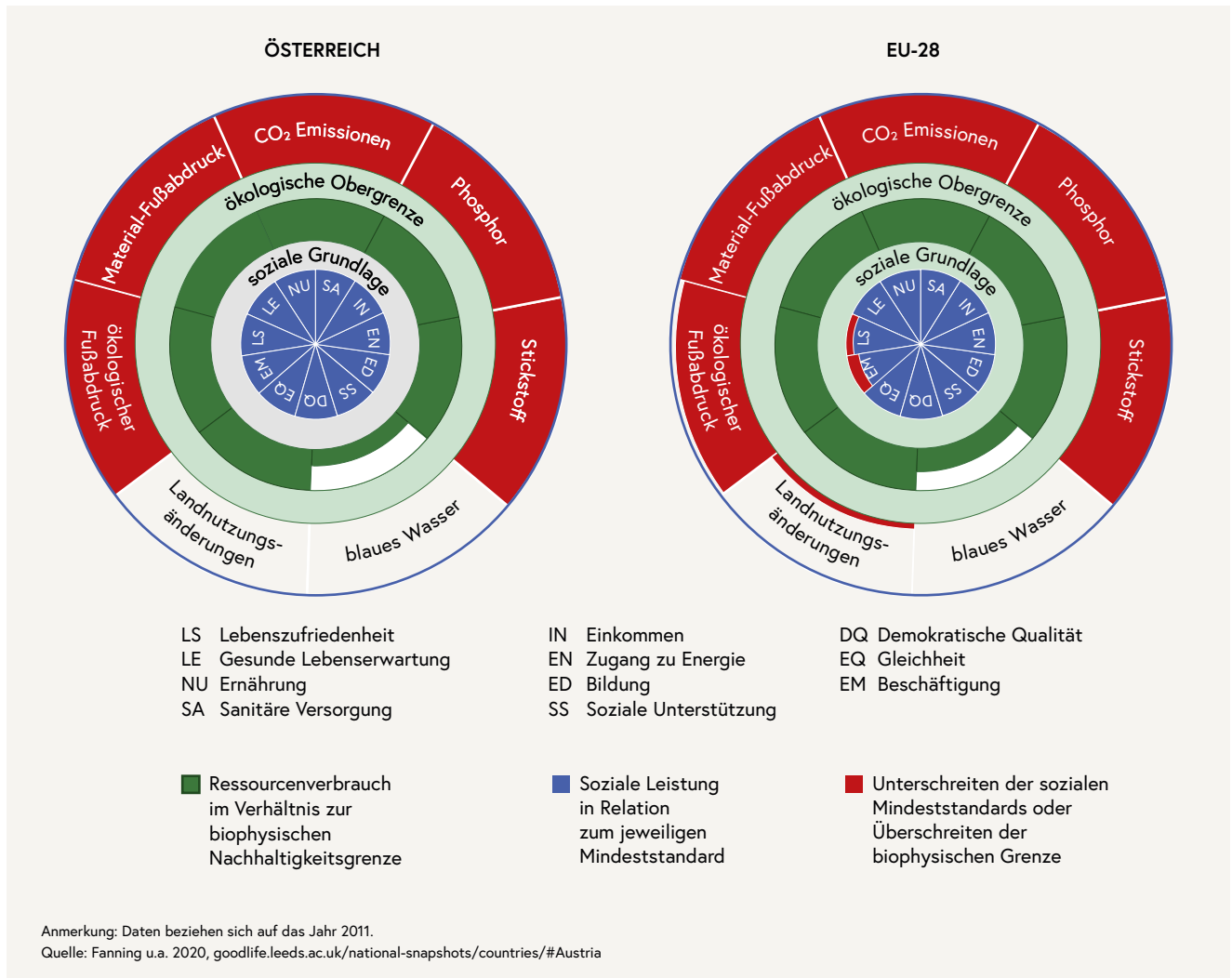
Über die letzten Jahrzehnte haben wir ein deutliches Wachstum in vielen sozialen, ökonomischen und biophysischen Indikatoren gesehen, das in der Literatur als die „große Beschleunigung“ (great acceleration; Steffen u. a. 2015) beschrieben wird. Das exponentielle Wachstum der ökologischen Indikatoren übersteigt in vielen Bereichen die planetaren Grenzen. Schon 2009 haben Rockström und Kolleg:innen (2009b) die planetaren Grenzen für neun Ressourcen oder Ökosystemleistungen definiert, sechs Jahre später aktualisiert durch Steffen und Kolleg:innen (2015):

Abbildung 3: Material-Fußabdruck – der Ressourcenbedarf des österreichischen Endkonsums, 2022.

1. Klimawandel (climate change)
2. Meeresversauerung (ocean acidification)
3. Abbau von stratosphärischem Ozon (stratospheric ozone depletion)
4. Aerosol-Anreicherung in der Atmosphäre (atmospheric aerosol loading)
5. biogeochemische Flüsse: Eingriffe in P- und N-Kreisläufe (biogeochemical flows: interference with P and N cycles)
6. globale Süßwassernutzung (global freshwater use)
7. Landnutzungsveränderungen (land-system change)
8. Biodiversitätsverluste (biodiversity loss)
9. chemische Verschmutzung (chemical pollution)

Die wirtschaftliche und soziale Entwicklung eines Landes gehen Studien zufolge immer mit steigendem Ressourcenverbrauch einher (Raworth 2017; OECD 2018; UN IRP 2019a; Brand-Correa u. a. 2020; Haberl u. a. 2020). Ab einem gewissen Einkommensniveau jedoch flacht der Ressourcenverbrauch ab, mehr Ressourcen- oder mehr Energieverbrauch (oder Emissionen) führen dann nur mehr zu unwesentlichen Steigerungen des Bruttoinlandsprodukts, der menschlichen Entwicklung (gemessen als HDI, human development index) oder anderer sozialer Indikatoren (Steinberger und Roberts 2010; O'Neill u. a. 2018; UNDP 2019; Chancel 2022).

Kate Raworth (2017) kombinierte schließlich die planetaren Grenzen mit sozialen Grenzen zu einem Doughnut-Konzept (siehe Abbildung 4). Denn eine Transformation zur Nachhaltigkeit muss sich um alle Dimensionen der Nachhaltigkeit kümmern und die Umweltbelastungen innerhalb der planetaren Grenzen halten, während soziale (Mindest-) Grenzen erfüllt werden müssen. Die gleiche Intention liegt auch den Nachhaltigkeitszielen der Vereinten Nationen (UN Sustainable Development Goals, SDG; UN 2015) zugrunde. Leider zeigten jüngere Studien, dass (bisher) kein Land die so definierte Nachhaltigkeit erreichen konnte (O'Neill u. a. 2018; Fanning u. a. 2022). Länder (vor allem Industrieländer), die alle sozialen Standards erreichten, haben gleichzeitig eine oder meist mehrere planetare Grenzen überschritten. Umgekehrt können Länder (zumeist sog. Entwicklungsländer), die innerhalb der planetaren Grenzen leben, oftmals die sozialen Mindeststandards nicht erreichen. Über die Zeit betrachtet werden außerdem die planetaren Grenzen schneller überschritten, als die sozialen Standards erreicht werden. Richardson u. a. (2023) zeigten, dass mittlerweile sechs der neun planetaren Grenzen überschritten sind und dass die Überschreitungen seit den früheren Bewertungen (Rockström u. a. 2009b; Steffen u. a. 2015) zugenommen haben. Bisher noch weniger beachtet ist die Analyse von Lade u. a. (2019), wonach zu erwartende Feedbacks zwischen den planetaren Grenzen eine Beschleunigung der Umweltwirkungen menschlichen Handels auf das System Erde verursachen. Um den Umweltkrisen entgegenzuwirken, ist Handlungsbedarf gegeben, der über die bisherigen Maßnahmen hinausgeht. Es braucht gesellschaftlichen Wandel (Görg u. a. 2017; Brand u. a. 2020; Haas u. a. 2023), damit gesellschaftliche Ressourcennutzung wieder innerhalb der planetaren Grenzen zu liegen kommt.



Ressourcenverbrauch ist eine Kombination aus lokaler Materialentnahme und internationalen Handelsverflechtungen – Österreich zwischen 2000 und 2022

Abbildung 4: Österreich bewegt sich außerhalb des sicheren Handlungsraums (safe operating space).

Der grobe Überblick im vorigen Kapitel zeigt deutlich: Wir müssen unseren Ressourcenverbrauch einschränken. Diese Erkenntnis wurde zunehmend auch in politischen Programmen aufgenommen, zuletzt in der österreichischen Kreislaufwirtschaftsstrategie (BMK 2022): Die österreichische Bundesregierung hat sich darin zum Ziel gesetzt, den Ressourcenverbrauch (gemessen als Material-Fußabdruck) auf 7 Tonnen pro Kopf und Jahr bis 2050 sowie den inländischen Materialverbrauch (DMC) auf 14 Tonnen pro Kopf und Jahr bis 2030 zu senken. Im folgenden Kapitel werden die aktuellen Zahlen zum Ressourcenverbrauch in Österreich, basierend auf den Daten der Statistik Austria zur Materialflussrechnung (Statistik Austria 2024), dargestellt.

Die in Österreich benötigten Ressourcen können entweder innerhalb der österreichischen Staatsgrenzen als Rohstoff aus der Natur entnommen (inländische Entnahme, domestic extraction, DE) oder als Produkte aus anderen Ländern importiert werden.

Der gesamte inländische Materialverbrauch (domestic material consumption, DMC) konnte im Jahr 2022 zu 81% aus inländisch entnommenen Materialien (DE) gedeckt werden. Die Ressourcenausstattung ist in Österreich in Bezug auf Biomasseprodukte aus der Land- und Forstwirtschaft und auch bei nichtmetallischen Mineralstoffen gut. Der Großteil des inländischen Verbrauchs dieser Materialien wird durch inländische Entnahme gedeckt (91% bei Biomasse, 99% bei nichtmetallischen Mineralstoffen) (siehe Abbildung 5). Bei fossilen Energieträgern und Metallen wird der Großteil des inländischen Bedarfs durch Importe gedeckt. Der Anteil der Netto-Importe (physische Handelsbilanz, physical trade balance, PTB; berechnet als Importe minus Exporte) in Österreich lag im Jahr 2022 bei 53% für Metalle und bei 95% für fossile Energieträger (siehe Abbildung 5).

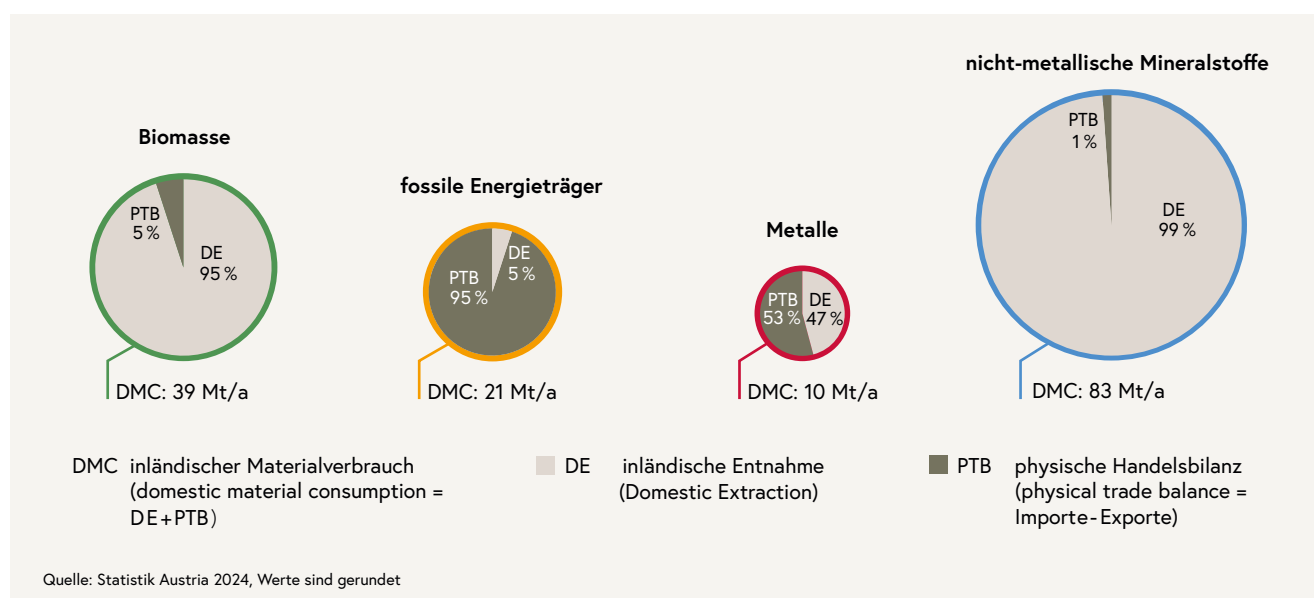
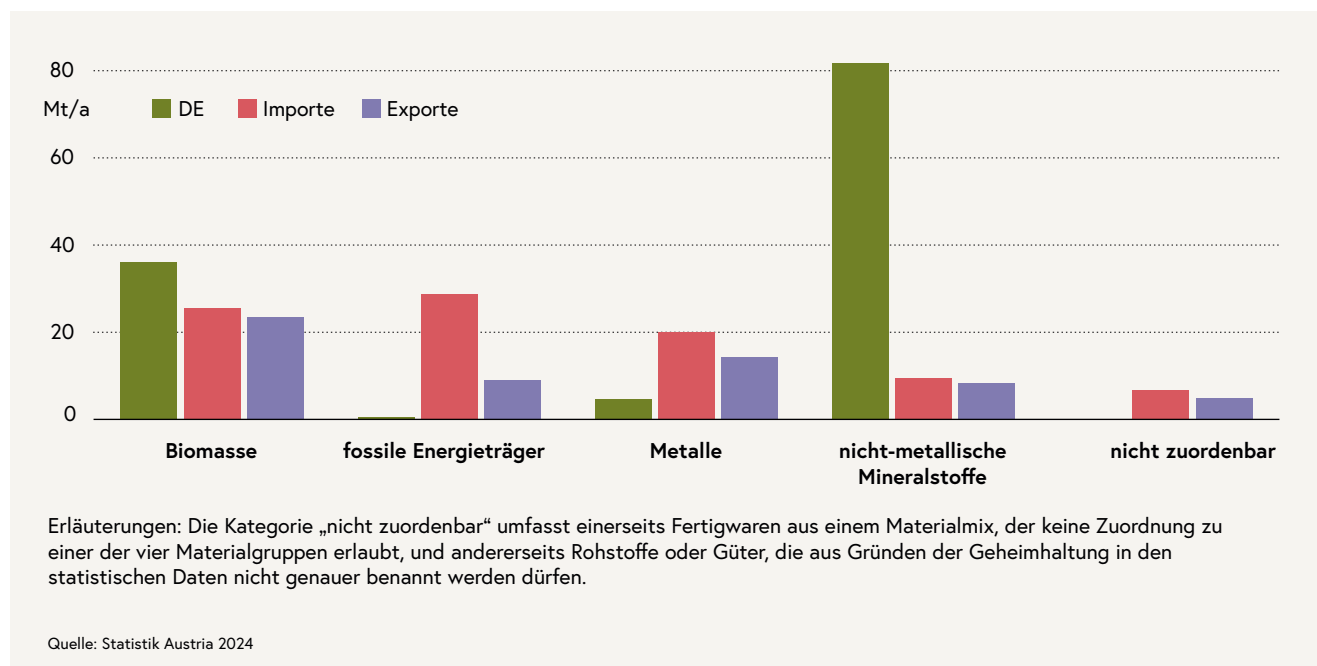


Abbildung 5: Anteil der österreichischen inländischen Entnahme (DE) und Netto-Importe (PTB) am inländischen Materialverbrauch (DMC) nach vier Materialkategorien, 2022.

Einen Teil der in Österreich verarbeiteten Materialien exportiert Österreich in Form von verarbeiteten Produkten und stellt sie dem Endkonsum im Ausland zur Verfügung. Wie in Abbildung 6 ersichtlich, lagen die Importe (26 Millionen Tonnen/Jahr oder Mt/a) und Exporte (24 Mt/a) von Biomasseprodukten im Jahr 2022 in einer ähnlichen Größenordnung wie die Menge der Materialien, die in Österreich entnommen wurde (DE von 37 Mt/a im Jahr 2022). Bei den Metallen wurden nur 5 Mt/a in Österreich entnommen, zusätzlich aber 20 Mt/a importiert. Ein guter Teil der Importe wurde in Österreich weiterverarbeitet und dann wieder exportiert (15 Mt/a). Bei den fossilen Energieträgern und den nichtmetallischen Mineralstoffen sieht die Verteilung etwas anders aus: Der Entnahme (DE) von etwa 1 Million Tonnen fossiler Energieträger im Jahr 2022 standen Importe von 30 Mt/a gegenüber. Bei den Exporten handelte es sich vorwiegend um stofflich verarbeitete Produkte, die etwa 9 Mt/a ausmachten. Bei den nichtmetallischen Mineralstoffen wiederum dominierte die inländische Entnahme (82 Mt/a im Jahr 2022). Importe und Exporte (10 Mt/a und 9 Mt/a) waren für diese Materialkategorie vergleichsweise gering. Abbildung 6 zeigt weiters die Kategorie „nicht zuordenbar“, welche

Materialien enthält, die aus Geheimhaltungsgründen nicht genannt werden können, oder Produkte unbekannter Materialzusammensetzung. Mehr dazu im folgenden Kapitel.



Der Materialverbrauch ist gestiegen – auch während der COVID-Pandemie

Der inländische Materialverbrauch (domestic material consumption, DMC) (siehe Eurostat 2018 und die Methodenbeschreibung im Anhang) betrug 154 Millionen Tonnen im Jahr 2022 und war zu einem großen Teil von nichtmetallischen Mineralstoffen geprägt (83 Mt/a im Jahr 2022, das sind 54 % des inländischen Materialverbrauchs) (siehe Abbildung 7). Biotische Materialien stellten die zweitgrößte Kategorie mit einem inländischen Materialverbrauch von 39 Mt/a im Jahr 2022 dar, das waren 25 % des DMC. Weiters wurden 21 Mt/a an fossilen Energieträgern (13 % des DMC) und 10 Mt/a an Metallen (7 %) verbraucht.

Abbildung 6: Österreichs inländische Entnahme (DE), Importe und Exporte nach vier Materialkategorien, 2022.

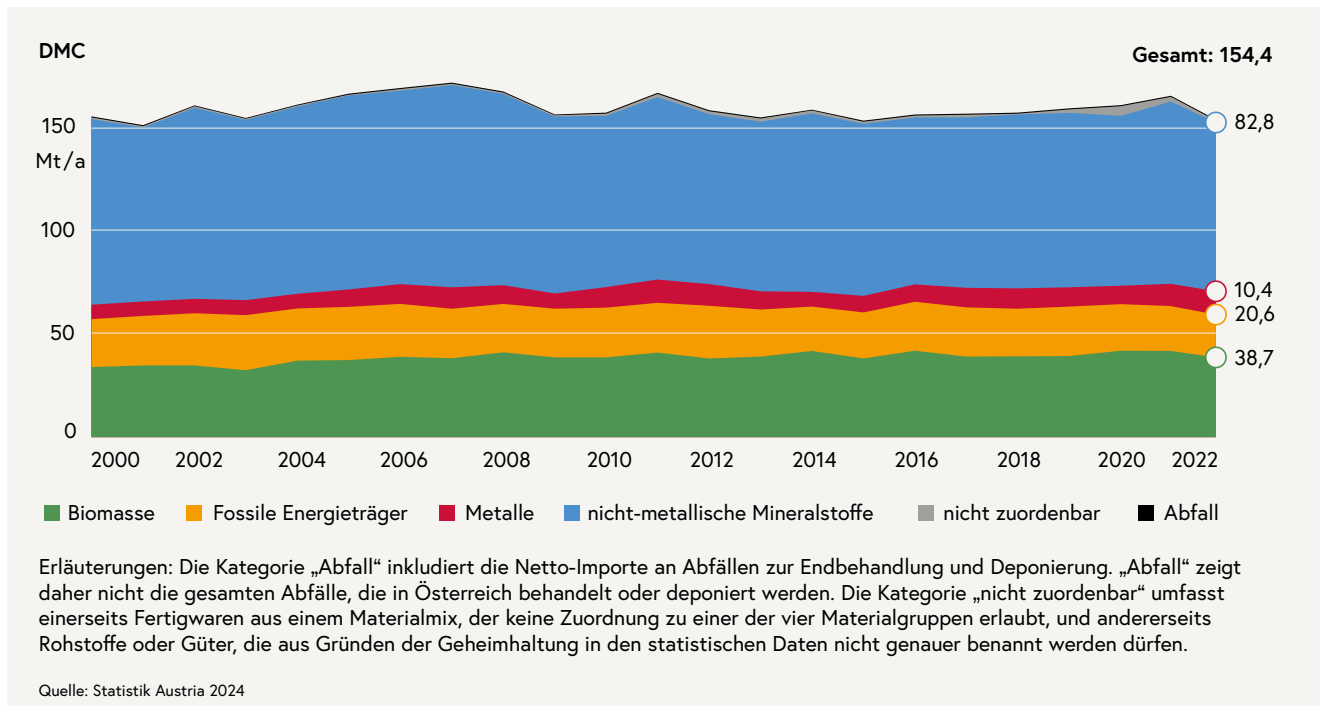


Abbildung 7: Österreichs inländischer Materialverbrauch (DMC) nach vier Materialkategorien sowie nicht zuordenbaren Materialien und Abfällen in Österreich, 2000 bis 2022.

Zwischen 2000 und 2022 ist der inländische Materialverbrauch mehr oder weniger gleich geblieben (154,1 Mt/a im Jahr 2000 und 154,4 Mt/a in 2022). Innerhalb der vier Materialkategorien zeigen sich leichte Bewegungen; bei den Metallen und der Biomasse sehen wir die größten Veränderungen: Der Materialverbrauch bei den Metallen stieg um 49 %, bei der Biomasse um 15 % (Details siehe Kapitel „Unser Ressourcenverbrauch setzt sich aus vier Materialkategorien zusammen: Biomasse, fossile Energieträger, Metalle, nichtmetallische Mineralstoffe“). Der Verbrauch an nicht metallischen Mineralstoffen reduzierte sich um 7 %. Da der Verbrauch zu 99 % auf inländisch entnommenen Materialien basiert, war diese Entwicklung durch die Veränderungen in der inländischen Entnahme geprägt. Bei den fossilen Energieträgern zeigte sich die größte Reduktion von 23 Mt/a (2000) auf 21 Mt/a (2022), das ist eine Verringerung um 11 %. In der Kategorie „nicht zuordenbar“ ist im Jahr 2020 ein deutlicher Anstieg zu sehen, der aber Großteils auf Maßnahmen zur Geheimhaltung von Detailinformationen zurückzuführen ist. Detailliertere Informationen unterliegen der Geheimhaltung, Statistik Austria ordnet diese Daten daher dieser Sammelkategorie zu. Neben Rohstoffen oder Gütern, die der Geheimhaltung unterliegen, inkludiert die Kategorie „nicht zuordenbar“ auch Fertigwaren aus einem Materialmix, der keine Zuordnung zu einer der vier Materialgruppen erlaubt („andere Produkte“). Eine Diskussion oder Interpretation der Kategorie „nicht zuordenbar“ ist daher nicht weiter sinnvoll.

Die deutlichsten Schwankungen im inländischen Materialverbrauch waren in den Jahren der großen Wirtschaftskrisen zu beobachten. Die Finanz- und Wirtschaftskrise 2008/09 führte zu einer Reduktion des Materialverbrauchs um 3 % im Jahr 2008 und um 7 % in 2009 – die stärkste Reduktion in den letzten 20 Jahren. Im Jahr 2011 erholte sich die Wirtschaft, was zu einem neuerlichen Anstieg des Materialverbrauchs (+6 %)

führte. Der Einbruch des Materialverbrauchs zeigte sich über alle vier Materialkategorien, gleichermaßen für den neuerlichen Anstieg 2011. Die ökonomische Entwicklung verlief ähnlich, von 2008 auf 2009 sank das Bruttoinlandsprodukt um 4% und stieg in den beiden Folgejahren erneut an (-2% und +3%).

Anders als in der Wirtschaftskrise 2008/09 war während der COVID-Pandemie keine Reduktion des Materialverbrauchs zu sehen. Stattdessen stieg der Materialverbrauch von 2020 auf 2021 um 4% an. Auf der Ebene der vier Materialkategorien zeigt sich hier ein differenzierteres Bild. Der Verbrauch an fossilen Energieträgern ist von 2020 auf 2021 um 1% gesunken, der Verbrauch an Metallen und nichtmetallischen Mineralstoffen um 21% bzw. 7% gestiegen. Auch in den ökonomischen Zahlen zur Bruttowertschöpfung in den Sektoren zeigt sich ein Unterschied zwischen der Wirtschaftskrise 2008/09 und der COVID-Pandemie 2020/21. Die Wirtschaftskrise führte zu einem Einbruch vor allem in der verarbeitenden Industrie und etwas weniger stark in der Bauindustrie, in dieser aber über die folgenden Jahre länger anhaltend. Die COVID-Pandemie dagegen ist in fast allen Sektoren deutlich zu sehen, jedoch kaum im Bausektor. Das Bruttoinlandsprodukt fiel von 2019 auf 2020 um 7%, gefolgt von einem neuerlichen Wachstum im Jahr 2021 um 4%.

Mit dem Beginn des Angriffskrieges Russlands gegen die Ukraine im Februar 2022 sank der Materialverbrauch im Laufe des Jahres im Vergleich zum Vorjahr erneut deutlich, konkret um 7%, gleichermaßen über alle Materialkategorien. Der Angriffskrieg gegen die Ukraine zeigte daher eine den anderen Wirtschaftskrisen nicht unähnliche Auswirkung auf den Materialverbrauch. Anders war dies jedoch bei der Wirtschaftsentwicklung, die gemessen als Bruttoinlandsprodukt von 2021 auf 2022 keinen Einbruch zeigte, sondern um 5% anstieg. Die weitere Entwicklung durch die folgende Energiekrise und die Auswirkungen auf den Ressourcenverbrauch bleibt abzuwarten.

In Österreich entnehmen wir der Natur vor allem Biomasse und nichtmetallische Mineralstoffe

81% des inländischen Materialverbrauchs werden durch Rohstoffentnahme in Österreich gedeckt. Die inländische Materialentnahme (domestic extraction, DE) ist daher entsprechend groß und betrug 125 Millionen Tonnen im Jahr 2022. Der Großteil davon entfiel auf nichtmetallische Mineralstoffe (82 Mt/a im Jahr 2022), gefolgt von Biomassematerialien (37 Mt/a) (siehe Abbildung 8). Die Lagerstätten von fossilen Energieträgern und Metallen sind in Österreich sehr begrenzt, weshalb diese Rohstoffe in Österreich kaum (mehr) gefördert werden; im Jahr 2022 betrug die inländische Entnahme etwa 1 Million Tonnen an fossilen Energieträgern und 5 Millionen Tonnen an Metallen (Details siehe Kapitel „Unser Ressourcenverbrauch setzt sich aus vier Materialkategorien zusammen: Biomasse, fossile Energieträger, Metalle, nichtmetallische Mineralstoffe“).

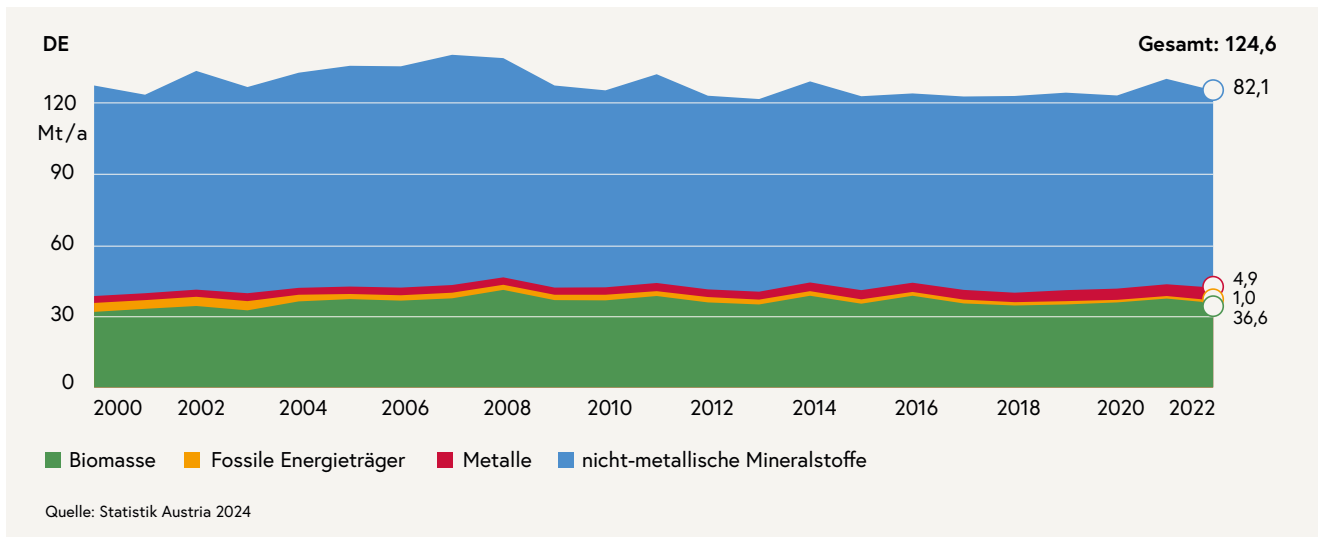


Abbildung 8: Österreichs inländische Materialentnahme (DE) nach vier Materialkategorien, 2000-2022.

In den Jahren 2000 bis 2022 ist die Menge der entnommenen Materialien um 2 % gesunken. Die jährlichen Schwankungen in den 22 Jahren lagen zum Großteil (in 15 von 22 Jahren) unter 5 %. Betrachtet man die vier Materialkategorien einzeln, so sind dennoch unterschiedliche Entwicklungen zu erkennen. Die Materialentnahme für Biomasse ist insgesamt um 15 % und jene für Metalle um 69 % gestiegen. Die Entnahme an fossilen Energieträgern ist dagegen um 74 % von 3,8 Mt/a (2000) auf 1 Million Tonnen (2022) gesunken. Die DE der nichtmetallischen Mineralstoffe ist über die 22 Jahre um 8 % gesunken, in den Jahren dazwischen sind in dieser Materialkategorie jedoch starke Schwankungen zu erkennen, die eng an die schon für den Materialverbrauch beschriebenen Wirtschaftskrisen gekoppelt sind. Da die nichtmetallischen Mineralstoffe die größte Materialkategorie darstellen, schlagen sich die Veränderungen in dieser Gruppe am stärksten in der Gesamtentwicklung der inländischen Entnahme nieder.

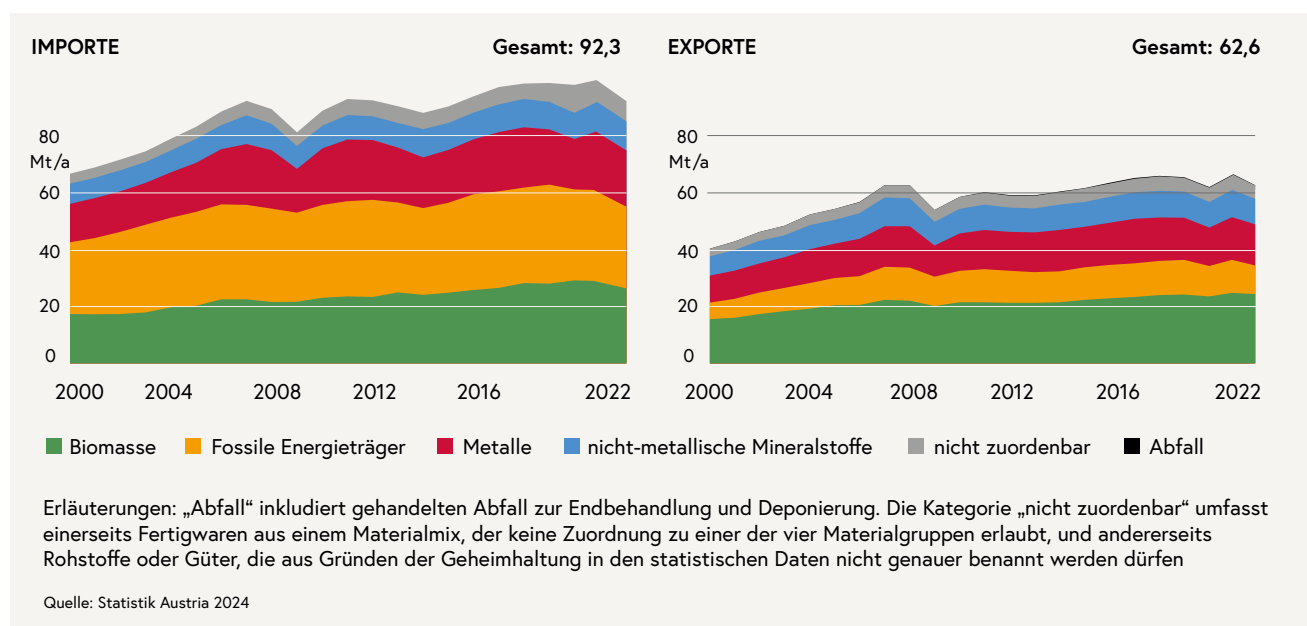
Krisen haben einen großen Einfluss auf den Außenhandel

Im Jahr 2000 importierte Österreich 67 Mt/a, also etwa halb so viele Materialien, als im Land entnommen wurden (Abbildung 9a). 2022 betrugen die Importe 92 Mt/a, dies entsprach 74 % der Entnahme. In den betrachteten zwei Jahrzehnten sind die Importe somit um 38 % gestiegen, während die inländische Entnahme auf annähernd gleichem Niveau geblieben ist (-2 %). Im Jahr 2022 betrugen die Exporte 63 Mt/a, im Jahr 2000 exportierte Österreich 40 Mt/a (Abbildung 9b). Folglich sind die Exporte mit einem Zuwachs von 55 % schneller angestiegen als die Importe.

Die Materialzusammensetzung der Handelsflüsse unterschied sich stark von jenen der Materialentnahme und des Materialverbrauchs. Im Jahr 2022 waren die fossilen Energieträger mit 31 % die wichtigste Kategorie innerhalb der Importe, knapp gefolgt von Biomassematerialien (28 %). Auch Metalle (22 %) waren eine mengenmäßig wichtige Kategorie, während die nichtmetallischen Mineralstoffe mit nur 11 % in den Importen eine untergeordnete Rolle spielten. An dieser Stelle sei erwähnt, dass die Zuordnung vor allem von hochverarbeiteten Produkten zu einer der vier Materialkategorien nicht immer leicht

ist. Handelswaren sind fast ausschließlich Halb- oder Fertigwaren, also keine Rohstoffe wie bei der inländischen Entnahme. Bei Produkten, die aus verschiedenen Materialien bestehen, werden diese nach MFA-Konvention jener Materialgruppe zugeordnet, die den Hauptanteil bildet. Produkte, bei denen keine Information über den Materialmix vorliegt, bzw. Materialien, welche aus Gründen der Geheimhaltung nicht näher beschrieben werden können, werden in der Kategorie „nicht zuordenbar“ zusammengefasst. Diese Konvention stellt eine für hochverarbeitete Güter grobe Annäherung dar, dennoch entfallen die mengenmäßig großen Flüsse bei den Importen und Exporten auf Halbwaren, die eindeutig einer Materialkategorie zugeordnet werden können.

Die jährlichen Änderungsraten der Importe und Exporte wiesen ebenfalls eine stärkere Dynamik auf als die Entnahme und der Verbrauch. Beispielsweise war in den Jahren der Weltwirtschaftskrise 2008/09 ein Einbruch der Importe von Metallen um 25 % zu beobachten, gefolgt von einem Wachstum im Folgejahr um 30 %. Der Importeinbruch bei Fertigwaren lag bei 10 %, gefolgt von einem Anstieg im Folgejahr um 13 %. Auch für einige andere Materialkategorien zeigten sich in einzelnen Jahren und Perioden jährliche Veränderungsraten von 10 % oder mehr. Anders als im Materialverbrauch ist die COVID-Pandemie 2020/21 bei den physischen Importen und Exporten deutlich zu sehen. Im Jahr 2020 sind die Importe über beinahe alle Kategorien zurückgegangen; ein Zuwachs konnte jedoch bei der Biomasse (4 %) und bei den nicht zuordenbaren Materialien (47 %) beobachtet werden.



Im Jahr 2022 waren die Importe um etwa ein Drittel höher als die Exporte. Die physische Handelsbilanz (physical trade balance, PTB; berechnet als Importe minus Exporte) Österreichs war daher positiv. Österreich war ein Netto-Importeur von materiellen Gütern und somit von Rohstoffen. Im Jahr 2000 umfassten die Netto-Importe 26 Mt/a. Bis 2022 ist die physische Handelsbilanz um 13 % auf 30 Mt/a gestiegen (Abbildung 10).

Abbildung 9: Materielle Importe nach und Exporte aus Österreich nach den vier Materialkategorien sowie nicht zuordenbaren Materialien und Abfällen, 2000–2022.

Am zwischenzeitlichen Hoch im Jahr 2020 betrugen die Netto-Importe 36 Mt/a, stark bedingt durch den Umstand, dass in dem Jahr deutlich weniger exportiert wurde (-5%), während die Importe nur geringfügig gesunken sind (-1%). Im Jahr 2021 sind die Importe und Exporte zwar wieder deutlich gestiegen (um 2 % und 7 %), die PTB jedoch ist um 5 % gesunken, vor allem bedingt durch die Entwicklung in der Kategorie Biomasse und jener der nicht zuordenbaren Materialien. Auch im Jahr 2022 setzte sich der Trend fort, die PTB ist um weitere 13 % gesunken. Die Reduktion zeigte sich 2022 vor allem in den Netto-Importen von Biomasse und fossilen Energieträgern.

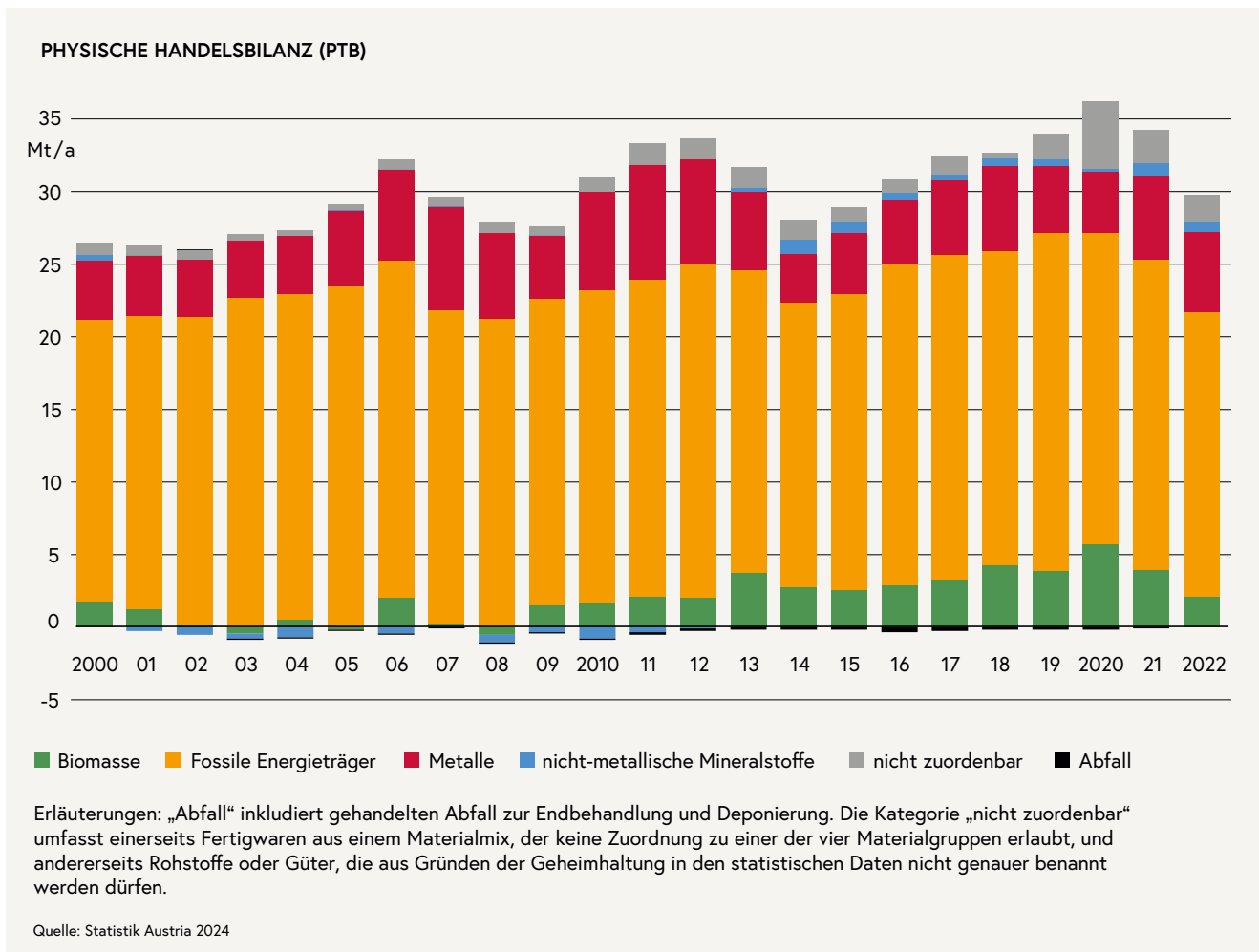


Abbildung 10: Österreichs physische Handelsbilanz (PTB) nach den vier Materialkategorien sowie nicht zuordenbaren Materialien und Abfällen, 2000–2022.

**„Technical Support Instrument“-Projekt der Europäischen Kommission:
„Roadmap for a Future Comprehensive Raw Material Balance“**

Die Entwicklung von Technologien zur Dokumentation und Analyse von Rohstoffströmen ist eine der Schlüsselmaßnahmen des Masterplans Rohstoffe 2030. Kenntnisse über die Rohstoff-Wertschöpfungskette und Rohstoffströme sind für eine effektive und strategische Rohstoffpolitik unabdingbar. Für die Versorgungssicherheit mit Rohstoffen braucht es eine umfassende Datengrundlage, welche die nationale Produktion an primären und sekundären Rohstoffen und darüber hinaus den Import und Export von Rohstoffen in qualitativer und quantitativer Hinsicht abbildet. Ziel einer solchen Rohstoffbilanz ist es, eine Entscheidungsgrundlage zu bieten, um das Ressourcenmanagement in Österreich langfristig zu optimieren, eine nachhaltige Kreislaufwirtschaft zu stärken und nationale sowie internationale Klima- und Energieziele umzusetzen. Daher arbeitet das Bundesministerium für Finanzen aktuell an einer Roadmap zur Erstellung einer solchen umfassenden Rohstoffbilanz. Das Projekt wird durch das Technical Support Instrument der Europäischen Union finanziert und in Zusammenarbeit mit AARC, der TU Wien, der Repuco Unternehmensberatung GmbH in Kooperation mit der Europäischen Kommission (DG REFORM) umgesetzt.

Der Materialverbrauch lag 2022 bei 17 Tonnen pro Kopf und Jahr

Der Materialverbrauch ergibt sich aus der inländischen Entnahme plus Importe minus Exporte und lag 2022 bei 17 Tonnen pro Kopf und Jahr (t/cap/a). In Österreich werden 81% des Materialverbrauchs aus inländischen Rohstoffen gedeckt (Großteil der Biomasse und nichtmetallischen Mineralstoffe), daher liegt die DE mit 14 t/cap/a nur leicht unter dem DMC (siehe Abbildung 11). Die Importe lagen 2022 bei 10 t/cap/a und die Exporte bei 7 t/cap/a. DMC und DE haben in der Pro-Kopf-Darstellung eine leicht rückläufige Tendenz (-4% bzw. -8%), während die Handelsflüsse im Steigen begriffen sind (Importe 35%, Exporte 47%).

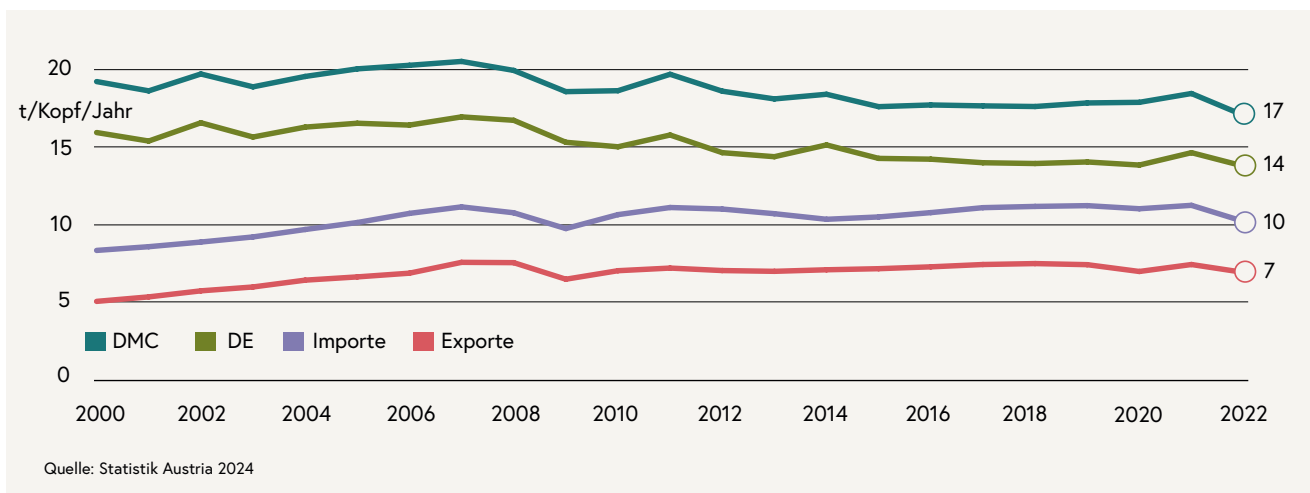


Abbildung 11: Österreichs inländische Materialentnahme (DE), Importe, Exporte und inländischer Materialverbrauch (DMC), 2000–2022.

Im Jahr 2022 wurden in Österreich 9 t/cap/a nichtmetallische Mineralstoffe entnommen, die Importe und Exporte waren in dieser Materialkategorie deutlich niedriger (1,1 t/cap/a Importe und 1 t/cap/a Exporte) (siehe Abbildung 12). Die Kategorie Biomasse ist die einzige Kategorie, in der Entnahme, Importe und Exporte in ähnlicher Größenordnung auftreten: 4 t/cap/a Entnahme, 2,9 t/cap/a Importe und 2,7 t/cap/a Exporte; die PTB (Importe minus Exporte) betrug daher 0,2 t/cap/a. Fossile Energieträger und Metalle werden in Österreich nur in sehr geringen Mengen entnommen (0,1 t/cap/a bzw. 0,5 t/cap/a), in beiden Kategorien sind die Importe und Exporte jedoch deutlich höher: Die Importe fossiler Energieträger betrugen 3,2 t/cap/a, die Exporte 1 t/cap/a. Bei den Metallen betrugen die Importe 2,2 t/cap/a, die Exporte 1,6 t/cap/a. Der DMC pro Kopf wird (wie auch der DMC in absoluten Mengen) also von Biomasse und nichtmetallischen Mineralstoffen dominiert (54% und 25%). Die restlichen Materialien machten gemeinsam 21% des Pro-Kopf-DMC aus.

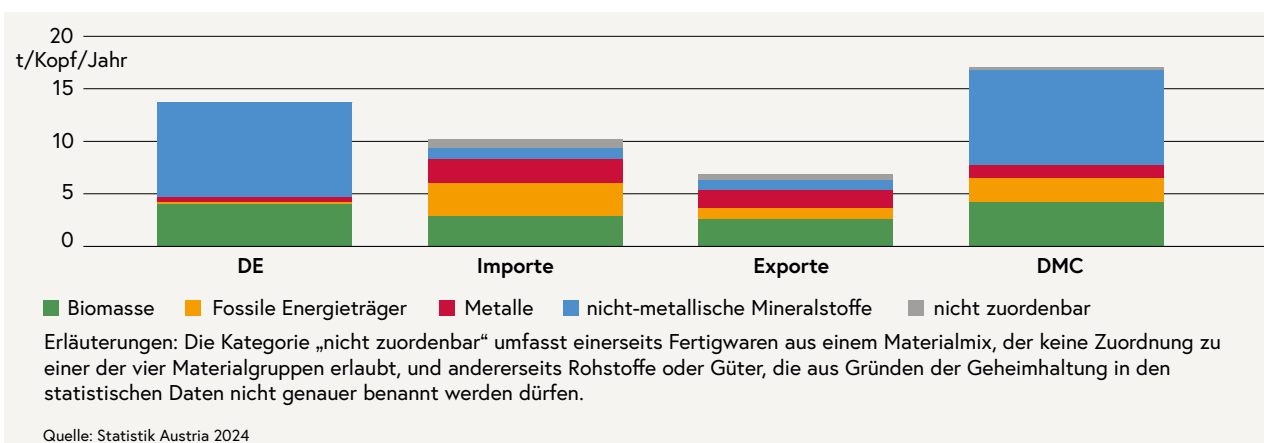
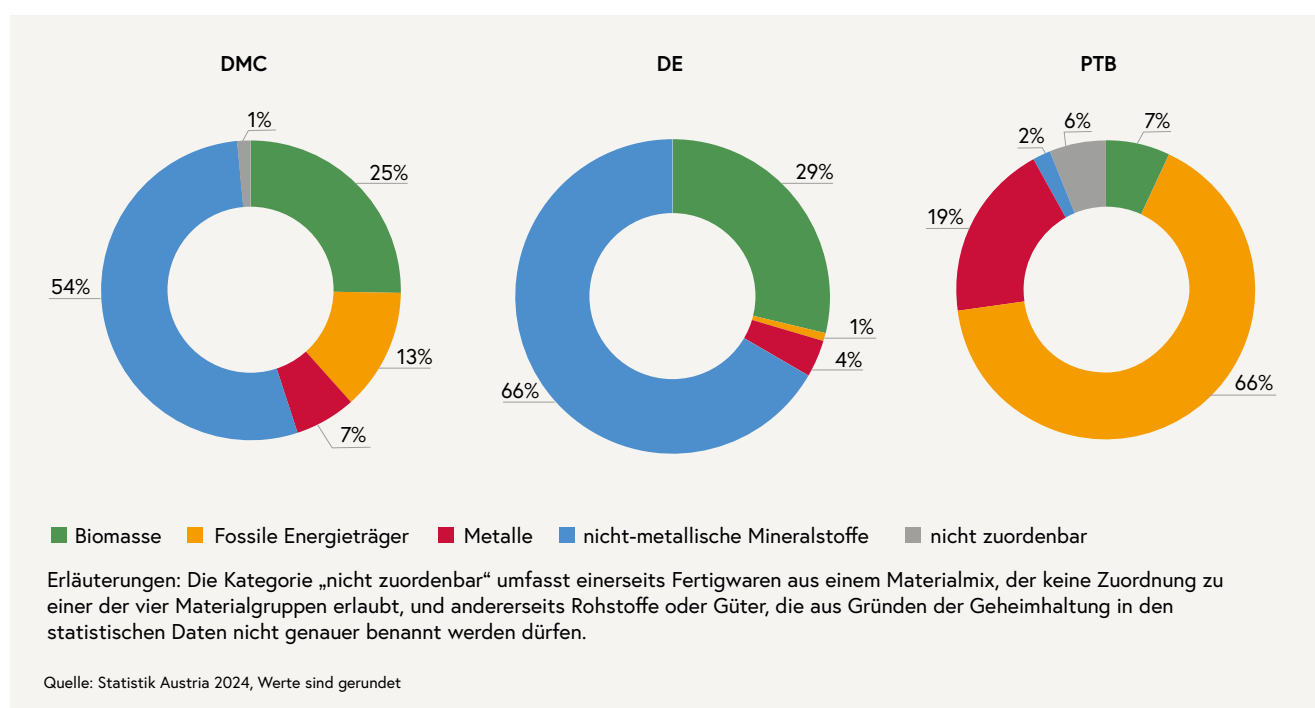


Abbildung 12: Österreichs inländische Entnahme (DE), Importe, Exporte, inländischer Materialverbrauch (DMC) nach vier Materialkategorien, 2022.

Unser Ressourcenverbrauch setzt sich aus vier Materialkategorien zusammen: Biomasse, fossile Energieträger, Metalle, nichtmetallische Mineralstoffe

DMC und DE setzen sich überwiegend aus nichtmetallischen Mineralstoffen (54% bzw. 66% im Jahr 2022) und Biomasse (25% bzw. 29% im Jahr 2022) zusammen (Abbildung 13), während die PTB von fossilen Energieträgern und Metallen dominiert wird. Diese Unterschiede sind Resultat der heimischen Ressourcenverfügbarkeit sowie der ökonomischen Rentabilität des Transports über größere Distanzen. Letzterer bedingt, dass ein längerer Transport von z. B. nichtmetallischen Mineralstoffen, die nahezu überall verfügbar sind und durch große Mengen, aber einen geringen Preis pro Tonne charakterisiert sind, sich ökonomisch nicht rechnet.



In den nächsten Kapiteln werden die vier Materialgruppen hinsichtlich materieller Zusammensetzung und Entwicklung von DE, DMC und Handel sowie die gesellschaftlichen Herausforderungen bei ihrer Nutzung genauer beleuchtet.

Abbildung 13: Anteil der vier Materialkategorien am österreichischen inländischen Materialverbrauch (DMC), der inländischen Materialentnahme (DE) und den Netto-Importen (PTB), 2022.

Biomasse – Nahrungsmittel, Energieträger, Baumaterial

Statement 6 – Nachhaltige Biomasseproduktion ist mit vorherrschenden Produktions- und Konsummustern nicht vereinbar: Biomasse liefert überlebenswichtige Rohstoffe wie Nahrungsmittel und gilt als erneuerbar, weil sie jedes Jahr nachwächst. Allerdings sind produktive Landflächen und ihr nachhaltiges Biomassepotenzial begrenzt: Intensive land- und forstwirtschaftliche Produktion verursacht Treibhausgasemissionen und Biodiversitätsverlust. Zugleich ist die Biomasseproduktion von der Klima- und Biodiversitätskrise betroffen (Wetterextreme, Rückgang bestäubender Insekten). Land- und Forstwirtschaft stehen heute also vor der Herausforderung, ihre Umweltauswirkungen zu reduzieren und sich gleichzeitig an veränderliche Umweltbedingungen anzupassen. Um gesellschaftliche Bedürfnisse unter Berücksichtigung nachhaltiger Biomassepotenziale decken zu können, braucht es neben Veränderungen in der Produktion (Ökologisierung der Land- und Forstwirtschaft) auch neue Konsummuster (Reduktion von tierischen Lebensmitteln und Heizenergie, Verlängerung der Lebensdauer von Holzprodukten).

– Assoc. Prof. Dr. Simone Gingrich, Institut für Soziale Ökologie (SEC), BOKU University

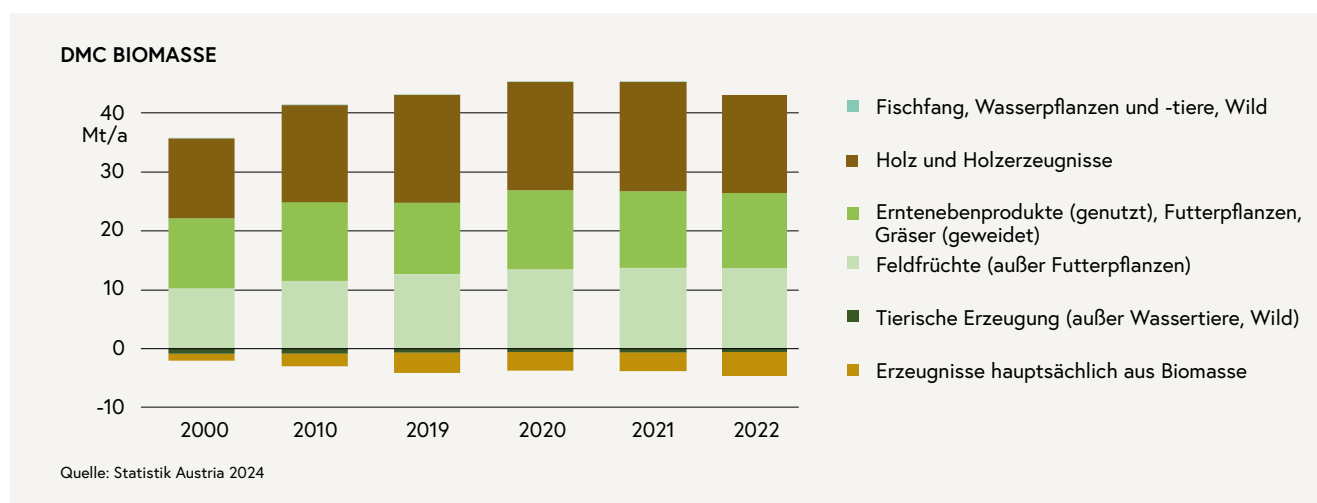
Unter Biomasse werden sämtliche biogene Materialien pflanzlichen und tierischen Ursprungs verstanden, die in der Land-, Fischerei- und Forstwirtschaft erzeugt werden. Biomassematerialien sind organische Stoffe und werden daher auch als nachwachsende Rohstoffe bezeichnet. Sie werden als Nahrungs- und Futtermittel verwendet, dienen in Form von Brennholz, Pellets oder Biotreibstoffen als erneuerbare Energieträger und werden stofflich z. B. als Baumaterial, zur Herstellung von Produkten wie Möbeln, Papier oder Musikinstrumenten oder auch als Rohmaterial in der chemisch-technischen Industrie (Zucker, Stärke, Öle) verwendet.

Land- und Forstwirtschaft nutzen fruchtbaren Boden, um die für gesellschaftliche Prozesse benötigten biogenen Rohstoffe bereitzustellen. Die Verfügbarkeit und Produktivität von (Boden-)Fläche spielt daher eine zentrale Rolle für die inländische Biomasseproduktion. Im Jahr 2022 wurden in Österreich auf 1,3 Millionen Hektar Ackerflächen (Statistik Austria 2023b), 11 Mt/a Feldfrüchte und 13 Mt/a Erntenebenprodukte extrahiert. Zusätzlich wurden 1,2 Millionen Hektar Dauergrünland (Mähwiesen, Weiden und Almen) in der Viehwirtschaft genutzt. Wald nimmt etwa 48 % der Gesamtfläche Österreichs ein, davon werden 3,4 Millionen Hektar forstwirtschaftlich genutzt (Statistik Austria 2023b). 2022 wurden auf diesen Flächen 13 Millionen Tonnen Holz entnommen.

Der inländische Verbrauch (DMC) von Biomasse ist seit 2000 um 15 % angestiegen (siehe Abbildung 14). Wurden im Jahr 2000 noch 34 Millionen Tonnen Biomasse genutzt, lag dieser Wert 22 Jahre später bei 39 Millionen Tonnen. Pro Kopf bedeutet dies eine Zunahme von 4,2 auf 4,3 t/cap/a. Der Großteil des Biomasseverbrauchs entfällt mit

jährlich mehr als 17 Millionen Tonnen auf Holz und Holzzeugnisse. Die zunehmende Verwendung unterschiedlicher Holzarten in der Bauwirtschaft sowie die Nutzung von Holznebenprodukten zur Energiegewinnung, beispielsweise in Form von Pellets in Biomassekesseln, spiegeln sich auch in der deutlichen Zunahme des Holzverbrauchs um 23 % zwischen 2000 und 2022 wider. Neben den Holzzeugnissen wurden 2022 13 Millionen Tonnen Feldfrüchte und fast 13 Millionen Tonnen Erntenebenprodukte (v. a. Stroh) aus der Landwirtschaft genutzt. Letztere werden zu einem großen Teil in der Viehwirtschaft (z. B. als Einstreu), aber auch als Rohstoff und zur Energieerzeugung genutzt. Feldfrüchte zeigten zwischen 2000 und 2022 ein größeres Wachstum (31 %), weshalb sie seit 2017 die Menge der Erntenebenprodukte übersteigen (Wachstum von 8 % im gleichen Zeitraum).

Die inländische Entnahme an Biomasse entfiel 2022 zu 37 % auf Holz, Erntenebenprodukte (35 %) und Feldfrüchte (29 %) und belief sich auf insgesamt 37 Mt/a. Zusätzlich zur inländischen Entnahme wurden 26 Millionen Tonnen an Biomasse nach Österreich importiert (28 % aller biophysischen Importe) und 24 Millionen Tonnen exportiert (38 % aller Exporte). Österreich importiert vor allem Holz und Holzzeugnisse (45 % der Biomasse-Importe im Jahr 2022, das sind 12 Mt/a), Feldfrüchte (24 % oder 6 Mt/a) und sonstige Erzeugnisse hauptsächlich aus Biomasse (25 %, das sind 6 Mt/a). Unter den mengenmäßig wichtigsten Exportgütern Österreichs finden sich die gleichen drei Kategorien: Holz und Holzzeugnisse (36 % der gesamten Biomasse-Exporte), Feldfrüchte (14 %) und sonstige Erzeugnisse hauptsächlich aus Biomasse (42 %).



Nach MFA-Konvention (siehe Methodenbeschreibung im Anhang bzw. Eurostat 2018) ist der Viehbestand Teil des sozioökonomischen Systems. Die Entnahme aus der Natur, die zur Erhaltung der Nutztiere benötigt wird, d. h. die geerntete oder geweidete pflanzliche Biomasse, ist daher ein Primärinput in das sozioökonomische System. Tierische Produkte sowie andere Erzeugnisse aus Biomasse werden dagegen nicht als Primärentnahme aus der Natur gerechnet, sondern stellen Sekundärprodukte dar, die innerhalb des sozioökonomischen Systems erzeugt werden. Tierische Produkte werden deshalb nur in den Importen und Exporten als Materialinput oder -output erfasst. In Österreich wurden

Abbildung 14: Österreichs inländischer Materialverbrauch (DMC) von Biomasse, 2000, 2010, 2019, 2020, 2021 und 2022.

mehr tierische Produkte exportiert als importiert, weshalb der mit -0,6 Millionen Tonnen negative Materialverbrauch in diesem Fall nur das Netto-Exportvolumen für diese Kategorie im Jahr 2022 widerspiegelt.

Die Ausgangslage für die Versorgung mit Biomasseprodukten ist gut. Österreich verfügt über ausgedehnte Wald- und Agrarflächen mit hoher biologischer Produktivität, auf denen hohe Biomasseerträge erwirtschaftet werden. Der durchschnittliche Getreideertrag liegt in Österreich beispielsweise um 28 % über dem EU-Durchschnitt (FAO 2023). Für den Großteil der land- und forstwirtschaftlichen Produkte weist Österreich einen hohen Selbstversorgungsgrad auf, folglich liegt der Anteil der DE am DMC für Biomasse bei 95 % (für Feldfrüchte: 78 %; Erntenebenprodukte: 100 %; Holz und Holzzeugnisse: 80 %; Fischfang, Wasserpflanzen und -tiere, Wild: 12 %⁵). Für Biomassematerialien tragen die Nettoimporte nur mit 5 % zum DMC Biomasse bei (siehe Abbildung 5). Allerdings zeigen die Daten zu den Außenhandelsflüssen auch, dass Österreich trotz des hohen rechnerischen Selbstversorgungsgrades große Mengen an Holz und landwirtschaftlichen Produkten sowohl importiert als auch exportiert. Importe von Holzprodukten sind auf Ebene der 23 Subkategorien die mengenmäßig drittgrößte Produktgruppe (Importe von 11,8 Mt/a), nur übertroffen von Erdöl (12,9 Mt/a) und Eisen (12,7 Mt/a) (siehe Datentabellen im Anhang). Der Großteil der Nebenströme der Holzverarbeitungskette wird energetisch verwertet, sodass rechnerisch ein hoher Anteil (ca. 39 %) der in Österreich energetisch genutzten Holz-Biomasse aus Importen stammt (Jandl u. a. 2024). Trotz der umfangreichen heimischen Ressourcen ist Österreich also bei Biomasseprodukten stark in europäische und globale Lieferketten und Absatzmärkte integriert und daher auch von diesen abhängig.

Boden – eine limitierte Ressource

Die nationale und globale Nachfrage nach Biomasse wächst und die nachhaltige Bereitstellung dieser Biomasse stellt eine große Herausforderung dar, zumal die intensive Landnutzung bereits jetzt ein wesentlicher Treiber von Artenverlust ist und die Landwirtschaft wesentlich zu Treibhausgasemissionen beiträgt (in Österreich 10,6 % im Jahr 2021; Umweltbundesamt 2023a). Die Flächennutzung in Österreich ist zudem geprägt von anhaltender Versiegelung und Fragmentierung der Flächen. Laut Umweltbundesamt gehen etwa durch Bodenversiegelung jährlich produktive Agrarflächen im Ausmaß von 4.100 ha/a oder 11,3 ha/ Tag dauerhaft verloren (Umweltbundesamt 2024a). Die steigende Nachfrage nach biogenen Materialien verschärft den Druck auf die begrenzte Ressource Boden: Durch die Energiewende, die Maßnahmen in der Bioökonomie-Strategie (BMNT u. a. 2019), vermehrten Einsatz von Holz in der Bauwirtschaft etc. werden neue und mehr Biomassematerialien nachgefragt. Doch die Flächen sind begrenzt, die Nutzungsintensität ist bereits jetzt sehr hoch und der Trend geht eher in Richtung einer Extensivierung

5 Die Kategorien tierische Erzeugnisse und Erzeugnisse hauptsächlich aus Biomasse beinhalten nahezu keine Rohstoffe (außer Wildfang von Fisch, Jagd etc.); für diese Kategorien gibt es daher vor allem Importe und Exporte.

der Landnutzung. Dementsprechend steigt die Konkurrenz um verfügbare Flächen und die darauf produzierte Biomasse (Gingrich u. a. 2015; Schirpke u. a. 2023). Aus diesem Grund und wegen der starken Abhängigkeit der errechneten Potenziale von der Wahl von Bilanzierungsgrenzen schlussfolgert der APCC Special Report Landnutzung und Klimawandel (Jandl u. a. 2024), dass kein realistisches Emissionsminderungspotenzial von Bioenergie angegeben werden kann.

Hebel zur Reduktion des Biomasseverbrauchs

Um dem Druck durch die steigende Nachfrage entgegenzuwirken und die Biomasseproduktion nachhaltiger zu gestalten, stehen verschiedene Hebel zur Verfügung. Viel diskutiert wird die Vermeidung von Abfällen entlang der Produktionsketten, insbesondere von Lebensmittelabfällen: In Österreich fallen jährlich etwa 1,2 Millionen Tonnen Lebensmittelabfälle an, der Großteil davon in privaten Haushalten (61%), 17% in Gaststätten und bei Verpflegungsdienstleistern und 14% in der Verarbeitung und Herstellung der Lebensmittel (BMK 2023). Für Österreich wurde geschätzt, dass etwa 50% dieser Abfälle grundsätzlich vermeidbar sind (Pladerer und Hietler 2019). Noch größere Bedeutung wird einem Übergang zu einer nachhaltigeren und gleichzeitig gesünderen Ernährung mit einem reduzierten Anteil an tierischen Produkten beigemessen (Willett u. a. 2019; Jandl u. a. 2024). Ein sehr großer Teil der landwirtschaftlichen Biomasse (aus Österreich und Importen) geht in die Ernährung von Nutztieren. Eine Reduktion des Konsums tierischer Produkte wird daher als wesentliche Möglichkeit gesehen, um den Flächen- und Primärbiomassebedarf ebenso wie die Treibhausgasemissionen des Ernährungssystems zu reduzieren (Schlatzer und Lindenthal 2020; Lauk u. a. 2022).

Fossile Energieträger – ein Auslaufmodell?

Statement 7 – Um die globale Erwärmung auf 1,5 °C zu begrenzen, müsste bis zur Mitte des Jahrhunderts weltweit Emissionsneutralität erreicht werden: Die Nutzung fossiler Energieträger ist nicht nur eine Quelle des gefährlichen Klimawandels, sondern auch der Luftverschmutzung, der zunehmenden Herausforderungen für die Energiesicherheit und der hohen Kosten. Aus diesen Gründen und vor allem, um die globale Erwärmung auf 1,5 °C zu begrenzen, müsste bis zur Mitte des Jahrhunderts weltweit Emissionsneutralität erreicht werden. Dies ist das „Kohlenstoffgesetz“. Das bedeutet, dass Europa, einschließlich Österreich, aus der fossilen Energie aussteigen und auf kohlenstofffreie Quellen wie erneuerbare Energien umsteigen muss. Die Dekarbonisierung erfordert eine flächendeckende Elektrifizierung und ist nicht nur eine Frage technologischer und wirtschaftlicher Lösungen, sondern vor allem eine Frage der Nachfrageseite und des menschlichen Verhaltens. – Univ.-Prof.i.R. MA PhD. Nebojsa Nakicenovic, Mitglied des Europäischen Wissenschaftlichen Beirats für Klimawandel der Europäischen Kommission

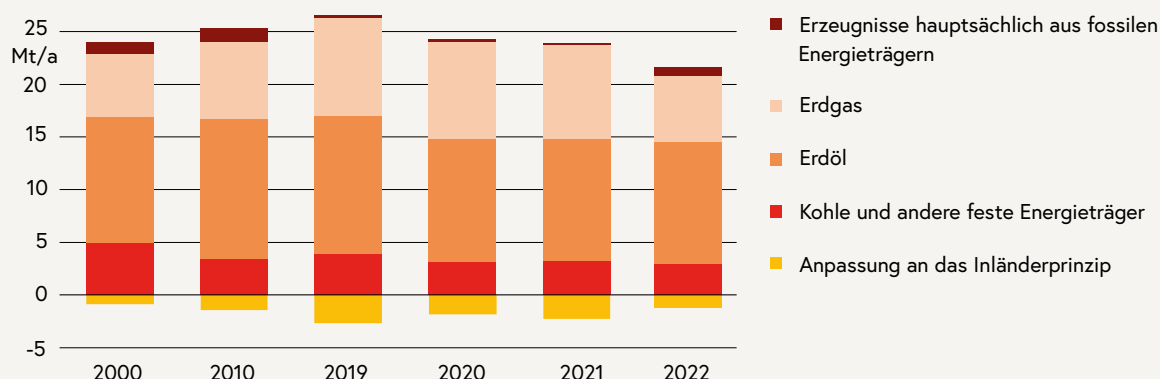
Fossile Energieträger sind nicht erneuerbare mineralische Rohstoffe, die im Laufe von Millionen von Jahren durch biogeochemische Prozesse aus organischem Material in der Erdkruste entstanden sind. Sie werden primär zur Energiegewinnung durch Verbrennung verwendet. So werden auch heute noch die meisten Gebäude mit Öl oder Gas beheizt, Fahrzeuge primär mit Benzin oder Diesel betankt und viele industrielle Prozesse mit fossiler Energie betrieben. Fossile Energieträger werden darüber hinaus auch stofflich genutzt, so zum Beispiel in der petrochemischen Industrie zur Herstellung von Produkten wie Asphalt und Kunststoffen, Koks zur Reduktion von Eisen in der Stahlindustrie oder Erdgas zur Synthese von Stickstoffdünger.

In Österreich werden fossile Energieträger nur in sehr geringen Mengen gewonnen. Kohle wird seit der Schließung der letzten Abbaugebiete im Jahr 2006 in Österreich nicht mehr gefördert (BMF 2022). Die Gewinnung von Erdöl und Erdgas ist von 1,1 Millionen Tonnen beziehungsweise 1,4 Millionen Tonnen im Jahr 2000 auf jeweils 0,5 Millionen Tonnen im Jahr 2022 zurückgegangen. Der österreichische Bedarf an fossilen Energieträgern wird daher zu über 95 % durch Importe gedeckt. Im Jahr 2022 betrugen die Gesamtimporte fossiler Energieträger 29 Mt/a, davon 13 Mt/a Erdöl, 7 Mt/a Erdgas und 3 Mt/a Kohle, sowie Erzeugnisse hauptsächlich aus fossilen Energieträgern (4 Mt/a) und 2 Mt/a aus Anpassungen an das Inländerprinzip, das sind Betankung von

österreichischen KFZ, Schiffen oder Flugzeugen im Ausland.⁶ Seit dem Jahr 2000 ist der Import von Kohle um 21 % zurückgegangen. Der Import von Erdöl hat sich um 5 % leicht erhöht, während sich der jährliche Import von Erdgas seit dem Jahr 2000 deutlich erhöht hat (51 %). Österreich exportierte im Jahr 2022 aber auch 9 Millionen Tonnen fossile Energieträger vor allem in Form von verarbeiteten Produkten (Kunststoffe, Produkte der chemischen Industrie etc.; 3,6 Mt/a).

Der österreichische Verbrauch fossiler Energieträger ist über die betrachteten Jahre 2000–2022 um 11 % gesunken. Dem DMC von 21 Millionen Tonnen fossile Energieträger im Jahr 2022 stand im Jahr 2000 ein Verbrauch von 23 Millionen Tonnen gegenüber (siehe Abbildung 15). Pro Kopf entspricht das einem Verbrauch von 2,3 Tonnen im Jahr 2022 und einem Rückgang von 13 %. Dennoch gab es innerhalb der 22 Jahre doch deutliche Schwankungen: Die Höhepunkte des Verbrauchs lagen in den Jahren 2003 (26,6 Mt/a), 2005 (25,6 Mt/a) und 2012 (25,3 Mt/a). Die niedrigsten Verbrauchswerte waren 2014 (21,6 Mt/a) und 2022 (20,6 Mt/a) zu beobachten. Seit 2019 (24,6 Mt/a) ist der Verbrauch an fossilen Energieträgern jährlich gesunken (siehe Abbildung 15). Der Verbrauch an Kohle ist seit 2002 kontinuierlich gesunken, Öl folgte ab 2004. Im Verbrauch von Erdgas ist die Trendwende 2016 gelungen, seit dem Jahr ist der Verbrauch leicht sinkend.

DMC FOSSILE ENERGIETRÄGER



Erläuterungen: Die Kategorie „Anpassung an das Inländerprinzip“ umfasst Treibstoffe, die von Inländer:innen im Ausland getankt werden, und solche, die von Ausländer:innen in Österreich getankt werden. Diese Flüsse sind nicht in den Außenhandelsdaten enthalten, daher werden sie, analog zur Luftemissionsrechnung, erfasst und im Sinne des Inländerprinzips in der MFA berücksichtigt. Für Details siehe den Projektbericht der Statistik Austria (Neubauer & Gierlinger 2023)

Quelle: Statistik Austria 2024

6 Die Kategorie „Anpassung an das Inländerprinzip“ umfasst Treibstoffe, die von Inländer:innen im Ausland getankt werden, und solche, die von Ausländer:innen in Österreich getankt werden. Diese Flüsse sind nicht in den Außenhandelsdaten enthalten, daher werden sie, analog zur Luftemissionsrechnung, erfasst und im Sinne des Inländerprinzips in der MFA berücksichtigt. Für Details siehe den Projektbericht der Statistik Austria (Neubauer & Gierlinger 2023).

Abbildung 15: Österreichs inländischer Materialverbrauch (DMC) von fossilen Energieträgern, 2000, 2010, 2019, 2020, 2021 und 2022.

Es bestehen hohe Importabhängigkeiten von wenigen Fossilenergie produzierenden Staaten

Über 80 % der globalen Entnahme von fossilen Energieträgern findet in nur vier Ländern statt: China, Indien, Indonesien und den USA (BMF 2023). Zusammen mit vier weiteren Ländern (Russland, Australien, Südafrika, Kasachstan) decken sie 96 % der Weltproduktion ab. Die nach wie vor hohe Nachfrage nach fossilen Rohstoffen führt daher zu ausgeprägten Importabhängigkeiten bei vielen Staaten und zu volatilen Preisen am Weltmarkt. Auch Österreich erwarb in den vergangenen zehn Jahren etwa 96 % aller Rohölimporte aus nur zwölf Ländern, die zum Teil als „politisch instabil“ eingestuft sind (BMF 2023). Der Angriffskrieg Russlands gegen die Ukraine hat diese Abhängigkeiten insbesondere für Erdgas, aber auch Rohöl sichtbar und die negativen Auswirkungen (Knappheiten und Lieferschwierigkeiten bis -stopps sowie dadurch ausgelöste drastische Preissteigerungen) spürbar gemacht.

Erneuerbare Energieformen sind Alternativen zur Fossilenergie – jedoch muss gleichzeitig eine Reduktion der Energienachfrage stattfinden

Neben dem Umgang mit akuten Knappheiten in der Versorgungskette ist aber mittelfristig ein Ausstieg aus der Nutzung fossiler Brennstoffe erforderlich. Die Nutzung fossiler Energieträger verursacht CO₂-Emissionen und ist dadurch Haupttreiber des Klimawandels. Es herrscht Konsens, dass ein Ausstieg aus der Nutzung fossiler Energie in den nächsten wenigen Dekaden unumgänglich ist, um dem Klimawandel entgegenzuwirken und eine drohende Klimakatastrophe zu verhindern (IPCC 2023). Die österreichische Bundesregierung hat sich zum Ziel gesetzt, bis 2040 die Klimaneutralität zu erreichen.⁷ Die Alternative in der Energiebereitstellung sind erneuerbare Energieformen, darunter Sonnenenergie, Wasserkraft, Windkraft, Geothermie und Umgebungswärme, aber auch Energie aus Biomasse (Holz, Biogas, biogener Abfall). Berücksichtigt man die im vorigen Kapitel „Biomasse“ genannte begrenzte Verfügbarkeit von biogenen Rohstoffen, aber auch die im folgenden Kapitel „Metalle“ beschriebene Knappheit vor allem kritischer Rohstoffe, dann wird deutlich, dass eine größer gedachte Energiewende notwendig ist. Neben der Substitution fossiler Energieträger durch erneuerbare Energien ist also auch eine maßgebliche Reduktion der Energienachfrage erforderlich (Creutzig u. a. 2022).

7 bmluk.gv.at/themen/klima-und-umwelt/klima/nationale-klimapolitik/klimaschutzgesetz.html

Metalle – kleine Mengen, aber große strategische Bedeutung

Statement 8 – Nachhaltigkeitskriterien müssen in Bergbau und Weiterverarbeitung auch in internationalen Kooperationen umgesetzt werden: Der globale Bedarf an primären mineralischen Rohstoffen wird in den nächsten Jahrzehnten trotz Bekenntnis zur Kreislaufwirtschaft aufgrund der Energie- und Digitaltransformationen weiter steigen. Dies bedeutet im Kontext unserer planetaren Grenzen, dass sowohl der Bergbau selbst als auch die Weiterverarbeitung und Nutzung der gewonnenen Produkte nachhaltig werden müssen. CO₂-Neutralität, geringer Land- und Wasserverbrauch, Erhöhung statt Minimierung der Biodiversität und soziale Akzeptanz sind nur einige Aspekte, die hier relevant sind. Nachdem aber Österreich und die EU ihren Bedarf nicht intern decken können, brauchen wir auch an denselben Prinzipien ausgerichtete internationale Kooperationen, um Ressourcenknappheit und Konflikte zu vermeiden.

– Univ.-Prof. Dr. Michael Tost, Lehrstuhl für Bergbaukunde, Bergtechnik und Bergwirtschaft, Montanuniversität Leoben

Die Gruppe der Metalle umfasst Erze, Erzkonzentrate sowie hochverarbeitete metallische Materialien und Produkte daraus. Bei den Erzen handelt es sich um das im Bergbau geförderte Gestein und das darin enthaltene Metall mit variierendem Metallgehalt. Das reine Metall wird aus den Erzen und Erzkonzentraten durch Verhüttung⁸ extrahiert. Metalle werden in der Materialflussrechnung in zwei Gruppen unterteilt, zum einen in die mengenmäßig dominierenden eisenhaltigen Metalle und zum anderen die Nichteisenmetalle. Zusätzlich werden verarbeitete Produkte bestehend aus metallischen Rohstoffen, die importiert und exportiert werden, der Gruppe der Erzeugnisse hauptsächlich bestehend aus Metallen zugeordnet.

Die einzelnen Metalle dieser sehr heterogenen Gruppe unterscheiden sich deutlich in Bezug auf physikalische Eigenschaften, Verwendung sowie ökonomischen Wert. Eisenhaltige Metalle machen bezogen auf ihre Masse den Großteil dieser Materialkategorie aus (85 % des DMC) und finden vor allem in Form unterschiedlicher Varianten des Werkstoffs Stahl in vielen Produkten (z. B. Maschinen, Fahrzeuge, Haushaltsgeräte) sowie in gebauten Strukturen (z. B. Gebäude, Verkehrsinfrastrukturen) Verwendung. Nichteisenmetalle sind dagegen eine bunt gemischte Gruppe, die zum Beispiel Aluminium, Kupfer, Zink, Zinn und Magnesium bis hin zu seltenen Erden enthält. Manche dieser Metalle finden wir in unzähligen Produkten des täglichen Lebens (z. B. Aluminium in Autos, Fenstern, Tennisschlägern, Hygieneartikeln, Geschirr oder Kupfer in Form von Kabeln in elektronischen Geräten und Maschinen). Andere Metalle werden in komplexen Kombinationen

8 Unter Verhüttung versteht man den thermischen Prozess der Gewinnung eines Metalls oder Wertstoffes aus einem Erz.

und Legierungen in Hightech-Geräten eingesetzt, die auch für die Energiewende oder in Zukunftstechnologien von essenzieller Bedeutung sind. So werden seltene Erden wie Neodym für Permanentmagneten in Windrädern oder Elektroautos, Lithium und Kobalt für Batterien und Tantal, Gallium und Indium in elektronischen Geräten für die Digitalisierung benötigt. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass Metalle bestandsbildende Materialien sind, die in langlebigen Gütern, Gebäuden und Infrastrukturen akkumulieren.

In Österreich ist die Extraktion von metallischen Erzen im Vergleich zu den anderen Materialkategorien sehr gering (die Extraktion von Metallen macht 7% des gesamten DMC aus), jedoch in den vergangenen zwei Jahrzehnten von 3 Mt/a im Jahr 2000 graduell angestiegen und betrug im Jahr 2022 fast 5 Mt/a, davon entfielen 4,3 Mt/a auf eisenhaltige Metalle. Im selben Jahr wurden 20 Mt/a metallische Erzeugnisse importiert und 15 Mt/a exportiert.

Der österreichische Verbrauch von Metallen hat seit dem Jahr 2000 um 49% zugenommen, jedoch waren signifikante Rückgänge aufgrund reduzierter Importe während der Finanzkrise 2008 sowie im Jahr 2012 zu beobachten. Im Jahr 2021 machten Eisen und eisenhaltige Produkte mehr als 85% des inländischen Materialverbrauchs an Metallen aus.

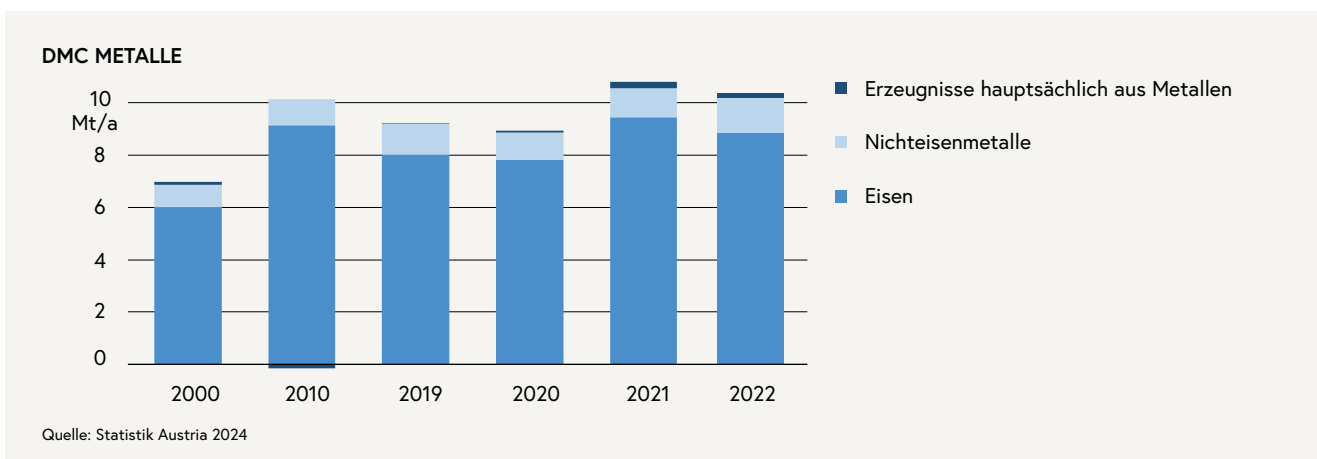


Abbildung 16: Österreichs inländischer Materialverbrauch (DMC) von Metallen, 2000, 2010, 2019, 2020, 2021 und 2022.

Metalle sind, wie fossile Energieträger, nicht ubiquitär verfügbar, sondern in Lagerstätten in der Lithosphäre konzentriert. Neben der Gewinnung von primären Metallen aus natürlichen Lagerstätten kommt der Nutzung von sekundären metallischen Ressourcen durch Recycling große Bedeutung zu. Recycling von Metallen spart nicht nur Primärrohstoffe, sondern auch Energie, da keine energieintensive Extraktion des Metalls aus dem Erz erforderlich ist.

Gesellschaftliche Metallbestände sind urbane Quellen für eine sekundäre Nutzung

Metalle werden vor allem in langlebigen Gütern oder in Gebäuden und Infrastrukturen mit einer Lebensdauer von mehreren Jahrzehnten eingesetzt, sie akkumulieren daher in der Gesellschaft. In diesem Zusammenhang spricht man auch von „anthropogenen Lagerstätten“, da die Metalle am Ende der Lebensdauer dieser Produkte und Strukturen theoretisch

wieder als Sekundärrohstoffe zur Verfügung stehen. Die zunehmende Nutzung von Metallen führte schon im 20. Jahrhundert zu einer Verlagerung von geologischen Ressourcen zu anthropogenen Metallbeständen (Graedel 2010). Im Kontext der Kreislaufwirtschaft rückt daher eine effiziente Rückgewinnung von Metallen (und anderen Sekundärrohstoffen) aus anthropogenen Beständen am Ende ihrer Lebensdauer als „urban mining“ zunehmend in den Fokus.

Die Nachfrage nach Metallen wird bald das Angebot übersteigen

In der gesellschaftlichen Nutzung werden Metalle zu einem Großteil in langlebigen Gütern wie Gebäuden, Fahrzeugen oder Maschinen eingesetzt. Da natürliche Lagerstätten von Metallen endlich sind und neue Abbaugelände nicht sofort und in ausreichendem Maße in Europa zur Verfügung stehen, nimmt die ökonomische Bedeutung akkumulierter anthropogener Bestände stetig zu. Mit aktuellen technologischen Recyclingverfahren können jedoch nicht alle Metalle mit gleicher Effizienz zur Wiederverwertung prozessiert werden. Im Jahr 2020 lag die österreichische Recyclingrate von Metallen bei 93 % bzw. bei Metallverpackungen bei 66 % (BMK 2023). Die Nachfrage nach mineralischen Rohstoffen wird daher bald das Angebot übersteigen. Der österreichische Masterplan Rohstoffe 2030 (BMLRT 2021) antwortet auf diese Herausforderungen und sieht vor, die Versorgung aus heimischen Quellen zu stärken sowie die internationale Versorgung zu sichern.

Masterplan Rohstoffe 2030

Die geopolitische Lage und die damit im Zusammenhang stehende Rohstoffversorgungssituation haben sich seit Veröffentlichung des Masterplans Rohstoffe 2030 als österreichische Rohstoffstrategie im Dezember 2021 verschärft. Als Folge der Energiewende, Mobilitätstransformation, Dekarbonisierung der Industrie und Digitalisierung steigt die Nachfrage nach oftmals „neuen“ Rohstoffen stark und es verändern sich Verbrauchsmuster. Gleichzeitig ist die Situation auf den internationalen Rohstoffmärkten in besonderem Maße angespannt. Die Ausrichtung des Masterplans Rohstoffe 2030 mit den drei Säulen Versorgung aus heimischen Quellen; Versorgung aus internationalen Zulieferquellen; Smart Production, Kreislaufwirtschaft, neue wertschöpfende Technologien und Produkte, sowie den Querschnittsthemen Akzeptanz und Nachhaltigkeit, Digitalisierung und Automatisierung, Forschung und Entwicklung, Bildung und Ausbildung sowie Dialog und Foresight Policy bietet Lösungsansätze für die aktuell herausfordernde Rohstoffversorgungssituation. Die Maßnahmen des Masterplans und deren Umsetzung wurden im Jahr 2023 vom Monitoring-Beirat evaluiert, der in Folge Empfehlungen formuliert hat.⁹

⁹ Mehr dazu siehe: bmf.gv.at/themen/bergbau/mineralrohstoffpolitik/oesterreich/masterplan-rohstoffe-2030.html

Wichtige Zukunftsrohstoffe sind als kritische Rohstoffe klassifiziert, die Produktion innerhalb der EU soll erhöht werden

Bei den Metallen liegt ein spezieller Fokus auf den kritischen Rohstoffen, das sind mineralische Rohstoffe, die durch strategische wirtschaftliche Bedeutung und ein hohes Versorgungsrisiko gekennzeichnet sind.¹⁰ Die EU hat 2011 erstmals eine Liste von 14 kritischen Rohstoffen veröffentlicht, in der nunmehr fünften Liste von 2023 sind 34 Rohstoffe als kritisch klassifiziert (European Commission 2023c). In der Liste finden sich Bauxite (der Rohstoff, aus dem Aluminium hergestellt wird), Kupfer, Nickel, aber auch Metalle, die nicht in größeren Mengen, dafür aber vor allem in strategisch wichtigen Zukunftstechnologien eingesetzt werden (Solarpaneele, Windturbinen, E-Autos etc.), wie zum Beispiel Kobalt, die seltenen Erden, Platinmetalle oder Lithium. Im Falle der seltenen Erden werden z. B. fast 62 % der weltweit verwerteten Mengen in China extrahiert (BMF 2023). Kritische Rohstoffe sehen sich einer rasch wachsenden globalen Nachfrage gegenüber, der Anreiz ist daher groß, vorhandene anthropogene Lager zur Gewinnung von Sekundärrohstoffen zu nutzen. Ziel der EU ist es daher, die Produktion innerhalb Europas anzuregen, Recyclingaktivitäten zu verstärken und die effiziente Nutzung voranzutreiben. 2023 hat die EU den Critical Raw Materials Act und den Net Zero Industry Act veröffentlicht. Beide Gesetze sollen die Sicherung der Rohstoffversorgung und die Wettbewerbsfähigkeit der Net-Zero-Technologien sichern und ausbauen.

Critical Raw Materials Act

Der Critical Raw Materials Act (CRMA) bietet eine strategische Grundlage für die europäische Rohstoffversorgung. Diese neue EU-Verordnung verfolgt das Ziel, die Versorgung mit kritischen und strategischen Rohstoffen langfristig zu sichern und Abhängigkeiten zu minimieren. Sowohl die Transformation hin zur Klimaneutralität als auch die gleichzeitige Stärkung der europäischen Wettbewerbsfähigkeit erfordern eine sichere und verantwortungsvolle Rohstoffversorgung. Die Schwerpunkte des Pakets liegen in der Stärkung der europäischen Lieferketten, der Diversifizierung der EU-Importe, der Stärkung des Monitorings der Wertschöpfungsketten sowie in der Nachhaltigkeit und Kreislaufwirtschaft. Um diese Ziele des CRMA zu erreichen, sollen unter anderem die Verarbeitungs- und Recyclingkapazitäten in der EU sowie der Anteil der EU-Rohstoffgewinnung erhöht werden, strategische Partnerschaften ausgebaut und sogenannte Stresstests seitens der Kommission durchgeführt werden. Außerdem sollen Genehmigungsverfahren schneller durchgeführt werden, unter Beibehaltung hoher ESG-Standards (Environment, Social, Governance).

10 bmf.gv.at/themen/bergbau/mineralrohstoffpolitik/europaeische-union/kritische-rohstoffe.html

Net Zero Industry Act

Die Europäische Kommission möchte mit dem Net Zero Industry Act (NZIA) gemeinsam mit dem Critical Raw Materials Act einen klaren Rahmen vorgeben, um die Wettbewerbsfähigkeit der europäischen Netto-Null-Industrie (net zero industry) zu verbessern. Des Weiteren sollen bessere Bedingungen für die Produktion von und Investitionen in saubere, emissionsfreie Technologien in Europa geschaffen werden. Dies soll den Übergang zur Klimaneutralität beschleunigen. Ziel ist, dass die Produktionskapazität für die strategisch wichtigsten Netto-Null-Technologien bis zum Jahr 2030 mindestens 40 % des Bedarfs der EU erreicht. Dazu sollen unter anderem Genehmigungsverfahren für strategisch wichtige Wertschöpfungsketten erleichtert, Beihilferegeln vereinfacht und die Verwendung von EU-Mitteln flexibilisiert werden. Zu den sogenannten Net-Zero-Technologien zählen jene Technologien, die einen wesentlichen Beitrag zur Dekarbonisierung leisten, wie z. B. Photovoltaik, Windenergie, Batterien, Geothermie, CCS (carbon capture and storage) und CCU (carbon capture and utilization).

Nichtmetallische Mineralstoffe – die große Masse

Statement 9 – Eine nachhaltige Nutzung von Mineralstoffen erfordert einen Perspektivenwechsel im Bausektor: Die Herstellung und der Betrieb von Gebäuden ist in Österreich für rund 30–60 % (je nach Definition der Betrachtungsgrenzen) der Treibhausgasemissionen verantwortlich und verbraucht einen ähnlich großen Anteil der gesamten Energie und Primärmaterialien. Der Einfluss des Sektors und somit auch das Optimierungspotenzial sind daher enorm. Während der technische Fortschritt, insbesondere in den letzten 120 Jahren, zu einer Verbesserung der Funktionalität von Gebäuden in der Nutzungsphase geführt hat, ist die Material- und Energieverwendung in der Herstellung stark angestiegen und es werden mittlerweile sehr viele Materialien vermischt, die am Ende des Lebenszyklus nur mehr schwer voneinander getrennt werden können. – Univ.-Prof. Dr. Benjamin Kromoser, Institut für Hochbau, Holzbau und kreislaufgerechtes Bauen, BOKU University

Im Zuge der Industrialisierung ist es zu einer deutlichen Senkung der Material- und Maschinenkosten verglichen mit den Personalkosten gekommen, mit der Folge, dass die ressourceneffizienteste Lösung hinsichtlich Material- und Energieverbrauch meist nicht mehr mit der ökonomisch attraktivsten Lösung übereinstimmt. Aktuelle Bautechniken sind materialintensiv, insbesondere die Tragstrukturen, und in einer realen Betrachtung nur sehr bedingt kreislauffähig.

Es besteht die Notwendigkeit, im Neubau und in der Sanierung den Einsatz an grauer Energie und auch der Betriebsenergie jeweils mit Blick auf den gesamten Lebenszyklus zu minimieren, ohne dabei Materialien oder Bautechniken zu bevorzugen. Neben einer hochwertigen funktionalen und konstruktiven Ausführung muss zukünftig auch

eine objektive ökologische Optimierung, die auf einen optimalen Material- und Energieeinsatz abzielt, eine zentrale Rolle einnehmen. Es muss an Bewusstseinsbildung in der Gesellschaft bzgl. Einfluss und auch Potenzial des Bausektors gearbeitet werden und es müssen Mechanismen geschaffen werden, die ökologische Bauweisen auch ökonomisch interessanter gestalten. Zudem muss an der Etablierung von kreislauffähigen Bauweisen gearbeitet werden, die sich für eine großflächige Anwendung eignen.

Nichtmetallische Mineralstoffe sind auf die Gesamtmasse bezogen die größte Materialkategorie. In der Materialflussrechnung wird die Gruppe auch nach Baurohstoffen und Industriemineralen unterschieden. Baurohstoffe umfassen verschiedenste Gesteine wie Kalk, Dolomit, Sand oder Kies, welche primär im Bau von Gebäuden, Straßen und anderen Infrastrukturen eingesetzt werden. Kalkstein ist als Ausgangsmaterial für die Produktion von Zement ein wichtiger Rohstoff. Darüber hinaus werden in der industriellen Verwendung etwa Quarzsande in der Glasherstellung, Diamanten aufgrund ihrer Härte im Maschinenbau, Kaolin und Kalzit als Füllstoffe in der Papierherstellung und Phosphate in der Herstellung von Düngemitteln eingesetzt. Eine klare Trennlinie zwischen Bau- und Industriemineralen ist jedoch nicht eindeutig zu ziehen, da sich die Verwendungsarten teilweise überlappen. Die Materialart dagegen ist eindeutig, daher sind die Materialgruppen in der MFA an dieser orientiert. Wie Metalle sind nichtmetallische Mineralstoffe vorwiegend bestandsbildende Materialien, die im sozioökonomischen System akkumulieren.

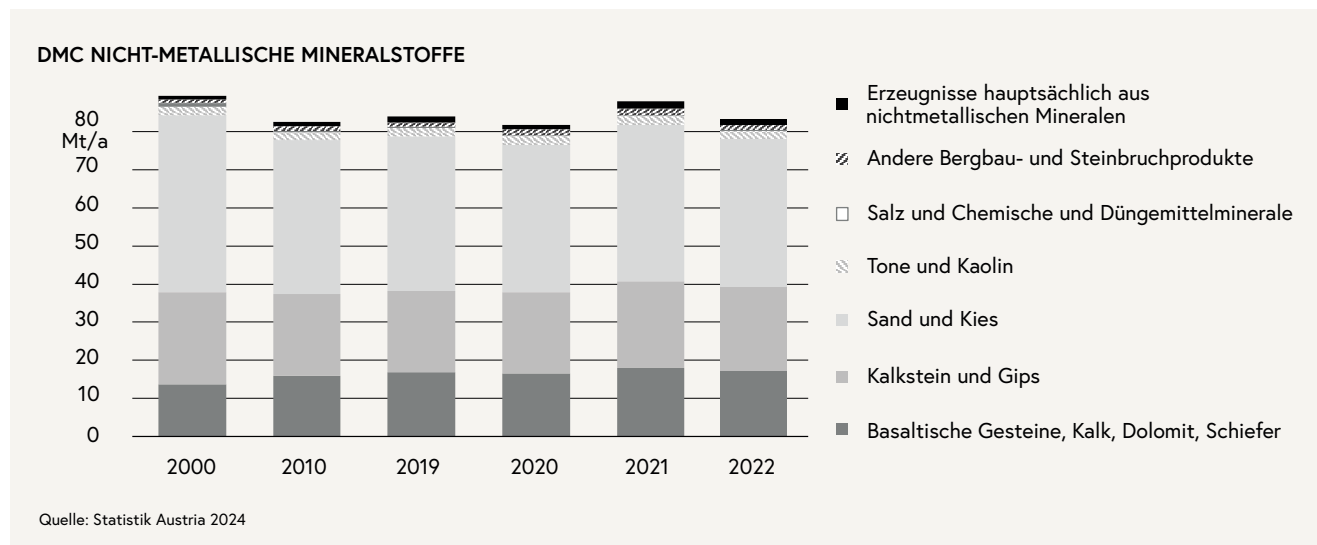
Bis auf wenige Ausnahmen (vor allem spezielle Mineralstoffe für industrielle Anwendungen) wird der größte Teil der nichtmetallischen Mineralstoffe in Österreich abgebaut. Im Jahr 2022 wurden in Österreich 82 Mt/a nichtmetallische Mineralstoffe gewonnen. Insgesamt ist die Gewinnung von nichtmetallischen Mineralstoffen seit dem Jahr 2000 um 8 % zurückgegangen.

Der Großteil der Entnahme nichtmetallischer Mineralstoffe (95 %) entfällt auf nur drei Kategorien, das sind Sand und Kies (DE von 39 Mt/a im Jahr 2022), Kalkstein und Gips (22 Mt/a) und basaltische Gesteine, Kalk, Dolomit und Schiefer (17 Mt/a). Weitere Mineralstoffe wie Tone, Kaolin, Salze, chemische Minerale, Minerale zur Düngemittelherstellung (Phosphor, Stickstoff, Kalium etc.) und andere Bergbau- und Steinbruchprodukte wurden im Ausmaß von insgesamt 4 Mt/a inländisch extrahiert.

Die Handelsaktivitäten sind in dieser Materialkategorie im Vergleich zur DE gering; im Jahr 2022 wurden 10 Mt/a importiert und 9 Mt/a exportiert. Unter den Importen umfasste die Gruppe der Erzeugnisse aus nichtmetallischen Mineralstoffen die größten Mengen (3,3 Mt/a), gefolgt von Sand und Kies (3,1 Mt/a). Bei den Exporten waren die größten Posten in den Kategorien Sand und Kies (3 Mt/a), Salz und chemische und Düngemittelminerale und auch Erzeugnisse aus nichtmetallischen Mineralstoffen (beide Gruppen 2 Mt/a) zu finden.

Der inländische Verbrauch von nichtmetallischen Mineralstoffen befand sich seit 2009 auf einem relativ konstanten Niveau zwischen 80 und 87 Mt/a (siehe Abbildung 17). In den letzten Jahren war ein leichter Rückgang im COVID-Jahr 2020 zu beobachten, der im Folgejahr wieder auf 89 Mt/a – also um fast das Dreifache des Rückgangs – gestiegen ist. Die drei Jahre 2011, 2014 und 2021 verzeichneten die Höchstwerte im Ver-

brauch an nichtmetallischen Mineralstoffen seit 2009. Pro Kopf wurden im Jahr 2021 in Österreich etwa 10 t/a an nichtmetallischen Mineralstoffen verbraucht. Etwa die Hälfte des Verbrauchs ist auf Sand und Kies zurückzuführen. Im Jahr 2022 ist der Verbrauch dann erneut auf 83 Mt/a oder 9 t/cap/a zurückgegangen.



Unsere gebauten Bestände sind Treiber zukünftiger Ressourcenflüsse

Nichtmetallische Mineralstoffe werden primär für den Aufbau und die Erhaltung langlebiger gesellschaftlicher Bestände (z. B. Straßen, Wohngebäude, Krankenhäuser, Kanalisation etc.) genutzt. Große Mengen von Beton, Ziegelsteinen sowie Sand und Schotter in Fundamenten werden jährlich in Gebäuden, Straßen und anderen Infrastrukturen verbaut. Obwohl diese Materialien in der Regel nicht toxisch oder unmittelbar gefährlich sind, entstehen Umweltbelastungen durch die großen Mengen, die extrahiert werden. Denn jede Ressourcenentnahme egal welchen Materials verursacht Umweltauswirkungen, z. B. Verlust an Vegetation und Boden, Grundwasserbeeinträchtigung, Veränderung und Schädigung von Struktur und Funktionen der Ökosysteme und folglich den Ökosystemdienstleistungen für die lokale Bevölkerung (UN IRP 2019b). Die weitaus größeren Umweltauswirkungen entstehen jedoch durch die Nutzung der Materialien in Form von gesellschaftlichen Beständen. Erstens verursachen gebaute Bestände und Infrastrukturen Materialflüsse in der Zukunft, weil jedes Haus, jede Straße in regelmäßigen Abständen saniert werden muss. Wiedenhofer u. a. (Wiedenhofer u. a. 2015; Haberl, Wiedenhofer u. a. 2021) errechneten, dass ungefähr die Hälfte der verwendeten Baurohstoffe in den Erhalt von Beständen geht, die andere Hälfte in den Neubau. Zweitens verursachen Bestände Energieverbrauch, da jedes Haus beheizt, beleuchtet und mit einer Vielzahl an elektrischen Geräten ausgestattet ist. Auch Straßen oder Tiefgaragen müssen beleuchtet werden und werden von Fahrzeugen unter Treibstoffverbrauch befahren. Drittens ist der Ausbau von Beständen derzeit mit einer Ausweitung der Versiegelung verbunden, die in Österreich schon ein alarmierendes Ausmaß angenommen hat (Umweltbundesamt 2024a). Vor diesem Hintergrund ist es einerseits wichtig, Baurestmassen möglichst

Abbildung 17: Österreichs inländischer Materialverbrauch (DMC) von nichtmetallischen Mineralstoffen, 2000, 2010, 2019, 2020, 2021 und 2022.

vollständig zu rezyklieren, um damit die Entnahme von Primärrohstoffen zu reduzieren. Andererseits sollten bereits bestehende Strukturen intensiver und effizienter genutzt werden, um einen weiteren Ausbau von Beständen und die damit einhergehende Bodenversiegelung gering zu halten.

Auch bei Baurohstoffen gewinnt die Sekundärnutzung von anthropogenen Lagern an Bedeutung, um raumordnungsbedingten Knappheiten entgegenzuwirken

Baurohstoffe werden in Massen genutzt und sind in Österreich auch in einer großen Zahl an Lagerstätten verfügbar. Knappheiten entstehen daher weniger durch schwindende natürliche Ressourcen, sondern eher durch die begrenzte Verfügbarkeit geeigneter Flächen. Verfügbare Rohstoffe können daher wegen Raumordnungskonflikten oftmals nicht bergbaulich gefördert werden (Weber 2008). Die Nutzung anthropogener Lager wird daher auch für diese Materialien zunehmend an Bedeutung gewinnen. Dem entgegen wirken Schwierigkeiten in der Aufbereitung von Baurestmassen, beim Aufspalten von Verbundstoffen und die Tatsache, dass große Mengen einem sogenannten Downcycling zukommen; das Material kann dabei nicht in die ursprüngliche Qualität rückgeführt werden, sondern steht als Werkstoff geringerer Qualität für andere Nutzungsformen zur Verfügung. So werden Fundamente von Gebäuden in der Regel mit zerkleinerten, wiederverwerteten Beton- und anderen Baurohstoffresten gefüllt.

Biophysische Bestände bestimmen Ressourcenflüsse (stock-flow-service nexus)

Statement 10 – Dichte und Raumstruktur von Siedlungen und Infrastrukturen beeinflussen den Ressourcenverbrauch und die Emissionen von Städten: Weltweit sind die gesellschaftlichen Materialbestände bereits etwa gleich schwer wie alle Lebewesen zusammen, nämlich etwa 1 Billion (10¹²) Tonnen, und sie steigen exponentiell an (Elhacham u. a. 2020). Der bei Weitem überwiegende Teil der Bestände entfällt auf Gebäude und Verkehrsinfrastrukturen, dazu kommen Menschen, Nutztiere, Maschinen und Konsumgüter. Seit Langem ist bekannt, dass Dichte und Raumstruktur von Siedlungen und Infrastrukturen den Ressourcenverbrauch von Städten beeinflussen, besonders die Emissionen aus dem Verkehr. Dies gilt auch auf nationaler Ebene. In einer statistischen Untersuchung konnte kürzlich gezeigt werden, dass Fläche und räumliche Anordnung von Gebäuden und Infrastrukturen in einem Land auf den Endenergieeinsatz und die CO₂-Emissionen pro Kopf etwa gleich stark wirken wie die Wirtschaftsleistung, also das Bruttoinlandsprodukt (BIP). Der Effekt besteht zusätzlich zum BIP, d.h., bei gleich hohem BIP verbrauchen und emittieren Länder mit größeren und stärker verteilten Infrastrukturen mehr (Haberl u. a. 2023). Den größten Einfluss hat die versiegelte Fläche pro Kopf. Ein Stopp der Bodenversiegelung wäre daher nicht nur ein Beitrag zum Schutz von Böden, Biodiversität und Wasserhaushalt, sondern würde auch helfen, den Ressourcenverbrauch zu senken. Zum einen, weil weniger Baumaterialien produziert werden müssten, vor allem aber auch, weil ihre Erhaltung und Verwendung langfristig hohe Energie- und Materialinputs benötigt.

– Univ.-Prof. Mag. Dr. Helmut Haberl, Institut für Soziale Ökologie (SEC), BOKU University

Betrachtet man ein System, so bestimmen Zuflüsse in und Abflüsse aus dem System die Bestandsgröße des Systems. Das lässt sich etwa am Beispiel des Wasserstandes einer Badewanne (Forrester 1994; Sweeney und Sterman 2000) illustrieren, oder anhand der Bevölkerungsgröße eines Landes (mit Geburten, Sterbefällen und Migration als Inputs und Outputs). Auch für die gesellschaftlichen Ressourcenflüsse gilt dieser Zusammenhang zwischen Inputs, Outputs und Beständen. Ein bestimmender Faktor für die derzeit hohen Ressourcenflüsse und auch Emissionen sind daher die materiellen Bestände (Haberl u. a. 2017; Krausmann, Wiedenhofer u. a. 2017).

Anfang des vorigen Jahrhunderts war der Materialverbrauch noch geprägt von der dissipativen Verwendung von Ressourcen: Der überwiegende Teil der genutzten Materialien wurde für die Energiebereitstellung verwendet, das heißt, sie wurden als Nahrungs- und Futtermittel oder technische Energieträger innerhalb relativ kurzer

Zeit nach ihrer Extraktion verbraucht und verließen als Outputs das gesellschaftliche System. Die gesellschaftlichen Bestände waren vergleichsweise gering. Hundert Jahre später hat sich der gesellschaftliche Metabolismus derart verändert, dass der größte Teil der Materialien bestandsbildend genutzt wird, das heißt, die Materialien werden überwiegend für Aufbau und Erhaltung von Beständen von Gebäuden, Infrastrukturen und langlebigen Gütern verwendet und akkumulieren im sozioökonomischen System (Krausmann u. a. 2018).

Heutige Gesellschaften sind so organisiert, dass wir in unserem beruflichen und privaten Alltag eine Vielzahl an Beständen brauchen und nutzen (siehe Abbildung 18). Zu diesen Beständen zählen Artefakte von großen Massen (z. B. Gebäude, Straßen, Brücken, unterirdische Infrastruktur, Maschinen, Fahrzeuge) und Produkte mit geringerer Masse (z. B. Kleidungsstücke, Freizeitgeräte, Möbel, Werkzeuge, Kommunikationsgeräte). Als Bestände zählen in der Materialflussrechnung alle „Dinge“, die länger als ein Jahr in gesellschaftlicher Verwendung bleiben. Neben den gebauten bzw. produzierten Beständen werden auch Menschen selbst sowie Haus- und Nutztiere den gesellschaftlichen Beständen zugerechnet, die durch Ressourceninputs wie Nahrungs- und Futtermittel erhalten werden müssen (Krausmann, Schandl u. a. 2017; Eurostat 2018).

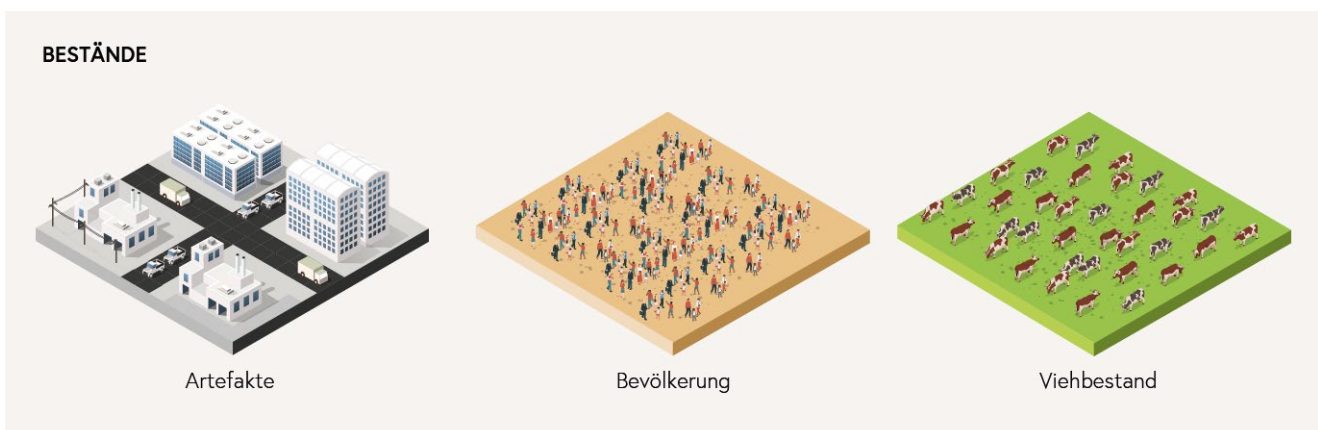


Abbildung 18: Bestände.

Bestände verursachen Ressourcenflüsse. Material und Energie müssen eingesetzt werden, einerseits, um beispielsweise Gebäude und Straßen zu bauen und zu erhalten, andererseits, um sie in Betrieb zu nehmen, d. h. um sie zu benutzen (Haberl u. a. 2017; Krausmann, Wiedenhofer u. a. 2017). Ein guter Teil der Ressourcen, die wir in der Produktion, aber vor allem in der Nutzungsphase brauchen, sind Energieträger. Eine Reduktion der Ressourcenflüsse bedeutet daher auch eine Veränderung in der Struktur, Qualität und Nutzung der Bestände, unter Umständen auch eine Reduktion der Bestände.

Doch betrachten wir unsere Bestände noch einmal genauer. Nehmen wir das Beispiel einer Wohnung in einem Haus. Wir haben eine Wohnung, weil wir vor Kälte oder Hitze, Regen oder Schnee geschützt sein und weil wir uns ein wohnliches Zuhause schaffen wollen, in dem wir uns sicher und geborgen fühlen; diese Kriterien stellen wesentliche Aspekte von Lebensqualität dar (Görg u. a. 2023). Welches Material sich genau in den Wänden verbirgt, ist stattdessen wenig relevant. Ein anderes Beispiel:

Wir besitzen ein Auto, weil wir damit zur Arbeit fahren. Dabei geht es in der Regel weniger um den Besitz des Autos oder um die Materialien, die im Auto verbaut sind, sondern vielmehr darum, Wege von A nach B zurückzulegen. Jenes Verkehrsmittel, das subjektiv am verfügbarsten, nächsten, raschesten und mit dem größten Komfort verbunden ist, wird bevorzugt für den Service (die Dienstleistung) „bring mich von A nach B“ genutzt. Ein drittes Beispiel wären Infrastrukturen wie die Kanalisation oder das Stromnetz. Auch hier genieße ich als Privatperson die Vorzüge, diese Infrastruktur nutzen zu können, ohne einen direkten Einfluss auf deren materielle Ausstattung zu haben oder ein tatsächliches Produkt zu konsumieren. Die verfügbare Infrastruktur, also wie der öffentliche Raum organisiert und strukturiert ist, gibt den Rahmen vor, innerhalb dessen individuelle (Konsum-)Entscheidungen getroffen werden. In urbanen Regionen ist es durch ein dichteres Angebot an öffentlichen Verkehrsmitteln und kürzere Wege deutlich leichter, auf das Auto zu verzichten, während in ländlicheren Gegenden die Bedingungen und Möglichkeiten ganz anders aussehen. Es geht uns also bei den Beständen und die mit ihrem Aufbau, ihrer Erhaltung und Nutzung verbundenen Flüsse weniger um die Materialien als solche, sondern vielmehr um die Funktion, den Service, die sie für uns bereitstellen (Krausmann, Wiedenhofer u. a. 2017; Haberl, Schmid u. a. 2021; Carmona u. a. 2022). Gesellschaftlicher Wohlstand definiert sich nicht über die Mengen an Zement, Stahl und anderen Materialien, aus denen eine Wohnung besteht, sondern über die Qualität der verschiedenen Funktionen (Sicherheit, Wärmekomfort, Kommunikationsraum, Zugang zu Grünraum, Einkaufsmöglichkeiten, Gesundheitsdienstleistungen), die der Wohnraum bietet. Diese Funktionen können mehr oder weniger ressourcen-effizient bereitgestellt werden. Pauliuk u. a. (Pauliuk u. a. 2021; Pauliuk und Heeren 2021) haben zum Beispiel berechnet, dass Materialeffizienz-Maßnahmen im Bereich Wohngebäude und Personenfahrzeuge einen maßgeblichen zusätzlichen Beitrag (neben Energieeffizienz und kohlenstoffarmer Energiebereitstellung) zur Reduktion von Treibhausgasemissionen leisten können. Wenn wir also vorhandenen Wohnraum besser nutzen und im Neubau noch stärker auf Material- und Energieeffizienz achten, dann könnten wir Ressourcen einsparen, ohne Wohlstand zu verlieren. Nicht die Quantität und der Besitz von Gütern und Beständen soll im Zentrum stehen, sondern die Qualität der Services und Funktionen, die zu einer hohen Lebensqualität beitragen (Jackson 2014; O'Neill u. a. 2018; Millward-Hopkins u. a. 2020).

Was die gebauten Infrastrukturen betrifft, haben Konsumentinnen und Konsumenten in der Regel wenig individuelle Entscheidungsgewalt über deren Ausbau und Gestaltung. Vielmehr werden diese oftmals in politischen Planungsprozessen gestaltet. Infrastrukturen werden kollektiv geschaffen und versorgen im Großen und Ganzen keine Einzelpersonen. Auch sind Infrastrukturen keine Produkte, sondern integrieren Produktion, Verteilung, Konsum (Jonas u. a. 2023, 27). Gerade bei Fragen zur Ressourcennutzung ist es wichtig, genauer auf diese Bereitstellungssysteme zu blicken, da sie „zwischen menschlichem Wohlbefinden und biophysischen Prozessen“ vermitteln (O'Neill u. a. 2018).

Die Bestände, die wir heute bauen, erzeugen einen Ressourceninput sowohl in der Gegenwart als auch in der Zukunft. Jedes Haus, das heute gebaut wird, braucht Material für den Aufbau und weiteres Material, um es mit Möbeln, Geräten und anderen Produkten zu füllen. In der Zukunft muss ein einmal gebautes Haus durch stetigen Materialinput erhalten und saniert werden und es ist Energieinput erforderlich, um das Haus zu beleuchten, zu beheizen und die vielfältige Geräteausstattung in Betrieb zu nehmen. Dies bedeutet, dass eine Reduktion der Ressourcenflüsse nicht mit einem stetigen Ausbau und Wachstum der Bestände erreicht werden kann.

Wenn ein Bestand schließlich das Ende seiner Lebenszeit erreicht hat und abgerissen wird, sollte das Abbruchmaterial für den geplanten Neubau im Sinne einer Kreislaufwirtschaft wiederverwendet werden. Doch Bestände verbleiben oft über viele Jahre, Jahrzehnte oder auch Jahrhunderte in unserer Gesellschaft; das Abbruchmaterial hat daher eine materielle Zusammensetzung, welche die technischen Gegebenheiten von vor Jahrzehnten repräsentiert. Heute wird meist mit anderen Materialien gebaut. Vom Abbruchmaterial eines Gründerzeithauses kann nur ein gewisser Teil in einem Neubau wiederverwendet werden. Gerade bei Produkten, die über lange Zeiträume in der Gesellschaft akkumuliert werden, muss vermehrt auf eine kluge und nachhaltige, kreislauffähige Produktgestaltung (Produktdesign, Ökodesign) geachtet werden, um Pfadabhängigkeiten¹¹ zu vermeiden. Es braucht langlebige Güter, die am Ende der Lebenszeit leicht in Teilprodukte und Materialien zerlegt, wiederverwendet bzw. -verwertet werden können und auch tatsächlich wieder in der Produktion eingesetzt werden. Nur so werden Bestände nicht zu Altlasten.

Statement 11 – Vor-Entschieden: Altlasten als Zukunftsproblem. Vom Sodabedarf der Textilindustrie des 19. Jahrhunderts führt ein Pfad zu Tetrachlorkohlenstoff, einem bis Mitte des 20. Jahrhunderts in Putzereien benützten Lösungsmittel, das heute als giftig, wassergefährdend und allzu langlebig einen Teil der weltweiten Altlasten ausmacht. Eisenbahnschwellen, imprägniert mit teerölhaltigen Holzschutzmitteln, geben noch Jahrzehnte nach dem Ausbau krebserzeugend wirkende, schwer flüchtige aromatische Kohlenwasserstoffe ab. Asbest, als Flammhemmer in Bauwerke integriert, macht Jahrzehnte nach seinem Einbau teure Sanierungen nötig. Altlasten sind in Österreich in einem Kataster erfasst, bei Bauprojekten ist deren geordnete Entsorgung eine teure Pflicht. Doch bis heute entstehen höchstwahrscheinlich neue Altlasten, um die sich künftige Generationen sorgen werden, solange das Vorsorgeprinzip nicht umgesetzt wird. – Univ.-Prof. (i.R.) Ing. Dr. phil. Dr. h.c. Verena Winiwarter, Österreichische Akademie der Wissenschaften

11 bmf.gv.at/themen/bergbau/mineralrohstoffpolitik/europaeische-union/kritische-rohstoffe.html

Österreichs materielle Bestände sind auf 540 Tonnen/Kopf angewachsen

In den letzten Jahren haben sich einige Forschungsgruppen der Quantifizierung und Analyse der gesellschaftlichen Bestände gewidmet (Tanikawa u. a. 2012; Pauliuk und Müller 2014; Fishman u. a. 2015; Krausmann, Wiedenhofer u. a. 2017; Krausmann u. a. 2020; Haberl, Schmid u. a. 2021; Tanikawa u. a. 2021; Wiedenhofer u. a. 2021; Soonsawad u. a. 2022). In einer globalen Studie berechneten Krausmann u. a. (2017), dass die gesellschaftlichen Bestände im letzten Jahrhundert um das 23-Fache gestiegen sind. Das Wachstum überstieg den Anstieg des globalen Materialverbrauchs (Faktor 10) daher um ein Vielfaches. Auch die Weltbevölkerung wuchs mit einem Faktor 4 deutlich langsamer, die globale Wirtschaft jedoch entwickelte sich in einem sehr ähnlichen Ausmaß (Faktor 27) wie die gesellschaftlichen Bestände (Krausmann, Wiedenhofer u. a. 2017). In einer weiteren Studie zeigten Krausmann u. a. (2018), dass die Materialbestände in gleichem Tempo wie unsere Wirtschaft wachsen; eine Entkoppelung von Bestandsakkumulation und Wirtschaftswachstum ist folglich nicht zu beobachten.

Im Jahr 2010 beliefen sich die globalen Bestände auf 78 Milliarden Tonnen (Gt) oder 11 t/cap (Krausmann, Wiedenhofer u. a. 2017). Die Materialbestände in Industrieländern sind wie zu erwarten deutlich höher und lagen 2010 bei 335 t/cap (Krausmann u. a. 2018). Der exponentielle Anstieg der Bestände zeigte sich auch in einer Veränderung der Ressourcenflüsse. Wurden im Jahr 1900 noch 81% der Materialien für die Ernährung von Menschen und Tieren (51%), technische Energie aus fossilen Energieträgern (19%) und verschiedene dissipative Nutzungen (11%) verwendet und nur 19% des Materialverbrauchs für den Aufbau von Beständen, hat sich dieses Bild gänzlich gewandelt. Im Jahr 2015 wurden nur 17% des Materialverbrauchs für Nahrungsbereitstellung verwendet, 17% beliefen sich auf fossile Energieträger und 7% auf dissipative Verwendungen. 59% des Materialverbrauchs gingen in den Aufbau von gesellschaftlichen Beständen (Krausmann u. a. 2018).

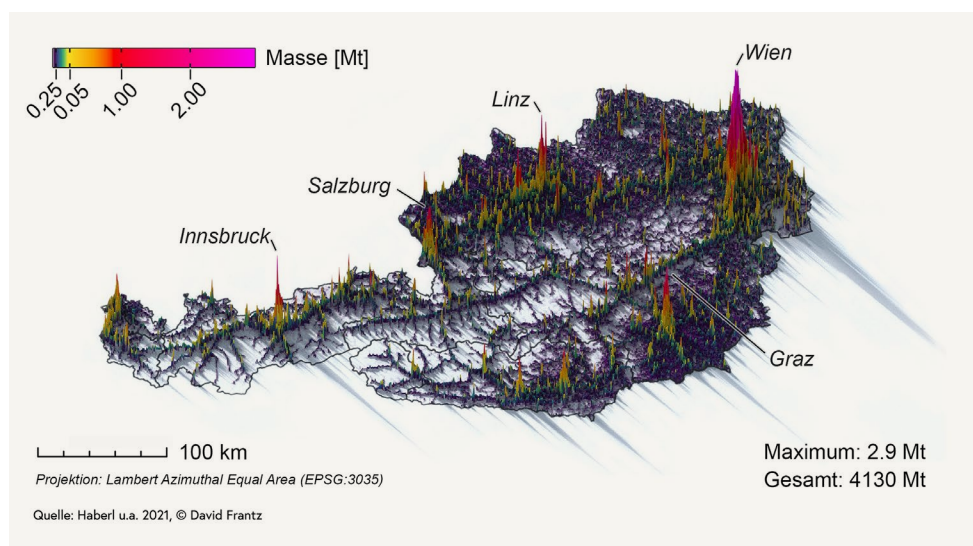


Abbildung 19: Materielle Bestände in Österreich, 2019.

Abbildung 19 zeigt die räumliche Verteilung von materiellen Beständen in der Form von Gebäuden und Mobilitätsinfrastruktur in Österreich im Jahr 2019. Forschungsarbeiten berechneten für Österreich eine Gesamtmenge der materiellen Bestände von ca. 540 t/cap, die Bestände in Deutschland belaufen sich auf 450 t/cap (Haberl, Wiedenhofer u. a. 2021). Ebenso wird geschätzt, dass die Materialinputs zur Sanierung bestehender Gebäude und der Verkehrsinfrastruktur ungefähr gleich groß sind wie jene für den Neubau dieser Bestände (Wiedenhofer u. a. 2021).

In den vorliegenden Studien wird folgendes Resümee gezogen: Da ein Großteil der Materialien in Beständen akkumuliert wird und diese weiter anwachsen, werden deutlich mehr Materialinputs benötigt, als materielle Outputs anfallen. Wachsende Bestände verhindern demnach eine Reduktion des Materialverbrauchs oder der materiellen Outputs (Wiedenhofer u. a. 2021).

Alle materiellen Inputs werden zu Outputs – Abfälle und Emissionen

Statement 12 – Die Einbindung der Abfallwirtschaft ist eine wichtige Säule in einer gesamtheitlich betrachteten Kreislaufwirtschaft: Die klassische Abfallwirtschaft und die moderne Kreislaufwirtschaft werden heute oft als diametral angesehen. Das sind sie aber nicht. Bereits in der Erstfassung der europäischen Abfallrahmenrichtlinie aus dem Jahr 1975 wurde neben der technischen Kreislaufführung (Recycling von Abfallstoffen) v. a. „die Einschränkung der Abfallbildung“, die Abfallvermeidung, eingefordert, welche bis heute die oberste Priorität in der Abfallwirtschaft darstellt. Dieses oberste Maßnahmenziel wird nun in der Kreislaufwirtschaftsstrategie in den ersten drei der sogenannten „10 Rs“, nämlich „Refuse, Rethink, Reduce“ spezifiziert. Dass diese vorrangigen Maßnahmen immer noch nicht umfassend in der alltäglichen Realität unserer Gesellschaft umgesetzt werden, sondern der Fokus vorwiegend auf „Recycling“ liegt, stellt eine gemeinsame Herausforderung dar. – Univ.-Prof. Dr. Marion

Huber-Humer, Institut für Abfall- und Kreislaufwirtschaft, BOKU University

In der systemischen Betrachtung des gesellschaftlichen Metabolismus wird jeder stoffliche Input in die Gesellschaft irgendwann ein Output, der an die Natur zurückgegeben wird (Gesetz der Thermodynamik). In der Betrachtung der gesellschaftlichen Outputs haben sich Statistik, Wissenschaft und Politik lange Zeit auf die Abfälle und Emissionen unabhängig voneinander und nicht in Abstimmung mit den Ressourceninputs konzentriert. Die Materialflussrechnung ihrerseits hat in der Entwicklungsphase auf die Ressourceninputs fokussiert, in den letzten Jahren aber den Blick auf die Outputs erweitert und diese als freiwillige Meldung in der jährlichen statistischen Berichterstattung inkludiert. Die MFA be-

rücksichtigt in den Outputs alle Materialien und Stoffe, die nach gesellschaftlicher Nutzung in die Natur (Luft, Wasser, Boden) freigegeben werden, und benennt diese insgesamt als inländisch produzierte Abgabe (domestic processed output, DPO; Eurostat 2018).

Die inländisch produzierte Abgabe an die Natur (DPO) wird in der Europäischen Statistik (Eurostat 2018) entlang folgender Subgruppen berichtet:

1. **Luftemissionen**, das sind CO_2 , CH_4 , N_2O , NO_x , HFCs, PFCs, SF_6 , CO, NMVOC, SO_2 , NH_3 , Schwermetalle, POPs, Partikel z.B. PM_{10} , Staub etc.
2. **Abfallablagerung in die Umwelt** würde direkte Deponierung in der Natur umfassen, die in Österreich jedoch verboten ist. **Deponierter Abfall** dagegen – das sind jene Abfallmengen, die in Deponien gelagert werden – ist per MFA-Konvention kein Output an die Natur, sondern weiter Teil des gesellschaftlichen Systems. Aus diesen Deponien gibt es dann sehr wohl Abgaben an die Natur (Versickerungen, Dampf etc.), die geschätzt werden müssten. In den Daten der Statistik Austria werden Emissionen in die Luft erfasst, etwaige Versickerungen jedoch nicht. Die Mengen an deponiertem Abfall sind zwar kein Output, stellen aber trotzdem eine wichtige Information (z. B. für etwaige zukünftige Sekundärnutzung) über die Quantität der Materialien am Ende der gesellschaftlichen Nutzung dar. In den Indikatoren werden sie daher nicht erfasst, aber in Form eines „Memorandum Item“ als zusätzliche Information berichtet.
3. **Abgaben an Gewässer** umfassen alle Stoffe, die – mit oder ohne Aufbereitung – in Gewässer abgegeben werden. Im Wesentlichen geht es hierbei um Stickstoff, Phosphor, Schwermetalle (innerhalb der erlaubten Konzentrationen) sowie organische Stoffe, wie z. B. den Stickstoffanteil von ausgebrachten Düngemitteln, der nicht in Pflanzen oder im Boden gebunden wird, sondern in Gewässer eingeht, oder die Entsorgung von Lebensmitteln ins Meer.
4. **Dissipative Nutzung von Gütern** beinhaltet alle Materialien, die beabsichtigt in die Natur ausgebracht werden, z. B. Düngemittel inkl. Kompost, Gülle, Klärschlamm, Pestizide, Samen, Streusalz, Lösungsmittel etc.
5. **Dissipative Verluste** bezeichnet alle unbeabsichtigten Verluste, die durch (Reifen-)Abrieb, Korrosion, Gebäudeemissionen, Erosion, Lecks oder Verluste im Transport entstehen. Zu diesen Flüssen gibt es aktuell so gut wie keine Daten, in der österreichischen MFA werden in dieser Kategorie nur Reifen- und Bremsabrieb (lt. Luftschadstoffinventur) berichtet.

Die MFA unterscheidet in den Outputs also einerseits nach dem Umweltmedium, in das die Outputs entlassen werden (1–3), und andererseits nach der Art der Abgabe als absichtsvoll oder unbewusst/unerwünscht (4–5).

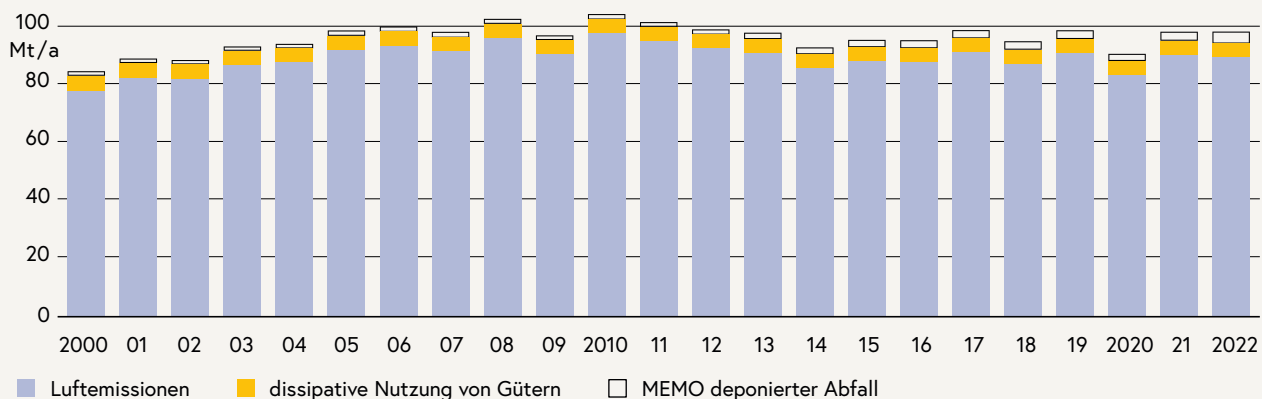
Die gesamte inländisch produzierte Abgabe an die Natur (DPO, Abbildung 20) belief sich im Jahr 2022 auf 94 Mt/a oder 10 t/cap/a. Im Jahr 2000 lag der DPO noch bei 83 Mt/a, die gesellschaftlichen Outputs sind daher zwischen 2000 und 2022 um 15 % gestiegen. Den mit Abstand größten Anteil am DPO haben die Luftemissionen (95 % des

DPO), die im Jahr 2022 bei 89 Mt/a lagen und seit 2000 (78 Mt/a) um 15 % gestiegen sind. Innerhalb der Luftemissionen entfällt mit 99 % der größte Teil auf CO₂-Emissionen (laut MFA-Konvention inkl. des Sauerstoffanteils; Eurostat 2018). Die nächstgrößeren Kategorien sind Kohlenmonoxid (CO, 0,58 %), Methan (CH₄, 0,24 %) und Stickstoffoxide (NO_x, 0,12 %) (Statistik Austria 2024; Statistik Austria 2023c).

Als dissipative Nutzung von Gütern wurden im Jahr 2022 Materialien in der Menge von 4,6 Mt/a in der österreichischen Natur ausgebracht, 63 % davon organischer Dünger in Form von Gülle. Weitere Aktivitäten in dieser Kategorie sind Ausbringen von Kompost (13 %), mineralischem Dünger (9 %), Salz oder anderen Streumitteln (6 %), Lösungsmitteln (4 %), Samen (4 %) und Klärschlamm (1 %).

Im Jahr 2000 betrug die dissipative Nutzung 5 Mt/a, also um 8 % mehr als 2022. Die Reduktion der dissipativen Nutzung ergab sich aus einer Reduktion in den großen Kategorien, d. h. organischer (-11 %) und mineralischer (-36 %) Dünger. Gleichzeitig ist die Verwendung von Kompost um 43 % gestiegen, ebenso die Nutzung von Pestiziden (+72 %), Salz und Streumitteln (+18 %) sowie Klärschlamm (+35 %).

Einträge in die Natur aus dissipativen Verlusten und Emissionen in Gewässer fallen in sehr geringen Mengen an (5 Mt/a bzw. 50 Mt/a), sind aber vor allem schwierig zu erfassen und daher von geringerer Datenqualität.



Erläuterungen: Für die Kategorien „Abfallablagerungen in die Umwelt“ und „dissipative Verluste“ stehen keine Daten zur Verfügung und in der Kategorie „Abgaben an Gewässer“ sind die Werte so gering, dass sie in der Abbildung nicht sichtbar wären. Diese Outputkategorien sind daher nicht in der Abbildung inkludiert. Die Abbildung enthält auch das Memorandum Item „deponierter Abfall“. Dieser Abfall ist per MFA-Konvention (Eurostat 2018) noch Teil der Gesellschaft und daher kein DPO. Dennoch sind diese Abfälle eine wichtige Information über die Mengen der Materialien am Ende der gesellschaftlichen Nutzung. Sie werden daher als Memorandum Item dargestellt.

Quelle: Statistik Austria 2024

Abbildung 20: Österreichs materielle Outputs – inländisch produzierte Abgabe an die Natur und deponierter Abfall, 2000–2022.

Für eine Massenbilanz braucht es Bilanzierungsposten auf der Input- und Outputseite

Die Materialflussrechnung basiert auf dem Massenerhaltungssatz (Inputs = Outputs +/- Bestandsveränderungen, siehe auch Kapitel „Biophysische Bestände bestimmen Ressourcenflüsse (stock-flow-service nexus)“); alle Materialinputs müssen sich daher auf der Outputseite wiederfinden, korrigiert um Bestandsveränderungen. In einigen Ver-

arbeitsprozessen werden Stoffe/Moleküle aus Luft oder Wasser aufgenommen oder in diese Medien abgegeben. Obwohl die MFA Luft und Wasser nicht als Ressourcenflüsse berücksichtigt, müssen jene Mengen Luft und Wasser zur Erfüllung der Massenbilanz in die MFA aufgenommen werden. Gemäß Eurostat-Konvention (Eurostat 2018) werden diese Flüsse als Bilanzierungsposten auf der Input- und Outputseite berichtet. In den MFA-Indikatoren werden die Bilanzierungsposten jedoch nicht inkludiert.

Auf der Inputseite fallen folgende Bilanzierungsposten an: Sauerstoff (O), der in Verbrennungsprozessen in CO₂ gebunden wird, Sauerstoff, der in der Atmung von Menschen und Tieren zu CO₂ umgewandelt wird, Stickstoff, der in der Ammoniaksynthese (Haber-Bosch-Verfahren) aus der Atmosphäre entnommen wird, sowie Wasser, das z. B. in der Getränkeherstellung entnommen und verarbeitet wird. Die Bilanzierungsposten auf der Inputseite betrugen im Jahr 2022 für Österreich etwa 12 t/cap/a.

Auf der Outputseite werden folgende Stoffe als Bilanzierungsposten berücksichtigt: Wasserdampf aus Verbrennungs- und Trocknungsprozessen, CO₂ und Wasserdampf aus der Atmung von Menschen und Tieren etc. Da der Kohlenstoff bzw. das Wasser inputseitig Teil der extrahierten Materialien ist, muss diese Menge auch auf der Outputseite berücksichtigt werden, wenn die thermodynamische Massenbilanz geschlossen werden soll. Die Output-Bilanzierungsposten Österreichs betrugen im Jahr 2022 9 t/cap/a.

Material-Fußabdruck – Österreichs Ressourcennutzung wirkt über die Landesgrenzen hinaus

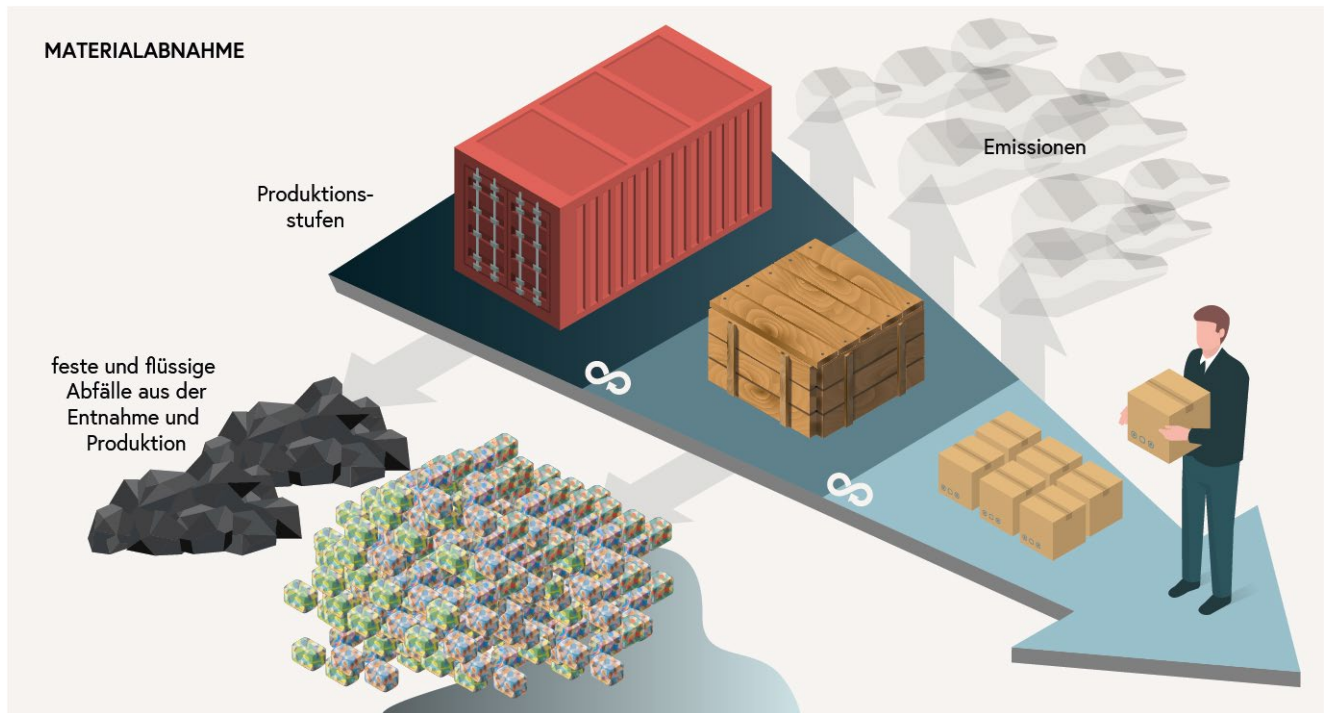
Statement 13 – Der tatsächliche Materialverbrauch wird durch Lieferketten verschleiert: Aktuelle Ereignisse wie der Ukrainekrieg oder das durch die COVID-Pandemie verursachte Schließen chinesischer Häfen haben die wirtschaftliche Verletzbarkeit Europas drastisch vor Augen geführt. Denn ein Großteil etwa der metallischen Rohstoffe, die der Kontinent für Produktion und Konsum benötigt, wird in anderen Teilen der Welt abgebaut. Neben dem Risiko der eingeschränkten Versorgungssicherheit hat die komplexe Vernetzung globaler Lieferketten auch zur Folge, dass soziale und ökologische Folgen von Ressourcenabbau und -verarbeitung oft nicht sichtbar werden. Politikmaßnahmen für eine nachhaltige und verantwortungsbewusste Ressourcennutzung müssen daher die Konsumperspektive sowie Zusammenhänge zwischen Rohstoffentnahme und deren Auswirkungen berücksichtigen. Das EU-Lieferkettengesetz könnte hier wichtige Impulse setzen. – Univ.-Doz. Dr. Stefan Giljum und Dr. MMSc Stephan Lutter, Institute for Ecological Economics, WU Wien

Die österreichischen Produktions- und Konsumstrukturen sind in steigendem Ausmaß in eine Weltökonomie eingebettet, in der globale Produktions- und Lieferketten länger und komplexer werden. Österreich könnte weder die Menge noch die Art der Produkte, die durch Endkonsumentinnen und Endkonsumenten nachgefragt werden, rein über die heimische Ressourcenbasis zur Verfügung stellen. Durch Importe kann diese Nachfrage-lücke geschlossen werden. Gleichzeitig hat sich die österreichische Wirtschaft auf die Produktion ganz bestimmter Waren spezialisiert, die durch Exporte einem größeren, globalen Markt zur Verfügung gestellt werden. Die daraus entstehende Handelsbilanz für Güter ist in monetären Einheiten weitgehend ausgeglichen. Biophysisch jedoch ist Österreich ein Netto-Importeur von materiellen Gütern; die physische Handelsbilanz ist daher deutlich positiv (siehe Abbildung 10), die Importe übersteigen die Exporte um den Faktor 1,4 bis 1,7 (Statistik Austria 2024).

Die Importe werden in der MFA mit dem Gewicht, so wie in der Außenhandelsstatistik berichtet, erfasst. Die Importe (und gleichermaßen die Exporte) sind jedoch anders als die inländische Entnahme (DE) nicht Rohstoffe, die wir aus der Natur entnommen haben, sondern bearbeitete Materialien, verarbeitete Halbwaren oder Fertigprodukte, die einen bis mehrere Produktionsprozesse durchlaufen haben. Im Laufe der Verarbeitung reduziert sich die Masse der Produkte bei nahezu jedem Prozessschritt, weil Abfälle und Emissionen abgespalten werden und im jeweiligen Produktionsland zurückbleiben (siehe Abbildung 21). Importiert Österreich hochverarbeitete Güter, anstatt sie selbst zu produzieren, dann ist der produktionsbasierte Materialverbrauch niedriger als die Menge der Rohstoffe, die außerhalb Österreichs entnommen, in verarbeitete Güter umgewandelt und nach Österreich importiert wurden. Das Land scheint somit ressourcenschonender zu wirtschaften. Die zunehmende Globalisierung und die rasch wachsenden Import- und Exportmengen verstärken den Effekt der räumlichen Entkoppelung von Rohstoffentnahme, Produktion sowie dem Ort des Konsums, direkte Importmengen und vorgelagerter Materialverbrauch entwickeln sich zunehmend auseinander.

In der Betrachtung von Umweltbelastungen wurden daher die produktionsbasierten MFA-Indikatoren (DE, DMC) durch konsumbasierte Indikatoren ergänzt. Diese zweite Perspektive beleuchtet die globale Rohstoffentnahme, die beispielsweise durch den österreichischen Endkonsum verursacht wird. Dazu werden Rohstoffe, die egal wo auf der Welt entnommen und in der Produktion von Gütern eingesetzt und verbraucht wurden, jenem Land zugerechnet, in welchem die Produkte dem Endkonsum zukommen. Gleichzeitig werden bei der konsumbasierten Perspektive Materialverbrauch und Emissionen von Gütern, die in Österreich produziert und schließlich exportiert werden, jenen Ländern zugerechnet, in denen die Güter dem Endkonsum zukommen.

Das Visualisierungscenter der Seite materialflows.net (WU Vienna 2023) macht die globalen Vernetzungen durch den Außenhandel sichtbar, in Abbildung 22 sind diese für Österreich dargestellt. Der linke Teil der Abbildung zeigt, in welchen Regionen die Materialentnahme stattgefunden hat, die mit dem Material-Fußabdruck Österreichs im Jahr 2021 in Verbindung steht. (Die Eigenverwendung Österreichs von inländischer Entnahme ist in dieser Darstellung der Region Europa inkludiert.) Österreich bezieht einen



Großteil des Material-Fußabdrucks aus der eigenen inländischen Entnahme und aus weiteren EU-Ländern.

Die nächstgrößeren Importpartner liegen in Asien/pazifischer Raum und Osteuropa/Zentralasien. Der rechte Teil zeigt die Materialentnahme in Österreich und in welchen Ländern diese Rohstoffe im Endkonsum genutzt werden. (Auch hier ist die Eigenverwendung Österreichs von inländischer Entnahme/DE in Europa inkludiert.) Nach Europa ist auch hier der zweitwichtigste Handelspartner der asiatische Raum gefolgt von Nordamerika.

Abbildung 21: Die Masse eines Produkts nimmt entlang der Produktionskette stetig ab, Abfälle und Emissionen bleiben zurück. Schematische Darstellung.

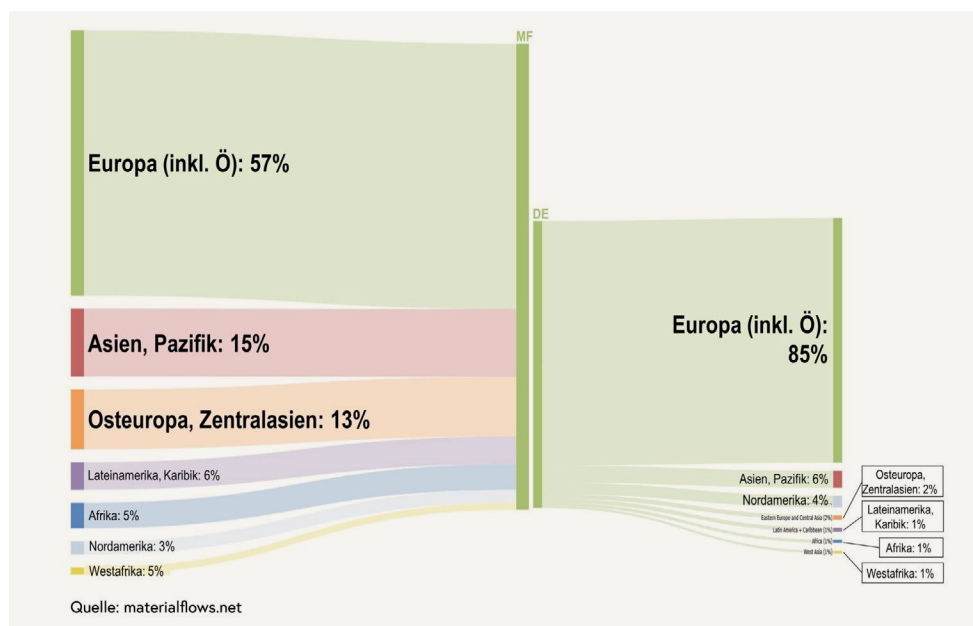


Abbildung 22: Material-Fußabdruck Österreichs und die Regionen der Rohstoffentnahme sowie Materialentnahme in Österreich und die Regionen des Endkonsums, 2021.

Der konsumbasierte Material-Fußabdruck (material footprint, MF) Österreichs umfasst somit sämtliche Rohstoffe, die innerhalb und außerhalb österreichischer Grenzen entnommen und verbraucht wurden, um die Produkte der österreichischen Endnachfrage zu erzeugen. Der Material-Fußabdruck wird auch als Rohmaterialverbrauch bezeichnet (raw material consumption, RMC; Statistik Austria 2024).

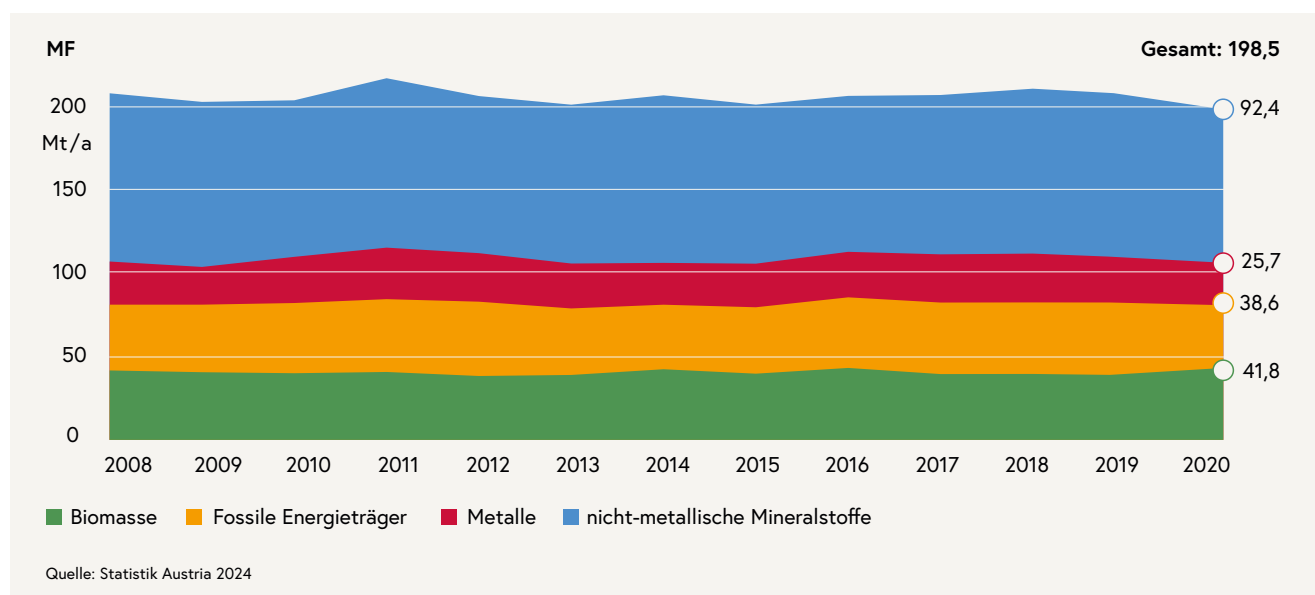
Der Material-Fußabdruck ist eine wichtige Ergänzung zum inländischen Materialverbrauch, aber keinesfalls als „der bessere Indikator“ und damit als Ersatz zu sehen. Beide Perspektiven haben ihre Vor- und Nachteile sowie Schwerpunkte und sollten in Kombination verwendet werden. So fokussiert der DMC auf all jene Materialien, die innerhalb Österreichs bewegt, früher oder später in Abfälle und Emissionen umgewandelt werden und Umweltbelastungen innerhalb Österreichs verursachen. Dies inkludiert auch die österreichische Produktion von Exportgütern. Der Material-Fußabdruck dagegen widmet sich Fragen zur globalen Verteilung von Ressourcen und auch etwaigen Verteilungsgerechtigkeiten. Denn Kosten und Nutzen durch Materialverbrauch und die Belastungen durch die Produktion von Rohstoffen und Gütern sind global sehr ungleich verteilt (Infante-Amate und Krausmann 2019; UN IRP 2019a; Dorninger u. a. 2021; Lenzen u. a. 2021; Schaffartzik und Krausmann 2021). In der Fußabdruckbetrachtung wird Österreich nicht die Exportproduktion zugerechnet, wohl aber der globale Ressourcenverbrauch durch seine Konsumaktivitäten.

Statement 14 – Ressourcenintensive Produktions- und Konsummuster verursachen Armut und Umweltzerstörung in anderen Ländern: Dem rasanten Anstieg im globalen Ressourcenverbrauch der vergangenen Jahrzehnte liegen fundamental verschiedene Entwicklungen auf nationaler und subnationaler Ebene zugrunde. Die ressourcen- und emissionsintensiven Produktions- und Konsummuster der reichsten Länder dieser Welt, unter ihnen auch Österreich, können ohne Armut und Umweltzerstörung „anderswo“ nicht aufrechterhalten werden. Gleichzeitig erleben auch die Menschen in diesen reichen Ländern, dass ihre Möglichkeiten, in globale Zusammenhänge einzugreifen, sie zu korrigieren, beschränkt sind. Umweltbezogenes Unrecht (environmental injustice) umfasst daher nicht nur die Unterschiede im Zugang zu Ressourcen und in dem Ausmaß, in dem Menschen Umweltschäden ausgeliefert werden, sondern auch die gravierenden Unterschiede in politischer und gesellschaftlicher Teilhabe.

– Ass. Prof. Dr. Anke Schaffartzik, Department of Environmental Sciences and Policy, Central European University (CEU)

Der Material-Fußabdruck Österreichs lag 2020 bei 22 Tonnen pro Kopf, das sind 24 % mehr als der inländische Materialverbrauch

Der Material-Fußabdruck (MF) Österreichs betrug im Jahr 2020 etwa 199 Millionen Tonnen (Abbildung 23). Im Jahr 2008 lag der Material-Fußabdruck um 5 % höher bei 209 Millionen Tonnen. Auf Ebene der vier Materialkategorien ist die Nachfrage nach drei Materialkategorien gesunken (fossile Energieträger -3 %, Metalle -1 %, nichtmetallische Mineralstoffe -9 %), nur bei Biomassematerialien ist der Material-Fußabdruck unverändert geblieben.



In der Berechnung des Material-Fußabdrucks haben sich zwei methodische Ansätze etabliert. Zum einen werden globale, multiregionale Input-Output-Modelle (MRIO) verwendet, welche die sektoralen Lieferverflechtungen aller Länder (oder Ländergruppen) der Welt abbilden. Jede Rohstoffentnahme kann so entlang der sektoralen Lieferungen (über ökonomische Input-Output-Matrizen) bis zur Endnachfrage verfolgt und zugeordnet werden. Unter den MRIOs werden zwei Modelle in verschiedenen Forschungskontexten am häufigsten verwendet: EXIOBASE (Stadler u. a. 2018) ist ein EU-fokussiertes MRIO, das im Rahmen von drei EU-Projekten auch mit österreichischer Beteiligung entwickelt wurde. Das zweite Modell ist GLORIA (Lenzen u. a. 2017; Lenzen u. a. 2021; UNSW Sydney 2023) bzw. dessen Vorgängermodell Eora (Lenzen u. a. 2013; Eora 2014), das in der Modellerstellung Algorithmen zum Datenabgleich verwendet. Die MF-Daten des MRIO Gloria sind Teil der UNEP Material Flow Database (UN IRP 2023).

MRIO-Modelle sind sehr daten- und rechenintensiv und die Entwicklungsphase dieser Modelle ist sehr lang. Statistische Ämter und Nationalstaaten dagegen brauchen oftmals einen einfacheren Berechnungsweg und einen transparenten Zugriff auf die einzelnen Schritte der Berechnung, die – wo möglich – durch interne Daten gespeist werden. Daher werden in diesen Institutionen oftmals koeffizientenbasierte Methoden verwendet. Diese benutzen produkt- oder sektorspezifische Materialintensitäten (oftmals

Abbildung 23: Österreichs Material-Fußabdruck (MF), 2008–2020.

Koeffizienten der Lebenszyklusanalyse, life-cycle assessment, LCA), die den materiellen Vorleistungen des Produktes oder Sektors entsprechen. Mit diesen Koeffizienten werden dann die materiellen Vorleistungen berechnet. Die direkten Importe inkl. des vorgelagerten Materialverbrauchs werden in der MFA Rohmaterialäquivalente (raw material equivalents, RME) genannt. Die RME entsprechen den gesamten Rohstoffen, die einem Import oder Export zugrunde liegen, unabhängig davon, wo – also in welcher Ökonomie – die Rohstoffe in der Produktion verbraucht wurden.

LCA-Koeffizienten werden auch mit nationalen IO-Modellen kombiniert (auch hybrider Ansatz genannt), wie zum Beispiel in der Berechnung des österreichischen MF (Schaffartzik u. a. 2014; Neubauer und Gierlinger 2022) oder in den Eurostat-Berechnungen (Schoer u. a. 2012; Eurostat 2023b). In diesem hybriden Ansatz werden die Vorleistungen der Importe über Koeffizienten berechnet, die dann innerhalb Österreichs über Input-Output-Tabellen an die Endnachfrage verteilt werden. In den letzten Jahren wurden zahlreiche Diskussionen über die verschiedenen Methoden und Vergleiche der Ergebnisse aus den unterschiedlichen Modellen geführt, die maßgeblich zur Weiterentwicklung der Berechnungsmethoden geführt haben (Owen u. a. 2014; de Koning u. a. 2015; de Koning u. a. 2015; Eisenmenger u. a. 2016; Giljum u. a. 2019).

Aufgrund dieser verschiedenen Berechnungsarten, deren Weiterentwicklung oder auch Datenrevisionen sind für ein Land über die Zeit sehr unterschiedliche Ergebnisse für den MF zu finden. Im Ressourcenbericht 2020 (BMK und BMLRT 2020) zum Beispiel berechnete Statistik Austria für das Jahr 2015 einen MF von 24 t/cap/a, während die UN IRP MFA-Database, berechnet mit dem MRIO Eora (Lenzen u. a. 2013; Eora 2014), für 2017 einen MF von 33 t/cap/a auswies. Die Zahlen für 2020 zeigen eine geringere Differenz zwischen den beiden Datenquellen: Statistik Austria berichtete für 2020 einen MF von 22 t/cap, das UN IRP berechnet den MF mit 25 t/cap. Eine solche Datenabweichung und Konsolidierung über die Zeit war auch für den DMC insbesondere in den Anfangsjahren der MFA-Implementierung zu beobachten. Für den MF ist die Methodenentwicklung noch im Gange und führt daher immer wieder zu Aktualisierungen der Ergebnisse.

DMC und MF weisen eine recht ähnliche Entwicklung auf (siehe Abbildung 24). Der DMC ist von 166 Mt/a im Jahr 2008 auf 160 Mt/a im Jahr 2020 um 4 % gesunken. Der MF ist im gleichen Zeitraum von 209 Mt/a auf 199 Mt/a um 5 % gefallen. Die direkten Importe sind im gleichen Zeitraum um 10 % gestiegen (durch Steigerung in den Kategorien Biomasse und „nicht zuordenbar“), während die direkten Exporte um 1 % gesunken sind. Die physische Handelsbilanz hat folglich mit 35 % deutlich zugenommen. Die RME der Importe sind dagegen um 6 % gesunken, die RME der Exporte um 11 %. Die Rohmaterialbilanz belief sich 2020 auf 75 Mt/a und ist seit 2008 um 8 % gestiegen (siehe Abbildung 25).

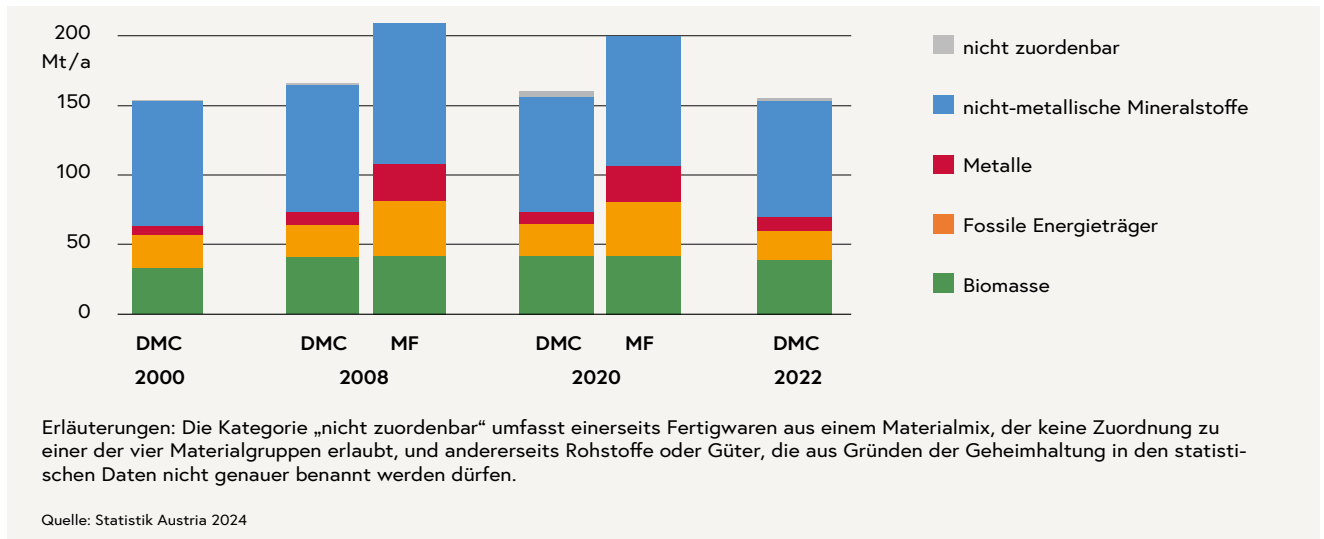


Abbildung 24: Österreichs inländischer Materialverbrauch (DMC) und Material-Fußabdruck (MF), 2000, 2008, 2019 und 2022.

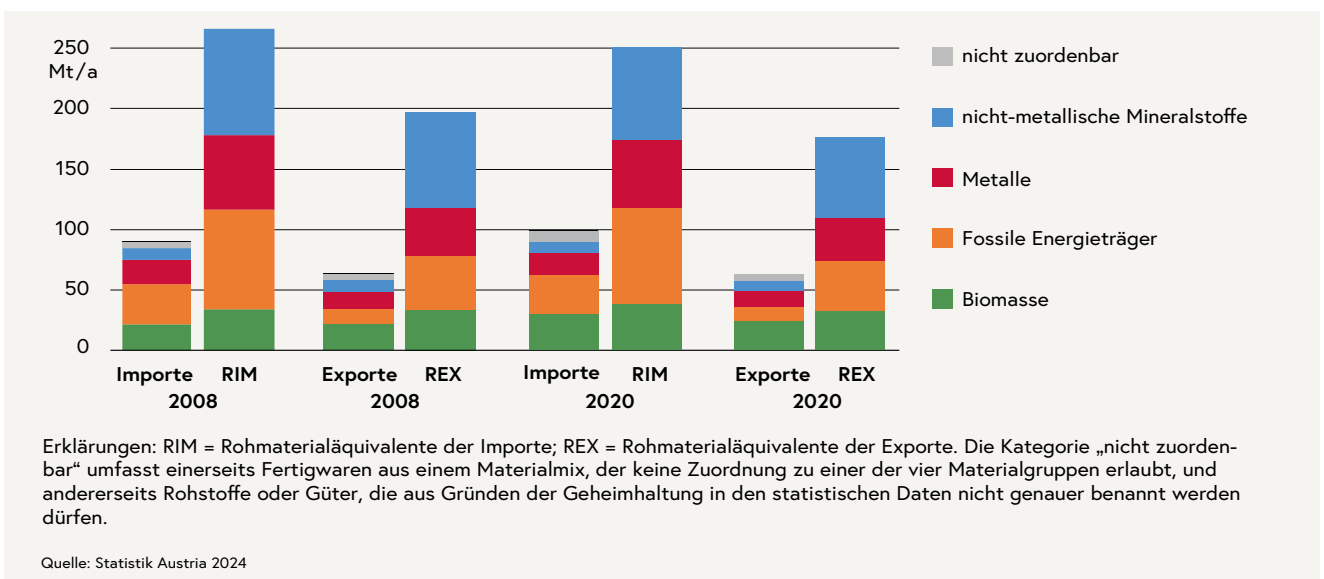


Abbildung 25: Österreichs Importe, Exporte und die jeweiligen Rohmaterial-äquivalente im Vergleich, 2008 und 2020.

Ein detaillierterer Blick auf die Importe und Exporte zeigt deutlich die große Menge des Materials, das entlang der Produktionskette im Ausland verbraucht wird (Abbildung 25). Die Rohmaterialäquivalente der Importe (RIM) und Exporte (REX) sind jeweils dreimal so groß wie die direkten Importe und Exporte. Auf Ebene der vier Materialkategorien sind die Vorleistungen bei den nichtmetallischen Mineralstoffen am größten, nämlich um einen Faktor 8 bis 10 bei den Importen und 7 bis 8 bei den Exporten. Die RIM der Metalle und fossilen Energieträger sind um einen Faktor 3 bzw. 2,5 größer als die direkten Importe, im Falle der Biomasse ist der Faktor am geringsten (1,5 bis 1,3). Bei den Exporten

sind die Faktoren in einer ähnlichen Größenordnung: Bei fossilen Energieträgern sind die REX um einen Faktor 3,5 bis 4,5 größer als die direkten Exporte, bei Metallen um einen Faktor 2 bis 3 und bei der Biomasse um den Faktor 1,5.

Seit 2008 sind die direkten Importe um 10 % gestiegen, vor allem bedingt durch eine Steigerung bei Biomasse-Importen (+35 %) und bei Importen der Kategorie „nicht-zuordenbar“ (89 %). Die direkten Exporte sind um 1 % gesunken, doch auch hier sind die Biomasse-Exporte gestiegen (7 %), und ebenso die nicht-zuordenbaren Exporte (14 %). Die materiellen Vorleistungen, die mit den direkten Importen assoziiert sind, sind jedoch zwischen 2008 und 2019 leicht gesunken (6 % bei RIM, 11 % bei REX). Lediglich bei den Biomasse-Importen sind die RME gestiegen (10 %), für alle anderen Kategorien sind die RME gesunken. Der Materialverbrauch entlang der Vorleistungskette konnte also für die Importe, aber noch deutlicher bei den Exporten reduziert werden.

Die Rohmaterialbilanz (RTB = RIM-REX) ist zwischen 2008 und 2020 um 8 % gestiegen. Die physische Handelsbilanz (PTB = Importe-Exporte) ist mit einem Wachstum von 35 % deutlich stärker gestiegen (Faktor 4).

Der Ressourcenverbrauch soll vom Wirtschaftswachstum entkoppelt und so die Ressourcenproduktivität gesteigert werden

Statement 15 – Es braucht Strukturwandel, um die Entkoppelung von Materialverbrauch und Wirtschaftswachstum zu erreichen: Materialverbrauch und Wirtschaftsentwicklung sind nach wie vor eng miteinander verzahnt. Für einen nachhaltigen Pfad muss sich die Wirtschaftsentwicklung von der Materialinanspruchnahme abkoppeln. Das erfordert neben einer deutlich gesteigerten Materialeffizienz vor allen Dingen einen Strukturwandel, der auf Dienstleistungen als Motor der Wirtschaftsentwicklung setzt. In materialintensiven Branchen wie dem Bauwesen kann eine Abkehr von Abriss und Neubau und eine Hinwendung zum Sanieren, Umbauen und Umnutzen den Verbrauch an Rohstoffen drastisch senken. – Dr. Ina Meyer, Österreichisches Institut für Wirtschaftsforschung – WIFO, Forschungsgruppe Klima-, Umwelt- und Ressourcenökonomie

Schon in den 1970er-Jahren haben Meadows u. a. (1972) von den begrenzten Ressourcen unserer Welt gesprochen, in den 2000er-Jahren wurde das Thema in der Diskussion der planetaren Grenzen (Rockström u. a. 2009; Steffen u. a. 2015; Fanning u. a. 2022) wieder aufgenommen.

Aktuelle politische Programme wie der European Green Deal (European Commission 2019), der EU-Aktionsplan Kreislaufwirtschaft (EU 2020) oder die Sustainable Development Goals (UN 2015), Green Growth (OECD 2023) oder Green Economy (UNEP

2023) streben eine Entkoppelung von Wirtschaftswachstum und Umweltbelastung an (UN IRP 2011). Entkoppelung kann auf zweierlei Weise erreicht werden. Eine absolute Entkoppelung beschreibt ein steigendes Wirtschaftswachstum bei sinkender Umweltbelastung, während eine relative Entkoppelung dann erreicht wird, wenn sowohl die Wirtschaft als auch die Umweltbelastung steigen, die Umweltbelastung jedoch langsamer als die Wirtschaft.

Entkoppelung wird mithilfe des Indikators Ressourcenproduktivität (RP) gemessen, der zumeist als Bruttoinlandsprodukt geteilt durch den Materialverbrauch (BIP/DMC oder BIP/MF) berechnet wird. Die Ressourcenproduktivität beschreibt also, wie viel Wirtschaftsoutput mit einer Einheit Ressourcenverbrauch produziert werden kann. Die Ressourcenproduktivität (oder auch Ressourceneffizienz; siehe European Commission 2011) ist somit analog zur Arbeitsproduktivität definiert.

Bei einer absoluten Entkoppelung steigt die Ressourcenproduktivität; die Wachstumsrate der Ressourcenproduktivität ist dabei höher als jene der Wirtschaft. Bei der relativen Entkoppelung steigt die Ressourcenproduktivität ebenfalls, jedoch wächst sie langsamer als die Wirtschaft.

Der Indikator Ressourcenproduktivität und eine Steigerung derselben als Zielwert finden sich in vielen politischen Programmen, z. B. den UN-Nachhaltigkeitszielen SDG 8 und SDG 12 (UN 2015) oder im Überwachungsrahmen für die Kreislaufwirtschaft (European Commission 2023a). In der österreichischen Kreislaufwirtschaftsstrategie (BMK 2022) ist ebenfalls eine Steigerung der Ressourcenproduktivität festgeschrieben, mit einer konkreten Zielsetzung von +50 % bis 2030 gegenüber 2015.

Relative Entkoppelung findet statt, absolute Entkoppelung dagegen kaum

Mittlerweile liegen zahlreiche empirische Studien zur Analyse von Entkoppelung vor, die kürzlich auch in einer systematischen Literaturübersicht zusammengefasst und analysiert wurden (Parrique u. a. 2019; Haberl u. a. 2020). Nahezu alle empirischen Ergebnisse zeigen, dass relative Entkoppelung in industrialisierten Ländern häufig zu beobachten ist, absolute Entkoppelung jedoch kaum vorkommt (UN IRP 2011; OECD 2018; UN IRP 2019a; Haberl u. a. 2020) oder eine Entkoppelung deutlich zu langsam stattfindet (Vogel und Hickel 2023). Eine absolute Reduktion des Ressourcenverbrauchs ist vor allem in Krisenzeiten zu beobachten, zum Beispiel in Folge der Finanzkrise in den Jahren 2008 und 2009. Ohne ökonomische Krisen und ohne die Auslagerung von materialintensiven Produktionssektoren ist eine absolute Reduktion des Materialverbrauchs jedoch kaum zu beobachten (Haberl u. a. 2020). Dass bisherige Maßnahmen zur Entkoppelung ausreichende Hebelwirkung entfalten, wird daher zunehmend kritisch betrachtet (Hickel 2019; Hickel und Kallis 2019; Jackson und Victor 2019; Haberl u. a. 2020; Vogel und Hickel 2023). In diesem Kapitel wird daher ein genauerer Blick auf die Entkoppelung und die damit verbundenen Herausforderungen geworfen.

Die vielen Umweltkrisen der Gegenwart zeigen ein klares Bild: Eine absolute Reduktion unseres Ressourcenverbrauchs muss oberste Priorität haben. Dies betrifft

sowohl die CO₂-Emissionen als auch den Material-, Flächen- (z. B. versiegelte Fläche) und Wasserverbrauch sowie die Menge der jährlich entstehenden Abfälle. Die Reduktion des Ressourcenverbrauchs muss dabei folgende Kriterien erfüllen:

- Es braucht eine deutliche Reduktion. Entsprechend den aktuellen politischen Zielsetzungen müssen die CO₂-Emissionen auf null reduziert werden¹² und der Materialverbrauch muss in Österreich mehr als halbiert werden (Kreislaufwirtschaftsstrategie; BMK 2022).
- Die Reduktionen müssen in den nächsten 2 bis 3 Jahrzehnten umgesetzt sein, also relativ rasch passieren, damit vor allem das Überschreiten irreversibler Kipp-Punkte verhindert wird (Lenton u. a. 2019; Ripple u. a. 2023). Die vollständige Dekarbonisierung wird in Österreich für das Jahr 2040 angestrebt, die Halbierung des Materialverbrauchs bis 2050.
- Nach einer Reduktion muss der Ressourcenverbrauch anhaltend auf dem neuen niedrigen Niveau verbleiben.

Schlussendlich müssen die Reduktionen nicht nur die Umweltbelastung innerhalb Österreichs verbessern, sondern auch die globalen Lieferketten inkludieren. Zusätzlich zum Ziel der DMC-Reduktion legt die österreichische Kreislaufwirtschaftsstrategie deshalb ein Reduktionsziel für den MF fest.

Die Ressourcenproduktivität in Österreich ist zwischen 2000 und 2022 um 35 % gestiegen, jedoch als relative Entkoppelung

Der inländische Materialverbrauch ist in Österreich zwischen 2000 und 2022 konstant geblieben und lag 2022 bei 154 Mt/a. Das Wirtschaftswachstum ist im gleichen Zeitraum um 36 % gestiegen, im Jahr 2022 lag das Bruttoinlandsprodukt (BIP) bei 380 Milliarden Euro (verkettete Volumina auf der Basis von Vorjahrespreisen; Statistik Austria 2023d). Die Ressourcenproduktivität (BIP/DMC) ist daher von 1.821 Euro/t in 2000 auf 2.464 Euro/t im Jahr 2022 gestiegen. Der Zuwachs betrug in 22 Jahren 35 %. Die Ressourcenproduktivität ist gestiegen, jedoch minimal langsamer als das BIP. Die Daten zeigen folglich eine relative Entkoppelung von Wirtschaftswachstum und Ressourcenverbrauch (Abbildung 26a).

Die Ressourcenproduktivität kann auch als Relation zwischen BIP und Material-Fußabdruck dargestellt werden. Da die Daten für den Material-Fußabdruck nur für einen kürzeren Zeitraum, nämlich 2008–2020 vorliegen, betrachten wir daher die Ressourcenproduktivität für beide Materialverbrauchsindikatoren für den kürzeren Zeitraum (Tabelle 1).

12 oesterreich.gv.at/de/themen/umwelt_und_klima/klima_und_umweltschutz/1/Seite.1000310

Tabelle 1: Ressourcenproduktivität basierend auf dem Inlandmaterialverbrauch und Material Fußabdruck. Österreich für die Jahre 2000, 2008, 2020 und 2022.

Erläuterungen: BIP = Bruttoinlandsprodukt in verketteten Volumina auf der Basis von Vorjahrespreisen. DMC = inländischer Materialverbrauch. MF = Material-Fußabdruck. RP-DMC = Ressourcenproduktivität als BIP/DMC. RP-MF = Ressourcenproduktivität als BIP/MF. Quelle: Statistik Austria 2024.

	2000	2008	2020	2022
BIP (Mio. Euro)	280.579	333.253	348.400	380.417
Bevölkerung (Tsd.)	8.012	8.322	8.917	9.053
DMC (Mt/a)	154	166	160	154
MF (Mt/a)	-	209	199	-
RP-DMC (Euro/t)	1.821	2.008	2.184	2.464
RP-MF (Euro/t)	-	1.597	1.755	-

Der DMC lag 2000 bei 154 Mt/a und 2022 auf dem gleichen Niveau. Für den kürzeren Zeitraum 2008 bis 2020 ist der DMC um 4% von 166 Mt/a auf 160 Mt/a gesunken. Der MF lag 2008 bei 209 Mt/a und ist bis 2020 auf 199 Mt/a um 5% gesunken (Tabelle 1, Abbildung 26b). Die Ressourcenproduktivität basierend auf dem DMC, RP-DMC, ist also von 2.008 Euro/t (2008) auf 2.184 Euro/t (2020) um 9% gestiegen. Die Steigerung war deutlicher als jene des Bruttoinlandsprodukts (5%), für den RP-DMC ist folglich eine absolute Entkoppelung zu beobachten. Die Ressourcenproduktivität basierend auf dem MF, RP-MF, ist im gleichen Zeitraum von 1.597 Euro/t auf 1.755 Euro/t, also um 10%, gestiegen (Abbildung 26c). Auch hier stieg die RP-MF schneller als das BIP, absolute Entkoppelung liegt vor.

Die Jahre seit 2019 sind von großen Herausforderungen politischer, wirtschaftlicher und umweltpolitischer Art geprägt. Die Trends in den biophysischen Indikatoren ändern sich oftmals jährlich. Dennoch, in der Entwicklung der Treibhausgasemissionen sehen wir 2022 eine Reduktion¹³, gleichermaßen für den Materialverbrauch. Es bleibt abzuwarten, ob sich über die Krisen hinaus ein positiver Trend etablieren kann.

13 umweltbundesamt.at/news240116

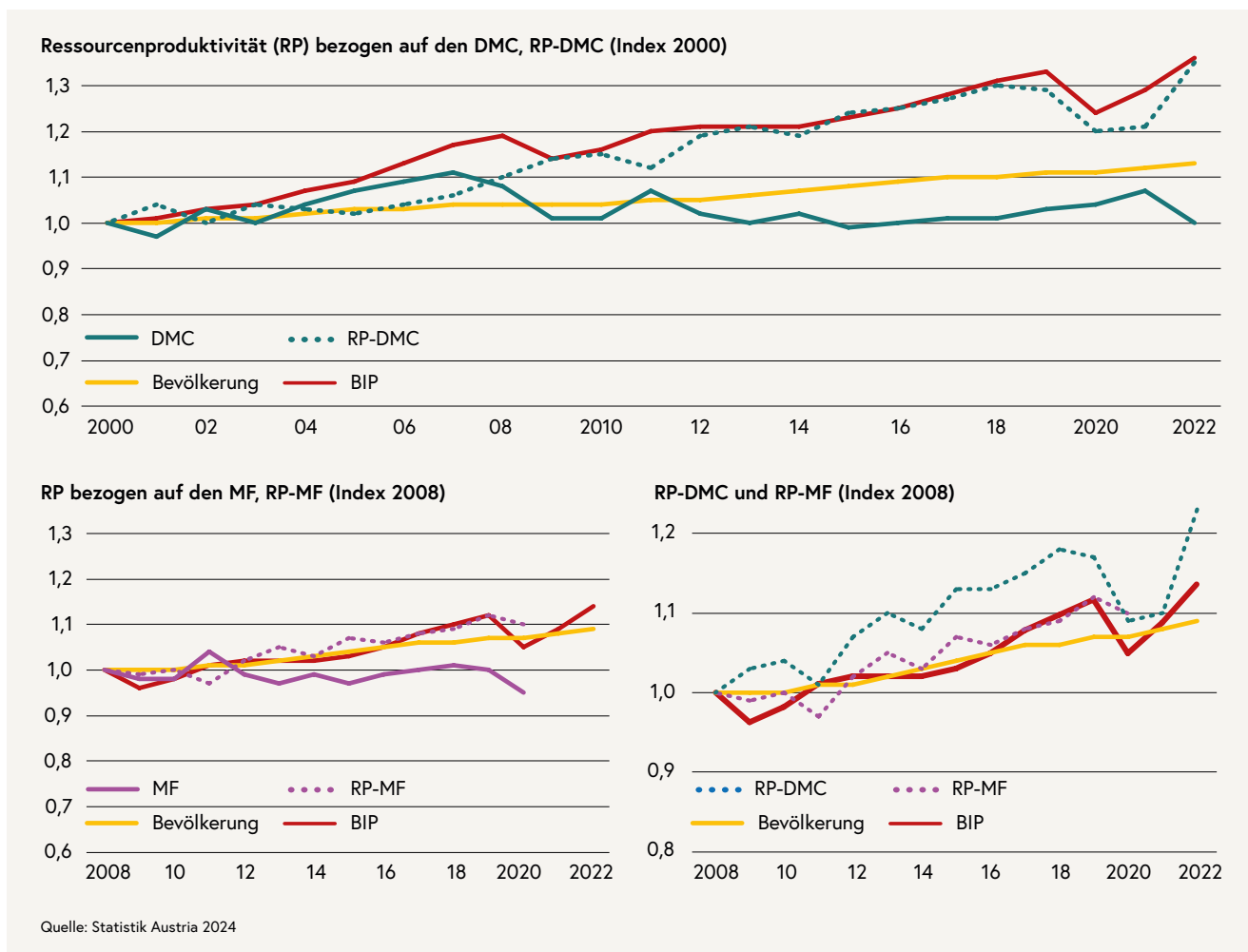


Abbildung 26: Ressourcenproduktivität in Österreich.
(a) RP-DMC, 2000–2022,
(b) RP-MF, 2008–2020,
(c) RP-DMC und RP-MF,
2008–2020.

In der Kreislaufwirtschaftsstrategie ist das Ziel einer 50%-Steigerung der Ressourcenproduktivität (RP-DMC) bis zum Jahr 2030 gegenüber dem Jahr 2015 definiert. Die empirischen Daten zeigen eine Ressourcenproduktivität von 2.266 Euro/t im Jahr 2015. Eine Steigerung um 50 % bedeutet, dass die RP-DMC 2030 bei 3.400 Euro/t liegen soll. Dafür wäre im Durchschnitt eine jährliche Steigerung der Ressourcenproduktivität um 2,75 % notwendig. In den Jahren 2015 bis 2022 lag die durchschnittliche jährliche Wachstumsrate bei 1,75 %. Die höchste Wachstumsrate gab es mit 12 % im Jahr 2022, diese ist jedoch durch den Aufschwung nach den Corona-Jahren bedingt und ist als Ausnahme zu werten. In den Jahren davor waren Wachstumsraten von höchstens 2 % (2017) und 2,1 % (2018) zu beobachten. Gleichzeitig gab es auch Wachstumsraten unter 1 % (2016, 2019, 2020, 2021).

Warum ist Entkoppelung so schwierig?

Eine Reihe an Faktoren stehen einer Entkoppelung von Materialverbrauch und Wirtschaftswachstum im Wege. Einige dieser Faktoren und ihre Wirkung werden im Folgenden skizziert (siehe Parrique u. a. 2019):

- **Technologieentwicklung und der Rebound-Effekt:** Durch die Entwicklung neuer Technologien kann die Ressourceneffizienz in einzelnen Sektoren oder Produktionsprozessen deutlich gesteigert werden. Doch die gleichzeitige Steigerung der Konsumaktivitäten kompensiert diese Effizienzgewinne auf gesamtwirtschaftlicher Ebene (OECD 2018; Parrique u. a. 2019; Ottelin u. a. 2020; Sorrell u. a. 2020; UNEP 2024); das wird als Rebound-Effekt bezeichnet. Der gesteigerte Ressourcenverbrauch übersteigt dann die Einsparungseffekte durch die Effizienzgewinne und kompensiert den Entkoppelungseffekt (OECD 2018; UN IRP 2019a).
- **Problemverschiebungen:** Eine Reduktion der Umweltbelastung in Bezug auf eine Ressource oder ein Umweltmedium ist oft nur durch eine Verschiebung der Umweltbelastung in andere Bereiche erreichbar. Ein Beispiel hierfür wäre der Ersatz von fossilen Energieträgern durch erneuerbare Energiequellen. Eine Substitution von fossilen Energieträgern durch Biomasse würde zwar vordergründig eine gewisse Menge an CO₂-Emissionen einsparen, jedoch würde die Menge an Biomasse, die zusätzlich notwendig wäre, andere Probleme verursachen, wie Konflikte um Landflächen, einen weiteren Verlust an Biodiversität, die Gefährdung von CO₂-Senken durch verstärkte Waldnutzung, die Ausweitung der Biomasseproduktion auf weniger produktive Flächen, Nutzungskonkurrenzen (Biomasse für Ernährung, Treibstoffe, Textilien, Bioplastik ...) etc.
- **Überschätzung der Bedeutung der Dienstleistungssektoren:** Um am Wirtschaftswachstum festhalten zu können, wird oft eine Verschiebung weg von der Produktion in Primärsektoren hin zu vermeintlich weniger materialintensiven Sektoren des Tertiärsektors forciert. Doch das Wachstum in Dienstleistungssektoren geht nicht mit einem Rückgang der Produktion in Primär- und Sekundärsektoren in derselben Größenordnung einher, sondern findet meist zusätzlich dazu statt (für Details siehe Parrique u. a. 2019). Empirische Daten zeigen außerdem, dass Dienstleistungssektoren aus einer produktionsbasierten Sicht zwar weniger Material verbrauchen und weniger CO₂-Emissionen verursachen, manche jedoch aus einer Fußabdruck-Perspektive, z. B. durch die Verwendung von materialintensiven Produkten, die in den Dienstleistungssektoren gebraucht werden, dennoch einen beträchtlichen Material-Fußabdruck aufweisen (siehe zum Beispiel Pichler u. a. 2019 für den Gesundheitssektor).

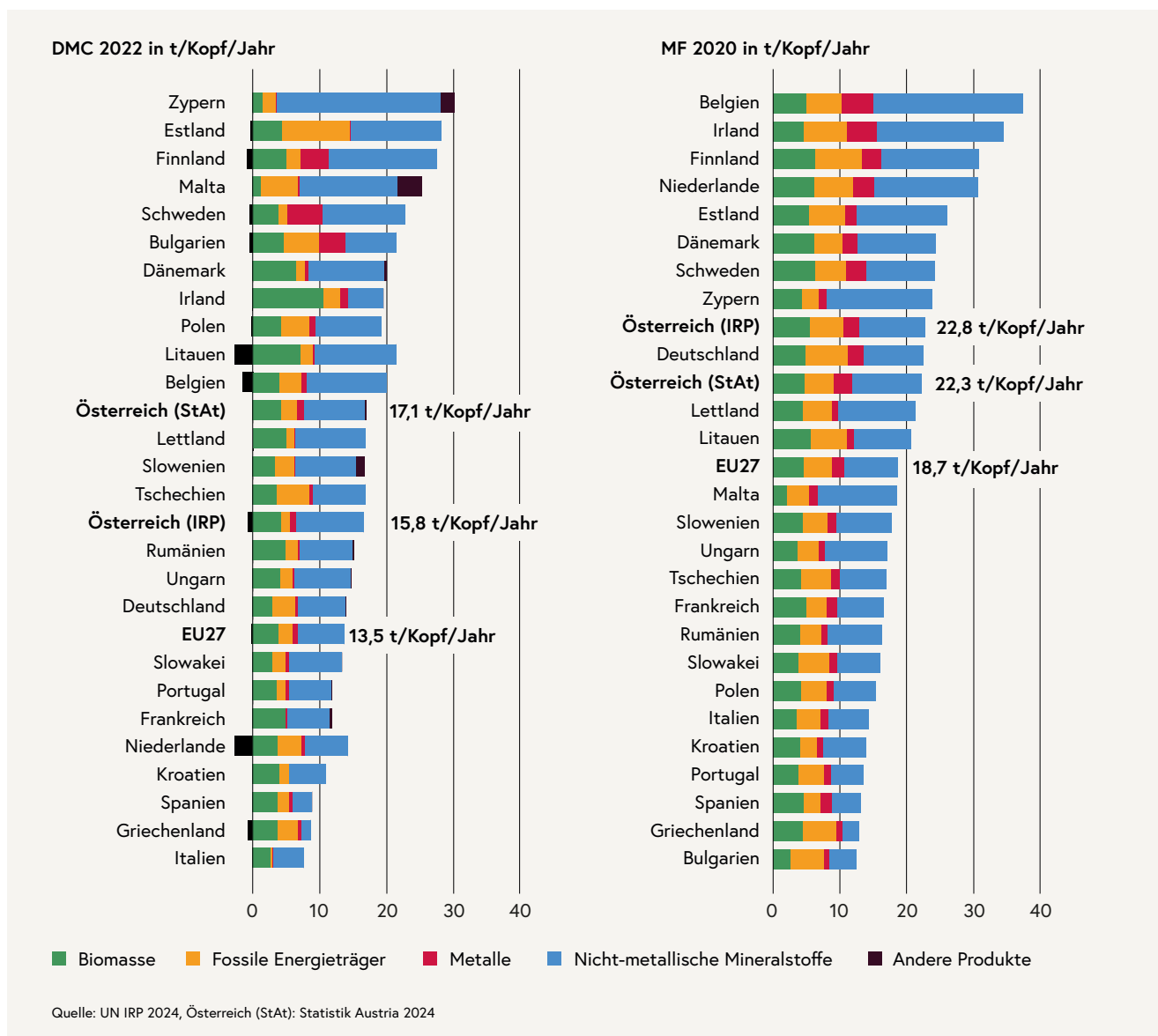
Diese Herausforderungen zeigen, dass die Ressourceneffizienz in vielen Teilbereichen gesteigert werden konnte und dadurch eine relative Entkoppelung erreicht wurde. Das übergeordnete Ziel, die absolute Reduktion des Materialverbrauchs und somit eine absolute Entkoppelung, konnte bis 2021 nicht, mit dem Jahr 2022 jedoch sehr wohl erreicht werden. Es bleibt abzuwarten, ob der Trend über die Krisen hinweg beibehalten werden kann.

Unter den EU-Länder liegt Österreich im hinteren Mittelfeld

Um die Ressourcennutzung Österreichs besser einordnen zu können, vergleichen wir im Folgenden die Ergebnisse für Österreich mit jenen der anderen EU-Mitgliedstaaten sowie dem EU27-Durchschnitt. Für den Vergleich wurden die MFA-Daten der UN IRP Datenbank (UN IRP 2024) verwendet, weil in dieser Datenbank für alle EU-Mitgliedstaaten Daten für den DMC und Material-Fußabdruck vorliegen und alle Mitgliedstaaten mit derselben Methode berechnet wurden (CSIRO 2022). Die österreichischen Daten in der IRP Datenbank weichen leicht von jenen der Statistik Austria ab: Der DMC lag nach Statistik Austria im Jahr 2022 bei 154 Mt/a oder 17 t/cap/a, die IRP Datenbank errechnete 141 Mt/a oder 16 t/cap/a. Die Gründe für die leicht abweichenden Ergebnisse liegen in der Datengrundlage (das IRP verwendet Primärdaten aus internationalen Statistiken) und auch in unterschiedlichen Berechnungsmethoden, vor allem für die Außenhandelsflüsse (siehe CSIRO 2022). In Abbildung 27 sind daher beide Ergebnisse für Österreich dargestellt (Österreich nach Berechnung der Statistik Austria und nach Berechnung des IRP). MFA-Daten für die EU-Mitgliedstaaten gibt es auch bei Eurostat (Eurostat 2023c), jedoch sind die Berechnungsmethoden für den Material-Fußabdruck in den einzelnen Ländern noch sehr unterschiedlich und auch nicht für alle Länder nach Materialkategorien verfügbar. Weiters wird Luxemburg in der folgenden Diskussion nicht inkludiert, weil die Daten in der IRP Datenbank unplausibel hoch erscheinen (DMC von 38 t/cap/a und MF von 44 t/cap/a).

Beim inländischen Materialverbrauch lag Österreich im Vergleich zu den anderen EU-Mitgliedstaaten im Jahr 2022 mit einem DMC von 17 Tonnen pro Kopf an 15. Stelle (siehe Abbildung 27a) bzw. nach IRP-Berechnung (16 t/cap/a) an 12. Stelle. Auf den ersten Plätzen und mit dem niedrigsten Materialverbrauch finden sich Italien, Griechenland und Spanien (7, 8 und 9 t/cap/a). Der DMC dieser Länder lag 34–46 % unter dem EU27-Durchschnitt von 13 Tonnen pro Kopf, der Verbrauch Österreichs ist um 27 % höher als der EU27-Durchschnitt. Auf den letzten Plätzen mit dem höchsten Materialverbrauch liegen Zypern (30 t/cap/a), Estland (28 t/cap/a) und Finnland (27 t/cap/a). Ihr Materialverbrauch ist gut doppelt so groß wie der EU27-Durchschnitt.

In den meisten EU-Ländern war der Materialverbrauch 2020 geprägt durch die nichtmetallischen Mineralstoffe, die in fast allen Ländern zw. 50 % und 60 % des DMC ausmachten (in Österreich 54 %). Mehr Baurohstoffe wurden nur in Lettland, Litauen und Zypern verbraucht, während Griechenland, Spanien, Irland und Bulgarien deutlich weniger nutzten. Der verhältnismäßig hohe Ressourcenverbrauch Österreichs ist primär auf den hohen Einsatz von nichtmetallischen Mineralstoffen zurückzuführen (9 t/cap/a oder 54 % laut Berechnung von Statistik Austria, nach IRP-Methode sogar 64 %). Ein Großteil davon fließt in anthropogene Bestände (siehe Kapitel „Biophysische Bestände bestimmen Ressourcenflüsse (stock-flow-service nexus)“), insbesondere Gebäude (Wiedenhofer u. a. 2021). Der EU27-Vergleich zeigt, dass Länder Skandinaviens (Finnland, Dänemark, Schweden) und des Baltikums (Estland, Lettland, Litauen) die Liste mit einem



hohen Materialverbrauch anführen, insbesondere bei den Baurohstoffen (zwischen 11 und 25 t/cap/a).¹⁴

Da Wohngebäude, aber auch Straßen in kälteren Regionen tendenziell einen höheren Materialeinsatz benötigen (z. B. in Form von erhöhter Wandstärke und frostresistenten Materialien), führt die klimatische Lage auch im Falle des alpinen Österreichs zu einem erhöhten Materialverbrauch. Weitere wichtige Gründe für einen hohen Ressourcenverbrauch pro Kopf stellen die Bevölkerungsdichte sowie der wirtschaftliche Wohlstand dar. So weisen im Vergleich zu Österreich sowohl Deutschland als auch die Niederlande zwar ein ähnliches Wohlstandsniveau auf, jedoch haben beide Länder eine deutlich höhere

Abbildung 27: (a) inländischer Materialverbrauch (DMC), 2022, und (b) Material-Fußabdruck (MF) der EU-Mitgliedstaaten, 2020.

14 Unter den Ländern mit einem hohen Verbrauch an nichtmetallischen Mineralstoffen finden sich auch Belgien (12 t/cap/a) und Zypern (25 t/cap/a). Die Gründe hierfür müssten genauer untersucht werden, auch mangelnde Datenqualität ist hier nicht auszuschließen.

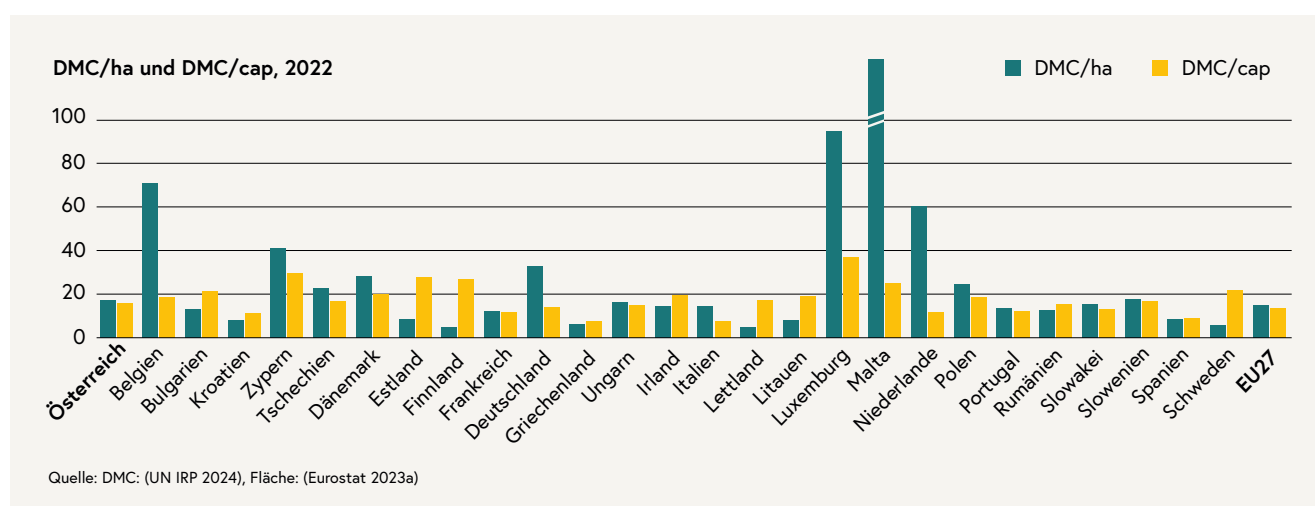
Bevölkerungsdichte. In einer Pro-Kopf-Darstellung erhöht sich der Ressourcenverbrauch in dünn besiedelten, alpinen Regionen, weil kleine Ortschaften durch materialintensive Infrastrukturen wie Straßen, Brücken und Tunnel miteinander vernetzt werden und diese Infrastruktur in regelmäßigen Abständen gewartet oder erneuert werden muss. Zuletzt muss auch die Datenerhebung als Einflussfaktor auf den Ressourcenverbrauch berücksichtigt werden. Die Datenlage bei den gewichtigen Massenmineralen, insbesondere die inländische Entnahme von Sand und Kies, ist meist unzureichend. In Österreich wurde daher ein eigenes, detailliertes Schätzungsverfahren entwickelt, das die nicht berichtete Entnahme von vor allem Sand- und Schotter zuschätzt. Dies betrifft (1) entnommene Rohstoffe, die nicht vermarktet, sondern direkt innerhalb des Gewinnungsbetriebs zur Weiterverarbeitung verwendet werden (Eigenverwendung), (2) Entnahme durch kleine Betriebe (weniger als 20 Beschäftigte), für die keine verpflichtete Berichterstattung vorliegt, und (3) die Gewinnung von Sand und Kies in Branchen außerhalb des Bergbaus, die von der Erhebung nicht abgedeckt werden (z. B. Bauwirtschaft, Landwirtschaft, Handel und Verkehr) (BMLFUW und BMWFJ 2011). Durch diese Zuschätzung erhöht sich die Materialentnahme für nichtmetallische Mineralstoffe im Jahr 2020 von 30 Mt/a (Primärerhebung) auf 38,6 Mt/a, der Materialverbrauch für diese Materialkategorie erhöht sich von 8 t/cap/a auf 9 t/cap/a (2020). Der Materialverbrauch liegt dadurch höher, jedoch ist die Datenqualität als besser einzustufen (BMLFUW und BMWFJ 2011; Neubauer u. a. 2023).

Die zweitgrößte Kategorie im Materialverbrauch entfiel in den EU-Ländern auf Biomassematerialien oder fossile Energieträger. Der Biomasseverbrauch pro Kopf und Jahr zeigte eine große Bandbreite und lag 2022 zwischen 1 Tonne in Malta oder 2 Tonnen in Zypern und 7 Tonnen in Litauen und Dänemark oder 11 Tonnen in Irland. Die Länder mit einem hohem Biomasseverbrauch sind gekennzeichnet durch einen großen Forst- oder Landwirtschaftssektor (vor allem Viehzucht). Auch der Verbrauch an fossilen Energieträgern zeigt eine ähnlich große Bandbreite von weniger als 1 Tonne pro Kopf in Italien und Frankreich und 10 t/cap/a in Estland.

Die auf die Gesamtmasse bezogen kleinste der vier Materialkategorien ist jene der Metalle. Der Materialverbrauch lag in fast allen EU-Ländern deutlich unter 1 Tonne pro Kopf und Jahr. Drei EU-Länder stechen hinsichtlich des Verbrauchs heraus, das sind Finnland (4 t/cap/a), Bulgarien (4 t/cap/a) und Schweden (5 t/cap/a). In diesen drei Ländern spielt Bergbau eine bedeutende Rolle. In Finnland werden vor allem Selen, Silber, Chrom, Nickel, aber auch verschiedene seltene Erden abgebaut. In Schweden werden Kupfer, Silber, Eisenerz, Blei, Zink, in Bulgarien Kupfer, Gold, Silber, Mangan abgebaut. Durch die Maßnahmen des Critical Raw Material Act (siehe Seite 50), die eine Steigerung der Bergbauproduktion zur Reduktion der Importabhängigkeit vorsehen, werden Veränderungen in den MFA-Daten gerade in der Gruppe der Metalle zu erwarten sein.

Der Materialverbrauch dargestellt als Pro-Kopf-Indikator zeigt, dass Länder in kälteren Klimazonen und mit niedriger Bevölkerungsdichte einen eher höheren DMC/Kopf aufweisen (auf mögliche andere Faktoren wird hier nicht näher eingegangen). Ein EU-Vergleich über Pro-Kopf-Werte ist daher nur eine Möglichkeit der Darstellung oder Analyse. Als Referenzeinheit könnte statt der Bevölkerung auch die verfügbare Land-

fläche gewählt werden. Schon in frühen MFA-Analysen zur EU (Eurostat 2002; Weisz u. a. 2006) wurde der Indikator DMC/Landfläche (oder auch DE/Landfläche) als Indikator für die Flächenintensität verwendet und diskutiert. Bezieht man nämlich den Materialverbrauch auf die verfügbare Landfläche, ist die Flächenintensität in jenen Ländern niedrig, die durch eine niedrige Bevölkerungsdichte und einen hohen DMC/cap gekennzeichnet sind (siehe Abbildung 28). Beispiele hierfür sind die baltischen Staaten, Finnland und Schweden. Länder mit hoher Bevölkerungsdichte (über 140 Personen/km²) dagegen sind durch eine hohe Flächenintensität charakterisiert, z. B. Belgien, Zypern, Dänemark, Deutschland und die Niederlande.



Der Material-Fußabdruck Österreichs, d.h. der Materialverbrauch einschließlich des vorgelagerten Verbrauchs außerhalb Österreichs, lag 2020 bei 199 Mt/a oder 22 Tonnen pro Kopf. Der europäische Vergleich für den Material-Fußabdruck zeigt eine ähnliche Reihung wie für den DMC: Finnland (31 t/cap/a), Irland (35 t/cap/a) und Belgien (37 t/cap/a) lagen mit einem vergleichsweise hohen MF/cap/a auf den letzten Plätzen. Die Länder mit dem niedrigsten Pro-Kopf-Fußabdruck waren Bulgarien (12 t/cap/a), Griechenland und Spanien (jeweils 13 t/cap/a). Österreich lag mit einem MF von 22 t/cap/a fast doppelt so hoch und sogar der direkte Materialverbrauch (DMC) Österreichs (17 t/cap/a) lag um 30 % über dem MF dieser Länder. Der EU27-Durchschnitt für den Material-Fußabdruck lag 2020 bei 19 Tonnen pro Kopf, Österreichs Fußabdruck lag um 22 % darüber. Österreich lag damit an 17. Stelle, 16 Länder zeigen einen niedrigeren MF/cap/a.

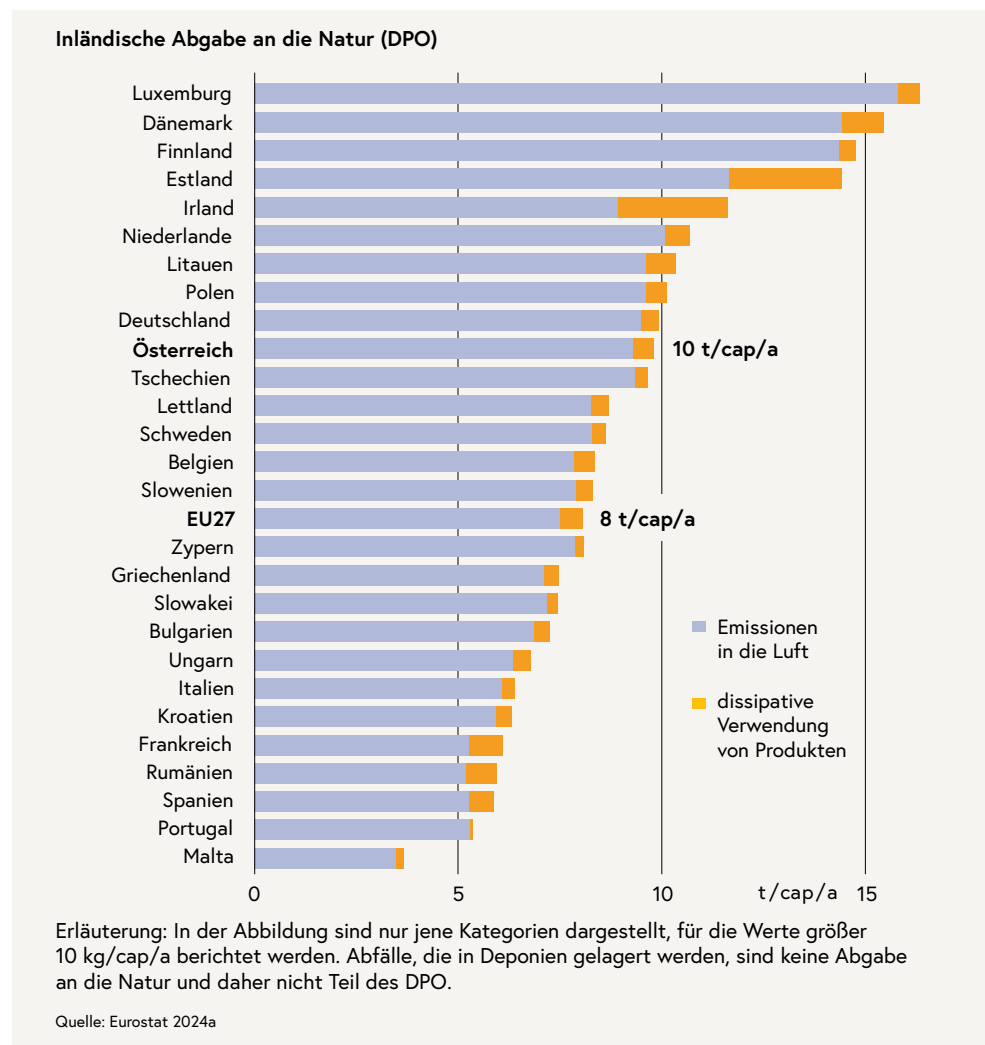
Die MFA-Berichterstattung an Eurostat inkludiert auch die Outputseite (DPO; siehe Kapitel „Alle materiellen Inputs werden zu Outputs“) als freiwillige Meldung, der allerdings schon einige Länder, darunter Österreich, nachkommen (Eurostat 2024a). Die fehlenden Daten werden von Eurostat selbst zusammengestellt. Die beiden relevanten Kategorien unter der inländischen Abgabe an die Natur sind, wie schon im Kapitel „Alle materiellen Inputs werden zu Outputs – Abfälle und Emissionen“ dargestellt, die Emissionen in die Luft und die dissipative Verwendung von Produkten. (Abfälle, die in Deponien gelagert werden, sind nicht Teil der inländischen Abgabe an die Natur sondern bleiben

Abbildung 28: Flächenintensität als Materialverbrauch pro Landfläche (DMC/ha) im Vergleich zum Materialverbrauch pro Kopf (DMC/cap), EU-Mitgliedstaaten, 2022.

Teil des gesellschaftlichen Systems.) Die Emissionen stellen den Großteil des DPO (über 90 % in 22 Ländern, zw. 90 % und 85 % in Spanien, Rumänien, Frankreich sowie 81 % in Estland und 76 % in Irland). Der EU27-Durchschnitt für den DPO lag 2020 bei 8 t/cap/a. Zwölf Länder lagen unter dem EU27-Durchschnitt. Österreich rangierte mit einem DPO von 10 t/cap/a in der Gruppe der Länder, die mehr Outputs als der EU-Durchschnitt verursachen. Insgesamt liegt Österreich unter den EU-Ländern auf Platz 18 und damit im hinteren Drittel. Die fünf Länder mit dem größten DPO waren Luxemburg (16 t/cap/a), Dänemark, Finnland (jeweils 15 t/cap/a), Estland (14 t/cap/a) und Irland (12 t/cap/a) (Abbildung 29a). In Malta (4 t/cap/a), Portugal (5 t/cap/a), Spanien, Rumänien, Frankreich, Kroatien und Italien (jeweils 6 t/cap/a) fallen die geringsten Pro-Kopf-Mengen an Abfällen und Emissionen an.

Im Zeitraum 2000–2022 (bzw. 2000–2020 für den DPO) konnte der Pro-Kopf-Materialverbrauch in fast der Hälfte der EU-Länder reduziert werden, so auch in Österreich (siehe „Der Materialverbrauch ist gestiegen – auch während der COVID-Pandemie“). In Schweden, Finnland und in allen Ländern, die im Rahmen der EU-Erweiterung im Jahr 2004 oder zu einem späteren Zeitpunkt der EU beigetreten sind (außer

Abbildung 29: Inländische Abgabe an die Natur (DPO) in t/cap/a im Jahr 2020 für die EU27-Länder im Vergleich.



Tschechische Republik und Slowenien), hat sich der Materialverbrauch gegenüber dem Jahr 2000 erhöht (UN IRP 2024). Die Ressourcenproduktivität, gemessen als Bruttoinlandsprodukt pro DMC, ist im gesamten EU27-Raum gestiegen, in Griechenland, Irland, Portugal, Slowenien und Spanien hat sich die RP sogar mehr als verdoppelt (UN IRP 2024). Der MF konnte in 13 Ländern (Österreich, Tschechische Republik, Dänemark, Frankreich, Deutschland, Griechenland, Irland, Italien, Niederlande, Portugal, Slowenien, Spanien und Schweden) reduziert werden (UN IRP 2024). Das räumliche Muster der Veränderung des DPO (letztes bei Eurostat verfügbares Jahr 2020) ähnelt jenem des DMC. Österreich zählt hier zu jenen 22 Ländern, in denen der DPO reduziert werden konnte (Eurostat 2024a). In 16 Ländern betrug die Reduktion 10% oder mehr, die höchste Reduktion konnte in Malta (51%), Belgien (40 %) und Spanien, Griechenland (35%) erreicht werden. In Österreich und drei weiteren Ländern (Ungarn, Rumänien, Estland) betrugen die Einsparungen beim DPO nur 5 % oder weniger. Mit einer Stabilisierung des DMC (+/-0 %), einer Reduktion des MF um 5 %, einer Reduktion des DPO um 5 % sowie einem Anstieg der Ressourcenproduktivität um 24 % liegt Österreich im europäischen Mittelfeld.

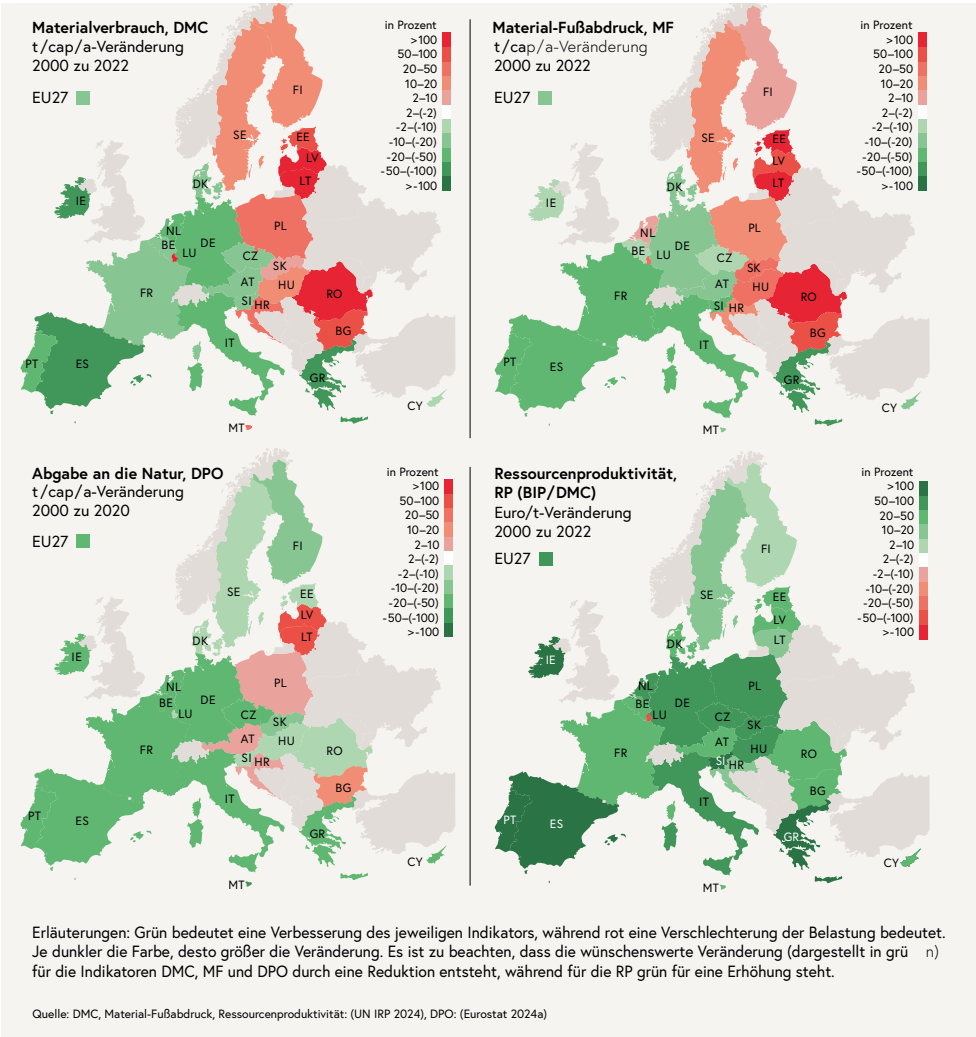
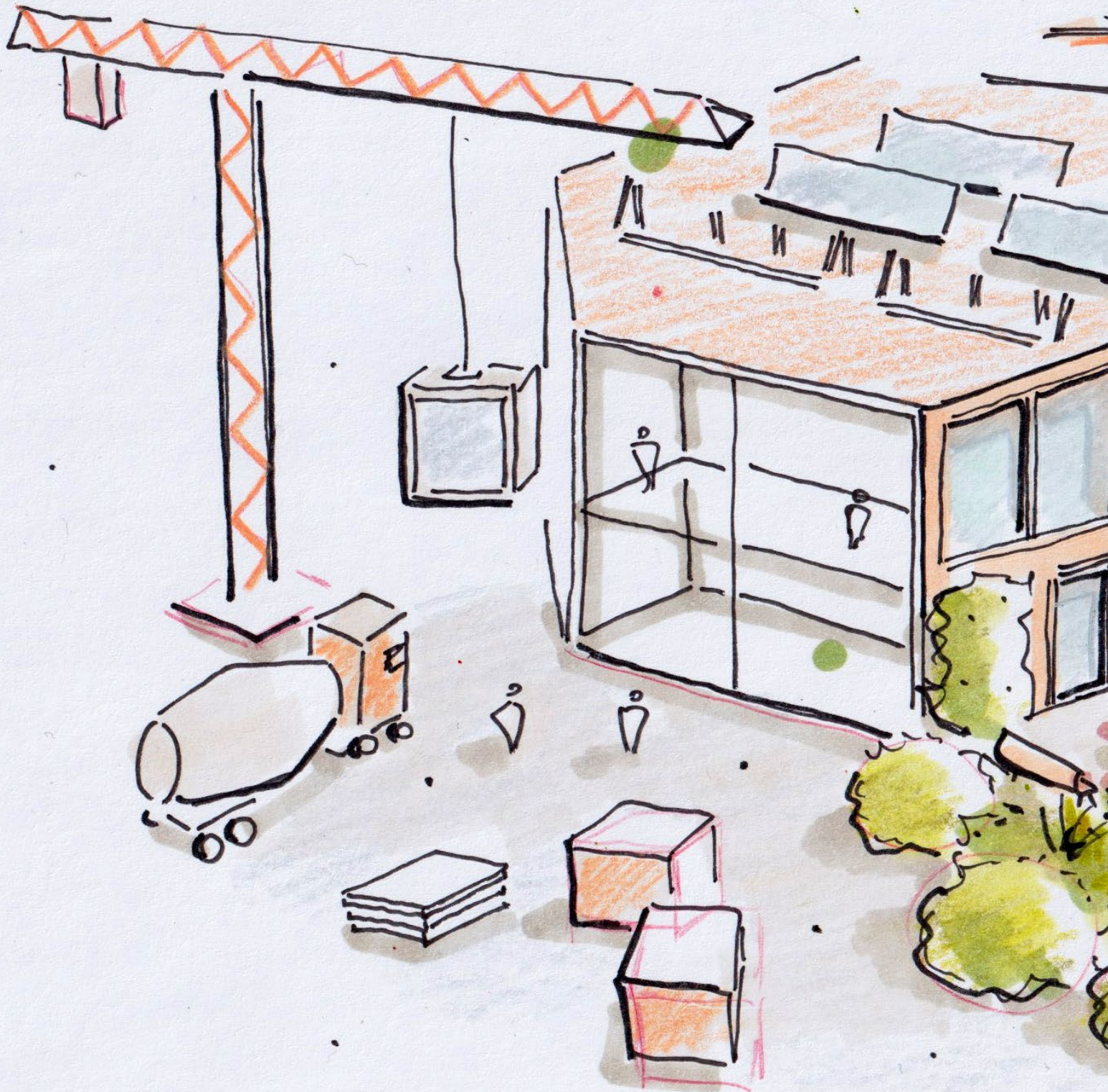
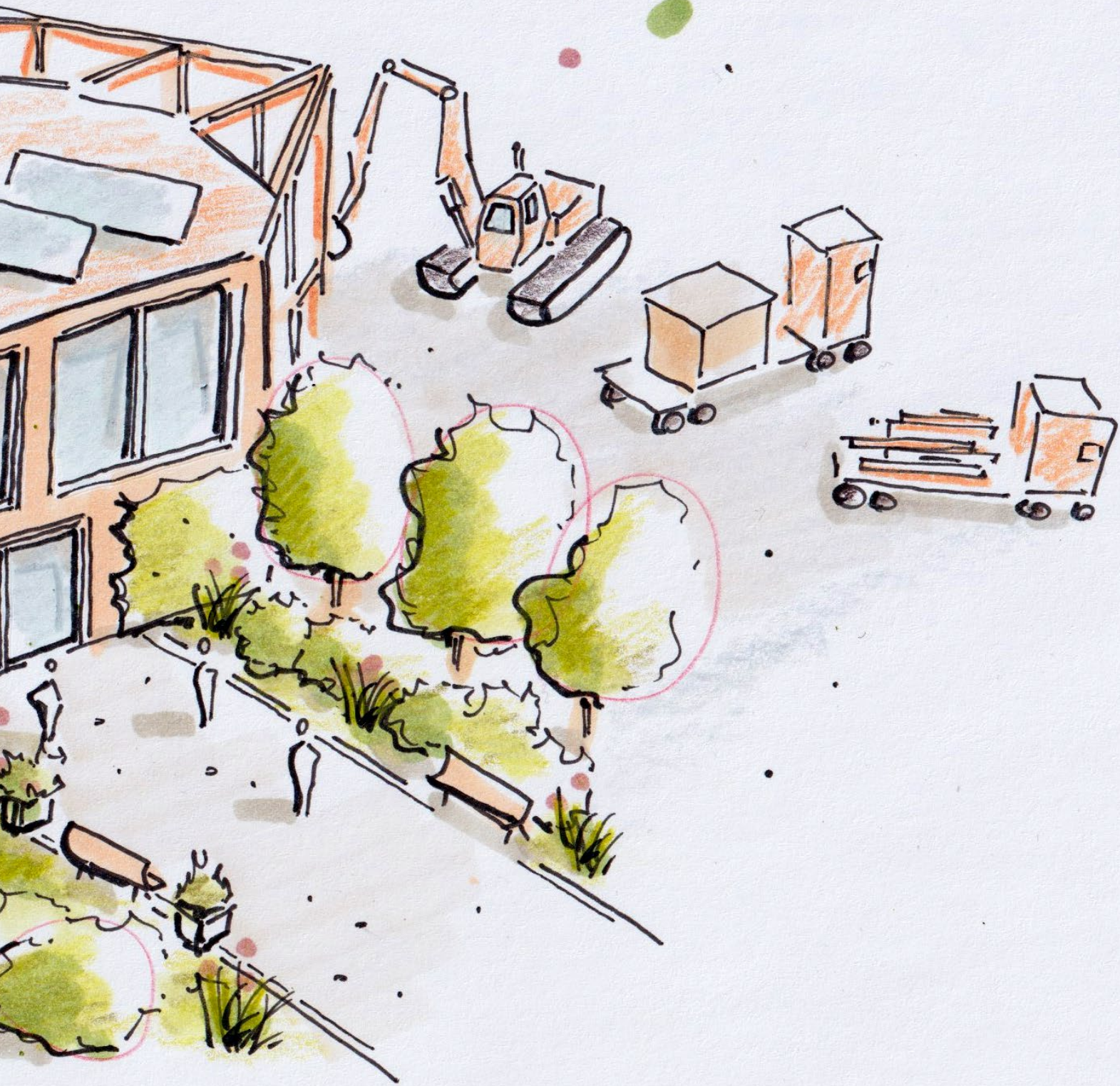


Abbildung 30: Änderungen in Materialverbrauch (DMC), Material-Fußabdruck (MF), inländischer Abgabe an die Natur (domestic processed output, DPO) und Ressourcenproduktivität (RP) in der EU zwischen 2000 und 2022 bzw. 2000 und 2020 für den DPO.

3 Kreislaufwirtschaft





Die Herausforderungen im Wandel von einem linearen Wirtschaftssystem zur Kreislaufwirtschaft

Statement 16 – Zirkuläres Wirtschaften kann zur Erreichung von Klima- und weiteren Umweltzielen beitragen: Die Bereitstellung von Rohstoffen trägt erheblich zu Umweltkrisen wie Klimawandel, Umweltverschmutzung und Biodiversitätsverlust bei (UNEP 2024). Eine Senkung der Primärrohstoffinanspruchnahme z. B. durch zirkuläres Wirtschaften kann daher einen wichtigen Beitrag zur Erreichung von Klima- und weiteren Umweltzielen leisten. Ein gesamtwirtschaftlicher Blick auf die Materialflüsse und Lagerdynamiken hilft dabei, Ressourcenschonungspotenziale frühzeitig zu erkennen und für die Politik nutzbar zu machen. – Philip Nuss, PhD, Umweltbundesamt Deutschland

Unser Wirtschaftsmodell ist nach wie vor weitgehend linear organisiert. Ressourcen werden der Natur entnommen, zu Produkten oder Infrastrukturen verarbeitet, von Haushalten, der öffentlichen Hand, Betrieben oder anderen Organisationen verwendet und schließlich entsorgt oder in dissipativer Form, d. h. zerstreut in geringe Konzentrationen, in die Natur emittiert. Die Nutzungsdauer ist dabei je nach Produkt sehr unterschiedlich. So hat ein Haus eine Lebensdauer von 50 bis weit über 100 Jahre, während einem Auto aktuell eine Lebensdauer von bis zu 20 Jahren zugeschrieben wird. Ein Kleidungsstück bleibt dagegen im Durchschnitt nicht länger als 5 Jahre in Verwendung und die meisten Nahrungsmittel haben die wahrscheinlich kürzeste Lebensdauer von Tagen oder Wochen bis zu wenigen Monaten. Wird ein Produkt nicht mehr gebraucht, wird es zu Abfall und landet als solcher in der Abfallbehandlung, um letztlich als Emission an die Luft oder ins Wasser abgegeben zu werden. Eine zunehmende Knappheit von Rohstoffen und Umweltkrisen ausgelöst durch Emissionen und die Behandlung von Abfällen und Abwässern sind Symptome für das Überschreiten der Aufnahmekapazitäten der Ökosysteme und verweisen auf die Begrenztheit der natürlichen Ressourcen (Meadows u. a. 1972; Rockström u. a. 2009a; Steffen u. a. 2015; O'Neill u. a. 2018; Persson u. a. 2022; Richardson, Steffen, Lucht, Bendtsen, Cornell, Donges, Drüke, Fetzer, Bala, von Bloh u. a. 2023). Seit den 1970er- und 1980er-Jahren, stark beeinflusst durch die Ölpreisschocks, gab und gibt es zahlreiche Bemühungen, die wachsenden Abfallströme und Emissionen zu reduzieren bzw. Abfälle als Ressource zu sehen und einer Wiederverwertung zuzuführen. Recycling – vor allem von Metallen – wurde als zentrale Strategie zur Inwertsetzung von Abfällen erkannt.

Durch die inputorientierte MFA-Datenbasis, die sich Anfang der 2000er-Jahre etabliert hat, wurde ebenfalls bald deutlich, dass der Schritt vom Monitoring der Ressourcenflüsse zu einer Entwicklung von Handlungsoptionen nur durch eine Erweiterung des Blickwinkels über die gesellschaftliche Verwendung von Materialien bis zum Ende der Lebensdauer gelingen kann. Die wissenschaftliche MFA-Community hat sich in Folge der Erfassung und Analyse der gesamten gesellschaftlichen Nutzungsphase von

Materialien gewidmet. Sowohl konzeptuell als auch empirisch war der systemische Ansatz des gesellschaftlichen Metabolismus hierfür essenziell. Denn mit einer klaren Definition des betrachteten Systems, der Wahrung thermodynamischer Grundgesetze und der massenbilanzierten Berücksichtigung aller Flüsse in Abstimmung mit den Bestandsveränderungen kann die komplexe Modellierung aller Ressourcenflüsse gelingen. Diese solide Datengrundlage steht dann auch als Entscheidungsgrundlage für politische Programme wie jenes der Kreislaufwirtschaftsstrategie zur Verfügung.

Die Kreislaufwirtschaft (KW) hat zum Ziel, die materiellen Inputs und Outputs der Gesellschaft weitestgehend zu reduzieren, indem primär die Ressourceninputs verringert und die genutzten Ressourcen möglichst lange in Verwendung gehalten werden. Erst wenn sie am Ende der Nutzungsphase angelangt sind, werden Materialien schließlich durch Kreislaufschließung wieder in den Produktionsprozess eingespeist. Im politischen und wirtschaftlichen Diskurs wurde in den letzten Jahren und Jahrzehnten viel über Erfolge im Recycling und hohe Recyclingraten berichtet. Zahlreiche Ziele der EU (Eurostat 2023e) adressieren die Wiederverwertung von Batterien, elektronischem Equipment, Verpackungsmaterialien, Fahrzeugen, Haushaltsabfällen und Bauschutt. Ein Fokus auf Abfälle und daran angelegte Recyclingraten ist wichtig, jedoch muss er um den Blick auf die Inputseite ergänzt werden. Der enge Fokus auf Recycling muss daher um die anderen Strategien der Kreislaufwirtschaft „Verringern“ und „Verlangsamen“, die zeitlich vorgelagert sind, erweitert werden. Erst ein solcher umfassender Blick auf Kreislaufwirtschaft („circular economy“-Ansatz), von der Ressourcennutzung über die Verwendung bis hin zum Abfallmanagement, und ein Hervorstreichen der Verringerungsstrategien am Beginn der Verwendungskette ermöglicht eine Ressourcenschonung im Sinne einer Verringerung der gesamtwirtschaftlich verwendeten Ressourcen. Genau auf diesem Ansatz basiert auch die österreichische Kreislaufwirtschaftsstrategie.

Energetische und stoffliche Materialverwendung – zwei getrennte Flüsse, die einander bedingen

Aus metabolischer Sichtweise ist es nützlich, an dieser Stelle eine weitere wichtige Differenz in der gesellschaftlichen Ressourcennutzung zu betonen. Zum einen brauchen wir Materialien, um diese in ihrer stofflichen Form zu nutzen, zum Beispiel für den Aufbau von Beständen oder für kurzlebige Produkte. Zum anderen liefern uns Materialien einen energetischen Nutzen, einerseits zur Bereitstellung technischer Energie (bisher zum Großteil durch fossile Energieträger) und andererseits in der Form von Nahrungsmitteln für Menschen, Haus- und Nutztiere. Materialien, die einer stofflichen Nutzung zugeführt werden, werden am Ende der Nutzungsphase zu Abfällen, die potenziell für Recycling oder verschiedene Wiederverwertungsstrategien zur Verfügung stehen. Bei der energetischen Verwendung werden die Materialien während der Nutzung verbraucht und in Emissionen umgewandelt. Diese Emissionen werden in dissipativer Form, also an vielen Orten in sehr geringen Konzentrationen, an die Luft abgegeben. Eine Wiederverwendung oder ein Recycling dieser „Abfallstoffe“ ist eigentlich kaum bzw. nur unter sehr hohem Energieaufwand möglich. Diese beiden Nutzungsarten sind nicht unabhän-

gig voneinander zu betrachten. Ganz im Gegenteil wird Energie in allen Schritten der Produktion stofflicher Güter benötigt (von der Ressourcenentnahme, -aufbereitung und -verarbeitung bis hin zum Transport). Doch auch nach der Herstellung von Produkten wird Energie benötigt, um die produzierten Bestände nutzbar zu machen (Beleuchten und Beheizen von Gebäuden, Elektrizität für die vielen Gerätschaften, Treibstoffe für die Fahrzeuge etc.).

Recyclingraten von 70 % und mehr stehen einer Zirkularitätsrate von 14 % gegenüber. Warum ist Kreislaufwirtschaft so schwer umzusetzen?

Würde man in der Kreislaufwirtschaft nur auf eine Maximierung der Recyclingraten setzen, würden wir keine Erfolgsgeschichte schreiben. Denn Recyclingraten bei Metallen von 64 % bzw. 66 % (BMK 2023) relativieren sich drastisch, wenn man gesamtwirtschaftlich die Summe aller Sekundärrohstoffe dem gesamten Ressourcenverbrauch gegenüberstellt. Diese inputseitig angelegte „Recycling“-Rate oder Zirkularitätsrate (Nutzungsrate wiederverwendbarer Stoffe, circular material use rate, European Commission 2023b) lag im Jahr 2015 global bei etwa 6 % (Haas u. a. 2020) und in Österreich 2022 bei knapp 14 % (Eurostat 2024c).

Eines der großen Hemmnisse in der Kreislaufführung von Materialien ist das Anwachsen der gesellschaftlichen Bestände wie Häuser, Straßen oder Produkte. Diese brauchen weit mehr Ressourcen, als auf der Abfallseite und über ein Recycling verfügbar werden. Global benötigten wir im Jahr 2015 etwa 70 Milliarden Tonnen an nicht erneuerbaren Ressourcen, jedoch fallen nur knapp 20 Milliarden Tonnen an Abfällen an (Krausmann u. a. 2018). Selbst wenn ein 100%iges Recycling möglich wäre, was allerdings nach dem zweiten Hauptsatz der Thermodynamik ausgeschlossen ist, könnten die Sekundärinputs aus den anfallenden Abfällen bei den aktuellen Zuwächsen an Beständen maximal 30 % der benötigten Ressourceninputs decken.

Abgesehen von der theoretischen Planung ergeben sich auch in der praktischen Umsetzung noch weitere Herausforderungen, welche die theoretische Recyclingrate noch weiter senken. Dazu zählt zum Beispiel das aufwendige Einsammeln von Abfällen an den oft sehr breit verstreuten Orten des Abfallaufkommens. Auch sind moderne Produkte sehr komplex in der Fertigung und materiellen Zusammensetzung, sie bestehen aus einer Vielzahl an unterschiedlichen Elementen des Periodensystems, chemisch zusammengeführt zu Verbundwerkstoffen oder Legierungen. Oft sind diese komplexen Verbindungen nicht mehr sortenrein trennbar, auch weil den Hightech-Verfahren in der Fertigung simple Verfahren bei der Abfalltrennung wie Sieben, Verblasen, Magnetabscheiden, Schwemmen oder Brechen gegenüberstehen. In modernen Industrieprozessen werden auch zunehmend Nanomaterialien verwendet, die trotz äußerst geringen Mengen eine toxische Wirkung haben können. Auch kann der Einsatz verschiedener Materialien dazu führen, dass während der Nutzung oder Entsorgung diese ineinander diffundieren. Der Wissensstand zum endgültigen Verbleib bzw. zur letztendlichen Beschaffenheit solcher Materialien und somit zu ihrer möglichen Rückführung in die Wirtschaft sowie

zu ihren möglichen toxikologischen Auswirkungen auf Mensch und Umwelt ist derzeit noch unzureichend.

Die Kreislaufwirtschaft hat bei einer gesamtwirtschaftlichen Betrachtungsweise das Potenzial, als Rahmenkonzept eine nachhaltige Ressourcennutzung entlang der verschiedenen Verarbeitungs- und Nutzungsphasen in Produktion und Konsum anzuleiten. Wichtig ist dabei eine systemische Betrachtung, d.h. die Ressourceninputs und -outputs des sozioökonomischen Produktions- und Konsumsystems konsistent an klar definierten Systemgrenzen zu erfassen. Nachdem die Ressourcenflüsse untrennbar mit unseren physischen Beständen zusammenhängen (siehe Kapitel „Biophysische Bestände bestimmen Ressourcenflüsse (stock-flow-service nexus)“), muss das Monitoring einer Kreislaufwirtschaft andererseits einer massenbilanzierten Darstellung folgen, welche die Veränderungen der Bestände – also deren Aufbau, Instandhaltung und Abbau – systematisch berücksichtigt. Ansonsten können sich umweltrelevante Materialflüsse hinter Datenlücken oder einer inkonsistenten Datenerfassung (z. B. durch divergierende Systemgrenzen) verstecken. Vor allem für Länder wie Österreich, in denen etwa 75 % der extrahierten und importierten Materialflüsse in die Bestände fließen, ist eine Integration der Bestände in die gesamtwirtschaftliche Betrachtung von großer Bedeutung.

Die wissenschaftliche Grundlage dafür ist das Konzept der Materialflussanalyse; diese wurde von Haas u. a. (2015) erstmals für die Kreislaufwirtschaft weiterentwickelt und bis zu einer global konsistenten empirischen Analyse ausgebaut (Haas u. a. 2020). Im Austausch mit der Europäischen Kommission wurde aus dem Konzept heraus auch ein konsistentes Indikatorenset entwickelt (Mayer u. a. 2018; de Wit u. a. 2019).

Die Ziele der österreichischen Kreislaufwirtschaftsstrategie sind sehr ambitioniert

Kreislaufwirtschaft – eine Strategie für Österreich

Die Kreislaufwirtschaft spielt eine Schlüsselrolle in der Transformation hin zu einer nachhaltigen und ressourcenschonenden Gesellschaft und Wirtschaft. Sie ermöglicht, wirtschaftlichen Erfolg mit Umweltschutz und sozialem Fortschritt zu verbinden. Durch den reduzierten Ressourcenverbrauch, die Vermeidung von Schadstoffen und die Verringerung von Abfällen und Emissionen sinkt der ökologische Fußabdruck insgesamt. Die Kreislaufwirtschaft hilft so, den Klimawandel, den Verlust der biologischen Vielfalt und andere ökologische Herausforderungen zu bewältigen. Die nationale Kreislaufwirtschaftsstrategie „Österreich auf dem Weg zu einer nachhaltigen und zirkulären Gesellschaft“ wurde unter breiter Einbindung und Mitwirkung zahlreicher Akteurinnen und Akteure aus Wirtschaft, Wissenschaft, Verwaltung und Gesellschaft erarbeitet. Sie wurde im Dezember 2022 von der Bundesregierung beschlossen. Die nationale Strategie baut auf dem europäischen Green Deal sowie dem EU-Aktionsplan Kreislaufwirtschaft auf und steht im Einklang mit den europäischen Vorgaben. Die Strategie definiert die Grundsätze einer Kreislaufwirtschaft, die Vision, die strategischen und langfristigen Ziele sowie die operationalen mittelfristigen Ziele. Die zentralen Ziele der Kreislaufwirtschaftsstrategie sind:

- Ziel 1: Reduktion des Ressourcenverbrauchs gemessen als Material-Fußabdruck (7 t/cap/a bis 2050) und auch als inländischer Materialverbrauch (14 t/cap/a bis 2030)
- Ziel 2: Steigerung der inländischen Ressourcenproduktivität um 50 % bis 2030 im Vergleich zu 2015
- Ziel 3: Steigerung der Zirkularitätsrate auf 18 % bis 2030
- Ziel 4: Reduktion des Materialverbrauchs der privaten Haushalte um 10 % bis 2030 im Vergleich zu 2020

Damit die Kreislaufwirtschaft in Österreich realisierbar wird, setzt sie auf einen gut abgestimmten Mix von Maßnahmen; für sieben Transformationsschwerpunkte (Bauwirtschaft und Infrastruktur, Mobilität, Kunststoffe und Verpackungen, Textilwirtschaft, Elektro-, Elektronikgeräte und IKT, Biomasse, Abfälle und Sekundärressourcen) werden bereits Maßnahmenbündel zur Umsetzung vorgeschlagen.¹⁵

Neben den Zielen sind auch Grundsätze für eine Kreislaufwirtschaft (10 R-Strategien) sowie für eine Rohstoffversorgung enthalten: Der Rohstoffbedarf soll künftig prioritär aus nachhaltigen Sekundärquellen gedeckt werden, dann aus nachhaltigen erneuerbaren Quellen und nur der verbleibende Rest aus nicht erneuerbaren Quellen.

15 Mehr dazu siehe: bmk.gv.at/themen/klima_umwelt/abfall/Kreislaufwirtschaft/strategie.html

Auch werden in Zukunft neue Rohstoffe und Materialien eingesetzt werden, deren nachhaltige Gewinnung muss ebenfalls hohe Priorität haben.

Die 10 R-Strategien der Kreislaufwirtschaft von Rethink bis Recover

Statement 17 – Ressourcenmanagement und Grenzen der Kreislaufwirtschaft: Wie der Ressourcenbericht zeigt, ist die Kreislaufwirtschaft in Österreich nur gering ausgebildet. Zwei wichtige Gründe dafür sind, dass erstens der Ressourcenverbrauch hoch ist und zu einem starken Lagerwachstum beiträgt. In einer derartigen Wachstumsphase kann keine ausgeprägte Kreislaufschließung realisiert werden. Der für viele Regionen typische circularity gap von 10% zeigt dies. Und zweitens geht die Nutzung der Rohstoffe mit einem hohen Anstieg der Entropie einher, weil wir materiell gesehen sehr komplexe Produkte herstellen, die später kaum oder nur unter hohem technischen Aufwand und damit (zu) teuer rezykliert werden können. Entropie produzieren ist immer leichter als diese wieder zu reduzieren. Das Ressourcenmanagement stellt die Methoden und Kenntnisse bereit, um die materielle Volkswirtschaft zu beschreiben, zu analysieren und zu optimieren. – Univ.-Prof. DI Dr.techn. Dr.h.c. Helmut Rechberger, Forschungsbereich Abfallwirtschaft und Ressourcenmanagement, TU Wien

Die Kreislaufwirtschaft umfasst eine breite Palette an Prozessen oder Aktivitäten, die entlang von 10 R-Strategien strukturiert werden können, zusammengefasst zu drei Strategiegruppen: Verringern (Narrowing), Verlangsamen (Slowing), Schließen von Stoffkreisläufen (Closing) (Potting u. a. 2017; siehe Morseletto 2020). Auch die österreichische Kreislaufwirtschaftsstrategie (BMK 2022) bezieht sich auf diese Gruppierung, siehe Abbildung 31.



NARROWING

Intelligente Nutzung
und Herstellung
von Produkten
und Infrastruktur

1. Refuse. Überflüssig machen.

Produkte werden überflüssig, der Produktnutzen wird anders erbracht

2. Rethink. Neu denken und zirkulär

designen. Produkte neu gestalten und intensiver nutzen z.B. durch Teilen

3. Reduce. Reduzieren. Steigerung der Effizienz bei der Produktherstellung oder -nutzung durch geringeren Verbrauch von natürlichen Ressourcen und Materialien



SLOWING

Verlängerte Lebensdauer
von Produkten,
Komponenten
und Infrastruktur

4. Reuse. Wiederverwendung.

Funktionsfähige Produkte wiederverwenden

5. Repair. Reparatur. Produkte warten und durch Reparatur weaternutzen

6. Refurbish. Verbessern. Alte Produkte aufarbeiten und auf den neuesten Stand bringen

7. Remanufacture. Wiederaufbereiten.

Teile aus defekten Produkten für neue Produkte nutzen, die dieselben Funktionen erfüllen

8. Repurpose. Anders weaternutzen.

Teile aus defekten Produkten für neue Produkte nutzen, die andere Funktionen erfüllen



CLOSING

Wiederverwerten
von Materialien

9. Recycle. Recycling.

Aufbereiten von Materialien, um eine hohe Qualität zu erhalten und sie wieder in den Materialkreislauf zurückführen

10. Recover. Thermische Verwertung

mit Energierückgewinnung

Quelle: BMK 2022

Abbildung 31: Die 10 R-Strategien der Kreislaufwirtschaft. Darstellung aus der österreichischen Kreislaufwirtschaftsstrategie.

Die 10 R-Strategien decken den gesamten Prozess von Produktion, Konsum und Entsorgung ab, setzen am Beginn, also dem Design, an und erweitern den rein wirtschaftlich-technischen bzw. abfallwirtschaftlichen Fokus um eine gesellschaftliche Transformationsperspektive. Die Strukturierung der R-Strategien streicht auch deren Priorisierung hervor: Produkte, Dienstleistungen und Systeme sollen schon in der Planung zirkulär gedacht werden, bevor der Produktionsprozess dann konkretisiert wird (siehe auch die österreichische Kreislaufwirtschaftsstrategie; BMK 2022). Weiters soll auch betreffend der Rohstoffquellen eine Priorisierung verfolgt werden: Rohstoffe sollen in erster Linie aus Sekundärquellen bezogen werden, in zweiter Folge aus nachhaltigen erneuerbaren Quellen und erst in letzter Option aus nicht erneuerbaren Quellen (BMK 2022).

Verringern (Narrowing) soll die Materialmenge von Beginn an reduzieren

Die ersten drei R-Strategien – Refuse, Rethink, Reduce – stellen die gesellschaftlichen Bedürfnisse nach bestimmten Services (oder Dienstleistungen) ins Zentrum. Bevor noch über die Herstellung oder das Design eines Produkts nachgedacht wird, stellt der Gedanke des Refuse und Rethink die Frage, ob wir dieses Produkt überhaupt brauchen und ob wir einen bestimmten Service nicht durch ganz andere Produkte oder auch andere gesellschaftliche Organisation bereitstellen können. Ein Beispiel: Ich möchte mich sportlich betätigen, meine Fitness erhöhen. Anstelle einer Jahreskarte für das Fitnesscenter (und der materiellen Ausstattung desselben inkl. Betrieb und Wartung) und der Anfahrt mit dem eigenen PKW könnte ich auch eine selbstorganisierte Trainingsgemeinschaft in einem fußläufig erreichbaren Park in meiner Nachbarschaft nutzen. Leer stehende dezentrale Räume könnten mehrfach genutzt werden, als Gemeinschaftsraum für ein Mehrgenerationenkonzept inkl. Kinderbetreuung, für Feierlichkeiten und Sport wie Tischtennis – anstatt mehrere spezialisierte Gebäude in größerer Entfernung zu errichten. Auch verschiedene Sharing-Konzepte, wie schon aus der Vergangenheit bekannte öffentliche Büchereien oder Werkzeug-Sharing-Plattformen und -Orte, haben hier ein bedeutendes Potenzial. Sharing-Konzepte, die nicht nur auf einer Produkt-, sondern auf der Systemebene ansetzen, sind allerdings besonders relevant. So ist der öffentliche Verkehr (ebenfalls ein Sharing-Konzept) im Vergleich zum individuell motorisierten Verkehr mit Besitz eines Fahrzeugs weit ressourcenschonender, vor allem, wenn er mit einer Verlagerung von der ressourcenintensiven Straße auf die weit ressourcensparsamere Schiene einhergeht. Ergänzend können auch Carsharing-Angebote zu einem Umdenken weg vom Besitz hin zur gemeinschaftlichen Nutzung führen.

Im Kontext dieser Strategiegruppe wird oft der Begriff Suffizienz (Görg u. a. 2023) verwendet, der sich darauf bezieht, dass Individuen auch mit weniger Konsum von Gütern und Dienstleistungen ein gutes Leben mit hoher Lebensqualität führen können (Millward-Hopkins u. a. 2020). Suffizienz beschreibt im Allgemeinen eine Änderung der dominierenden Konsummuster, meist hin zu einer Reduktion des Konsums. Im Kontrast dazu beschäftigt sich der Effizienz-Begriff damit, Güter und Dienstleistungen mit weniger Material, Abfall und Emissionen zu produzieren und zu nutzen. In diesem Zusammen-

hang wird auch das Konzept der Konsumkorridore verwendet, womit eine Unter- und Obergrenze für den Konsum gemeint ist. In der ökonomisch geführten Diskussion wird Suffizienz auch über nachfrageseitige Maßnahmen behandelt, wobei hier der Fokus darauf liegt, wie der Konsum bzw. die Nachfrage aufseiten der Endkonsument:innen verändert werden kann.

Teil der Narrowing-Strategien ist auch das Prinzip „Reduce“ im Sinne einer Reduktion der Menge an konsumierten Produkten oder des Materialverbrauchs pro Produkt. Die drei Rs – Refuse, Rethink, Reduce – sind oft nicht so klar voneinander abgrenzbar. Ihnen gemein ist aber, dass sie zu einem „Narrowing“, also einer Verringerung der Ressourceninputs, beitragen.

In den Zirkularitätsindikatoren wird das Verringern der Flüsse einerseits durch die reduzierte Menge von nichtzirkulären Strömen, den Primärmaterialien, sichtbar. Dies führt gleichzeitig zu einer Reduktion der insgesamt verarbeiteten Materialien, wodurch sich bei gleichbleibenden absoluten Recyclingflüssen die Zirkularitätsrate (Recycling als Anteil der verarbeiteten Materialien) erhöht.

Ein Aspekt ist in den 10 R-Strategien nicht explizit bedacht, und das ist die Substitution von nicht erneuerbaren durch erneuerbare Rohstoffe, also Biomasse-basierten Materialien. Da auch das Bereitstellen von erneuerbaren Rohstoffen Material und Energie braucht und die Regenerationsraten von Ökosystemen die Verfügbarkeit begrenzen, ist eine Substitution allerdings nur dann anzustreben, wenn die Potenziale von Refuse, Rethink und Reduce ausgeschöpft wurden. Auch in den Bezugsquellen von Rohstoffen soll daher eine Priorisierung verfolgt werden: 1. Sekundärquellen, 2. erneuerbare Rohstoffe, 3. nicht erneuerbare Quellen. Diese Rohstoffgrundsätze sind in der österreichischen Kreislaufwirtschaftsstrategie adressiert (BMK 2022).

Verlangsamen (Slowing) soll Materialien länger in Nutzung halten

Fünf weitere R-Strategien – Reuse, Repair, Refurbish, Remanufacture, Repurpose – streben eine Verlängerung der Lebensdauer von Produkten, Produktteilen oder Materialien in der gesellschaftlichen Nutzung an. Diese Strategien sind größtenteils dienstleistungsbasiert und wurden in den letzten Jahren deutlich ausgebaut. Vermittlungsplattformen können zum Beispiel dazu beitragen, dass Produkte in gutem Zustand, die von den derzeitigen Besitzer:innen nicht mehr gebraucht werden, nicht entsorgt, sondern entgeltlich oder unentgeltlich weitergegeben werden. Ein Beispiel für die Lebenszeitverlängerung ist die Förderaktion des Klimaschutzministeriums für die Reparatur von elektrischen und elektronischen Geräten (Reparaturbonus). Der Lebenszyklus eines Produkts kann durch die R-Strategien der Gruppe Slowing deutlich verlängert werden. Die neue EU-Ökodesign Verordnung für nachhaltige Produkte¹⁶ trat im 18. Juli 2024 in Kraft und adressiert die verschiedenen Aspekte der Lebensdauererweiterung eines Produkts.

16 commission.europa.eu/energy-climate-change-environment/standards-tools-and-labels/products-labelling-rules-and-requirements/sustainable-products/ecodesign-sustainable-products-regulation_en

Auch bei Produkten aus erneuerbarer Biomasse kann die kaskadische Nutzung – zwar nicht explizit in den 10 R-Strategien angesprochen, aber dennoch – der Kategorie Slowing zugerechnet werden. Das kann die Verwendung von Kleidungsstücken als Putztücher sein, oder die Verwendung von Schalungsbrettern oder Holzelementen aus Abbruchhäusern für den Möbelbau. Im Unterschied zum Recycling, bei dem das Material erneut in den Produktionsprozess kommt, bleibt bei der Wiederverwendung das Produkt als Ganzes oder in Teilen unversehrt erhalten. Die Kaskade ergibt sich daraus, dass die Sekundärverwendung durch die geringere Qualität des wiederverwendeten Produkts charakterisiert ist.

In den Zirkularitätsindikatoren wirkt sich das Verlangsamen einerseits durch die verringerte Menge von nichtzirkulären Strömen aus, da Bestände wie Gebäude oder Produkte nicht ersetzt werden müssen; andererseits fällt dadurch auch weniger Abfall an, weil die Produkte oder Bestände erst später zu Abfall werden.

Die verlängerte Lebensdauer ist auf aggregierter, volkswirtschaftlicher Ebene nicht leicht zu messen. Eine sinnvolle Option könnte ein neuer Indikator sein: eine Materialdurchsatzrate, also das Verhältnis von Abfällen aus den Beständen zu den Materialien, die als Inputs in die Bestände gehen. Dieser Indikator fungiert als Annäherungswert dafür, wie lange die Summe aller Bestände und Produkte in Gebrauch bleibt. Bei zum Beispiel jährlichen 5 t/a Materialinput (für Instandhaltung und Ausbau) und 1 Tonne Abfall wäre das Verhältnis 1:5 und die Materialdurchsatzrate 20 %. Das Verhältnis 1:5 bedeutet, dass die Bestände alle fünf Jahre vollständig erneuert werden.

Statement 18 – Geschäftsmodelle und Produkte müssen neu gedacht werden: Produkte, aber auch die damit verbundenen Geschäftsmodelle müssen neu gedacht werden, damit sich lange Nutzungszeiten, reduzierter Ressourcenverbrauch und eine Kreislaufführung mit hoher Wertschöpfung perfekt ergänzen können. Damit ergeben sich viele neue Ideen für eine Produktgestaltung im Sinne von Eco-design, das direkt an den eigentlichen Bedürfnissen der Nutzerinnen und Nutzer ansetzt. Das Ziel ist erreicht, wenn der wirtschaftliche Erfolg der Unternehmen vom Ressourcenverbrauch entkoppelt ist.

– Ao. Univ.-Prof. DI Dr. Wolfgang Wimmer, EcoDesign, TU Wien

Das Schließen von Stoffkreisläufen (Closing) soll Abfälle wieder zu Sekundärrohstoffen umwandeln

Die letzten beiden R-Strategien Recycle und Recover sind jene Strategien, die am Ende des Lebenszyklus eines Produkts zur Anwendung kommen, wenn ein Produkt also in die Abfallverwertung eingeht. Dazu zählt zum einen das klassische Recycling, also die Wiederaufbereitung von Materialien zu Sekundärrohstoffen, die wieder in Produktionsprozesse Eingang finden. Recover ist die thermische Nutzung von Abfallstoffen für all jene brennbaren Materialien, die nicht mehr in den Kreislauf zurückgeführt werden können.

Die Sekundärflüsse dieser Gruppe werden in der Abfallwirtschaft unter „Recycling“ berücksichtigt. Diese Art der Kreislaufschließung geht daher direkt in die Berechnung der Zirkularitätsrate ein (Nutzungsrate wiederverwendbarer Stoffe, circular material use rate, CMU, siehe nächstes Kapitel) und sollte im Idealfall sowohl Primärrohstoffe ersetzen als auch Abfall verringern. Aufgrund von Rebound-Effekten und durch Transporte, Anlagen und Energie im Recycling-Prozess kann der Reduktionseffekt aber auch kompensiert werden. Eine konkrete Zuschreibung zu einzelnen Recycling-Maßnahmen ist allerdings nicht möglich.

Kreislaufwirtschaftsindikatoren können absolute Mengen oder relative Zahlen abbilden

In der Beobachtung und Bewertung der Kreislaufwirtschaft sind auf politischer Ebene (BMK 2022; Eurostat 2024b) und in der wissenschaftlichen Forschung (Mayer u. a. 2018; Helander u. a. 2019; Moraga u. a. 2019; Miatto u. a. 2024) verschiedenste Indikatoren im Einsatz. Im Folgenden werden die Indikatoren – mit Fokus auf jene mit Bezug zur österreichischen Kreislaufwirtschaftsstrategie – strukturiert und diskutiert.

Absolute Indikatoren (scale) beschreiben die gesamte Masse des Ressourceninputs oder Abfallaufkommens

Das übergeordnete Ziel der Kreislaufwirtschaft ist es, die gesellschaftlichen Inputs an Primärressourcen und die gesellschaftlichen Outputs (Abfälle und Emissionen) zu verringern. Zur Evaluation, ob wir uns diesem Ziel nähern, braucht es allem voran absolute Indikatoren, die zeigen, ob die gesamte Menge an Inputs und Outputs sinkt. Inputseitig kann dies mit dem inländischen Materialverbrauch (DMC) oder dem Material-Fußabdruck (MF) gemessen werden. Der DMC fokussiert auf die Materialien, die in Produktion und Konsum in Österreich verbraucht werden. Der MF dagegen betrachtet den österreichischen Konsum und den globalen Materialverbrauch, der damit in Verbindung steht. In der wissenschaftlichen Literatur (Mayer u. a. 2018) wird ein weiterer Indikator vorgeschlagen und verwendet: das verarbeitete Material oder processed materials (PM). PM entspricht dem DMC, aber zuzüglich des rezyklierten Materials. Der Indikator PM wird nach Mayer u. a. (2018) auch als interim flow bezeichnet, weil er nicht nur jene Inputs berücksichtigt, welche die Systemgrenze zur Natur und zu anderen Ökonomien überschreiten, sondern auch den internen Fluss des rezyklierten Materials inkludiert. Der PM beschreibt daher den gesamten Materialverbrauch der Produktion und des Konsums, egal ob aus primären oder sekundären Quellen.

In der Anwendung liefern die Indikatoren leicht unterschiedliche Resultate:

- Wenn der DMC sinkt und die Menge der Recyclingflüsse steigt, dann bleibt der PM konstant.
- Wenn der DMC sinkt und die Recycling-Menge konstant bleibt, dann sinkt auch der PM.

Auf der Outputseite kann ein absoluter Indikator entweder Abfälle oder Emissionen oder deren Summe, die inländisch produzierte Abgabe (DPO), umfassen. Arbeiten zur Kreislaufwirtschaft fokussieren üblicherweise auf die stofflichen Abfälle, Emissionen werden selten berücksichtigt. Wohl auch deswegen, weil Emissionen (noch) nicht für eine Kreislaufführung in Betracht kommen.

In der österreichischen Kreislaufwirtschaftsstrategie wird inputseitig ein Ziel für den DMC wie auch für den MF festgelegt (siehe Kapitel „Die Ziele der österreichischen Kreislaufwirtschaftsstrategie“). Für die Outputseite wurde das Ziel „Reduktion des materiellen Konsums in privaten Haushalten“ definiert, welches über das Aufkommen von Siedlungsabfällen gemessen werden kann.

Zirkularitäts- oder Recyclingraten stellen einen Bezug zwischen zwei Flüssen dar

Ergänzend zu den absoluten Mengen werden oft Raten als Indikatoren verwendet, die zum Beispiel den Anteil der rezyklierten Flüsse an den gesamten Inputs oder gesamten Outputs angeben. Raten sind Prozentsätze, geben daher keine Information über die der Berechnung zugrunde liegenden absoluten Mengen ab. Dafür wird eine andere Aussage präsentiert, die jene der absoluten Mengen gut ergänzen kann. Ein Beispiel: In Österreich kann sich die Menge an recyceltem Material absolut verdoppeln, jedoch kommen wir damit der Kreislaufwirtschaft nicht direkt näher, wenn sich im gleichen Zeitraum die Primärinputs ebenfalls verdoppeln, da die Zirkularität auf dem gleichen Prozentsatz bleibt. Eine Bewertung der Zirkularitätsentwicklung kann daher nur in einer gemeinsamen Betrachtung der Zirkularitäts- und Recyclingraten sowie der absoluten Referenzmengen (gesamte Ressourceninputs oder gesamte Abfälle) erfolgen.

Outputseitige Recyclingraten sind schon lange in Verwendung und weithin bekannt. Sie berechnen den Anteil des rezyklierten Materials am Abfallaufkommen und geben somit Aufschluss, wie viele der angefallenen Abfälle wieder in die gesellschaftliche Nutzung zurückgeführt werden konnten.

Inputseitig wird die Zirkularitätsrate oder Nutzungsrate wiederverwendbarer Stoffe (circular material use rate, CMU; Eurostat 2024c) verwendet. Mayer u. a. (2018) nennen diesen Indikator auch Input-Recyclingrate. Dieser Indikator zeigt, welchen Anteil die Sekundärstoffe am gesamtgesellschaftlichen Materialverbrauch haben. Wichtig ist hier, welche Komponenten in die Berechnung der Zirkularitätsrate einfließen. In den Sankey-Diagrammen von Eurostat (Eurostat 2024d) und Statistik Austria (siehe Abbildung 32) wird der Knotenpunkt „verarbeitetes Material“ (processed material) angezeigt, der

den DMI + Recycling widerspiegelt. In der Berechnung der Zirkularitätsrate jedoch wird der DMC + Recycling verwendet. Die Exporte müssen für die Berechnung also noch abgezogen werden.

Zur Entwicklung von Handlungsoptionen braucht es noch mehr Details

Die vorher genannten absoluten Indikatoren und Raten sind gute Monitoring-Instrumente, um die gesamtwirtschaftliche Entwicklung zu beobachten. Handlungsoptionen lassen sich daraus allerdings nur schwer ableiten. Dazu braucht es einen detaillierteren Blick auf Sektoren, Produkte, Aktivitätsfelder etc.:

- Recyclingraten für einzelne Materialien, z. B. Aluminium-, Glas-, oder Papier-Recyclingraten, sind gut etabliert und eine wichtige Informationsquelle für die technischen Möglichkeiten.
- Recycling erneuerbarer Ressourcen (Biomasse): Biomasse gilt als erneuerbare Ressource, eine Nutzung biotischer Rohstoffe wird daher als per se zirkulär eingestuft. Doch die produktiven Landflächen und ihr nachhaltiges Biomassepotenzial sind begrenzt, eine Übernutzung führt zur Degradation von Landflächen und produktivem Boden. Daher muss auch in Bezug auf die Biomasse über eine Kreislauflösung nachgedacht werden. Die kann sich zum einen auf das innergesellschaftliche Recycling beziehen, bei dem es im Wesentlichen um die kaskadische Nutzung geht. Bei dieser werden Biomassematerialien in mehreren Stufen unter abnehmender Qualität genutzt; ein Beispiel ist die Nutzung von Holz für Möbel, dann für Spanplatten und Papier bis zur letztendlichen energetischen Verwertung. Zum anderen muss bei der Abgabe an die Natur darauf geachtet werden, dass diese nicht die Regenerationsfähigkeit der ökologischen Kreisläufe übersteigt oder stört.
- Schließlich muss auch über Recycling-Optionen außerhalb des betrachteten Systems nachgedacht und deren Erfassung empirisch entwickelt werden. Denn Importe aus Ländern/Firmen, die eine sehr gute KW-Performance haben, sind anderen, weniger nachhaltigen Betrieben vorzuziehen. Die gleichen Überlegungen gelten auch für Exporte. Denn KW-Standorte müssen sich entsprechend Angebot und Nachfrage bestmöglich räumlich verteilen. Es kann daher nicht jede Stadt, jedes Land oder jede Region innerhalb eines Landes Recyclingstandorte für alle Arten von Materialien möglich machen. Manchmal ist es ökonomisch effizienter, einen Standort außerhalb der Landesgrenzen zu nutzen, der trotzdem räumlich näher ist als inländische Standorte. Importe aus und Exporte nach KW-orientierten Betrieben sollten daher als zweite Priorität auch in den KW-Indikatoren abbildbar sein.
- Zuletzt muss noch darauf hingewiesen werden, dass Indikatoren zur ersten KW-Strategiegruppe „Narrowing“ noch kaum überlegt und im Sinne einer systemischen Perspektive in das Indikatorenset integriert wurden. Angesichts der

Wichtigkeit und prioritären Rolle dieser systemischen Strategien (im Gegensatz zu den anderen, mehr produktorientierten Strategien der übrigen Rs) wäre eine konzeptuelle Entwicklung von narrowing-Indikatoren dringend notwendig.

Die Visualisierung der Kreislaufwirtschaft in Sankey-Diagrammen

In der Darstellung der für eine Kreislaufwirtschaftsanalyse relevanten Materialflüsse werden üblicherweise Sankey-Diagramme (Flussdiagramme, siehe die folgenden Abbildungen) verwendet. Die Erstellung eines Sankey-Diagramms ist ein komplexes Unterfangen, denn um die Kreislaufwirtschaftsprozesse richtig und umfassend abzubilden, braucht es eine konsistente Systemdefinition und eine korrekte Massenbilanz als notwendige Grundlage. Das bedeutet, dass alle Outputs gleich den Inputs sein müssen, korrigiert um die Bestandsveränderungen (Krausmann, Schandl u. a. 2017; Eurostat 2018; Wiedenhofer u. a. 2019). In den Studien wird meist mit biophysischen Modellen gearbeitet, die sämtliche Ressourceninputs mit den Beständen und gesellschaftlichen Outputs konsistent in Zusammenhang bringen. Durch die mathematische Beziehung $\text{Inputs} = \text{Outputs} + \text{Bestandsveränderungen}$ können bei fehlenden Daten oder unsicherer Qualität Cross-Checks durchgeführt oder fehlende Komponenten modelliert werden.

Bestände und Bestandsveränderungen sind bis jetzt noch nicht über statistische Quellen erfasst; weiters braucht es wegen der langen Lebensdauer von Beständen (im Falle von Gebäuden 50 bis über 100 Jahre) eine über eine Zeitreihe konsistente Erfassung der Art und Zusammensetzung der z. B. Gebäudebestände und dann die dazu in Beziehung stehenden Ressourceninputs und -outputs. Ohne eine Quantifizierung der Bestände können etwaige Zusammenhänge auch über das betrachtete Jahr hinweg sowie Feedbackprozesse nicht abgebildet werden, beziehungsweise entstehen durch Dateninkonsistenzen falsche Zusammenhänge und Zuordnungen.

In diesem Abschnitt werden zwei Sankey-Diagramme für Österreich nebeneinandergestellt, deren Unterschiede herausgestrichen und die daraus entstehenden Effekte auf Zirkularitätsindikatoren aufgezeigt.

Das erste Sankey-Diagramm wird von Statistik Austria erstellt (Statistik Austria 2023e) (Abbildung 32) und gleichermaßen bei Eurostat veröffentlicht. Die Datengrundlage hierfür bilden die MFA, die Außenhandelsstatistik sowie die Abfallwirtschaftsstatistik. Im weiteren Text wird das Sankey-Diagramm der Statistik Austria als STAT-Sankey bezeichnet.

Das zweite Sankey-Diagramm ist das Ergebnis einer Forschungsarbeit am Institut für Soziale Ökologie (SEC) (Jacobi u. a. 2018), später überarbeitet und im Circular Economy Gap Report veröffentlicht (de Wit u. a. 2019); siehe Abbildung 33. Im Folgenden wird dieses Sankey-Diagramm als SEC-Sankey bezeichnet.

Abbildung 32: STAT-Sankey – die österreichische Kreislaufwirtschaft als Sankey-Diagramm, erstellt von Statistik Austria. Österreich 2020.

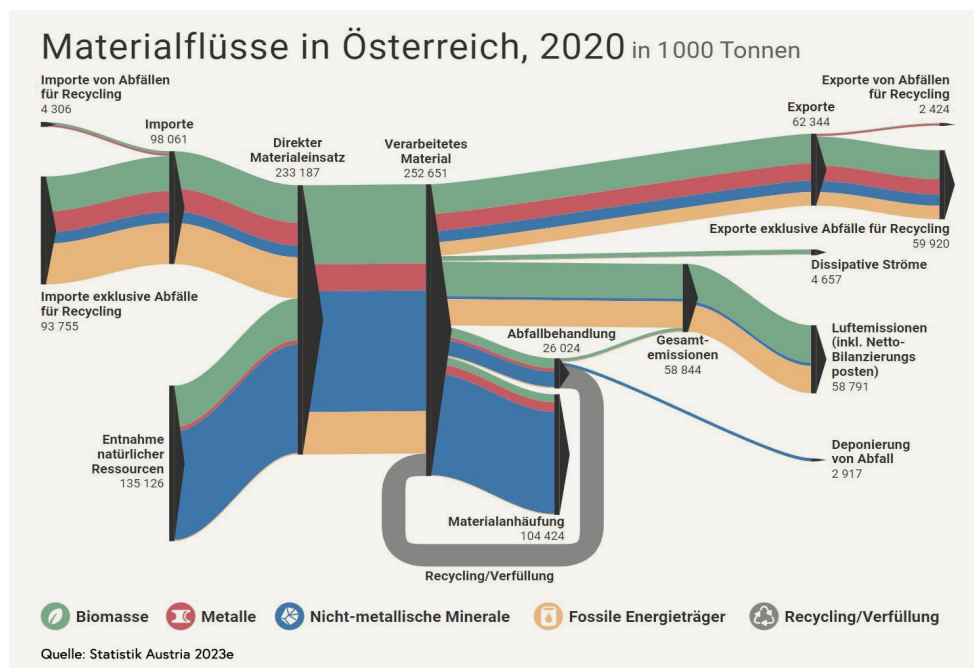
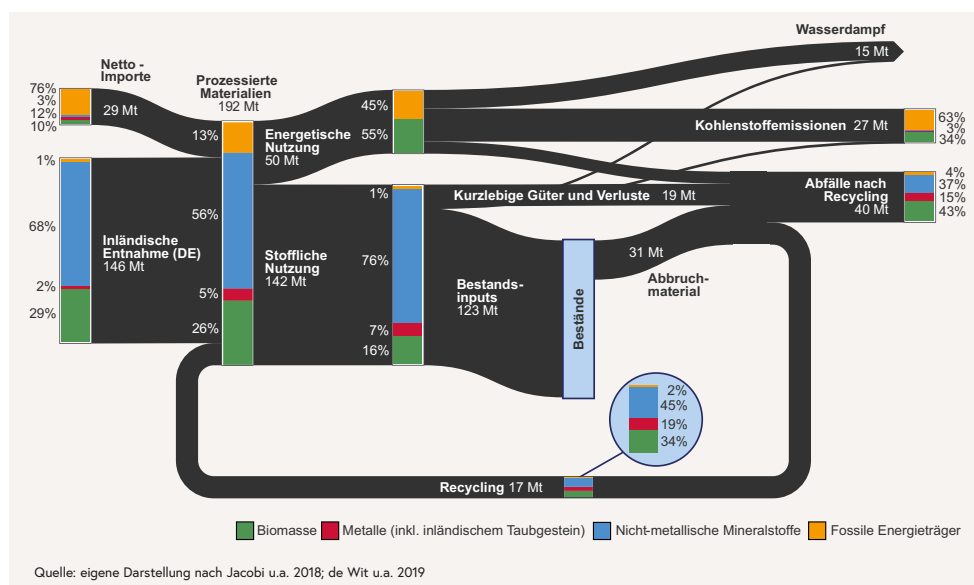


Abbildung 33: SEC-Sankey – die österreichische Kreislaufwirtschaft als Sankey-Diagramm erstellt vom Institut für Soziale Ökologie (SEC). Österreich 2014.



Die beiden Sankey-Diagramme präsentieren nicht dasselbe Jahr, dennoch ist der Materialverbrauch in beiden Jahren relativ ähnlich und daher durchaus vergleichbar. Im Jahr 2014 lag der DMC, berechnet von Statistik Austria, bei 157 Mt/a und im Jahr 2020 bei 159 Mt/a (Statistik Austria 2024). Die in der Abbildung angegebenen Zahlen unterscheiden sich leicht und sollten lediglich in Hinblick auf die Größenordnungen und die Verhältnisse der Flüsse zueinander diskutiert werden. Im Folgenden werden die einzelnen Knotenpunkte und relevanten Flüsse im Sankey-Diagramm kurz vorgestellt (Nuss u. a. 2017; Details siehe: Jacobi u. a. 2018; Mayer u. a. 2018; Statistik Austria 2023e), um Unterschiede und Auswirkungen auf die Zirkularitätsindikatoren zu diskutieren. Die

folgende Diskussion ist ein erster Schritt, der als Anregung für eine vertiefende Diskussion zu betrachten ist.

- **Inputflüsse:** Die Inputs nach Österreich sind zum einen die DE und andererseits die Importe aus anderen Wirtschaftsräumen. Analog zu den Importen werden im STAT-Sankey auf der Outputseite auch die Exporte dargestellt. Im SEC-Sankey sind die Importe und Exporte als Netto-Importe (berechnet als PTB = Importe minus Exporte) berücksichtigt und auf der Inputseite dargestellt. Die Importe im STAT-Sankey sind daher größer als die Netto-Importe. Das SEC-Sankey zeigt keine Exportflüsse.
- **Materialeinsatz und verarbeitetes Material:** DE und Importe ergeben den direkten Materialeinsatz (direct material input, DMI), den ersten Knotenpunkt im STAT-Sankey. Im SEC-Sankey entspricht dieser Knotenpunkt (stoffliche Nutzung in Abbildung 33) dem DMC, weil hier die Exporte schon abgezogen sind. Im nächsten Schritt werden dann die Sekundärinputs aus dem Recycling hinzugerechnet und ergeben den Knotenpunkt „verarbeitetes Material“ (STAT-Sankey) oder „prozessiertes Material“ (PM) (SEC-Sankey). Im SEC-Sankey kann der PM als Äquivalent zum DMC verstanden und ebenso wie der DMC doppelzählungsfrei über Länder hinweg addiert werden.
- **Materielle und energetische Nutzung:** Die verarbeiteten Materialien werden nun nach energetischer Nutzung (fossile Energieträger und Biomasse) und stofflicher/materieller Nutzung (alle Materialien, aber vor allem nichtmetallische Mineralstoffe, Metalle, Biomasse) aufgeteilt. Die Größenordnung der Flüsse ist in beiden Sankey-Diagrammen annähernd gleich.
- **Energetische Nutzung und Emissionen:** Durch die energetische Nutzung in Verbrennungsprozessen werden Materialien in Emissionen umgewandelt. Zusätzlich entstehen CO₂-Emissionen auch in Produktionsprozessen, z. B. der Zementproduktion oder Stahlproduktion. Die CO₂-Emissionen können in der MFA als Kohlenstoffemissionen oder als CO₂-Emissionen, also inkl. Sauerstoff, dargestellt werden. Das SEC-Sankey wählt die Darstellung als C-Emissionen. Die Eurostat-Konvention erfordert die Berücksichtigung der Emissionen inkl. Sauerstoff (Eurostat 2018) übereinstimmend mit der IPCC-Berichterstattung. Der Sauerstoff, der im Verbrennungsprozess mit Kohlenstoff zu CO₂ gebunden wird, wird nach Eurostat-Konvention als Input-Bilanzierungsposten berichtet (Eurostat 2018; Statistik Austria 2024). In der Darstellung des STAT-Sankey werden die Luftemissionen mit den Netto-Bilanzierungsposten (Sauerstoff, Wasserdampf und weitere Bilanzierungsposten; siehe Eurostat 2018) verrechnet, das STAT-Sankey zeigt daher im Sinne der Erfüllung der Massenbilanz die CO₂-Emissionen exkl. des Sauerstoffs (O).
- **Materielle/stoffliche Nutzung und Bestände:** Der Großteil der stofflich genutzten Materialien wird für den Aufbau und die Erhaltung von Beständen (Gebäude, Straßen, Infrastrukturen) verwendet. Im STAT-Sankey werden diese Flüsse als „Materialanhäufung“ dargestellt, welche den Netto-Bestandszuwachs abbilden

(net additions to stocks, NAS; Eurostat 2018). Die Outputs aus den Beständen (im Wesentlichen das Abbruchmaterial, demolition waste) werden schon vorher abgezogen und sind Teil der Abfallflüsse. Im SEC-Sankey sind die Inputs in die Bestände wie auch die Outputs aus den Beständen explizit dargestellt. Die Abbruchmaterialien fließen dann als Output aus den Beständen in die Abfallbehandlung. Neben den Materialien, die in Beständen akkumuliert werden, gibt es auch Materialien der stofflichen Nutzung, die bereits innerhalb eines Jahres zu Outputs werden. Diese Flüsse werden im SEC-Sankey als kurzlebige Güter und Verluste bezeichnet und umfassen die dissipative Nutzung von Produkten (z. B. Dünger oder Salz, siehe Kapitel „Alle materiellen Inputs werden zu Outputs – Abfälle und Emissionen“), dissipative Verluste (Abrieb, Verluste und Versickerungen, etc.; siehe Kapitel „Alle materiellen Inputs werden zu Outputs – Abfälle und Emissionen“) sowie sonstige kurzlebige Güter mit einer Lebensdauer von unter einem Jahr (z. B. Hygieneartikel, Kosmetika, Medikamente, bestimmte Textilien, Papierwaren, Verpackungsmaterial) oder auch Nahrungsmittelverluste (food waste). Im SEC-Sankey kommen zu diesen Abfällen aus kurzlebigen Gütern dann noch die Abbruchmaterialien aus dem Bestandsabbau hinzu, sowie Reststoffe aus der Verbrennung (Aschen) und aus Kläranlagen (Schlämme). Ein guter Teil dieser Abfälle wird in Verbrennungsanlagen zu Emissionen umgewandelt (Fluss von den Abfällen zu den Emissionen im STAT-Sankey). Der Rest wird deponiert oder recycelt. Im STAT-Sankey sind die Abfälle (Abbruchmaterial, kurzlebige Güter, Aschen, Schlämme) deutlich kleiner als jene im SEC-Sankey. Der Unterschied liegt vor allem in den Abbruchmaterialien, die im STAT-Sankey 10 Mt/a betragen (basierend auf der Abfallstatistik; BMK 2023), im SEC-Sankey jedoch 30 Mt/a (basierend auf einer massenbilanzierten Stock-Flow-Modellierung; Jacobi u. a. 2018; de Wit u. a. 2019).

- **Deponierung und Recycling:** Aus den – sehr unterschiedlichen – Abfallmengen in den beiden Sankey-Diagrammen fließen die rezyklierten Materialien (vor allem demolition waste) zurück in die gesellschaftliche Verwendung. In beiden Sankey-Diagrammen liegen die jährlichen Recyclingflüsse bei knapp 20 Mt/a. Im STAT-Sankey reduzieren sich die deutlich geringeren Abfallmengen nach Abzug der rezyklierten Flüsse auf nahezu null, womit der Input in die Deponien bei knapp 4 Mt/a liegt. Im SEC-Sankey bleibt eine nicht unbeträchtliche Menge an Abfällen übrig, die in Deponien oder anderen Lagerstätten gelagert werden; gut die Hälfte dieser Materialien sind Abbruchmaterial. Der Unterschied bei den Abbruchmaterialien spiegelt die unterschiedlichen Methoden in der Datenerhebung wider: Im STAT-Sankey ist ein Accounting-Ansatz gewählt, die Daten der Abbruchmaterialien stammen aus der Abfallstatistik. Die Daten des SEC-Sankey sind mit einem systemdynamischen Stock-Flow-Modell berechnet, basierend auf räumlich expliziten Informationen zu Materialbeständen und deren Ressourceniputs und -outputs über die Lebensdauer der Bestände hinweg.

Wo verstecken sich Datenunsicherheiten in einem Sankey-Diagramm?

Die verschiedenen Flussmengen, die im Sankey-Diagramm dargestellt werden, haben ganz unterschiedliche Datenqualität bzw. sind entweder datenbasiert oder modelliert. Die Inputs (DE und Importe) sind datenbasiert und fix gesetzt; ebenso die Exporte und die IPCC-relevanten Luftemissionen. Die Abfalldaten sind ebenso datenbasiert, sind jedoch mit anderer Zielsetzung entwickelt (Fokus auf das Abfallmanagement entlang der verschiedenen Bearbeitungsstufen) und unterscheiden sich daher teilweise in Bezug auf Wassergehalte, Erfassungsgrad, Systemgrenzen etc. Für eine korrekte Massenbilanz unter Berücksichtigung der Bestandsveränderungen muss daher die Konsistenz zwischen Inputs und Outputs sorgsam geprüft werden (siehe auch Statement 12). Unterschiede bzw. Unsicherheiten in der Datengrundlage bestehen vor allem bei:

- der Berücksichtigung von Sauerstoff in den Emissionen,
- der Konsistenz der Inputs und Outputs mit den materiellen Beständen, zum Beispiel bei den Abbruchmaterialien,
- dem Bodenaushub, der in der Abfallstatistik berichtet wird, inputseitig jedoch oft nicht als Entnahme berücksichtigt ist,
- den Abfällen in der landwirtschaftlichen Produktion,
- und bei vielen kleineren Flüssen, wie zum Beispiel: Kompost (oft auf der Outputseite erfasst, aber nicht auf der Inputseite bzw. mit unterschiedlichem Wassergehalt), Wasserdampf, Reststoffe aus Kläranlagen, dissipative Nutzung und Verluste, Nahrungsmittelabfälle (food waste) etc.

Diese kurze Analyse der Unterschiede in Sankey-Diagrammen zeigt die komplexen Anforderungen an die Datengrundlage im Hintergrund. Ohne eine Massenbilanz, die idealerweise auch die realen Bestandszuwächse und -reduktionen abbilden kann, sind Fehler unvermeidbar. Solche Fehler verschieben sich dann in jene Kategorien, in denen die Datengrundlage tendenziell unzureichend ist. Das sind insbesondere die Bestandsveränderungen, das Abbruchmaterial aus Beständen, aber auch kleinere Flüsse wie Kompost, Aschen/Schlacken oder Nahrungsmittelabfälle. Wichtigster Baustein ist eine massenbilanzierte Berücksichtigung der Bestände. Ohne Bestandserfassung ist eine konsistente Erfassung der Inputs und Outputs erforderlich. Je besser die inputseitigen Daten der MFA mit den Abfallmengen aus der Abfallstatistik zusammenpassen, d. h. denselben Systemgrenzen folgen und keine Doppelzählungen aufweisen, desto kleiner wird der Fehler.

Abschließend sei darauf hingewiesen, dass unterschiedliche methodische Ansätze nicht unerhebliche Auswirkungen auf die Aussagekraft und die Analyse der Optionen für eine Kreislaufwirtschaft haben. Im STAT-Sankey zum Beispiel sind die Abfallmengen, die auf Deponien gehen, im Vergleich zum SEC-Sankey sehr klein. Folglich zeigt sich unterschiedliches Recycling-Potential. Auch die unterschiedliche Berücksichtigung der Exporte als absolute Flüsse oder als Teil der Netto-Importe hat Auswirkungen auf die

Zirkularitätsrate. So sind im STAT-Sankey Exporte im verarbeiteten Material inkludiert und daher deutlich größer als im SEC-Sankey, in dem die Exporte vor dem Knotenpunkt „materials processed“ abgezogen wurden. Die Daten des STAT-Sankey liefern daher eine CMU von 9,8 %, jene des SEC-Sankey dagegen 12 %.

Österreich auf dem Weg in die Kreislaufwirtschaft – der Fortschritt bei den vier Hauptzielen

Die Hauptziele der österreichischen Kreislaufwirtschaftsstrategie beruhen auf den Daten und Ergebnissen der MFA wie schon in den vorangegangenen Kapiteln dargestellt. An dieser Stelle werden jene MFA-Ergebnisse, die in der Kreislaufwirtschaftsstrategie als Indikatoren angesprochen sind, nochmals in Bezug zu den KW-Zielen zusammengefasst (siehe auch Abbildung 34).

Ziel 1: Reduktion des inländischen Materialverbrauchs (DMC) auf 14 t/cap/a im Jahr 2030 und Reduktion des Material-Fußabdrucks (MF) auf 7 t/cap/a im Jahr 2050

Der DMC war zwischen 2015 und 2021 konstant bei 18 t/cap/a, erst für das Jahr 2022 ist eine Reduktion auf 17 t/cap/a zu beobachten (Abbildung 34). Bis 2030 soll der DMC auf 14 t/cap/a gesenkt werden, das sind -18 % oder -2,2 % pro Jahr.

Der MF lag 2015 bei 23 t/cap/a, in den folgenden Jahren leicht höher bei 24 t/cap/a und reduzierte sich 2020 auf 22 t/cap/a. Um 7 t/cap/a im Jahr 2050 zu erreichen, braucht es eine Reduktion um 70 % oder 2,3 % pro Jahr. Diese Zielgröße ist sehr ambitioniert, im nächsten Kapitel werden mögliche Zukunftspfade vorgestellt und diskutiert.

Ziel 2: Steigerung der Ressourcenproduktivität (RP) um 50 % bis 2030, Basisjahr 2015

Die Ressourcenproduktivität bezieht sich in der KW-Strategie auf den DMC und errechnet sich als $RP = BIP/DMC$. 2015 lag die RP bei 2.266 Euro/t, mit einer Steigerung um 50 % soll die RP im Jahr 2030 bei rund 3.400 Euro/t liegen. Zwischen 2015 und 2021 lag die RP relativ konstant zwischen 2.266 und 2.355 Euro/t, sank in den Jahren 2020 und 2021 auf 2.184 bzw. 2.198 Euro/t und stieg im Jahr 2022 deutlich (12 %) auf 2.464 Euro/t (Abbildung 34). Bis zum Zielwert ist ein weiterer Anstieg um 38 % oder knapp 5 % pro Jahr erforderlich.

Ziel 3: Steigerung der Zirkularitätsrate (CMU) auf 18 % im Jahr 2030

Die Zirkularitätsrate (circular material use rate, CMU; Eurostat 2024c) errechnet sich laut Eurostat-Definition als Anteil von Recycling und Verfüllung an der Summe aus DMC, Recycling und Verfüllung. In 2015 beträgt die CMU 11,2 %, bis 2022 steigt sie auf 13,8 % an (Abbildung 34). Bis zum Zielwert von 18 % in 2030 ist eine weitere Steigerung um 30 % notwendig, das wären knapp 4 % pro Jahr.

Ziel 4: Reduktion des materiellen Konsums in privaten Haushalten um 10 % bis 2030, Basisjahr 2020

Das vierte Ziel adressiert den Haushaltskonsum. Da bis jetzt keine Daten zum Haushaltskonsum zur Verfügung stehen, wird das Aufkommen an Siedlungsabfällen als Annäherung herangezogen. Das Aufkommen an Siedlungsabfällen lag 2020 und 2021 bei 834 bzw. 835 kg/cap/a (BMK 2024). Mit einer Reduktion um 10% ist der Zielwert für 2030 bei 750 kg/cap/a. Die Reduktion um 10 % bedeutet eine jährliche Veränderung von -0,3%.

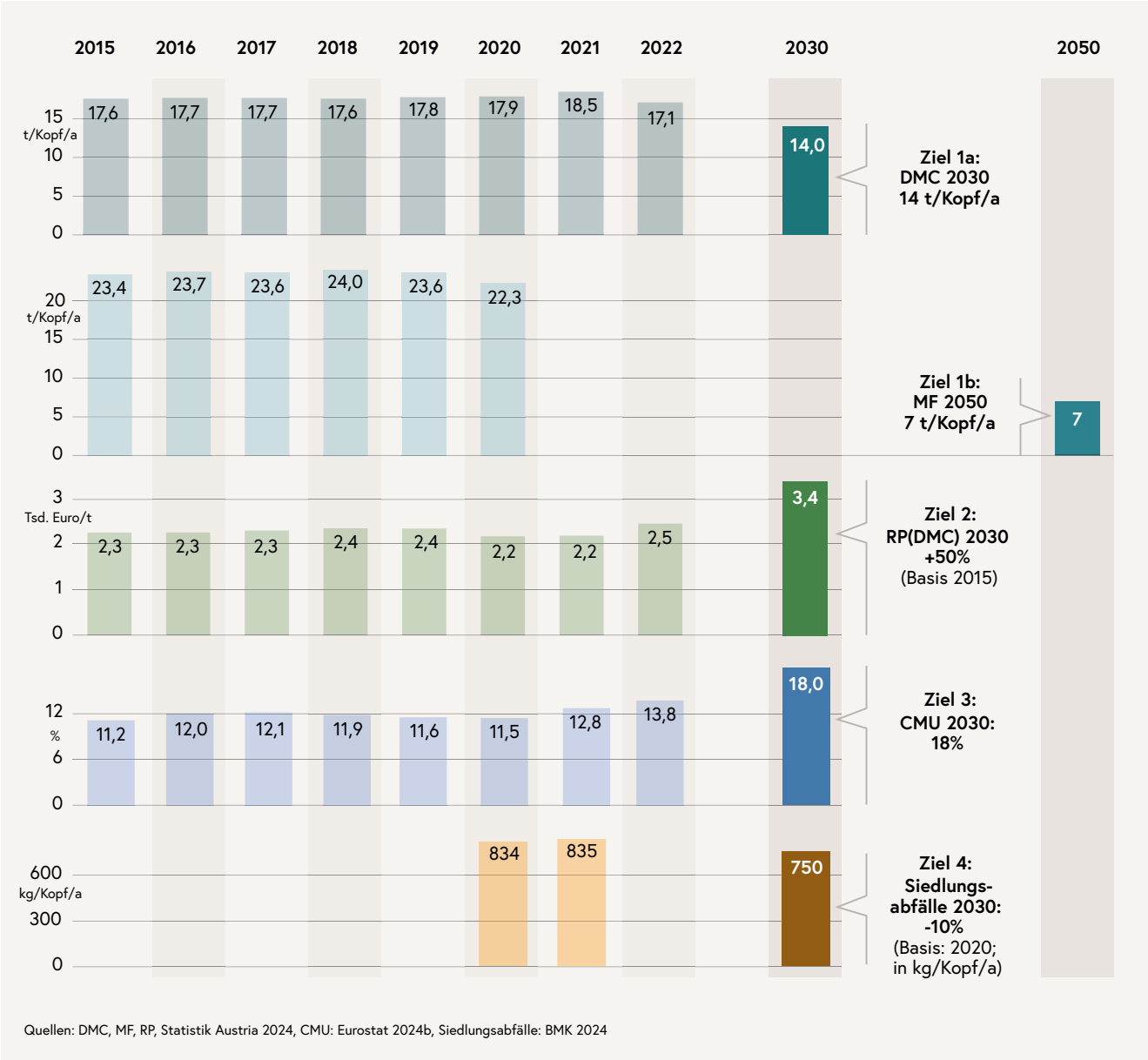


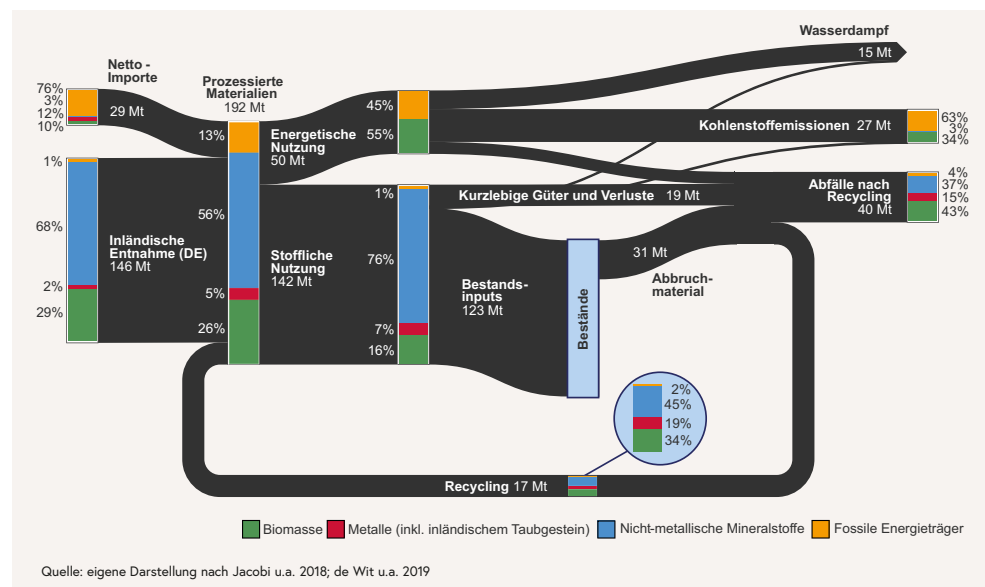
Abbildung 34: Ziele der Kreislaufwirtschaftsstrategie und aktuelle Entwicklungen.

Dekarbonisierung und Kreislaufwirtschaft – Szenarien einer möglichen Zukunft. Österreich bis 2040

Dieser Abschnitt basiert auf den empirischen Arbeiten des Forschungsprojekts „Kreislaufwirtschaft und Dekarbonisierung: Synergien und Trade-Offs (ACeDC)“ (Haas u. a. 2024), gefördert durch den Klima- und Energiefonds¹⁷ im Rahmen des Austrian Climate Research Programme (ACRP). In diesem Projekt wird untersucht, wie Dekarbonisierung, also der schrittweise Ausstieg aus der Nutzung fossiler Energieträger, und Kreislaufwirtschaftsstrategien zusammenwirken. Drei Handlungsfelder stehen in diesem Projekt im Fokus: die Energieversorgung, der Verkehr und der Gebäudesektor. Das Projekt untersucht, wie verschiedene Szenarien zum Umbau des Strom-, Verkehrs-, und Gebäudesektors bis 2040 gegenüber den Kreislaufwirtschaftszielen und dem Klimaneutralitätsziel der österreichischen Regierung abschneiden. Damit sollen Synergien und Trade-Offs verschiedener Dekarbonisierungs- und Kreislaufwirtschaftsstrategien besser verstanden werden.

Die Materialverwendung in Österreich nach Größe und Verteilung lässt sich gut mit einem Sankey-Diagramm (siehe Abbildung 35) darstellen. Die Materialinputs (in der Darstellung links) können aus drei Quellen bezogen werden: inländische Entnahme, Importe oder Sekundärrohstoffe aus Recycling. Die Summe dieser Inputflüsse sind die prozessierten Materialien (processed materials, PM). Der gewichtsmäßig größte Teil der PM wird aus der inländischen Extraktion bezogen, darin enthalten sind vor allem die nichtmetallischen Mineralstoffe gefolgt von Importen. Den kleinsten Materialfluss auf der Inputseite stellen Sekundärrohstoffe aus dem Recycling dar.

Abbildung 35: Die österreichische Kreislaufwirtschaft 2014 als Sankey-Diagramm.



¹⁷ forschung.boku.ac.at/fis/suchen.projekt_uebersicht?sprache_in=de&menue_id_in=300&id_in=13725

Die Materialinputs werden entweder direkt verbraucht und innerhalb eines Jahres zu Abfällen und Emissionen umgewandelt oder fließen in den Aufbau von gesellschaftlichen Beständen und verbleiben über einen längeren Zeitraum in gesellschaftlicher Nutzung. Der direkte Verbrauch umfasst zum einen die energetische Nutzung (sowohl metabolisch als auch in Form von Verbrennung für Wärmegewinnung und Stromproduktion) und zum anderen kurzlebige Produkte wie Verpackungen, Zeitungen, Putzmittel, Sonnencremen etc. Materialbestände werden durch materielle Akkumulation vergrößert, jedoch aufgrund des Erreichens von produktspezifischen Lebenszeiten (End-of-Life, EoL) sowie der verfrühten Entfernung zeitgleich auch verkleinert. Entlang all dieser Flüsse und Verwendungen werden Materialmengen freigesetzt, die wiederverwertet und in die Wertschöpfungskette rückgeführt werden können oder letztendlich auf die Deponie oder direkt in die Natur gelangen.

Materialrückführung und nachfrageseitige Strategien wirken sich ganz unterschiedlich auf die verschiedenen Kreislaufraten aus. Die Kreislaufrate auf der Inputseite errechnet sich aus dem Verhältnis von rückgeführtem Material (reuse, recycling und backfilling) zu den PM. Die Kreislaufrate kann einerseits durch die Erhöhung des rückgeführten Materials verbessert werden, oder andererseits durch Suffizienzmaßnahmen, die eine Verringerung des prozessierten Materials erwirken.

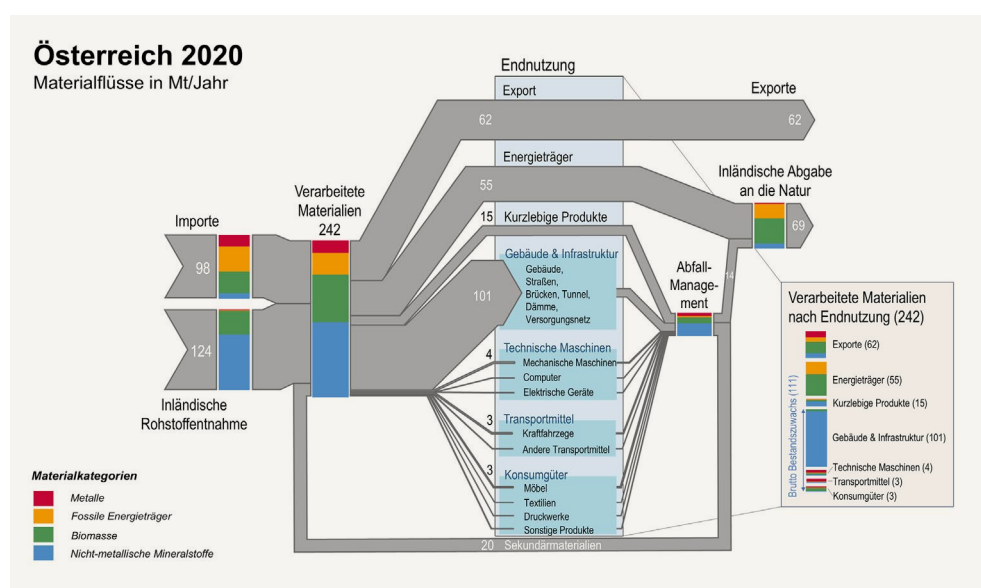
Die Kreislaufwirtschaft in Österreich für das Jahr 2018 ist als Sankey-Flussdiagramm in Abbildung 35 dargestellt. Insgesamt wurden 192 Millionen Tonnen Material prozessiert und gesellschaftlich genutzt. Davon stammen 17 Millionen Tonnen aus Recycling. Folgende Zirkularitätsraten ergeben sich daraus:

- Die inputseitige Zirkularitätsrate, das ist der Anteil von reuse, recycling und backfilling an den PM, lag bei 9 %.
- Die output-seitige Zirkularitätsrate, gemessen als Anteil des reuse, recycling und backfilling am anfallenden Abfall, lag bei 30 %.

Der Materialverbrauch ist eng an den Energieverbrauch gekoppelt. Energie wird eingesetzt, um Material zu extrahieren, zu transportieren, zu verarbeiten und um Bestände aufzubauen, instand zu halten oder um diese zu verwenden. Wenn die Zahl motorisierter Fahrzeuge größer wird, dann benötigen diese in der Nutzungsphase Energie und müssen regelmäßig repariert werden. Weiters brauchen Autos Infrastrukturen wie Straßen oder Abstellflächen. Mineralische Rohstoffe sind für den Aufbau von Beständen wie Mobilitätsinfrastrukturen und auch Gebäuden von zentraler Bedeutung. Durch die Produktionstechnologie sowie die teilweise sehr großen Mengen, die bewegt und verarbeitet werden, ist die Verarbeitung von mineralischen Rohstoffen durch einen hohen Energieverbrauch und somit auch hohe Emissionen charakterisiert. Gleichzeitig brauchen Gesellschaften für die Energiewende zahlreiche neue Rohstoffe und neue Infrastrukturen. Durch materialeffizientere Gebäude und Infrastrukturen und durch mehr Suffizienz in unseren Konsummustern (d.h. reduzierte Nachfrage) könnten daher unser Energiebedarf und folglich die notwendige Energieinfrastruktur und der damit verbundene Rohstoffbedarf reduziert werden.

Um die aggregierten Ergebnisse der MFA für Handlungsempfehlungen besser nutzbar zu machen, braucht es eine detailliertere Sicht auf die tatsächliche Verwendung der Materialien. Wo und wofür werden die Materialien verwendet? Welche gesellschaftlichen Aktivitäten sind besonders materialintensiv und müssen genauer unter die Lupe genommen werden, damit wir tatsächlich Ressourcenschonung erreichen? Am Institut für Soziale Ökologie der Universität für Bodenkultur wurde in den letzten Jahren ein dynamisches Stock-Flow-Modell (Wiedenhofer u. a. 2019) entwickelt, mit dessen Hilfe die Materialverwendung in Österreich für das Jahr 2020 auf Endnutzungskategorien aufgeteilt werden konnte. In Abbildung 36 ist zu sehen, dass 26 % der in Österreich prozessierten Materialien Österreich als Exporte wieder verlassen, 23 % zur Energiebereitstellung verbraucht werden, während 6 % als kurzlebige Konsumgüter genutzt und im selben Jahr zu Abfällen werden. Die große Masse, 46 % aller prozessierten Materialien (PM), akkumulieren in gesellschaftlichen Beständen, wo sie für mehrere Jahre oder Jahrzehnte gebunden sind. Eben diese Bestandsmaterialien sind für die zukünftige Ressourcennutzung und deren Kreislauffähigkeit von entscheidender Bedeutung, weil sie für die Dauer der Nutzungsphase nicht für eine Kreislaufführung zur Verfügung stehen und weil die Bestände zukünftige Flüsse für Erhaltung, Sanierung und Betrieb verursachen (siehe auch Kapitel „Biophysische Bestände bestimmen Ressourcenflüsse (stock-flow-service nexus)“). Daher nochmals ein genauerer Blick auf diese Bestände: Die größte Kategorie stellt die gebaute Infrastruktur dar. Dazu zählen Gebäude, Straßen, sonstige Verkehrsinfrastruktur (Brücken, Tunnel, Parkplätze und die Infrastruktur für den öffentlichen Verkehr wie z. B. Schienen des Bahnwesens etc.), aber auch Energieinfrastruktur, Kanalisation und Dämme. Etwa 91 % der Materialien, die insgesamt in Aufbau und Erhaltung der Bestände fließen, oder 42 % der gesamten prozessierten Materialien (PM) sind dieser Kategorie zuzuordnen. Die weiteren Bestandskategorien sind Transportfahrzeuge und nichttechnische Produkte (z. B. Möbel, Textilien, Druckwerke) mit einem Anteil am PM von je 3 % sowie technische Geräte mit einem PM-Anteil von 2 %.

Abbildung 36: Gesellschaftliche Verwendung der in Österreich prozessierten Materialien (PM); ein detailliertes Sankey-Diagramm. Österreich, 2020.



Österreich im Jahr 2040 – wie verändern Dekarbonisierung und Kreislaufwirtschaftsmaßnahmen den Ressourcenverbrauch?

Österreich soll nach dem Regierungsübereinkommen bis 2040 dekarbonisiert werden. Im Sinne einer Kreislaufwirtschaft bedeutet dies, dass ein Phase-out fossiler Energieträger stattfinden muss. Das reduziert den Materialverbrauch, erfordert jedoch gleichzeitig einen Umbau verschiedenster Sektoren. Im vorliegenden Projekt wurde ein solcher Umbau für den Gebäude-, Verkehrs- und Stromsektor modelliert.

In verschiedenen Szenarien wurden Maßnahmen entlang der drei Strategieguppen Verringern (Narrowing), Verlangsamen (Slowing) und Schließen (Closing) in unterschiedlichem Ausmaß umgesetzt, um die massenbilanzierten Effekte für alle drei Sektoren abzubilden. Folgende Annahmen wurden in den Szenarien gewählt:

1. Baseline-Szenario, in dem alle derzeitigen Maßnahmen fortgeführt und keine weiteren hinzugefügt werden (dunkle Balken in Abbildung 37),
2. reine Dekarbonisierung,
3. Dekarbonisierung in Kombination mit der Umsetzung bestehender, moderater Kreislaufwirtschaftsmaßnahmen,
4. Dekarbonisierung in Kombination mit weiteren, ambitionierten Kreislaufwirtschaftsmaßnahmen basierend auf Suffizienz und Konsumreduktion.

Jedes dieser vier Szenarien wird weiters für zwei verschiedene wirtschaftliche Projektionen gerechnet. Der ersten Projektion (in Abbildung 37 orange) liegt die Annahme zugrunde, dass die Wirtschaft sich nach der COVID-Pandemie relativ schnell erholt und den Entwicklungspfad, der vor der Pandemie bestanden hat, fortsetzt. In der zweiten Projektion (in Abbildung 37 blau) findet eine Erholung vom wirtschaftlichen Schock deutlich langsamer statt und das Wirtschaftswachstum bleibt nach der Pandemie bei 0%. Die folgende Tabelle zeigt die angewandten Maßnahmen in den drei Strategieguppen (Tabelle 2).

Tabelle 2: Gruppierung modellierter Maßnahmen nach den drei Strategiegruppen.

Strategiegruppe	Sektor	Dekarbonisierung	Dekarbonisierung und moderate KW	Dekarbonisierung und ambitionierte KW
Verringern (Narrowing)	Gebäude-sektor	• Dämmung von Gebäuden Verdopplung der Renovierungsrate bis 2030) • Austausch fossiler durch erneuerbare Heizungssysteme bis 2040	• Dämmung von Gebäuden (Verdopplung der Renovierungsrate bis 2030) • Austausch fossiler durch erneuerbare Heizungssysteme bis 2040 • Reduktion der Pro-Kopf-Fläche im Neubau um 25 % bis 2025	• Dämmung von Gebäuden (Verdopplung der Renovierungsrate bis 2030) • Austausch fossiler durch erneuerbare Heizungssysteme bis 2040 • Kein Neubau auf unbebautem Land • Neubau von abgerissenem Bestand zu 50 % mit Holzhäusern bis 2040
	Verkehrs-sektor	• Elektrifizierung Fahrzeuge (Personen- und Güterverkehr) bis 2040 • Geringe Verlagerung der Personenkilometer von der Straße auf die Schiene und aktive Mobilität (10%) und der Tonnenkilometer von der Straße auf die Schiene (10 %).	• Elektrifizierung Fahrzeuge (Personen- und Güterverkehr) bis 2040 • Moderate Verlagerung der Personenkilometer von der Straße auf die Schiene und aktive Mobilität (20%) und der Tonnenkilometer von der Straße auf die Schiene (20%). • Weniger Personen¹⁸ (-15%) und Tonnenkilometer (-25%)	• Elektrifizierung Fahrzeuge (Personen- und Güterverkehr) bis 2040 • Starke Verlagerung der Personenkilometer von der Straße auf die Schiene und aktive Mobilität (50%) und der Tonnenkilometer von der Straße auf die Schiene (40%). • Deutlich weniger Personena-(-30%) und Tonnenkilometer (-50%) • Verdoppelung des Besetzungsgrades (Car-Sharing) bis 2040 • Keine neuen Straßen nach 2030
	Strom-sektor	Umbau des Stromsektors auf erneuerbare Energie	Umbau für leicht reduzierten Strombedarf	Umbau für stark reduzierten Strombedarf
Verlangsamen (Slowing)	Gebäude-sektor	-	-	25% weniger Abriss von Gebäuden durch Lebenszeitenverlängerung
Schließen (Closing)	-	Aktuelle Recyclingraten fortgeschrieben	Recyclingraten basierend auf EU-Zielen	Über EU-Ziele hinausgehende Recyclingraten

¹⁸ Reduktion wurden nur für nicht aktive (das sind Mobilitätsformen exkl. Zufußgehen und Fahrradfahren) Personenkilometer angenommen

Tabelle 2 zeigt, welche Netto-Effekte die drei Strategien für den Ressourcen- und Energieverbrauch sowie für Abfall und Emissionen im Vergleich zu einem Baseline-Szenario („Weiter-wie-bisher“) erreichen können.

Im Forschungsprojekt ACeDC (Haas u. a. 2024) wurde für das Jahr 2018 mit einem DMC von 165 Mt/a (oder 19 t/Kopf/a) gerechnet, die PM lag bei 186 Millionen Tonnen und die Input-Zirkularitätsrate bei 11%. Der Materialverbrauch in den drei Sektoren Gebäude, Verkehr und Strom belief sich mit 88 Millionen Tonnen auf etwa 47% der prozessierten Materialien (PM).

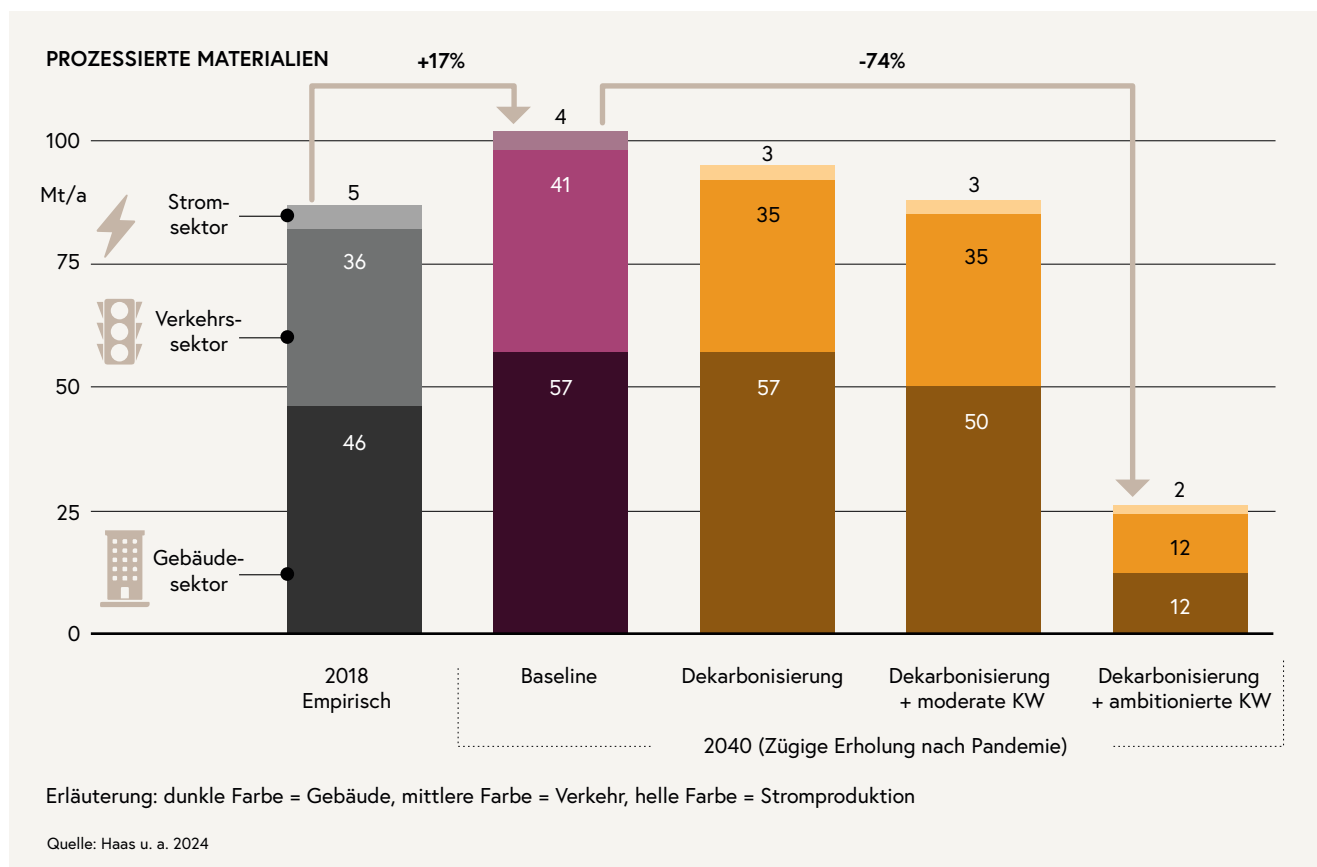


Abbildung 37 zeigt, wie sich die Umsetzung der Maßnahmen (siehe Tabelle 2) auf den österreichischen Materialverbrauch (als PM) auswirkt. Würde der jährliche Materialeinsatz für den Bestandsausbau sowie für die Instandhaltung der Bestände für die drei Sektoren (Gebäude, Verkehr und Stromproduktion) bis 2040 fortgeschrieben werden, so würden die PM Österreichs bei einer raschen Erholung der Wirtschaft bis 2040 um 10% zunehmen und von 186 auf 204 Millionen Tonnen pro Jahr ansteigen. Eine reine Dekarbonisierung der drei Sektoren reduziert die PM nur unwesentlich von 102 auf 95 Mt/a. Aber auch die aktuell besprochenen und konkret fixierten Maßnahmen, die einer Kreislaufwirtschaft zugerechnet werden können, führen zu einer weiteren, allerdings ebenfalls nur geringfügigen Reduktion der sektoralen PM auf 87 Mt/a im Jahr 2040.

Abbildung 37: Reduktion der prozessierten Materialien der Sektoren Gebäude, Verkehr und Stromproduktion im Jahr 2018 und 2040 für vier Szenarien.

Erst die Umsetzung ambitionierter Maßnahmen würde zu einer deutlichen Reduktion der sektoralen PM auf 26 Mt/a im Jahr 2040 (74 % weniger als im Baseline-Szenario) führen.

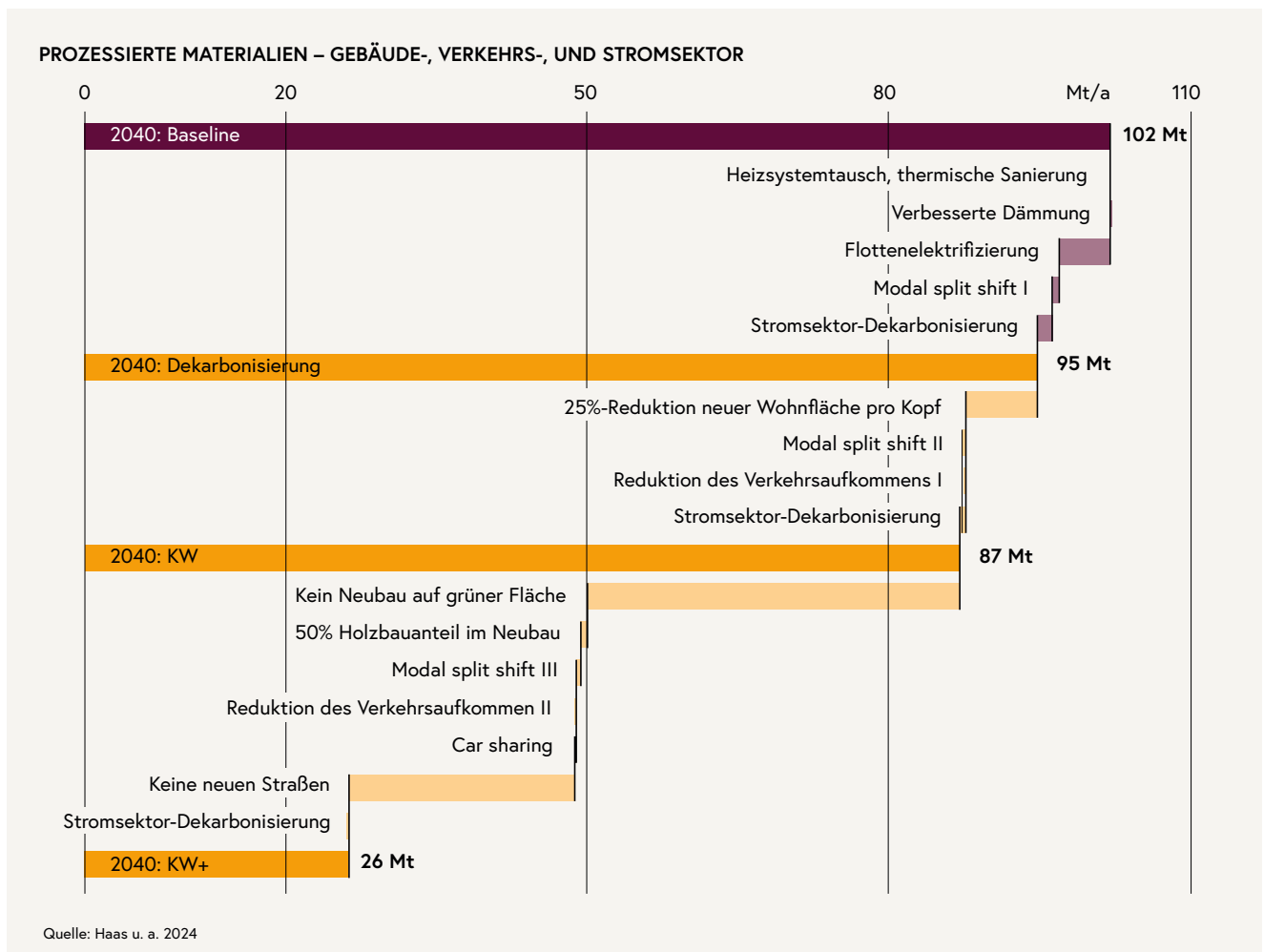
Die gesamtwirtschaftlichen PM im Jahr 2040 sinken von 204 Mt/a im Baseline-Szenario auf 128 Mt/a im tiefgreifendsten Szenario (Dekarbonisierung mit ambitionierten Kreislaufwirtschaftsmaßnahmen). Dies entspricht einer Reduktion der PM um 37 %. Unter der Annahme einer langsamen Erholung und eines darauffolgenden Nullwachstums der Wirtschaft würden die PM des Baseline-Szenarios im Jahr 2040 bei 161 Mt/a liegen, was einer Reduktion von 13 % gegenüber dem Jahr 2018 entspricht. Eine Dekarbonisierung in Verbindung mit ambitionierten Kreislaufwirtschaftsmaßnahmen würde zu einer Reduktion von 45 % gegenüber dem Baseline-Szenario auf 89 Mt/a 2040 führen.

Betrachtet man den Einfluss verschiedener Maßnahmen zur Dekarbonisierung bzw. zur Steigerung der Kreislaufwirtschaft im Jahr 2040 (Abbildung 38), so ist zu erkennen, dass zwar einige wenige Maßnahmen wie die thermische Sanierung zu einer kleinen Netto-Erhöhung des Gesamtmaterialverbrauchs führen, die meisten jedoch zu einer Reduktion.

Bei einer reinen Dekarbonisierung zeigen Verkleinerungsstrategien nur geringe Effekte. Im Gebäudesektor führt eine Dekarbonisierung des Heizens von Gebäuden, d.h. der Austausch fossiler Heizkessel durch Heizsysteme für erneuerbare Energien (z.B. Wärmepumpen, Pelletöfen) sowie eine thermische Sanierung, netto zu kaum einer Veränderung, da das notwendige Dämmmaterial, die neuen Heizungsanlagen, mehr Pellets und Holzschnitzel dem Wegfall von fossilen Energieträgern im Gebäudesektor entgegenwirken. Bei einer Erhöhung der Dämmstoffstärke würde eine thermische Sanierung jedoch zu einer geringfügigen Reduktion führen. Stärker bemerkbar macht sich der Wegfall fossiler Energieträger bei der Elektrifizierung der Fahrzeugflotte, bei einer leichten Verkehrsverlagerung von der Straße auf die Schiene (Modal-Split-Shift) sowie in der Stromproduktion.

Eine zusätzliche Anwendung von moderaten Kreislaufwirtschaftsmaßnahmen führt ebenso zu nur leichten Reduktionen im Materialverbrauch. Eine Reduktion der Pro-Kopf-Wohnfläche (hier um 25 % ab 2025) hat dabei die größte Wirkung, während ein stärkerer Modal-Split-Shift, d.h. eine Verlagerung des Verkehrs von der Straße auf die Schiene bzw. auf aktive Mobilität, sowie eine leichte Reduktion des Verkehrsaufkommens (beispielsweise aufgrund von zunehmendem Home-Office) materiell gesehen nur einen geringen Effekt haben.

Erst in Form von tiefgreifenderen Kreislaufwirtschaftsstrategien zeigen Verkleinerungsmaßnahmen eine deutliche Wirkung. So führen ambitionierte, suffizienzbasierte Maßnahmen wie ein Baustopp für Straßen und Gebäude auf unbebauter Fläche in Verbindung mit Verlangsamungsstrategien wie der Lebenszeitverlängerung von Gebäuden (dadurch reduziert sich der Abriss um 25 %) zu einer Reduktion von 37 Millionen Tonnen Material. Ein erhöhter Anteil des Holzbaus im Gebäudeneubau hat vergleichsweise wenig Wirkung auf den Gesamtmaterialverbrauch. Eine Verkleinerung im Verkehrsbereich erreicht durch den Stopp des Straßennetzausbaus (Instandhaltung findet weiterhin statt) eine Reduktion der PM um 23 Mt/a – großteils Asphalt, Sand und Schotter. Weitere Maßnahmen im Bereich der Verlangsamungsstrategien wie ein verstärkter Modal-Split-



Shift, eine verstärkte Reduktion des Verkehrsaufkommens und eine Verdopplung von Carsharing verändern den Materialverbrauch nur geringfügig.

Im Gebäude-, Verkehrs- und Stromsektor haben die modellierten Verlangsamungsstrategien in den meisten Fällen einen nur minimalen Effekt. Das liegt einerseits am kurzen Zeitraum von 2018 bis 2040, auf den die Szenarien angelegt wurden, und andererseits daran, dass bis 2040 alle Fahrzeuge, Heizungen und Stromerzeugungsanlagen durch solche ersetzt werden müssen, die mit erneuerbaren Energiequellen betrieben werden können. Die allermeisten dieser neuen Fahrzeuge und Anlagen haben damit eine reguläre Lebensdauer, die über 2040 hinausreicht. Verlangsamungsstrategien würden sich in diesen Sektoren nur bei einem deutlich längeren Szenariozeitraum zeigen. Lediglich die Verlängerung der Lebensdauer von bereits bestehenden Gebäuden, und damit ein reduzierter Abbruch, ist in diesem Zeitraum ergebnisrelevant.

Kreislaufschließungsstrategien in Form einer Erhöhung der Recyclingraten bilden sich in den PM nicht ab, da diese die Summe aus primären und sekundären Rohstoffen darstellen und Recycling lediglich primäre durch sekundäre Rohstoffe ersetzt. Damit reduziert Recycling jedoch die Menge der benötigten Primärrohstoffe.

Abbildung 38: Einfluss von Maßnahmen auf den Ressourcenverbrauch Österreichs im Jahr 2040 für die Szenarien Baseline, Dekarbonisierung, Dekarbonisierung und moderate Kreislaufwirtschaft (KW), Dekarbonisierung und ambitionierte Kreislaufwirtschaft (KW+).

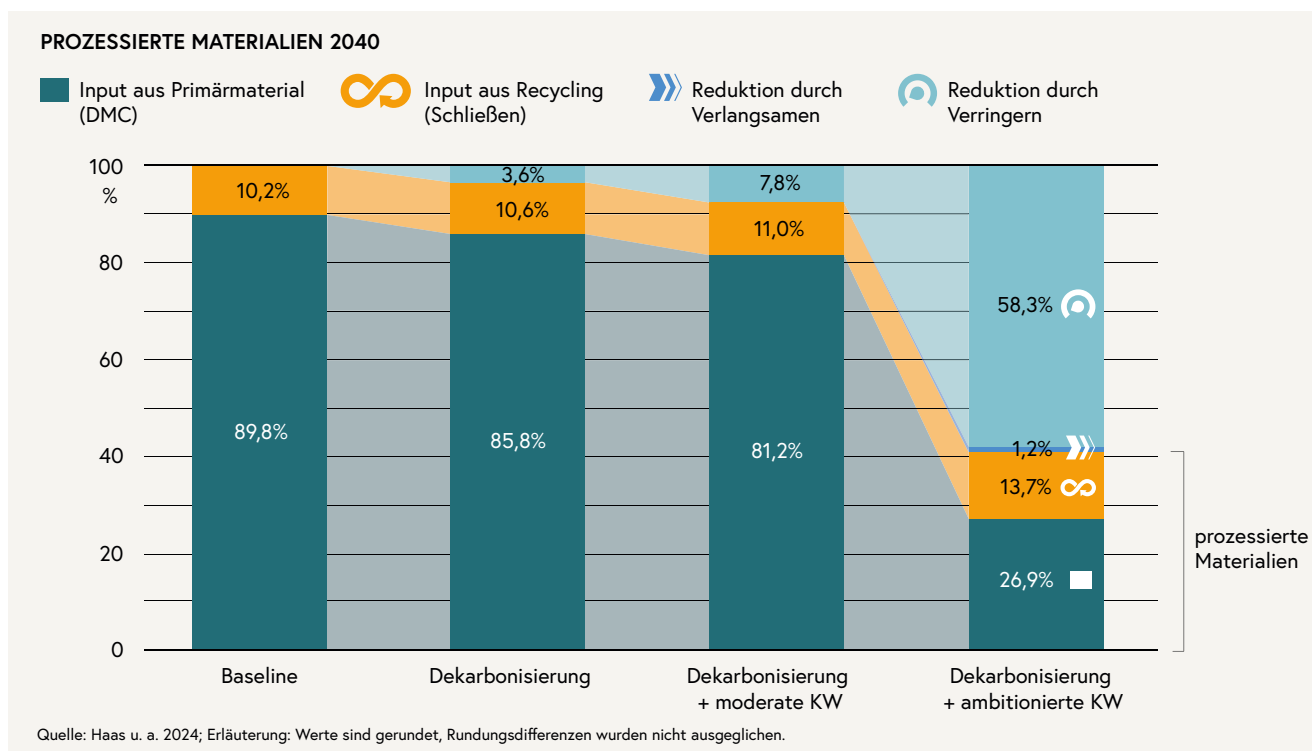
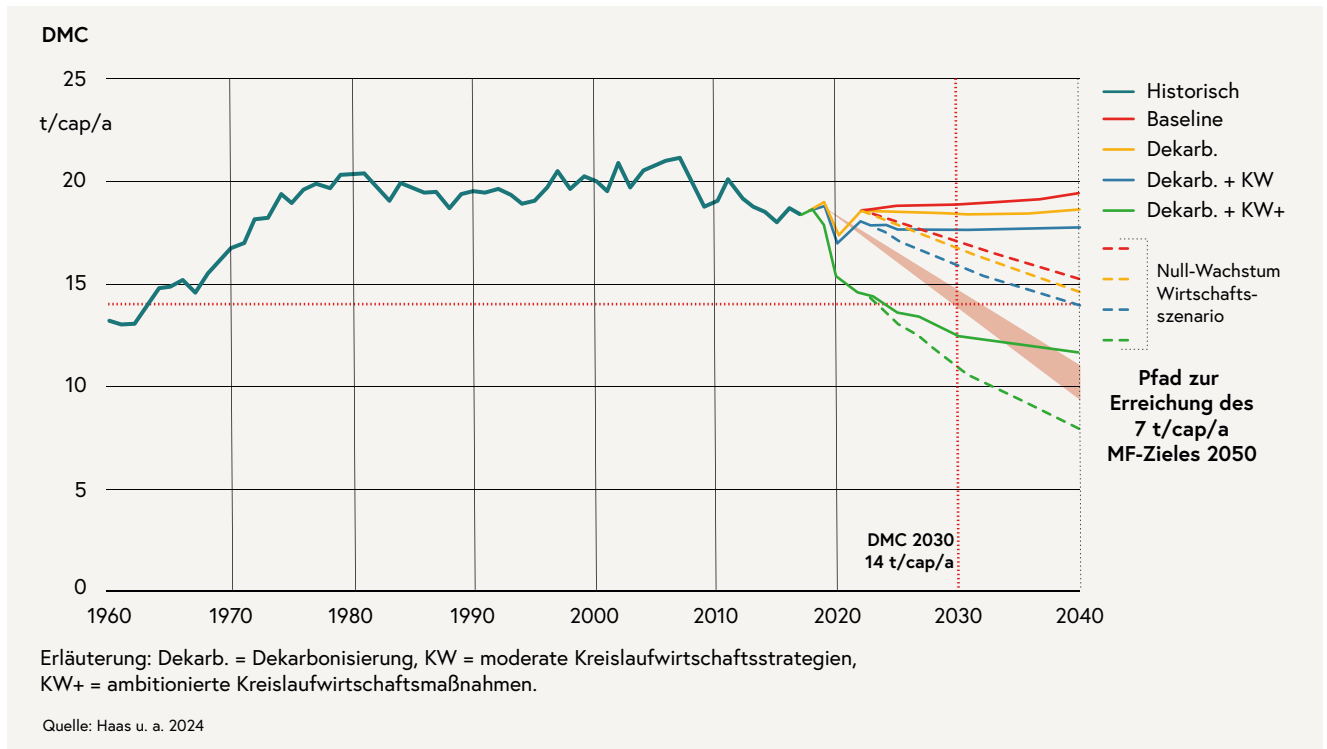


Abbildung 39: Prozentuale Reduktionen der prozessierten Materialien des Gebäude-, Verkehrs- und Stromsektors, aufgeteilt nach den drei Strategiegruppen Verringern, Verlangsamung und Schließen.

Nachhaltige Ressourcennutzung wird einerseits durch eine Reduktion des absoluten Verbrauchs an Tonnen primärer Materialien erreicht, andererseits aber auch durch eine geänderte Zusammensetzung des Materials. Dabei geht es sowohl um den Einsatz erneuerbarer Ressourcen, unter Berücksichtigung der engen Grenzen der ökologischen Regenerationsraten, als auch um toxische oder kritische Materialien. Gewisse Maßnahmen, wie beispielsweise Veränderungen im Modal-Split oder im Carsharing, mögen aus einer Perspektive der großen Massenströme nicht ins Gewicht fallen, sind aber wegen der Verwendung kritischer Materialien sehr wohl relevant. Viele grüne Technologien wie E-Autos oder Windräder verwenden Neodym und andere seltene Erden. Weniger E-Autos oder weniger Stromverbrauch reduzieren damit den Verbrauch dieser kritischen Rohstoffe.

Wie in Abbildung 39 zu erkennen ist, haben Verkleinerungsstrategien (Narrowing) den größten Einfluss auf eine Materialverbrauchsreduktion und können die PM mit ambitionierten Maßnahmen bis 2040 um die Hälfte reduzieren. Verlangsamungsstrategien (Slowing) sind im kurzen Zeitraum bis 2040 von geringer Bedeutung, da die Lebenszeiten vieler Produkte und Infrastrukturen länger sind als der Beobachtungszeitraum der Studie. Über einen längeren Zeitraum hinweg hätten sie jedoch ebenfalls großes Potenzial, die PM zusätzlich zu reduzieren.

Die Bundesregierung hat für das Jahr 2050 den Zielwert von 7 Tonnen pro Kopf und Jahr Material-Fußabdruck beschlossen (BMK 2022), was in etwa einem inländischen Materialverbrauch von 6 t/Kopf/Jahr entspricht. Seit 2000 lag der Höchststand bei etwa 22 Tonnen pro Kopf im Jahr 2007, während der inländische Materialverbrauch Österreichs im Projekt ACeDC bei 18 t/Kopf/Jahr lag (Haas u. a. 2024). Zudem wurde in der Kreis-



laufwirtschaftsstrategie (BMK 2022) für das Jahr 2030 ein inländischer Materialverbrauch von 14 Tonnen und Jahr pro Kopf anvisiert.

Um das DMC-Ziel von 14 Tonnen pro Kopf im Jahr 2030 zu erreichen, ist eine deutliche Abweichung von der aktuellen Entwicklung erforderlich. Abbildung 40 zeigt, dass eine reine Fortschreibung des aktuellen Trends (rot) nicht zu dem angestrebten Ziel führt. Bei einer Erholung des Bruttoinlandprodukts nach der COVID-Pandemie (durchgezogene Linie) führen eine reine Dekarbonisierung sowie eine Dekarbonisierung in Kombination mit moderaten Kreislaufwirtschaftsmaßnahmen zu einem weiteren Anstieg des Materialverbrauchs. Erst ambitionierte Kreislaufwirtschaftsmaßnahmen zeigen auch bei Wirtschaftswachstum einen Rückgang des Materialverbrauchs pro Kopf. Bei einem Nullwachstum der Wirtschaft (gestrichelte Linie) kommt es in allen Szenarien zu einer Reduktion des Materialverbrauchs pro Kopf. Für das Erreichen beider Ziele wäre eine Dekarbonisierung mit ambitionierten Kreislaufwirtschaftsmaßnahmen (grün) notwendig.

Die Szenarien für den Gebäude-, Verkehrs- und Stromsektor zeigen, dass Recycling als Strategie zwar wichtig ist, aber hier nur mehr sehr geringe Potenziale für eine Reduktion liegen. Den großen Unterschied können im Zeitraum bis 2040 vor allem Verkleinerungsstrategien machen (O'Neill u. a. 2018; Görg u. a. 2023). Diese können den Materialverbrauch dieser drei Bereiche um 70 % senken. Die oben beschriebenen Strategien können zu deutlichen Reduktionen des Materialverbrauchs pro Kopf führen (O'Neill u. a. 2018; Görg u. a. 2023). Während der inländische Pro-Kopf-Materialverbrauch im Jahr 2040 im ambitionierten Szenario von 19 auf 12 Tonnen um 40 % sinkt (auf 8 Tonnen bzw. um 59 % bei einem Nullwachstum der Wirtschaft), so verringert sich die Pro-Kopf-

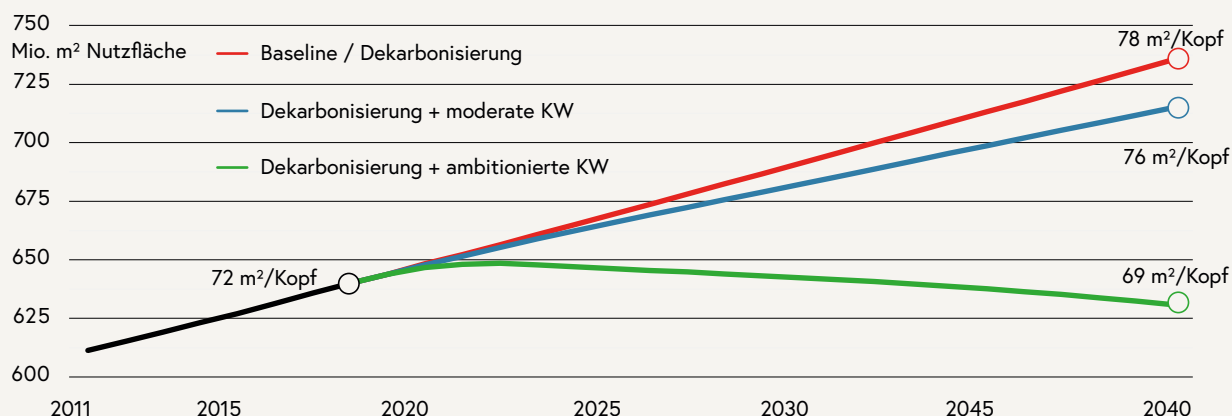
Abbildung 40: Historischer inländischer Materialverbrauch und Entwicklungspfade im Kontext beschlossener Ziele zum Materialverbrauch und Material-Fußabdruck.

Quadratmeterfläche um nur 14 %. Im Mobilitätsbereich sinkt der Automobilbesitz deutlich von 0,63 auf 0,07 Fahrzeuge pro Kopf¹⁹ im Jahr 2040. Gleichzeitig aber erhöhen sich andere Mobilitätsformen wie Carsharing, Nutzung öffentlicher Verkehrsmittel, Radfahren, Zufußgehen. In Folge geht der Personenverkehr von 15.200 auf 11.400 Personenkilometer um nur 25 % zurück. Neben den Änderungen in den Mobilitätsformen leisten auch Änderungen in den Arbeitsformen einen Beitrag, z. B. die Zunahme von Home-Office und der damit verbundene verminderte Pendlerverkehr. Weiters müssen unterschiedliche Bedürfnisstrukturen in ländlichen und urbanen Regionen berücksichtigt werden, die zu einer Umverteilung dieses aggregierten Durchschnitts führen. Die Reduktion der Tonnenkilometer um 45 % beruht dabei auf dem reduzierten Materialverbrauch und somit dem reduzierten Materialtransport. Kombiniert mit Maßnahmen in den anderen Bereichen wie Ernährung oder Industrie, die im Projekt nicht untersucht wurden, steht das Erreichen der Kreislaufwirtschaftsziele nicht im Widerspruch zu einem „guten Leben für alle“ (Raworth 2017; O'Neill u. a. 2018; Görg u. a. 2023). Vielmehr können KW-Maßnahmen dazu beitragen, unsere Lebensgrundlagen und die Natur zu sichern, da ein weiterer hoher Ressourcenverbrauch mit erheblichen Risiken verbunden ist.

Der Zusammenhang zwischen Materialbeständen und Materialverbrauch sowie den abgeleiteten Services lässt sich beispielhaft am Gebäudesektor skizzieren (siehe Abbildung 41). Die gesetzten Maßnahmen führen im Gebäudesektor zu einer Reduktion der Materialbestandszunahme – im ambitioniertesten Szenario sogar zu einer Stagnation des Materialbestands (Abbildung 41b). Aufgrund der langen Lebensdauer von Gebäuden kommt es zu keinem Rückgang im Bestand. Starke Rückgänge sind jedoch im jährlichen Verbrauch (Abbildung 41c) aufgrund von Veränderungen im Neubau festzustellen, die maßgeblich auf einen Baustopp auf der grünen Wiese zurückzuführen sind. So sinkt der Materialverbrauch im Gebäudesektor im Jahr 2040 von 45 Millionen im Baseline-Szenario auf weniger als 5 Millionen Tonnen im ambitionierten Szenario. Da die Bereitstellung von beheizter Wohnfläche primär an den Gebäudebestand gekoppelt ist, und nicht an den Materialverbrauch, führen diese enormen Veränderungen im Materialverbrauch nur zu einer gemäßigten Reduktion der Pro-Kopf-Wohnfläche von 78 m² pro Kopf im Baseline-Szenario auf 69 m² im ambitionierten KW-Szenario.

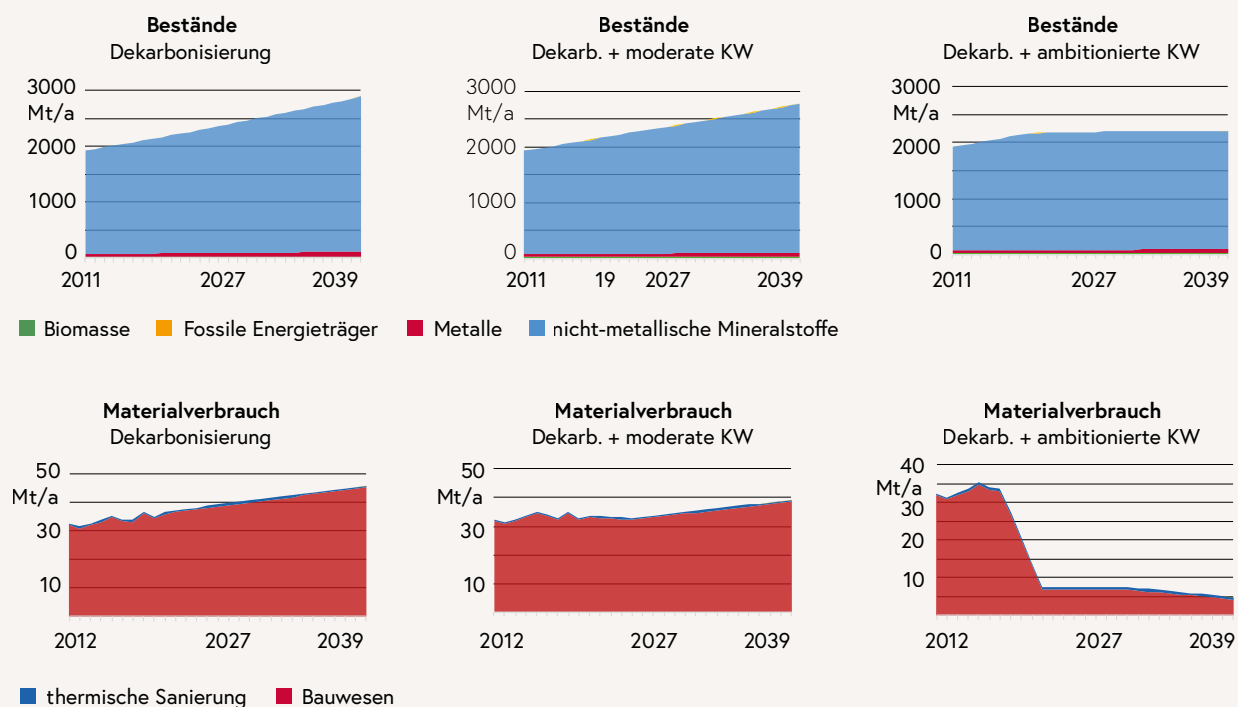
19 Die Pro-Kopf-Angabe ist über die ganze Bevölkerung gerechnet, inkludiert daher auch Kinder und ältere Personen.

BEHEIZTE NUTZFLÄCHE IN WOHN- UND BÜROGEBÄUDEN



Erläuterungen: (a) Entwicklung der beheizten Gebäudefläche pro Kopf für die das Baseline-Szenario bzw. eine reine Dekarbonisierung (rot), sowie eine Dekarbonisierung mit moderaten (blau) und ambitionierten (grün) Kreislaufwirtschaftsstrategien; (b) Entwicklung der Materialbestände sowie (c) des Materialverbrauchs im Gebäudesektor

Quelle: Haas u. a. 2024



Quelle: Haas u. a. 2024

Abbildung 41: Entwicklung der beheizten Gebäudefläche, der Materialbestände sowie des Materialverbrauchs im Gebäudesektor, 2011–2040.

4 Zusammenfassung und Ausblick





Statement 19 – Die Frage ist nicht, ob es gesellschaftlichen Umbau geben wird, sondern wie weitreichend er sein kann und wird: Im Lichte der sich zuspitzenden ökologischen Krise, und hier insbesondere der Klimakrise, wächst die Einsicht, dass es eines grundlegenden gesellschaftlichen Umbaus bedarf. Die Frage ist nicht mehr, ob es solch einen Umbau geben wird, sondern wie weitreichend er sein kann und wird. Geht der Ausbau der erneuerbaren Energien Hand in Hand mit der wachsenden Nutzung fossiler Brennstoffe oder kommt es zu einer deutlichen Reduktion letzterer? Schaffen wir einen ressourcenleichten Wohlstand, der von den Menschen auch als Wohlstand – und nicht als Verzicht – empfunden wird? Der Ressourcenbericht zeigt eindrucksvoll, dass in Österreich der Ressourcenverbrauch deutlich sinken muss. Eine Aufgabe von Politik, Wirtschaft, Zivilgesellschaft und Wissenschaft besteht darin, Möglichkeiten zur Senkung aufzuzeigen und umzusetzen. – Univ.-Prof. Dr. Ulrich Brand, PhD, Inst. für Politikwissenschaft, Universität Wien

Ressourcenverbrauch treibt das Überschreiten planetarer Grenzen an

Umweltprobleme werden immer präsenter, wir erleben Hitzewellen, Biodiversitätsverluste, umweltbedingte Krankheitslasten und vieles mehr. Die gesellschaftliche Ressourcennutzung kann als Schlüsselfaktor hinter diesen Umweltproblemen gesehen werden. Wir nutzen eine wachsende Menge an Ressourcen (Material, Energie, Wasser, Boden) und überschreiten dabei bereits sechs der neun planetaren Grenzen (Richardson u. a. 2023). Wir müssen daher den Ressourcenverbrauch senken, und zwar deutlich, rasch und in anhaltender Weise. Als Beobachtungsinstrument dient die Materialflussrechnung (Haberl u. a. 2019), die den gesamtwirtschaftlichen Materialverbrauch Österreichs entlang von Materialkategorien (die vier Hauptkategorien sind: Biomasse, fossile Energieträger, Metalle und nichtmetallische Mineralstoffe) erhebt und analysiert. Im Jahr 2022 verbrauchte Österreich 154 Millionen Tonnen Material pro Jahr oder 17 Tonnen pro Kopf und Jahr (t/cap/a). Der Materialverbrauch in Österreich hat sich seit den 1980er-Jahren weitgehend stabilisiert, liegt allerdings im internationalen Vergleich auf einem hohen Niveau (Platz 15 unter den EU27-Mitgliedstaaten). Der Materialverbrauch der EU zum Beispiel lag 2022 bei 13 t/cap/a, Italien mit dem niedrigsten Materialverbrauch unter den EU-Ländern nutzte nur 7 t/cap/a.

Zusätzlich zu den Materialien, die im eigenen Land entnommen werden, bezieht Österreich Ressourcen aus dem Ausland. Österreich ist ein Netto-Importeur von Ressourcen, die physische Handelsbilanz (PTB = Importe minus Exporte in Tonnen) lag im Jahr 2022 bei 30 Mt/a bzw. 3 t/Kopf/Jahr. In der Produktion der verarbeiteten Güter, die über den Außenhandel zwischen den Ländern umverteilt werden, entsteht entlang von Entnahme,

Verarbeitung und Transport zusätzlicher Material- und Energieverbrauch. Schreibt man Österreich die Verantwortung für diesen Materialverbrauch entlang der Lieferketten zu, so erhält man für Österreich einen Material-Fußabdruck von 22 t/cap/a im Jahr 2020.

Der Materialverbrauch ist auch in Österreich der Treiber für viele Umweltprobleme. Der Verbrauch an nichtmetallischen Mineralstoffen (54 % des DMC) dient vor allem dem Aufbau und Erhalt von gesellschaftlichen Beständen (Straßen, Häuser, sonstige Infrastruktur). Diese Bestände haben eine vielfältige Wirkung auf ganz unterschiedliche planetare Grenzen. Baurohstoffe benötigen eine Vielzahl an Ressourcen, die in der Entnahme, Fertigung und im Transport beträchtliche Mengen Energie verbrauchen. Auch nach Fertigstellung der Bestände muss Energie für ihre Beheizung, Beleuchtung, Befahrung, d. h. ihre Benutzung, aufgebracht werden. Durch den Energieverbrauch entstehen CO₂-Emissionen, aber auch ein indirekter Ressourcenverbrauch durch den benötigten Ausbau der Energieinfrastruktur. Gesellschaftliche Bestände wirken auch auf Landflächen und letztlich auf die Biodiversität. Denn durch wachsende Bestände wird immer mehr Boden versiegelt, bis dato zusammenhängende Naturflächen werden durch Straßen fragmentiert. Beides hat negative Auswirkungen auf die Ökosysteme, der Verlust von Arten sowie Biodiversität ist die Folge. Eine Reduktion des Materialverbrauchs ist daher ein zentraler Hebel in der aktuellen Umweltpolitik und kann maßgeblich zur Dekarbonisierung und zum Schutz von Biodiversität beitragen.

Die Entkoppelung von Ressourcenverbrauch und Wirtschaftswachstum und eine Steigerung der Ressourcenproduktivität sind zentrale Handlungsoptionen in vielen politischen Programmen (UN 2015; European Commission 2019; BMK 2022). Eine absolute Entkoppelung (d. h. eine Reduktion des Ressourcenverbrauchs bei steigendem Wirtschaftsoutput) ist bisher leider kaum zu beobachten (OECD 2018; Hickel 2019; Hickel und Kallis 2019; Jackson und Victor 2019; UN IRP 2019a; Haberl u. a. 2020; Vogel und Hickel 2023). Erst die vielen Krisen der letzten Jahre führen in Österreich zu einer absoluten Entkoppelung sowohl für den inländischen Materialverbrauch als auch aus einer konsumbasierten Fußabdruck-Perspektive. Die Ressourcenproduktivität basierend auf dem DMC (BIP/DMC) stieg zwischen 2008 und 2020 um 9 %, während der DMC um 4 % reduziert werden konnte. Die Ressourcenproduktivität basierend auf dem MF (BIP/MF) stieg zwischen 2008 und 2020 um 10 %, während der MF in diesem Zeitraum um 5 % gesunken ist. Es bleibt abzuwarten, ob diese Entwicklung auch über die Krisen hinweg erhalten werden kann. Die Entwicklung der letzten ein bis zwei Jahre gibt Hoffnung, jedoch muss der aktuelle Trend der Abnahme stabilisiert werden.

Seit dem ersten Programm zur Kreislaufwirtschaft (European Commission 2014) gilt die Kreislaufwirtschaft als zentraler Rahmen für nachhaltige Ressourcennutzung, die auch einen wesentlichen Beitrag zur Dekarbonisierung leisten kann. Kreislaufwirtschaft bedeutet, dass wir die lineare „Wegwerfgesellschaft“ in eine zirkuläre, nachhaltige Gesellschaft innerhalb planetarer Grenzen umwandeln. Dabei geht es aber nicht nur um Recycling von Abfällen, sondern die Kreislaufwirtschaft wird auch entlang von 10 R-Strategien gedacht: Die gesamte Produktionskette soll von Beginn an (Rethink, Refuse, Reduce) die Ressourceninputs reduzieren (Narrowing), Materialien sollen im zweiten

Schritt länger in Nutzung gehalten werden (Verlängerung der Lebensdauer, Slowing) und erst im letzten Schritt sollen Stoffe am Ende der Produktlebenszeit wiederverwertet und Stoffkreisläufe geschlossen werden (Closing) (Potting u. a. 2017).

Die österreichische Bundesregierung hat die Bedeutung der Kreislaufwirtschaft erkannt und 2022 eine Kreislaufwirtschaftsstrategie publiziert (BMK 2022), in welcher vier ambitionierte Hauptziele festgeschrieben wurden:

1. Reduktion des Ressourcenverbrauchs auf:
 - a) 14 t/cap/a DMC bis 2030
 - b) 7 t/cap/a Material-Fußabdruck (MF) bis 2050
2. Steigerung der inländischen Ressourcenproduktivität um 50 % bis 2030
3. Steigerung der Zirkularitätsrate auf 18 % bis 2030
4. Reduktion des Materialverbrauchs der privaten Haushalte um 10 % bis 2030

Die empirische Grundlage zur Beobachtung der genannten Ziele ist durch die Materialflussrechnung (Haberl u. a. 2019; Neubauer und Gierlinger 2022; Statistik Austria 2024) gegeben. Die im vorliegenden Bericht dargelegten Ergebnisse aus der MFA zeigen, dass Österreich in einigen Entwicklungsbereichen schon auf dem richtigen Weg ist, die Reduktionen im Ressourcenverbrauch aber weiterverfolgt und in einigen Fällen noch verstärkt werden müssen.

Erst durch ambitionierte Kreislaufwirtschaftsmaßnahmen ist ein Material-Fußabdruck von 7 t/cap/a denkbar

Die wissenschaftliche Analyse und die politische Basis sind gelegt, nun braucht es eine ambitionierte Umsetzung der Kreislaufwirtschaft. Ergebnisse des Forschungsprojekts „Kreislaufwirtschaft und Dekarbonisierung. Synergien und Trade-Offs“ (Haas u. a. 2024) zeigten, wie Dekarbonisierung und Dematerialisierung bis 2040 aussehen könnten. Entlang von verschiedenen Zukunftsszenarien für die Bereiche Gebäude, Mobilität und Stromsektor wurde berechnet, wie sich Dekarbonisierungsstrategien und zusätzliche Kreislaufwirtschaftsmaßnahmen auf den Materialverbrauch auswirken. Erst durch die Einführung von ambitionierten Kreislaufwirtschaftsmaßnahmen konnte der Materialverbrauch deutlich, d.h. auf 12 t/cap/a bei einer zügigen Erholung nach der COVID-Pandemie und 8 t/cap/a bei einer langsamen Erholung nach der COVID-Pandemie mit Nullwachstum, gesenkt werden. Der größte Effekt kann durch einen Baustopp auf unversiegelter Fläche erreicht werden. Eine Maßnahme, die den individuellen Wohnraum nicht über die Maßen reduziert (siehe auch Bärnthaler 2024), aber Grünraum in dicht bebauten Strukturen erhält und so den Materialverbrauch drastisch reduziert sowie zusätzlich einen positiven Beitrag für Gesundheit, Biodiversitätserhalt und die Stabilisierung des lokalen Klimas leistet.

Die Forschungsergebnisse bestätigen, dass es mutige Schritte braucht, welche die gesellschaftlichen Bestände und deren Reduktion in den Fokus nehmen. Kreislaufwirtschaftsstrategien aus der Gruppe Narrowing umfassen Maßnahmen zur Verringerung der gesamtwirtschaftlichen Ressourcenflüsse und zeigen die größten Effekte. Gerade diese Kreislaufwirtschaftsmaßnahmen sind jedoch am schlechtesten durch bestehende Maßnahmen fassbar. Die R-Strategien Rethink und Refuse regen ein Über- und Neu-denken von bestehenden Produktions- und Konsummustern an. Der Fokus sollte nicht mehr auf der effizientesten Herstellung von Produkten liegen (technoökonomische Lösungsansätze, Bärnthaler 2024), sondern die Bedürfnisse der Gesellschaft und das Lösen gesellschaftlicher Probleme in den Vordergrund stellen. Dazu sind innovative Planungs- und Geschäftskonzepte erforderlich, die nicht auf einen stetig wachsenden Output materieller Güter setzen, sondern ganz neue, branchenübergreifende Geschäftsmodelle im Austausch mit der Gesellschaft und auch der umliegenden Region entwickeln. Beispiele hierfür könnten verschiedenste Sharing-Angebote sein, aber auch ein Neudenken von öffentlicher Infrastruktur (Mobilitätskonzept) und der Gestaltung des öffentlichen Raums, neue Wohnkonzepte und eine neue und andere Nutzung von bestehenden Strukturen, um den Aufbau von Neuem zu vermeiden. Auch die Maßnahmen des Slowing, also das Verlangsamen der Durchsatzrate, haben großes, noch ungenutztes Potenzial durch die Lebensdauer verlängernde Maßnahmen wie Wiederverwenden, Reparieren oder Umnutzen.

Eine deutliche Reduktion der Ressourcenflüsse erfordert eine tiefgreifende gesellschaftliche Transformation

Schon 2011 sprach der Wissenschaftliche Beirat der deutschen Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU) in einem Bericht zur „Welt im Wandel“ von einem neuen Gesellschaftsvertrag und einer notwendigen großen Transformation (WBGU 2011). Der WBGU kommt zum Schluss, dass es „tiefgreifende Veränderungen von Infrastrukturen, Produktionsprozessen, Regulierungssystemen und Lebensstilen sowie ein neues Zusammenspiel von Politik, Gesellschaft, Wissenschaft und Wirtschaft braucht. Es gilt, vielfältige Pfadabhängigkeiten und Blockaden zu überwinden. Die Transformation kann zudem nur dann gelingen, wenn Nationalstaaten ihre kurzfristigen Interessenskalküle zugunsten globaler Kooperationsmechanismen zurückstellen, um vor allem in der Weltwirtschaft eine Trendumkehr zu Klimaverträglichkeit und Nachhaltigkeit zu ermöglichen. Dabei geht es im globalen Rahmen nicht zuletzt um Fragen von Fairness und Gerechtigkeit, auf die Antworten gefunden werden müssen“ (WBGU 2011: Zusammenfassung für Entscheidungsträger, Seite 1). Die Erkenntnisse über die Notwendigkeit einer solchen gesellschaftlichen Transformation – auch für Österreich – haben sich seither weiter verstärkt (Görg u. a. 2023; Novy u. a. 2023). In einem Policy-Brief der Europäischen Umweltagentur (EEA 2023) diskutiert auch die EEA, dass Effizienzgewinne nicht ausreichen, um die aktuellen Krisen um Klima,

Ressourcen, Biodiversität und Verschmutzungen zu bewältigen, sondern eine Veränderung in den Konsummustern und eine deutliche Reduktion der absoluten Mengen dringend notwendig sind.

Die aktuelle Diskussion um die gesellschaftliche Transformation beschäftigt sich vor allem auch mit der Rolle von nachfrageseitigen Maßnahmen (demand-side measures), also der Frage, wie viel Ressourcenverbrauch es für die Erreichung eines nachhaltigen Wohlstandsniveaus braucht (O'Neill u. a. 2018; Millward-Hopkins u. a. 2020; Millward-Hopkins 2022; Vélez-Henao und Pauliuk 2023; Pauliuk 2024). Basierend auf Kate Raworths doughnut economics (Raworth 2017) werden nachhaltige Konsumkorridore diskutiert (Pirgmaier 2020; Fuchs u. a. 2021; Sahakian u. a. 2021; EEA 2023; Bärnthaler 2024), die zwischen sozialen Mindeststandards für ein gutes Leben und planetaren Grenzen verlaufen. Damit wird der Fokus auf eine Wohlstandsökonomie statt auf eine Wachstumsökonomie gelegt (EEA 2023). Die EEA sieht die Kreislaufwirtschaft als eine Schlüsselstrategie in diesem Wandel.

Wie im Kapitel zu den Beständen angesprochen, dürfen nachfrageseitige Entscheidungen nicht nur auf Konsumpräferenzen von Individuen begrenzt werden, sondern gerade die materialintensiven Infrastrukturen (Bereitstellungssysteme, provisioning systems; Schaffartzik u. a. 2021) bestimmen den Rahmen für nachfrageseitige Veränderungen und brauchen mehr Aufmerksamkeit in einer Transformation. Denn Bereitstellungssysteme sind zentrale Strukturen, die Güter und Dienstleistungen zur Verfügung stellen, welche das alltägliche Leben prägen und Konsumententscheidungen ermöglichen oder einschränken und somit direkt mit Wohlstand und Ressourcenverbrauch in Verbindung stehen (Jonas u. a. 2023). Ein weiterer wichtiger Faktor im Zusammenhang mit nachfrageseitigen Maßnahmen ist die Rolle von Ungleichheit. Die 10 % der Bevölkerung mit dem höchsten Einkommen sind für ca. 34 % der globalen THG-Emissionen verantwortlich, während die 50 % mit den niedrigsten Einkommen nur 15 % aller Emissionen verursachen. Auch innerhalb der hochindustrialisierten Staaten wie Österreich zeigen sich ähnliche Ungleichheiten (Hubacek u. a. 2017; Otto u. a. 2019). Aktuelle Forschungen verweisen daher auf den engen Zusammenhang zwischen den ökologischen Krisen, den Verteilungsfragen und den hohen ökologischen Kosten der Ungleichverteilung (Millward-Hopkins 2022; Bärnthaler 2024).

Wie die großen Materialflüsse kleine, aber kritische nach sich ziehen

Bei einer Verschiebung des Fokus auf die großen Massenflüsse und der Reduktion von bestandsrelevanten Materialien spielen kleinere Materialflüsse eine weniger große Rolle. Dennoch ist auch die Nutzung von strategischen Rohstoffen, darunter viele kritische Rohstoffe, eng verbunden mit der gebauten Infrastruktur. Jedes Haus braucht ein Hightech-Heizsystem, das zu einem Teil mit Strom aus erneuerbaren Energien und der Energieinfrastruktur im Hintergrund gespeist wird. Infrastrukturen enthalten sehr

viele, massenmäßig wenig relevante Zukunftstechnologien. Eine Reduktion der Bestände kann daher auch den Bedarf an diesen kritischen Rohstoffen und an Energie reduzieren. Gleichzeitig müssen die Rohstoffe, die wir dennoch brauchen, nach den Kriterien der Kreislaufwirtschaft – Verlängerung der Nutzungsdauer durch Verlangsamen der Durchsatzrate (Slowing) und Schließen von Stoffkreisläufen (Closing) – genutzt werden. Da viele der zukunftsrelevanten Rohstoffe aus dem Ausland bezogen werden, muss auch auf sozial und ökologisch nachhaltige Produktionsstrukturen und Kreislaufwirtschaft entlang der globalen Lieferketten geachtet werden. Der 2021 verabschiedete Masterplan Rohstoffe 2030 und der Critical Raw Materials Act (CRMA) wie auch das im Juli 2024 in Kraft getretene EU Lieferkettengesetz können hierzu einen wichtigen Beitrag leisten.

Kreislaufwirtschaft kann Ressourcenschonung und Dekarbonisierung erfolgversprechend integrieren

Der integrierte Blick der Kreislaufwirtschaft zielt darauf ab, letztlich sowohl Material-inputs aus der Natur als auch Emissionen und Abfallströme an die Natur zu minimieren (Korhonen u. a. 2018). Gelingen kann das nur, wenn Refuse, Rethink und Reduce mit Priorität verfolgt werden. Das gilt für kleine Produkte ebenso wie für Industrieanlagen und große Infrastrukturen, die möglichst langlebig sein sollen und die notwendigen Services für die Gesellschaft wartungsarm erbringen. Ein solch radikal anderer Umgang mit Ressourcen reduziert Abfallströme, die dann weitgehend und mit möglichst wenig Aufwand rezykliert werden können sollen. Das erfordert das Prinzip „circular by design“ über alle Lebensphasen und Skalenebenen hinweg. Die Transformation vom linearen Wirtschaften zu einer Kreislaufwirtschaft ist damit herausfordernd, und kein „schneller Erfolg, aber ein großes, langfristiges Unterfangen“ (Kirchherr u. a. 2017, 228).

5 Methoden

Materialflussrechnung – Konzept, Datengrundlage und Methode

Die Materialflussrechnung und -analyse ist ein international harmonisiertes Bilanzierungsinstrument (UN 2017; Eurostat 2018; UNEP 2021) für die materiellen Inputs, Bestände und Outputs eines gesellschaftlichen Systems. Dabei werden feste, gasförmige und flüssige Materialien exklusive Wasser und Luft berücksichtigt und in physischen Einheiten (Masse, meist in Tonnen) angeführt. Die Materialflussrechnung ist Bestandteil der Umweltgesamtrechnungen.²⁰

Konzept

Die Materialflussrechnung (material flow accounting, MFA) misst alle Materialflüsse, die zum Aufbau, zum Betrieb und zur Erhaltung der biophysischen Strukturen einer Gesellschaft erforderlich sind. Zu diesen biophysischen Strukturen (oder „Beständen“) werden per definitionem neben allen Personen und Artefakten auch alle Nutztiere (Viehhaltung und Aquakultur) gerechnet. Als Artefakte gelten analog zur volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung (VGR) die gesamte Infrastruktur, sämtliche Gebäude, Fahrzeuge, Maschinen und im Unterschied zur VGR auch langlebige Konsumgüter.

Um die materiellen Austauschbeziehungen eines gesellschaftlichen Systems (oder sozioökonomischen Systems, oder einer Volkswirtschaft) erfassen zu können, müssen im Rahmen der MFA zwei Systemgrenzen definiert werden:

- Die Grenze zwischen dem gesellschaftlichen System und seiner natürlichen Umwelt, aus der Material entnommen wird und in die Emissionen und Abfälle ausgelagert werden.
- Die Grenze zwischen dem gesellschaftlichen System und anderen gesellschaftlichen Systemen (Volkswirtschaften), aus denen Güter importiert bzw. in die Güter exportiert werden (siehe Abbildung 1).

Wasser und Luft werden in der Materialflussrechnung nicht als Entnahmen aus der natürlichen Umwelt erfasst, es sei denn, sie sind in Rohstoffen oder Gütern enthalten; letzteres betrifft z. B. geerntetes Getreide, Obst, Gemüse und verschiedene Waren des Außenhandels (z. B. Getränke, Holz). In der Datenerfassung zur inländischen Entnahme (DE) wird bei geweideter Biomasse, Erntenebenprodukten und Holz der Wassergehalt per Konvention auf 15% umgerechnet.

Inputs in das sozioökonomische System sind in erster Linie Rohstoffe, die im Inland entnommen werden (inländische Entnahme, domestic extraction, DE), und importierte Rohstoffe und verarbeitete Güter (Importe). Als inländische Entnahme werden alle Rohstoffe gezählt, die aus der Natur entnommen werden. Dazu gehören Rohstoffe aus der Land- und Forstwirtschaft (z. B. Ackerfrüchte, Wiesenschnitt, Holz) und aus dem

²⁰ umweltgesamtrechnung.at

Bergbau (z. B. Kohle, Eisenerz, Kalkstein, Salz). Die Importe dagegen umfassen Produkte ganz unterschiedlicher Fertigungstiefe vom Eisenerz bis zum Mobiltelefon. Outputs des sozioökonomischen Systems sind einerseits Abfälle und Emissionen (domestic processed output, DPO) und andererseits Exporte. Die materiellen Vorleistungen der Importe und Exporte können in Rohmaterialäquivalenten (raw material equivalents, RME) dargestellt werden. Die RME umfassen die Masse des gehandelten Gutes selbst sowie all jene materiellen Inputs, die im vorgelagerten Produktionsprozess eingesetzt wurden. Sie werden berechnet, um Auslagerungseffekte durch Außenhandel sichtbar zu machen.

Bei der Entnahme von Rohstoffen werden zusätzlich Materialien bewegt, die nicht als genutzte Entnahme in das gesellschaftliche System einfließen, also keiner gesellschaftlichen Verwendung zugeführt werden. Diese Flüsse werden in der MFA als ungenutzte Entnahme (unused extraction) zusammengefasst. Dazu zählen zum Beispiel der Abraum im Bergbau, Bodenaushub beim Infrastrukturbau oder Ernterückstände. Andere Umweltauswirkungen (z. B. Bodenerosion), die aus der gesellschaftlichen Nutzung von Ressourcen resultieren, werden in der MFA nicht erfasst, hierfür gibt es andere Mess- und Beobachtungsinstrumente.

Entscheidend für die Konsistenz einer MFA ist die Anwendung des Massenerhaltungssatzes. Dieser besagt, dass Materialien und Energie in einem geschlossenen System weder geschaffen noch vernichtet werden: $\text{Inputs} = \text{Outputs} \pm \text{Veränderung der Bestände}$

Damit die Materialbilanz geschlossen werden kann, müssen in der MFA sowohl input- als auch outputseitig Bilanzierungsposten eingeführt werden (Wasserdampf, Luft als Eingang in Verbrennungsprozesse etc.). Interessierte finden eine detaillierte Beschreibung des Umgangs mit diesen Bilanzierungsposten in Methodenhandbüchern von Eurostat (Eurostat 2001; Eurostat 2018).

Die Materialflüsse werden üblicherweise in vier Materialkategorien dargestellt: Biomasse, nichtmetallische Mineralstoffe, Metalle und fossile Energieträger. Als Biomasse werden alle Ressourcen pflanzlichen Ursprungs zusammengefasst, die von Menschen oder Tieren der Umwelt entnommen werden. Das bedeutet, dass auch geweidete Biomasse erfasst wird. Außerdem beinhaltet diese Kategorie Fischfang und Jagd, also Biomasse tierischen Ursprungs, die aus wild lebenden Beständen entnommen wird. Metalle und nichtmetallische Mineralstoffe werden in der MFA als bergbauliche Rohproduktion (run of mine) inkludiert. Das bedeutet, Mineralstoffe werden mit der Masse erfasst, mit der sie die Mine verlassen, also inklusive des umgebenden Taubgesteins. Als fossile Energieträger (auch Energierohstoffe) werden nichtmetallische mineralische Rohstoffe, die in geologischer Vorzeit aus Biomasse gebildet wurden, zusammengefasst. Zu den konventionellen Energierohstoffen zählen Braun- und Steinkohle, Erdöl und Erdgas. Im Grundmodul der MFA werden alle direkten Flüsse, welche die genannten Systemgrenzen überschreiten (inländische Entnahme, Importe, Exporte), erhoben und berücksichtigt. Aus diesen Daten lassen sich verschiedene Indikatoren berechnen, darunter auch der vom Europäischen Statistischen Amt als Schlüsselindikator verwendete inländische Materialverbrauch (domestic material consumption, DMC). Er entspricht der inländi-

schen Materialentnahme zuzüglich der Importe und abzüglich der Exporte ($DMC = DE + \text{Importe} - \text{Exporte}$). Der inländische Materialverbrauch umfasst alle Materialien, die im gesellschaftlichen System verbraucht wurden, sei es in wirtschaftlichen Produktionsprozessen oder im Endkonsum. Anders formuliert kann der DMC als Maß für all jene Materialien betrachtet werden, die in der Gesellschaft verbleiben und in Abfälle oder Emissionen umgewandelt werden („waste potential“).

Im inländischen Materialverbrauch spielen Importe und Exporte eine zunehmend große Rolle. Dadurch kommt es – global gesehen – zur Verlagerung von Produktionsschritten: In der Produktion der importierten, aber auch der exportierten Güter werden materielle und energetische Vorleistungen erbracht, die im Inlandsmaterialverbrauch nicht erfasst werden. Berechnet man den Materialverbrauch unter Berücksichtigung der Vorleistungen der importierten und exportierten Güter, erhält man den Rohmaterialverbrauch (raw material consumption, RMC), auch Material-Fußabdruck (material footprint, MF) genannt. Der RMC beschreibt also alle Rohmaterialien, die in der Produktion der Güter für den Inlandskonsum verbraucht wurden.

Datengrundlage und Methode

Eine detaillierte Beschreibung der Datenerfassung der österreichischen MFA findet sich in der Standarddokumentation der Statistik Austria (Neubauer u. a. 2023). In diesem Abschnitt werden die wichtigsten Informationen zusammengefasst. In der Erstellung der MFA wird auf bestehende Datensätze aus der offiziellen Statistik zurückgegriffen. Für die österreichische inländische Entnahme (DE) werden dabei nach Materialkategorien folgende statistische Werke herangezogen:

- Biomasse: pflanzliche Produktion, Statistik der Landwirtschaft und Holzeinschlagsmeldung
- Fossile Energieträger: Energiebilanzen
- Nichtmetallische Mineralstoffe: Montanhandbuch, Konjunkturstatistik und Aufkommens- und Verwendungstabellen
- Metalle: Montanhandbuch

Für die Quantifizierung der importierten und exportierten Materialmengen wird die Außenhandelsstatistik der Statistik Austria herangezogen, die für alle gehandelten Güter sowohl den ökonomischen Wert als auch die Masse angibt.

Neben der Zusammenstellung der Daten ist in vielen Fällen eine Umrechnung in Tonnen als gemeinsame Einheit notwendig. Denn in Österreich wird z. B. der Holzeinschlag in Festmetern, die Weinernte in Hektolitern und die Förderung von Naturgas und Salzsole in Kubikmetern berichtet. Darüber hinaus werden einige Flüsse der inländischen Entnahme statistisch gar nicht oder nur unzureichend erfasst. In diesen Fällen sind Zuschätzungen notwendig.

Nicht alle gesellschaftlich genutzten Rohstoffe werden von der amtlichen Statistik erfasst. Diese zum Teil sehr großen Materialflüsse müssen in speziell dafür entwickelten Verfahren geschätzt werden. Die inländische Entnahme von Erntenebenprodukten (vor allem Stroh und als Futtermittel genutzte Pflanzenblätter) und geweidetem Gras wird in der Landwirtschaftsstatistik nicht berichtet. Für die in Österreich angebauten Feldfrüchte, bei deren Ernte Stroh anfällt, liegen Faktoren über das Verhältnis von Frucht zu gesamter Pflanzenmasse vor (Ernteindices). 75 % des anfallenden Strohs werden (vor allem als Einstreu) verwendet, die restlichen 25 % verbleiben als ungenutzte Entnahme am Feld und gehen daher nicht in die MFA ein. Neben Stroh werden auch Rübenblätter als Erntenebenprodukte entnommen und als Futtermittel verwendet. Auch hier liegen Faktoren für das Verhältnis von Frucht zu Blättern und den genutzten Anteil der Blätter vor. Ebenfalls statistisch nicht erfasst wird die von Nutztieren direkt geweidete Biomasse (vor allem Gras). Die Berechnung der geweideten Biomasse basiert auf den Weideflächen aus der Agrarstrukturerhebung sowie auf Ertragsfaktoren, welche den Grünfutterbilanzen entnommen werden. Getrennt berücksichtigt werden Hutweiden, Dauerweiden, Almen und Bergmähder. Die Mengen der geweideten Biomasse werden auf 15 % Wassergehalt standardisiert. Zum Vergleich wird auch Bedarfsseitig berechnet. Dabei wird der Futterbedarf von Raufutterverzehrern (Wiederkäuern und Pferden) dem Futterangebot aus marktgängigem Futter (Kraftfutter) und Futterpflanzen gegenübergestellt. Dabei wird auch berücksichtigt, dass ein Teil des Futterangebots an Hühner und Schweine verfüttert wird.

Die Entnahme von Baurohstoffen (Sand und Kies) ist in der amtlichen Statistik ebenfalls nur unzureichend erfasst. In Österreich wurde ein dreischrittiges Verfahren entwickelt und implementiert, das auf Grundlage von Konjunkturstatistik und Gütereinsatzstatistik die nicht berichtete Entnahme hochrechnet. In der Konjunkturstatistik nicht erfasst werden einerseits Betriebe unterhalb einer gewissen Größe (Abschneidekriterium) und andererseits die Produktion, die außerhalb des produzierenden Bereichs stattfindet. In beiden Fällen muss eine Zuschätzung vorgenommen werden, um zu einer möglichst vollständigen Erfassung der Entnahme von Baurohstoffen zu gelangen. Zuschätzung der Produktionsdaten der kleineren Betriebe erfolgte nach einzelnen Branchen mittels modellbasierter Datenergänzung. Dazu wurde die von den primärstatistisch erhobenen Einheiten gemeldete Produktion auf die zuzuschätzenden Einheiten umgelegt. Der zweite Zuschätzungsschritt betrifft die Entnahme von Baurohstoffen im nicht produzierenden Bereich, zu dem auch die Bereiche Landwirtschaft, Handel und Verkehr gehören. Die Produktion in diesen Bereichen wurde unter Zuhilfenahme der österreichischen Aufkommens- und Verwendungstabellen hochgerechnet. Diese Tabellen berichten die Produktion an Baurohstoffen im nicht produzierenden Bereich in monetären Werten. Auf Grundlage der Aufkommenstabelle wurde zunächst der monetäre Wert der Baurohstoffproduktion im nicht produzierenden Bereich erfasst. Über die aus der hochgerechneten Gesamtproduktion ermittelten Jahresdurchschnittspreise wurde dann die dem zuzuschätzenden Wert entsprechende Masse in Tonnen berechnet.

Implementierung in der Statistik

Die Materialflussrechnung für Österreich besteht als Zeitreihe ab 2000 und wird von Statistik Austria jährlich um die neuesten Daten erweitert. In früheren Berichten (zum Beispiel BMLFUW und BMWFJ 2011; BMLFUW und BMWFW 2015) wurde eine Zeitreihe ab 1960 berichtet, die jedoch aufgrund geänderter Klassifizierungssysteme in der Statistik nicht weitergeführt werden konnte. Auf europäischer Ebene werden die Daten aus den nationalen MFA-Konten jährlich von Eurostat zusammengetragen und veröffentlicht. Eine EU-15-Zeitreihe liegt für die Jahre ab 1970 vor, für die EU27-Länder beginnt die MFA-Zeitreihe im Jahr 2000. Seit 2011 wird die Erhebung von Materialflussdaten innerhalb der Europäischen Union durch eine Verordnung geregelt (EU 2011).

Materialflussanalyse in Österreich

Österreich ist in Europa seit den 1990er-Jahren federführend an der Entwicklung der Materialflussanalyse und des dazugehörigen Methodeninventars beteiligt und hat wesentlich zur Etablierung der Materialflussrechnung in der europäischen Umweltstatistik beigetragen. Zu den Forschungsinstitutionen, die sich in Österreich – vielfach mit Unterstützung des BMK – mit verschiedenen Aspekten der Materialflussanalyse beschäftigen, zählen das Institut für Soziale Ökologie (SEC) an der BOKU University (boku.ac.at/wiso/sec), das Institute for Ecological Economics der WU (wu.ac.at/ecolecon) und das Institut für Wassergüte und Ressourcenmanagement, Forschungsbereich Abfallwirtschaft und Ressourcenmanagement an der TU Wien (tuwien.at/cee/iwr/ressourcen).

Internationale Datenbanken

Daten der Materialflussrechnung und insbesondere zum Materialverbrauch und zum Material-Fußabdruck in Österreich, der EU und vielen Ländern der Welt wurden in den letzten Jahren systematisch öffentlich zugänglich gemacht und können über verschiedene Einrichtungen genutzt werden:

- Österreich: Aktuelle Daten zum Materialverbrauch in Österreich sind bei Statistik Austria erhältlich: statistik.at/statistiken/energie-und-umwelt/umwelt/materialflussrechnung
- EU: MFA-Daten für die Mitgliedsländer der EU können über den Datenserver von Eurostat, dem statistischen Amt der EU, bezogen werden: ec.europa.eu/eurostat/data/database (Environment and energy/Environment/Material flows and resource productivity)
- UN IRP: MFA-Daten für alle Länder der Welt (1970–2024) sind in der UN IRP Database verfügbar: resourcepanel.org/global-material-flows-database Analysen und Visualisierungen zu den UN-Daten finden sich auf der UN-Seite zu SCP Hotspot Analysis: scp-hat.lifecycleinitiative.org

- Das Institute for Ecological Economics (Research Group „Sustainable Resource Use“) betreut mit Unterstützung des BMK die Webseite materialflows.net, auf der Daten zur globalen Entnahme von Materialien nach Ländern seit 1970 sowie verschiedene Visualisierungen zu finden sind.
- Das Institut für Soziale Ökologie stellt auf seiner Homepage eine Reihe von nationalen und globalen Datensätzen und Analysen zum Materialverbrauch zur Verfügung: boku.ac.at/wiso/sec/data-download

Projekt ACeDC – Methoden zu den Kreislaufwirtschaftsmaßnahmen in den Modulen Gebäude und Mobilität

Kreislaufwirtschaft und Gebäude

Sowohl der Bestand als auch der jährliche Neubau von Gebäuden haben wesentlichen Einfluss auf den Energieverbrauch eines Landes. Ein Haus ist das Endprodukt einer langen Kette an emissionsintensiven Prozessen von der Extraktion von Rohstoffen wie Eisenerz oder Kalkstein im In- oder Ausland (siehe Material-Fußabdruck) über den Transport zur Produktionsstätte, die Prozessierung dieser Rohstoffe, die Weiterverarbeitung zu Zwischenprodukten wie Zement oder Stahl, die Herstellung von Endprodukten wie Stahlbeton und den Transport zur Baustelle bis letztendlich zur Erweiterung des Bestands durch den Bau eines neuen Gebäudes.

Die österreichische Stahlproduktion allein verursachte im Jahr 2017 bei einer Stahlproduktion von 8,1 Millionen Tonnen²¹ Emissionen im Ausmaß von 12,8 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente, was im Jahr 2019 etwa 20 % des gesamten österreichischen Emissionsverbrauchs entsprach²². Neben der Stahlindustrie ist auch die Zementproduktion ein wesentlicher Verursacher von Emissionen. Zwar liegt Österreich aufgrund des Einsatzes moderner Ofentechnologien mit 525 kgCO₂ pro Tonne Zement deutlich unter der globalen Intensität von 637 kgCO₂ pro Tonne Zement, dennoch war der Sektor im Jahr 2020 für fast 3 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente verantwortlich²³ (Mauschitz 2021, VÖZ 2022), was 5 % der jährlichen österreichischen Emissionen entspricht (UBA 2021).

Auch während der Nutzungsphase verbrauchen Gebäude Energie und verursachen dabei Emissionen. Im Jahr 2018 verursachten Gebäude 7,9 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente, was etwa 10 % der nationalen Treibhausgasemissionen entsprach (UBA 2020). Aktuell sind in Österreich noch ca. 500.000 Ölheizkessel sowie 850.000 Gasheizungen im Einsatz.²⁴

21 umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/rep0738.pdf

22 Umweltbundesamt 2021: Treibhausgas-Bilanz 2019 nach Sektoren, umweltbundesamt.at/news210119/sektoren

23 zement.at/publikationen/emissionsberichte

24 oesterreich.gv.at/de/themen/umwelt_und_klima/energie_und_ressourcen_sparen/1/raus_aus_oel

Für den Gebäudesektor existieren verschiedenste Strategien im Kontext der Kreislaufwirtschaft, um die Dekarbonisierung zu unterstützen und Emissionen zu reduzieren. Beispielsweise fördert das Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie im Rahmen der Sanierungsoffensive 2023/24 thermische Gebäudesanierungen und mit der Aktion „raus aus Öl und Gas“ den Austausch von fossilen Heizkesseln mit nachhaltigen Heizsystemen wie Wärmepumpen und Biomassekesseln.²⁵ Im Jahr 2018 lag die Sanierungsrate bei 1,4 %. Dies inkludiert sowohl umfassende thermische Sanierungen als auch die äquivalente Summe von Einzelsanierungsmaßnahmen bezogen auf den jährlichen Bestand.²⁶

Neben solchen sanierenden bzw. technologieersetzenden Maßnahmen haben auch Maßnahmen, die vor bzw. während des Gebäudebaus ansetzen, das Potenzial, die Dekarbonisierung zu beschleunigen. Durch erhöhte Standards in der Dämmstoffsdicke im Neubau²⁷ kann der Energiebedarf von Wohnräumen erheblich reduziert werden. Ebenso hat eine Veränderung der Zusammensetzung von Baumaterialien einen positiven Einfluss auf den Ressourcenverbrauch. Holzbau setzt beispielsweise auf einen nachwachsenden Rohstoff und ersetzt zugleich den Bedarf an emissionsintensivem Beton, jedoch ist auch der Holzbau kein Allheilmittel, denn dieser reduziert die wachsende CO₂-Senke Wald. Zudem wirft eine holzbasierte Bauweise die Frage auf, inwiefern inländische bzw. zu importierende Holzmengen den heimischen Bedarf quantitativ sowie qualitativ befriedigen. Gleichzeitig waren aus statischen Gründen viele Betonelemente wie beispielsweise Fundamente bislang kaum wegzudenken, jedoch haben erste Pilotprojekte gezeigt, dass ein gänzlicher Verzicht auf Beton möglich ist, wenn auch eine solche Anwendung nicht flächendeckend erreichbar sein wird. Bei einer wachsenden Bevölkerung stellt aus einer Suffizienzperspektive zudem auch eine Reduktion der Wohnfläche pro Kopf eine Option dar, den Materialeinsatz im Neubau, die Bodenversiegelung sowie den Energieverbrauch zu reduzieren.

Kreislaufwirtschaft und Mobilität

Der Verkehrssektor, der nationale Flugverkehr nicht mitgerechnet, verursachte im Jahr 2018 mehr als 23,8 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente, was etwa 30 % der nationalen Treibhausgasemissionen entsprach. Dies ist primär auf den aktuell weit verbreiteten Einsatz fossiler Brennstoffe wie Diesel und Benzin zurückzuführen. Mit 95 % machte der Straßenverkehr den Großteil der Emissionen aus. Der straßengebundene Personenverkehr (Personenkraftwagen, Motorräder, Busse) verursachte dabei mit 14,8 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente etwa 63 % der Emissionen des Straßenverkehrs (Pkw-Benzin: 4,7 Mio. tCO₂-Äqu., Pkw-Diesel: 9,6 Mio. tCO₂-Äqu.). Die restlichen 37 % der Emissionen entfielen auf den straßengebundenen Güterverkehr mit 8,7 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente

25 oesterreich.gv.at/de/themen/umwelt_und_klima/energie_und_ressourcen_sparen/1/sanierungsoffensive

26 UBA & IIBW (2020): Definition und Messung der thermisch-energetischen Sanierungsrate in Österreich. iibw.at/documents/2020%20IIBW_UBA%20Sanierungsrate.pdf

27 oib.or.at/sites/default/files/erlaeuternde_bemerkungen_richtlinie_6_12.04.19_0.pdf

(UBA 2020). Der gesamte Personenverkehr verbrauchte im Jahr 2018 etwa 3,7 Millionen Tonnen fossile Brennstoffe zur Fortbewegung, während der Güterverkehr im Vergleich dazu nur 0,4 Millionen Tonnen verbrauchte. Elektrische Straßenfahrzeuge spielen bislang noch eine untergeordnete Rolle und verbrauchten bei einem Flottenanteil von weniger als 2 % etwa 477 GWh Strom.²⁸ Im Jahr 2019 besaßen 2,8 % aller neu zugelassenen Personenkraftwagen in Österreich einen batterieelektrischen Antrieb (UBA 2020).

Im Jahr 2018 fielen mit 79 Milliarden zurückgelegten Personenkilometern (Pkm) 69 % der Personentransportleistung auf Personenkraftwagen und motorisierte Zweiräder. Etwa 27 % – dies entspricht 31 Milliarden Pkm – wurden durch den öffentlichen Verkehr (Bahn, Straßenbahn, U-Bahn sowie Busse) ermöglicht.²⁹ Aktive Mobilität, welche die Fortbewegung zu Fuß oder mit dem Fahrrad umfasst, machte hingegen österreichweit mit 4 Milliarden Pkm nur 4 % der Personentransportleistung aus.³⁰ Aus einer Ressourcennutzungsperspektive wäre eine aktive Mobilität zu bevorzugen, da dabei keinerlei Brennstoff eingesetzt werden muss; damit ist das der am wenigsten material- und emissionsintensive Verkehrsmodus, gefolgt vom öffentlichen Verkehr, welcher aufgrund eines deutlich geringeren notwendigen Materialeinsatzes pro Kopf dem privaten Personenverkehr mit einem in den letzten Jahren gesunkenen Besetzungsgrad (UBA 2020) vorzuziehen ist. Was den Güterverkehr betrifft, so fielen mit 26 Milliarden Tonnenkilometern (tkm) etwa 54 % des Güterverkehrs auf Lastfahrzeuge. Die übrigen 46 % fielen mit 22 Milliarden tkm auf den Transport auf der Schiene (OECD 2022).

Mit dem Mobilitätsmasterplan 2030 wird eine Dekarbonisierung des Bestands an Pkw, motorisierten Zweirädern und Nutzfahrzeugen inklusive Bussen bis 2040 angestrebt (in der Realität ist eine vollständige Dekarbonisierung der Flotte jedoch erst bei einer gleichzeitigen Dekarbonisierung der Stromproduktion erreicht). Gleichzeitig wurden ambitionierte Ziele zur Verlagerung auf den öffentlichen Personenverkehr, die aktive Mobilität sowie auf den Schienengüterverkehr deklariert.³¹ Die COVID-Pandemie hat auch in Österreich gezeigt, dass mit einem reduzierten Bedarf des Zurücklegens längerer Distanzen ein geringeres Verkehrsaufkommen möglich ist. So könnte auch in Zukunft ein Wandel zu Home-Office zu verkürzten Arbeitswegen führen und die Notwendigkeit von Privatkraftfahrzeugen verringern. Ebenso könnten eine verbesserte Anbindung an den öffentlichen Personenverkehr sowie ein erweitertes und engmaschigeres Radinfrastrukturnetz in urbanen Räumen wie Wien eine erhebliche Reduktion der jährlich neu erworbenen Personenkraftwagen, des Verkehrsaufkommens und der damit verbundenen Emissionen bewirken. Darüber hinaus kann auch Carsharing dazu beitragen, Ressourcen zu sparen.

28 statistik.at/statistiken/tourismus-und-verkehr/fahrzeuge/kfz-bestand

29 EU transport in figures. Statistical pocketbook 2020. publications.europa.eu/resource/cellar/da0cd68e-1fdd-11eb-b57e-01aa75ed71a1.0001.03/DOC_1

30 Österreich unterwegs 2013/14 bmk.gv.at/themen/verkehrsplanung/statistik/oesterreich_unterwegs/berichte.html

31 bmk.gv.at/themen/mobilitaet/mobilitaetsmasterplan/mmp2030.html

6 Anhang

Glossar

Umweltgesamtrechnungen sind Konten in monetären und physischen Einheiten, die als Ergänzung zur volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung ein umfassendes Bild der Wechselwirkungen zwischen Wirtschaft und Umwelt liefern. Dafür werden ökologische Daten wie Rohstoff-, Energie-, Wasser- oder Flächenverbrauch, Abfall- und Abwasserentsorgung sowie Luftemissionen ökonomischen Daten wie Bruttoinlandsprodukt, Einkommen, Konsum, Investitionen etc. gegenübergestellt. Umweltgesamtrechnungen sind in den Leitlinien der EU über Umweltindikatoren und ein grünes Rechnungssystem verankert.

Das System der **volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung (VGR)** ist im Prinzip ein geschlossenes Kontensystem, in dem wesentliche makroökonomische Größen als Transaktionen oder Salden ausgewiesen werden (z. B. Bruttoinlandsprodukt BIP, Bruttonationaleinkommen, verfügbares Einkommen der Haushalte, Finanzierungssaldo des Staates, privater Konsum, Investitionen), basierend auf der Vorstellung eines Wirtschaftskreislaufs. Das VGR-System ist durch das System of National Accounts (SNA) international vereinheitlicht. Eine spezifisch auf europäische Verhältnisse zugeschnittene Variante ist das Europäische System Volkswirtschaftlicher Gesamtrechnung (ESVG). Während das SNA den Charakter einer Empfehlung besitzt, ist das ESGV rechtlich verbindlich (EU-Verordnung).

Komplementär zu Natur (oder dem „natürlichen System“) wird in diesem Bericht der Begriff **Gesellschaft** verwendet. Gesellschaft ist ein Kommunikationssystem, das über biophysische Strukturen mit dem Natursystem verbunden ist. Das Kommunikationssystem Gesellschaft umfasst Subsysteme wie Wirtschaft, Recht, Politik und Bildung. Biophysische Elemente von Gesellschaft sind die menschliche Population, ihre Infrastrukturen und Artefakte sowie per Definition auch Nutztiere. Gesellschaft muss sich sowohl kulturell-kommunikativ als auch biophysisch reproduzieren. Für die biophysische Reproduktion, also den Aufbau und den Erhalt der physischen Strukturen von Gesellschaft, werden Ressourcen genutzt.

Das Konzept des **gesellschaftlichen Stoffwechsels (oder gesellschaftlichen Metabolismus)** geht davon aus, dass eine Gesellschaft ähnlich wie ein biologischer Organismus einen „Stoffwechsel“ (oder Austausch) mit seiner natürlichen Umwelt betreibt. Dabei werden Inputs (z. B. Material, Energie, Wasser, Luft) aus der Natur genutzt, umgewandelt und teilweise in die Bestände der Gesellschaft integriert. Über kurz oder lang werden alle diese Inputs (nach ein- oder mehrmaligem Gebrauch) auch wieder zu Outputs, welche die Gesellschaft in Form von Abfällen oder Emissionen an die Natur abgibt. Dieser Stoffwechsel kann in physischen Gesamtrechnungen bilanziert werden.

Die **Materialflussrechnung** (material flow accounting, MFA) ist ein Bilanzierungsinstrument für die materiellen Inputs und Outputs eines gesellschaftlichen Systems. Die MFA ist komplementär zur volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung und Bestandteil der Umweltgesamtrechnungen. Sie erfasst alle Materialentnahmen im Land, Importe und Exporte sowie Bestandsveränderungen und Outputs an die Natur. Das betrachtete sozio-ökonomische System wird dabei analog zur volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung (VGR) definiert und die Grenzen zur natürlichen Umwelt und zu anderen Ökonomien werden entsprechend gesetzt. Von der natürlichen Umwelt gelangen inländisch entnommene Ressourcen (inländische Entnahme) als Inputs in das System und Emissionen und Abfälle fließen als Outputs wieder hierhin zurück. Aus anderen Ökonomien gelangen Importe in das System bzw. fließen Exporte aus dem System in andere Ökonomien.

Ressourcen sind alle physischen Rohstoffe und Bestände, die von der Gesellschaft gezielt entnommen oder in der Natur verändert und genutzt werden. Die physischen Ressourcen selbst gehen durch die Nutzung nicht verloren, sondern werden verändert. Ihre spezifische, für die gesellschaftliche Nutzung relevante Qualität geht dabei in der Regel verloren. In der empirischen Analyse fokussiert dieser Bericht auf stoffliche Ressourcen, also auf Materialien wie Biomasse, fossile Energieträger, metallische und nichtmetallische Mineralstoffe.

Der Begriff **Material** wird für stofflich genutzte Ressourcen verwendet. Materialflüsse werden in Tonnen und entlang von vier Hauptgruppen dargestellt: Biomasse, fossile Energieträger, Metalle und nichtmetallische Mineralstoffe. Materialflüsse, wie sie in der Materialflussrechnung erhoben werden, können auch zu Produkten verarbeitete Rohstoffe umfassen.

Biomasse bezeichnet sämtliche organische Substanz, das sind lebende Pflanzen, Tiere, Mikroorganismen, und auch tote organische Substanz (Totholz, Laub, Stroh etc.). Biomasse wird vielfach als erneuerbarer oder nachwachsender Rohstoff bezeichnet. Die aus Biomasse entstandenen fossilen Energieträger werden in der Materialflussrechnung nicht dazugerechnet.

Fossile Energieträger/Rohstoffe sind nichtmetallische mineralische Rohstoffe, die über Jahrmillionen in der Erdkruste aus pflanzlichen oder tierischen Überresten entstanden sind und vorwiegend für die Energiegewinnung verwendet werden.

Zu den **Metallen** zählen mineralische Materialien von den Erzen bis hin zu den bearbeiteten Metallen. Die Rohstoffwissenschaften definieren Erze als mineralische Materialien, aus denen mit wirtschaftlichem Nutzen Metalle gewonnen werden können. In der Materialflussanalyse werden Metalle in Eisenerze und Nichteisenerze unterteilt.

Die Gruppe der **nichtmetallischen Mineralstoffe** umfasst Baurohstoffe und Industriemineralien. Baurohstoffe sind nichtmetallische mineralische Rohstoffe wie zum Beispiel Sand und Kies, die in großen Mengen für Bauzwecke benötigt werden. Industriemineralien sind mineralische Rohstoffe, die aufgrund ihrer chemischen oder physikalischen Eigenschaften direkt in einem Produktionsvorgang eingesetzt werden können. Nicht zu den Industriemineralien werden Erze, Baurohstoffe bzw. Energierohstoffe gezählt.

Fossile Energieträger, metallische und nichtmetallische Mineralstoffe werden auch als **mineralische Rohstoffe** zusammengefasst. Sie sind durch geologische Prozesse gebildete anorganische und organische Mineralstoffe im festen, flüssigen oder gasförmigen Zustand, die, in Lagerstätten angereichert, aufgrund ihres Gebrauchswerts wirtschaftlich genutzt werden können.

Die **inländische Materialentnahme** (domestic extraction, DE) umfasst all jene Materialien bzw. Rohstoffe, die von gebietsansässigen Einheiten aus der natürlichen Umwelt entnommen werden, um in der Wirtschaft verwendet zu werden. Dazu gehören die landwirtschaftliche Ernte, der Holzeinschlag und die Bergbauproduktion.

Die physischen **Importe und Exporte** beinhalten alle gehandelten Güter mit der Masse, die sie bei Grenzüberschreitung aufweisen. Die Güter umfassen Produkte ganz unterschiedlicher Fertigungstiefe, von einfachen Erzeugnissen über Halbwaren bis zu Fertigwaren. Die gehandelten Produkte werden in der MFA einer der vier Materialkategorien zugeteilt, je nachdem, woraus sie hauptsächlich bestehen. Für einzelne Produkte ist keine Zuordnung zu einer der vier Materialkategorien möglich, diese werden unter „andere Produkte“ zusammengefasst. Dazu gehören z. B. Fabrikanlagen, Antiquitäten, optische Elemente.

Der **inländische Materialverbrauch** (domestic material consumption, DMC) beschreibt den Anteil an Materialien, die in einer Volkswirtschaft verbleiben. Daher entspricht der DMC der inländischen Materialentnahme zuzüglich der Importe und abzüglich der Exporte. In diesem Bericht wird der DMC häufig verkürzt als Materialverbrauch bezeichnet.

Die **physische Handelsbilanz** (physical trade balance, PTB) ergibt sich aus den Importen abzüglich der Exporte. Die physische Handelsbilanz ist umgekehrt zur monetären Handelsbilanz definiert (diese wird aus Exporten abzüglich Importen berechnet). Dadurch wird wiedergegeben, dass Geld und Material in einer Ökonomie in entgegengesetzte Richtungen fließen (Importe bedeuten, dass Geld ins Ausland fließt, während Material in Form des Produkts ins Land kommt). Eine positive PTB (die Importe sind größer als die Exporte) bedeutet, dass das Land ein Netto-Importeur von Materialien ist und folglich auf die Zulieferung von Materialien aus dem Ausland angewiesen ist. Eine negative PTB dagegen charakterisiert Länder, die Materialien auf dem Weltmarkt zur Nutzung in anderen Ländern zur Verfügung stellen.

Die **inländische Abgabe an die Natur** (domestic processed output, DPO) umfasst alle Materialien, die nach Verwendung im sozioökonomischen System als gasförmige, flüssige oder stoffliche Outputs an die natürliche Umwelt abgegeben werden. Sie ist die Summe der inländischen Emissionen in die Luft und das Wasser sowie der unkontrolliert deponierten Abfälle.

Die **Rohmaterialäquivalente** (raw material equivalents, RME) der Importe (RIM) und Exporte (REX) bestehen aus all jenen materiellen Inputs, die in der Produktion der gehandelten Güter benötigt wurden (materielle Vorleistungen), zuzüglich der Masse der Importe und Exporte selbst. Die RME entsprechen den gesamten Rohstoffen, die einem Import oder Export zugrunde liegen, unabhängig davon, wo – also in welcher Ökonomie – die Rohstoffe in der Produktion verbraucht wurden.

Der **Material-Fußabdruck** (material footprint, MF) gibt den inländischen Materialverbrauch in Rohmaterialäquivalenten wieder. Das heißt, er setzt sich zusammen aus der inländischen Entnahme zuzüglich der in RME bemessenen Importe und abzüglich der in RME bemessenen Exporte. Der MF beschreibt damit den gesamten Bedarf an Rohstoffen, die ein Land durch seinen Endkonsum national und global in Anspruch nimmt. Ein anderer, synonym zu verwendender Begriff für den Material-Fußabdruck ist Rohmaterialverbrauch (raw material consumption, RMC), der in früheren Berichten verwendet wurde.

Ressourcenproduktivität (bei einer Betrachtung von Materialflüssen als BIP/DMC) beschreibt das Verhältnis zwischen monetärem Output und Ressourceninput: Wie viele Euro BIP können durch die verbrauchten Materialien erwirtschaftet werden? Die Ressourcenproduktivität ist ein relatives Maß. Eine Steigerung kann also durch ein steigendes BIP oder durch einen sinkenden Materialverbrauch erreicht werden. Die Ressourcenproduktivität wird in der EU auch als Ressourceneffizienz bezeichnet. In den SDGs wird Ressourceneffizienz als der Kehrwert verstanden (DMC/BIP oder MF/BIP), der auch als Ressourcenintensität bezeichnet wird. Die Ressourcenintensität beschreibt, wie viel Ressourcenverbrauch durch das BIP verursacht wird. In diesem Bericht werden die Begriffe Ressourcenproduktivität und Ressourceneffizienz synonym verwendet.

Entkoppelung von ökonomischem Output und Ressourcenverbrauch findet dann statt, wenn das Wirtschaftswachstum höher ist als das Wachstum des Ressourcenverbrauchs (die Ressourceneffizienz also steigt). Es werden zwei Fälle von Entkoppelung unterschieden: Entkoppelung bei steigendem Ressourcenverbrauch (relative Entkoppelung), d. h., die Ressourceneffizienz wächst langsamer als die Wirtschaft, und Entkoppelung bei sinkendem Ressourcenverbrauch (absolute Entkoppelung), d. h., die Ressourceneffizienz wächst schneller als die Wirtschaft.

Das Konzept der **planetaren Grenzen** (auch planetare Belastungsgrenzen; planetary boundaries; Rockström u. a. 2009; Steffen u. a. 2015) definiert biophysische Grenzen der

Erde, deren Überschreiten zu schwerwiegenden Folgen für die Stabilität von Ökosystemen und die Lebensgrundlage der Menschen führt. Dabei werden die folgenden neun planetaren Grenzen definiert (Rockström u. a. 2009b; Steffen u. a. 2015): Klimawandel, Versauerung der Ozeane, stratosphärischer Ozonabbau, biogeochemische Kreisläufe von Stickstoff und Phosphor, Süßwasserverbrauch, Landnutzungsänderungen, Biodiversitätsverluste, chemische Verschmutzung und Einbringen neuartiger Substanzen sowie atmosphärische Aerosolbelastung.

Abkürzungen

BIP	Bruttoinlandsprodukt
DE	inländische Entnahme (domestic extraction)
DMC	inländischer Materialverbrauch (domestic material consumption)
DMI	Materialaufkommen (direct material input)
DPO	inländische Abgabe an die Natur (domestic processed output), das sind Emissionen und Abfälle
EU27	die 27 Mitgliedstaaten der Europäischen Union (ab 2020)
LCA	Lebenszyklusanalyse (life cycle analysis)
MF	Material-Fußabdruck (material footprint)
MFA	Materialflussrechnung (material flow accounting)
PTB	physische Handelsbilanz (physical trade balance)
RMC	Rohmaterialverbrauch (raw material consumption)
RME	Rohmaterialäquivalente (raw material equivalents)
VGR	volkswirtschaftliche Gesamtrechnung

Einheiten

/a	per annum (Pro-Jahr-Angabe)
cap	capita (Pro-Kopf-Angabe)
GJ	Gigajoule (Milliarden Joule)
Gt	Gigatonnen (Milliarden metrische Tonnen)
ha	Hektar
kg	Kilogramm
kt	Kilotonnen (Tausend metrische Tonnen)
MJ	Megajoule (Millionen Joule)
Mt	Megatonnen (Millionen metrische Tonnen)
t	metrische Tonnen

Datentabellen

Datentabelle 1: Österreichische Materialflüsse in Millionen Tonnen pro Jahr, Wachstum und Zusammensetzung der Flüsse nach Materialkategorien, 2000 und 2022 (Werte sind gerundet, Rundungsdifferenzen wurden nicht ausgeglichen. Quelle: Statistik Austria 2024)

	Materialflüsse (1000 t/a)		Wachstum	Anteil am Gesamtfluss	
	2000	2022	2000 - 2022	2000	2022
Inländische Entnahme (DE)	127.682	124.649	-2%	-	-
Biomasse	31.970	36.646	15%	25%	29%
Fossile Energieträger	3.765	996	-74%	3%	1%
Metalle	2.896	4.891	69%	2%	4%
Nicht-metallische Mineralstoffe	89.052	82.116	-8%	70%	66%
Importe	66.771	92.318	38%	-	-
Biomasse	17.395	26.020	50%	25%	28%
Fossile Energieträger	25.163	29.034	15%	40%	31%
Metalle	13.652	20.314	49%	20%	22%
Nicht-metallische Mineralstoffe	7.113	9.815	38%	10%	11%
nicht zuordenbar	3.448	7.075	105%	5%	8%
Abfall zur Endbehandlung und Deponierung	0	59	-	0%	0%
Exporte	40.361	62.599	55%	-	-
Biomasse	15.626	23.920	53%	37%	38%
Fossile Energieträger	5.770	9.434	63%	17%	15%
Metalle	9.579	14.800	55%	23%	24%
Nicht-metallische Mineralstoffe	6.680	9.103	36%	16%	15%
nicht zuordenbar	2.706	5.202	92%	7%	8%
Abfall zur Endbehandlung und Deponierung	0	141	0%	0%	0%
Inländischer Materialverbrauch (DMC)	154.092	154.368	0%	-	-
Biomasse	33.739	38.746	15%	23%	25%
Fossile Energieträger	23.158	20.597	-11%	16%	13%
Metalle	6.969	10.405	49%	4%	7%
Nicht-metallische Mineralstoffe	89.484	82.828	-7%	57%	54%
nicht zuordenbar	742	1.874	153%	0%	1%
Abfall zur Endbehandlung und Deponierung	0	-81	0%	0%	0%

Datentabelle 2: Österreichischer inländischer Materialverbrauch (DMC) in Tonnen pro Kopf und Jahr nach Materialkategorien und Wachstum zwischen 2000 und 2018 (Werte sind gerundet, Rundungsdifferenzen wurden nicht ausgeglichen. Quelle: Statistik Austria 2024)

	Materialflüsse (t/cap/a)		Wachstum	Anteil am Gesamtfluss	
	2000	2022	2000 - 2022	2000	2022
Inländischer Materialverbrauch (DMC)	19	17	-4%	-	-
Biomasse	4,2	4,3	11%	22%	25%
Fossile Energieträger	2,9	2,3	-13%	15%	13%
Metalle	0,9	1,1	39%	5%	7%
Nicht-metallische Mineralstoffe	11,2	9,1	-12%	58%	54%
nicht zuordenbar	0,1	0,2	183%	0%	1%
Abfall zur Endbehandlung und Deponierung	0,0	0,0	0%	0%	0%

Datentabelle 3: Österreichische Ressourcenproduktivität und ihre Komponenten inländischer Materialverbrauch und Bruttoinlandsprodukt, 2000 und 2022, sowie Wachstum zwischen 2000 und 2022

	2000	2022	Wachstum 2000 - 2022
Ressourcenproduktivität RP-DMC (BIP/DMC)	1.821	2.464	35%
Inländischer Materialverbrauch (DMC; Mt/a)	154	154	0%
Bruttoinlandsprodukt (BIP; M€/a)	280.579	380.417	36%

Datentabelle 4: Österreichische Materialflüsse nach Materialkategorien in Millionen Tonnen pro Jahr, 2000–2022
(Werte sind gerundet, Rundungsdifferenzen wurden nicht ausgeglichen. Quelle: Statistik Austria 2024)

	'00	'01	'02	'03	'04	'05	'06	'07	'08	'09	'10	'11	'12	'13	'14	'15	'16	'17	'18	'19	'20	'21	'22
inländische Entnahme (DE)	128	124	134	127	133	136	136	141	139	128	126	132	123	122	129	123	124	123	123	125	123	131	125
Biomasse	32	33	34	33	36	37	37	38	41	37	37	39	36	35	39	35	39	35	35	35	36	38	37
foss. En.träger	4	4	4	4	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1
Metalle	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	5	5	5	5
n.met. Minerale	89	84	93	87	91	93	94	97	93	85	83	88	82	82	85	82	80	82	83	84	82	87	82
Importe	67	69	72	75	79	83	89	92	90	81	89	93	93	91	88	91	94	98	99	100	98	101	92
Biomasse	17	17	17	18	20	20	23	23	22	22	23	24	23	25	24	25	26	27	28	28	29	29	26
foss. En.träger	25	27	29	31	31	33	33	33	33	31	33	34	34	32	31	32	34	34	34	36	32	33	29
Metalle	14	14	14	15	16	17	19	21	21	15	20	22	21	19	18	19	19	21	21	19	18	21	20
n.met. Minerale	7	7	7	7	8	8	9	10	9	8	8	9	8	9	10	10	9	10	10	10	9	10	10
nicht zuordenbar	3	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5	6	6	6	6	6	6	6	5	7	10	7	7
Abfall zur Endbeh., Deponierung	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Exporte	40	43	46	48	52	54	57	63	63	54	59	60	59	59	60	62	64	65	66	66	62	66	63
Biomasse	16	16	17	18	19	20	21	22	22	20	21	22	21	21	21	22	23	23	24	24	24	25	24
foss. En.träger	6	7	8	8	9	10	10	12	12	10	11	12	11	11	11	11	12	12	12	12	11	11	9
Metalle	10	10	10	11	12	12	13	14	15	11	13	14	14	14	15	14	15	16	15	15	14	15	15
n.met. Minerale	7	7	8	8	8	8	9	10	10	8	9	9	8	8	9	9	9	9	9	9	9	10	9
nicht zuordenbar	3	3	3	3	4	4	4	4	5	4	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5	5	5	5
Abfall zur Endbeh., Deponierung	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
inländ. Materialverbrauch (DMC)	154	150	159	153	160	165	168	170	166	155	156	165	157	154	157	152	155	155	156	158	160	165	154
Biomasse	34	34	34	32	37	37	39	38	41	38	38	41	38	39	41	38	42	39	39	39	42	42	39
foss. En.träger	23	24	25	27	25	26	26	24	23	23	24	24	25	23	22	22	24	24	23	25	23	22	21
Metalle	7	7	7	7	7	8	9	10	9	7	10	11	10	9	7	8	8	9	10	9	9	11	10
n.met. Minerale	89	84	92	87	90	93	93	97	92	85	83	88	82	82	86	83	80	82	84	84	82	88	83
nicht zuordenbar	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	2	5	2	2
Abfall zur Endbeh., Deponierung	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Datentabelle 5: Österreichischer inländischer Materialverbrauch (DMC) nach Materialkategorien (t/cap/a), 2000–2022 (Werte sind gerundet, Rundungsdifferenzen wurden nicht ausgeglichen. Quelle: Statistik Austria 2024)

[illegible]

Datentabelle 6: Österreichische Ressourcenproduktivität (Euro/kg/a) und ihre Komponenten inländischer Materialverbrauch (DMC; Mt/a) und Bruttoinlandsprodukt (BIP; Milliarden Euro/a), 2000–2022 (Werte sind gerundet, Rundungsdifferenzen wurden nicht ausgeglichen. Quelle: Statistik Austria 2024)

	'00	'01	'02	'03	'04	'05	'06	'07	'08	'09	'10	'11	'12	'13	'14	'15	'16	'17	'18	'19	'20	'21	'22
Ressourcenproduktivität (RP-DMC; Euro/t/a)	1.821	1.895	1.812	1.902	1.875	1.855	1.889	1.929	2.008	2.070	2.096	2.036	2.158	2.205	2.167	2.266	2.268	2.312	2.361	2.355	2.184	2.198	2.464
inländischer Materialverbrauch (DMC; Mt/a)	154	150	159	153	160	165	168	170	166	155	156	165	157	154	157	152	155	155	156	158	160	165	154
Bruttoinlandsprodukt (BIP; Billion Euro/a)	281	284	289	292	300	306	317	328	333	321	327	336	338	338	341	344	351	359	368	373	348	363	380

Datentabelle 7: Österreichischer Material-Fußabdruck, 2008–2020 (Werte sind gerundet, Rundungsdifferenzen wurden nicht ausgeglichen. Quelle: Statistik Austria 2024)

	Materialflüsse (Mt/a)		Wachstum	Materialflüsse (t/cap/a)		Wachstum
	2008	2020	2008 - 2020	2008	2020	2008 - 2020
Material-Fußabdruck (MF)	208.685	198.532	-5%	25	22	-11%
Biomasse	41.746	41.834	0%	5,0	4,7	-6%
Fossile Energieträger	39.617	38.596	-3%	4,8	4,3	-9%
Metalle	25.995	25.731	-1%	3,1	2,9	-8%
Nicht-metallische Mineralstoffe	101.327	92.371	-9%	12,2	10,4	-15%

Datentabelle 8: Österreichische inländische Abgabe an die Natur (DPO) nach Subkategorien, 2000–2022
(Werte sind gerundet, Rundungsdifferenzen wurden nicht ausgeglichen. Quelle: Statistik Austria 2024)

	Materialflüsse (Mt/a)		Wachstum	Anteil am Gesamtfluss	
	2000	2022	2000 - 2022	2000	2022
inländisch produzierte Abgabe (DPO)	82.685	93.761	15%	-	-
Luftemissionen	77.626	89.145	15%	94%	95%
Abfallablagerung in die Umwelt	0	0		0%	0%
MEMO deponierter Abfall	85	50	-42%	2%	4%
Abgaben an Gewässer	4.971	4.562	-8%	0%	0%
dissipative Nutzung von Gütern	2	5	106%	6%	5%
dissipative Verluste	1.570	4.112	162%	0%	0%

	Materialflüsse (t/cap/a)		Wachstum	Anteil am Gesamtfluss	
	2000	2022	2000 - 2022	2000	2022
inländisch produzierte Abgabe (DPO)	10	10	0 %	-	-
Luftemissionen	9,7	9,8	2 %	94 %	95 %
Abfallablagerung in die Umwelt	0,0	0,0	-	0 %	0 %
MEMO deponierter Abfall	0,2	0,5	132 %	2 %	4 %
Abgaben an Gewässer	0,0	0,0	-48 %	0 %	0 %
dissipative Nutzung von Gütern	0,6	0,5	-19 %	6 %	5 %
dissipative Verluste	0,0	0,0	82 %	0 %	0 %

Literaturverzeichnis

Bärnthaler, Richard. 2024. When enough is enough: Introducing sufficiency corridors to put techno-economism in its place. *Ambio*. doi.org/10.1007/s13280-024-02027-2.

Behnassi, Mohamed und Mahjoub El Haiba. 2022. Implications of the Russia–Ukraine war for global food security. *Nature Human Behaviour* 6: 754–755. doi.org/10.1038/s41562-022-01391-x.

Bernstein, Aaron S., Amy W. Ando, Ted Loch-Temzelides, Mariana M. Vale, Binbin V. Li, Hongying Li, Jonah Busch u. a. 2022. The costs and benefits of primary prevention of zoonotic pandemics. *Science Advances* 8: eabl4183. doi.org/10.1126/sciadv.abl4183.

BM LFRW. 2023. Trinkwasserverbrauch und Wasserversorgung.

BMF. 2022. Österreichisches Montan-Handbuch 2022. 96. Jahrgang. Wien: Bundesministerium für Finanzen.

BMF. 2023. World Mining Data 2023. Autoren: Christian Reichl und Michael Schatz. Volume 38. Vienna: Federal Ministry of Finance (BMF).

BMK. 2021. Umweltgesamtrechnungen.

BMK. 2022. Kreislaufwirtschafts-Strategie.

BMK. 2023. Bundes-Abfallwirtschaftsplan 2023. Teil 1. Wien.

BMK. 2024. Erster Fortschrittsbericht zur österreichischen Kreislaufwirtschaftsstrategie. Mai 2024. Wien: Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie.

BMK und BMLRT. 2020. Ressourcennutzung in Österreich 2020. Band 3. Autor:innen: Nina Eisenmenger, Barbara Plank, Eva Milota, Sylvia Gierlinger.

BMLFUW und BMWFJ. 2011. Ressourcennutzung in Österreich – Bericht 2011. Autor:innen: Nina Eisenmenger, Anke Schaffartzik, Fridolin Krausmann, Eva Milota. Wien.

BMLFUW und BMFWF. 2015. Ressourcennutzung in Österreich – Bericht 2015. Autor:innen: Anke Schaffartzik, Nina Eisenmenger, Fridolin Krausmann, Eva Milota.

BMLRT. 2021. Masterplan Rohstoffe 2030. Wien: Bundesministerium für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus.

BMNT, BMBWF und BMVIT. 2019. Bioökonomie. Eine Strategie für Österreich. Wien: Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus, Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Forschung, Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie.

Brand, Ulrich, Christoph Görg und Markus Wissen. 2020. Overcoming neoliberal globalization: Social-ecological transformation from a Polanyian perspective and beyond. *Globalizations* 17: 161–176. doi.org/10.1080/14747731.2019.1644708.

Brand-Correa, Lina I., Giulio Mattioli, William F. Lamb und Julia K. Steinberger. 2020. Understanding (and tackling) need satisfier escalation. *Sustainability: Science, Practice and Policy* 16: 309–325. doi.org/10.1080/15487733.2020.1816026.

Carmona, Luis Gabriel, Kai Whiting und Jonathan Cullen. 2022. A stock-flow-service nexus vision of the low carbon economy. *Energy Reports* 8: 565–575. doi.org/10.1016/j.egy.2022.10.086.

Chancel, Lucas. 2022. Global carbon inequality over 1990–2019. *Nature Sustainability* 5: 931–938. doi.org/10.1038/s41893-022-00955-z.

Chowdhury, Priyabrata, Sanjoy Kumar Paul, Shahriar Kaiser und Md. Abdul Moktadir. 2021. COVID-19 pandemic related supply chain studies: A systematic review. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review* 148: 102271. doi.org/10.1016/j.tre.2021.102271.

Creutzig, Felix, J. Roy, P. Devine-Wright, J. Diaz-José, F.W. Geels, Arnulf Grubler, N. Maizi u. a. 2022. Demand, services and social aspects of mitigation. In *Climate Change 2022 – Mitigation of Climate Change: Working Group III Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Hrsg. Intergovernmental Panel On Climate Change (IPCC), 1. Aufl. Cambridge University Press. doi.org/10.1017/9781009157926.

CSIRO. 2022. Technical annex for Global Material Flows Database – 2021 edition. Last Revised: 30th August 2022. Australia's National Science Agency.

Dobson, Andrew P., Stuart L. Pimm, Lee Hannah, Les Kaufman, Jorge A. Ahumada, Amy W. Ando, Aaron Bernstein u. a. 2020. Ecology and economics for pandemic prevention. *Science* 369: 379–381. doi.org/10.1126/science.abc3189.

Dorninger, Christian, Alf Hornborg, David J. Abson, Henrik von Wehrden, Anke Schaffartzik, Stefan Giljum, John-Oliver Engler, Robert L. Feller, Klaus Hubacek und Hanspeter Wieland. 2021. Global patterns of ecologically unequal exchange: Im-

plications for sustainability in the 21st century. *Ecological Economics* 179: 106824. doi.org/10.1016/j.ecolecon.2020.106824.

EEA. 2023. Conditions and pathways for sustainable and circular consumption in Europe. Briefing no. 11/2023.

Eisenmenger, Nina, Dominik Wiedenhofer, Anke Schaffartzik, Stefan Giljum, Martin Bruckner, Heinz Schandl, Thomas O. Wiedmann, Manfred Lenzen, Arnold Tukker, und Arjan Koning. 2016. Consumption-based material flow indicators — Comparing six ways of calculating the Austrian raw material consumption providing six results. *Ecological Economics* 128: 177–186. doi.org/10.1016/j.ecolecon.2016.03.010.

Elhacham, Emily, Liad Ben-Uri, Jonathan Grozovski, Yinon M. Bar-On und Ron Milo. 2020. Global human-made mass exceeds all living biomass. *Nature* 588: 442–444. doi.org/10.1038/s41586-020-3010-5.

Eora. 2014. The Eora MRIO Database.

EU. 2011. European environmental economic accounts. Regulation (EU) No 691/2011 of the European Parliament and of the Council. Official Journal of the European Union

European Commission. 2011. A resource-efficient Europe – flagship initiative under the Europe 2020 Strategy. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions COM(2011) 21. Brussels.

European Commission. 2014. Towards a circular economy: A zero waste programme for Europe. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions COM(2014) 398 final/2. Brussels.

European Commission. 2019. The European Green Deal. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions COM(2019) 640 final. Brussels.

European Commission. 2023a. A revised monitoring framework for the circular economy. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions COM(2023) 306 final. Brussels.

European Commission. 2023b. Circular Economy.

European Commission. 2023c. Establishing a framework for ensuring a secure and sustainable supply of critical raw materials and amending regulations (EU) 168/2013, (EU) 2018/858, 2018/1724 and (EU) 2019/1020. Regulation of the European Parliament and of the Council COM(2023) 160 final. Brussels.

Eurostat. 2001. Economy-wide material flow accounts and derived indicators. A methodological guide. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities.

Eurostat. 2002. Material use in the European Union 1980–2000. Indicators and Analysis. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities. Authors: Weisz, H., Fischer-Kowalski, M., Amann, C., Eisenmenger, N., Hubacek, K., and Krausmann, F.

Eurostat. 2015. Water statistics – Statistics explained.

Eurostat. 2018. Economy-wide material flow accounts. Handbook 2018 edition. Luxembourg: European Union.

Eurostat. 2023a. Eurostat databases.

Eurostat. 2023b. Material flow accounts statistics – material footprints.

Eurostat. 2023c. Database. Material flow accounts.

Eurostat. 2023d. Database. Material footprints.

Eurostat. 2023e. Waste. Targets.

Eurostat. 2024a. Database. Material flow accounts – domestic processed output.

Eurostat. 2024b. EU circular economy monitoring framework.

Eurostat. 2024c. Circular material use rate.

Eurostat. 2024d. Eurostat. Statistics explained. Circular economy – material flows.

Fanning, Andrew L., Daniel W. O'Neill, Jason Hickel und Nicolas Roux. 2022. The social shortfall and ecological overshoot of nations. *Nature Sustainability* 5: 26–36. doi.org/10.1038/s41893-021-00799-z.

FAO. 2023. FAOSTAT statistical database.

Fishman, Tomer, Heinz Schandl, Hiroki Tanikawa, Paul Walker, und Fridolin Krausmann. 2014. Accounting for the Material Stock of Nations. *Journal of Industrial Ecology* 18: 407–420. doi.org/10.1111/jiec.12114.

Forrester, Jay W. 1994. System dynamics, systems thinking, and soft OR. *System Dynamics Review* 10: 245–256. doi.org/10.1002/sdr.4260100211.

Fuchs, Doris, Marlyne Sahakian, Tobias Gumbert, Antonietta Di Giulio, Michael Maniates, Sylvia Lorek und Antonia Graf. 2021. Consumption corridors. Living a good life within sustainable limits. London and New York: Routledge, Taylor & Francis Group.

Giljum, Stefan, Victor Maus, Nikolas Kuschnig, Sebastian Luckeneder, Michael Tost, Laura J. Sonter und Anthony J. Bebbington. 2022. A pantropical assessment of deforestation caused by industrial mining. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 119: e2118273119. doi.org/10.1073/pnas.2118273119.

Giljum, Stefan, Hanspeter Wieland, Stephan Lutter, Nina Eisenmenger, Heinz Schandl und Anne Owen. 2019. The impacts of data deviations between MRIO models on material footprints: A comparison of EXIOBASE, Eora, and ICIO. *Journal of Industrial Ecology* 23: 946–958. doi.org/10.1111/jiec.12833.

Gingrich, Simone, Maria Niedertscheider, Thomas Kastner, Helmut Haberl, Georgia Cosor, Fridolin Krausmann, Tobias Kuemmerle u. a. 2015. Exploring long-term trends in land use change and aboveground human appropriation of net primary production in nine European countries. *Land Use Policy* 47: 426–438. doi.org/10.1016/j.landusepol.2015.04.027.

Görg, Christoph, Ulrich Brand, Helmut Haberl, Diana Hummel, Thomas Jahn und Stefan Liehr. 2017. Challenges for social-ecological transformations: Contributions from social and political ecology. *Sustainability* 9: 1045. doi.org/10.3390/su9071045.

Görg, Christoph, Verena Madner, Andreas Muhar, Andreas Novy, Alfred Posch, Karl W. Steininger und Ernest Aigner, Hrsg. 2023. APCC Special Report: Strukturen für ein klimafreundliches Leben. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. doi.org/10.1007/978-3-662-66497-1.

Graedel, T. E. 2010. Metal stocks in society: scientific synthesis. Working Group on the Global Metal Flows. Nairobi: UNEP.

Grafström, Jonas und Siri Aasma. 2021. Breaking circular economy barriers. *Journal of Cleaner Production* 292: 126002. doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126002.

Haas, Willi, Fridolin Krausmann, Dominik Wiedenhofer und Markus Heinz. 2015. How circular is the global economy? An assessment of material flows, waste production, and recycling in the European Union and the world in 2005. *Journal of Industrial Ecology* 19: 765–777. doi.org/10.1111/jiec.12244.

Haas, Willi, Fridolin Krausmann, Dominik Wiedenhofer, Christian Lauk und Andreas Mayer. 2020. Spaceship earth's odyssey to a circular economy – a century long perspective. *Resources, Conservation and Recycling* 163: 105076. doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105076.

Haas, Willi, Ina Meyer, Doris Virág, Gerald Kalt, André Baumgart, Nina Eisenmenger, Mark Sommer und Kurt Kratena. 2024. Circular economy and decarbonisation: Synergies and trade-offs (CE DC). Endbericht ACRP Forschungsprojekt KR19AC0K17512. Wien.

Haas, Willi, Andreas Muhar, Christian Dorninger und Katharina Gugerell. 2023. Kapitel 23. Synthese: Pfade zur Transformation struktureller Bedingungen für ein klimafreundliches Leben. In *APCC Special Report: Strukturen für ein klimafreundliches Leben (APCC SR Klimafreundliches Leben)*, Hrsg. Christoph Görg, Verena Madner, Andreas Muhar, Andreas Novy, Alfred Posch, Karl W. Steininger und Ernest Aigner. Berlin: Springer Spektrum.

Haberl, Helmut, Marina Fischer-Kowalski, Fridolin Krausmann und Verena Winiwarter, Hrsg. 2016. *Social ecology: Society-nature relations across time and space. Human-Environment Interactions volume 5*. Switzerland: Springer.

Haberl, Helmut, Markus Löw, Alejandro Perez-Laborda, Sarah Matej, Barbara Plank, Dominik Wiedenhofer, Felix Creutzig, Karl-Heinz Erb und Juan Antonio Duro. 2023. Built structures influence patterns of energy demand and CO₂ emissions across countries. *Nature Communications* 14: 3898. doi.org/10.1038/s41467-023-39728-3.

Haberl, Helmut, Martin Schmid, Willi Haas, Dominik Wiedenhofer, Henrike Rau und Verena Winiwarter. 2021. Stocks, flows, services and practices: Nexus approaches to sustainable social metabolism. *Ecological Economics* 182: 106949. doi.org/10.1016/j.ecolecon.2021.106949.

Haberl, Helmut, Dominik Wiedenhofer, Karl-Heinz Erb, Christoph Görg und Fridolin Krausmann. 2017. The material stock-flow-service nexus: A new approach for tackling the decoupling conundrum. *Sustainability* 9: 1049. NE-box. doi.org/10.3390/su9071049.

Haberl, Helmut, Dominik Wiedenhofer, Stefan Pauliuk, Fridolin Krausmann, Daniel B. Müller und Marina Fischer-Kowalski. 2019. Contributions of sociometabolic research to sustainability science. *Nature Sustainability* 2: 173–184. NE-box. doi.org/10.1038/s41893-019-0225-2.

Haberl, Helmut, Dominik Wiedenhofer, Franz Schug, David Frantz, Doris Virág, Christoph Plutzar, Karin Gruhler u. a. 2021. High-resolution maps of material stocks in buildings and infrastructures in Austria and Germany. *Environmental Science & Technology* accepted.

Haberl, Helmut, Dominik Wiedenhofer, Doris Virág, Gerald Kalt, Barbara Plank, Paul Brockway, Tomer Fishman u. a. 2020. A systematic review of the evidence on decoupling of GDP, resource use and GHG emissions, part II: Synthesizing the insights. *Environmental Research Letters*. doi.org/10.1088/1748-9326/ab842a.

Helander, Hanna, Anna Petit Boix, Sina Leipold und Stefan Bringezu. 2019. How to monitor environmental pressures of a circular economy: An assessment of indicators. *Journal of Industrial Ecology* 23: 1278–1291. doi.org/10.1111/jiec.12924.

Hickel, Jason. 2019. The contradiction of the sustainable development goals: Growth versus ecology on a finite planet. *Sustainable Development* 27: 873–884. doi.org/10.1002/sd.1947.

Hickel, Jason und Giorgos Kallis. 2019. Is green growth possible? *New Political Economy*: 1–18. doi.org/10.1080/13563467.2019.1598964.

Hubacek, Klaus, Giovanni Baiocchi, Kuishuang Feng, Raúl Muñoz Castillo, Laixiang Sun und Jinjun Xue. 2017. Global carbon inequality. *Energy, Ecology and Environment* 2: 361–369. doi.org/10.1007/s40974-017-0072-9.

Infante-Amate, Juan und Fridolin Krausmann. 2019. Trade, ecologically unequal exchange and colonial legacy: The case of France and its former colonies (1962–2015). *Ecological Economics* 156: 98–109. NE-box. doi.org/10.1016/j.ecolecon.2018.09.013.

IPCC. 2023. Summary for policymakers. In: *Climate change 2023: Synthesis report. Contribution of working groups I, II and III to the sixth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. First. Geneva, Switzerland: Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.

Jackson, Tim. 2014. Sustainable consumption. In: *Handbook of Sustainable Development*, Hrsg. Giles Atkinson, Simon Dietz, Eric Neumayer und Matthew Agarwala. Edward Elgar Publishing. doi.org/10.4337/9781782544708.00029.

Jackson, Tim und Peter A. Victor. 2019. Unraveling the claims for (and against) green growth. *Science* 366: 950–951. doi.org/10.1126/science.aay0749.

Jacobi, Nikolai, Willi Haas, Dominik Wiedenhofer und Andreas Mayer. 2018. Providing an economy-wide monitoring framework for the circular economy in Austria: Status quo and challenges. *Resources, Conservation and Recycling* 137: 156–166. NE-box. doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.05.022.

Jandl, Robert, Ulrike Tappeiner, Cecilie Birgitte Foldal und Karlheinz Erb, Hrsg. 2024. APCC Special Report: Landnutzung und Klimawandel in Österreich. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. doi.org/10.1007/978-3-662-67864-0.

Jonas, Michael, Andreas Novy, Richard Bärnthaler, Veronica Karabaczek, Leonhard Plank und Thomas Schinko. 2023. Kapitel 27. Theorien des Wandels und der Gestaltung von Strukturen: Bereitstellungsperspektive. In APCC Special Report: Strukturen für ein klimafreundliches Leben (APCC SR Klimafreundliches Leben), Hrsg. Christoph Görg, Verena Madner, Andreas Muhar, Andreas Novy, Alfred Posch, Karl W. Steininger und Ernest Aigner. Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum.

Kirchherr, Julian, Denise Reike und Marko Hekkert. 2017. Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resources, Conservation and Recycling* 127: 221–232. doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005.

de Koning, Arjan, Martin Bruckner, Stephan Lutter, Richard Wood, Konstantin Stadler und Arnold Tukker. 2015. Effect of aggregation and disaggregation on embodied material use of products in input–output analysis. *Ecological Economics* 116: 289–299. doi.org/10.1016/j.ecolecon.2015.05.008.

Korhonen, Jouni, Antero Honkasalo und Jyri Seppälä. 2018. Circular economy: The concept and its limitations. *Ecological Economics* 143: 37–46. doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.06.041.

Krausmann, Fridolin, Christian Lauk, Willi Haas und Dominik Wiedenhofer. 2018. From resource extraction to outflows of wastes and emissions: The socioeconomic metabolism of the global economy, 1900–2015. *Global Environmental Change* 52: 131–140. doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2018.07.003.

Krausmann, Fridolin, Heinz Schandl, Nina Eisenmenger, Stefan Giljum und Tim Jackson. 2017. Material flow accounting: Measuring global material use for sustainable development. *Annual Review of Environment and Resources* 42: 647–675. doi.org/10.1146/annurev-environ-102016-060726.

Krausmann, Fridolin, Dominik Wiedenhofer und Helmut Haberl. 2020. Growing stocks of buildings, infrastructures and machinery as key challenge for compliance with climate targets. *Global Environmental Change* 61: 102034. doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2020.102034.

Krausmann, Fridolin, Dominik Wiedenhofer, Christian Lauk, Willi Haas, Hiroki Tanikawa, Tomer Fishman, Alessio Miatto, Heinz Schandl und Helmut Haberl. 2017. Global socioeconomic material stocks rise 23-fold over the 20th century and require half of annual resource use. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 114: 1880–1885. doi.org/10.1073/pnas.1613773114.

Lade, Steven J., Will Steffen, Wim De Vries, Stephen R. Carpenter, Jonathan F. Donges, Dieter Gerten, Holger Hoff, Tim Newbold, Katherine Richardson und Johan Rockström. 2019. Human impacts on planetary boundaries amplified by earth system interactions. *Nature Sustainability* 3: 119–128. doi.org/10.1038/s41893-019-0454-4.

Lauk, Christian, Lisa Kaufmann, Michaela C. Theurl, Fritz Wittmann, Michael Eder, Stefan Hörtenhuber, Bernhard Freyer und Fridolin Krausmann. 2022. Demand side options to reduce greenhouse gas emissions and the land footprint of urban food systems: A scenario analysis for the city of Vienna. *Journal of Cleaner Production* 359: 132064. doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132064.

Lenton, Timothy M., Johan Rockström, Owen Gaffney, Stefan Rahmstorf, Katherine Richardson, Will Steffen und Hans Joachim Schellnhuber. 2019. Climate tipping points — too risky to bet against. *Nature* 575: 592–595. doi.org/10.1038/d41586-019-03595-0.

Lenzen, Manfred, Arne Geschke, Muhammad Daaniyall Abd Rahman, Yanyan Xiao, Jacob Fry, Rachel Reyes, Erik Dietzenbacher u. a. 2017. The Global MRIO Lab – charting the world economy. *Economic Systems Research* 29: 158–186. doi.org/10.1080/09535314.2017.1301887.

Lenzen, Manfred, Arne Geschke, James West, Jacob Fry, Arunima Malik, Stefan Giljum, Llorenç Milà i Canals u. a. 2021. Implementing the material footprint to measure progress towards sustainable development goals 8 and 12. *Nature Sustainability* 5: 157–166. doi.org/10.1038/s41893-021-00811-6.

Lenzen, Manfred, Daniel Moran, Keiichiro Kanemoto, Barney Foran, L. Lobefaro und Arne Geschke. 2012. International trade drives biodiversity threats in developing nations. *Nature* 486: 109–112. NE-box.

Lenzen, Manfred, Daniel Moran, Keiichiro Kanemoto und Arne Geschke. 2013. Building Eora: A global multi-region input-output database at high country and sector resolution. *Economic Systems Research* 25: 20–49. doi.org/10.1080/09535314.2013.769938.

Luckeneder, Sebastian, Stefan Giljum, Anke Schaffartzik, Victor Maus und Michael Tost. 2021. Surge in global metal mining threatens vulnerable ecosystems. *Global Environmental Change* 69: 102303. doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2021.102303.

Marques, Alexandra, Inês S. Martins, Thomas Kastner, Christoph Plutzer, Michaela C. Theurl, Nina Eisenmenger, Mark A. J. Huijbregts u. a. 2019. Increasing impacts of land use on biodiversity and carbon sequestration driven by population and economic growth. *Nature Ecology & Evolution*. NE-box. doi.org/10.1038/s41559-019-0824-3.

Mayer, Andreas, Willi Haas, Dominik Wiedenhofer, Fridolin Krausmann, Philip Nuss und Gian Andrea Blengini. 2018. Measuring progress towards a circular economy. A monitoring framework for economy-wide material loop closing in the EU28. *Journal of Industrial Ecology*. doi.org/10.1111/jiec.12809.

Meadows, D.H., D.L. Meadows, J. Randers und W.W. Behrens. 1972. The limits to growth: A report for the Club of Rome's project on the predicament of mankind. New York: Universe Books.

Miatto, Alessio, Nargessadat Emami, Kylie Goodwin, James West, Mohammad Sadegh Taskhiri, Thomas Wiedmann und Heinz Schandl. 2024. Australia's circular economy metrics and indicators. *Journal of Industrial Ecology*: jiec.13458. doi.org/10.1111/jiec.13458.

Millward-Hopkins, Joel. 2022. Inequality can double the energy required to secure universal decent living. *Nature Communications* 13: 5028. doi.org/10.1038/s41467-022-32729-8.

Millward-Hopkins, Joel, Julia K. Steinberger, Narasimha D. Rao und Yannick Oswald. 2020. Providing decent living with minimum energy: A global scenario. *Global Environmental Change* 65: 102168. doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2020.102168.

Moraga, Gustavo, Sophie Huysveld, Fabrice Mathieux, Gian Andrea Blengini, Luc Alaerts, Karel Van Acker, Steven de Meester und Jo Dewulf. 2019. Circular economy indicators: What do they measure? *Resources, Conservation and Recycling* 146: 452–461. NE-box. doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.03.045.

Morseletto, Piero. 2020. Targets for a circular economy. *Resources, Conservation and Recycling* 153: 104553. NE-box. doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104553.

Neubauer, Milla und Sylvia Gierlinger. 2022. Umweltgesamtrechnungen Modul Materialflussrechnung. Zeitreihe 2000 bis 2020. Projektbericht. Wien: Statistik Austria.

Neubauer, Milla, Sylvia Gierlinger, Sascha Baud und Statistik Austria, Direktion Raumwirtschaft, Bereich Energie, Umwelt. 2023. Standard-Dokumentation, Metainformationen (Definitionen, Erläuterungen, Methoden, Qualität) zur Materialflussrechnung. Wien: Statistik Austria.

Neunteufel, Roman, Nadine Sinemus und Maximilian Grunert. 2021. Virtuelles Wasser 2021. Wasserfußabdruck – der Wasserverbrauch für Güter des täglichen Bedarfs. Bundesministerium für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus und Österreichische Vereinigung für das Gas- und Wasserfach. Autor:innen von der Universität für Bodenkultur Wien, Inst. für Siedlungswasserbau, Industriewasserwirtschaft und Gewässerschutz. Wien: Bundesministerium für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus.

Novy, Andreas, Richard Bärnthaler und Magdalena Prieler. 2023. Zukunftsfähiges Wirtschaften: Herausforderungen der sozialökologischen Transformation. 2., überarbeitete Auflage. Arbeitsgesellschaft im Wandel. Weinheim Basel: Beltz Juventa.

Nuss, Philip, Gian Andrea Blengini, Willi Haas, Andreas Mayer, Viorel Nita und David Pennington. 2017. Development of a Sankey diagram of material flows in the EU economy based on Eurostat Data. EUR 28811. JRC Technical Reports. Luxembourg: Publication Office of the European Union.

OECD. 2018. Global material resources outlook to 2060: Economic drivers and environmental consequences. ENV/EPOC/WPEI(2015)1. Paris: OECD Publishing.

OECD. 2023. Green growth and sustainable development.

O'Neill, Daniel W., Andrew L. Fanning, William F. Lamb und Julia K. Steinberger. 2018. A good life for all within planetary boundaries. *Nature Sustainability* 1: 88–95. NE-box. doi.org/10.1038/s41893-018-0021-4.

ÖROK. 2024. Flächeninanspruchnahme bis 2021.

Ottelin, Juudit, Hale Cetinay und Paul Behrens. 2020. Rebound effects may jeopardize the resource savings of circular consumption: Evidence from household material footprints. *Environmental Research Letters* 15: 104044. doi.org/10.1088/1748-9326/abaa78.

Otto, Ilona M., Kyoung Mi Kim, Nika Dubrovsky und Wolfgang Lucht. 2019. Shift the focus from the super-poor to the super-rich. *Nature Climate Change* 9: 82–84. doi.org/10.1038/s41558-019-0402-3.

ÖVGW. 2019. Die österreichische Trinkwasserwirtschaft. Branchendaten und Fakten. Kurzzusammenfassung ÖVGW-Branchenbild 2018 mit Ergänzungen Februar 2019. Österreichische Vereinigung für das Gas- und Wasserfach.

Owen, Anne, Kjartan Steen-Olsen, John Barrett, Thomas Wiedmann und Manfred Lenzen. 2014. A structural decomposition approach to comparing MRIO databases. *Economic Systems Research* 26: 262–283. NE-box. doi.org/10.1080/09535314.2014.935299.

Parrique, Timothée, Jonathan Barth, François Briens, Christian Kerschner, Alejo Kraus-Polk, Anna Kuokkanen und Joachim H. Spangenberg. 2019. Decoupling debunked. Evidence and arguments against green growth as a sole strategy for sustainability. European Environmental Bureau.

Pauliuk, Stefan. 2024. Decent living standards, prosperity, and excessive consumption in the Lorenz curve. *Ecological Economics* 220: 108161. doi.org/10.1016/j.ecolecon.2024.108161.

Pauliuk, Stefan und Niko Heeren. 2021. Material efficiency and its contribution to climate change mitigation in Germany: A deep decarbonization scenario analysis until 2060. *Journal of Industrial Ecology* 25: 479–493. doi.org/10.1111/jiec.13091.

Pauliuk, Stefan, Niko Heeren, Peter Berrill, Tomer Fishman, Andrea Nistad, Qingshi Tu, Paul Wolfram und Edgar G. Hertwich. 2021. Global scenarios of resource and emission savings from material efficiency in residential buildings and cars. *Nature Communications* 12: 5097. doi.org/10.1038/s41467-021-25300-4.

Pauliuk, Stefan und Daniel B. Müller. 2014. The role of in-use stocks in the social metabolism and in climate change mitigation. *Global Environmental Change* 24: 132–142. NE-box. doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2013.11.006.

Persson, Linn, Bethanie M. Carney Almroth, Christopher D. Collins, Sarah Cornell, Cynthia A. De Wit, Miriam L. Diamond, Peter Fantke u. a. 2022. Outside the safe operating space of the planetary boundary for novel entities. *Environmental Science & Technology* 56: 1510–1521. doi.org/10.1021/acs.est.1c04158.

Pichler, Peter-Paul, Ingram S Jaccard, Ulli Weisz und Helga Weisz. 2019. International comparison of health care carbon footprints. *Environmental Research Letters* 14: 064004. NE-box. doi.org/10.1088/1748-9326/ab19e1.

Pirgmaier, Elke. 2020. Consumption corridors, capitalism and social change. *Sustainability: Science, Practice and Policy* 16: 274–285. doi.org/10.1080/15487733.2020.1829846.

Pladerer, Christian und Philipp Hietler. 2019. Abfallvermeidung in der österreichischen Lebensmittelproduktion. *Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft* 71: 238–245. doi.org/10.1007/s00506-019-0578-9.

Potting, José, Marko P Hekkert, Ernst Worrell und Aldert Hanemaaijer. 2017. Circular economy: Measuring innovation in the product chain. 2544. Planbureau voor de Leefomgeving. Utrecht University Repository in Netherlands Research Portal.

Raworth, Kate. 2017. Doughnut economics: Seven ways to think like a 21st-century economist. Chelsea Green Publishing.

Richardson, Katherine, Will Steffen, Wolfgang Lucht, Jørgen Bendtsen, Sarah E. Cornell, Jonathan F. Donges, Markus Drüke, Ingo Fetzer, Govindasamy Bala, Werner von Bloh u. a. 2023. Earth beyond six of nine planetary boundaries. Science Advances 9. American Association for the Advancement of Science: eadh2458. doi.org/10.1126/sciadv.adh2458.

Richardson, Katherine, Will Steffen, Wolfgang Lucht, Jørgen Bendtsen, Sarah E. Cornell, Jonathan F. Donges, Markus Drüke, Ingo Fetzer, Govindasamy Bala, Werner Von Bloh u. a. 2023. Earth beyond six of nine planetary boundaries. Science Advances 9: eadh2458. doi.org/10.1126/sciadv.adh2458.

Ripple, William J., Christopher Wolf, Timothy M. Lenton, Jillian W. Gregg, Susan M. Natali, Philip B. Duffy, Johan Rockström und Hans Joachim Schellnhuber. 2023. Many risky feedback loops amplify the need for climate action. One Earth 6: 86–91. doi.org/10.1016/j.oneear.2023.01.004.

Rockström, Johan, Will Steffen, Kevin Noone, Åsa Persson, F. Stuart Chapin, Eric F. Lambin, Timothy M. Lenton u. a. 2009a. A safe operating space for humanity. Nature 461: 472–475. NE-box. doi.org/10.1038/461472a.

Rockström, Johan, Will Steffen, Kevin Noone, Åsa Persson, F. Stuart Chapin, Eric Lambin, Timothy M. Lenton u. a. 2009b. Planetary boundaries: Exploring the safe operating space for humanity. Ecology and Society 14. NE-box.

Sahakian, Marlyne, Doris Fuchs, Sylvia Lorek und Antonietta Di Giulio. 2021. Advancing the concept of consumption corridors and exploring its implications. Sustainability: Science, Practice and Policy 17: 305–315. doi.org/10.1080/15487733.2021.1919437.

Schaffartzik, Anke, Nina Eisenmenger, Fridolin Krausmann und Helga Weisz. 2014. Consumption-based material flow accounting: Austrian trade and consumption in raw material equivalents 1995–2007. Journal of Industrial Ecology 18: 102–112. doi.org/10.1111/jiec.12055.

Schaffartzik, Anke und Fridolin Krausmann. 2021. A socio-metabolic perspective on (material) growth and inequality. In: The Routledge Handbook of the Political Economy of the Environment, Hrsg. Éloi Laurent und Klara Zwickl, 1. Aufl. London: Routledge. doi.org/10.4324/9780367814533.

Schaffartzik, Anke, Melanie Pichler, Eric Pineault, Dominik Wiedenhofer, Robert Gross und Helmut Haberl. 2021. The transformation of provisioning systems from an integrated perspective of social metabolism and political economy: A conceptual framework. *Sustainability Science* 16: 1405–1421. doi.org/10.1007/s11625-021-00952-9.

Schirpke, Uta, Erich Tasser, Stefan Borsky, Martin Braun, Josef Eitzinger, Veronika Gaube, Michael Getzner u. a. 2023. Past and future impacts of land-use changes on ecosystem services in Austria. *Journal of Environmental Management* 345: 118728. doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118728.

Schatzler, Martin und Thomas Lindenthal. 2020. Einfluss von unterschiedlichen Ernährungsweisen auf Klimawandel und Flächeninanspruchnahme in Österreich und Übersee (DIETCCLU). Endbericht von StartClim2019. fibl.org/fileadmin/documents/de/news/2020/startclim_endbericht_2012.pdf.

Schoer, Karl, Jan Weinzettel, Jan Kovanda, Jürgen Giegrich und Christoph Lauwigi. 2012. Raw material consumption of the European Union – concept, calculation method, and results. *Environmental Science & Technology* 46: 8903–8909. NE-box. doi.org/10.1021/es300434c.

Soonsawad, Natthanij, Raymundo Marcos Martinez und Heinz Schandl. 2022. Material demand, and environmental and climate implications of Australia's building stock: Current status and outlook to 2060. *Resources, Conservation and Recycling* 180: 106143. doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.106143.

Sorrell, Steve, Birgitta Gatersleben und Angela Druckman. 2020. The limits of energy sufficiency: A review of the evidence for rebound effects and negative spillovers from behavioural change. *Energy Research & Social Science* 64: 101439. doi.org/10.1016/j.erss.2020.101439.

Stadler, Konstantin, Richard Wood, Tatyana Bulavskaya, Carl-Johan Södersten, Moana Simas, Sarah Schmidt, Arkaitz Usubiaga u. a. 2018. EXIOBASE 3: Developing a time series of detailed environmentally extended multi-regional input-output tables: EXIOBASE 3. *Journal of Industrial Ecology*. doi.org/10.1111/jiec.12715.

Statistik Austria. 2023a. Physische Energieflussrechnungen.

Statistik Austria. 2023b. Bodennutzung.

Statistik Austria. 2023c. Materialflussrechnung.

Statistik Austria. 2023d. Bruttoinlandsprodukt und Hauptaggregate.

Statistik Austria. 2023e. Kreislaufwirtschaft. Materialflüsse in Österreich im Jahr 2021.

Statistik Austria. 2024. Materialflussrechnung.

Steffen, W., K. Richardson, J. Rockstrom, S. E. Cornell, I. Fetzer, E. M. Bennett, R. Biggs u. a. 2015. Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science* 347: 1259855–1259855. NE-box. doi.org/10.1126/science.1259855.

Steffen, Will, Wendy Broadgate, Lisa Deutsch, Owen Gaffney und Cornelia Ludwig. 2015. The trajectory of the Anthropocene: The great acceleration. *The Anthropocene Review* 2: 81–98. NE-box. doi.org/10.1177/2053019614564785.

Steinberger, Julia K. und J. Timmons Roberts. 2010. From constraint to sufficiency: The decoupling of energy and carbon from human needs, 1975–2005. *Ecological Economics* 70: 425–433. NE-box. doi.org/10.1016/j.ecolecon.2010.09.014.

Sweeney, Linda Booth und John D. Sterman. 2000. Bathtub dynamics: Initial results of a systems thinking inventory. *System Dynamics Review* 16: 249–286. doi.org/10.1002/sdr.198.

Tanikawa, Hiroki, Tomer Fishman, Seiji Hashimoto, Ichiro Daigo, Masahiro Oguchi, Alessio Miatto, Shigesada Takagi, Naho Yamashita und Heinz Schandl. 2021. A framework of indicators for associating material stocks and flows to service provisioning: Application for Japan 1990–2015. *Journal of Cleaner Production* 285: 125450. doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125450.

Tanikawa, Hiroki, Tomer Fishman, Feng Shi, Ji Han, Heinz Schandl und Fridolin Krausmann. 2012. Is there a material stock saturation of nations?

Umweltbundesamt. 2023a. Treibhausgas-Bilanz Österreichs 2021.

Umweltbundesamt. 2023b. Treibhausgas-Bilanz Österreichs 2021. Daten & Grafiken.

Umweltbundesamt. 2024a. Flächeninanspruchnahme bis 2021.

Umweltbundesamt. 2024b. Treibhausgas-Bilanz Österreichs 2022.

UN. 2015. Sustainable development goals. 17 goals to transform our world.

UN. 2017. System of environmental economic accounting (SEEA).

UN. 2023. System of environmental economic accounts for water. SEEA-Water.

UN Environment. 2024. SCP Hotspot Analysis. Hotspot analysis tool for sustainable consumption and production to support science-based national policy frameworks. SCP-HAT 3.0.

UN IRP. 2011. Decoupling natural resource use and environmental impacts from economic growth. Report of the International Resource Panel. Authors: Marina Fischer-Kowalski, Mark Swilling, Ernst U. von Weizsäcker, Y. Ren, Yuichi Moriguchi, W. Crane, Fridolin Krausmann, Nina Eisenmenger, Stefan Giljum, P. Hennicke, P. Romero Lankao, A. Siriban Manalang, S. Sewerin. Paris: United Nations Environment Programme.

UN IRP. 2019a. Global resources outlook 2019: Natural resources for the future we want. Report of the International Resource Panel. Authors: Oberle, B., Bringezu, S., Hatfield-Dodds, S., Hellweg, S., Schandl, H., Clement, J., and Cabernard, L., Che, N., Chen, D., Droz-Georget, H., Ekins, P., Fischer-Kowalski, M., Flörke, M., Frank, S., Froemelt, A., Geschke, A., Haupt, M., Havlik, P., Hüfner, R., Lenzen, M., Lieber, M., Liu, B., Lu, Y., Lutter, S., Mehr, J., Miatto, A., Newth, D., Oberschelp, C., Obersteiner, M., Pfister, S., Piccoli, E., Schaldach, R., Schüngel, J., Sonderegger, T., Sudheshwar, A., Tanikawa, H., van Der Voet, E., Walker, C., West, J., Wang, Z., Zhu, B. Nairobi, Kenya: United Nations Environment Programme.

UN IRP. 2019b. Mineral resource governance in the 21st century: Gearing extractive industries towards sustainable development. Authors: Ayuk, E. T., Pedro, A. M., Ekins, P., Gatune, J., Milligan, B., Oberle B., Christmann, P., Ali, S., Kumar, S. V., Bringezu, S., Acquatella, J., Bernaudat, L., Bodouroglou, C., Brooks, S., Buergi Bonanomi, E., Clement, J., Collins, N., Davis, K., Davy, A., Dawkins, K., Dom, A., Eslamishoar, F., Franks, D., Hamor, T., Jensen, D., Lahiri-Dutt, K., Petersen, I., Sanders, A. R. D. A Report by the International Resource Panel. Nairobi, Kenya: United Nations Environment Programme.

UN IRP. 2023. Global Material Flows Database.

UN IRP. 2024. Global Material Flows Database.

UNDP. 2019. Human development report 2019. Beyond income, beyond averages, beyond today: Inequalities in human development in the 21st century. New York: United Nations Development Programme.

UNEP. 2021. The use of natural resources in the economy. A global manual on economy wide material flow accounting. Lead authors: Heinz Schandl (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO)), James West (CSIRO), Stephan Lutter (Vienna University of Economics and Business), Nina Eisenmenger (University of Natural Resources and Life Sciences Vienna), Alessio Miatto (Nagoya University), Myriam Linster (OECD). Nairobi, Kenya: United Nations Environment Programme.

UNEP. 2023. Green Economy.

Verzeichnis der Abbildungen

Abbildung 1: gesellschaftlicher Metabolismus.....	17
Abbildung 2: Ressourcennutzung in Österreich 2022.....	25
Abbildung 3: Material-Fußabdruck – der Ressourcenbedarf des österreichischen Endkonsums, 2022.....	27
Abbildung 4: Österreich bewegt sich außerhalb des sicheren Handlungsraums (safe operating space).....	29
Abbildung 5: Anteil der österreichischen inländischen Entnahme (DE) und Netto-Importe (PTB) am inländischen Materialverbrauch (DMC) nach vier Materialkategorien, 2022.....	30
Abbildung 6: Österreichs inländische Entnahme (DE), Importe und Exporte nach vier Materialkategorien, 2022.....	31
Abbildung 7: Österreichs inländischer Materialverbrauch (DMC) nach vier Materialkategorien sowie nicht zuordenbaren Materialien und Abfällen in Österreich, 2000 bis 2022.....	32
Abbildung 8: Österreichs inländische Materialentnahme (DE) nach vier Materialkategorien, 2000-2022.....	34
Abbildung 9: Materielle Importe nach und Exporte aus Österreich nach den vier Materialkategorien sowie nicht zuordenbaren Materialien und Abfällen, 2000–2022.....	35
Abbildung 10: Österreichs physische Handelsbilanz (PTB) nach den vier Materialkategorien sowie nicht zuordenbaren Materialien und Abfällen, 2000–2022.....	36
Abbildung 11: Österreichs inländische Materialentnahme (DE), Importe, Exporte und inländischer Materialverbrauch (DMC), 2000–2022.....	38
Abbildung 12: Österreichs inländische Entnahme (DE), Importe, Exporte, inländischer Materialverbrauch (DMC) nach vier Materialkategorien, 2022.....	38
Abbildung 13: Anteil der vier Materialkategorien am österreichischen inländischen Materialverbrauch (DMC), der inländischen Materialentnahme (DE) und den Netto-Importen (PTB), 2022.....	39
Abbildung 14: Österreichs inländischer Materialverbrauch (DMC) von Biomasse, 2000, 2010, 2019, 2020, 2021 und 2022.....	41
Abbildung 15: Österreichs inländischer Materialverbrauch (DMC) von fossilen Energieträgern, 2000, 2010, 2019, 2020, 2021 und 2022.....	45
Abbildung 16: Österreichs inländischer Materialverbrauch (DMC) von Metallen, 2000, 2010, 2019, 2020, 2021 und 2022.....	48
Abbildung 17: Österreichs inländischer Materialverbrauch (DMC) von nichtmetallischen Mineralstoffen, 2000, 2010, 2019, 2020, 2021 und 2022.....	53
Abbildung 18: Bestände.....	56
Abbildung 19: Materielle Bestände in Österreich, 2019.....	59
Abbildung 20: Österreichs materielle Outputs – inländisch produzierte Abgabe an die Natur und deponierter Abfall, 2000–2022.....	62
Abbildung 21: Die Masse eines Produkts nimmt entlang der Produktionskette stetig ab, Abfälle und Emissionen bleiben zurück. Schematische Darstellung.....	65

Abbildung 22: Material-Fußabdruck Österreichs und die Regionen der Rohstoffentnahme sowie Materialentnahme in Österreich und die Regionen des Endkonsums, 2021.....	65
Abbildung 23: Österreichs Material-Fußabdruck (MF), 2008–2020.....	67
Abbildung 24: Österreichs inländischer Materialverbrauch (DMC) und Material-Fußabdruck (MF), 2000, 2008, 2019 und 2022.....	69
Abbildung 25: Österreichs Importe, Exporte und die jeweiligen Rohmaterialäquivalente im Vergleich, 2008 und 2020.....	69
Abbildung 26: Ressourcenproduktivität in Österreich. (a) RP-DMC, 2000–2022, (b) RP-MF, 2008–2020, (c) RP-DMC und RP-MF, 2008–2020.....	74
Abbildung 27: (a) inländischer Materialverbrauch (DMC), 2022, und (b) Material-Fußabdruck (MF) der EU-Mitgliedstaaten, 2020	77
Abbildung 28: Flächenintensität als Materialverbrauch pro Landfläche (DMC/ha) im Vergleich zum Materialverbrauch pro Kopf (DMC/cap), EU-Mitgliedstaaten, 2022.....	79
Abbildung 29: Inländische Abgabe an die Natur (DPO) in t/cap/a im Jahr 2020 für die EU27-Länder im Vergleich.....	80
Abbildung 30: Änderungen in Materialverbrauch (DMC), Material-Fußabdruck (MF), inländischer Abgabe an die Natur (domestic processed output, DPO) und Ressourcenproduktivität (RP) in der EU zwischen 2000 und 2022 bzw. 2000 und 2020 für den DPO	81
Abbildung 31: Die 10 R-Strategien der Kreislaufwirtschaft. Darstellung aus der österreichischen Kreislaufwirtschaftsstrategie.....	90
Abbildung 32: STAT-Sankey – die österreichische Kreislaufwirtschaft als Sankey-Diagramm, erstellt von Statistik Austria. Österreich 2020.....	98
Abbildung 33: SEC-Sankey – die österreichische Kreislaufwirtschaft als Sankey-Diagramm erstellt vom Institut für Soziale Ökologie (SEC). Österreich 2014.....	98
Abbildung 34: Ziele der Kreislaufwirtschaftsstrategie und aktuelle Entwicklungen.....	103
Abbildung 35: Die österreichische Kreislaufwirtschaft 2014 als Sankey-Diagramm.....	104
Abbildung 36: Gesellschaftliche Verwendung der in Österreich prozessierten Materialien (PM); ein detailliertes Sankey-Diagramm. Österreich, 2020.....	106
Abbildung 37: Reduktion der prozessierten Materialien der Sektoren Gebäude, Verkehr und Stromproduktion im Jahr 2018 und 2040 für vier Szenarien.....	109
Abbildung 38: Einfluss von Maßnahmen auf den Ressourcenverbrauch Österreichs im Jahr 2040 für die Szenarien Baseline, Dekarbonisierung, Dekarbonisierung und moderate Kreislaufwirtschaft (KW), Dekarbonisierung und ambitionierte Kreislaufwirtschaft (KW+).....	111
Abbildung 39: Prozentuale Reduktionen der prozessierten Materialien des Gebäude-, Verkehrs- und Stromsektors, aufgeteilt nach den drei Strategiegruppen Verringern, Verlangsamen und Schließen.....	112
Abbildung 40: Historischer inländischer Materialverbrauch und Entwicklungspfade im Kontext beschlossener Ziele zum Materialverbrauch und Material-Fußabdruck (BKM 2022).....	113
Abbildung 41: Entwicklung der beheizten Gebäudefläche, der Materialbestände sowie des Materialverbrauchs im Gebäudesektor, 2011–2040.....	115

Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 1: Ressourcenproduktivität basierend auf dem Inlandmaterialverbrauch und Material Fußabdruck. Österreich für die Jahre 2000, 2008, 2020 und 2022.....	73
Tabelle 2: Gruppierung modellierter Maßnahmen nach den drei Strategiegruppen....	108

Verzeichnis der Statements

Statement 1 – Österreich als internationaler Vorreiter systematischer Ressourcenberichterstattung: Österreich kann zu Recht als einer der internationalen Vorreiter systematischer Ressourcenberichterstattung gelten. – em. Univ.-Prof. Dr. Marina Fischer-Kowalski, Institut für Soziale Ökologie (SEC), BOKU University.....	15
Statement 2 – Eine Reduktion des Materialbedarfs ist technisch machbar und würde einen wichtigen Beitrag zum Klima- und Naturschutz leisten. – Univ.-Prof. Dr. Edgar Hertwich, Prof. für Industrielle Ökologie, NTNU Norwegen, und Mitglied des Europäischen Wissenschaftlichen Beirats für Klimawandel der Europäischen Kommission.....	22
Statement 3 – Österreich ist reich an Wasser – aber der Wasserverbrauch wird in Zukunft deutlich ansteigen. – Univ.-Prof. Dr. Thomas Hein, Institut für Hydrobiologie und Gewässermanagement (IHG), BOKU University.....	23
Statement 4 – Materialentnahme und Bestandsaufbau forcieren Versiegelung und Fragmentierung von Landschaften und verursachen Biodiversitätsverluste. – Assoc. Prof. Mag. Dr. Franz Essl, Dept. für Botanik und Biodiversitätsforschung, Universität Wien.....	24
Statement 5 – Boden ist nach wie vor ein Einwegprodukt. – Gundula Prokop, Expertin für Bodenverbrauch und Versiegelung im Umweltbundesamt.....	26
Statement 6 – Nachhaltige Biomasseproduktion ist mit vorherrschenden Produktions- und Konsummustern nicht vereinbar. – Assoc. Prof. Dr. Simone Gingrich, Institut für Soziale Ökologie (SEC), BOKU University.....	40
Statement 7 – Um die globale Erwärmung auf 1,5 °C zu begrenzen, müsste bis zur Mitte des Jahrhunderts weltweit Emissionsneutralität erreicht werden. – Univ.-Prof. i.R. MA PhD. Nebojsa Nakicenovic, Mitglied des Europäischen Wissenschaftlichen Beirats für Klimawandel der Europäischen Kommission.....	44
Statement 8 – Nachhaltigkeitskriterien müssen in Bergbau und Weiterverarbeitung auch in internationalen Kooperationen umgesetzt werden. – Univ.-Prof. Dr. Michael Tost, Lehrstuhl für Bergbaukunde, Bergtechnik und Bergwirtschaft, Montanuniversität Leoben.....	47
Statement 9 – Eine nachhaltige Nutzung von Mineralstoffen erfordert einen Perspektivenwechsel im Bausektor. – Univ.-Prof. Dr. Benjamin Kromoser, Institut für Hochbau, Holzbau und kreislaufgerechtes Bauen, BOKU University.....	51
Statement 10 – Dichte und Raumstruktur von Siedlungen und Infrastrukturen beeinflussen den Ressourcenverbrauch und die Emissionen von Städten – Univ.-Prof. Mag. Dr. Helmut Haberl, Institut für Soziale Ökologie (SEC), BOKU University.....	55
Statement 11 – Vor-Entschieden: Altlasten als Zukunftsproblem. – Univ.-Prof. (i.R.) Ing. Dr. phil. Dr. h.c. Verena Winiwarter.....	58
Statement 12 – Die Einbindung der Abfallwirtschaft ist eine wichtige Säule in einer gesamtheitlich betrachteten Kreislaufwirtschaft. – Univ.-Prof. Dr. Marion Huber-Humer, Institut für Abfall- und Kreislaufwirtschaft, BOKU University.....	60
Statement 13 – Der tatsächliche Materialverbrauch wird durch Lieferketten verschleiert. – Univ.-Doz. Dr. Stefan Giljum und Dr. MMSc Stephan Lutter, Institute for Ecological Economics, WU Wien.....	63

Statement 14 – Ressourcenintensive Produktions- und Konsummuster verursachen Armut und Umweltzerstörung in anderen Ländern. – Ass. Prof. Dr. Anke Schaffartzik, Department of Environmental Sciences and Policy, Central European University (CEU).....	66
Statement 15 – Es braucht Strukturwandel, um die Entkoppelung von Materialverbrauch und Wirtschaftswachstum zu erreichen. – Dr. Ina Meyer, Österreichisches Institut für Wirtschaftsforschung – WIFO, Forschungsgruppe Klima-, Umwelt- und Ressourcen-ökonomie.....	70
Statement 16 – Zirkuläres Wirtschaften kann zur Erreichung von Klima- und weiteren Umweltzielen beitragen. – Philip Nuss, PhD, Umweltbundesamt Deutschland.....	84
Statement 17 – Ressourcenmanagement und Grenzen der Kreislaufwirtschaft. – Univ.-Prof. DI Dr.techn. Dr.h.c. Helmut Rechberger, Forschungsbereich Abfallwirtschaft und Ressourcenmanagement, TU Wien.....	89
Statement 18 – Geschäftsmodelle und Produkte müssen neu gedacht werden. – Ao. Univ.-Prof. DI Dr. Wolfgang Wimmer, EcoDesign, TU Wien.....	93
Statement 19 – Die Frage ist nicht, ob es gesellschaftlichen Umbau geben wird, sondern wie weitreichend er sein kann und wird. – Univ.-Prof. Dr. Ulrich Brand, PhD, Inst. für Politikwissenschaft, Universität Wien.....	118

