

Ressourcennutzung in Österreich 2020

Band 3



Medieninhaber, Verleger und Herausgeber:

Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK)
Radetzkystraße 2, 1030 Wien
+43 1 71162-650

Autorinnen und Autoren:

Nina Eisenmenger, Barbara Plank
(Institut für Soziale Ökologie, Universität für Bodenkultur Wien)
Eva Milota, Sylvia Gierlinger
(Statistik Austria)

Fachliche Koordination:

Birgit Horvath, Dagmar Hutter, Caroline Vogl-Lang
(Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie)
Robert Holsteiner, Christian Reichl, Susanne Strobl
(Bundesministerium für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus)

Gestaltung:

Gerda Palmetshofer

Fotonachweise:

Cover: © BMLRT / Paul Gruber; S. 3: © BKA / Andy Wenzel, © BMLRT / Paul Gruber

Alle Rechte vorbehalten.
August 2020

Vorworte



Bundesministerin
Leonore Gewessler

Der Ressourcenverbrauch unserer Gesellschaft spielt bei der Transformation hin zu einer klimaneutralen, kreislauforientierten Wirtschaft eine wichtige Rolle. Treibhausgasemissionen, die mit der Extraktion, Verarbeitung und dem Gebrauch von Ressourcen unmittelbar zusammenhängen, werden sich laut den Schätzungen der OECD bis 2060 verdoppeln. Ein geringerer Verbrauch kostbarer Ressourcen reduziert also auch die schädlichen Emissionen in Österreich. Diesbezügliche Maßnahmen leisten einen entscheidenden Beitrag, Österreich im Sinne des Europäischen Green Deal zu einer modernen, ressourceneffizienten und wettbewerbsfähigen Wirtschaft umzugestalten. Der schonende und vorausblickende Umgang mit Ressourcen heute ermöglicht den nachfolgenden Generationen Spielraum für weitere Entwicklungen und unterstützt so einen gerechten und guten Übergang.

Die Bereitstellung von verlässlichen, leicht verfügbaren und benutzerfreundlich aufbereiteten Daten ist eine wichtige Unterstützung für politische Entscheidungen. Der vorliegende Bericht analysiert anhand neuester Daten den österreichischen Ressourcenverbrauch und stellt damit eine wertvolle Grundlage für eine auf Nachhaltigkeit ausgerichtete Ressourcenpolitik zur Verfügung. Ich wünsche allen Leserinnen und Lesern eine informative Lektüre!



Bundesministerin
Elisabeth Köstinger

Um die Sicherung unserer Lebensgrundlagen gewährleisten zu können, braucht es ein nachhaltiges und effizientes Ressourcenmanagement. Ein wesentlicher Faktor für die Steigerung der Ressourceneffizienz liegt in der Betrachtung des gesamten Lebenszyklus eines Rohstoffes – von der Gewinnung über die Nutzung bis hin zum Recycling. Eine moderne, dekarbonisierte, umwelt- und klimafreundliche Energieversorgung verlangt den Einsatz mineralischer Rohstoffe als integralen Bestandteil klimaneutraler Lösungen. Der Verbrauch vieler dieser notwendigen High-Tech-Rohstoffe ist steigend. Aufgrund ihres hohen Versorgungsrisikos werden derzeit 27 Rohstoffe von der Europäischen Kommission als kritisch eingestuft. Die Versorgung mit mineralischen Rohstoffen muss daher sichergestellt sein! Innovationen im Rohstoffbereich sind einer der wesentlichen Erfolgsfaktoren, um die Wettbewerbsfähigkeit Österreichs langfristig sicherstellen zu können.

Um den zentralen Herausforderungen unserer Gesellschaft mit nachhaltigen und zukunftsorientierten Maßnahmen zu begegnen, bedarf es einer umfassenden Datenlage und Analysearbeit. Der vorliegende Bericht, der dritte in der Reihe Ressourcennutzung in Österreich, legt seine Schwerpunkte auf die Synergien zwischen Ressourceneffizienz und Klimaschutz, Kreislaufwirtschaft und Rohstoffe für High-Tech-Anwendungen.

Inhalt

Das Wichtigste in Kürze	8
Einleitung	10
Agenda 2030 als globales Leitbild auch für nachhaltige Ressourcennutzung	12
Materialflussrechnung als Daten- und Methodengrundlage dieses Berichts	15
Aufbau des Berichts	17
Ressourcennutzung in Österreich – Wo stehen wir?	20
Wir ge- und verbrauchen große Mengen natürlicher Ressourcen	22
Österreichs Konsum ist für Ressourcenverbrauch in anderen Teilen der Welt mitverantwortlich	24
Unser Ressourcenverbrauch überschreitet die biophysischen Grenzen unseres Planeten	26
Unser Ressourcenverbrauch hat sich stabilisiert – allerdings auf einem hohen Niveau	27
Wir brauchen ganz unterschiedliche Rohstoffe für viele verschiedene gesellschaftliche Verwendungen	29
Biomasse	30
Fossile Energieträger	32
Metallische Mineralstoffe	33
Nicht-metallische Mineralstoffe	34
Österreich ist abhängig von Ressourcen aus dem Ausland	35
Ressourcenproduktivität zeigt eine Entkoppelung von Wirtschaftswachstum und Ressourcenverbrauch	38
Im EU-Vergleich liegt Österreich betreffend Ressourcenverbrauch auf Platz 11	43
Ressourcenschonung und Klimaschutz gehen Hand in Hand	48
Österreich entkoppelt inländischen Ressourcenverbrauch und CO ₂ -Emissionen, lagert jedoch Materialverbrauch ins Ausland aus	52
Der größte Ressourcenverbrauch hängt an Nahrungsmitteln, Bautätigkeit und dem Gesundheitssektor	55

Der überwiegende Teil des Ressourcenverbrauchs aus der verarbeitenden Industrie fällt im Ausland an	56
Der immer größere Wirtschaftsoutput treibt den Ressourcenverbrauch und die CO ₂ -Emissionen in die Höhe	58
Synergien nutzen – hohe Wirkung für Ressourcenschonung und Klimaschutz	60
Kreislaufwirtschaft aus einer gesamtwirtschaftlichen Perspektive	62
Abfälle und Emissionen aus gesamtwirtschaftlicher Sicht	65
Luftemissionen, vor allem CO ₂ -Emissionen, bilden den Großteil des gesellschaftlichen Outputs	68
Weitere Outputs sind der dissipative Gebrauch von Produkten, Emissionen ins Wasser und dissipative Verluste	68
In Bezug auf den DPO steht Österreich im EU-Vergleich auf Platz 12	69
Gut die Hälfte der Ressourceninputs wird in Beständen akkumuliert	71
Die gesamtwirtschaftliche Recyclingrate Österreichs lag im Jahr 2014 bei 9 %	72
Herausforderungen für eine Kreislaufwirtschaft: gesellschaftliche Bestände und physikalische Grundgesetze	75
Ausblick	76
Kritische mineralische Rohstoffe sind wichtig für Zukunftstechnologien	78
Metallische Rohstoffe – die kleinste Gruppe im gesellschaftlichen Metabolismus	80
Die Nachfrage nach Metallen wächst eng gekoppelt mit der Wirtschaft und baut große anthropogene Bestände auf	81
Von der Lagerstätte zum Metall	81
Wachsende Nachfrage, sinkende Metallgehalte, steigender Energieverbrauch – Recycling als Gegenmaßnahme	82
Kritische Rohstoffe im Spannungsfeld zwischen Versorgungsengpässen und wachsender Nachfrage durch Zukunftstechnologien	83
EU muss kritische Rohstoffe importieren	84
Kritische mineralische Rohstoffe sind wichtig für High-Tech-Anwendungen – das Beispiel Kobalt	85
Kritische Rohstoffe aus einer gesamt-metabolischen Perspektive	87

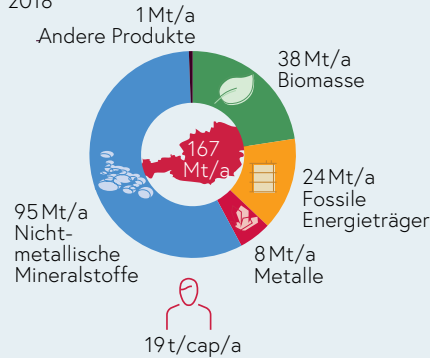
Herausforderungen für die Zukunft	88
Österreichs Ressourcenverbrauch ist noch zu hoch – wohin muss es gehen?	92
Mit welchen Maßnahmen können wir eine Trendwende erreichen?	93
Anhang	94
Abbildungsverzeichnis	96
Verzeichnis der Exkurse	98
Tabellenverzeichnis.....	99
Literaturverzeichnis	100
Glossar	111
Abkürzungen	116
Einheiten	117
Länderabkürzungen	117
Datentabellen	118

Das Wichtigste in Kürze

Ressourcennutzung in Österreich – Wo stehen wir?

Der Ressourcenverbrauch in Österreich hat sich derzeit bei 19 Tonnen pro Kopf stabilisiert und übersteigt damit die planetaren Grenzen

Materialverbrauch in Österreich 2018



Österreich im europäischen Vergleich

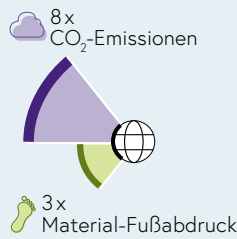
Materialverbrauch 2018

11. Platz 19t/cap/a

Material-Fußabdruck 2017

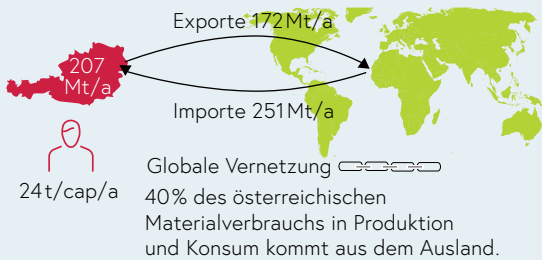
5. Platz 33t/cap/a

Planetare Grenzen 2019



Österreichs Konsum ist für den Ressourcenverbrauch in anderen Teilen der Welt mitverantwortlich

Material-Fußabdruck 2015



Unsere materialintensive Wirtschaftsweise ist hauptverantwortlich für den zu hohen Ressourcenverbrauch

Inländische Ressourcenproduktivität 2018

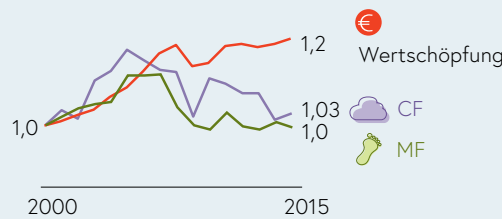
€ 2.211 €/t ↑ +28% von 2000 bis 2018

Konsumbasierte Ressourcenproduktivität 2015

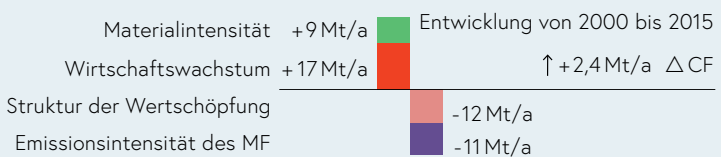
€ 1.665 €/t ↑ +20% von 2000 bis 2015

Ressourcenschonung und Klimaschutz gehen Hand in Hand

Ressourcenverbrauch und Treibhausgasemissionen sind eng gekoppelt



Beitrag einzelner Faktoren zum CO₂-Fußabdruck



Brennpunkte: Gebaute Infrastruktur, Ernährung und Gesundheitssektor

Top-3 Sektoren mit hohem Anteil am jeweiligen Fußabdruck, 2015

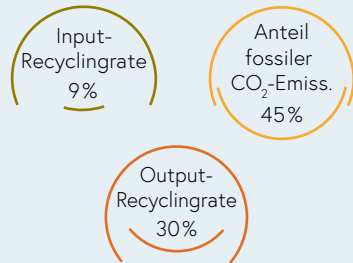


Werte sind gerundet, Rundungsdifferenzen wurden nicht ausgeglichen.

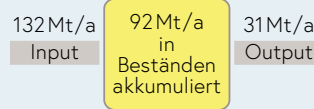
Kreislaufwirtschaft aus einer gesamtwirtschaftlichen Perspektive

Recycling- und Wiederverwertungsraten sind essentielle Indikatoren in der Kreislaufwirtschaft

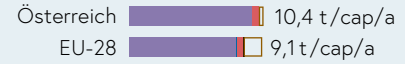
Österreich im Jahr 2014



Gesellschaftliche Bestände sind die treibende Kraft hinter Ressourcenverbrauch und Emissionen



In Bezug auf den DPO steht Österreich im EU-Vergleich im Jahr 2016 auf Platz 12



- Luftemissionen (z.B. Kohlendioxid, Methan, Distickstoffmonoxid, Stickoxide)
- Emissionen in natürliche Gewässer
- Dissipativer Gebrauch von Produkten (z.B. Düngemittel, Kompost, Schotter, Streusalz)
- Dissipative Verluste (z.B. Materialverluste durch Reifen- und Bremsabrieb von Fahrzeugen, Verluste aus undichten Gasleitungen, an Schmierstoffen oder Abnutzung von Infrastruktur und Gebäuden)
- Abfalllagerung in kontrollierten Deponien

Kritische mineralische Rohstoffe sind wichtig für Zukunftstechnologien

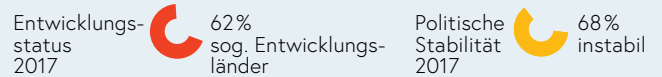
Beispiele für Einsatzgebiete von kritischen Rohstoffen

Batterien, Photovoltaikanlagen, elektronische Geräte, Katalysatoren, Windräder

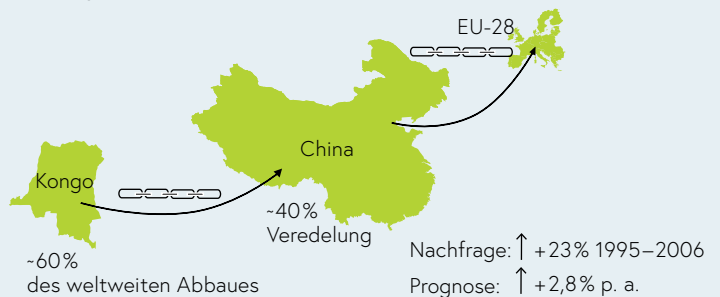
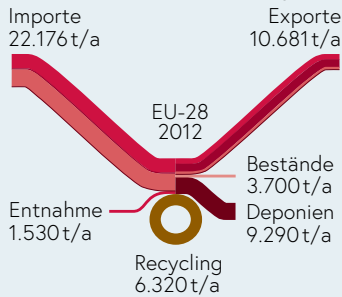


Kritische Rohstoffe im Spannungsfeld zwischen Versorgungsgespässen und wachsender Nachfrage durch Zukunftstechnologien

Die Produktion kritischer Rohstoffe findet in wenigen Ländern statt; diese sind größtenteils Entwicklungsländer und politisch instabil



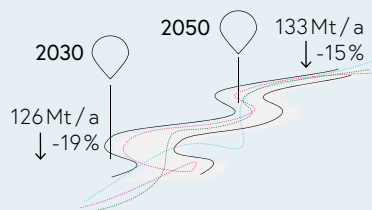
Kobalt, kritischer Rohstoff mit wichtiger Bedeutung für Zukunftstechnologien



Herausforderungen für die Zukunft

Österreich bewegt sich in die richtige Richtung, aber es braucht größere und schnellere Fortschritte

Entwicklung des österreichischen Materialverbrauchs bei Senken auf den europäischen Durchschnitt



Europäischer Durchschnitt: 14 t/cap/a

Um den Ressourcenverbrauch nachhaltig zu reduzieren, brauchen wir eine integrierte Betrachtung von verschiedenen Umweltthemen

Energiepolitik Klimapolitik SDG 12 in Österreich im Jahr 2019



Einleitung





Umweltthemen sind mittlerweile omnipräsent in der gesellschaftspolitischen Debatte. Klimawandel, Versorgungsengpässe natürlicher *Ressourcen*, volatile Rohstoffpreise, Verschmutzung von Wasser, Luft und Boden sind nur einige Beispiele für die vielen Facetten, in denen die Probleme der *gesellschaftlichen* Interaktion mit der natürlichen Umwelt sichtbar werden. Dem zugrunde liegen Art und Umfang der *gesellschaftlichen* Interventionen in natürliche Kreisläufe, der Entnahme von *Ressourcen* und der Abgabe von Abfällen und Emissionen. Damit wir Problemstellen identifizieren und dann Veränderungen vornehmen können, müssen wir die Beziehungen zwischen *Gesellschaft* und Natur verstehen. Das dafür notwendige Datenmaterial liefern die *Umweltgesamtrechnungen*, die ein umfassendes Bild zu unterschiedlichen Ressourcenflüssen herstellen und darauf aufbauend detaillierte Analysen erlauben.

Nachhaltige Ressourcennutzung ist das übergeordnete Ziel, zu dem verschiedene politische Programme beitragen wollen. Programme zur Steigerung der Ressourceneffizienz (European Commission 2011a, 2019c; OECD 2004; UN IRP 2011a) haben zum Ziel, natürliche *Ressourcen* sparsamer und zweckmäßiger zu verwenden, so dass stärkeres Wirtschaftswachstum nicht mit höheren Umweltbelastungen verbunden sein muss. Die jüngeren Programme zur Kreislaufwirtschaft (European Commission 2014, 2015, 2020; OECD 2011) zielen darauf ab, natürliche *Ressourcen* länger in *gesellschaftlicher* Nutzung zu behalten und den Zugriff auf primäre *Ressourcen* aus der Natur zu reduzieren. Doch wie effektiv sind diese Konzepte?

Die Berichtreihe „Ressourcennutzung in Österreich“, herausgegeben vom Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK) und dem Bundesministerium für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus (BMLRT), fasst die aktuelle Forschung zur österreichischen Ressourcennutzung zusammen und diskutiert sie. Der erste Bericht (BMLFUW und BMWFJ 2011) in der Reihe widmete sich in einem Schwerpunkt den Baurohstoffen, die mehr als die Hälfte des Ressourcenverbrauchs ausmachen; der zweite Bericht (BMLFUW und BMFW 2015) fokussierte auf *Biomasse-Materialien* als Rückgrat einer Bioökonomie. Der aktuelle, dritte Bericht widmet sich der nachhaltigen Ressourcennutzung als Querschnittsfeld zwischen Ressourceneffizienz, Klimaschutz und Rohstoffen für Zukunftstechnologien.

Agenda 2030 als globales Leitbild auch für nachhaltige Ressourcennutzung

Gesellschaften brauchen natürliche *Ressourcen*, um ihre Produktionsprozesse und ihre Konsumaktivitäten zu ermöglichen. In Produktion und Konsum verwenden wir *Ressourcen* energetisch oder stofflich und wandeln diese am Ende ihrer Nutzungsdauer in Abfälle und Emissionen um. Abfälle, die derzeit keinerlei Nutzen für unsere *Gesellschaft* haben, und Emissionen werden an die Natur abgegeben und in ökosystemare Kreisläufe eingeführt. Der Ressourcenbedarf einer *Gesellschaft* kann daher analog zu einem Organismus betrachtet werden: *Gesellschaften* brauchen Inputs – um sich zu erhalten und um zu

wachsen – und produzieren Outputs. Unsere *Gesellschaft* und Wirtschaft ist stetig am Wachsen; daher brauchen viele Länder immer mehr Ressourceninputs und verursachen wachsende Mengen an Abfällen und Emissionen. In den letzten wenigen Jahrzehnten sind wir spürbar an die *planetaren Grenzen* geraten, mittlerweile haben wir einige davon schon überschritten (Rockström et al. 2009; Steffen et al. 2015). Die (örtliche) Verknappung natürlicher *Ressourcen*, die hohen Konzentrationen an Abfällen und Emissionen und die negativen Auswirkungen auf die Umwelt stellen das Funktionieren unserer *Gesellschaft* zunehmend vor Probleme.

Lange Zeit wurden Umweltprobleme voneinander isoliert und als Einzelprobleme behandelt. Mit den zunehmend globalen Umweltproblemen, wie dem Klimawandel, dem Verlust an Artenvielfalt und den mittlerweile global verzweigten Produktionsketten wird deutlich, dass es umfassendere Strategien zur Lösung komplexer Probleme braucht (UN IRP 2011a). In Bezug auf nachhaltige Ressourcennutzung heißt das beispielsweise, nicht nur output-seitig auf Abfälle und Emissionen zu fokussieren, sondern diese zu unserem input-seitigen Ressourcenbedarf in Bezug zu setzen. Inputorientierte Konzepte wie Ressourceneffizienz einerseits und gesamtwirtschaftliche Konzepte wie Kreislaufwirtschaft andererseits müssen gemeinsam gedacht werden. In der Klimadebatte müssen Potentiale zum Beispiel in der Bioenergie unter Berücksichtigung von Konkurrenz zu Nahrungsmittelproduktion oder der stofflichen *Biomasse*-Nutzung analysiert werden. Die wachsende Nachfrage nach erneuerbaren Energien ist neben anderen Faktoren auch eng an die Verfügbarkeit von kritischen Rohstoffen gekoppelt. Es gilt also, verschiedene Perspektiven integriert zu betrachten und dann Synergien aber auch „Trade-offs“ zu identifizieren. Spezifische Maßnahmen müssen in ihrer Auswirkung jenseits ihres expliziten Zielbereichs und mit Blick auf die *Gesellschaft* als Ganzes untersucht werden.

Die 2015 von der internationalen Staatengemeinschaft veröffentlichte Agenda 2030 für Nachhaltige Entwicklung mit ihren 17 globalen Zielen („Sustainable Development Goals“, SDGs; siehe Abbildung 1, Seite 14; UN 2015, siehe Exkurs 1, Seite 14) fordert eine solche integrierte Sichtweise auf Ökonomie, Ökologie und Soziales. In den darin formulierten fünf Kernbotschaften zu Mensch, Planet, Wohlstand, Frieden und Partnerschaft kommt dieser ganzheitliche Entwicklungsansatz zum Ausdruck. Damit bildet die Agenda 2030 für alle Staaten – im globalen Norden und im globalen Süden – einen gemeinsamen Bezugsrahmen für weltweiten Wohlstand im Einklang mit sozialer Gerechtigkeit und den ökologischen Grenzen der Erde, zur Sicherung unserer Lebensgrundlagen. In Österreich ist sie für Bund, Länder und Gemeinden unter Einbezug aller Menschen handlungsleitend.

Nachhaltige Ressourcennutzung ist vor allem in zwei SDGs verankert, das sind das SDG 8 „Menschenwürdige Arbeit und Wirtschaftswachstum“ und SDG 12 „Nachhaltige/r Produktion und Konsum“, konkretisiert durch die zwei Indikatoren der *Materialflussrechnung*: DMC (*Inlandsmaterialverbrauch*, siehe Exkurs 2, Seite 15) und MF (*Material-Fußabdruck*, siehe Exkurs 6, Seite 38). Das in den SDGs formulierte Ziel lautet, wir sollen „bis 2030 die weltweite Ressourceneffizienz in Konsum und Produktion

Schritt für Schritt verbessern und die Entkopplung von Wirtschaftswachstum und Umweltzerstörung anstreben, [...]“ (UN 2015).



Abbildung 1: Piktogramme der 17 Ziele für nachhaltige Entwicklung (SDGs)

Quelle: UN 2020



Exkurs 1: Die globalen Ziele für Nachhaltige Entwicklung (Sustainable Development Goals, SDGs) und ihre Messbarkeit

Neuer Wind in den Segeln der Nachhaltigkeitsdebatte entstand im Jahr 2015 durch die Ratifizierung der Agenda 2030 für eine Nachhaltige Entwicklung mit den darin enthaltenen „Sustainable Development Goals“ (SDGs; UN 2015) durch alle 193 Mitgliedsstaaten der UN. Erstmals wurden neben ökonomischen und sozialen auch ökologische Ziele in die internationale Agenda aufgenommen, die gleichwertig behandelt und in alle politischen Prozesse einbezogen werden sollen. Die insgesamt 17 Ziele und 169 Unterziele reichen von traditionellen Entwicklungszielen wie keine Armut (SDG 1) und kein Hunger (SDG 2) über saubere Energie (SDG 7) bis hin zu größerer Gerechtigkeit (SDG 10).

Für die Messung des Fortschritts im Erreichen der SDGs definiert das UN-Rahmenwerk ca. 230 Indikatoren. Im internationalen Vergleich, aber auch auf europäischer Ebene, bestehen beträchtliche Unterschiede in der Auslegung dieser Indikatoren sowie in der Datenqualität und -verfügbarkeit. Eurostat verwendet etwa 100 vorselektierte Indikatoren mit Anlehnung an die Vorgaben der UN. Auf dieser Grundlage wird ein jährlicher Fortschrittsbericht der EU zu den SDGs erstellt (Eurostat 2019a). So können Länder innerhalb Europas gut miteinander verglichen werden, in anderer Zusammensetzung kann es jedoch sein, dass unterschiedliche Indikatoren und dahinterliegende Daten den direkten Vergleich unmöglich machen.

Materialflussrechnung als Daten- und Methodengrundlage dieses Berichts

Zur Diskussion von nachhaltiger Ressourcennutzung braucht es eine Datengrundlage, die uns erlaubt, Trends und Brennpunkte in unseren *gesellschaftlichen* Produktions- und Konsummustern zu identifizieren. Für die Analyse von Ressourcennutzung hat sich die *Materialflussrechnung* (MFA) etabliert (siehe Exkurs 2, oder Krausmann et al. 2017a). Diese erfasst alle *Materialien*, die aus der Natur entnommen und in sozio-ökonomischen Prozessen (Produktion, Konsum) verwendet werden. Indikatoren der MFA beschreiben die materielle Basis oder den Ressourceneinsatz, der zur Aufrechterhaltung unseres *gesellschaftlichen* Lebens und unserer Wirtschaftsprozesse notwendig ist. Der durchschnittliche Materialverbrauch, oft synonym mit Ressourcenverbrauch verwendet, kann auch als materieller Lebensstandard bezeichnet werden. Nach dem (ein- oder auch mehrmaligen) Ge- und Verbrauch der natürlichen *Ressourcen* werden diese am Ende der Nutzungsdauer in Form von festen, flüssigen oder gasförmigen Reststoffen (zum Großteil als Emissionen) an die Natur abgegeben. An der Stelle, aber auch schon bei den Entnahmeaktivitäten, können Probleme entstehen: Übernutzung einer begrenzten Ressourcenbasis, Verschmutzung und Störung von Ökosystemen und biogeochemischen Kreisläufen, wie z. B. im von Treibhausgasemissionen verursachten Klimawandel.

Dieser Bericht stellt die Ressourcennutzung in Österreich anhand von aktuellsten verfügbaren Daten aus der *Materialflussrechnung* dar. Grundlage sind die von Statistik Austria veröffentlichten Daten, welche die Jahre 2000 bis 2017 umfassen (Statistik Austria 2019). Für das Jahr 2018 wurden eigene Schätzungen angestellt, basierend auf Daten der Landwirtschaftsstatistik (Statistik zur Land- und Forstwirtschaft an der Statistik Austria¹), der Bergbaustatistik (BMNT 2019a) bzw. auf Fortschreibungen für die *Importe und Exporte*.



Exkurs 2: Die Materialflussrechnung (MFA)

Die Datengrundlage zur Beschreibung und Analyse von *gesellschaftlicher* Ressourcennutzung ist die wirtschaftsräumliche *Materialflussrechnung* („economy-wide material flow accounting“, EW-MFA; in diesem Bericht wird in Folge die Abkürzung MFA verwendet; Eurostat 2018; Fischer-Kowalski et al. 2011; Krausmann et al. 2017a). Die *Materialflussrechnung* erfasst alle *Materialien*, die innerhalb bestimmter Systemgrenzen (z. B. Österreich) aus der Natur entnommen oder mit anderen sozio-ökonomischen Systemen gehandelt werden, sowie alle Abfälle und Emissionen, die an die Natur

1 statistik.at/web_de/statistiken/wirtschaft/land_und_forstwirtschaft/index.html

abgegeben werden (siehe Abbildung 2). Die Einheit, in der die Materialflüsse berichtet werden, ist metrische Tonnen pro Jahr (t/a). Alle *Materialien*, die Eingang in unsere *Gesellschaft* finden, werden in Produktionsprozessen in Güter oder Dienstleistungen für den inländischen Konsum oder den *Export* umgewandelt.

Die *Materialien* werden in der MFA in vier Gruppen – *Biomasse, fossile Energieträger, Metalle* und *nicht-metallische Mineralstoffe* – und weitere Untergruppen unterteilt. Die *gesellschaftliche* Nutzung der *Materialien* hat zwei Ziele: entweder werden *Materialien* energetisch als Nahrungsmittel oder als fossile und biogene Brennstoffe zur Bereitstellung technischer Energie genutzt. *Materialien* werden andererseits auch stofflich genutzt; dabei werden *Materialien* in Produkte umgewandelt, die entweder in die *gesellschaftlichen* Bestände eingehen und dort Jahre oder Jahrzehnte verbleiben, oder in geringen Mengen innerhalb eines einzigen Jahres schon zu Abfall werden. Gemäß den Hauptsätzen der Thermodynamik entsprechen alle physischen Inputs den Outputs korrigiert um die Bestandsveränderungen. Genau diese Massenbilanz ist eine große Stärke der MFA, denn so können alle Inputs einem entsprechenden Output, also einem Abfluss oder einer Emission, zugeordnet werden. Umweltprobleme aus einer Überlastung durch zu viele Abfälle oder Emissionen sind daher direkte Folge der Ressourcenflüsse, die wir auf der Input-Seite in unsere *Gesellschaft* einspeisen.

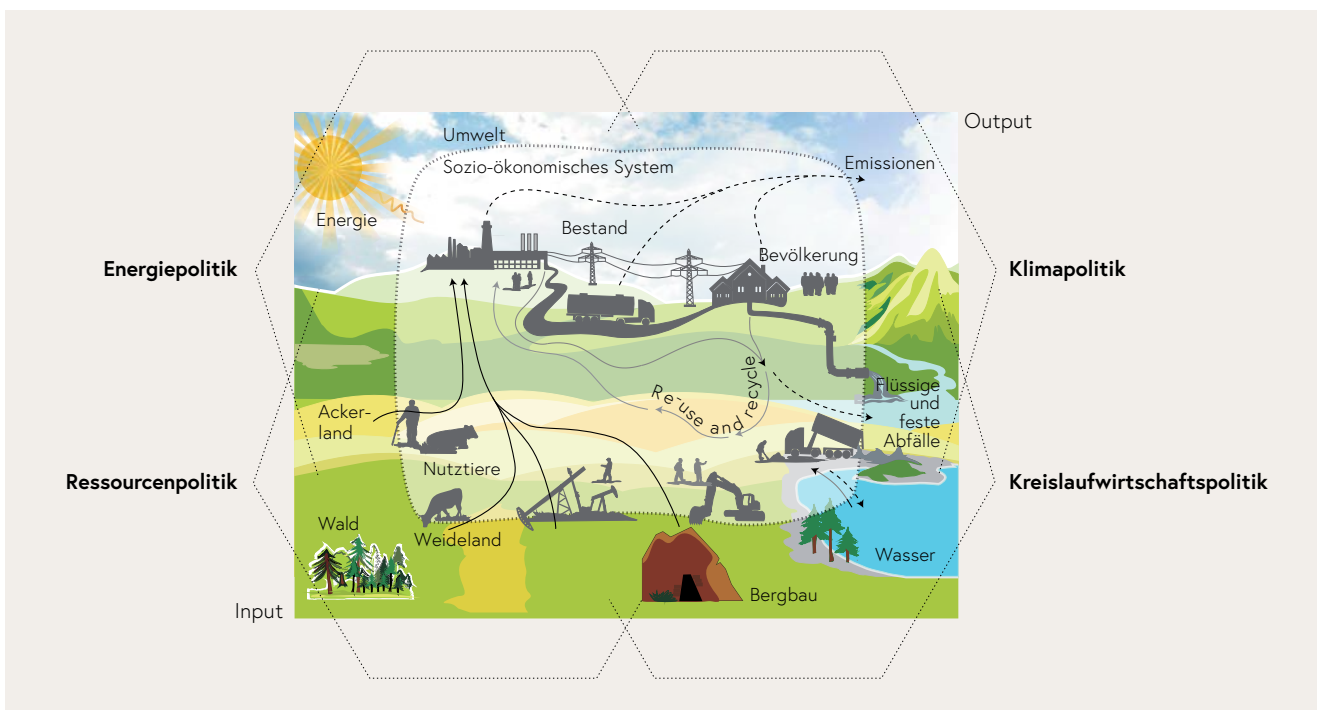


Abbildung 2: Schema des gesellschaftlichen Metabolismus

Quelle: eigene Darstellung auf Grundlage einer Illustration von Miljana Podovac in Haberl et al. 2019

Indikatoren der *Materialflussrechnung* sind Teil der *Umweltgesamtrechnungen* (Eurostat 2019b; UN 2017; BMNT 2018). Der Hauptindikator der MFA ist der *Inlandsmaterialverbrauch* („domestic material consumption“, DMC), der den gesamten Materialverbrauch in

Produktion und Konsum innerhalb Österreichs beschreibt (berechnet als *Inlandsentnahme plus Importe minus Exporte*). Damit können die benötigte Gesamtmenge an materiellen *Ressourcen*, ihre Zusammensetzung, die Entwicklung über die Zeit, Muster und Zusammenhänge mit anderen sozio-ökonomischen Faktoren und Zukunftsprojektionen analysiert werden. MFA-Indikatoren haben sich als Leit-Indikatoren für Programme zur nachhaltigen Ressourcennutzung etabliert, so zum Beispiel in der EU-Initiative zur Ressourceneffizienz (European Commission 2011a und 2011b) oder in den UN-Nachhaltigkeitszielen (SDG 8 und SDG 12; UN 2015). In Österreich werden die Daten jährlich von Statistik Austria erhoben und publiziert (Statistik Austria 2019).

Eine ausführlichere Beschreibung der *MFA-Methode* findet sich in „Ressourcennutzung in Österreich. Bericht 2011“ (BMLFUW und BMWFJ 2011) und ist in den entsprechenden internationalen Handbüchern (Eurostat 2018) oder wissenschaftlichen Publikationen (Fischer-Kowalski et al. 2011; Krausmann et al. 2017) nachzulesen.

Aufbau des Berichts

Die großen Herausforderungen einer nachhaltigen Entwicklung erfordern einen Blick auf das große Ganze, sie benötigen eine integrierte Sichtweise auf die vielen Teilprobleme und deren Zusammenhänge. Der aktuelle Bericht befasst sich daher mit einer Reihe von Querschnittsthemen (siehe Abbildung 2, Seite 16), welche die Ressourcennutzung in Österreich prägen.

Das erste Kapitel „Ressourcennutzung in Österreich – Wo stehen wir?“ (siehe Seite 20) widmet sich den allgemeinen Trends der letzten 18 Jahre (2000 bis 2018). Wir sehen, dass sich der österreichische Ressourcenverbrauch stabilisiert hat, aber im internationalen Vergleich und auch unter den EU-Ländern auf einem hohen Niveau liegt.

Nach dem großen Überblick werden drei Querschnittsthemen diskutiert, in denen sich verschiedene gesellschafts- und umweltpolitische Ziele begegnen: Klimaschutz, Kreislaufwirtschaft und kritische Rohstoffe.

Im Kapitel „Ressourcenschonung und Klimaschutz gehen Hand in Hand“ (siehe Seite 48) werden Zusammenhänge und Synergien zwischen Ressourceneffizienz und Klimaschutz untersucht. Es werden Sektoren und Aktivitäten identifiziert, in denen (umwelt-)politische Maßnahmen sowohl zur Reduktion des Ressourcenverbrauchs als auch zum Klimaschutz beitragen können.

Das Kapitel „Kreislaufwirtschaft aus einer gesamtwirtschaftlichen Perspektive“ (siehe Seite 62) befasst sich mit dem Konzept der Kreislaufwirtschaft unter dem Gesichtspunkt der *Materialflussrechnung* als Beitrag zu einer nachhaltigen Ressourcennutzung. Strukturelle Herausforderungen für unsere Wirtschafts- und Lebensweisen, werden anhand neuester Methoden erläutert und neue Perspektiven gesamtwirtschaftlicher Betrachtungsweisen eröffnet.

Im Kapitel „Kritische mineralische Rohstoffe sind wichtig für Zukunftstechnologien“ (siehe Seite 78) richten wir unseren Blick auf *Materialien*, die zwar in der *Materialflussrechnung* nur eine sehr kleine Menge ausmachen, aber große Auswirkungen auf zukünftige Ressourcennutzung und die Umsetzung von Nachhaltigkeit haben. Wir zeigen, wie sehr Europa und Österreich von einigen wenigen Rohstoffen, die essentielle „Zutaten“ in Zukunftstechnologien darstellen, abhängig sind.

Das abschließende Kapitel „Herausforderungen für die Zukunft“ (siehe Seite 88) stellt die Verbindung zu den globalen Nachhaltigkeitszielen her und beschreibt mögliche Wege in die Zukunft. Über die Querschnittsthemen hinweg zeigt sich, dass es übergeordnete, handlungsanleitende Ziele für die Ressourcennutzung braucht.

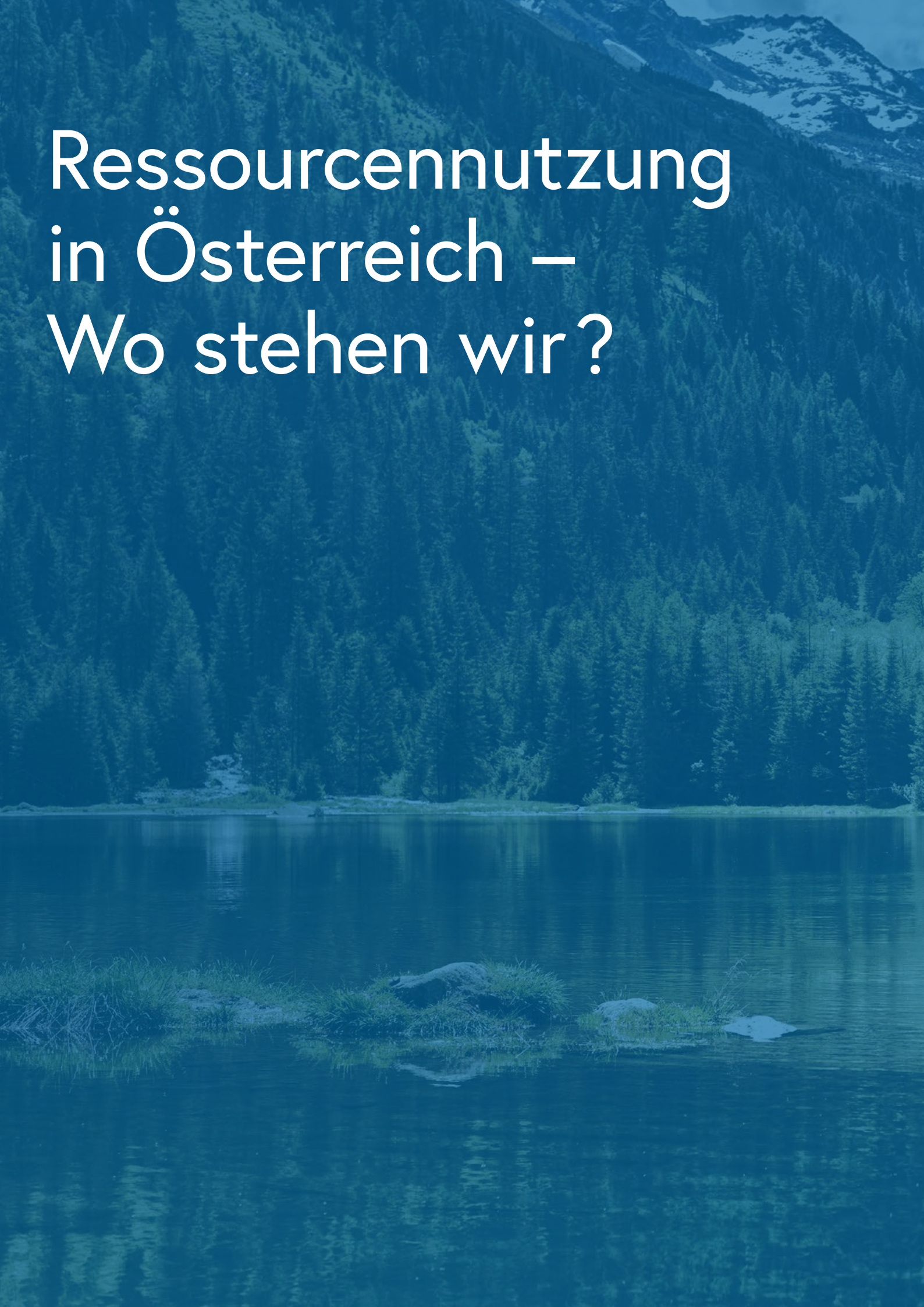
Verweise auf Programme und Initiativen oder Erläuterungen zu Methoden, Indikatoren oder Datengrundlagen sind in Exkursen zusammengefasst, Fachbegriffe, die im Text *kursiv* dargestellt sind, werden im Glossar (siehe Seite 111) definiert. Außerdem werden in Exkursen auch Best-Practice-Beispiele präsentiert. Eine Übersicht über verwendete Abkürzungen und Einheiten ist in den entsprechenden Verzeichnissen auf Seite 116 f zu finden.



Exkurs 3: Aus aktuellem Anlass – Corona-Krise

Der Zeitpunkt der Fertigstellung dieser Publikation fiel mit der weltweiten Ausbreitung des neuartigen Coronavirus SARS-CoV-2 zusammen.

Das Virus verändert derzeit unsere Arbeits- und Lebensgewohnheiten sowohl auf lokaler, regionaler, nationaler als auch globaler Ebene. Diese Krise zeigt schonungslos unsere Verwundbarkeit in einer globalisierten Welt mit komplexen Abhängigkeiten und weit verzweigten Wertschöpfungsketten und lenkt den Blick auf die wesentlichen Aspekte unseres Lebens. Sie offenbart Fragen zur Versorgungssicherheit bei Produkten die unsere Lebensgrundlage bilden; ebenso bei Grundstoffen, die als Ausgangsstoffe für oft lebensnotwendige und auch lebensrettende Produkte dringend gebraucht werden. Zum aktuellen Zeitpunkt lassen sich die Folgen der Krise noch nicht abschätzen. Allerdings legen nicht nur die momentan wahrnehmbaren Auswirkungen der Corona-Krise nahe, dass eine Transformation unserer Gebrauchs- und Konsummuster hin zu einem ressourceneffizienten, achtsamen und verstärkt auf regionalerer Versorgung basierenden Lebensstil notwendig ist. Eine Re-Integration der Wertschöpfungsketten zur Wahrung der heimischen Versorgungssicherheit auch in Krisenzeiten könnte die Resilienz unseres Wirtschafts- und Gesellschaftssystems erhöhen. Aus diesen Herausforderungen erwachsen durchaus auch Chancen für ein nachhaltigeres Österreich.

The image shows a serene landscape with a calm lake in the foreground, a dense forest of evergreen trees in the middle ground, and snow-capped mountains in the background. The entire scene is overlaid with a semi-transparent blue filter. The text is positioned in the upper left quadrant.

Ressourcennutzung in Österreich – Wo stehen wir?



Natürliche *Ressourcen* bilden die physische Basis unserer *Gesellschaft*. Wir benötigen Land, um Nahrungsmittel darauf anzubauen; Rohstoffe, um Häuser, Straßen und Produkte unseres täglichen Lebens herzustellen; Energieträger, um unsere Transportmittel und Maschinen zu betreiben und Wasser, um unsere Felder zu bewässern und unsere Industrieanlagen zu kühlen. *Gesamtgesellschaftlich* übersteigt unsere Ressourcennutzung dabei die Summe der *Ressourcen*, die von einer Person individuell genutzt werden, um ein Vielfaches. Dies lässt sich am Beispiel des Energieumsatzes verdeutlichen. Um den Grundbedarf eines Menschen an Energie zum Überleben zu decken, benötigt jede und jeder einzelne von uns nur ca. 8 Megajoule (MJ) pro Kopf und Tag. Diesen Bedarf decken wir über unsere Ernährung. Man bezeichnet diesen Grundumsatz auch als den individuellen *Stoffwechsel* oder *Metabolismus* eines Menschen.

Gesellschaftlich verwenden wir aber noch in vielen anderen Formen Energie: Wir heizen und beleuchten unsere Wohnungen, wir bauen und betreiben Gebäude und Infrastruktur, wie z. B. Krankenhäuser, Schulen, das Straßennetz, Theater und Restaurants. Bezieht man all diese energetischen Erfordernisse der *Gesellschaft* mit ein, ergibt sich in Österreich im Jahr 2015 ein Energiebedarf von mehr als 420 MJ pro Kopf pro Tag (siehe Abbildung 3, Seite 23). Dieser *gesellschaftliche* Ressourcenbedarf wird auch als *gesellschaftlicher Metabolismus* bezeichnet und geht weit über die Summe individueller Grundumsätze hinaus.

Wir ge- und verbrauchen große Mengen natürlicher Ressourcen

Vor allem seit dem Nachkriegswachstum in den 1950er Jahren stieg der *gesellschaftliche* Bedarf an *Material* und Energie rasant an und ermöglichte in einigen Ländern hohen *gesellschaftlichen* Wohlstand. Zwischen 1950 und 2015 ist der globale Materialverbrauch beinahe um den Faktor 7, von 13 Milliarden Tonnen pro Jahr auf 89 Milliarden Tonnen pro Jahr gestiegen (Krausmann et al. 2018). Seit 1950 stieg auch die globale Bevölkerung (Faktor 3), ihr Einkommen (Bruttoinlandsprodukt, BIP; Faktor 8), die Nutzung von Energie (Faktor 7) und Wasser (Faktor 4) (Steffen et al. 2015). Handelsbeziehungen erstrecken sich zunehmend quer über den ganzen Globus, die physischen Handelsflüsse sind zwischen 1970 und 2017 schneller gestiegen (Faktor 4) als die Materialentnahmen im gleichen Zeitraum (Faktor 3, UN IRP 2019a). Dieser beschleunigte Ge- und Verbrauch von *Ressourcen* führt gleichermaßen zu rasch steigenden Belastungen unserer Umwelt, z. B. Klimawandel (Anstieg der globalen Treibhausgasemissionen um den Faktor 18 zwischen 1900 und 2016; Anderl et al. 2018), globale und vor allem lokale Gesundheitsbelastungen durch Feinstaub (Faktor 1,4 zwischen 2000 und 2011; UN IRP 2019a), Wasserknappheit (Faktor 1,2 zwischen 2000 und 2011; UN IRP 2019a). Die Phase seit 1950 wird daher auch als die große Beschleunigung („great acceleration“) bezeichnet (Steffen et al. 2015). Diese rasanten Wachstumsraten der heutigen Industriegesellschaften wurden vor allem durch die Nutzung *fossiler Energieträger* ermöglicht (Fischer-Kowalski et al. 2014).

Eine Österreicherin oder ein Österreicher verbrauchte im Jahr 2015 pro Tag durchschnittlich 50 Kilogramm (kg) *Material*, 420 Megajoule (MJ) Energie, 695 Liter (l) Wasser und circa 1 Hektar (ha) Fläche (siehe Abbildung 3). 7 kg *fossile Energieträger* werden pro Person und Tag verbraucht, die hauptsächlich für den Ausstoß von circa 21 kg Kohlenstoffdioxid (CO₂) pro Person und Tag in Österreich verantwortlich sind. Wasser wird nur zu 25% in österreichischen Haushalten verbraucht, während die restlichen 69% von der Industrie und 6% von der Landwirtschaft benötigt werden. Die Landesfläche wird für die unterschiedlichsten Zwecke genutzt, so zum Beispiel für die Landwirtschaft, Industriestandorte, unser Straßennetz, aber auch für unsere Freizeit und Erholung. In Österreich werden pro Person durchschnittlich 0,3 ha Fläche landwirtschaftlich genutzt, darauf werden durchschnittlich 12 kg/Tag nachwachsende Rohstoffe pro Person verbraucht. In Österreich werden täglich 2 kg *Metalle* und 28 kg *nicht-metallische mineralische Rohstoffe* in der Herstellung und Erhaltung von Häusern, Straßen, Infrastruktur und Produkten verwendet.



Abbildung 3: Ressourcennutzung in Österreich, 2015

Quellen: Materialien: Statistik Austria 2019; Energie: Statistik Austria 2018b; CO₂: UBA 2017; Wasser: BMNT 2016; Fläche: Statistik Austria 2018a

In den letzten knapp 60 Jahren ist der Ressourcenverbrauch in Österreich deutlich gestiegen. 1960 hat Österreich rund 100 Millionen Tonnen *Material* pro Jahr verbraucht, im Vergleich dazu hat sich der Materialverbrauch bis 2015 auf rund 160 Millionen Tonnen (Mt oder Megatonnen) pro Jahr um den Faktor 1,6 erhöht; bis 2018 stieg der Materialverbrauch weiter auf 167 Mt/a. Seit 1980 hat sich der Materialverbrauch bei über

160 Mt/a eingependelt (mit Ausnahme zwischen 2000 und 2008, als der Materialverbrauch bei ca. 170 Mt/a lag). 2007 hat der Materialverbrauch in Österreich seinen bisherigen Höhepunkt von 177 Mt/a erreicht². Seitdem ist eine Reduktion um 6% zu verzeichnen. Diese Reduktion ist eine positive Entwicklung, muss aber vorerst als kurzfristig bezeichnet und weiter beobachtet werden.

Österreichs Konsum ist für Ressourcenverbrauch in anderen Teilen der Welt mitverantwortlich

Die *Ressourcen*, die innerhalb der österreichischen Grenzen genutzt werden (dargestellt durch den *Inlandsmaterialverbrauch*, DMC), lassen auf den österreichischen Produktions- und Konsumstandort blicken. Durch die Einbindung Österreichs in globale Versorgungsketten sind die österreichischen Produktions- und Konsumaktivitäten über die Landesgrenzen hinaus wirksam, Rohstoffentnahme und Produktion finden vielfach an anderen Orten statt als der Endkonsum. Die österreichischen Konsumaktivitäten haben daher Auswirkungen auf den Ressourcenverbrauch in anderen Weltregionen, ebenso werden in Österreich *Ressourcen* verbraucht, die durch *Exporte* dem Endkonsum in anderen Ländern zugutekommen. Will man also den Ressourcenverbrauch des österreichischen Endkonsums analysieren (Konsumperspektive), muss man den Blick von der nationalen Ebene auf die globale erweitern. Die *Ressourcen*, die in der Produktion der österreichischen Importgüter verbraucht wurden, müssen aus einer Konsumperspektive dem österreichischen Endkonsum zugerechnet werden. Ebenso muss der Ressourcenverbrauch für die Exportproduktion den Ländern zugerechnet werden, in denen der entsprechende Endkonsum stattfindet. Österreich importiert mehr als es exportiert. Daher lagert Österreich, wie viele andere industrialisierte Länder, einen Teil des Ressourcenbedarfs der Güterproduktion (und die damit verbundenen Umweltbelastungen) in die produzierenden Länder aus. Das Konzept des *Material-Fußabdrucks* ermöglicht es, die Ressourcennutzung über die gesamten Produktions- und Lieferketten hinweg den Ländern der Endverwendung zuzuordnen. Damit erhalten wir neue Informationen über die globalen Umweltauswirkungen des österreichischen Endkonsums (weitere Informationen zu den Fußabdruck-Indikatoren sind in Exkurs 6, Seite 38, zu finden).

Der Konsum einer Österreicherin oder eines Österreichers verursacht im Durchschnitt im Jahr 2015 einen weltweiten *Material-Fußabdruck* von 71 kg pro Kopf pro Tag, also um 21 kg oder 40% mehr *Material*, als innerhalb der österreichischen Grenzen verbraucht wird. Der größte Unterschied ergibt sich hier für die *Metalle*, für die gut dreimal so viel *Material* im Produktionsprozess verbraucht wird wie schließlich nach Österreich importiert wird. Grund dafür ist, dass eine heimische bergbauliche Gewinnung

2 Die Daten der Materialflussanalyse wurden seit dem letzten Ressourcenbericht (BMLFUW und BMWFW 2015) revidiert und liegen nun unter dem 2015 berichteten Verbrauch.

vieler *Metalle* in Ermangelung an wirtschaftlich nutzbaren Lagerstätten nicht stattfindet, sodass Güter aus Metall vor allem in hoch verarbeiteter Form importiert werden (beispielsweise als Maschinen oder Autos), und die Produktion dieser Güter von der Gewinnung im Bergbau bis zur Verarbeitung sehr material- und energieintensiv ist. Auch für den österreichischen Verbrauch an fossilen Energieträgern und nicht-metallischen Mineralen wird um einiges mehr *Material* weltweit benötigt, als dann tatsächlich nach Österreich importiert wird.

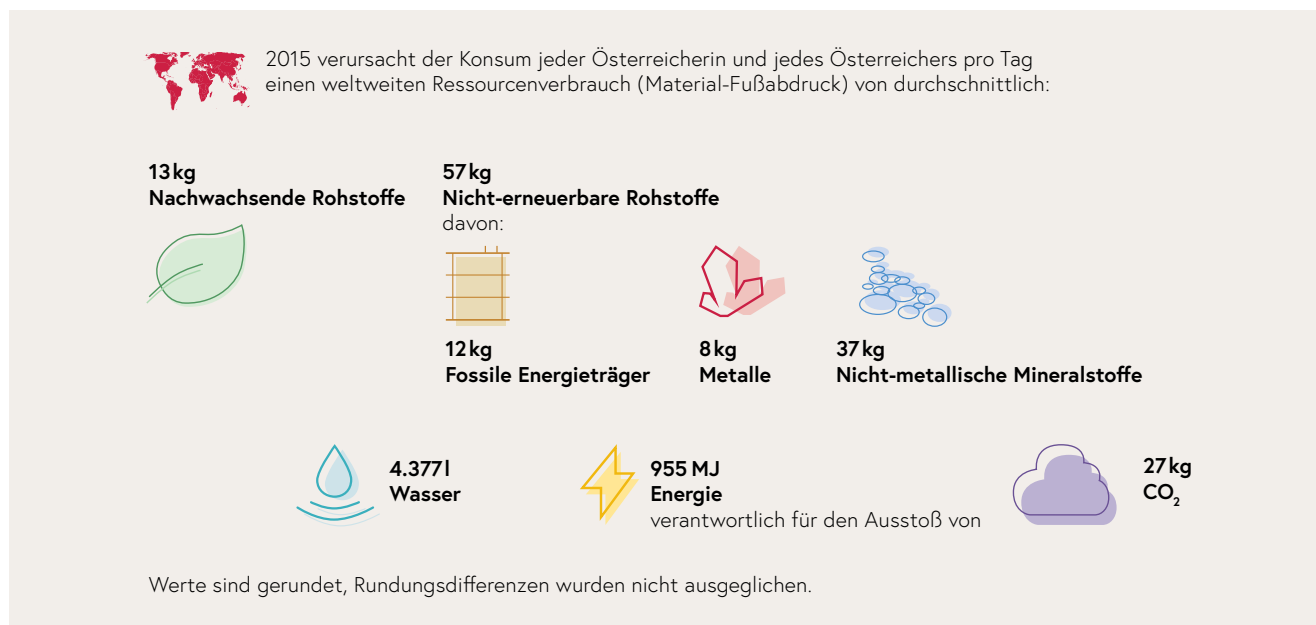


Abbildung 4: Wie viele globale Ressourcen (Material-Fußabdruck) braucht Österreich für die Deckung des Endkonsums, 2015?

Quellen: Material-, Energie- und CO₂-Fußabdruck: EE-MRIO Modell exiobase v.3.6, Stadler et al. 2018; Wood et al. 2018; Wasser-Fußabdruck: BMNT 2019b

Auch der weltweite Energie-Fußabdruck des Konsums einer Österreicherin oder eines Österreichers liegt weit über der in Österreich verbrauchten Energie: 955 MJ werden pro Person pro Tag aufgewandt, um die österreichischen Bedürfnisse im Jahr 2015 zu befriedigen, mehr als doppelt so viel wie laut Energiebilanz in Österreich direkt genutzt wurden. Der österreichische Energieverbrauch ist damit global für den Ausstoß von 27 kg CO₂ pro Kopf und Tag verantwortlich. Der Wasser-Fußabdruck, also der gesamte direkte und indirekte Wasserverbrauch, der durch den österreichischen Konsum induziert wird, beträgt 4.377 l Wasser pro Tag und Kopf (BMNT 2019b), das ist sechsmal so viel wie das in Österreich verbrauchte Wasser.

Unser Ressourcenverbrauch überschreitet die biophysischen Grenzen unseres Planeten

Österreich verbraucht viele *Ressourcen* in Produktion und Konsum und belastet damit die biogeochemischen Kreisläufe der globalen Ökosysteme. Mit Bezug auf die *planetaren Grenzen* („planetary boundaries“) wird derzeit in Wissenschaft und Politik vermehrt versucht, die globalen Auswirkungen unseres Ressourcenverbrauchs abzuschätzen und akzeptable Grenzen zu definieren (Rockström et al. 2009; Steffen et al. 2015). Das Konzept der *planetaren Grenzen* geht von der Endlichkeit von natürlichen *Ressourcen* und Senken für Abfälle und Emissionen aus. Schon das Überschreiten einzelner Grenzen kann verheerende Auswirkungen haben. Beispielsweise kann die landwirtschaftliche Biomasseproduktion zu Erosion von Böden und zu Bodendegradation, Phosphor- und Stickstoffabfluss durch Überdüngung und Überschreitung der Grenzen biogeochemischer Kreisläufe und zum Verlust von Artenvielfalt führen. Wir brauchen daher Wirtschafts- und Lebensweisen, die es uns ermöglichen, innerhalb der *planetaren Grenzen* zu bleiben.

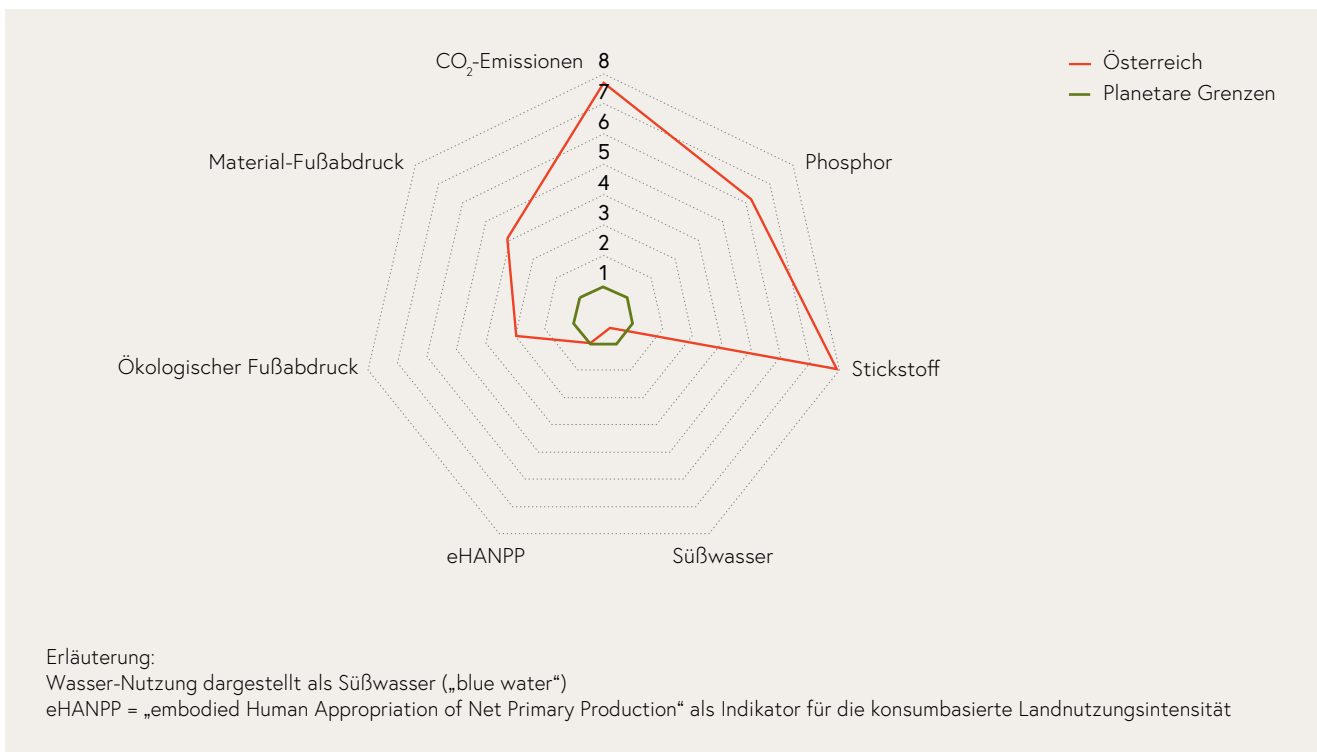


Abbildung 5: Österreich und die planetaren Grenzen

Quelle: eigene Darstellung, Daten von O'Neill et al. 2018

Eine Forschergruppe um Daniel W. O'Neill (2018) hat die global definierten *planetaren Grenzen* auf Länderebene übersetzt und dann Fußabdruckindikatoren des Ressourcenverbrauchs gegenübergestellt (siehe Abbildung 5). Die Auswertung zeigt, dass das österreichische Verbrauchsniveau weit über jene, für unsere Umwelt verträgliche Grenzen hinausgeht. Vor allem der hohe CO₂-Fußabdruck schießt weit über

die *planetaren Grenzen* hinaus. Auch der Eintrag von Phosphor und Stickstoff, die in großen Mengen als Düngemittel in der Landwirtschaft eingesetzt werden, überschreitet die definierten Belastungsgrenzen. Unser *Material-Fußabdruck* sowie unser ökologischer Fußabdruck (siehe Exkurs 6, Seite 38) übersteigen die Belastungsgrenzen unserer Erde um das Vier- bzw. Dreifache. In unserer Landnutzung befinden wir uns leicht außerhalb des akzeptablen Rahmens und einzig unsere Wassernutzung bleibt innerhalb der Grenzen, was vor allem auf die großen verfügbaren Wasserressourcen unseres Landes zurückzuführen ist.

Unser Ressourcenverbrauch hat sich stabilisiert – allerdings auf einem hohen Niveau

Zwischen 2000 und 2018 zeigt der österreichische Materialverbrauch eine Stabilisierung bei fast 170 Millionen Tonnen pro Jahr oder 19 Tonnen pro Kopf und Jahr (siehe Abbildung 6, Seite 28). Diese 170 Mt/a werden innerhalb Österreichs in Produktion und Konsum verbraucht oder in Gebäuden, Infrastruktur oder langlebigen Gütern gebunden. 135 Mt/a *Material* wurden 2018 in Österreich aus der Natur entnommen (*Inlandsentnahme* oder „domestic extraction“, DE), der Rest wurde aus dem Ausland importiert (99 Mt in 2018). 67 Mt/a *Material* wurde in Form von verarbeiteten Gütern ins Ausland exportiert. Österreich importiert also mehr *Material* als es exportiert und ist somit ein Netto-Importeur, dargestellt durch die *physische Handelsbilanz* („physical trade balance“, PTB=Importe-Exporte), die für Österreich 2018 bei 32 Mt liegt (siehe Abbildung 6, Seite 28).

Die stärkste Veränderung im österreichischen Materialverbrauch in den letzten 18 Jahren ergab sich durch die Weltwirtschaftskrise 2008/2009 und die Rezession bzw. Stagnation zwischen 2011 und 2014. In jenen Jahren, in denen das Wirtschaftswachstum 3% oder mehr betrug, ist auch der Materialverbrauch deutlich gewachsen. Nur in jenen Jahren, in denen das Wirtschaftswachstum unter 1,5% lag, ist der Materialverbrauch gesunken. Im Gegensatz zu planvollem, umsichtigem Umgang mit *Ressourcen* und unserer Umwelt sind die verschärften Ungleichheiten und der materielle Mangel, die in Krisenzeiten eine Reduktion des Ressourcenverbrauchs ermöglichen, hochgradig problematisch. Außerdem legen globale Studien nahe, dass die Auswirkungen von niedrigem Wirtschaftswachstum oder Rezession auf den Ressourcenverbrauch von der folgenden Boom-Phase der Wirtschaft wieder zunichte gemacht werden (Shao et al. 2017; Steinberger et al. 2013; Wu et al. 2019). Es braucht daher eine Konzentration auf die wesentlichen Ziele, das sind Wohlstand und Wohlergehen für jede einzelne und jeden einzelnen. Wirtschaftswachstum ist nur ein möglicher Weg zu diesem Ziel, daher müssen wir nach Alternativen suchen. Unter Verwendung anderer Maßzahlen, z. B. dem Index menschlicher Entwicklung der Vereinten Nationen („Human Development Index“ HDI; UNDP 2019) konnte gezeigt werden, dass ein Zuwachs an Wohlstand auch ohne Zuwachs an Ressourcenverbrauch möglich ist (BMLFUW und

BMFWF 2015). Initiativen wie jene zu „Wachstum im Wandel“ (siehe Exkurs 4) setzen Impulse, um solche Entwicklungspfade zu forcieren.

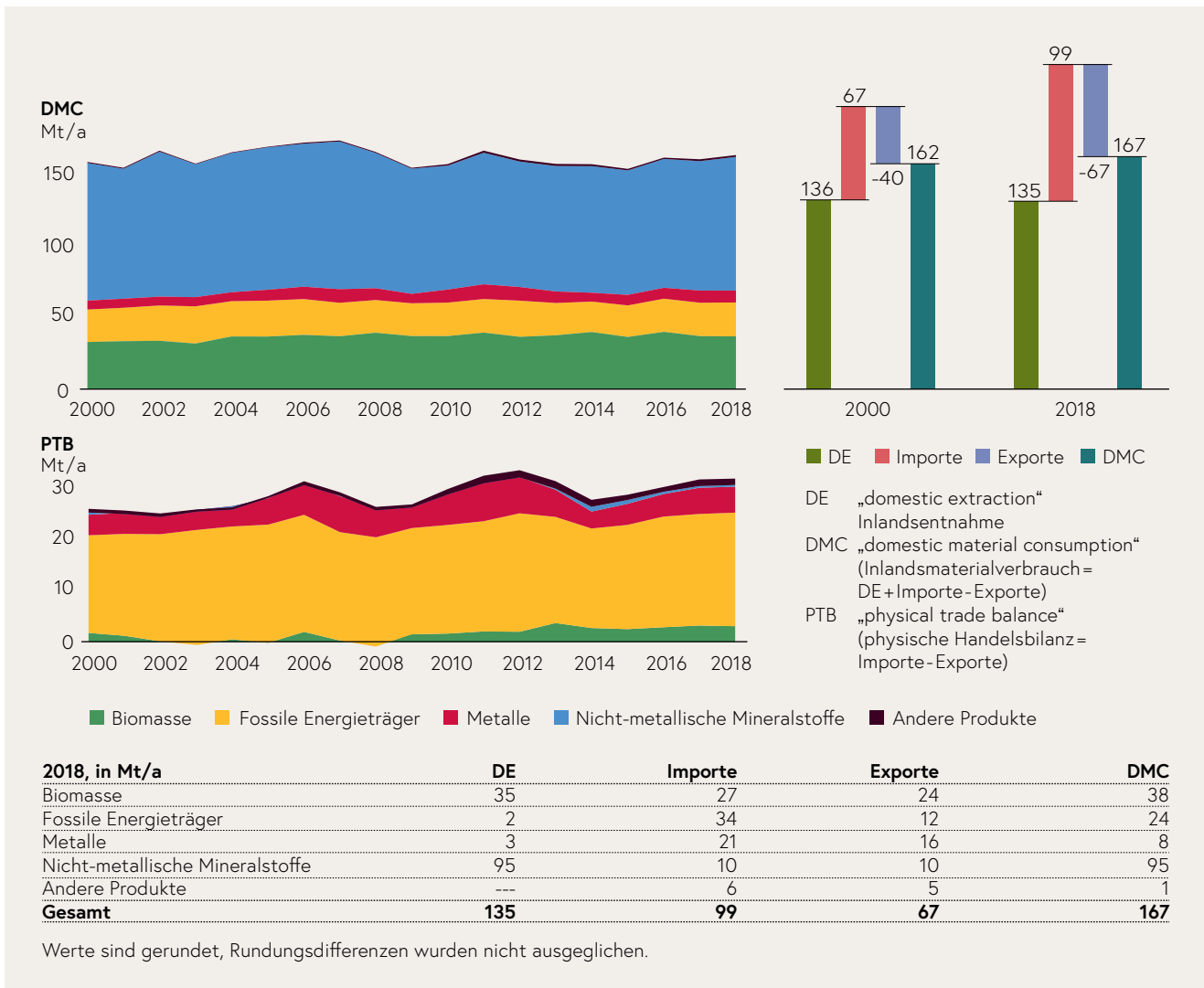


Abbildung 6: Materialflüsse in Österreich, Materialverbrauch und physische Handelsbilanz, 2000–2018

Quelle: Statistik Austria 2019



Exkurs 4: Die Initiative „Wachstum im Wandel“

Die Initiative „Wachstum im Wandel“ (WiW) bietet eine unabhängige und überparteiliche Plattform, bei der sich Akteurinnen und Akteure aus allen Bereichen der *Gesellschaft* – Politik, Zivilgesellschaft, Privatwirtschaft und Wissenschaft – mit Fragen zu Wachstum, Wohlstand und Lebensqualität innerhalb der *planetaren Grenzen* auseinandersetzen. WiW will das Wachstum des Bruttonozialprodukts, das Wirtschaftswachstum, nicht als leitgebendes *gesellschaftliches* Ziel, sondern als Mittel zur Erreichung bestimmter

gesellschaftlicher Ziele verankert wissen. Im Zentrum der Initiative steht die Transformation der Gesellschaft und die Frage wie man die folgenden Ziele gleichzeitig erreicht:

- Ökologische Nachhaltigkeit
- Soziale Gerechtigkeit
- Hohe Lebensqualität
- Hoher Beschäftigungsgrad in sinngebender Arbeit („decent“)

Die Initiative „Wachstum im Wandel“ wurde im Jahr 2008 auf Initiative des Umweltministeriums ins Leben gerufen und wird mittlerweile von über 30 Partner-Institutionen aus Politik, Zivilgesellschaft und Wirtschaft getragen. Die Veranstaltungen und Publikationen im Rahmen von Wachstum im Wandel finden sich auf der Website: wachstumimwandel.at

Wir brauchen ganz unterschiedliche Rohstoffe für viele verschiedene gesellschaftliche Verwendungen

Um den gesamten Materialverbrauch eines Landes besser interpretieren zu können, werden üblicherweise vier Hauptmaterialgruppen unterschieden: *Biomasse*, *Metalle*, *nicht-metallische Mineralstoffe* und *fossile Energieträger*. Die *nicht-metallischen Mineralstoffe* stellen mit 95 Mt/a die größte Kategorie dar, die im Jahr 2018 57% des Materialverbrauchs ausmacht (siehe Abbildung 7). Die zweitgrößte Materialgruppe ist mit 38 Mt/a jene der *Biomasse*, auf die im Jahr 2018 ein Viertel oder 23% des DMC entfällt. Die *fossilen Energieträger* (24 Mt/a oder 15% des DMC) und die *Metalle* (8 Mt/a oder 5%) sind vergleichsweise kleine Kategorien, obwohl sie aus wirtschaftspolitischer Sicht von großer Bedeutung sind.

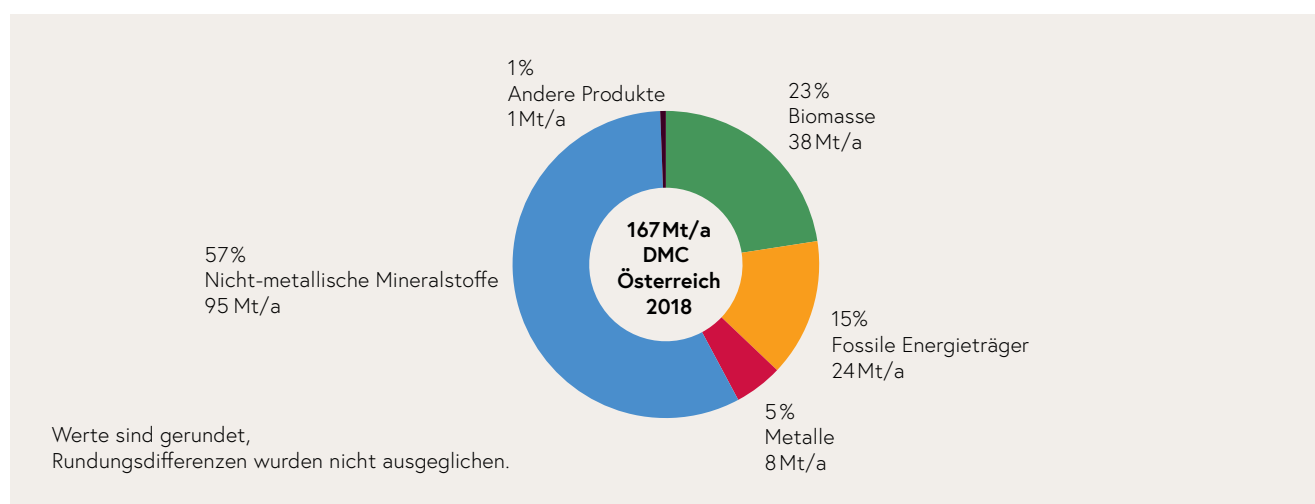


Abbildung 7: Der österreichische Materialverbrauch (DMC) nach Materialkategorien, 2018

Quelle: Statistik Austria 2019

Biomasse

Die Gruppe der *Biomasse* umfasst alle biotischen Rohstoffe aus organischer Substanz, das sind lebende Pflanzen, Tiere, Mikroorganismen und auch tote organische Substanz (Totholz, Laub, Stroh etc.). *Biomasse* wird sehr häufig auch als Gruppe der nachwachsenden oder erneuerbaren Rohstoffe bezeichnet. *Biomasse-Materialien* werden in industrialisierten *Gesellschaften* vor allem für die Ernährung von Menschen und Tieren verwendet. Der Großteil der landwirtschaftlichen Ernte wird als Futtermittel für Nutztiere verwendet. Parallel dazu hat sich die Bioenergie in den vergangenen Jahren zur wichtigsten erneuerbaren Energiequelle in Österreich entwickelt und stellt eine wesentliche Säule der heimischen Energieversorgung dar. In Österreich spielt auch die Forstwirtschaft mit einem Waldanteil von 48% eine zentrale Rolle für die Biomasseproduktion. In der stofflichen Verwertung von Holz sind vor allem die Papier- und Zellstoffindustrie sowie die Baubranche die starken Sparten (BMNT et al. 2019). In kleineren Mengen werden auch Faserpflanzen verwertet, z. B. in der Textilindustrie. Der Verbrauch an *Biomasse* betrug 2000 34 Mt/a und ist bis 2018 um 12% auf 38 Mt/a gestiegen (siehe Abbildung 8). Der größte Anstieg sowohl in absoluten Mengen als auch anteilig war für Holz und Holzzeugnisse zu beobachten.

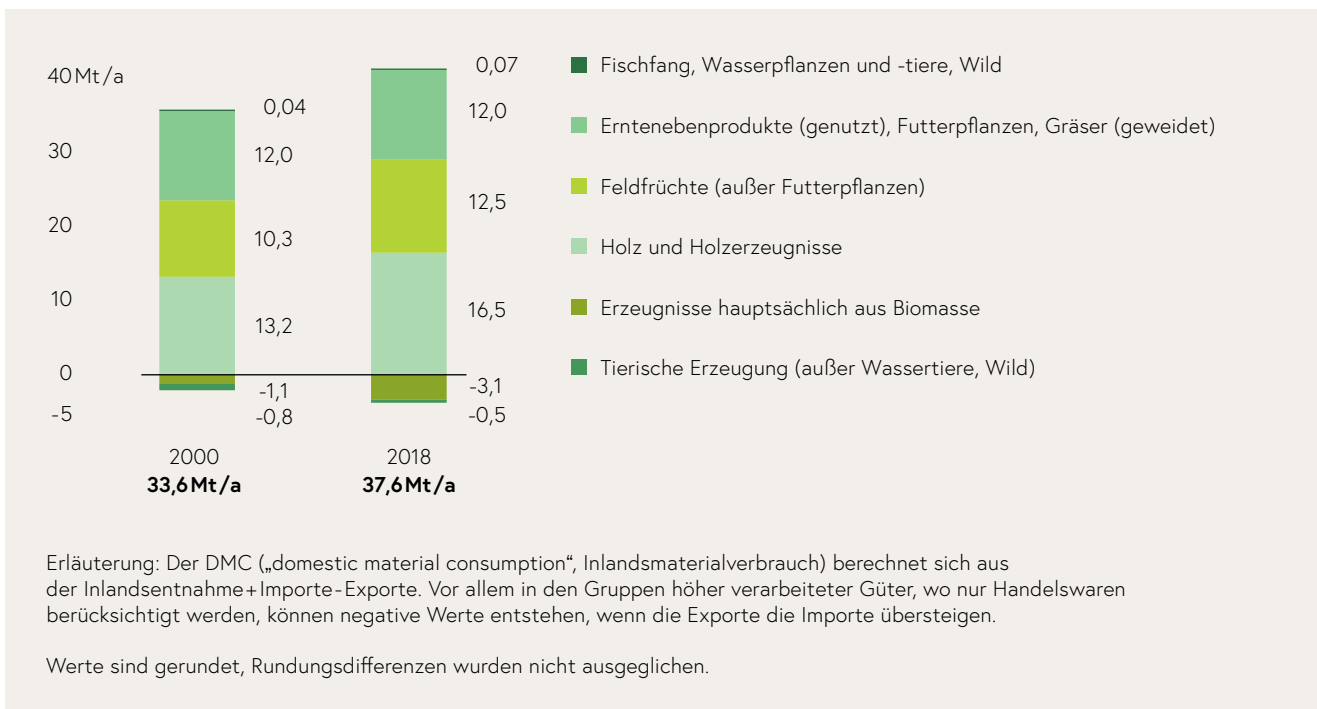


Abbildung 8: Verbrauch von Biomasse nach Sub-Gruppen, 2000 und 2018

Quelle: Statistik Austria 2019

Erneuerbare Rohstoffe sind große Hoffnungsträger einer zukünftigen nachhaltigen *Gesellschaft* und der Dekarbonisierung der Wirtschaft. Zum einen kann der Ersatz *fossiler* durch biotische Rohstoffe in der Energieerzeugung einen Beitrag zur Eindämmung des Klimawandels leisten. Zum anderen sollen *Biomasse-Materialien* auch im Rahmen der

Bioökonomie-Initiative (siehe Exkurs 5) verstärkt fossile Rohstoffe in der stofflichen Nutzung ersetzen. Die Europäische Union hat bereits 2012 eine Bioökonomiestrategie erarbeitet. Diese war noch stark auf Forschung und Wissenschaft ausgerichtet.

Die Überarbeitung 2018 hat diese Bioökonomiestrategie jetzt in die Mitte der europäischen Politik geführt und damit die nachhaltige Nutzung erneuerbarer Rohstoffe als Zielsetzung in viele Politikbereiche eingebracht. Damit dadurch nicht neue Umweltprobleme entstehen (oder bereits bekannte sich verschärfen), muss die Produktion und Nutzung von *Biomasse* umfassend beobachtet und an den globalen Nachhaltigkeitszielen ausgerichtet werden. Diese Nachhaltigkeitsaspekte werden in der österreichischen Bioökonomiestrategie berücksichtigt. Die Abstimmung mit den in der Agenda 2030 verbindlich gemachten Nachhaltigkeitszielen wurde in die Leitlinien der Strategie eingearbeitet.



Exkurs 5: Bioökonomie – eine Strategie für Österreich

Bioökonomie steht für ein Wirtschaftskonzept, das *fossile Rohstoffe* durch nachwachsende Rohstoffe in möglichst allen Bereichen und Anwendungen ersetzen soll. Sie umfasst alle industriellen und wirtschaftlichen Sektoren, die biologische *Ressourcen* produzieren, ver- und bearbeiten oder nutzen. Die Bioökonomie bietet damit die große Chance, globalen Herausforderungen wie dem fortschreitenden Klimawandel, der Lebensmittel- und Wasserknappheit oder den zunehmenden Umweltbelastungen zu begegnen und gleichzeitig die ökonomische Entwicklung zu stärken.

Die österreichische Bioökonomiestrategie (BMNT et al. 2019) wurde im März 2019 im Ministerrat angenommen. In der Strategie wird die nachhaltige Nutzung von Rohstoffen aus Land-, Forst-, Abfall- und Wasserwirtschaft adressiert. Es hat sich gezeigt, dass insbesondere der Bereich der Reststoffe, Nebenprodukte und Abfälle über eine kaskadische Nutzung wesentlich stärker einbezogen werden muss, im Sinne einer Kreislaufwirtschaft. Außerdem werden die Konsumentinnen und Konsumenten adressiert, da eine nachhaltige Umstellung des Wirtschaftssystems auch Änderung im Konsumverhalten braucht.

In der Strategie wurden Handlungsfelder identifiziert, welche die weitere Grundlage für den darauf aufbauenden Aktionsplan und die darin zusammengefassten Maßnahmen bilden. Die Bioökonomie soll, durch die Entwicklung geeigneter Instrumente zur Forcierung von erneuerbaren Rohstoffen, in allen Wirtschaftsbereichen umgesetzt werden. Weitere Informationen finden sich unter folgendem Link: bmk.gv.at/themen/innovation/publikationen/energieumwelttechnologie/biooekonomiestrategie.html

Fossile Energieträger

Die Gruppe der *fossilen Energieträger* umfasst alle mineralischen Rohstoffe, die durch geochemische Prozesse aus pflanzlichen und tierischen Überresten vor Jahrmillionen entstanden sind. *Fossile Energieträger* werden von *Gesellschaften* zum Großteil energetisch genutzt. Nur zu einem sehr geringen Teil (unter 5% des Verbrauchs an fossilen Energieträgern) werden *fossile Energieträger* auch stofflich verwendet, zum Beispiel in der chemischen Industrie (Herstellung von Kunststoffen, Asphaltproduktion). Zwischen 2000 und 2018 ist der Verbrauch an fossilen Energieträgern von 23 Mt/a auf 24 Mt/a um 5% gestiegen und in der Zusammensetzung hat sich der Verbrauch von Kohle hin zu Erdgas verschoben (siehe Abbildung 9). Der größte Verbrauch entfällt auf Erdöl und Erdölprodukte und ist angestiegen.

Nahezu alle *gesellschaftlichen* Aktivitäten in der Produktion oder im Betrieb unserer Gebäude, Fahrzeuge oder Maschinen bedingen den Einsatz von *fossilen Energieträgern*. Der Verbrauch an *fossilen Energieträgern* zeigt eine hohe Korrelation mit dem Wirtschaftswachstum (Steinberger et al. 2013). Die Vorkommen *fossiler Energieträger* sind in Lagerstätten und bestimmten Ländern konzentriert (BMLFUW und BMWFJ 2011). Daher sind industrialisierte Länder aber zunehmend auch die rasch wachsenden Ökonomien von intensiven Handelsbeziehungen und einer kontinuierlichen Versorgung durch wenige Länder abhängig. Das größte Umweltproblem in Verbindung mit der Nutzung *fossiler Energieträger* sind CO₂-Emissionen aus der Verbrennung und ihr Beitrag zum Klimawandel. Im Abkommen von Paris im Jahr 2015 (UN 2016) haben daher die 197 Vertragsparteien der Klimarahmenkonvention die Begrenzung der globalen Erderwärmung auf unter 2°C beschlossen. Der Weltklimarat hat im letzten IPCC Bericht (IPCC 2018) auf die Dringlichkeit der Situation hingewiesen und eine Zielsetzung von 1,5°C als notwendig erachtet. Ein Ausstieg aus dem fossilen Energiezeitalter bis 2050 wird als unumgänglich erachtet.

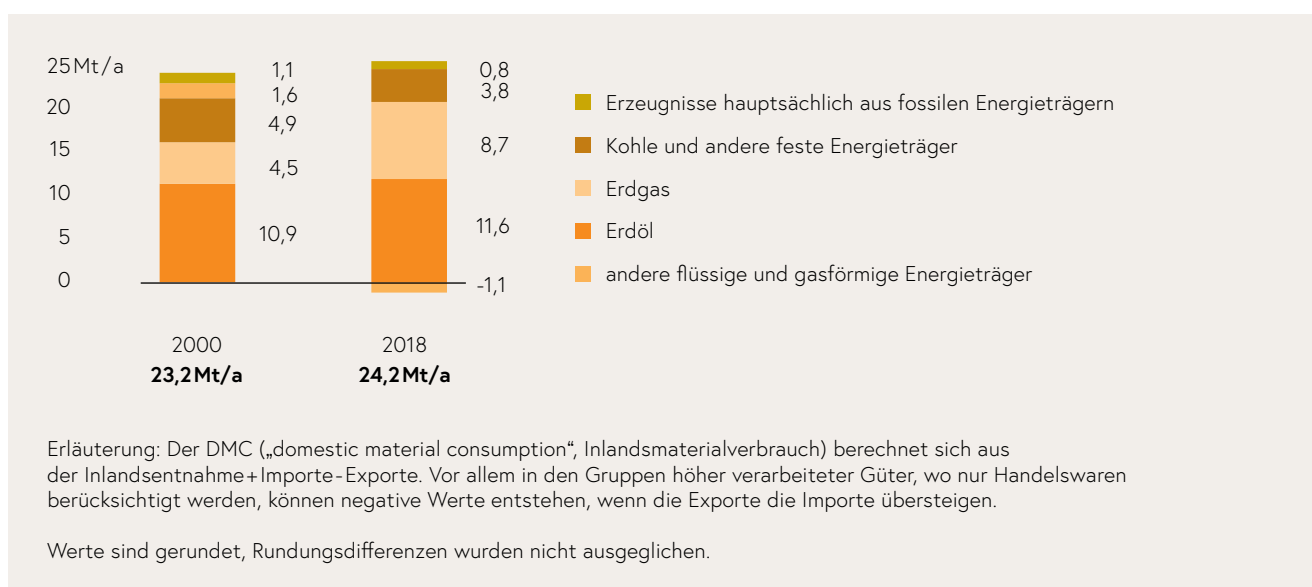


Abbildung 9: Verbrauch fossiler Energieträger nach Sub-Gruppen, 2000 und 2018

Quelle: Statistik Austria 2019

Metallische Mineralstoffe

Zu den metallischen *Mineralstoffen* zählen abgebaute Erze bis hin zu hochkonzentrierten oder gar reinen *Metallen*. Diese Gruppe ist sehr heterogen, sowohl hinsichtlich ihrer chemischen und physikalischen Eigenschaften als auch bezüglich ihrer vielfältigen Verwendungsmöglichkeiten in unseren *Gesellschaften*: Kabel und Batterien in elektronischen Geräten, Fensterrahmen und Stahlgerüste in Gebäuden, Getränkedosen, Smartphones, Sportgeräte, Schmuck etc. *Metalle* sind von großer Bedeutung für Industrieprozesse (Graedel und Cao 2010) und sind, wie auch die *fossilen Energieträger*, eng mit unseren Wirtschafts- und Konsumaktivitäten korreliert. Zwischen 2000 und 2018 ist der Verbrauch an metallischen Stoffen von 6 Mt/a auf 9 Mt/a gestiegen (+ 34%; siehe Abbildung 10).

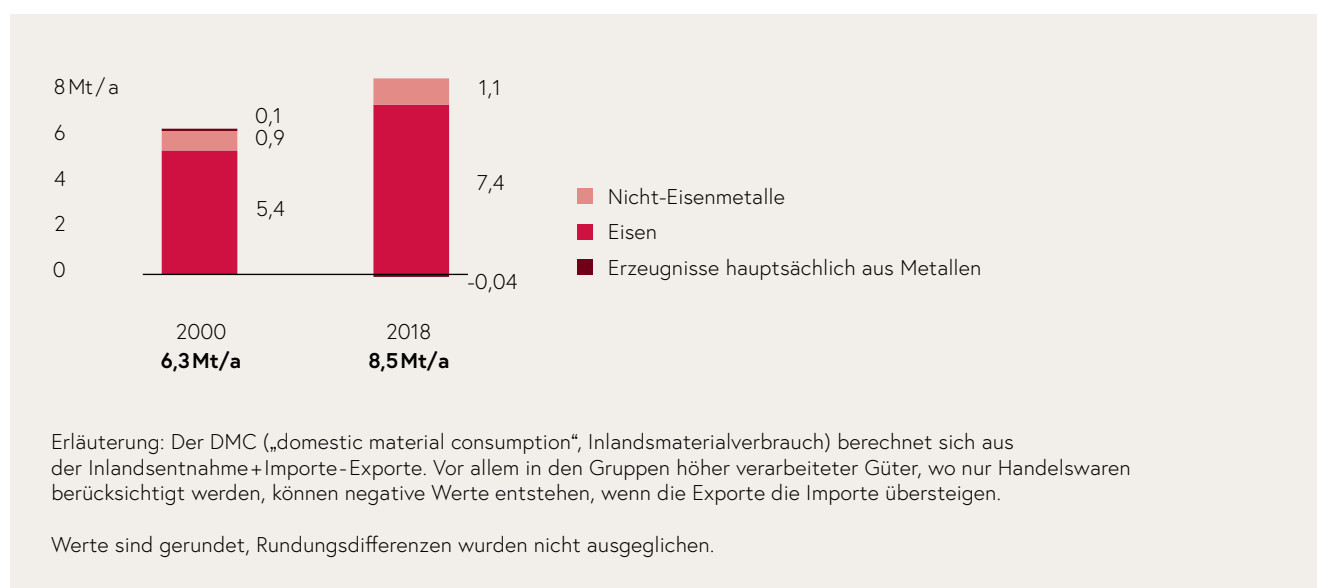


Abbildung 10: Verbrauch von Metallen nach Sub-Gruppen, 2000 und 2018

Quelle: Statistik Austria 2019

Der breiten Anwendung in allen Ländern der Welt steht gegenüber, dass *Metalle* nicht überall, sondern konzentriert in Lagerstätten vorkommen (ebd.). Gesellschaftliche Probleme in Verbindung mit *Metallen* können durch Versorgungsknappheiten (siehe Kapitel „Kritische mineralische Rohstoffe sind wichtig für Zukunftstechnologien“, Seite 78), durch den global oft flächen- und energieintensiven Abbau, durch Emissionen und Abwässer aus der Verarbeitung und durch die Verhaldung von metallischen Gütern und Reststoffen entstehen. Viele der genutzten *Metalle* werden in *gesellschaftlichen* Beständen akkumuliert und bleiben über Jahre in Verwendung. Da *Metalle* während ihrer Nutzung nicht verbraucht, sondern akkumuliert werden, sind sie am Ende ihrer Lebenszeit noch in den Abfällen gebunden und stehen potentiell für eine Wiederverwendung oder für Recycling zur Verfügung. Aluminium zum Beispiel kann immer wieder recycelt und für neue Anwendungen verwendet werden, so sind in etwa 75 % des jemals gewonnenen Aluminiums nach wie vor in Verwendung.

Nicht-metallische Mineralstoffe

Zu den *nicht-metallischen Mineralstoffen* werden alle Baurohstoffe und Industriemineralien gezählt, darunter z. B. Sand, Salze, Phosphate etc. Diese Gruppe ist gekennzeichnet durch große Massenflüsse, vor allem von Sand, Kies, Schotter sowie Kalkstein und Ton, die insgesamt 97% des Materialverbrauchs an *nicht-metallischen Mineralstoffen* ausmachen. Die großen Massen werden für den Bau und Erhalt unserer vielfältigen Infrastruktur und Gebäude eingesetzt und dort über einige Jahrzehnte als Bestand gebunden. Die globalen *gesellschaftlichen* Bestände sind im letzten Jahrhundert um das 23fache gewachsen und summieren sich auf globaler Ebene auf knapp 800 Gt (Krausmann, et al. 2017b). In Österreich verbrauchten wir 2018 95 Mt/a, das ist etwas weniger (-3%) als 2000, wo in Österreich 98 Mt/a verbraucht wurden (siehe Abbildung 11). Laut einer Studie für die EU (Wiedenhofer et al. 2015) fließt rund die Hälfte der Baurohstoffe in den Erhalt bestehender Gebäude und Infrastruktur, die andere Hälfte wird für Neubauten gebraucht. Dieser enge Zusammenhang zwischen Flüssen und Beständen insbesondere für diese Materialgruppe zeigt, dass wir auch in Zukunft große Mengen an *nicht-metallischen Mineralstoffen* aus der Natur entnehmen müssen, um unsere Bestände zu erhalten. Wollen wir also unsere Ressourcenflüsse reduzieren, dann müssen wir über einen Umbau unserer Bestände nachdenken.

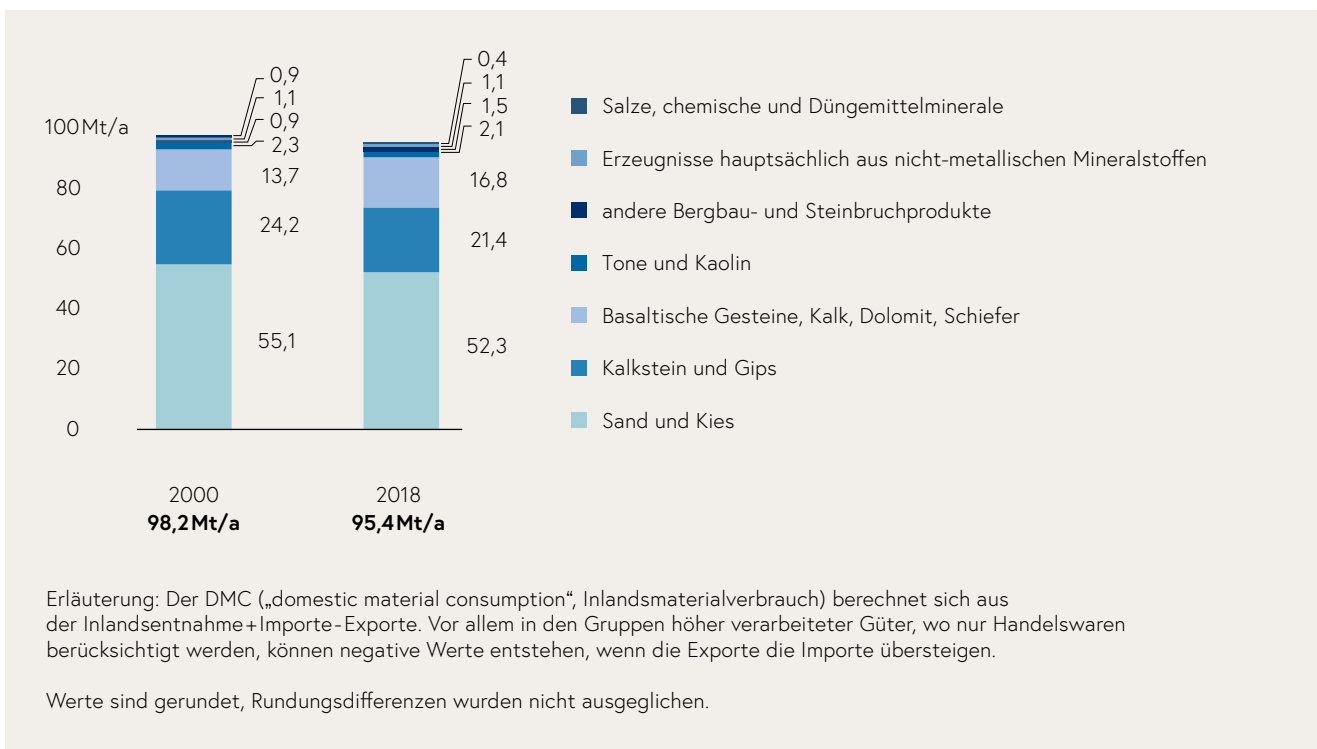


Abbildung 11: Verbrauch nicht-metallischer Mineralstoffe nach Sub-Gruppen, 2000 und 2018
Quelle: Statistik Austria 2019

Im Vergleich zu anderen Materialkategorien sind die großen Massen an Baurohstoffen durch kürzere Produktionsketten gekennzeichnet. Umweltauswirkungen hängen vor

allem mit dem Abbau und dem hohen Energiebedarf im Transport dieser Rohstoffe sowie mit der Konstruktionsphase und der Nutzung der Gebäude (Heizen, Beleuchtung) und Straßen (Treibstoffverbrauch der Fahrzeuge) zusammen. Obwohl Baurohstoffe überall zur Verfügung stehen, entstehen auch hier Knappheiten. Schon 2014 wurde in einem Bericht der UNEP auf die zunehmende Knappheit von Sand hingewiesen (UNEP 2014). Und auch in der Nutzung der verfügbaren Flächen steht die Entnahme an Baurohstoffen in Konkurrenz zu anderen Flächennutzungen wie landwirtschaftlicher Produktion, Freizeitaktivitäten oder auch Naturflächen zum Erhalt ökosystemarer Prozesse. Eine bergbauliche Aktivität stellt immer einen temporären Eingriff in die Erdkruste dar. Das betroffene Areal wird in Österreich am Ende der bergbaulichen Nutzung renaturiert, rekultiviert bzw. anderweitig nachgenutzt.

Österreich ist abhängig von Ressourcen aus dem Ausland

In Österreich werden über 40% der gesamten *Materialien*, die in der Produktion oder im Konsum gebraucht werden, aus dem Ausland importiert. Im Jahr 2000 lag die Importabhängigkeit, errechnet als der Anteil der *Importe* am gesamten Materialeinsatz (Direkter Materialinput, DMI = DE + Importe), noch bei 33%. Vor allem *fossile Energieträger* (Importabhängigkeit von 95%) und Güter aus metallischen Rohstoffen (85%) werden zum Großteil importiert (siehe Abbildung 12). Beides sind Rohstoffe, die wir in der nachgefragten Menge und Vielfalt nicht im eigenen Land zur Verfügung haben. Doch auch über 40% des Biomasseeinsatzes werden aus dem Ausland importiert. Zusätzlich zur Entnahme auf österreichischen Landflächen, werden ein Drittel der verarbeiteten Feldfrüchte und die Hälfte des verarbeiteten Holzes importiert.

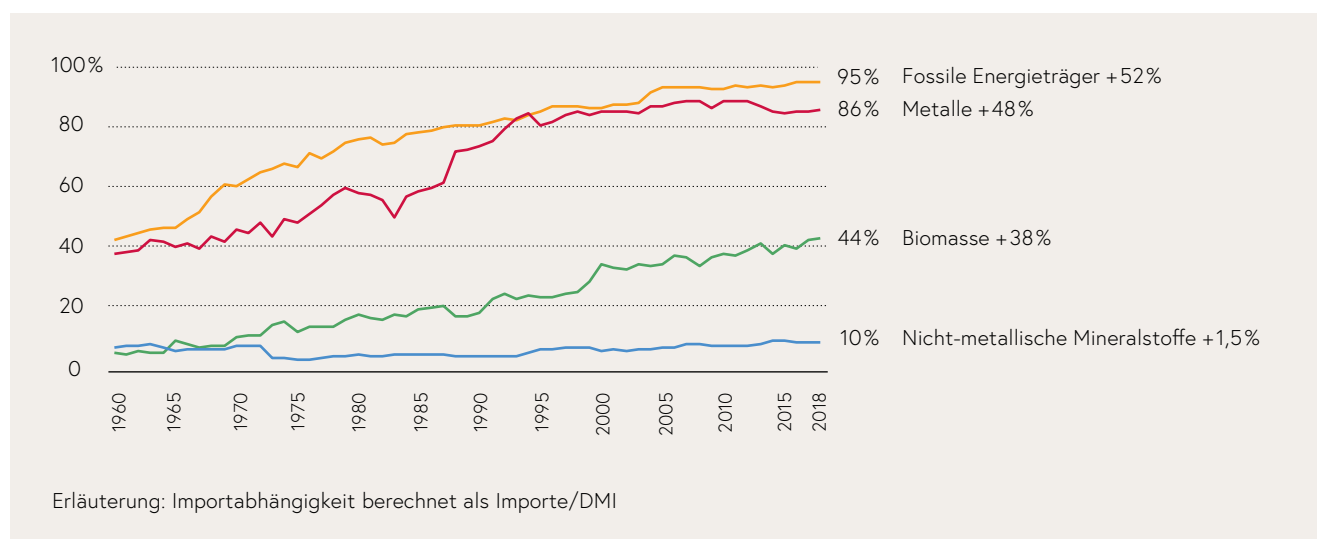


Abbildung 12: Hohe Importabhängigkeit für fossile Energieträger und Güter aus metallischen Rohstoffen

Quelle: Statistik Austria 2019

Das wachsende Volumen der *Importe und Exporte* ist ein Resultat der zunehmenden Verteilung von Produktionsprozessen über den gesamten Globus. Entnahme, Verarbeitung, Konsum und Abfallbehandlung sind in den seltensten Fällen in einem Land konzentriert, sondern Güter wurden schon mehrmals gehandelt, bevor sie am Ort des Endkonsums ankommen. Gehandelte Güter sind im Unterschied zu den entnommenen *Ressourcen* keine Rohstoffe, sondern weisen unterschiedliche Verarbeitungstiefen auf. Da entlang der Produktionskette Abfälle und Emissionen anfallen, werden bearbeitete Güter genau um diese Massen „leichter“; je höher verarbeitet ein Produkt, desto „leichter“ ist es (Fischer-Kowalski und Amann 2001; UN IRP 2015). Folglich wird der Ressourcenverbrauch innerhalb eines Nationalstaates geringer, wenn das Land Verbrauchsgüter importiert anstatt sie selbst zu produzieren. Umgekehrt ist der *inländische Materialverbrauch* höher, wenn ein Land viele „leichte“ Güter für den Export produziert, die „schwere“ Vorleistungen erfordern. In der Diskussion um nachhaltige Ressourcennutzung braucht es daher neben einem Inlands-Indikator, wie dem DMC („domestic material consumption“), auch einen Indikator, der den gesamten Rohmaterialverbrauch, induziert durch den heimischen Endkonsum, abbildet. In den letzten Jahren wurden Methoden entwickelt, welche die Rohmaterialentnahme der Endverwendung zuordnen können und den Indikator Rohmaterialverbrauch („raw material consumption“, RMC; Schaffartzik et al. 2014, 2015), auch *Material-Fußabdruck* („material footprint“, MF; Wiedmann et al. 2015) genannt, berechnen. (Für eine Methodenbeschreibung und -diskussion siehe Exkurs 6, Seite 38, oder Eisenmenger et al. 2016).

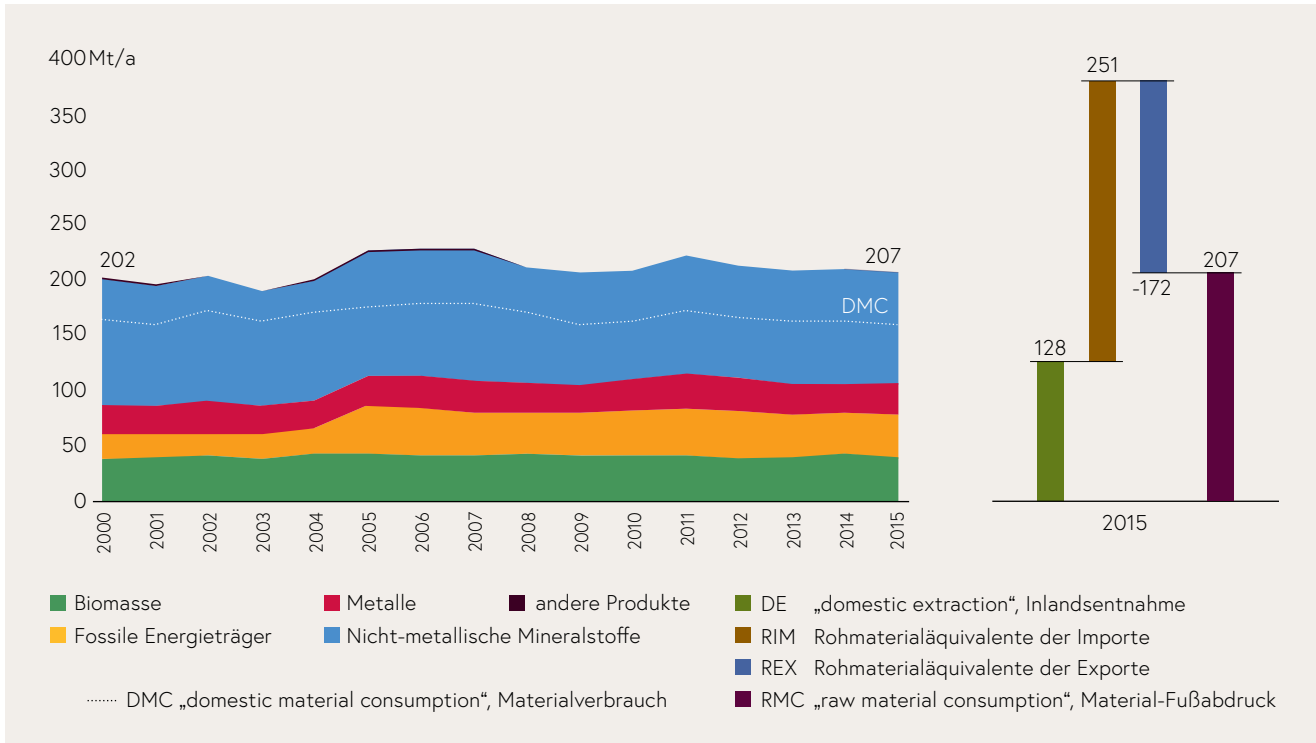


Abbildung 13: Material-Fußabdruck Österreichs zwischen 2000 und 2015

Quelle: Statistik Austria 2019

Österreich importiert mehr als es exportiert, ist also ein Netto-Importeur von Gütern gemessen als physische Massen. Der *Material-Fußabdruck* (MF) ist höher als der inländische Materialverbrauch und lag im Jahr 2000 bei rund 202 Mt und bei rund 207 Mt im Jahr 2015 (siehe Abbildung 13, Seite 36). Im Jahr 2015 war der MF um 40 % höher als der DMC. Der höhere *Material-Fußabdruck* zeigte sich vor allem in den Kategorien *Metalle* (+240 %) und *fossile Energieträger* (+77 %). Bis zur Wirtschaftskrise 2008 stiegen beide Indikatoren leicht an. Danach fiel der DMC, der MF jedoch stabilisierte sich nach einem kurzen Einbruch in den Jahren 2008–2010 wieder auf dem Niveau von vor der Wirtschaftskrise. Das bedeutet, seit der Wirtschaftskrise ist die Materialintensität der österreichischen Wirtschaft gesunken, trotzdem aber beanspruchen wir (zunehmend im Ausland) gleich viele *Ressourcen*.



Abbildung 14: Material-Fußabdruck nach Wirtschaftssektoren, 2015

Quelle: eigene Berechnungen mit EE-MRIO exiobase v.3.6, Stadler et al. 2018

Die Hälfte des österreichischen *Material-Fußabdrucks* wird durch den Konsum in privaten Haushalten verursacht, gefolgt von Investitionen in Kapitalbestände (30 %). Die restlichen 20 % sind Folge der Ausgaben von Regierungsorganisationen und NGOs. Unter den Wirtschaftssektoren, welche an die Endnachfrage liefern, haben die Güter aus den verarbeitenden Sektoren den größten *Material-Fußabdruck* (38 % des MF), gefolgt von Dienstleistungen (23 %), Leistungen des Bergbaus und der Bauwirtschaft (jeweils 14 %) sowie der Landwirtschaft (7 %) (siehe Abbildung 14).



Exkurs 6: Die Konsumperspektive von Fußabdruck-Indikatoren und deren Berechnung

Im Gegensatz zur in den *Umweltgesamtrechnungen* üblichen inländischen Perspektive auf Umweltauswirkungen ermöglicht uns eine Konsumperspektive, die Umweltauswirkungen der österreichischen Nachfrage über nationale Grenzen hinweg zu berücksichtigen. In den Fußabdruck-Indikatoren werden Ressourcennutzung und Umweltbelastungen über die gesamten Produktions- und Lieferketten hinweg den Ländern der Endverwendung zugeordnet. Auf Basis von (multi-regionalen) Input-Output Modellen, die das gesamte Weltwirtschaftssystem und alle Lieferungen von Gütern zwischen Sektoren und an die Endnachfrage abbilden, werden Fußabdruck-Indikatoren für *Materialien*, Wasser, Energie, Treibhausgasemissionen, Schadstoffe und sogar Land berechnet (Inomata und Owen 2014; Wiedmann et al. 2011; Wiedmann und Barrett 2013)³.

Fußabdruck-Indikatoren versteht man am besten anhand eines Beispiels: Wenn eine Österreicherin oder ein Österreicher eine Jeans kauft, wird Österreich der gesamte Ressourcenaufwand für die Herstellung dieser Jeans entlang der gesamten Produktionskette „in Rechnung gestellt“. Das reicht vom Wasserverbrauch der Baumwollproduktion über die Chemikalien in der Färbung bis hin zu den CO₂-Emissionen aus dem Transport nach Österreich. Wird der Jeansstoff beispielsweise in China hergestellt, wird der damit verbundene Wasserverbrauch nicht China, sondern Österreich zugerechnet. In unserer stark globalisierten Welt ist es mittlerweile unerlässlich, globale Wertschöpfungsketten miteinzubeziehen und damit unsere Verantwortlichkeiten in anderen Teilen der Welt zu berücksichtigen. Österreich ist eines jener industrialisierten Länder, die mehr importieren als exportieren und gleichzeitig auch immer mehr ihrer Güterproduktion ins Ausland verlagern. Die Fußabdruck-Perspektive stellt damit eine wichtige Ergänzung zur Betrachtung Österreichs als Produktionsstandort dar (durch den DMC zum Beispiel).

Ressourcenproduktivität zeigt eine Entkoppelung von Wirtschaftswachstum und Ressourcenverbrauch

Eine Steigerung der *Ressourcenproduktivität* (siehe Exkurs 7, Seite 41) bedeutet eine *Entkoppelung* von Wirtschaftswachstum und Ressourcenverbrauch und damit eine relative Reduktion der Umweltbelastung durch die Wirtschaftsaktivitäten. Eine solche *Entkoppelung* ist das Ziel von politischen Programmen zur Ressourceneffizienz, so

3 Dieses Konzept sollte jedoch nicht mit dem ökologischen Fußabdruck verwechselt werden, der inländische CO₂-Emissionen in Flächenverbrauch übersetzt und der verfügbaren Fläche gegenüberstellt (Wackernagel und Rees 1996).

zum Beispiel der Leitinitiative der EU (European Commission 2011 a, 2011b) und wird in wissenschaftlichen Analysen untersucht (Haberl et al. 2017; Schandl et al. 2016; Steger und Bleischwitz 2009; Steinberger et al. 2013; Steinberger und Krausmann 2011; UN IRP 2011 a, 2016).

Zwischen 2000 und 2018 stieg Österreichs *Ressourcenproduktivität* (siehe Exkurs 7, Seite 41) von 1.731 Euro/t auf 2.211 Euro/t (2015 lag sie bei 2.193 Euro/t). Der inländische Ressourcenverbrauch wurde stabilisiert während die Wirtschaft wuchs (siehe Abbildung 15). Die Wirtschaftsleistung wie auch die *Ressourcenproduktivität* sind um rund 31% beziehungsweise 28% gestiegen, der Ressourcenverbrauch blieb nahezu unverändert (+3%). Die Ausführungen zu den Fußabdruck-Indikatoren (siehe Exkurs 6, Seite 38) haben auf den wachsenden Ressourcenverbrauch Österreichs außerhalb seiner Grenzen hingewiesen. Berechnet man nun die *Ressourcenproduktivität* mit dem *Material-Fußabdruck* (BIP/MF), dann steigt die *Ressourcenproduktivität* für Österreich deutlich langsamer und zwar von 1.338 Euro/t im Jahr 2000 auf 1.665 Euro/t in 2015 (+20%; siehe Abbildung 15).

In beiden Fällen ist eine steigende *Ressourcenproduktivität* zu beobachten, die durch eine Stabilisierung des Ressourcenverbrauches (DMC) oder geringes Wachstum des *Material-Fußabdrucks* (MF), welches unter jenem des Wirtschaftswachstum liegt, verursacht wird. Dies wird als *relative Entkoppelung* bezeichnet (siehe Exkurs 7, Seite 41; Krausmann et al. 2017a). Erst wenn eine tatsächliche Reduktion des Ressourcenverbrauches erreicht werden würde, wäre von *absoluter Entkoppelung* zu sprechen.

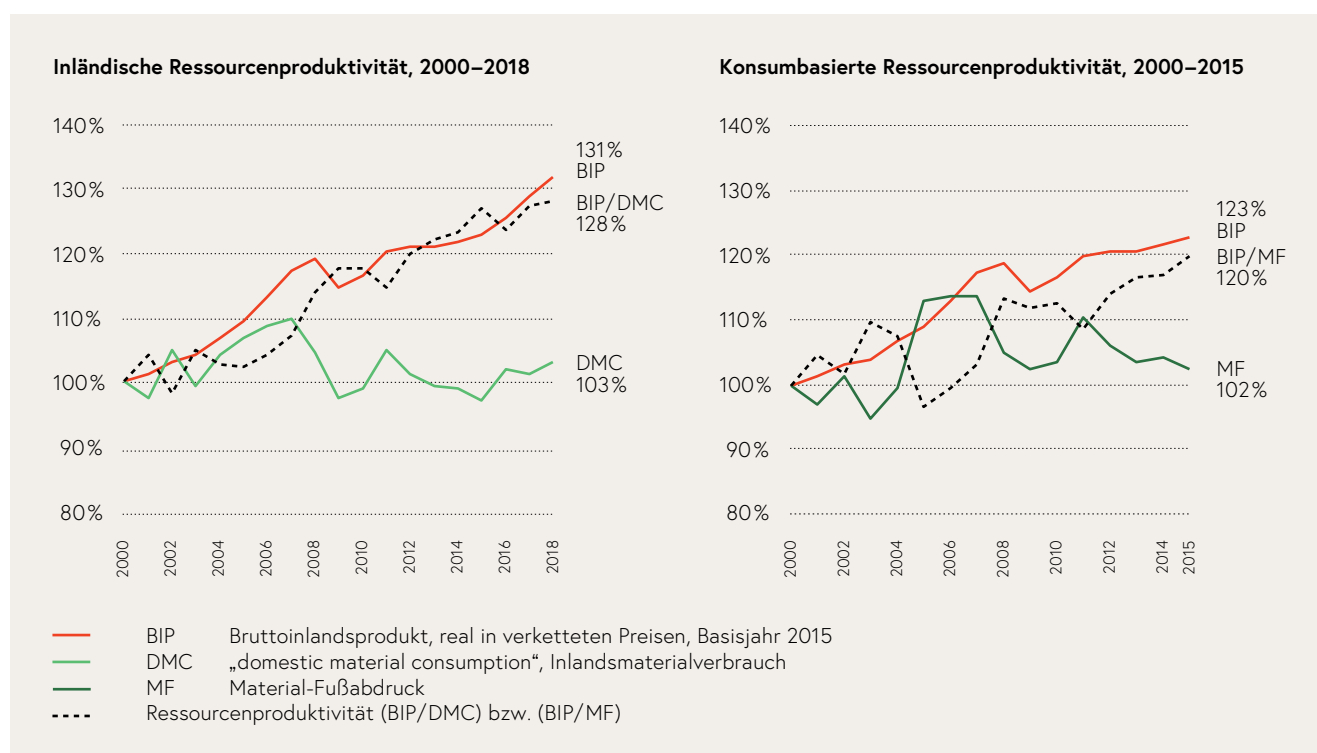


Abbildung 15: Entwicklung der Ressourcenproduktivität zwischen 2000 und 2018 bzw. 2015

Quelle: Statistik Austria 2019

Empirische Analysen zahlreicher Länder und Zeiträume (für eine Zusammenfassung: siehe UN IRP 2016) haben bisher kaum Beispiele für eine *absolute Entkoppelung* geliefert. Und auch die wenigen Beispiele kehren sich zu *relativer Entkoppelung*, wenn man zur konsumbasierten Perspektive (BIP/MF) wechselt (Wiedmann et al. 2015). Wirtschaftswachstum ist derzeit also nach wie vor eng mit Ressourcenverbrauch gekoppelt.

Um eine nachhaltige Ressourcennutzung und vor allem eine Reduktion des Ressourcenverbrauchs zu erreichen, brauchen wir ein besseres Verständnis davon, welche sozio-ökonomischen Aktivitäten den Ressourcenverbrauch antreiben. Dazu wurde in einer Dekompositionsanalyse (siehe Exkurs 8, Seite 42) der MF für Österreich in folgende Faktoren zerlegt: Bevölkerungswachstum, Wohlstand, Technologie, sowie Importstruktur. Neben den üblicherweise dargestellten Treibern Bevölkerung, Wohlstand und Technologie wird hier auch noch der Beitrag der Änderung der österreichischen Importstruktur einbezogen, da sich diese erheblich auf die Höhe des Fußabdrucks auswirken kann. Beschließt Österreich beispielsweise, mehr aus einem Land mit weniger effizienten Produktionsstrukturen und Technologien zu importieren und importiert darum anteilig weniger aus effizienteren Ländern oder produziert selbst weniger, steigt der österreichische *Material-Fußabdruck* an, auch wenn nicht mehr konsumiert werden würde.

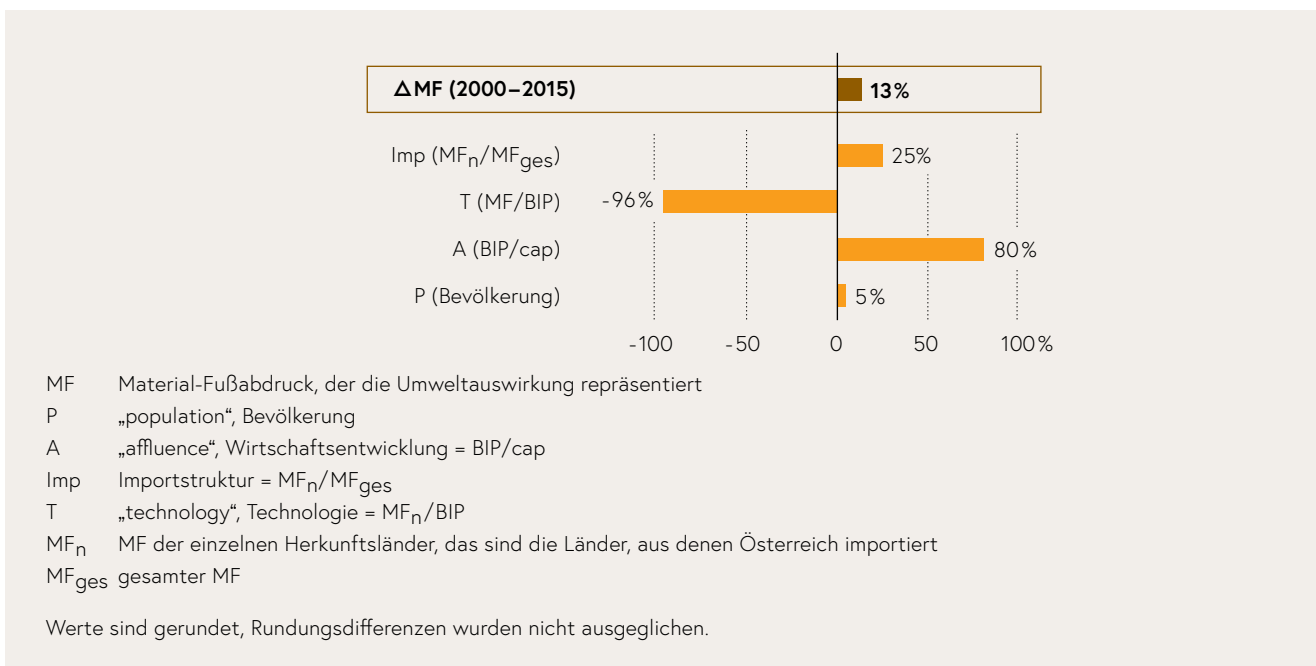


Abbildung 16: Dekompositionsanalyse des österreichischen Material-Fußabdrucks nach Bevölkerungsentwicklung, Wirtschaftswachstum, Veränderungen der Importstruktur, Technologieeffekt

Quelle: eigene Berechnungen (Plank et al. 2020), mit EE-MRIO exiobase v.3.6, Stadler et al. 2018

Für die Dekompositionsanalyse wurde das EE-MRIO Modell exiobase v.3.6 (Stadler et al. 2018) verwendet. Der darin berechnete MF weicht leicht von den Berechnungen der Statistik Austria ab und steigt zwischen 2000 und 2015 um 13%, dargestellt im obersten Balken (Δ MF) in Abbildung 16, Seite 40. Die darunterliegenden Balken zeigen, wieviel die vier Faktoren zu dieser Veränderung beigetragen haben. Die vier Veränderungsraten summieren sich zu den 13% Δ MF. Der einzige Effekt, der zu einer Reduktion des Materialverbrauchs geführt hat, sind Veränderungen der Materialeffizienz in den Sektoren (-96%). Dieser Effekt lässt sich zum einen auf Verbesserungen durch Technologieentwicklung zurückführen, zum anderen tragen hier aber auch Verschiebungen hin zum Konsum von Gütern bei, die weniger materialintensiv sind. Dieser Effekt ist zwar der einzige, der den *Material-Fußabdruck* reduziert, gleichzeitig ist der Effekt aber auch jener mit der größten Auswirkung.

Der größte Beitrag, der zu einer Erhöhung des *Material-Fußabdrucks* geführt hat, ist jener des wachsenden Wirtschaftsoutputs (+80%), hier gemessen als BIP pro Kopf. Mehr Wirtschaftsleistung, gleichbedeutend mit mehr Wirtschaftswachstum, führt also zu mehr Materialverbrauch. Auch wenn die Wirtschaftsaktivitäten als einzelne effizienter werden, so wird dieser reduzierende Effekt durch immer mehr Wirtschaftsproduktion aufgehoben. Weiters tragen auch unsere Handelsbeziehungen (Importstruktur) zu einer Erhöhung des *Material-Fußabdrucks* bei (+25%). Eine zunehmende Arbeitsteilung zwischen Ländern führt leider nicht zu einer Reduktion des MF, sondern sogar zu einer Erhöhung. Laut Plank et al. (2018) zeigt sich dieser Effekt auch auf globaler Ebene. Der Beitrag der Bevölkerungsentwicklung ist in Österreich zu vernachlässigen.



Exkurs 7: Ressourcenproduktivität und Entkoppelung

Ressourcenproduktivität ist das Verhältnis von Materialverbrauch und Wirtschaftswachstum gemessen als BIP/DMC oder BIP/MF und beschreibt, wieviel Euro BIP mit einer durchschnittlichen Tonne Materialverbrauch erwirtschaftet werden kann. Die *Ressourcenproduktivität* ist ein relatives Maß, es kann daher kein Rückschluss auf die Entwicklung von Materialverbrauch oder BIP getroffen werden (Krausmann et al. 2017a).

Eine Steigerung der *Ressourcenproduktivität* findet dann statt, wenn das Wirtschaftswachstum höher ist als das Wachstum des Ressourcenverbrauchs. Es werden zwei Fälle von *Entkoppelung* unterschieden: *Entkoppelung* bei steigendem Ressourcenverbrauch (*relative Entkoppelung*), die *Ressourcenproduktivität* wächst langsamer als die Wirtschaft. *Entkoppelung* bei sinkendem Ressourcenverbrauch (*absolute Entkoppelung*), die *Ressourcenproduktivität* wächst schneller als die Wirtschaft.

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 Ressourcen-

intensität beschreibt, wieviel Ressourcenverbrauch durch das BIP verursacht wird. In diesem Bericht werden die Begriffe *Ressourcenproduktivität* und *Ressourceneffizienz* synonym verwendet.



Exkurs 8: Dekompositionsanalyse oder Komponentenzerlegung des österreichischen Material-Fußabdrucks

Mit Hilfe einer Dekompositionsanalyse kann der Effekt unterschiedlicher Treiber auf die Veränderung eines bestimmten Indikators, z. B. des *Material-Fußabdrucks*, über einen gewissen Zeitraum hinweg identifiziert werden. Die Dekompositionsanalyse hat eine lange Tradition in der Wirtschaftsforschung, wird jedoch in den letzten Jahren auch vermehrt angewandt, um Umweltindikatoren und deren Treiber zu analysieren (Dietzenbacher und Los 1998; Hoekstra und van den Bergh 2002).

Eine Dekompositionsanalyse oder Komponentenzerlegung ermöglicht die quantitative Bestimmung der Beiträge verschiedener Faktoren zur Änderung einer von diesen Faktoren abhängigen Variable (hier der *Material-Fußabdruck*, MF). Die berücksichtigten Faktoren werden in einer Dekompositionsgleichung festgelegt; es wird angenommen, dass zwischen den Faktoren und der abhängigen Variable ein bestimmter funktionaler Zusammenhang besteht. Die prominenteste Form einer Dekompositionsgleichung ist die IPAT-Formel, die eine Umweltauswirkung (I für „impact“) in drei Treiber zerlegt, das sind Bevölkerungswachstum (P für „population“), Wohlstand (A für „affluence“) und Technologie (T für „technology“) (York et al. 2003). Die Beiträge der einzelnen in der Gleichung enthaltenen Faktoren zur Änderung der abhängigen Variable können mit Hilfe der Differentialrechnung unterteilt werden; alle Beiträge summieren sich auf die tatsächlich beobachtete Änderung der abhängigen Variable. Die Höhe des Beitrags eines Faktors ist nach der „ceteris paribus“-Logik zu interpretieren, d. h. um wie viel hätte sich die abhängige Variable geändert, wenn sich nur der entsprechende Faktor geändert hätte und alle anderen Faktoren gleichgeblieben wären.

Mit Hilfe der Dekompositionsanalyse kann die Änderung des *Material-Fußabdrucks* über den Zeitraum 2000 bis 2015 in die relevanten Faktoren zerlegt werden:

- Bevölkerung (ΔMF_P):
der Faktor zeigt den Effekt des Bevölkerungswachstums auf den RMC,
- Wirtschaftsentwicklung (ΔMFA):
Auswirkung der tatsächlichen Änderungen im durchschnittlichen pro-Kopf Einkommen (BIP/Kopf),
- Importstruktureffekt (ΔMF_{Imp}):
Effekt von einer Änderung der Anteile des RMC aus verschiedenen Herkunftsländern (auch Österreich selbst ist hier ein Herkunftsland),

- Technologieeffekt (ΔMF_T):
Auswirkung von den Änderungen des Materialverbrauchs pro ökonomischem Output eines Sektors im jeweiligen Herkunftsland (MF pro ökonomischem Output „gross value added“, GVA).

Die Summe der Effekte jedes Faktors ergeben die tatsächliche Änderung des *Material-Fußabdrucks*, wie die hier definierte Dekompositionsgleichung zeigt:

$$\Delta MF = \Delta MF_P + \Delta MF_A + \Delta MF_{Imp} + \Delta MF_T$$

Im EU-Vergleich liegt Österreich betreffend Ressourcenverbrauch auf Platz 11

Im europäischen Vergleich (siehe Abbildung 17, Seite 44) ist Österreich durch einen hohen Ressourcenverbrauch gekennzeichnet. Mit 19 t/cap/a im Jahr 2018 liegt der Ressourcenverbrauch Österreichs um 5 t/cap/a oder um 36% über dem EU-28-Durchschnitt (14 t/cap/a). Der höchste Ressourcenverbrauch ist in Finnland (35 t/cap/a) zu beobachten, während in Italien am wenigsten Ressourcen verbraucht werden (8 t/cap/a). Österreich liegt unter den 28 EU-Ländern an elfter Stelle. Wenn wir zur konsumbasierten Perspektive wechseln (siehe Erklärungen zu den Fußabdruck-Indikatoren in Exkurs 6, Seite 38), dann liegt Österreich im Jahr 2017 mit 33 t/cap/a an fünfter Stelle, und damit um 10 t/cap/a höher als der EU-28-Durchschnitt (23 t/cap/a). Der höchste *Material-Fußabdruck* findet sich in Zypern (38 t/cap/a)⁴, der niedrigste in Bulgarien (13 t/cap/a).

Der hohe Ressourcenverbrauch Österreichs ist vor allem von den großen Mengen an *nicht-metallischen Mineralstoffen* bestimmt. Unter den EU-28-Ländern liegt Österreich an zehnter Stelle, wenn man nur den Verbrauch an *nicht-metallischen Mineralstoffen* (10 t/cap/a) betrachtet. Finnland (17 t/cap/a), Estland (16 t/cap/a) und Rumänien (15 t/cap/a) brauchen mehr Baurohstoffe, weitere neun Länder liegen in einer ähnlichen Größenordnung (zwischen 10 und 13 t/cap/a) wie Österreich. Dieser hohe Wert begründet sich in einer Kombination aus verschiedenen Ursachen, darunter Klima und Geländebeschaffenheit (starke Prägung durch Gebirgszüge), geringe Bevölkerungsdichte und relativ wenige urbane Ballungsräume und daher ein höherer pro Kopf Bedarf an Infrastruktur. Zusätzlich verwendet Österreich eine detailliertere Erhebungsmethode, die zu einem höheren pro Kopf-Verbrauch führt (für Details siehe BMLFUW und BMWFJ 2011).

4 Der Material-Fußabdruck für Luxemburg, wie er in der IRP Datenbank (UN IRP 2019b) berichtet wird, ist in der Darstellung nicht berücksichtigt, weil dieser als unplausibel hoch eingestuft wurde.

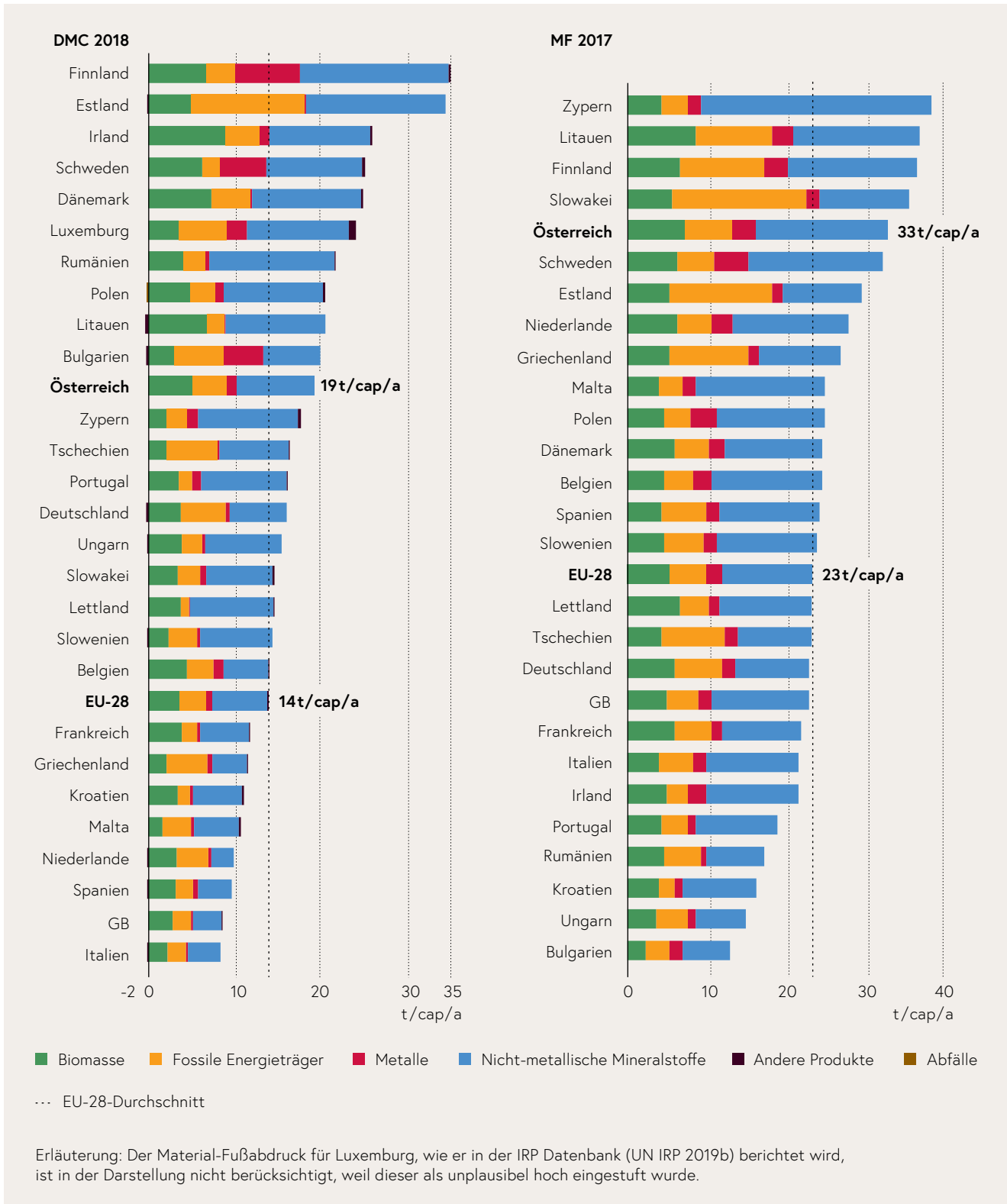


Abbildung 17: Österreichs Materialverbrauch (DMC) und Material-Fußabdruck (MF) im europäischen Vergleich

Quellen: DMC: Eurostat MFA Datenbank, Eurostat 2017; MF: UN, UN IRP 2019b

Die Karten in Abbildung 18 zeigen die Veränderungsraten zwischen 2000 und 2015 nach vier Indikatoren: DMC, MF, DPO (das ist die *inländische Abgabe an die Natur*, also alle Abfälle und Emissionen (siehe Exkurs 15, Seite 67 und Kapitel „Kreislaufwirtschaft aus einer gesamtwirtschaftlichen Perspektive“, Seite 62) und Ressourcenproduktivität (RP=BIP/DMC).

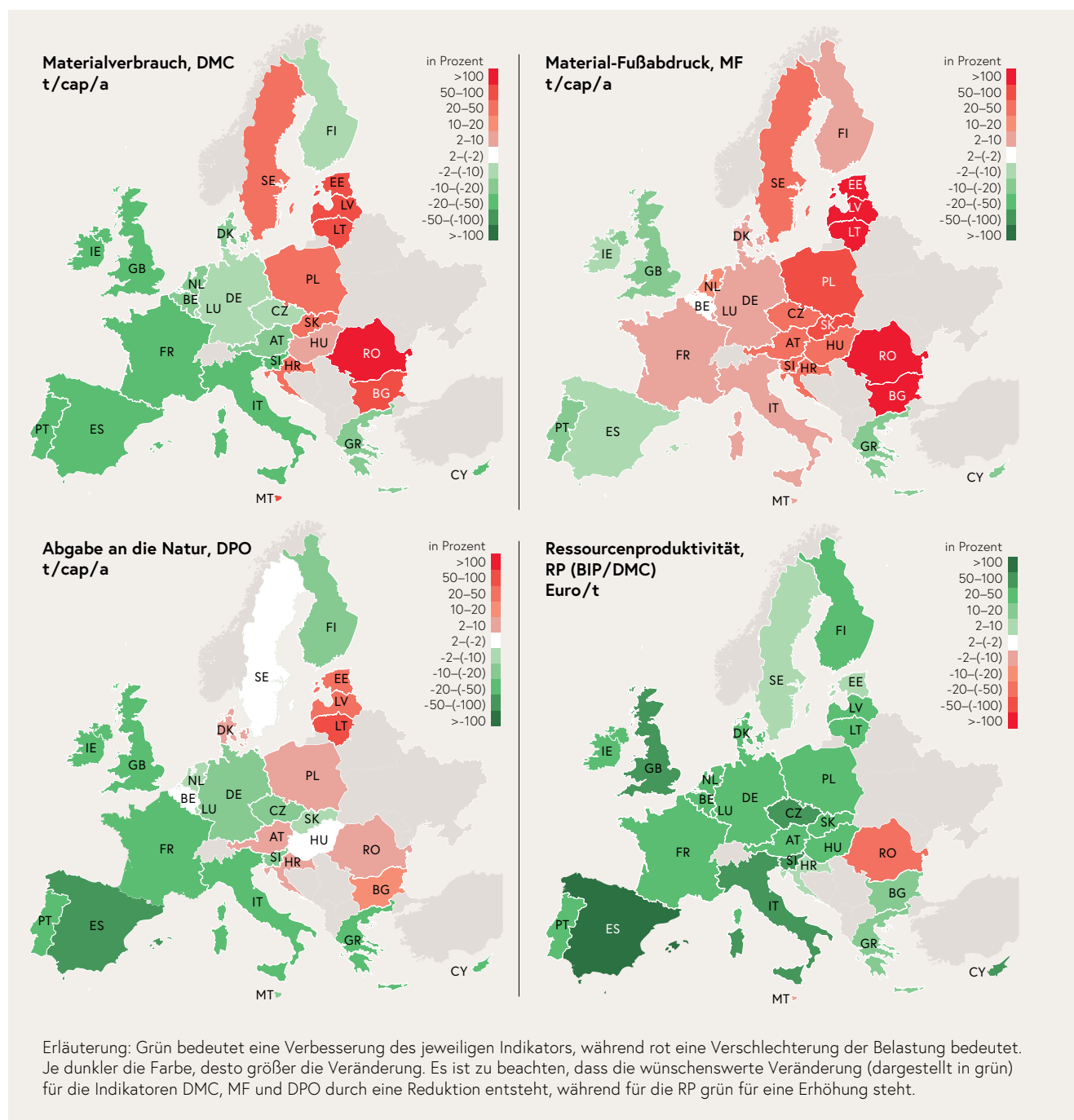


Abbildung 18: Änderungen im Materialverbrauch (DMC und MF), der inländischen Abgabe an die Natur (DPO) und der Ressourcenproduktivität (RP) für die EU zwischen 2000 und 2015

Quellen: DMC und DPO: Eurostat MFA Datenbank, Eurostat 2017; MF: UN IRP 2019 b

Erwünscht wäre eine Reduktion von DMC, MF und DPO, um damit eine Reduktion der Umweltbelastung zu erreichen. Lediglich für die RP ist ein Zuwachs eine positive und daher erwünschte Entwicklung. Wir sehen eine Reduktion von Umweltbelastung vor allem für jene Länder mit höherer Wirtschaftsleistung, darunter auch Österreich, und zwar für den DMC (17 Länder) und den DPO (18 Länder). Wechselt man zur Konsumperspektive (MF), dann konnten nur sechs Länder eine Reduktion erreichen. Die *Ressourcenproduktivität* ist in allen Ländern gestiegen, außer in Malta und Rumänien. Österreich liegt im europäischen Vergleich im Mittelfeld, wir konnten den pro Kopf DMC um 7% reduzieren (Platz 11), die RP ist um 31% gestiegen (Platz 14), der MF ist um 32% gestiegen (Platz 18). Der DPO ist um 5% gestiegen, womit wir in Österreich nur an 23. Stelle unter den EU-28-Ländern liegen.

Über die Grenzen der EU hinaus ist der Ressourcenverbrauch noch breiter gestreut. Die USA hatten 2015 einen DMC pro Kopf von 21t/cap/a, während der Ressourcenverbrauch von Indien bei nur 5t/cap/a lag (UN IRP 2019b; siehe Abbildung 19). China, das im Jahr 2000 noch einen relativ niedrigen Ressourcenverbrauch (9t/cap/a) verzeichnete, überholte im Jahr 2015 sogar die USA und verbrauchte im Durchschnitt 24t/cap/a. Vor allem in Phasen der raschen Wirtschaftsentwicklung von Schwellenländern ist eine enge Koppelung von Wirtschaftswachstum und Ressourcenverbrauch zu beobachten.

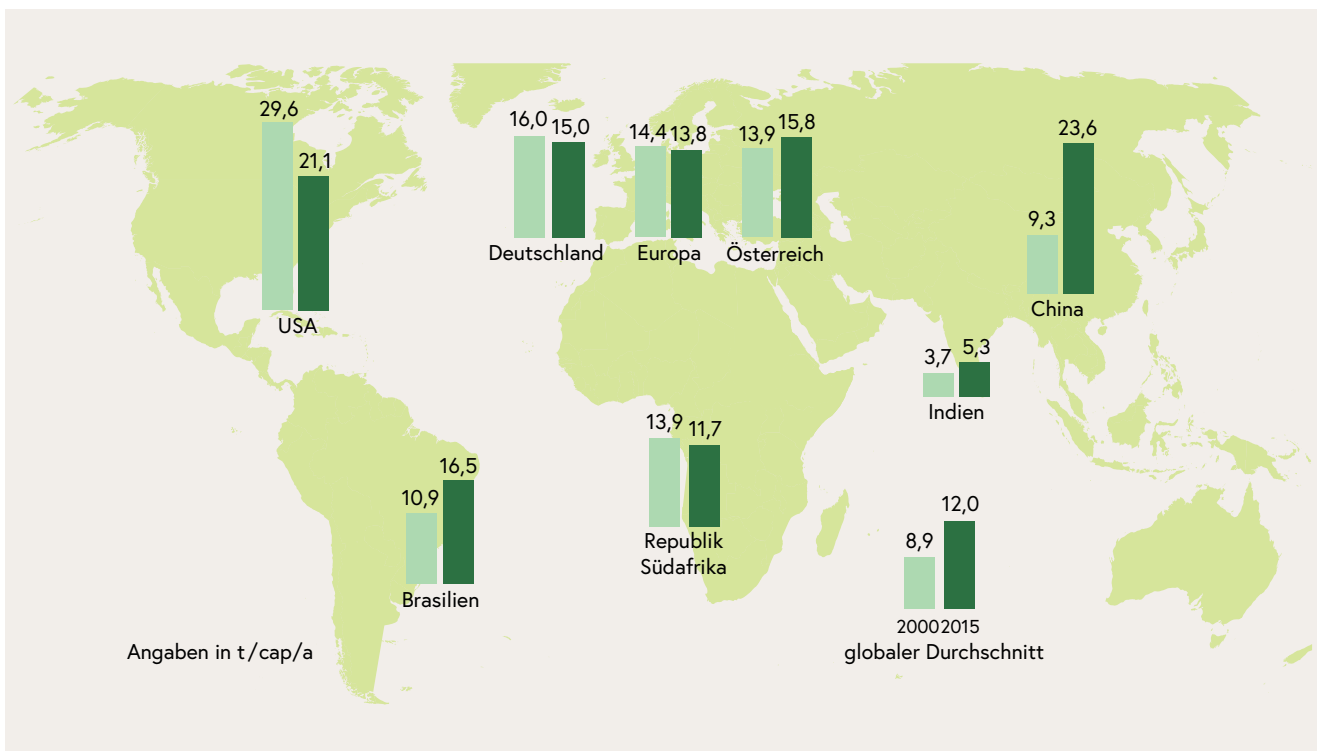


Abbildung 19: Materialverbrauch pro Kopf im globalen Vergleich, 2000 und 2015
Quelle: UN IRP 2019b

Wenn wir bedenken, dass es noch eine große Zahl an Ländern gibt, für die in den nächsten Jahren und Jahrzehnten ein wirtschaftlicher Aufschwung zu erwarten und erhoffen ist, dann ist ein weiteres, rapides Wachstum des globalen Ressourcenverbrauchs zu befürchten. Jüngste Berichte des International Resource Panel (UN IRP 2019a) und der OECD (2018) haben Projektionen des Ressourcenverbrauchs bis zum Jahr 2050 bzw. 2060 veröffentlicht. Beide Berichte kommen zum Ergebnis, dass sich der globale Ressourcenverbrauch zwischen 2015 und 2050 (UN IRP 2019a) bzw. zwischen 2017 und 2060 (OECD 2018) mehr als verdoppeln wird (UN IRP 2019a), mit einem Wachstum um den Faktor 1 bis 2 für die OECD Länder, in den BRICS Ländern (Brasilien, Russland, Indien, China, Südafrika) wird sich der Ressourcenverbrauch mehr als verdoppeln, aber das größte Wachstum (Faktor 2–3) wird in den restlichen Ländern stattfinden, darunter große Teile Asiens und Afrikas (OECD 2018).

Ressourcenschonung und Klimaschutz gehen Hand in Hand





Zwei der *planetaren Grenzen*, Klimawandel und Biodiversitätsverlust, werden aufgrund ihrer fundamentalen Bedeutung für das Erdsystem als besonders wichtig betrachtet (Steffen et al. 2015). Programme zur Eindämmung des Klimawandels haben daher zentrale Bedeutung bei der Transformation zu einem nachhaltigen Wirtschafts- und Gesellschaftssystem. Im IPCC Bericht (IPCC 2018) hat der Weltklimarat deutlich dargestellt, dass eine Erderwärmung von 2°C Prozesse in Gang setzt, die zu irreversiblen Veränderungen in den biogeochemischen Kreisläufen führen. Die Erderwärmung sollte daher 1,5°C nicht überschreiten, wodurch eine noch deutlichere Reduktion der globalen CO₂-Emissionen erforderlich ist. Dem Pariser Abkommen folgend hat sich die österreichische Bundesregierung zum Ziel gesetzt, die nationalen CO₂-Emissionen bis 2030 um 36% (gegenüber 2005) zu senken (BMNT und BMVIT 2018). Laut Klimaschutzbericht (Anderl et al. 2018) lässt sich das nationale Ziel zur Treibhausgas (THG)-Reduktion von -16% bis 2020 gegenüber dem Jahr 2005 mit zusätzlichen Maßnahmen erreichen; die Ziele bis 2030 (-36%) und 2050 sind jedoch nur mit deutlich größeren Anstrengungen erreichbar. Österreich arbeitet daher an einem nationalen Energie- und Klimaplan⁵, um gezielte Maßnahmen für verschiedene Aktivitätsbereiche festzulegen. Zur Erreichung der herausfordernden Ziele bedarf es einer konzertierten Anstrengung unterschiedlicher Akteure über verschiedene (Politik-)Bereiche hinweg.

In den letzten Jahren wurde Ressourceneffizienz als eines der zentralen Themen der Umweltpolitik etabliert (European Commission 2011a, 2011b; UN 2015). Dabei wird Ressourceneffizienz einerseits im engeren Bezug zu *Materialien* und ihrer stofflichen und energetischen Nutzung diskutiert und ausgewertet (siehe wirtschaftsräumliche *Materialflussrechnung*, EW-MFA; Eurostat 2018; Fischer-Kowalski et al. 2011; Krausmann et al. 2017a). Andererseits wird Materialverbrauch im weiteren Sinne als Proxy-Indikator für die *gesellschaftliche* Ressourcennutzung und Umweltbelastungen verwendet. Weil alle Ressourceninputs irgendwann zu Abfällen oder Emissionen werden, müssen wir unsere Inputs verringern, wenn wir die Outputs verkleinern wollen (siehe Exkurs 2, Seite 15, oder Haberl et al. 2019; Krausmann et al. 2017a). Um die CO₂-Emissionen zu verringern, müssen wir also allen voran den Input an *fossilen Energieträgern* reduzieren. Diese werden derzeit im Betrieb unserer *gesellschaftlichen* Bestände verwendet, das ist die Energie zum Heizen und Beleuchten von Räumen und Gebäuden oder die Treibstoffe zum Betrieb unserer vielen Fahrzeuge. Daher können auch input-orientierte Strategien, wie zum Beispiel Ressourceneffizienz, einen wichtigen Beitrag zur Reduktion von Outputs – und somit zur Eindämmung des Klimawandels – leisten.

Die Schnittstelle zwischen Ressourceneffizienz und Klimaschutz ist vermehrt Gegenstand wissenschaftlicher Arbeiten (Allwood et al. 2011; Barrett und Scott 2012;

5 Nationaler Energie- und Klimaplan, BMK, bmk.gv.at/themen/innovation/publikationen/energieumwelttechnologie/energie_klimaplan.html

Hatfield-Dodds et al. 2017; Scott et al. 2018), und auch in den jüngsten Berichten des UN International Resource Panel wird darauf eingegangen (UN IRP 2018, 2019a, 2020). Um Treibhausgasemissionen zu reduzieren, müssen wir den fossilen Energieverbrauch senken. Dieser ist eng an industrielle Prozesse, wie z.B. die Produktion von Stahl, Zement, Plastik, Papier und Aluminium, gekoppelt, in denen 36% aller globalen Treibhausgasemissionen anfallen. Wenn sich der materielle Ressourcenverbrauch tatsächlich bis Mitte des 21. Jahrhunderts verdoppeln sollte, wäre dies mit einer Zunahme des Energieverbrauchs und der Emissionen verbunden. Die technischen Möglichkeiten, mehr *Material* mit weniger Energieeinsatz zu bearbeiten, sind begrenzt. Szenarien der UN zeigen, dass eine Kombination von Maßnahmen zum Klimaschutz und zur Ressourceneffizienz die Umweltbelastungen sowohl aus Perspektive der Emissionen als auch des Materialverbrauchs am stärksten reduzieren kann.



Exkurs 9: UN IRP: „Ressourceneffizienz kann maßgeblich zum Klimaschutz beitragen“

Das International Resource Panel (IRP) der UN beschäftigt sich zunehmend mit dem Zusammenhang zwischen Ressourceneffizienz und Klimawandel. Schon in einem Bericht aus dem Jahr 2017 hat das IRP den wichtigen Beitrag von Ressourceneffizienz (RE) zu verschiedenen politischen Zielen hervorgehoben (UN IRP 2017, 2018):

- SDGs:
RE kann den Ressourcenverbrauch um 28% senken und so zur Erreichung der SDGs beitragen.
- Klimaschutz:
RE kann die globalen Treibhausgasemissionen um 63% reduzieren.
- Wirtschaftswachstum und „job creation“:
RE kann die ökonomischen Kosten für eine ambitionierte Klimapolitik mehr als kompensieren und ökonomische Gewinne von 2 Billionen USD erwirtschaften.

Das IRP berechnet weiters, dass integrierte Politikmaßnahmen eine stärkere Reduktion von Ressourcenverbrauch und Treibhausgasemissionen erreichen können als isolierte Maßnahmenpakete.

2020 hat das IRP in einem weiteren Bericht „Resource Efficiency and Climate Change. Material Efficiency Strategies for a Low-Carbon Future“ (UN IRP 2020) den Beitrag von RE zur Reduktion von Treibhausgasemissionen genauer dargestellt. Extraktion und Verarbeitung von *Materialien* verursachen 23% der Treibhausgasemissionen, darunter vor allem Bautätigkeiten zur Bereitstellung von Häusern und die Produktion von Autos. Die Be- und Verarbeitung von wenigen *Materialien* spielen hier eine wesentliche Rolle: Eisen und Stahl, Zement, Gips und Kalk, Gummi und Kunststoff, und andere *nicht-*

metallische Mineralstoffe. Veränderungen hinsichtlich wie und wofür wir diese *Materialien* im Einsatz für Häuser und Fahrzeuge verwenden, können die damit verbundenen Treibhausgasemissionen um 30–70 % reduzieren. Nötige Maßnahmen adressieren sowohl den Produktionsprozess (Reduktion durch Änderungen im Produkt-Design, Substitution von *Materialien*, Effizienz, Recycling, Wiederverwertung und -aufbereitung, Verlängerung von Produktlebensdauer) aber auch die Nachfrageseite durch Änderungen in der Nutzungsintensität oder der Nutzungsart.



Exkurs 10: „Wege in eine ressourcenschonende Treibhausgasneutralität – RESCUE“ eine Studie des Umweltbundesamtes Deutschland, November 2019

Die vom deutschen Umweltbundesamt durchgeführte RESCUE-Studie zeigt in sechs Szenarien mögliche Lösungs- und Handlungsspielräume für Wege in eine ressourcenschonende Treibhausgasneutralität in Deutschland bis 2050. Angesichts der offenkundigen Wechselwirkungen zwischen Klima- und Ressourcenschutz werden in der RESCUE-Studie sechs verschiedene Szenarien zur Beschreibung der Lösungs- und Handlungsspielräume für den Weg in eine ressourcenschonende Treibhausgasneutralität in Deutschland betrachtet.

Die Szenarien zeichnen dabei mögliche Transformationspfade Deutschlands hin zu einer Treibhausgasneutralität auf. Dabei wird Deutschland nicht isoliert betrachtet, sondern eingebettet in die Europäische Union und die Welt, als produzierender Industriestandort im globalen Handel mit einer modernen leistungsfähigen *Gesellschaft*. Klimaschutz, Dekarbonisierung, Energieeinsparung und mehr Ressourcenschutz als gemeinschaftliches Verständnis charakterisieren den erforderlichen *gesellschaftlichen* und industriellen Wandel.

Allen Szenarien ist gemeinsam, dass sie für Deutschland eine Treibhausgasreduzierung bis 2050 von mindestens 95 % und bis 2030 mindestens 55 % gegenüber 1990 vorsehen. Dabei wird bei den entwickelten Treibhausgasreduzierungsstrategien jeweils ein Mix aus Vermeidung, Substitution und der Nutzung von natürlichen Senken verfolgt. Informationen zum Projekt und der Bericht finden sich auf: umweltbundesamt.de/rescue

Österreich entkoppelt inländischen Ressourcenverbrauch und CO₂-Emissionen, lagert jedoch Materialverbrauch ins Ausland aus

Zwischen 2000 und 2005 sind die CO₂-Emissionen in Österreich stetig gestiegen, insgesamt um 20 %. Im Jahr 2005 ist eine Trendwende zu beobachten und bis 2014 reduzieren sich die CO₂-Emissionen Jahr für Jahr, insgesamt um 11 %. Wegen des starken

Wachstums bis 2005 lagen die Emissionen im Jahr 2014 trotzdem über denen von 2000 (siehe Abbildung 20). An dem zwischenzeitlichen Rückgang beteiligt sind eine Reihe von Klimaschutz-Maßnahmen, darunter der Ausbau erneuerbarer Energie und die Gebäudesanierung (Anderl et al. 2018). Von 2014 auf 2015 ist ein neuerlicher Anstieg der Emissionen zu verzeichnen (+4%). Die weitere Entwicklung muss nun beobachtet werden. Der CO₂-Fußabdruck, das sind alle CO₂-Emissionen im In- und Ausland, die durch die österreichische Endnachfrage induziert werden (nähere Informationen über Fußabdruck-Indikatoren siehe Exkurs 6, Seite 38), ist höher als die inländischen CO₂-Emissionen. Zwischen 2000 und 2015 steigt der CO₂-Fußabdruck etwas weniger (3%) als die inländischen Emissionen (6%). Die Auslagerung CO₂-intensiver Produktion ins Ausland bleibt jedoch bestehen.

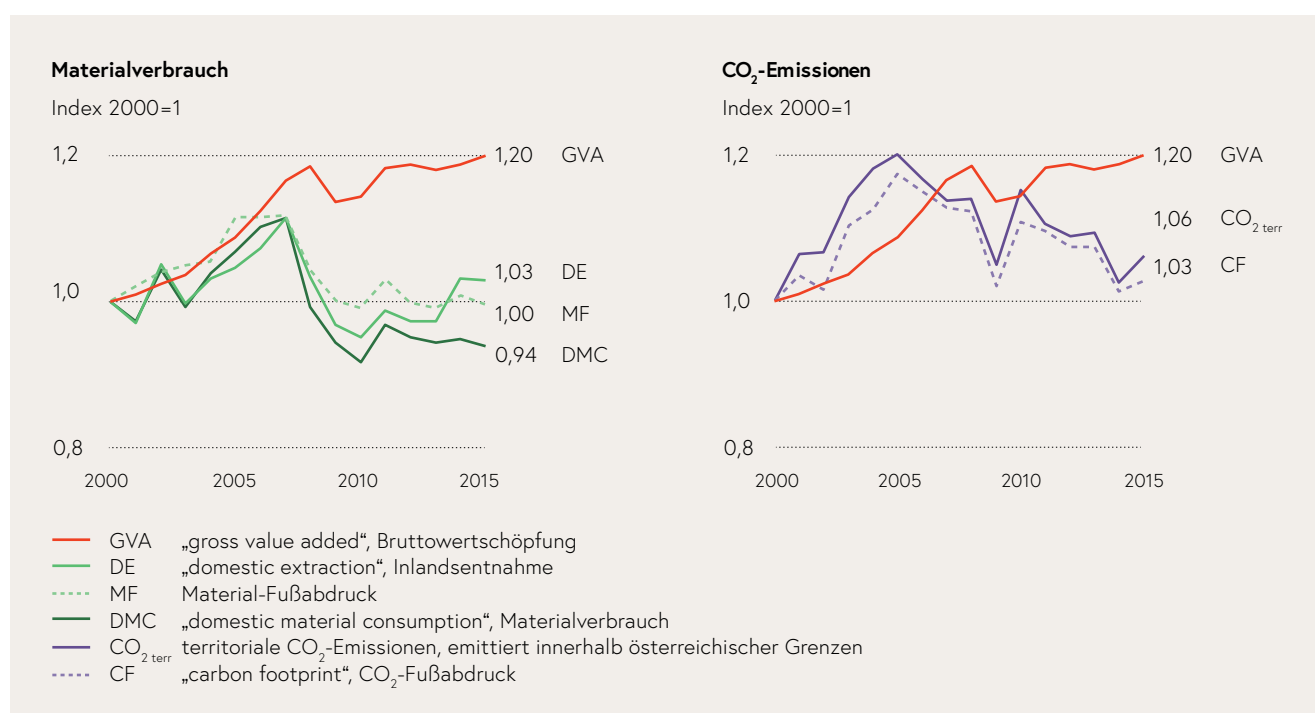


Abbildung 20: Ressourcennutzung in Österreich: Materialverbrauch und CO₂-Emissionen aus einer inländischen und einer konsumbasierten Perspektive, 2000–2015

Quelle: GVA, Bevölkerung, Materialverbrauch: Statistik Austria 2019; CO₂-Emissionen: Umweltbundesamt 2019; Fußabdruck-Indikatoren Material („material footprint“), CO₂-Emissionen („carbon footprint“): EE-MRIO Modell exiobase v.3.6, Stadler et al. 2018

Der Materialverbrauch (gemessen als DMC) steigt bis 2007, also bis zur Wirtschaftskrise, um insgesamt 11%. Seitdem ist er um 16% gefallen und erreicht 2015 sogar einen Wert unter dem des Jahres 2000 (siehe Abbildung 20). Aus einer konsumbasierten Perspektive verändert sich das Bild geringfügig: der *Material-Fußabdruck* im Jahr 2015 ist nahezu gleich wie im Jahr 2000; über den Zeitraum von 15 Jahren hat aus konsumbasierter Perspektive keine Reduktion des Ressourcenverbrauchs stattgefunden.



Exkurs 11: Ein Best-Practice-Beispiel: Das EU-Leuchtturmprojekt H2FUTURE

Die ausreichende und in großtechnischem Maßstab stabil-gesicherte Bereitstellung von „grünem“ Wasserstoff zu wettbewerbsfähigen Konditionen ist eine der Grundvoraussetzungen, damit wasserstoffbasierte Technologien für eine CO₂-minimierte Stahlherzeugung entwickelt und langfristig eingesetzt werden können.

Das Demonstrationsprojekt H2FUTURE, ein gemeinsames Projekt von VERBUND, voestalpine, Siemens, Austrian Power Grid (APG) und den wissenschaftlichen Partnern K1-MET und TNO, untersucht zentrale Fragestellungen zur technischen und wirtschaftlichen Bereitstellung und Nutzung von „grünem“ Wasserstoff in großindustriellem Maßstab. Die Ende 2019 in Betrieb gegangene Versuchsanlage am voestalpine-Standort Linz ist mit einer Anschlussleistung von 6 MW und einer Produktion von 1.200 m³ Wasserstoff pro Stunde die derzeit weltweit größte zur Herstellung und Nutzung von „grünem“ Wasserstoff mit PEM („Proton Exchange Membrane“)-Elektrolysetechnologie. Während Wasserstoff heute immer noch überwiegend aus fossilen Brennstoffen, vor allem Erdgas, und daher mit erheblichen CO₂-Emissionen hergestellt wird, setzt H2FUTURE zu 100 % erneuerbaren Strom ein, um Wasser in seine Bestandteile Wasserstoff und Sauerstoff aufzuspalten. In diesem praktisch emissionsfreien Prozess wird somit „grüner“ Wasserstoff hergestellt. Die Projekt-Website findet sich unter: h2future-project.eu



Exkurs 12: Zur Datenerfassung von Luftemissionen

Datenaufzeichnungen über Luftemissionen haben angesichts des Klimawandels an Bedeutung gewonnen. Folglich gibt es umfangreiche statistische Quellen für Emissionen, um den Ausstoß klimawirksamer Gase abzuschätzen, die sich nach Art der Berichterstattung und auch Darstellung der Daten unterscheiden. Für die Erfassung der österreichischen Luftemissionen stehen drei Berichtssysteme zur Verfügung: Die Luftschadstoff- und Treibhausgas-Inventur, welche die Treibhausgasemissionen auf dem österreichischen Staatsgebiet erfasst und der nationalen Bestandsaufnahme der Treibhausgasemissionen („national greenhouse gas inventories“) nach den Richtlinien des Weltklimarates (IPCC) entspricht. Weiters gibt es die Kernbestandsaufnahme der Emissionen in die Luft CORINAIR („core inventory of air emissions“) auf Grundlage des UNECE-Übereinkommens über weiträumige grenzüberschreitende Luftverunreinigung („long range transboundary air pollutants“, LRTAP). Schließlich gibt es die Luftemissionsrechnung, welche die Emissionen erfasst, die durch Österreicherinnen und Österreicher oder von österreichischen Unternehmen verursacht werden. Diese Emissionen werden den wirtschaftlichen Aktivitäten und dem Konsum der Haushalte

entlang der ÖNACE Klassifikation zugewiesen, wie auch die Wirtschaftsaktivitäten in der *Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung* (VGR; siehe Glossar, Seite 111).

Erläuterungen und Daten zu den Luftemissionen siehe Statistik Austria: statistik.gv.at/web_de/statistiken/energie_umwelt_innovation_mobilitaet/energie_und_umwelt/umwelt/luftemissionsrechnung/index.html oder Umweltbundesamt: umweltbundesamt.at/klima/emissionsinventur/

Der größte Ressourcenverbrauch hängt an Nahrungsmitteln, Bautätigkeit und dem Gesundheitssektor

Für eine genauere Analyse werfen wir im Folgenden einen Blick auf die sektorale Ebene. Dabei wird der österreichische *Material-* und CO₂-Fußabdruck auf die Sektoren bezogen, die den Endverbrauch beliefern. Das sind zum großen Teil die höher verarbeitenden Bereiche des sekundären (z.B. verarbeitende Industrie) und tertiären Sektors (Dienstleistungssektoren), aber nicht ausschließlich. 50 % des *Material-Fußabdrucks* (MF) werden der Produktion von sechs Sektoren⁶ zugeordnet (siehe Abbildung 21, Seite 56): dem Bausektor (14 % des MF), dem Bergbau (13 %), der Nahrungsmittelerzeugung (9 %), der Landwirtschaft (5 %), dem Gesundheitssektor (5 %) und der öffentlichen Verwaltung und Verteidigung (4 %). Beim CO₂-Fußabdruck (CF) entfallen 60 % der Emissionen auf 10 Sektoren. Die größten fünf sind: die Energieerzeugung (10 % des CF), der Bausektor (8 %), der Gesundheitssektor (6 %), die Verarbeitung von Kohle und Öl (4 %) und die Nahrungsmittelerzeugung (4 %). Neben den Emissionen aus dem Produktionsprozess gibt es bei den Emissionen noch jene, die direkt durch den Energieverbrauch des Endkonsums anfallen (19 % des CF), das sind Emissionen aus z. B. Heizen oder Autofahren.

Die sektoralen Hotspots sind aus Sicht der Klimadebatte nicht neu (siehe z.B. Anderl et al. 2018; Steininger et al. 2018). Interessant jedoch ist die hohe Übereinstimmung zwischen den beiden Perspektiven, also zwischen dem *Material-* und dem CO₂-Fußabdruck. Unter den Top 5 Sektoren finden sich drei in beiden Betrachtungsweisen: der Bausektor, der Nahrungsmittelsektor und der Gesundheitssektor. Unter den Top 10 Sektoren finden sich sieben Übereinstimmungen, zusätzlich zu den drei oben genannten noch die Verarbeitung von Kohle und Öl, die öffentliche Verwaltung, die Verarbeitung von Motorfahrzeugen und die Verarbeitung von Chemikalien.

Ein Blick auf die CO₂-Intensität (CF/MF) zeigt, welche Sektoren hohe Emissionen pro verbrauchter Tonne *Material* aufweisen. Hohe CO₂-Intensität ist in erster Linie für jene Sektoren zu beobachten, die wenig *Material* brauchen, das sind Transport im Wasser und in der Luft oder Kleinhandelsaktivitäten. An fünfter Stelle findet sich dann die Elektrizitätserzeugung, Gas- und Warmwasserbereitstellung (1,8 Tonnen CO₂-Emissionen

⁶ Die Sektoren folgen der ÖNACE Klassifizierung (Statistik Austria 2008).

pro Tonne verbrauchtem *Material*). Die Verarbeitung von Kohle und Öl (Platz 14, 0,5 t/t) ist ähnlich CO₂-intensiv wie der Gesundheitssektor (Platz 24, 0,5 t/t).

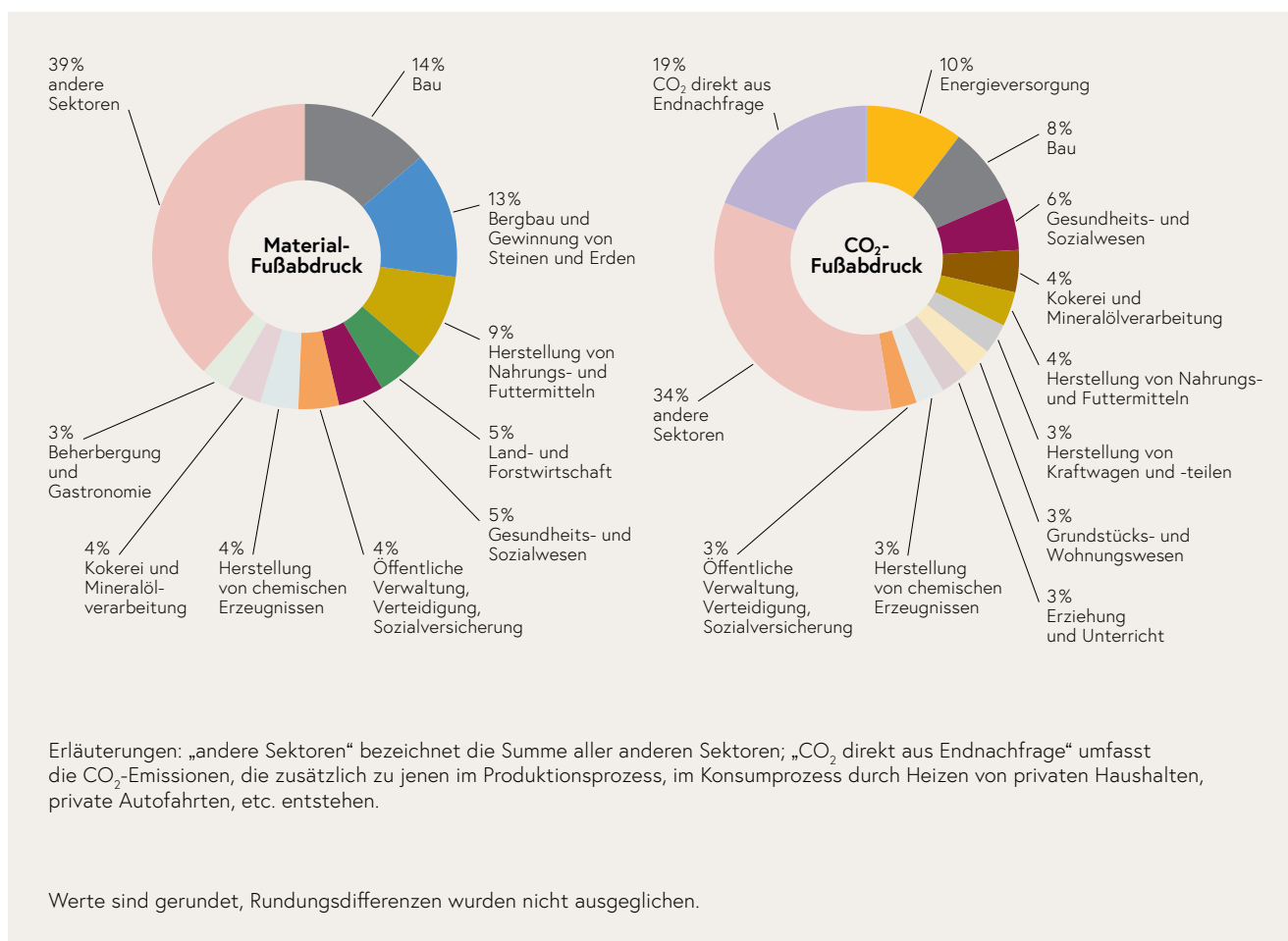


Abbildung 21: Der Material- und CO₂-Fußabdruck nach Sektoren, 2015

Quelle: eigene Darstellung basierend auf Plank et al. 2020

Der überwiegende Teil des Ressourcenverbrauchs aus der verarbeitenden Industrie fällt im Ausland an

Die Analyse der konsumbasierten Indikatoren (siehe Exkurs 6, Seite 38) berücksichtigt die gesamte Vorleistungskette der produzierten Güter sowohl im In- als auch im Ausland. Dadurch kann man feststellen, ob Maßnahmen zur Reduktion der CO₂-Emissionen oder des Materialverbrauchs vor allem die Ressourcenflüsse innerhalb Österreichs oder im Ausland verändern würden. Abbildung 22 (siehe Seite 57) zeigt den CO₂-Fußabdruck und den *Material-Fußabdruck* nach Ort des Aufkommens.

Der Großteil des Ressourcenverbrauchs (75%) und auch der CO₂-Emissionen (65%) fällt innerhalb Österreichs an. Gleiches gilt für die meisten Sektoren, mit Ausnahme der verarbeitenden Industrie; hier ist das Verhältnis genau umgekehrt: 63% des

Material-Fußabdrucks und 68% des CO_2 -Fußabdrucks sind Umweltbelastungen, die im Ausland entstehen. Änderungen der Konsumgewohnheiten würden daher vor allem im Ausland zu einer Reduktion der Ressourcenflüsse und der Treibhausgas-Emissionen führen.

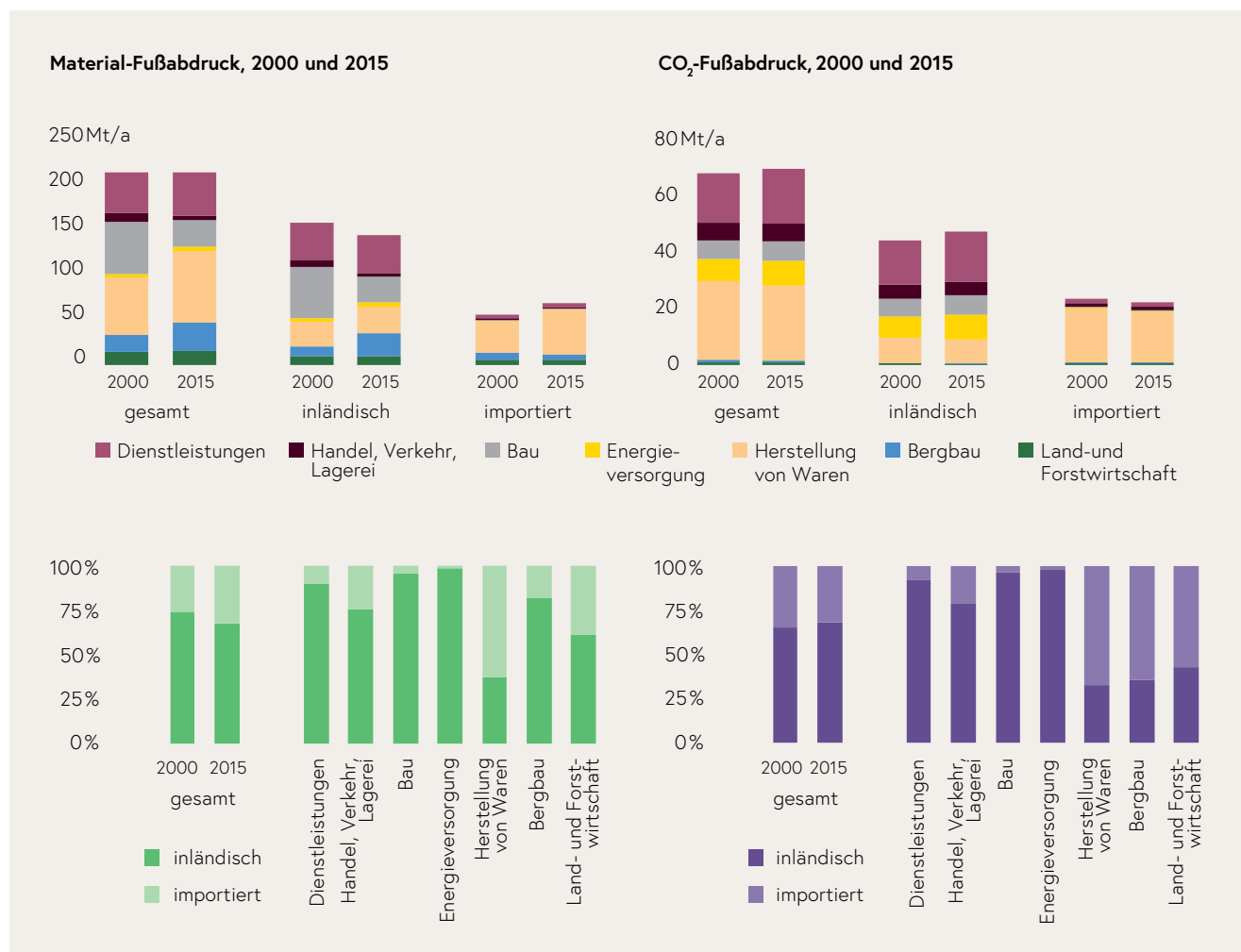


Abbildung 22: Material-Fußabdruck (MF) und CO_2 -Fußabdruck (CF) gesamt nach Sektoren und unterteilt in deren inländischen und ausländischen Anteil

Quelle: eigene Darstellung basierend auf Plank et al. 2020

Die Veränderung zwischen 2000 und 2015 zeigt, dass eine Reduktion der CO_2 -Emissionen ausschließlich in den Produktionsschritten im Ausland und in der verarbeitenden Industrie zu verzeichnen waren. Die Dienstleistungssektoren hingegen trugen am stärksten zur Steigerung des CO_2 -Fußabdrucks bei und zwar durch Emissionen innerhalb Österreichs. Eine Reduktion des *Material-Fußabdrucks* ist nur im österreichischen Bausektor gegeben. Diese Zahlen scheinen allerdings von einer Verschiebung aus dem Bausektor hin zum Sektor Bergbau und verarbeitende Industrie geprägt. Der *Material-Fußabdruck* innerhalb Österreichs konnte gesenkt werden, jedoch ist die Ressourcenbelastung im Ausland, vor allem in der verarbeitenden Industrie, gestiegen.

Der immer größere Wirtschaftsoutput treibt den Ressourcenverbrauch und die CO₂-Emissionen in die Höhe

Die Analyse der Hotspots zeigt uns, in welchen Bereichen es vor allem zu hohen Umweltbelastungen kommt. Was jedoch treibt die Aktivität in diesen Bereichen an?

Die Dekompositionsanalyse (siehe Abbildung 23) zeigt, dass das österreichische Wirtschaftswachstum maßgeblich zur Steigerung der CO₂-Emissionen beiträgt. Wären alle anderen Faktoren über die betrachteten 15 Jahre gleichgeblieben, dann wären die CO₂-Emissionen sogar deutlich mehr gestiegen, als dies tatsächlich der Fall war. Der zweite Faktor, der zur Erhöhung der CO₂-Emissionen beitrug, war die Materialintensität (*Material-Fußabdruck* pro Wertschöpfungseinheit in jedem Sektor; zur Erklärung der Fußabdruck-Indikatoren siehe Exkurs 6, Seite 38). Der Beitrag der Materialintensität ist geringer als jener des Wirtschaftswachstums, dennoch aber beträchtlich. Dass die Materialintensität bisher zu einer Erhöhung des CO₂-Fußabdrucks beitrug, zeigt uns das Potential, durch Materialeffizienzmaßnahmen zu einer Reduktion der CO₂-Emissionen beitragen zu können. Die anderen beiden Faktoren, das sind die Veränderung der Wirtschaftsstruktur und die CO₂-Emissionen pro Tonne Ressourcenverbrauch, haben beide in ähnlichem Ausmaß zur Reduktion des CO₂-Fußabdrucks beigetragen. Durch deren reduzierenden Beitrag konnten die Effekte des Wirtschaftswachstums und der Materialintensität teilweise kompensiert werden. Die Materialintensität (MF/BWS) und Emissionsintensität (CF/MF) zusammengerechnet ergeben die CO₂-Intensität der Wirtschaftsleistung (CF/BWS). Im österreichischen Fall konnte über den betrachteten Zeitraum die Veränderung der CO₂-Intensität der Wirtschaft zur Reduktion des CO₂-Fußabdrucks beitragen.

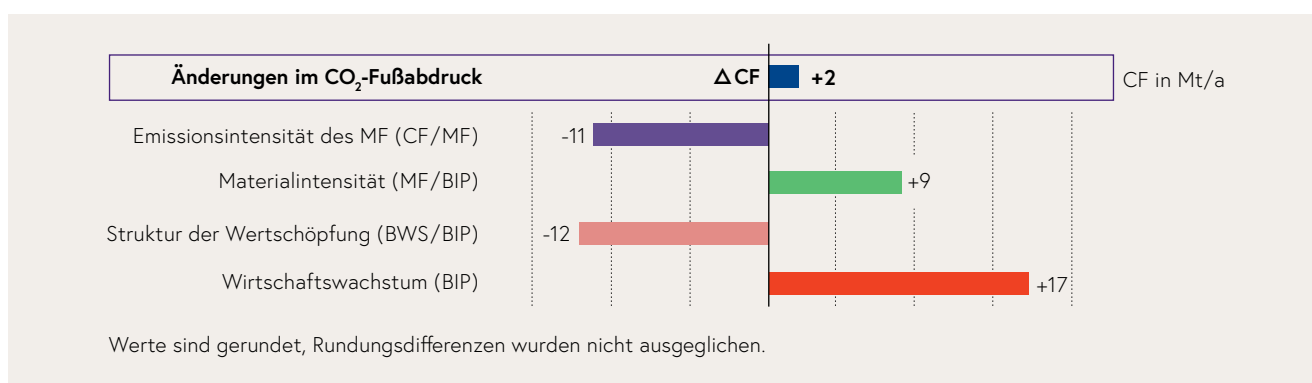


Abbildung 23: Untersuchung, welche Faktoren den österreichischen CO₂-Fußabdruck zwischen 2000 und 2015 antreiben

Quelle: Plank et al. 2020

Der sich hier ergebende starke Beitrag des Wirtschaftswachstums als treibende Kraft hinter steigendem Ressourcenverbrauch und CO₂-Emissionen bestätigt viele andere Studien, die ebenso das Wirtschaftswachstum als den größten Treiber identifizieren,

der andere Effekte (z. B. Effizienzgewinne) aufhebt (siehe z.B. Anderl et al. 2018; UN IRP 2019 a; Wenzlik et al. 2015).

In Abbildung 24 werden dieselben vier Faktoren für den inländischen und den ausländischen Anteil am CO₂-Fußabdruck als Treiber gezeigt. Der Beitrag zur Reduktion des CO₂-Fußabdrucks über die Emissionsintensität pro verbrauchtes *Material* ist fast ausschließlich im Ausland wirksam. Innerhalb Österreichs ist kaum eine Veränderung der Relation zwischen CO₂-Emissionen und Ressourcenverbrauch zu beobachten. Gleichzeitig ist der reduzierende Effekt einer veränderten Wirtschaftsstruktur vor allem in Österreich wirksam; im Ausland scheinen sich keine positiven Effekte durch Verschiebungen zwischen Produktionssektoren zu ergeben.

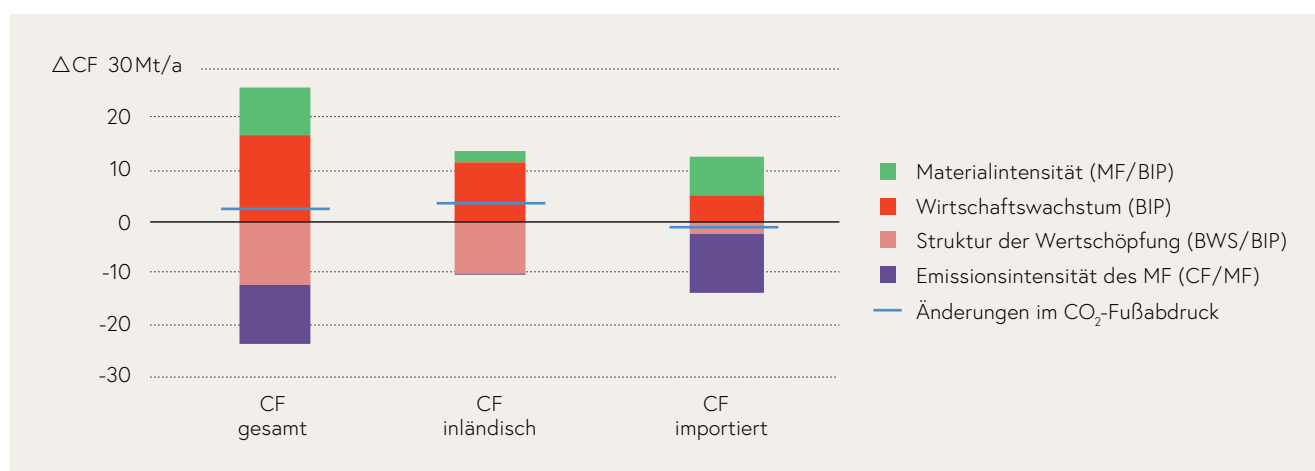


Abbildung 24: Dekomposition des CO₂-Fußabdrucks (CF) getrennt nach dem inländischen und importierten Anteil, 2000–2015

Quelle: Plank et al. 2020



Exkurs 13: Dekompositionsanalyse des österreichischen CO₂-Fußabdrucks

Eine Dekompositionsanalyse (für eine Methodenbeschreibung siehe Exkurs 8, Seite 42; oder Dietzenbacher und Los 1998; Hoekstra und van den Bergh 2002) ist eine gängige statistische Methode, um die treibenden Kräfte zu identifizieren. Zur Analyse der Faktoren, die zur Erhöhung oder Reduktion des österreichischen CO₂-Fußabdrucks führen, werden in der vorliegenden Analyse folgende Faktoren unterschieden.

CO₂-Fußabdruck (CF) der österreichischen Endnachfrage; die Veränderung des CF zwischen 2000 und 2015 wird durch die Dekompositionsanalyse in einzelne Faktoren zerlegt, die im Folgenden gelistet sind:

- BIP: gesamter Wirtschaftsoutput Österreichs; dies bezeichnet den Effekt des Wirtschaftswachstums auf die CO₂-Emissionen.

- WS: Veränderung der österreichischen Wirtschaftsstruktur, das ist die Wertschöpfung der einzelnen Sektoren (Bruttowertschöpfung BWS) in Relation zum gesamten BIP (BWS/BIP). Die Wirtschaftsstruktur gibt an, wie groß der Output eines Sektors im Vergleich zum gesamten österreichischen Wirtschaftsoutput ist. Verändern sich diese Anteile, dann verschiebt sich die österreichische Produktionsstruktur. Beispiel: Der Output der österreichischen Landwirtschaft steigt. Die Produktion der anderen Sektoren steigt allerdings stärker, weshalb der Anteil der landwirtschaftlichen Produktion im Vergleich zu den anderen Sektoren sinkt.
- MI: Materialintensität (MF/BWS) der einzelnen Sektoren.
- mEI: materialbezogene Emissionsintensität jedes einzelnen Sektors (CF/MF); mEI gibt an, wieviele Emissionen durch die Verarbeitung einer Tonne *Material* entstehen. MI und mEI zusammen ergeben die „Kohlenstoff-Intensität“ der sektoralen Produktion.

Die Berechnungsformel für die Dekompositionsanalyse lautet

$$\Delta CF = \Delta CF_{BIP} + \Delta CF_{WS} + \Delta CF_{MI} + \Delta CF_{mEI}$$

und definiert die Veränderung des CF zwischen zwei Zeitpunkten (hier 2000 und 2015) als die Summe der Beiträge der einzelnen, oben aufgelisteten Faktoren. Die Dekompositionsanalyse analysiert die jährlichen Veränderungen für jeden einzelnen Sub-Faktor, während die jeweils anderen Faktoren konstant gehalten werden. Das bedeutet, der Effekt eines bestimmten Faktors kann isoliert betrachtet werden. Eine Dekompositionsanalyse oder Komponentenzersetzung der österreichischen CO₂-Emissionen wurde schon im österreichischen Klimaschutzbericht (Anderl et al. 2018) publiziert. Die Analyse hier ergänzt die bisherigen Arbeiten um zwei Sichtweisen: erstens wurde die Analyse für den inländischen und ausländischen Ressourcenverbrauch getrennt durchgeführt, und zweitens wurde der Zusammenhang zwischen CO₂-Emissionen und Ressourcenverbrauch explizit integriert.

Synergien nutzen – hohe Wirkung für Ressourcenschonung und Klimaschutz

Ressourceneffizienz und Klimaschutz zeigen große Synergien. Maßnahmen zur nachhaltigen Nutzung natürlicher *Ressourcen* mit dem Ziel eines sparsamen Einsatzes primärer *Ressourcen* haben daher auch einen positiven Effekt auf die Entwicklung der CO₂-Emissionen. Drei Wirtschaftsaktivitäten haben sich sowohl in Bezug auf den Ressourcenverbrauch als auch für die CO₂-Emissionen als Brennpunkte herausgestellt: Bautätigkeiten, Landwirtschaft und Nahrungsmittelproduktion sowie Leistungen im Gesundheits- und Sozialwesen. Vor allem der Gesundheitssektor ist nicht nur durch hohen absoluten Ressourcenverbrauch gekennzeichnet, sondern zeigt auch hohe CO₂-Emissionen pro verbrauchter Tonne

Material. Eine deutsch-österreichische Forschungsarbeit (Pichler et al. 2019) hat den Gesundheitsbereich genauer untersucht. Dabei wurde festgestellt, dass der CO₂-Fußabdruck des Gesundheitssektors vor allem durch das Energieversorgungssystem bestimmt wird. Nur zu einem geringeren Teil werden die CO₂-Emissionen durch die Gesundheitsausgaben determiniert, das sind zum Beispiel die Krankenhäuser, Apotheken, Arztpraxen etc. Diese drei Brennpunkte sind nicht überraschend, schon bisherige Analysen zum Klimaschutz identifizieren diese Aktivitäten als zentrale Aktivitätsfelder für Klimapolitik (Anderl et al. 2018; Steininger et al. 2018). Interessant ist aber, dass diese Aktivitäten auch einen hohen Ressourcenverbrauch verursachen. Abstimmungsbedarf und die Nutzung von Synergien zwischen Maßnahmen zur Reduktion des Ressourcenverbrauches und zum Klimaschutz sind damit offensichtlich.

Synergien zwischen Ressourceneffizienz und Klimaschutz bestehen in hohem Maße auch im Bereich der Infrastruktur. Die bestehende Infrastruktur wie Gebäude, Straßen oder Beleuchtung bestimmt durch eine lange Nutzungs- und Instandhaltungsphase maßgeblich den zukünftigen *Material*- und Energieverbrauch und die damit verbundenen Treibhausgasemissionen. Die Wahl der *Materialien* und Energieträger sowie die Reduktion des Energieverbrauchs über die gesamte Nutzungsdauer sind dabei wichtige Schalthebel einer ressourcenschonenden Wirtschaft. Die Reduktion von Ressourcenverbrauch und Emissionen kann durch Weichenstellungen hin zu einer nicht wachsenden, wartungsarmen und langlebigen Infrastruktur am effektivsten erreicht werden. Das bedeutet: eine Optimierung der materiellen Zusammensetzung, eine Reduktion der Bestände, die keine oder kaum *gesellschaftliche Services* bieten, und eine raumordnerische Optimierung, die auf verringerte Bestände setzt (z. B. bauliche Verdichtung und kurze Wege).

Österreich ist ein Netto-Importeur an *Ressourcen* und verursacht durch die *Importe* Ressourcenverbrauch und Umweltbelastung im Ausland. 30% des österreichischen CO₂-Fußabdrucks fallen im Ausland an. Auch Umweltbelastungen durch die verarbeitende Industrie fallen zum Großteil im Ausland an. Wenn wir globale Verantwortung für unseren Lebensstil übernehmen wollen, müssen wir die Auswirkungen unseres Konsums auch jenseits der österreichischen Grenzen einbeziehen. Neben einer Veränderung von Konsummustern braucht es hier vor allem internationale politische Maßnahmen.

Wirtschaftswachstum ist die wichtigste Triebkraft, die zur Steigerung des Ressourcenverbrauchs und zur Steigerung der CO₂-Emissionen führt. Verbesserungen durch eine Veränderung der Wirtschaftsstruktur (Veränderung hin zu weniger CO₂-intensiven Wirtschaftsaktivitäten) oder durch Verbesserungen in der Ressourcenintensität werden leider durch einen stark wachsenden Wirtschaftsoutput mehr als kompensiert. Eine Abkehr von der Priorisierung des Wirtschaftswachstums als Wohlstandsindikator und stattdessen einer stärkeren Fokussierung auf *gesellschaftlichen Wohlstand* bei absoluter Reduktion der Umweltbelastung (Ressourcenverbrauch und CO₂-Emissionen) ist daher dringend notwendig.

Kreislaufwirtschaft aus einer gesamt- wirtschaftlichen Perspektive





Als Alternative zur derzeitigen ressourcen- und energieintensiven Wirtschaftsweise, die dem Prinzip „Entnahme-Verwendung-Entsorgung“ folgt, hat die Zielsetzung einer Kreislaufwirtschaft („circular economy“, CE) international (European Commission 2014, 2015, 2020) und auch in Österreich (BMNT 2019c) deutlich an Relevanz gewonnen. In einer Kreislaufwirtschaft werden *Ressourcen* solange wie möglich im *gesellschaftlichen* Kreislauf gehalten, mit dem Ziel, die Entnahme von Primär-*Ressourcen* aus der Natur zu reduzieren. Der gesamte Materialdurchfluss einer *Gesellschaft* soll dadurch so verändert werden, dass er innerhalb ökologisch verträglicher Grenzen geführt wird und ökologische Kreisläufe nur im Rahmen ihrer Reproduktionskapazitäten genutzt werden (Korhonen et al. 2018). Die Kreislaufwirtschaft setzt dabei etwa auf nachhaltiges Produktdesign, Produkt-Service Modelle, oder Wiederaufbereitung von Sekundärrohstoffen für Produktion und Konsum. Dadurch sollen zu beseitigende Abfälle weitgehend reduziert, die Umwelt und natürliche *Ressourcen* geschont und die Resilienz sozio-ökonomischer Systeme erhöht werden. Das Konzept der Kreislaufwirtschaft soll, neben der Ressourceneffizienz, zur nachhaltigen Ressourcennutzung beitragen und kann komplementär aber nicht statt einer absoluten Reduktion des Ressourcenverbrauchs verstanden werden.

Die EU vollzog in den letzten Jahren wesentliche Schritte, um Europa in Richtung einer Kreislaufwirtschaft weiterzuentwickeln. Diese Programme, wie etwa das Kreislaufwirtschaftspaket (European Commission 2014), der Aktionsplan zur Kreislaufwirtschaft (European Commission 2015) oder der im Jänner 2018 von der Europäischen Kommission verabschiedete Überwachungsrahmen für die Kreislaufwirtschaft (European Commission 2018a), bilden einen wichtigen Rahmen auch für die Umsetzung in Österreich (siehe Exkurs 15, Seite 67).

Der Fokus der *Materialflussrechnung* lag lange Zeit auf den Inputflüssen, also auf der Ressourcenentnahme, den *Importen* und den *Exporten*. In den letzten Jahren wurde der Blick auf die Outputflüsse erweitert, also auf die *gesellschaftlichen* Emissionen und beseitigten Abfälle, die derzeit keiner weiteren Verwendung in unserer *Gesellschaft* zukommen. Da jeder Output-Fluss einem Fluss auf der Input-Seite entspricht, ergeben sich durch eine gesamtwirtschaftliche Betrachtung aller Inputs und Outputs neue Analysemöglichkeiten. Mit der Erweiterung der *MFA* hin zur Output-Seite kann beispielsweise die Kreislauffähigkeit einer Wirtschaft detailliert analysiert und aufgezeigt werden, welcher Anteil der *Ressourcen* derzeit im Kreislauf geführt wird und in welchem Ausmaß diese Sekundärflüsse die primären Ressourceninputs und die Outputs entlasten.

Die Kreislaufwirtschaft aus einer *gesamtgeseftlichen* Perspektive betrachtet ist daher ein wichtiger Baustein für eine nachhaltige Ressourcennutzung. Im vorliegenden Kapitel wird diese gesamtwirtschaftliche Perspektive aus Sicht der *Materialflussrechnung* und den Beiträgen zur Diskussion um Kreislaufwirtschaft näher erörtert.



Exkurs 14: Die Kreislaufwirtschaft in der EU

Im März 2020 hat die Europäische Kommission einen neuen Aktionsplan für Kreislaufwirtschaft angenommen (European Commission 2020). Dieser ist Teil des „European Green Deal“ (European Commission 2019c), Europas neuer Agenda für nachhaltiges Wachstum. Basierend auf den seit 2015 geleisteten Arbeiten im Rahmen des von der Europäischen Kommission veröffentlichten „Aktionsplan Kreislaufwirtschaft“ (European Commission 2015), konzentriert sich der neue Aktionsplan für Kreislaufwirtschaft stärker auf eine kreislauforientierte Europäische Wirtschaft, die den Wert von Produkten, Stoffen und Ressourcen innerhalb der Wirtschaft so lange wie möglich erhalten und dabei möglichst wenig Abfall erzeugen soll (ec.europa.eu/environment/circular-economy/index_en.htm). Dabei rücken nachhaltige Produkte, die Stärkung der Position der Verbraucher sowie Abfallvermeidung entlang der gesamten Wertschöpfungskette als auch ganz spezifisch in Branchen mit hohem Kreislaufwirtschaftspotential wie etwa dem Baugewerbe, oder im Bereich der Textilien in den Fokus des Aktionsplans.

Darüber hinaus hat die Europäische Kommission weitere Strategien mit konkreteren Maßnahmen und Zielen publiziert; darunter z. B. die Strategie für Kunststoffe, die eine Wiederverwendbarkeit oder Rezyklierbarkeit aller Plastikverpackungen bis 2030 vorsieht. Weitere Informationen finden sich auf der Seite der Europäischen Kommission zu „green growth and circular economy“: ec.europa.eu/environment/green-growth/index_en.htm

Abfälle und Emissionen aus gesamtwirtschaftlicher Sicht

Alle *gesellschaftlichen* Abfälle und Emissionen werden in der *Materialflussrechnung* als *inländische Abgabe an die Natur* („domestic processed output“, DPO; Eurostat 2018) bezeichnet und werden von der Statistik Austria als konsistente Zeitreihe ab 2000 berechnet. Die Daten basieren auf unterschiedlichen, öffentlichen statistischen Quellen, wie etwa der Landwirtschaftsstatistik, den Emissionsstatistiken, der Energiebilanz, anderen Versorgungsbilanzen und dem Bundes-Abfallwirtschaftsplan, beziehungsweise Schätzungen (siehe Methodenbeschreibung in Eurostat 2018). Der DPO bündelt alle stofflichen Flüsse, die aus unserer *Gesellschaft* in die Natur fließen und ist ein Maß für Umweltbelastungen.

Der DPO setzt sich zusammen aus den gesamten Emissionen in die Luft und das Wasser, unkontrolliert deponierten Abfällen, dem dissipativen Gebrauch von Produkten (z. B. Düngemittel, Streusalz) und dissipativen Verlusten (z. B. Reifenabrieb) unserer *Gesellschaft* (siehe auch Exkurs 15, Seite 67). Luftemissionen bilden mit 95% den überwiegenden Teil des DPO, darunter vor allem CO₂-Emissionen (siehe Abbildung 25, Seite 66). Weitere 5% entfallen auf den dissipativen Gebrauch von Produkten. Alle anderen Kategorien sind hinsichtlich ihrer Menge zu vernachlässigen. 2000 betrug

der gesamte DPO in Österreich 83Mt/a und stieg bis 2017 auf 94Mt/a an (siehe Abbildung 25).

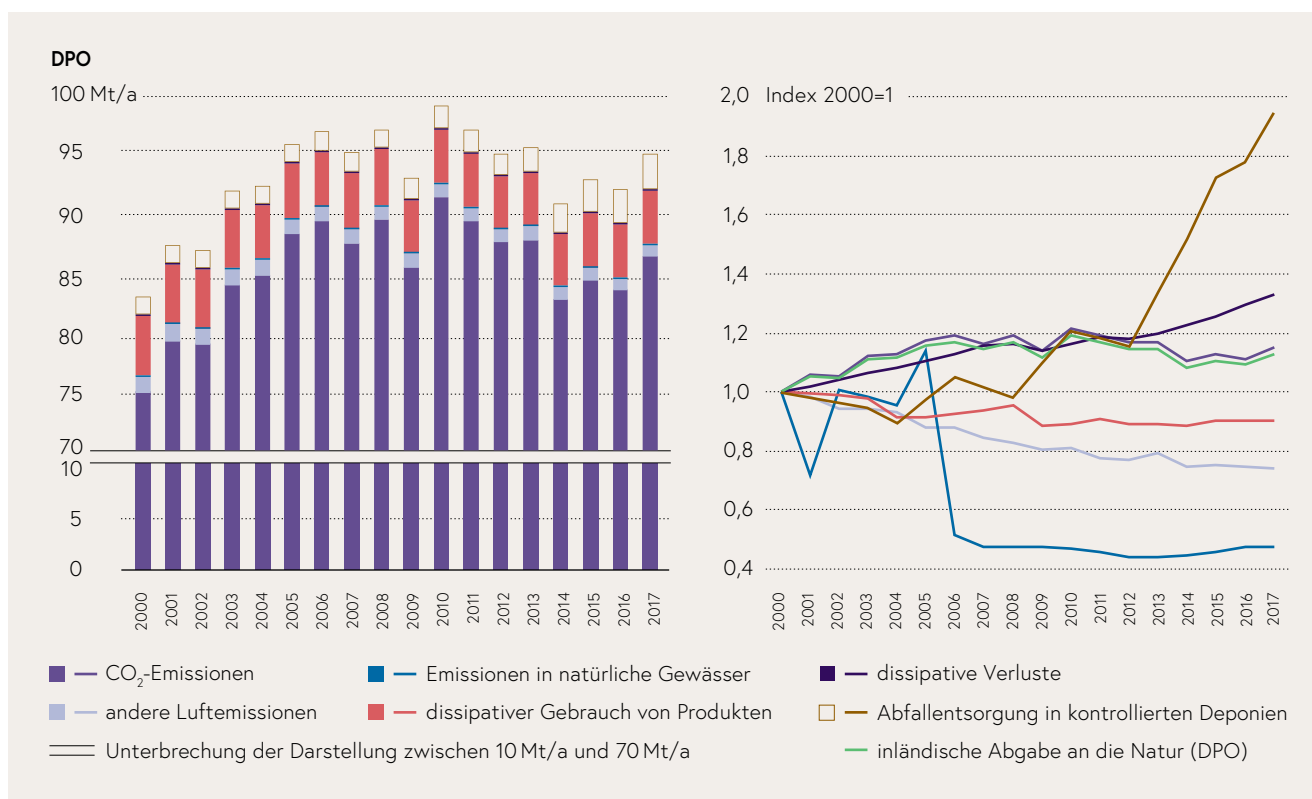


Abbildung 25: Material-Outputs in Österreich, 2000–2017

Quelle: Statistik Austria 2019

Eine mit den inputseitigen MFA-Konventionen konsistente Berechnung des DPO ist zugleich Kontrollwert für die *gesellschaftlichen* Inputs, da nach dem Massenerhaltungssatz alle Inputs in Outputs umgewandelt werden, sofern natürliche *Ressourcen* nicht in *gesellschaftlichen* Bestände, wie beispielsweise Infrastrukturen, gebunden sind. *Biomasse*, die wir durch unsere Nahrungsmittel aufnehmen, muss sich beispielsweise daher in den CO₂-Emissionen aus der Atmung, in etwaigen Nahrungsmittelabfällen oder im Klärschlamm wiederfinden. Anders als die Abfallstatistik, die den gesamten Prozess der Abfallbehandlung betrachtet, werden in einer gesamtwirtschaftlichen Betrachtung Abfälle und Emissionen als *Material* nur einmal beim Übertritt von der *Gesellschaft* zurück in die natürliche Umwelt gezählt.

Durch eine gesamtwirtschaftliche Sichtweise können darüber hinaus auch Abfallaufkommen und Treibhausgasemissionen mit Energieaufwand und Materialverwendung in Verbindung gebracht werden. Hierbei werden Verschiebungen von einer DPO-Kategorie in eine andere sichtbar. So kann beispielsweise eine Verringerung der deponierten Abfallmengen durch eine vermehrte Verbrennung von Abfällen erreicht werden; dadurch reduziert sich die Menge der deponierten Abfälle, dennoch bleibt die *inländische Abgabe an die Natur* (DPO) gleich, weil die Luftemissionen angestiegen sind.

Eine konsistente Erfassung der DPO-Flüsse ist daher eine Grundvoraussetzung für eine empirische Diskussion der Kreislaufwirtschaft. Im Folgenden werden daher die einzelnen Komponenten des DPO kurz erläutert, bevor dann eine datenbasierte Diskussion der Kreislaufwirtschaft aus Sicht der *Materialflussanalyse* erfolgt.



Exkurs 15: Gesellschaftliche Abfälle und Emissionen in der MFA

Die Summe der inländischen Emissionen und unkontrolliert deponierten Abfälle wird als *inländische Abgabe an die Natur* („domestic processed output“, DPO) bezeichnet. Dies umfasst die Gesamtmenge der *Materialien*, die nach Verwendung im sozio-ökonomischen System als gasförmige, flüssige oder stoffliche Outputs an die natürliche Umwelt abgegeben werden.

Die sehr heterogene Gruppe wird nach Eurostat (2018) in Sub-Kategorien unterteilt. Zum einen werden die Outputs nach dem Medium, in welches sie abgegeben werden, gruppiert: das sind Emissionen in die Luft und in das Wasser, und unkontrollierte Deponierung an Land. Des Weiteren werden dissipativer Gebrauch von Produkten und dissipative Verluste unterschieden. Ersteres sind gezielte Ausbringungen, welche sich durch die Nutzung eines Produktes ergeben, und als solches bewusst und zu einem bestimmten Zweck in den Boden, die Luft oder ins Wasser abgegeben werden. Dazu zählen zum Beispiel organischer und mineralischer Dünger, Klärschlamm, Kompost, Pestizide, Samen, Streu- und Lösungsmittel, Lachgas etc. Dissipative Verluste sind ungewollte Outputs, die sich während der Nutzung von Gütern ergeben; dazu zählen z.B. Materialverluste durch Reifen- und Bremsabrieb von Fahrzeugen, Verluste aus undichten Gasleitungen, Verluste an Schmierstoffen oder Abnutzung von Infrastruktur und Gebäuden.

Wie bei der *Inlandsentnahme* muss für den DPO die Systemgrenze zwischen der *Gesellschaft* und der natürlichen Umwelt genau definiert werden. Die Abgabe an die Umwelt ist definiert als der Punkt an dem der entsprechende Materialfluss nicht länger der *gesellschaftlichen* Kontrolle unterliegt (Eurostat 2018). Nach dieser Definition sind etwa Düngemittel ab dem Zeitpunkt der Ausbringung auf dem Feld als DPO zu erfassen, Abfälle die in kontrollierten Deponien gelagert werden, sind dagegen nicht Teil des DPO, sondern erst dann, wenn *Materialien* die Deponie und damit die *gesellschaftliche* Kontrolle verlassen (z. B. Emissionen oder Versickerungen in den Boden). Deponierte Abfälle werden per Eurostat Konvention jedoch als Memorandum Item erfasst, das heißt, die Mengen werden berichtet, aber nicht im DPO inkludiert. Etwaige Schätzmethode können so auf diese Zahlen aus der Abfallstatistik zurückgreifen. Unkontrollierte Deponierung wiederum wird im DPO erfasst.

Luftemissionen, vor allem CO₂-Emissionen, bilden den Großteil des gesellschaftlichen Outputs

Den bei weitem größten Teil der inländischen Abgabe an die Natur („domestic processed outputs“, DPO; siehe Abbildung 25, Seite 66) stellen mit 95 % die Luftemissionen dar. Hierbei handelt es sich um jegliche Gase oder partikelförmige Reststoffe. In der statistischen Berichterstattung werden 14 Luftemissionen unterschieden: Kohlendioxid (CO₂), Methan (CH₄), Distickstoffmonoxid (N₂O), Stickoxide (NO_x), Hydrofluorcarbon (HFCs), Perfluorcarbon (PFCs), Schwefel Hexafluoride (SF₆), Kohlenmonoxid (CO), flüchtige organische Verbindungen außer Methan (NMVOC), Schwefeldioxid (SO₂), Ammoniak (NH₃), Schwermetalle, persistente organische Schadstoffe (POPs) und partikelförmige Reststoffe. Diese Emissionen, darunter insbesondere CO₂-Emissionen, entstehen in fast allen Wirtschaftszweigen und sind primär auf Verbrennungsprozesse, vor allem von *fossilen Energieträgern* aber auch *Biomasse*, zurückzuführen. Zwischen 2005 und 2014 zeigten die CO₂-Emissionen einen rückläufigen Trend, im Jahr 2015 sind die Emissionen erneut angestiegen. Der Anteil der CO₂-Emissionen aus der Verbrennung von *Biomasse* ist kontinuierlich gestiegen (von 17 % auf 28 %), was aus der zunehmenden Nutzung von *Biomasse* zur Energiegewinnung resultiert.

Andere Luftemissionen entstehen vor allem durch Land- und Viehwirtschaft, diese sind jedoch schwerer zu erfassen, da deren „Eintrittsstelle“ in die Umwelt oft nicht genau definiert ist und die emittierten Mengen auch nicht sehr gut erfasst werden können. Eine genauere Betrachtung von unterschiedlichen Luftemissionen, deren Quellen und Trends kann z. B. im aktuellen Klimaschutzbericht des Umweltbundesamtes nachgelesen werden (Anderl et al. 2018).

Weitere Outputs sind der dissipative Gebrauch von Produkten, Emissionen ins Wasser und dissipative Verluste

Den zweitgrößten Anteil des DPO (5%) stellen jene gezielten Ausbringungen dar, die unter der Kategorie *dissipativer Gebrauch von Produkten* zusammengefasst werden (siehe Exkurs 14, Seite 65). Dazu zählen zum Beispiel Düngemittel, Kompost, Pestizide, Späne, Salz oder Schotter, der im Winter ausgestreut wird. In Österreich ist die gesamte Menge dieser ausgebrachten Produkte von 2000 bis 2017 leicht gesunken, und zwar von 5,0 auf 4,5 Millionen Tonnen pro Jahr. Mehr als die Hälfte entfällt auf die Ausbringung von organischem Dünger, gefolgt von Kompost (18 %) und dem Gebrauch von mineralischem Dünger (12 %; siehe Abbildung 26, Seite 69).

Neben der vorsätzlichen Nutzung von Produkten können andere *Materialien* unwissentlich oder nicht absichtsvoll an die Umwelt verloren gehen; diese Outputs werden als *dissipative Verluste* im DPO zusammengefasst und beinhalten z. B. Reifen- und Bremsabrieb von Fahrzeugen, Verluste aus undichten Gasleitungen, oder Abnutzung von Infrastruktur und Gebäuden (siehe Exkurs 14, Seite 65). Obwohl viele dieser Flüsse erhebliche Auswirkungen auf Umwelt und Gesundheit haben, fehlt es an Datenmaterial und auch geeigneten Schätzmethode(n) (siehe Eurostat 2018). Diese Verluste werden daher

statistisch oft nicht berücksichtigt oder deutlich unterschätzt (für mehr Informationen siehe Eurostat 2018).

Emissionen ins Wasser sind eine mengenmäßig sehr kleine Kategorie (weniger als 1% des gesamten DPO). Wasseremissionen nahmen bereits in den frühen 1990ern durch den flächendeckenden Ausbau von Kanalisationssystemen und Kläranlagen stark ab und umfassen heutzutage vor allem kontrollierte Einleitungen aus kommunalen und industriellen Abwasserreinigungsanlagen.

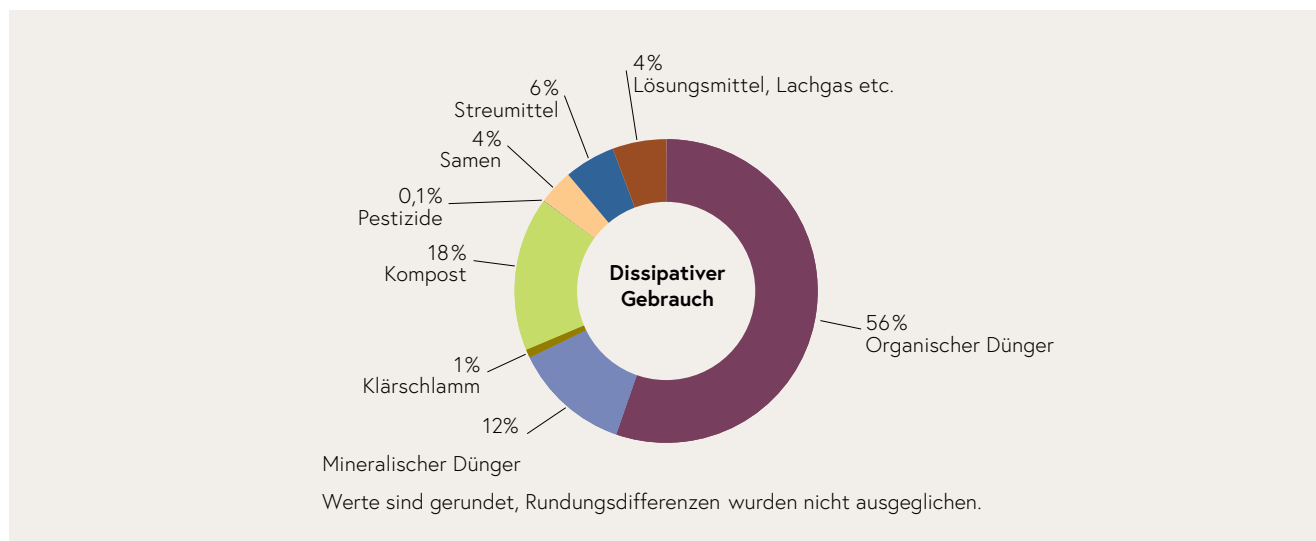


Abbildung 26: Dissipativer Gebrauch von Produkten in Österreich, 2017

Quelle: Statistik Austria 2019

Feste Abfälle wurden im Jahr 2017 in Österreich in der Größenordnung von 3,1 Millionen Tonnen deponiert (exkl. Bodenaushub); im Vergleich dazu lag die im Jahr 2000 deponierte Menge bei 1,4 Millionen Tonnen. Vor allem seit dem Jahr 2012 ist ein Anstieg der deponierten Abfallmenge zu beobachten. Nähere Informationen zur Datenerfassung sind dem Eurostat Handbuch (Eurostat 2018) zu entnehmen oder finden sich im Bundes-Abfallwirtschaftsplan (BMNT 2017, 2019d). Die unkontrollierte Deponierung von Abfällen in der Umwelt ist in Österreich seit 1990 verboten, in dieser Kategorie sind daher keine Werte beinhaltet.

In Bezug auf den DPO steht Österreich im EU-Vergleich auf Platz 12

Schon im Kapitel „Im EU-Vergleich liegt Österreich betreffend Ressourcenverbrauch auf Platz 11“ (siehe Seite 43) hat sich Österreich 2018 als Land mit hohem Ressourcenverbrauch gezeigt. In Abbildung 27 (siehe Seite 70) zeigt die Gegenüberstellung des DMC und des DPO der 28 EU-Mitgliedsländer für das Jahr 2016, dass Österreich im Materialverbrauch (DMC) auf Platz 8 rangiert, in Bezug auf den DPO nimmt Österreich Platz 12 im EU-Vergleich ein.

Hinsichtlich der Luftemissionen, das ist der größte Anteil des DPO, liegt Österreich im europäischen Vergleich für 2016 auf Platz 11. Der zweitgrößte Fluss innerhalb des

DPO resultiert aus dem dissipativen Gebrauch von Produkten (siehe Kapitel „Abfälle und Emissionen“, Seite 65). Hier liegt Österreich auf Platz 9.

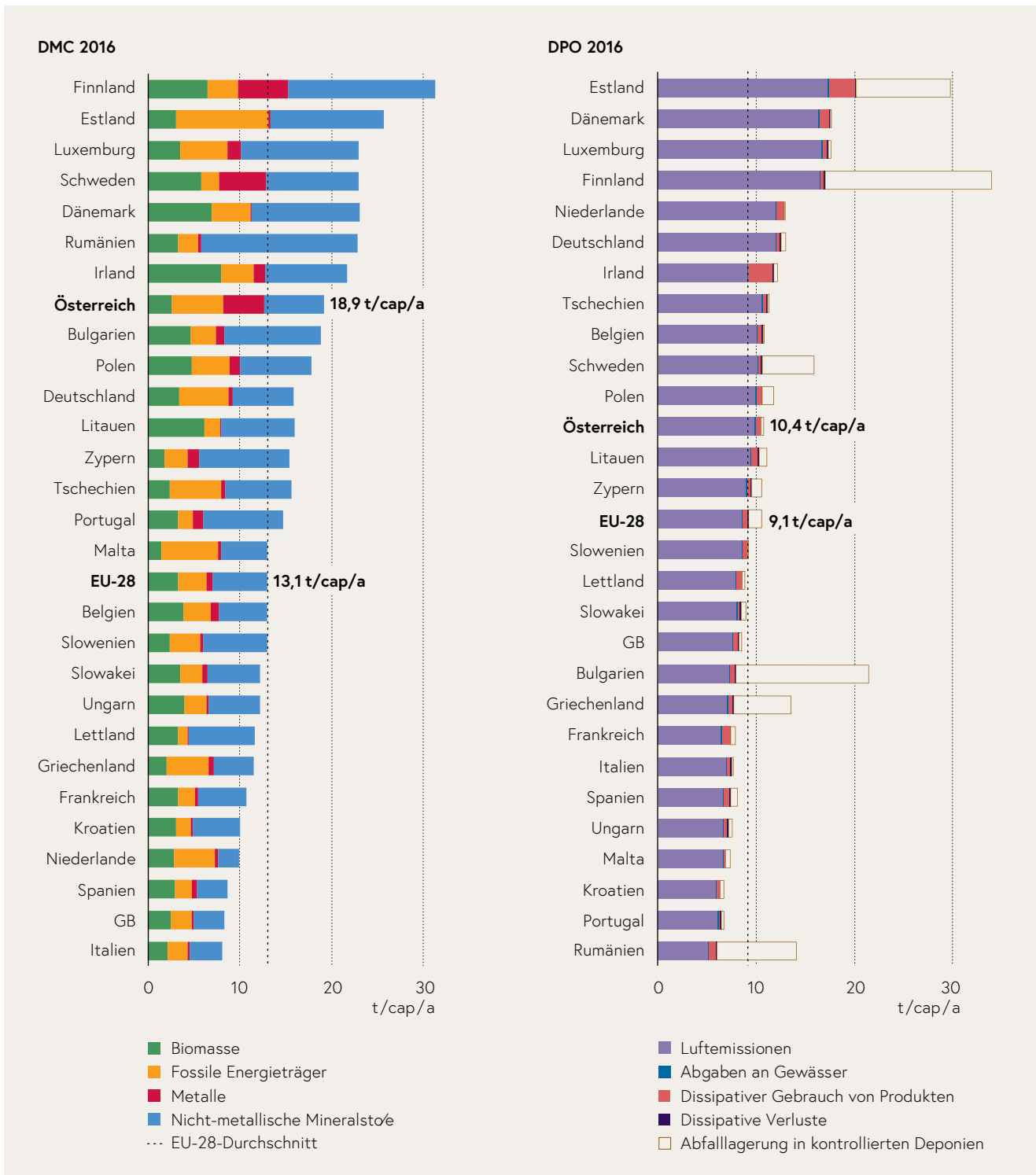


Abbildung 27: Österreich im Vergleich mit den EU-28-Mitgliedsstaaten; DMC und DPO im Jahr 2016
 Quelle: Eurostat 2019b

Gut die Hälfte der Ressourceninputs wird in Beständen akkumuliert

Wenn man die *gesellschaftlichen* Outputs (DPO, *Exporte*) den Inputs (DE, *Importe*) gegenüberstellt, gibt die Differenz einen Hinweis auf die *gesamtwirtschaftlichen* Bestandsveränderungen. Sind die Inputs größer als die Outputs, deutet dies darauf hin, dass die *gesellschaftlichen* Bestände anwachsen⁷ (nähere Informationen über Materialbestände sind in Exkurs 15, Seite 67, zu finden; oder in Krausmann et al. 2018). In Österreich, wie auch in den meisten anderen Industrieländern, übersteigen die *gesellschaftlichen* Inputs die Outputs deutlich (siehe Abbildung 28). Neben dem Aus- und Neubau unserer *gesellschaftlichen* Bestände braucht Österreich zusätzlich erhebliche Mengen an *Material*, um bestehende Bestände zu erhalten und zu renovieren (Wiedenhofer et al. 2015).

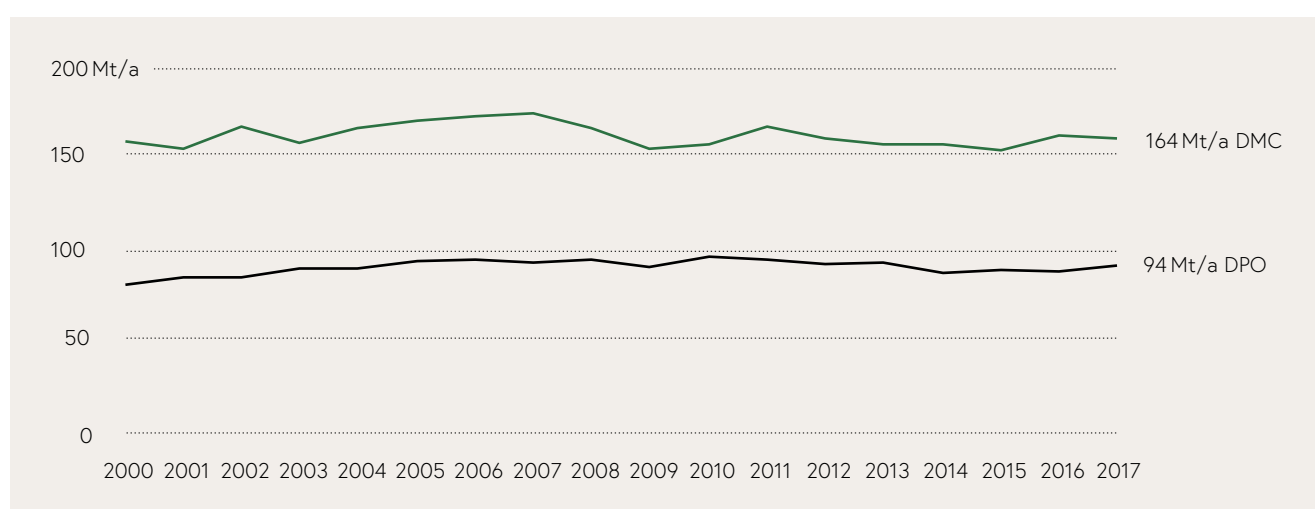


Abbildung 28: Materialverbrauch im Vergleich zu Abfällen und Emissionen in Österreich, 2000–2017

Quelle: Statistik Austria 2019



Exkurs 16: Materialflüsse vs. Materialbestände

Die *Materialflussrechnung* (MFA) misst alle Materialflüsse, die zum Aufbau, zum Betrieb und zur Erhaltung der biophysischen Strukturen einer *Gesellschaft*, d. h. ihrer Materialbestände, erforderlich sind. Ein Fluss ist immer mit einer bestimmten Zeitperiode verbunden, in der MFA werden alle Flüsse als Tonnen pro Jahr berechnet. Bestände hingegen werden zu einem

⁷ Für ein tatsächliches Schließen der Materialbilanz, braucht es zusätzlich noch weitere Bilanzierungsgrößen („balancing items“, BI; für Erläuterungen siehe Eurostat 2018, Seite 88). Dazu gehören z.B. auf der Input-Seite der Sauerstoff aus der Luft, der bei der Atmung oder bei Verbrennungsprozessen in CO₂-Emissionen gebunden wird. Oder auf der Output-Seite der Wasserdampf, der bei Verbrennungsprozessen oder bei der Atmung entsteht.

bestimmten Zeitpunkt gemessen. In der MFA werden zu den *gesellschaftlichen* Beständen die Artefakte eines sozio-ökonomischen Systems und die darin gehaltenen Nutztiere und die menschliche Bevölkerung selbst gezählt. Als Artefakte gelten sämtliche Infrastruktur, Gebäude und Fahrzeuge sowie auch alle Maschinen und langlebige Konsumgüter.

Alle *Materialien* aus dem Bestand werden früher oder später als Abfall oder Emissionen an die natürliche Umwelt zurückfließen. Die durchschnittliche Verweildauer im *gesellschaftlichen* System unterscheidet sich nach Materialkategorien und ist neben der Lebensdauer der jeweiligen Produkte auch von Recycling- und Wiederverwertungsraten abhängig. Durch diesen Zusammenhang ist somit vor allem die Unterscheidung wichtig, welche Flüsse in *gesellschaftlichen* Beständen akkumulieren, welche *Materialien* rezykliert und erneut verwendet werden (Fluss innerhalb des Systems) und welche *Materialien* tatsächlich an die Natur abgegeben werden. Letztere Flüsse, das sind Abfälle und Emissionen, werden in der MFA zur inländischen Abgabe an die Natur („domestic processed output“, DPO) zusammengefasst (siehe auch Exkurs 15, Seite 67).

Die gesamtwirtschaftliche Recyclingrate Österreichs lag im Jahr 2014 bei 9 %

Aus einer gesamtwirtschaftlichen Betrachtung heraus ist eine Kreislaufwirtschaft gegeben, wenn einerseits alle stofflichen Abfälle aus mineralischen oder fossilen Rohstoffen im Sinne einer Wiederverwertung oder -verwendung wieder in das *gesellschaftliche* Produktionssystem rückgeführt werden. Andererseits soll die *gesellschaftliche* Nutzung von *Biomasse* weder die Bioproduktivität der Landflächen übersteigen, noch dürfen Outputs ökosystemare Kreisläufe überlasten.

Neben den stofflich genutzten *Ressourcen* müssen im Sinne einer Kreislaufwirtschaft auch Fragen zu energetisch genutzten *Ressourcen* berücksichtigt werden: beim Ressourcenabbau, bei deren Verarbeitung, Vermarktung, beim Betrieb und bei der Entsorgung von stofflichen Gütern wird Energie benötigt. In der Energiebereitstellung spielen *fossile Energieträger* immer noch eine wichtige Rolle. Durch die Verbrennung dieser entstehen Emissionen, Reststoffe und auch Abwärme. Im Sinne einer nachhaltigen Ressourcenbewirtschaftung muss auch dieser Kreis bestmöglich geschlossen werden, durch Reduktion der energetischen Nutzung der fossilen Energieträger gegen Null, des Weiteren durch die Nutzung erneuerbarer Energiequellen sowie eine kaskadische Energienutzung (Nutzung von Energie über mehrere Stufen).

Eine Forschungsarbeit am Institut für Soziale Ökologie (Jacobi et al. 2018) hat erstmals die gesamtwirtschaftlichen Flüsse von den Inputs bis zu den Outputs und auch den Austausch mit Beständen für Österreich im Jahr 2014 aus Sicht der Materialflussanalyse zusammengestellt. Die Studie liefert einen differenzierten Blick auf die Kreislaufwirtschaft in Österreich und ist in Abbildung 29 (siehe Seite 74) zusammengefasst. Drei Hauptergebnisse lassen sich daraus ableiten:

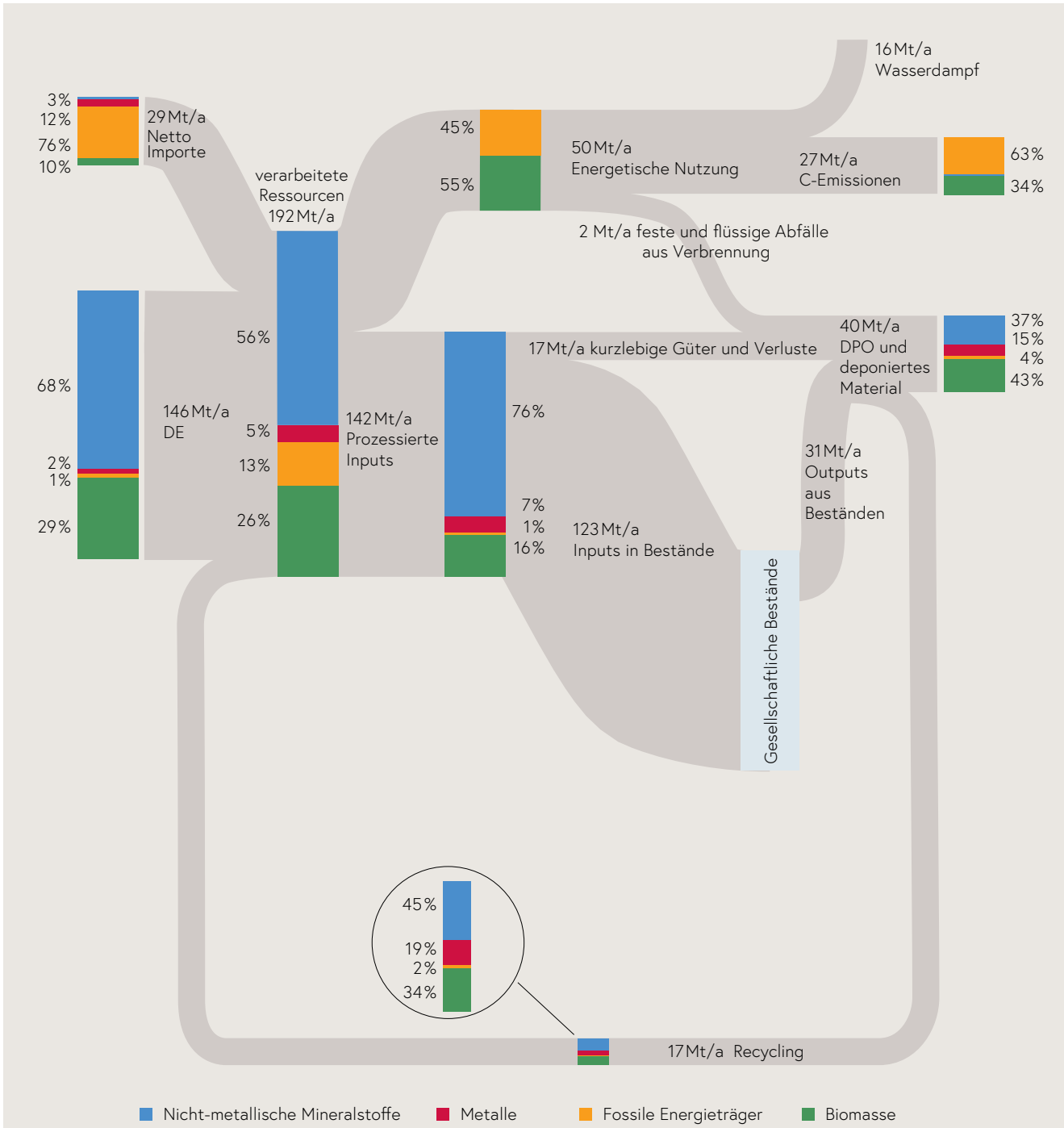
- 2014 wurden in Österreich 30 % der Abfälle, die am Ende ihrer Lebensdauer in die Abfallverwertung eingehen, tatsächlich wiederverwertet. Diese Recyclingrate wird als Output-Recycling-Rate bezeichnet.
- Bezogen auf den gesamten Ressourceninput betrug der Anteil der rezyklierten *Materialien* 2014 nur 9 %; diese Rate wird als Input-Recyclingrate bezeichnet.
- CO₂-Emissionen aus der Verbrennung fossiler Energieträger sind nicht kreislauffähig und müssen gegen Null reduziert werden. In Österreich betrug der Anteil der CO₂-Emissionen, die aus fossilen Quellen stammen 45 %.

Für die drei oben genannten Hauptergebnisse zur gesamtwirtschaftlichen Kreislaufwirtschaft braucht es eine differenzierte Darstellung der Materialflüsse in und durch die österreichische *Gesellschaft*. Für ein besseres Verständnis werden die wichtigen Flüsse daher im Folgenden kurz erklärt.

Für Österreich betrug der Input aus Sekundärrohstoffen im Jahr 2014 17 Mt oder 9 % der gesamten prozessierten Inputs („processed materials“, PM = DE + Importe + sekundäre Rohstoffe). Diese gesamten prozessierten Materialinputs werden entsprechend ihrer Verwendung in materielle Nutzung (74 %) und energetische Nutzung (26 %) unterteilt. *Materialien*, die stofflich genutzt werden, sind zum großen Teil *nicht-metallische Mineralstoffe*, die für Bautätigkeiten verwendet werden. Diese *Materialien* gehen in die *gesellschaftlichen* Bestände und verbleiben dort für mehrere Jahre oder Jahrzehnte.

Auf der Output-Seite finden sich die Emissionen der energetisch genutzten *Materialien* (*fossile Energieträger* und *Biomasse*), das sind C-Emissionen⁸ und Wasserdampf. Aus der stofflichen Nutzung entstehen zumeist Abfälle (der sogenannte „end of life waste“, EoL). Emissionen und EoL gemeinsam werden hier als „Interim Outputs“ (Int-Out) bezeichnet, da diese noch vor eventuellen Recycling- oder Abfallbehandlungsprozessen erfasst werden. Die gesamten Interim Outputs betragen 2014 42 % der prozessierten Materialinputs und davon gingen 9 % in die Wiederverwertung.

8 Abweichungen der Emissionen zu den DPO-Zahlen der Statistik Austria ergeben sich, weil Jacobi et al. (2018) die Emissionen als Kohlenstoff (ohne Sauerstoff) angeben.



Werte sind gerundet, Rundungsdifferenzen wurden nicht ausgeglichen.

Legende: Die Mengenangaben in der Abbildung können Abweichungen zu den DPO-Ergebnissen der Statistik Austria zeigen. Diese entstehen einerseits durch unterschiedliche Berichtseinheiten, d.h. CO₂-Emissionen werden hier als Kohlenstoffgehalt, also ohne Sauerstoff angegeben, und beinhalten die Emissionen aus menschlicher und tierischer Atmung. Andererseits werden in der Kategorie „DPO-Waste“ Abfälle an kontrollierte Deponien erfasst.

Abbildung 29: Österreich und die Kreislaufwirtschaft im Jahr 2014

Quelle: Jacobi et al. 2018

Herausforderungen für eine Kreislaufwirtschaft: gesellschaftliche Bestände und physikalische Grundgesetze

Der „Circularity Gap Report Austria“ (Circle Economy und ARA 2019) greift die dargestellte empirische Analyse für Österreich (Jacobi et al. 2018) auf und leitet daraus vier Handlungsempfehlungen ab:

- Decken des Energiebedarfs durch erneuerbare *Ressourcen*
- Steigerung der Wiederverwertung potentiell rezyklierbarer Abfälle
- Stabilisierung des Materialbestandes (gebauter Infrastruktur); Sanierung bzw. Ersatz von bestehender Infrastruktur soll durch Wiederverwertung von laufend anfallendem Abbruchmaterial gedeckt werden
- Steigerung des Anteils von Sekundärrohstoffen in Importgütern

Der „Circularity Gap Report Austria“ berechnet, dass die oben genannten Maßnahmen die Zirkularität Österreichs auf 37,4% steigern können (Circle Economy und ARA 2019).

Gesellschaftliche Bestände spielen eine wichtige Rolle in der Diskussion um eine Kreislaufwirtschaft. Zum einen, weil über die Hälfte des Materialverbrauchs auf Baurohstoffe (das sind *Nicht-metallische Mineralstoffe*) entfällt. Zum anderen, weil die Entnahme, der Aufbau und der Betrieb von Infrastrukturen beträchtliche Mengen Energie benötigt. Gleichzeitig ist eine Kreislaufwirtschaft in Bezug auf Baurohstoffe nicht leicht umzusetzen. Lebensdauern von über einem Jahr, oftmals von mehreren Jahrzehnten, führen dazu, dass die Outputs in viel kleineren Mengen und zeitverzögert zur Verfügung stehen (Jacobi et al. 2018), als an Ressourceninputs benötigt wird. Weiters erzeugen *gesellschaftliche* Bestände durch ihre lange Lebensdauer langfristige Abhängigkeiten von bestimmten *Ressourcen*, um ihren Betrieb und ihre Instandhaltung zu gewährleisten. Heutiges Abbruchmaterial weist oftmals eine Materialzusammensetzung auf, die den technischen Standards von vor Jahrzehnten entspricht und aufgrund ihrer Beschaffenheit als Verbundwerkstoffe meist keinem Aufbereitungsprozess zugeführt werden können. Gleichzeitig haben viele Entscheidungen, die heute etwa in den Bereichen Regionalentwicklung, Produktdesign oder Abfallwirtschaft getroffen werden, maßgeblichen Einfluss auf die mögliche Gestaltung einer zukünftigen Kreislaufwirtschaft (Krausmann et al. 2017b).

Arbeiten zur kritischen Diskussion von Recycling und der Kreislaufwirtschaft weisen weiters darauf hin, dass zwischen einem „closed-loop recycling“ und „open-loop recycling“ unterschieden werden muss (Haupt et al. 2017). Beim „closed-loop recycling“ werden die Sekundärstoffe zur selben Qualität wie das ursprüngliche Ausgangsmaterial rezykliert. Beim „open-loop recycling“ dagegen haben die Sekundärstoffe nach dem Recycling nicht die selbe stoffliche Qualität wie die ursprünglichen Ausgangsmaterialien (auch „downcycling“ genannt). Im Falle von „open-loop recycling“ kann daher nicht davon ausgegangen werden, dass die resultierenden Sekundärrohstoffe den Einsatz von Primärrohstoffen ersetzen können.

In der Diskussion um Kreislaufwirtschaft muss außerdem berücksichtigt werden, dass die materielle und energetische Nutzung von *Ressourcen* den Grundgesetzen der Physik (Thermodynamik) und damit Grenzen unterliegt. Zum Beispiel verhindert die Dissipation, also die Verteilung von vormals konzentrierten Stoffen (zum Beispiel durch Materialverluste in Produktionsprozessen, dissipative Verluste während der Nutzung oder der Einsatz sehr kleiner Mengen in Endprodukten), eine Kreislaufführung, weil ein unverhältnismäßiger Energieaufwand notwendig wäre, um diese Stoffe für die weitere Nutzung wieder zu bündeln.

Schließlich ist für viele Kreislaufprozesse der Einsatz von Energie essentiell. Energie selbst kann nicht zirkulär geführt, sondern maximal kaskadisch genutzt werden. Als Alternative zu fossilen Energieträgern kommt klimafreundlichen, erneuerbaren Energieträgern eine hohe Priorität zu. Die konkurrierende Nutzung von *Biomasse* für die Nahrungsmittelproduktion von Mensch und Tier, für die energetische Nutzung, und vermehrt auch für die stoffliche Nutzung im Rahmen der Bioökonomie-Strategie (siehe Exkurs 5, Seite 31) stellen große Herausforderungen dar.


Ausblick

Der gesamtwirtschaftliche Blick auf die Kreislaufwirtschaft – wie er durch die *MFA* ermöglicht wird – zeigt, dass ein isolierter Blick auf die Abfallseite, auf die Input-Seite, auf technische Recyclingquoten, oder auf die klimawirksamen Emissionen nur einen kleinen Teil im Gesamtbild beleuchtet. Es braucht zusätzlich einen konsistenten gesamtwirtschaftlichen Rahmen – wie er durch die *MFA* bereitgestellt wird – durch den die Output- mit der Input-Seite und den Beständen in Beziehung gesetzt werden. Dadurch können Wechselwirkungen und Grenzen in der Substitution zwischen Abfällen, Emissionen, Beständen bzw. zwischen verschiedenen Ressourceninputs sichtbar gemacht werden. Effekte – das sind Synergien aber auch Zielkonflikte – zwischen Maßnahmen und Programmen zu Treibhausgasemissionen, Abfallaufkommen, Ressourceninput und Wachstum der Bestände werden erst so sichtbar und liefern wertvolle Erkenntnisse für eine nachhaltige Ressourcennutzung.

In diesem Kapitel wurden daher die bisherigen, input-orientierten Schwerpunkte der *MFA* um diese gesamtwirtschaftliche Perspektive erweitert, und damit einhergehend der *MFA*-Indikator *DPO* vorgestellt. Neben der Ressourceneffizienz ist das Konzept der Kreislaufwirtschaft somit ein wichtiger Baustein in der Umsetzung einer nachhaltigen Ressourcennutzung. Wie eingangs schon erwähnt, können Maßnahmen einer Kreislaufwirtschaft jedoch nur als komplementär aber nicht anstatt einer absoluten Reduktion des Ressourcenverbrauchs verstanden werden.

Kreislaufwirtschaft umfasst vielfältige Maßnahmen und Strategien über die gesamte Produktionskette und auch den Konsum. Dazu gehören Maßnahmen zum Recycling, zur Veränderung der Lebensdauer von Produkten und Produktteilen (beispielsweise Wiederverwendung, Reparatur, Sanierung, Wiederaufbereitung, Umwidmung) oder

Veränderungen in der Nutzung und Produktion von Produkten oder Dienstleistungen (beispielsweise Veränderungen von Nutzungsarten, Sharing/Leasing/Co-Nutzung, Reduktion von Materialeinsatz in der Produktion) (Moraga et al. 2019; Morsetto 2020).



Kritische mineralische
Rohstoffe sind
wichtig für Zukunfts-
technologien



Es gibt eine Vielzahl an unterschiedlichen *Metallen* (Eisen und Stahlveredler, Nichteisenmetalle, Edelmetalle), die zentrale *Ressourcen* für unsere industrialisierten Produktions- und Konsummuster darstellen. Gleichzeitig ist die Gruppe der *Metalle* die kleinste der vier Materialkategorien (nur 2% des österreichischen DMC). Die Rolle der *Metalle* im *gesellschaftlichen Metabolismus* ist vielfältig; ein paar wenige stützen in großer Menge unsere Bestände. Die drei mengenmäßig wichtigsten *Metalle* sind: Eisen, das als Stahl die Grundkonstruktion in Gebäuden und Straßen stellt, oder in Autokarosserien Form gibt; Kupfer, das als ausgezeichneter elektrischer Leiter gilt und daher in allen Arten von Kabeln eingesetzt wird, aber auch in Dächern und Rohren zur Anwendung kommt; Aluminium als das meistverwendete Metall, das in Leichtbau-Karosserien, Getränkedosen, Fenstern, etc. verwendet wird. Andererseits werden viele *Metalle* in nur sehr geringen Mengen verwendet, als solche sind diese aber unverzichtbar für strategisch wichtige Technologien. Dazu zählen zum Beispiel Lithium und Kobalt in Batterien, Indium und Germanium in Photovoltaikanlagen, Tantal, Palladium und Platin in elektronischen Geräten, Katalysatoren und der chemischen Industrie, oder *Metalle* der Selten-Erd-Gruppe in Katalysatoren und Windrädern.

In den letzten Jahren wurden Knappheiten in der Versorgung mit wichtigen Rohstoffen spürbar und haben sich vor allem durch starke Preissteigerungen gezeigt. Die EU hat auf diese Unsicherheiten reagiert und Aktivitäten zur Beobachtung und Analyse des Rohstoffeinsatzes und der Versorgung durch *Importe* gesetzt (European Commission, 2011c). 2011 hat die EU eine Liste an 14 kritischen Rohstoffen veröffentlicht (European Commission 2011c), für welche die Versorgungssicherheit als besonders kritisch einzustufen sei. 2014 wurde die Liste auf 20 kritische Rohstoffe (European Commission 2011c) und 2017 (European Commission 2017a) auf 27 erweitert.

Metallische Rohstoffe – die kleinste Gruppe im gesellschaftlichen Metabolismus

Die größten Mengen an metallischen Rohstoffen, die weltweit abgebaut und in sozio-ökonomischen Prozessen verwendet werden, entfallen auf die Eisenerze; 2017 wurden weltweit 4 Gt abgebaut (UN IRP 2019b), das ist knapp die Hälfte der globalen Extraktion an Erzen, aber nur 4% der gesamten globalen Entnahme an biotischen und abiotischen Rohstoffen. In Österreich werden nur mehr geringe Mengen an metallischen Rohstoffen gewonnen, 2017 waren es 3,5 Mt an Erzen oder knapp 3% der gesamten österreichischen DE bzw. 0,04% der globalen DE. Die österreichische primäre Metallgewinnung ist derzeit auf Eisenerze (85%) und Wolframerze (15%) beschränkt; darüber hinaus produziert Österreich metallische Sekundärrohstoffe (z. B. Kupfer und Aluminium).

Die Nachfrage nach Metallen wächst eng gekoppelt mit der Wirtschaft und baut große anthropogene Bestände auf

Metalle erfüllen verschiedenste Zwecke in unserer *gesellschaftlichen* Anwendung, sie werden in Gebäuden, im Transport, in elektrischen und elektronischen Geräten und für Schmuck verwendet (Graedel 2010). Die Verwendung von *Metallen* ist eng gekoppelt an den Wirtschaftsoutput (BIP) aber auch Wohlstandsindikatoren wie den Human Development Index (HDI; Graedel und Cao 2010). Wenn ein Land durch steigendes Wirtschaftswachstum vermehrt *Metalle* nutzt, dann werden nicht einzelne *Metalle* vermehrt verwendet, sondern die Nachfrage nach dem gesamten Metall-Spektrum steigt (Graedel und Cao 2010). Mit der zu erwartenden starken Wirtschaftsentwicklung der Länder des Südens ist auch eine stark wachsende Nachfrage nach der gesamten Palette an *Metallen* zu erwarten. Graedel und Cao (2010) berechnen den zu erwartenden Anstieg der Nachfrage bis 2050 mit einem Faktor 5–10.

Da es sich bei den *Metallen* um *Materialien* handelt, die wir in unseren *gesellschaftlichen* Beständen akkumulieren, bedeutet die stark wachsende Nutzung einen stetigen Aufbau der anthropogenen Bestände an *Metallen*. Berechnungen der anthropogenen Bestände schätzen diese für das Jahr 2000 auf ca. 500 Mt an Aluminium, 30 Mt an Kupfer, 14,8 Gt Eisen, und 200 Mt Zink (Rauch 2009). Da die Werte stark mit dem BIP korrelieren (Graedel und Cao 2010), variieren die Werte zwischen Ländern aber auch Regionen und Städten. Berechnungen zu Metallbeständen pro Kopf reichen von 2–4 t/cap Eisen, 0,5–2 t/cap für Kupfer, und 0,1 t/cap für Aluminium (Gerst und Graedel 2008; Krausmann et al. 2017b). 25% der anthropogenen Bestände an Aluminium, Kupfer, Eisen und Zink sind laut Rauch (2009) im Osten der USA, in West-Europa, Süd-Korea und Japan zu finden.

Von der Lagerstätte zum Metall

Erze kommen in unterschiedlich konzentrierter Form in Lagerstätten der Lithosphäre vor und sind ungleich über den Globus verteilt. *Metalle* sind – von Seifenlagerstätten abgesehen – meistens in umgebendes Gestein eingebunden. Wieviel Metall im Gestein gebunden ist, kann sehr unterschiedlich sein und variiert von Lagerstätte zu Lagerstätte. Abbauwürdige Kupferlagerstätten beispielsweise haben einen durchschnittlichen Metallgehalt von unter 1% Kupfer im Roherz, variieren aber zwischen 0,4% und 3%. In den, dem Abbau folgenden Aufbereitungsprozessen wird der Metallgehalt auf ca. 24% Kupfer im verkaufsfähigen Konzentrat angereichert. Ein weiteres Spezifikum der *Metalle* ist, dass sie vielfach als polymetallische Vererzungen abgebaut werden, und die metallischen Komponenten erst in den folgenden Aufbereitungsschritten als einzelne Konzentrate aufgetrennt werden. Beispielsweise werden in den großen südamerikanischen Kupferlagerstätten auch Molybdän, Gold und Silber als Beiprodukt mitgewonnen. Technologisch bedeutende *Metalle* wie beispielsweise Indium, Gallium und Germanium, die z. B. in Blei-, Zinkerzen angereichert sind, werden ausschließlich als Koppelprodukte bei der Gewinnung der Hauptmetalle durch metallurgisch/chemische Prozesse extrahiert. Werden die Hauptmetalle nicht mehr abgebaut, können auch die sogenannten „Gewürzmetalle“,

die nicht im (derzeitigen) primären ökonomischen Interesse stehen, nicht mehr gewonnen werden. Entsprechend der MFA Konventionen werden metallische Rohstoffe als Roherze erfasst. Die in der DE erfassten Menge an Erz ist daher meist beträchtlich höher, als das darin enthaltene und daraus produzierte reine Metall.

Wachsende Nachfrage, sinkende Metallgehalte, steigender Energieverbrauch – Recycling als Gegenmaßnahme

Über die letzten Jahrzehnte sind die Metallgehalte der produzierenden Minen konstant gesunken, das heißt, in den geförderten Erzen ist weniger Metall enthalten. Mehrere Faktoren führen zu sinkenden Metallgehalten (UN IRP 2013): Reicherze wurden zuerst bewirtschaftet und sind nun großteils abgebaut. Gleichzeitig ermöglicht der technologische Fortschritt, dass nun auch weniger reiche Lagerstätten unter wirtschaftlichen Bedingungen abgebaut werden können, die mitunter auch metallische Nebenbestandteile führen, die ebenso hereingewonnen werden (z. B. Molybdän, Selen, Tellur in porphyrischen Kupferlagerstätten). Letztlich führt die wachsende Nachfrage dazu, dass auch Armerzlagerstätten wirtschaftlich abgebaut werden können. Der Weltmarktpreis von *Metallen* ist sehr dynamisch und Resultat des Zusammenwirkens vieler Faktoren. Dazu gehört unter anderem jene Veränderung der gewinnbaren Lagerstätteninhalte und ihrer Metallgehalte. Ebenfalls preisbeeinflussend ist der steigende Energieverbrauch, weil bei sinkenden Metallgehalten mehr Erz gefördert werden muss und weil in der anschließenden Aufbereitung (Trennung des Rohstoffes vom Nebengestein) eine kleinere Korngröße erforderlich ist (UN IRP 2013).

Den veränderten bergwirtschaftlichen Gegebenheiten stehen wachsende anthropogene Bestände (vor allem „urban mines“, urbane Minen) gegenüber, die als Reserven der Zukunft zunehmend Wichtigkeit erlangen (UN IRP 2011b). „Recycling“ (Wiederverwertung) und „Re-Use“ (Wiederverwendung) sind daher zentrale Strategien, um die wachsende Nachfrage nach *Metallen* zu bedienen. Das Potential, *Metalle* aus unseren „urban mines“ oder anthropogenen Beständen am Ende ihres Lebenszyklus wieder aufzubereiten, wird als sehr hoch eingeschätzt (ebd.).

Alle Schritte entlang der Produktionskette von metallischen Gütern sind eng mit dem Energieverbrauch verbunden, ca. 8% des globalen Energieverbrauchs geht in die Metallproduktion (UN IRP 2013). Je nach bearbeitetem Metall reicht der Energiebedarf von 20 MJ/kg Metall für Stahl bis 200.000 MJ/kg für Platin (UN IRP 2013). Insbesondere die ersten Verarbeitungsschritte, in denen große Massen bewegt werden, benötigen sehr viel Energie. Die Wiederaufbereitung von Sekundärrohstoffen ist im Vergleich oftmals weniger energieintensiv, weil weniger Verarbeitungsschritte erforderlich sind und die *Metalle* im Produkt am Ende der Lebenszeit in höherer Konzentration verfügbar sind. Eine Publikation des International Resource Panel (UN IRP 2013) berechnet eine Energieersparnis von bis zu 75% für Stahl oder 90% für Aluminium und Platin. Eine Herausforderung für die Zukunft wird das Rezyklieren von komplexen metallischen Legierungen sein, die in Hochtechnologieanwendungen Verwendung finden, da die Auftrennung der unterschiedlichen Komponenten wiederum energie- und kostenintensiv ist.

Kritische Rohstoffe im Spannungsfeld zwischen Versorgungsengpässen und wachsender Nachfrage durch Zukunftstechnologien

Metalle spielen eine zentrale Rolle in industrialisierten Ökonomien; daher sind diese besonders empfindlich gegenüber Engpässen in der Versorgung. Betreffend einer Reihe von Mineralrohstoffen, die durch hohe Importabhängigkeiten, Preisschwankungen und Monopolstellungen von Produktionsländern gekennzeichnet sind, darunter einige, die eine strategisch wichtige Rolle in Zukunftstechnologien spielen, waren in den letzten Jahren zunehmende Versorgungsengpässe zu spüren. Die EU hat daher beschlossen, kritische Rohstoffe („critical raw materials“, CRM) genauer zu beobachten, zu analysieren und Maßnahmen zu initiieren, die einem Versorgungsengpass entgegenwirken (European Commission, 2011c). Kritische Metalle sind solche, die unersetzlich in High-Tech-Produkten aber auch Innovationsgütern sind; darunter zum Beispiel Solarpaneele, Windturbinen, Elektrofahrzeuge etc., also Technologien von zentraler Bedeutung in einer Dekarbonisierungsstrategie (European Commission 2018b; siehe auch Exkurs 17, Seite 84).

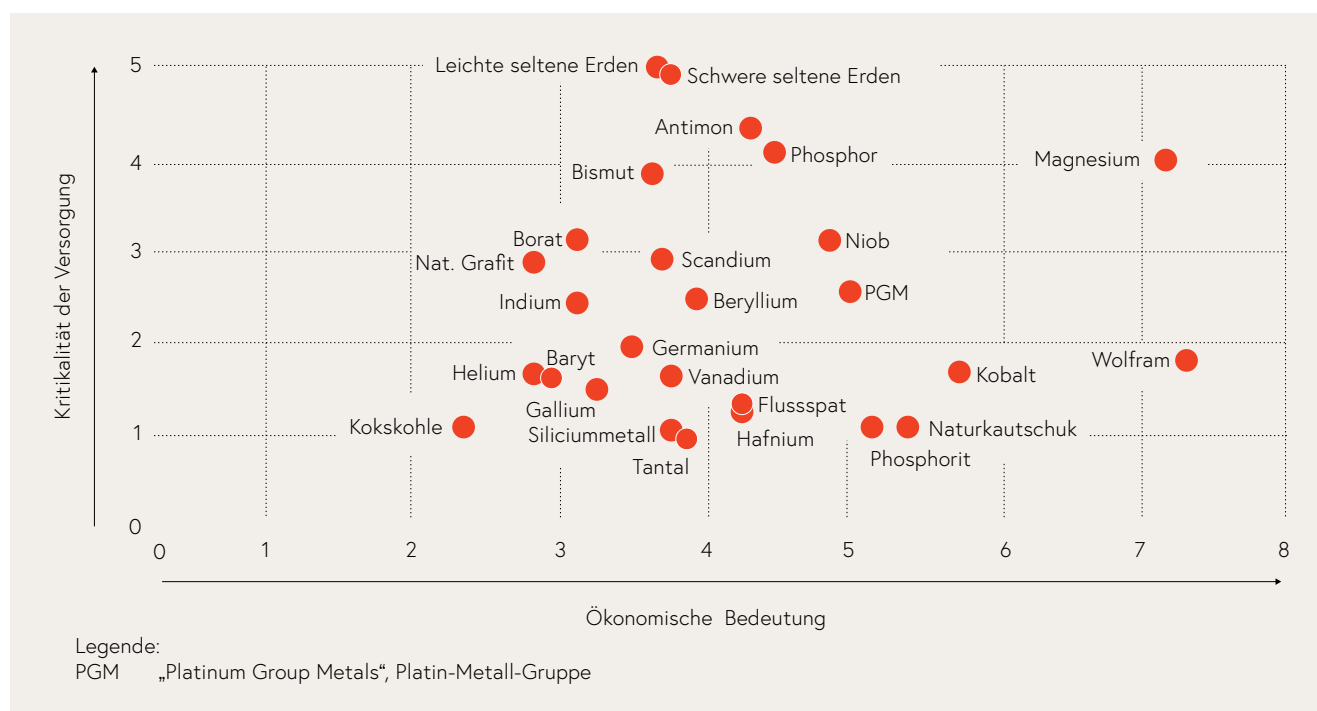


Abbildung 30: Die 27 kritischen Rohstoffe, 2017

Quelle: eigene Darstellung basierend auf European Commission, DG JRC 2019

In der Definition der kritischen Rohstoffe finden sich mehrere Faktoren vereint. Das ist zum einen die ökonomische Bedeutung des Rohstoffs und zum anderen das Versorgungsrisiko (für Details siehe EC 2017, JRC Report 2017 oder Exkurs 17, Seite 84). Die aktuelle Liste der kritischen Rohstoffe umfasst 27 Rohstoffe, zusammengestellt in Abbildung 30.



Exkurs 17: Kritische Rohstoffe („critical raw materials“, CRM)

Kritische Rohstoffe sind Stoffe, die in enger Verbindung zu vielen Industrieprozessen stehen, die in großem Ausmaß in modernen Technologien eingesetzt werden, und unersetzbar sind für Zukunftstechnologien wie z.B. Windturbinen und Elektroautos (European Commission, DG JRC 2017). Die EU hat 2017 (nach 2011 und 2014) eine aktualisierte Liste an nunmehr 27 kritischen Rohstoffen veröffentlicht. Die Definition (European Commission, DG JRC 2017) welcher Rohstoff als kritisch zu bezeichnen ist, begründet sich auf zwei Faktoren:

- Hohe ökonomische Bedeutung
- Hohes Risiko in der dauerhaften Versorgung

Die ökonomische Bedeutung ergibt sich aus dem *Material* in Relation zur Wertschöpfung des verarbeitenden Sektors, und der Substituierbarkeit des Rohstoffs. Das Versorgungsrisiko berücksichtigt die Länderkonzentration der Produktion, die politische Stabilität der Länder, und die Handelsbeziehungen. Das Versorgungsrisiko stützt sich stark auf den *Herfindahl-Hirschman-Index* (HHI), der eine Maßzahl für die Marktkonzentration darstellt (BMNT 2019a). Die Liste soll Maßnahmen in Bezug auf diese Rohstoffe anregen. Darunter zum Beispiel der effiziente Einsatz der Rohstoffe und das Erhöhen der Recyclingraten, die Exploration, der Ausbau und/oder die (Wieder-) Aufnahme von Bergbauaktivitäten, die Diversifikation der Versorgungskanäle und die Förderung von Forschung und Entwicklung.

EU muss kritische Rohstoffe importieren

Die EU ist Importeur in Bezug auf die kritischen Rohstoffe und das in zunehmendem Maße. Zwischen 2000 und 2017 ist die Primärproduktion mineralischer Rohstoffe in Europa um 16,7% gesunken (ohne Baurohstoffe; siehe Abbildung 31, Seite 85). In allen anderen Regionen der Welt dagegen wird die Produktion ausgeweitet. Die Europäische Nachfrage muss daher aus dem Ausland gedeckt werden; 18 der 27 kritischen Rohstoffe stammen in erster Linie aus China, weitere wichtige Produzenten sind die USA, Russland und Mexiko.

Die Länderkonzentration der Produktion wird mit dem *Herfindahl-Hirschman-Index* (HHI; BMNT 2019a; siehe Exkurs 17) gemessen. Für die meisten kritischen Rohstoffe liegt der HHI über dem oberen Grenzwert von 2000, das bedeutet, der Großteil der importierten Mengen kommt aus einer sehr kleinen Zahl an Ländern. Gemeinsam mit der Konzentration wird auch die politische Stabilität oder Instabilität eines Landes berücksichtigt. Eine hohe Konzentration auf politisch instabile Länder übersetzt sich in ein hohes Versorgungsrisiko.

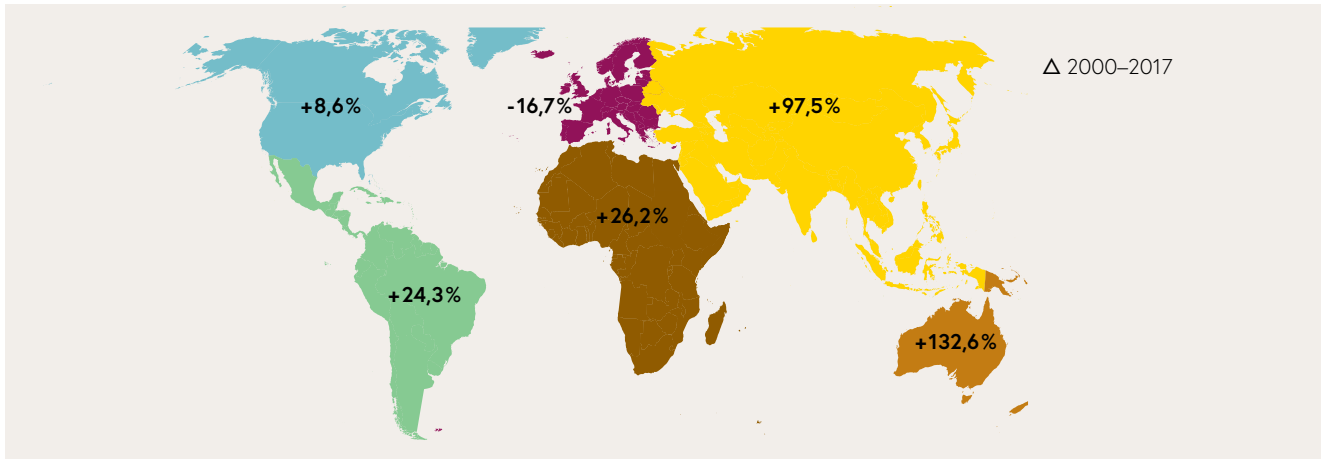


Abbildung 31: Bergbauproduktion nimmt seit 2000 nur in Europa ab

Quelle: World Mining Data, BMNT 2019a

Die weltweite Produktion von kritischen Rohstoffen ist auf wenige Länder konzentriert, der Großteil davon sind Länder des Südens (62%) und Schwellenländer (10%; siehe Abbildung 32). Gleichzeitig wird ein Großteil der Länder, in denen kritische Rohstoffe produziert werden, als politisch relativ instabil klassifiziert (68%; siehe Abbildung 32).

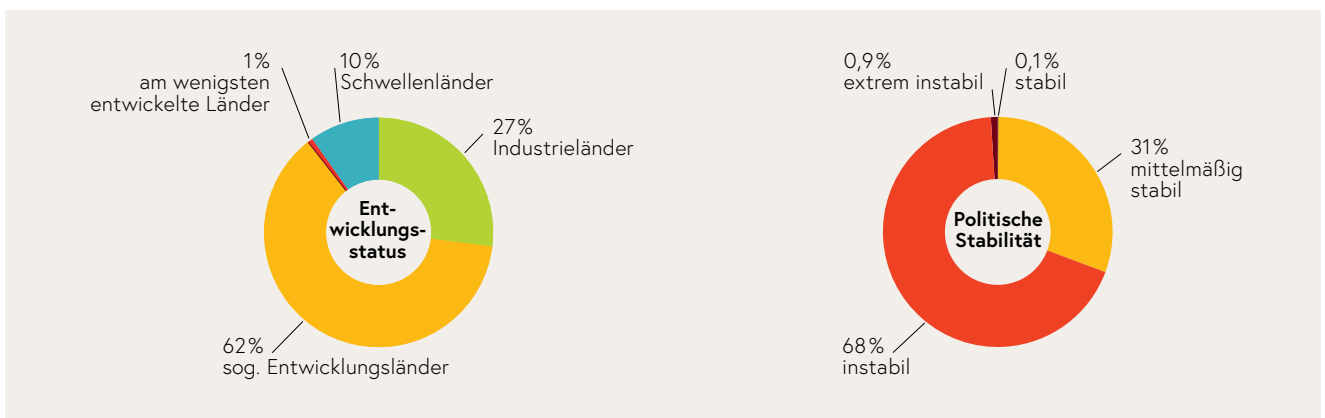


Abbildung 32: Alle Länder, die kritische Rohstoffe bereitstellen, nach Entwicklungsstatus und politischer Stabilität gruppiert, 2017

Quelle: World Mining Data, BMNT 2019a

Kritische mineralische Rohstoffe sind wichtig für High-Tech-Anwendungen – das Beispiel Kobalt

Kritische mineralische Rohstoffe sind wichtige Bestandteile in Zukunftstechnologien und sollen Nachhaltigkeit und eine elektronische Revolution ermöglichen, beides wichtige Beiträge zu einer notwendigen Dekarbonisierung und Energiewende (European Commission 2018 b; UN IRP 2013). Als Zukunftstechnologien („future sustainable technologies“; UNEP et al. 2009) werden jene adressiert, die eine Steigerung der Energieeffizienz und Emissionsreduktion bewirken, und vor allem alte Technologien in diesen Bereichen durch innovativere ersetzen. Dazu zählen Wirtschaftsaktivitäten

rund um elektronische Erzeugnisse, Batterien, erneuerbare Energien und Katalysatoren (European Commission 2018 b; UNEP et al. 2009).

Für die Elektromobilität sind derzeit vor allem die Rohstoffe Lithium, Kobalt, Mangan und Grafit durch ihre Nutzung in Batterien von strategischer Bedeutung. Kobalt ist eines der als kritisch klassifizierten *Metalle*; es wird meist als Nebenprodukt von Nickel oder Kupfer produziert. Kobalt wird zu 42 % in der Batterieproduktion verwendet, weitere 23 % der globalen Produktion gehen in die Herstellung von Superlegierungen (European Commission, DG JRC 2019). Die globale Nachfrage nach Kobalt ist von 3 % in 1995 auf 23 % in 2006 gestiegen (UNEP et al. 2009), gleichermaßen im Einsatz für Superlegierungen (+21 %). Die Schätzungen der UNEP betreffend die zukünftige Nachfrage besagen einen Zuwachs um +2,8 % pro Jahr. Die Europäische Kommission hat basierend auf Schätzungen der steigenden Nachfrage nach Elektroautos eine notwendige Steigerung der Kobaltproduktion um über 2000 % bis 2030 berechnet (European Commission 2018b).

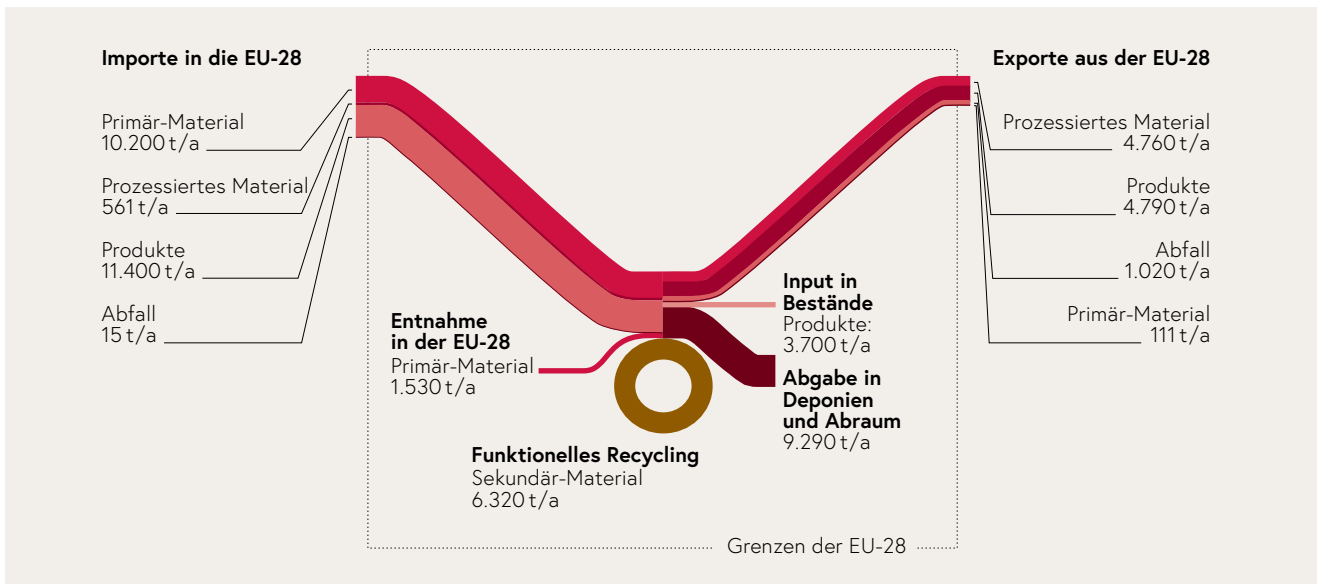


Abbildung 33: Flussdiagramm von Kobalt, 2012

Quelle: eigene Darstellung basierend auf European Commission 2018b; European Commission, DG JRC 2019

Der weltgrößte Produzent von Kobalt ist die Demokratische Republik Kongo (ca. 60 % der globalen Produktion in 2017; BMNT 2019a), die als instabile Demokratie mit hohem Konfliktpotential gewertet wird. Aus dem Kongo wird der Großteil des Kobalterzes zur Weiterverarbeitung ins Ausland, allen voran China, exportiert, wo etwa 40 % des veredelten Kobalts produziert werden (European Commission 2017b).

Nahezu der gesamte EU-Bedarf an Kobalt wird aus dem Ausland importiert, 90 % davon aus Russland (European Commission, DG JRC 2019; siehe Abbildung 33). In Finnland, Belgien und Frankreich wird das Kobalt-Konzentrat weiterverarbeitet, 36 % werden wieder exportiert, und 12 % gehen in *gesellschaftliche* Bestände in der EU.

31% enden in Abfällen auf Deponien und 21% werden recycelt (European Commission 2018b). Der Anteil von Kobalt in Deponien wird von der Europäischen Kommission (European Commission, DG JRC 2019) auf derzeit 100.000 t geschätzt, jährlich kommen 10.000 t hinzu.

21% der verwendeten Mengen an Kobalt werden in der EU recycelt (European Commission 2018b). Derzeit wird in neun EU-Mitgliedsstaaten das 45% Ziel zur Sammlung erreicht, das Ausschöpfen von weiteren Recyclingpotentialen ist ein wichtiger Entwicklungsschritt. Neben der Schonung von Primärressourcen hätte eine Steigerung der Nutzung sekundärer Kobalt-Ressourcen auch positive Auswirkungen auf den Energie- und Wasserverbrauch: so gibt die Europäische Kommission an, dass der Energieverbrauch bei der Extraktion von primärem Kobalt bei 140–2.100 MJ/kg liegt, während bei der Aufbereitung von sekundären Ressourcen nur 2–140 MJ/kg benötigt werden. Gleichermaßen senkt sich der Wasserverbrauch von 40–2.000 m³/t auf 20–100 m³/t (European Commission 2018b).

Die EU hat 2018 einen Strategischen Aktionsplan veröffentlicht, gefolgt von einem Umsetzungsplan (European Commission 2019 a, 2019b), um den Aufbau einer Wertschöpfungskette in Bezug auf Batterien zu etablieren. Kern der Initiative ist dabei vor allem, die derzeitigen geringen Wirtschaftsaktivitäten in Bezug auf Produktion, Sammlung und Wieder-Inwertsetzung von Batterien auf- und auszubauen, um zu anderen Ökonomien (allen voran China) aufzuschließen und sich in zukünftigen Märkten mit der nachhaltigen Herstellung von Batterien zu etablieren. Ziel ist es, das Sourcing aus EU-Quellen zu erhöhen, um so resilient gegenüber Versorgungsengpässen sein zu können.

Kritische Rohstoffe aus einer gesamt-metabolischen Perspektive

Kritische Rohstoffe sind aus einer rein biophysischen Mengenperspektive keine relevante Größe (unter 1% des gesamten DMC). Aus der Sicht einer zukünftigen Energiewende jedoch ist ihre strategische Rolle und lenkende Funktion deutlich gewichtiger. Dabei zählen weniger die bewegten und verwendeten Tonnen der CRM, sondern die damit verbundenen Effekte auf andere physische Flüsse. Zum Beispiel werden CRM zumeist in Kombination mit anderen Metallen abgebaut (Kupfer, Nickel, Zink, etc.). Steigende Produktion hat daher auch Auswirkungen auf andere Ressourcenflüsse und deren folgender Aufbereitung. Ebenso sind mögliche relevante Mengen an CRM in Produktionsabfällen von anderen Metallen (z. B. Kobalt in Restmassen aus dem Kupferbergbau; European Commission 2017b) zu finden. Ungenutzte Potentiale sollen ausgeschöpft werden. Die Entnahme und Aufbereitung im Falle von Primärrohstoffen, oder die Sammlung, das Auseinandernehmen, und die Aufbereitung von Sekundärrohstoffen ist eng mit Energieverbrauch verbunden. Eine Steigerung der Produktion bedeutet daher auch eine Steigerung des zukünftigen Energieverbrauchs. Eine Steigerung der Produktion von alternativen Energieformen, die zumeist mit dem Einsatz von Batterien einhergehen, führt also rückwirkend zu einer Steigerung des Energiebedarfs. Diese Rückkoppelungseffekte zeigen, dass gleichzeitig eine Reduktion der gesamten Energienachfrage angestrebt werden muss.

Herausforderungen für die Zukunft

A photograph of a city street scene, viewed from a low angle looking up. On the left, a modern multi-story building with many windows and balconies is visible. On the right, a traditional multi-story building with many windows is visible. A large, leafy tree stands in the middle ground, partially obscuring the buildings. The sky is overcast. The entire image has a green tint and a white text overlay in the upper left corner.



Die globalen Nachhaltigkeitsziele der UN (2015) geben einen Rahmen für eine zukünftige Entwicklung vor, der alle drei Säulen der Nachhaltigkeit (soziale, wirtschaftliche, ökologische Nachhaltigkeit) adressiert (siehe Exkurs 1, Seite 14). Eurostat veröffentlicht regelmäßige Berichte zur Umsetzung der Agenda 2030 in der EU und deren Mitgliedsstaaten. In Abbildung 34 wird der Fortschritt Österreichs in der Zielerreichung des SDG 12, basierend auf dem neuesten Eurostat Bericht zusammengefasst (Eurostat 2019a).



Abbildung 34: Fortschritte Österreichs in der Zielerreichung im SDG 12

Quelle: eigene Darstellung basierend auf Eurostat 2019a

In den Jahren 2004–2016 kann Österreich einige Fortschritte im Bereich der nachhaltigen Ressourcennutzung verzeichnen: die *Ressourcenproduktivität* steigt sowohl in der inländischen (DMC) als auch der konsumbasierten (RMC oder *Material-Fußabdruck*) Sichtweise. Dennoch konnte bisher keine signifikante Reduktion des absoluten Ressourcenverbrauchs erreicht werden. Auch im Vergleich zur EU steigt die Ressourceneffizienz in Österreich langsamer und sinkt nach 2015 sogar. Der weitere Trend muss beobachtet werden.

In Bezug auf die Abfallreduktion sehen wir Verbesserungen hinsichtlich steigender Wiederverwertungsraten, das Abfallaufkommen jedoch steigt. Die Ausführungen im Kapitel „Kreislaufwirtschaft aus einer gesamtwirtschaftlichen Perspektive“ (siehe Seite 62) zeigen allerdings, dass ein isolierter Blick auf die Abfallseite nur einen kleinen Aspekt im Gesamtbild darstellt. Eine gesamtwirtschaftliche Perspektive muss auf vier Bausteine blicken: Treibhausgasemissionen, Abfallaufkommen, Ressourcenninput und Wachstum der Bestände. Aus dieser Perspektive sehen wir beispielsweise eine positive Entwicklung bezüglich der CO₂-Emissionen, die zwischen 2005 und 2014 also über fast 10 Jahre gesunken sind. Dennoch waren die Reduktionen zu wenig, um ein Erreichen der globalen Klimaziele ausreichend zu unterstützen. Außerdem sind die Emissionen zwischen 2014 und 2015 wieder gestiegen; der weitere Trend muss erst beobachtet werden.

Eine Analyse der Zusammenhänge zwischen Ressourceneffizienz und Klimaschutz (siehe Kapitel „Ressourcenschonung und Klimaschutz gehen Hand in Hand“, Seite 48) zeigt, dass große Synergien bestehen und folglich Aktivitäten zur Steigerung der Ressourceneffizienz positive Auswirkungen auf die CO₂-Emissionen haben können. Als Hotspots zeigen sich Wirtschaftsaktivitäten im Bereich der Bauwirtschaft, der Nahrungsmittelproduktion und des Gesundheitswesens.

SDG 12 adressiert auch den Energieverbrauch eines Landes. Hier ist Österreich zwar durch den hohen Anteil an Energie aus erneuerbaren Energiequellen besser als der EU-Durchschnitt, allerdings ist der Energieverbrauch leicht ansteigend. Die Energiewende und die Entlastung der fossilen Energieträger durch erneuerbare Energien schafft allerdings neue Herausforderungen, die bisher noch wenig im Fokus standen: erneuerbare Energieträger sind in hohem Maße an die steigende Nachfrage nach kritischen Rohstoffen gekoppelt (siehe Kapitel „Kritische mineralische Rohstoffe sind wichtig für Zukunftstechnologien“, Seite 78). Belastungen durch steigende Preise, Versorgungsengpässe und steigenden Energieverbrauch in der Produktion der Infrastruktur sind Faktoren, die potentiell sowohl zur Steigerung des Ressourcenverbrauchs als auch des Energieverbrauchs führen können.

Die Schwerpunktkapitel in diesem Bericht haben verschiedene Ansätze in der Analyse und Umsetzung von nachhaltiger Ressourcennutzung aufgezeigt. Die unterschiedlichen Blickwinkel zeigen Ausschnitte innerhalb des *gesamtwirtschaftlichen Metabolismus*, die aber nicht isoliert voneinander wirken, sondern über die *gesellschaftlichen* Produktions- und Konsumstruktur miteinander verbunden sind. Umsetzungserfolge in Teilbereichen müssen daher auch auf ihre Auswirkungen auf das Gesamtsystem untersucht werden. Bei etwaigen Zielkonflikten braucht es dann ein übergeordnetes Ziel, dem die Teilbereiche zuarbeiten müssen. In der nachhaltigen Ressourcennutzung ist das übergeordnete Ziel, die *gesamtwirtschaftliche* Ressourcennutzung zu reduzieren. Wir müssen weniger *Ressourcen* aus der Natur entnehmen und weniger Abfälle und Emissionen an natürliche Ökosysteme abgeben. Erst wenn wir langfristig eine absolute Reduktion des Ressourcenverbrauchs erreichen, dann ist die Trendwende gelungen.

Österreichs Ressourcenverbrauch ist noch zu hoch – wohin muss es gehen?

Die Herausforderungen einer nachhaltigen Ressourcennutzung sind klar, wir müssen eine Reduktion des *gesamtgemeinschaftlichen* Ressourcenverbrauchs erreichen. Dazu sind beträchtliche Maßnahmen gefordert, die über die bisherigen Bemühungen deutlich hinausgehen. Zur besseren Abschätzung der Größenordnung der notwendigen Maßnahmen werden wir im Folgenden Trendprojektionen aufzeigen, wie sich die Umsetzung möglicher Ziele auf den Ressourcenverbrauch in Österreich bis 2030 und 2050 auswirken würden.

Die Entwicklung der vergangenen 15 Jahre war durch *relative Entkoppelung* gekennzeichnet: die Wirtschaft ist um durchschnittlich 1,4 % pro Jahr gewachsen, während der Ressourcenverbrauch ganz leicht gesunken ist (durchschnittlich -0,2 % pro Jahr). Würden wir in den nächsten Jahren ähnliche Pfade beschreiten und die Entwicklungen der Vergangenheit in die Zukunft fortschreiben, dann bleibt der Ressourcenverbrauch weiterhin relativ stabil, mit einer minimalen Reduktion bis 2030 auf 152 Millionen Tonnen oder 16 t/cap/a und 146 Millionen Tonnen oder 15 t/cap/a in 2050. Bei steigendem Wirtschaftswachstum können damit im Jahr 2030 2.511 Euro pro Tonne erwirtschaftet werden. Das bedeutet, die Ressourceneffizienz steigt um den Faktor 1,3 oder um 30 %. Bis 2050 würde sich die Ressourceneffizienz weiter auf 3.505 Euro pro Tonne erhöhen, das entspricht einer Steigerung um 80 %.

Um den Ressourcenverbrauch und damit die Umweltbelastung tatsächlich zu senken, braucht es aber eine Reduktion des Ressourcenverbrauchs. Aus den Analysen in diesem Bericht haben wir gesehen, dass Österreich im europäischen Vergleich durch einen eher hohen Ressourcenverbrauch charakterisiert ist. Österreich verbrauchte 2018 19 t/cap/a, der europäische Durchschnitt liegt dagegen bei knapp 14 t/cap/a. Würde Österreich sein Verbrauchsniveau bis 2030 auf den europäischen Durchschnitt senken, dann würde der Materialverbrauch bis 2030 auf 126 Mt/a sinken (-19 %). Wenn wir die Reduktion auf den EU-Durchschnitt erst 2050 erreichen, dann ist die Reduktion des Ressourcenverbrauchs weniger ausgeprägt und liegt bei -15 %. Der Materialverbrauch im Jahr 2050 läge bei 133 Mt/a.

Die Festlegung des nachhaltigen Ressourcenverbrauchs auf eine bestimmte Angabe in Tonnen Ressourcenverbrauch pro Jahr ist für Belastungsindikatoren („pressure indicators“; UN IRP 2019a) schwierig, weil sie nicht direkt eine Umweltauswirkung anzeigen. Angaben zu Reduktionszielen werden daher eher aus einem Vorsorgeprinzip heraus gewählt. In der Literatur findet sich zum Beispiel eine Angabe von 7 t/cap/a als vertretbarer Ressourcenverbrauch (Bringezu 2015; UN IRP 2014). Würden wir diese 7 t/cap/a als Zielwert für Österreich im Jahr 2050 festlegen, dann müssten wir den Ressourcenverbrauch auf 69 Mt/a reduzieren; das wäre die Hälfte des Ressourcenverbrauchs des Jahres 2015 (-56 %). Wollen wir die 7 t/cap/a schon im Jahr 2030 erreichen, dann muss der Ressourcenverbrauch bis dahin um fast 60 % auf 66 Mt/a reduziert werden.

Mit welchen Maßnahmen können wir eine Trendwende erreichen?

Die Projektionen zeigen, dass große Maßnahmen gefordert sind; es müssten alle bisher bekannten Optionen ausgeschöpft werden. Gut die Hälfte des Ressourcenverbrauchs sind *nicht-metallische Mineralstoffe*, die für den Aufbau und Erhalt unserer Bestände verwendet werden. Hinzu kommt, dass Sand, Kies, Steine zwar bisher im Übermaß vorhanden waren, aber durch die große Nachfrage, die zunehmend knappen Flächen ebenso wie die Qualität der Kornstruktur zu einem knappen Gut werden. Würden wir also unsere Bestände verändern, könnten wir den Verbrauch der *nicht-metallischen Mineralstoffe* reduzieren. Gleichmaßen könnten wir auch eine Reduktion der metallischen Rohstoffe, die ebenfalls in Beständen, wenn auch in kleineren Mengen, gebunden sind, erreichen. Und schließlich hätte eine Reduktion der Bestände auch eine indirekte, multiplizierende Wirkung, vor allem durch einen reduzierten Energieverbrauch in Produktion aber auch Betrieb der Bestände. Eine Trendwende erfordert also einen Umbau unserer *gesellschaftlichen* Bestände in Richtung von nicht-wachsenden, wartungsarmen und langlebigen Infrastrukturen. Gefragt sind hier innovative Ideen von Raumplanung zur optimalen Raumordnung und Bautechnik bis zur Verbesserung der Materialzusammensetzung und -verwendung.

Neben einem Fokus auf die Bestände braucht es eine Energiewende, um die Treibhausgasemissionen weiter und vor allem deutlicher zu reduzieren. Eine solche Energiewende erfordert den Ausstieg aus der Nutzung *fossiler Energieträger* und den Umstieg auf erneuerbare Energiequellen. Auch eine Reduktion der *gesellschaftlichen* Bestände würde eine Reduktion der Treibhausgase unterstützen, denn unsere gebaute Infrastruktur ist eng mit Energieverbrauch und folglich mit Emissionen gekoppelt.

Schließlich muss berücksichtigt werden, dass unsere *Gesellschaft* nicht ohne den Einsatz von *Ressourcen* auskommt. Wir brauchen eine energetische Versorgung unseres *Stoffwechsels* (beginnend bei der Ernährung von Mensch und Tier) und bauen unseren Alltag auf stofflichen Gebrauchsgütern auf. Im Sinne einer nachhaltigen Ressourcennutzung muss daher das Recyclingpotential bis zum umwelt- und sozialverträglichen Maximum ausgeschöpft werden. Dazu bedarf es Maßnahmen wie Veränderungen im Produktdesign (um Reparaturen zu forcieren und die Zerlegung beispielsweise in die einzelnen Inhaltsstoffe zu ermöglichen), die Verlängerung der gesetzlichen Gewährleistungsfristen, verpflichtende Angaben zur Produktlebensdauer, Steuerungsmaßnahmen zur Stärkung von Reparaturdienstleistungen, um die Nutzungsdauer von Produkten zu erhöhen, die Optimierung von Recyclingprozessen durch Technologieentwicklung und Aufbereitung von anthropogenen Beständen (Deponien aber auch stillgelegte Infrastruktur). Und letztlich müssen wir Lebensstile und Gesellschaftsmodelle entwickeln, die mit weniger *Ressourcen* auskommen. Denn trotz aller Effizienzmaßnahmen und Technologieoptimierungen ist der hohe materielle Lebensstandard der heutigen industrialisierten Länder nicht auf die ganze Welt übertragbar.

Anhang





Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Piktogramme der 17 Ziele für nachhaltige Entwicklung (SDGs) ..	14
Abbildung 2:	Schema des gesellschaftlichen Metabolismus	16
Abbildung 3:	Ressourcennutzung in Österreich, 2015	23
Abbildung 4:	Wie viele globale Ressourcen (Material-Fußabdruck) braucht Österreich für die Deckung des Endkonsums, 2015?	25
Abbildung 5:	Österreich und die planetaren Grenzen	26
Abbildung 6:	Materialflüsse in Österreich, Materialverbrauch und physische Handelsbilanz, 2000–2018	28
Abbildung 7:	Der österreichische Materialverbrauch (DMC) nach Materialkategorien, 2018	29
Abbildung 8:	Verbrauch von Biomasse nach Sub-Gruppen, 2000 und 2018	30
Abbildung 9:	Verbrauch fossiler Energieträger nach Sub-Gruppen, 2000 und 2018	32
Abbildung 10:	Verbrauch von Metallen nach Sub-Gruppen, 2000 und 2018	33
Abbildung 11:	Verbrauch nicht-metallischer Mineralstoffe nach Sub-Gruppen, 2000 und 2018	34
Abbildung 12:	Hohe Importabhängigkeit für fossile Energieträger und Güter aus metallischen Rohstoffen	35
Abbildung 13:	Material-Fußabdruck Österreichs zwischen 2000 und 2015	36
Abbildung 14:	Material-Fußabdruck nach Wirtschaftssektoren, 2015	37
Abbildung 15:	Entwicklung der Ressourcenproduktivität zwischen 2000 und 2018 bzw. 2015	39
Abbildung 16:	Dekompositionsanalyse des österreichischen Material-Fußabdrucks nach Bevölkerungsentwicklung, Wirtschaftswachstum, Veränderungen der Importstruktur, Technologieeffekt	40
Abbildung 17:	Österreichs Materialverbrauch (DMC) und Material-Fußabdruck (MF) im europäischen Vergleich	44
Abbildung 18:	Änderungen im Materialverbrauch (DMC und MF), der inländischen Abgabe an die Natur (DPO) und der Ressourcenproduktivität (RP) für die EU zwischen 2000 und 2015	45

Abbildung 19:	Materialverbrauch pro Kopf im globalen Vergleich, 2000 und 2015	46
Abbildung 20:	Ressourcennutzung in Österreich: Materialverbrauch und CO ₂ -Emissionen aus einer inländischen und einer konsumbasierten Perspektive, 2000–2015	53
Abbildung 21:	Der Material- und CO ₂ -Fußabdruck nach Sektoren, 2015	56
Abbildung 22:	Material-Fußabdruck (MF) und CO ₂ -Fußabdruck (CF) gesamt nach Sektoren und unterteilt in deren inländischen und ausländischen Anteil	57
Abbildung 23:	Untersuchung, welche Faktoren den österreichischen CO ₂ -Fußabdruck zwischen 2000 und 2015 antreiben	58
Abbildung 24:	Dekomposition des CO ₂ -Fußabdrucks (CF) getrennt nach dem inländischen und importierten Anteil, 2000–2015	59
Abbildung 25:	Material-Outputs in Österreich, 2000–2017	66
Abbildung 26:	Dissipativer Gebrauch von Produkten in Österreich, 2017	69
Abbildung 27:	Österreich im Vergleich mit den EU-28-Mitgliedsstaaten; DMC und DPO im Jahr 2016	70
Abbildung 28:	Materialverbrauch im Vergleich zu Abfällen und Emissionen in Österreich, 2000–2017	71
Abbildung 29:	Österreich und die Kreislaufwirtschaft im Jahr 2014	74
Abbildung 30:	Die 27 kritischen Rohstoffe, 2017	83
Abbildung 31:	Bergbauproduktion nimmt seit 2000 nur in Europa ab	85
Abbildung 32:	Alle Länder, die kritische Rohstoffe bereitstellen, nach Entwicklungsstatus und politischer Stabilität gruppiert, 2017	85
Abbildung 33:	Flussdiagramm von Kobalt, 2012	86
Abbildung 34:	Fortschritte Österreichs in der Zielerreichung im SDG 12	90

Verzeichnis der Exkurse

Exkurs 1:	Die globalen Ziele für Nachhaltige Entwicklung (Sustainable Development Goals, SDGs) und ihre Messbarkeit	14
Exkurs 2:	Die Materialflussrechnung (MFA)	15
Exkurs 3:	Aus aktuellem Anlass – Corona-Krise	19
Exkurs 4:	Die Initiative „Wachstum im Wandel“	28
Exkurs 5:	Bioökonomie – eine Strategie für Österreich	31
Exkurs 6:	Die Konsumperspektive von Fußabdruck-Indikatoren und deren Berechnung	38
Exkurs 7:	Ressourcenproduktivität und Entkoppelung	41
Exkurs 8:	Dekompositionsanalyse oder Komponentenzersetzung des österreichischen Material-Fußabdruck	42
Exkurs 9:	UN IRP: „Ressourceneffizienz kann maßgeblich zum Klimaschutz beitragen“	51
Exkurs 10:	„Wege in eine ressourcenschonende Treibhausgasneutralität – RESCUE“ eine Studie des Umweltbundesamtes Deutschland, November 2019	52
Exkurs 11:	Ein Best-Practice-Beispiel: Das EU-Leuchtturmprojekt H2FUTURE	54
Exkurs 12:	Zur Datenerfassung von Luftemissionen	54
Exkurs 13:	Dekompositionsanalyse des österreichischen CO ₂ -Fußabdrucks	59
Exkurs 14:	Die Kreislaufwirtschaft in der EU	65
Exkurs 15:	Gesellschaftliche Abfälle und Emissionen in der MFA	67
Exkurs 16:	Materialflüsse vs. Materialbestände	71
Exkurs 17:	Kritische Rohstoffe („critical raw materials“, CRM)	84

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Österreichische Materialflüsse 2000 und 2018 in Millionen Tonnen pro Jahr, Wachstum zwischen 2000 und 2018 und Zusammensetzung der Flüsse nach Materialkategorien	118
Tabelle 2:	Österreichischer Inlandsmaterialverbrauch (DMC) in Tonnen pro Kopf und Jahr nach Materialkategorien und Wachstum zwischen 2000 und 2018	119
Tabelle 3:	Österreichische Ressourcenproduktivität in Euro pro Kilogramm und ihre Komponenten Inlandsmaterialverbrauch (DMC) in Millionen Tonnen pro Jahr und BIP in Milliarden Euro pro Jahr 2000 und 2018 und Wachstum der Flüsse zwischen 2000 und 2018	120
Tabelle 4:	Österreichische Materialflüsse nach Materialkategorien in Millionen Tonnen pro Jahr, 2000–2018	121
Tabelle 5:	Österreichischer Inlandsmaterialverbrauch (DMC) nach Materialkategorien in Tonnen pro Kopf und Jahr, 2000–2018	122
Tabelle 6:	Österreichische Ressourcenproduktivität in Euro pro Kilogramm und Jahr und ihre Komponenten Inlandsmaterialverbrauch (DMC) in Millionen Tonnen pro Jahr und BIP in Milliarden Euro pro Jahr, 2000–2018	123
Tabelle 7:	Österreichischer Material-Fußabdruck in Millionen Tonnen pro Jahr und Tonnen pro Kopf und Jahr, 2000–2015	124
Tabelle 8:	Österreichische inländische Abgabe an die Natur (DPO) nach Sub-Kategorien in Millionen Tonnen pro Jahr, 2000–2017	125

Literaturverzeichnis

Allwood, J. M., Ashby, M. F., Gutowski, T. G. und Worrell, E. (2011). Material efficiency: A White Paper. *Resources, Conservation and Recycling*, 55(3), 362–381. doi.org/10.1016/j.resconrec.2010.11.002

Anderl, M., Burgstaller, J., Gugele, B., Gössl, M., Haider, S., Heller, C. et al. (2018). *Klimaschutzbericht 2018*. Wien: Umweltbundesamt GmbH.

Barrett, J. und Scott, K. (2012). Link between Climate Change Mitigation and Resource Efficiency: A UK Case Study. *Global Environmental Change*, 22(1), 299–307. doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2011.11.003

BMLFUW und BMWFJ (2011). *Ressourcennutzung in Österreich – Bericht 2011*. Autorinnen und Autoren: Nina Eisenmenger, Anke Schaffartzik, Fridolin Krausmann, Eva Milota. Wien. boku.ac.at/mfa-activities/policy-reports

BMLFUW und BMWFW (2015). *Ressourcennutzung in Österreich – Bericht 2015*. Autorinnen und Autoren: Anke Schaffartzik, Nina Eisenmenger, Fridolin Krausmann, Eva Milota. (S. 84). bmnt.gv.at/umwelt/nachhaltigkeit/ressourceneffizienz/ressourcennutzung_daten_trends/ressourcenbericht15.html

BMNT (2016). *Die Wassermengen-Bilanz Österreichs*. Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus.

BMNT (2017). *Bundes-Abfallwirtschaftsplan 2017*. Wien: Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus.

BMNT (2018). *Umweltgesamtrechnungen*. umweltgesamtrechnung.at

BMNT (2019a). *World Mining Data 2019*. Volume 34 (Autorinnen und Autoren: Reichl C., Schatz M.) (S. 1–262). Vienna: Federal Ministry for Sustainability and Tourism (BMNT).

BMNT (2019b). *Wasserland Österreich* (Folder) (S. 42). Wien: Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus. bmnt.gv.at/wasser/wasser-oeffentlich/wasserland_oesterreich_broschuere.html

BMNT (2019c). *Factsheets über Ressourceneffizienz und Kreislaufwirtschaft*. bmnt.gv.at/umwelt/nachhaltigkeit/ressourceneffizienz/ressourcennutzung_daten_trends/reset_factsheets.html

BMNT (2019 d). Die Bestandsaufnahme der Abfallwirtschaft in Österreich. Statusbericht 2019. Wien: Bundesministerium für Nachhaltigkeit 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.

BMNT und BMVIT (2018). #mission2030. Die österreichische Klima- und Energiestrategie. Wien.

Bringezu, S. (2015). Possible Target Corridor for Sustainable Use of Global Material Resources. *Resources*, 4 (1), 25–54. doi.org/10.3390/resources4010025

Circle Economy und ARA (2019). The Circularity Gap Report Austria. Closing the Circularity Gap in Austria.

Dietzenbacher, E. und Los, B. (1998). Structural Decomposition Techniques: Sense and Sensitivity. *Economic Systems Research*, 10 (4), 307–324. doi.org/10.1080/09535319800000023

Eisenmenger, N., Wiedenhofer, D., Schaffartzik, A., Giljum, S., Bruckner, M., Schandl, H. et al. (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

Erb, K.-H., Krausmann, F., Lucht, W. und Haberl, H. (2009). Embodied HANPP: Mapping the Spatial Disconnect between Global Biomass Production and Consumption. *Ecological Economics*, 69(2), 328–334. doi.org/10.1016/j.ecolecon.2009.06.025

European Commission (2011a). 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 No. COM(2011) 21). Brussels.

European Commission (2011b). Roadmap to a Resource Efficient Europe (Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions No. COM(2011) 571 final). Brussels.

European Commission (2011c). Tackling the Challenges in Commodity Markets and on Raw Materials (Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions No. COM(2011) 25 final). 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 No. COM(2014) 398 final/2). Brussels.

European Commission (2015). Closing the Loop – An EU Action Plan for the Circular Economy (No. COM(2015) 614 final). Brussels.

European Commission (2017a). On the 2017 List of Critical Raw Materials for the EU (Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions No. COM(2017) 490 final). Brussels.

European Commission (2017b). Study on the Review of the List of Critical Raw Materials. Critical Raw Materials Factsheets. Brussels.

European Commission (2018a). A 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 No. COM(2018) 29 final). Strasbourg.

European Commission (2018b). Report on Critical Raw Materials and the Circular Economy (Main authors: Gislev, M. and Grohol, M.). Brussels.

European Commission (2019a). On the Implementation and the Impact on the Environment and the Functioning of the Internal Market of Directive 2006/66/EC of the European Parliament and of the Council of 6 September 2006 on Batteries and Accumulators and Waste Batteries and Accumulators and Repealing Directive 91/157 EEC (Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions No. COM(2019) 166 final). Brussels.

European Commission (2019b). On the Evaluation of the Directive 2006/66/EC on Batteries and Accumulators and Waste Batteries and Accumulators and Repealing Directive 91/157/EEC (Commission Staff Working Document No. SWD(2019) 1300 final). Brussels.

European Commission (2019c). 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 No. COM(2019) 640 final). Brussels.

European Commission (2020). A New Circular Economy Action Plan. For a Cleaner and More Competitive Europe (Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions No. COM(2020) 98 final). Brussels.

European Commission, DG JRC (2017). Methodology for Establishing the EU List of Critical Raw Materials. Guidelines. S. 1–30). Brussels.

European Commission, DG JRC (2019). EU Science Hub. Raw Materials Information System (RMIS). rmis.jrc.ec.europa.eu

Eurostat (2017). Eurostat Databases. ec.europa.eu/eurostat/data/database

Eurostat (2018). Economy-wide Material Flow Accounts. Handbook 2018 edition. Luxembourg: European Union.

Eurostat (2019a). Sustainable Development in the European Union. Monitoring Report on Progress towards the SDGs in an EU Context. 2019 Edition. Luxembourg. ec.europa.eu/eurostat/documents/3217494/9940483/KS-02-19-165-EN-N.pdf/1965d8f5-4532-49f9-98ca-5334b0652820

Eurostat (2019b). Eurostat Databases. Material Flows and Resource Productivity. ec.europa.eu/eurostat/web/environment/material-flows-and-resource-productivity

Eurostat (2019c). Environmental Accounts – Establishing the Links between the Environment and the Economy. ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Environmental_accounts_-_establishing_the_links_between_the_environment_and_the_economy

Fischer-Kowalski, M. und Amann, C. (2001). Beyond IPAT and Kuznets Curves: Globalization as a Vital Factor in Analysing the Environmental Impact of Socio-Economic Metabolism. *Population and Environment*, 23(1), 7–47. doi.org/10.1023/A:1017560208742

Fischer-Kowalski, M., Krausmann, F., Giljum, S., Lutter, S., Mayer, A., Bringezu, S. et al. (2011). Methodology and Indicators of Economy-wide Material Flow Accounting State of the Art and Reliability Across Sources. *Industrial Ecology*, 15 (6), 855–876. doi.org/10.1111/j.1530-9290.2011.00366.x

Fischer-Kowalski, M., Krausmann, F. und Pallua, I. (2014). A Sociometabolic Reading of the Anthropocene: Modes of Subsistence, Population Size and Human Impact on Earth. *The Anthropocene Review*, 1 (1), 8–33. doi.org/10.1177/2053019613518033

Gerst, M. D. und Graedel, T. E. (2008). In-Use Stocks of Metals: Status and Implications. *Environmental Science & Technology*, 42(19), 7038–7045. doi.org/10.1021/es800420p

Graedel, T. E. (2010). *Metal Stocks in Society: Scientific Synthesis*. UNEP, Nairobi.

Graedel, T. E. und Cao, J. (2010). Metal Spectra as Indicators of Development. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(49), 20905–20910. doi.org/10.1073/pnas.1011019107

Haberl, H. (2012). Human Appropriation of Net Primary Production (HANPP). In: Fogel, D., Fredericks, S., Harrington, L. und Pellerberg, I. (Hrsg.), *The Encyclopedia of Sustainability*, Vol.: 6. Measurements, Indicators, and Research Methods for Sustainability (S. 186–189). Great Barrington, MA: Berkshire Publishing.

Haberl, H., Erb, K. H., Krausmann, F., Gaube, V., Bondeau, A., Plutzer, C. et al. (2007). Quantifying and Mapping the Human Appropriation of Net Primary Production in Earth's Terrestrial Ecosystems. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(31), 12942–12947. doi.org/10.1073/pnas.0704243104

Haberl, H., Fischer-Kowalski, M., Krausmann, F. und Winiwarter, V. (Hrsg.) (2016). *Social Ecology: Society-nature Relations across Time and Space*. Switzerland: Springer.

Haberl, H., Wiedenhofer, D., Erb, K., Görg, C. und Krausmann, F. (2017). The Material Stock-Flow-Service Nexus: A New Approach for Tackling the Decoupling Conundrum. *Sustainability*, 9(7), 1049. doi.org/10.3390/su9071049

Haberl, H., Wiedenhofer, D., Pauliuk, S., Krausmann, F., Müller, D. B. und Fischer-Kowalski, M. (2019). Contributions of Sociometabolic Research to Sustainability Science. *Nature Sustainability*, 2(3), 173–184. doi.org/10.1038/s41893-019-0225-2

Hatfield-Dodds, S., Schandl, H., Newth, D., Obersteiner, M., Cai, Y., Baynes, T. et al. (2017). Assessing Global Resource Use and Greenhouse Emissions to 2050, with Ambitious Resource Efficiency and Climate Mitigation Policies. *Journal of Cleaner Production*, 144, 403–414. doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.170

Haupt, M., Vadenbo, C. und Hellweg, S. (2017). Do We Have the Right Performance Indicators for the Circular Economy?: Insight into the Swiss Waste Management System. *Journal of Industrial Ecology*, 21(3), 615–627. doi.org/10.1111/jiec.12506

Hoekstra, R. und van den Bergh, J. (2002). Structural Decomposition Analysis of Physical Flows in the Economy. *Environmental and Resource Economics*, 23(3), 357–378. doi.org/10.1023/A:1021234216845

Inomata, S. und Owen, A. (2014). Comparative Evaluation of MRIO Databases. *Economic Systems Research*, 26 (3), 239–244. doi.org/10.1080/09535314.2014.940856

IPCC (2018). Summary for Policymakers. In: *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty.* (S.32). Geneva, Switzerland: World Meteorological Organization.

Jacobi, N., Haas, W., Wiedenhofer, D. und Mayer, A. (2018). Providing an Economy-wide Monitoring Framework for the Circular Economy in Austria: Status quo and challenges. *Resources, Conservation and Recycling*, 137, 156–166. doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.05.022

Korhonen, J., Honkasalo, A. und Seppälä, J. (2018). Circular Economy: The Concept and its Limitations. *Ecological Economics*, 143, 37–46. doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.06.041

Krausmann, F., Lauk, C., Haas, W. und Wiedenhofer, D. (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, F., Schandl, H., Eisenmenger, N., Giljum, S. und Jackson, T. (2017 a). Material Flow Accounting: Measuring Global Material Use for Sustainable Development. *Annual Review of Environment and Resources*, 42 (1), 647–675. doi.org/10.1146/annurev-environ-102016-060726

Krausmann, F., Wiedenhofer, D., Lauk, C., Haas, W., Tanikawa, H., Fishman, T. et al. (2017 b). 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 (8), 1880–1885. doi.org/10.1073/pnas.1613773114

Moraga, G., Huysveld, S., Mathieux, F., Blengini, G. A., Alaerts, L., Van Acker, K. et al. (2019). Circular Economy Indicators: What Do They Measure? *Resources, Conservation and Recycling*, 146, 452–461. doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.03.045

Morseletto, P. (2020). Targets for a Circular Economy. *Resources, Conservation and Recycling*, 153, 104553. doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104553

OECD (2004). *Recommendation of the Council on Material Flows and Resource Productivity.* OECD, Paris.

OECD (2011). Resource Productivity in the G8 and the OECD. A Report in the Framework of the Kobe 3R Action Plan (S. 1–43). Paris. oecd.org/env/waste/47944428.pdf

OECD (2018). Global Material Resources Outlook to 2060: Economic Drivers and Environmental Consequences. (No. ENV/EPOC/WPEI(2015)1) (S. 210). Paris: OECD Publishing.

O'Neill, D. W., Fanning, A. L., Lamb, W. F. und Steinberger, J. K. (2018). A Good Life for All within Planetary Boundaries. *Nature Sustainability*, 1(2), 88–95. doi.org/10.1038/s41893-018-0021-4

Pichler, P.-P., Jaccard, I. S., Weisz, U. und Weisz, H. (2019). International Comparison of Health Care Carbon Footprints. *Environmental Research Letters*, 14(6), 064004. doi.org/10.1088/1748-9326/ab19e1

Plank, B., Eisenmenger, N. und Schaffartzik, A. (2020). Do Material Efficiency Improvements Backfire? The Link between CO₂ Emissions and Material Use for Austria. *Journal of Industrial Ecology*, forthcoming.

Plank, B., Eisenmenger, N., Schaffartzik, A. und Wiedenhofer, D. (2018). International Trade Drives Global Resource Use: A Structural Decomposition Analysis of Raw Material Consumption from 1990–2010. *Environmental Science & Technology*, 52(7), 4190–4198. doi.org/10.1021/acs.est.7b06133

Rauch, J. N. (2009). Global Mapping of Al, Cu, Fe, and Zn In-use Stocks and In-ground Resources. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(45), 18920–18925. doi.org/10.1073/pnas.0900658106

Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Chapin, F. S., Lambin, E. et al. (2009). Planetary Boundaries: Exploring the Safe Operating Space for Humanity. *Ecology and Society*, 14(2). [jstor.org/stable/26268316](https://www.jstor.org/stable/26268316)

Schaffartzik, A., Eisenmenger, N., Krausmann, F. und Weisz, H. (2014). Consumption-based Material Flow Accounting: Austrian Trade and Consumption in Raw Material Equivalents 1995–2007. *Journal of Industrial Ecology*, 18(1), 102–112. doi.org/10.1111/jiec.12055

Schaffartzik, A., Wiedenhofer, D. und Eisenmenger, N. (2015). Raw Material Equivalents: The Challenges of Accounting for Sustainability in a Globalized World. *Sustainability*, 7(5), 5345–5370. doi.org/10.3390/su7055345

Schandl, H., Hatfield-Dodds, S., Wiedmann, T., Geschke, A., Cai, Y., West, J. et al. (2016). Decoupling Global Environmental Pressure and Economic Growth: Scenarios for Energy Use, Materials Use and Carbon Emissions. *Journal of Cleaner Production*, 132, 45–56. doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.06.100

Scott, K., Roelich, K., Owen, A. und Barrett, J. (2018). Extending European Energy Efficiency Standards to Include Material Use: An Analysis. *Climate Policy*, 18 (5), 627–641. doi.org/10.1080/14693062.2017.1333949

Shao, Q., Schaffartzik, A., Mayer, A. und Krausmann, F. (2017). The High „Price“ of Dematerialization: A Dynamic Panel Data Analysis of Material Use and Economic Recession. *Journal of Cleaner Production*, 167, 120–132. doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.08.158

Stadler, K., Wood, R., Bulavskaya, T., Södersten, C.-J., Simas, M., Schmidt, S. et al. (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 (2008). Systematik der Wirtschaftstätigkeiten, ÖNACE 2008. Statistik Austria, Wien.

Statistik Austria (2018 a). Agrarstrukturerhebung 2016.

Statistik Austria (2018 b). Physische Energieflussrechnungen 2016. statistik.at/web_de/statistiken/energie_umwelt_innovation_mobilitaet/energie_und_umwelt/energie/physische_energieflussrechnungen/index.html

Statistik Austria (2019). Materialflussrechnung. statistik.at/web_de/statistiken/energie_umwelt_innovation_mobilitaet/energie_und_umwelt/umwelt/materialflussrechnung/index.html

Steffen, W., Richardson, K., Rockstrom, J., Cornell, S. E., Fetzer, I., Bennett, E. M. et al. (2015). Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science*, 347 (6223), 1259855–1259855. doi.org/10.1126/science.1259855

Steger, S. und Bleischwitz, R. (2009). Decoupling GDP from Resource Use, Resource Productivity and Competitiveness. A Cross-country Comparison. In: Bleischwitz R., Zhang, Z. und Welfens, P. J. J. (Hrsg.), *Sustainable Growth and Resource Productivity: Economic and Global Policy Issues* (S. 173). Greenleaf Publishing.

Steinberger, J. K. und Krausmann, F. (2011). Material and Energy Productivity. *Environmental Science & Technology*, 45 (4), 1169–1176. doi.org/10.1021/es1028537

Steinberger, J. K., Krausmann, F., Getzner, M., Schandl, H. und West, J. (2013). Development and Dematerialization: An International Study. PLoS ONE, 8(10), e70385. doi.org/10.1371/journal.pone.0070385

Steininger, K. W., Munoz, P., Karstensen, J., Peters, G. P., Strohmaier, R. und Velázquez, E. (2018). Austria's Consumption-based Greenhouse Gas Emissions: Identifying Sectoral Sources and Destinations. Global Environmental Change, 48, 226–242. doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2017.11.011

UBA (2017). Klimaschutzbericht 2017 (No. REP-0622). Umweltbundesamt, Wien.

Umweltbundesamt (2019). Emissionsinventur. umweltbundesamt.at/klima/emissionsinventur

UN (2015). Sustainable Development Goals. Sustainable Development Knowledge Platform. sustainabledevelopment.un.org/topics/sustainabledevelopmentgoals

UN (2016). Paris Agreement, C.N.63.3016.TREATIES-XXVII.7.d

UN (2017). System of Environmental Economic Accounting (SEEA). seea.un.org

UN (2020). UN Sustainable Development Goals, Kommunikationsmaterialien. un.org/sustainabledevelopment/news/communications-material/

UN IRP (2011a). Decoupling Natural Resource Use and Environmental Impacts from Economic Growth. Paris: United Nations Environment Programme. resourcepanel.org/sites/default/files/documents/document/media/decoupling_report_english.pdf

UN IRP (2011b). Assessing Mineral Resources in Society: Metal Stocks & Recycling Rates. Summary booklet. United Nations Environment Programme, Paris.

UN IRP (2013). Environmental Risks and Challenges of Anthropogenic Metals Flows and Cycles, A Report of the Working Group on the Global Metal Flows to the International Resource Panel. Nairobi, Kenya: United Nations Environment Programme. resourcepanel.org/reports/environmental-risks-and-challenges-anthropogenic-metals-flows-and-cycles

UN IRP (2014). Managing and Conserving the Natural Resource Base for Sustained Economic and Social Development. UNEP International Resource Panel, Paris.

UN IRP (2015). International Trade in Resources: A Biophysical Assessment. United Nations Environment Programme, Paris.

UN IRP (2016). Global Material Flows and Resource Productivity. United Nations Environment Programme, Paris.

UN IRP (2017). Resource Efficiency: Potential and Economic Implications. Summary for Policy-Makers. United Nations Environment Programme. Nairobi, Kenya.

UN IRP (2018). Resource Efficiency for Sustainable Development: Key Messages for the Group of 20 (Report of the International Resource Panel). Nairobi, Kenya: United Nations Environment Programme.

UN IRP (2019a). Global Resources Outlook 2019: Natural Resources for the Future We Want. United Nations Environment Programme, Nairobi, Kenya.

UN IRP (2019b). Global Material Flows Database. resourcepanel.org/global-material-flows-database

UN IRP (2020). Resource Efficiency and Climate Change. Material Efficiency Strategies for a Low-Carbon Future. Summary for Policymakers. United Nations Environment Programme, Nairobi, Kenya.

UNDP (2019). Human Development Index. hdr.undp.org/en/content/human-development-index-hdi

UNEP, UNU & Öko-Institut e. V. (2009). Critical Metals for Future Sustainable Technologies and their Recycling Potential (United Nations Environment Programme und United Nations University) UNEP und Öko-Institut e. V., Nairobi, Kenya.

Wackernagel, M. und Rees, W. E. (1996). Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth. New Society Publishers, Gabriola Island, BC; Philadelphia, PA.

Wenzlik, M., Eisenmenger, N. und Schaffartzik, A. (2015). What Drives Austrian Raw Material Consumption? A Structural Decomposition Analysis for the Years 1995 to 2007: SDA of Austrian Raw Material Consumption. *Journal of Industrial Ecology*, 19 (5), 814–824. doi.org/10.1111/jiec.12341

Wiedenhofer, D., Steinberger, J. K., Eisenmenger, N. und Haas, W. (2015). Maintenance and Expansion: Modeling Material Stocks and Flows for Residential Buildings and Transportation Networks in the EU-25: Stocks and Flows in the EU-25. *Journal of Industrial Ecology*, 19 (4), 538–551. doi.org/10.1111/jiec.12216

Wiedmann, T. und Barrett, J. (2013). Policy-relevant Applications of Environmentally Extended MRIO Databases – Experiences from the UK. *Economic Systems Research*, 25(1), 143–156. doi.org/10.1080/09535314.2012.761596

Wiedmann, T. , Schandl, H., Lenzen, M., Moran, D., Suh, S., West, J. und Kanemoto, K. (2015). The Material Footprint of Nations. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(20), 6271–6276. doi.org/10.1073/pnas.1220362110

Wiedmann, T., Wilting, H. C., Lenzen, M., Lutter, S. und Palm, V. (2011). Quo Vadis MRIO? Methodological, Data and Institutional Requirements for Multi-region Input–Output Analysis. *Ecological Economics*, 70(11), 1937–1945. doi.org/10.1016/j.ecolecon.2011.06.014

Wood, R., Stadler, K., Simas, M., Bulavskaya, T., Giljum, S., Lutter, S. und Tukker, A. (2018). Growth in Environmental Footprints and Environmental Impacts Embodied in Trade: Resource Efficiency Indicators from EXIOBASE3. *Journal of Industrial Ecology*, 22(3), 553–564. doi.org/10.1111/jiec.12735

Wu, Z., Schaffartzik, A., Shao, Q., Wang, D., Li, G., Su, Y. und Rao, L. (2019). Does Economic Recession Reduce Material Use? Empirical Evidence Based on 157 Economies Worldwide. *Journal of Cleaner Production*, 214, 823–836. doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.015

York, R., Rosa, E. A. und Dietz, T. (2003). STIRPAT, IPAT and ImPACT: Analytic Tools for Unpacking the Driving Forces of Environmental Impacts. *Ecological Economics*, 46(3), 351–365. doi.org/10.1016/S0921-8009(03)00188-5

Glossar

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 dazu gerechnet.

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), die Ressourceneffizienz wächst langsamer als die Wirtschaft. Entkoppelung bei sinkendem Ressourcenverbrauch (absolute Entkoppelung), die Ressourceneffizienz wächst schneller als die Wirtschaft.

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

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 **gesellschaftlicher 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.

Der Indikator **HANPP** („human appropriation of net primary production“, menschliche Aneignung von Netto-Primärproduktion) quantifiziert die Menge des zur gesellschaftlichen Verwendung entnommenen Anteils der Biomasse an der gesamten Biomasse vorhanden

in Ökosystemen, gemessen in Nettoprimärproduktion (Haberl et al. 2007; Haberl 2012), und steht gewissermaßen als Indikator für Landnutzungsintensität. Analog zum Material-Fußabdruck kann der konsumbasierte Indikator eHANPP (Erb et al. 2009) berechnet werden.

Der **Herfindahl-Hirschman-Index (HHI)** ist eine Maßzahl für Markt-Konzentration in einem gemeinsamen Markt, um so eine etwaige marktbeherrschende Stellung von einem oder mehreren Unternehmen sichtbar zu machen. Der HHI errechnet sich aus der Summe der Quadrate der Anteile von Unternehmen am gemeinsamen Markt. Je höher der HHI, desto geringer die Anzahl der Unternehmen, auf die dann ein vergleichsweise großer Anteil der Produktion entfällt. In diesem Bericht ist der HHI, ebenso wie in den World Mining Data, eine Maßzahl für Länderkonzentrationen von Rohstoffen.

Die **Inlandsmaterialentnahme** („domestic extraction“, DE) umfasst all jene Materialien, die inländisch entnommen werden. Dazu gehören die landwirtschaftliche Ernte, der Holzeinschlag und die Bergbauproduktion.

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

Die **inländische Abgabe an die Natur** („domestic processed output“, DPO) umfasst alle Materialien, die nach Verwendung im sozio-ökonomischen System als gasförmige, flüssige oder stoffliche Outputs an die natürliche Umwelt abgegeben werden. Dies ist die Summe aus den inländischen Emissionen in die Luft und das Wasser, dissipativem Gebrauch von Produkten und dissipativem Verlusten, sowie unkontrolliert deponierten Abfällen unserer Gesellschaft.

Die physischen **Importe und Exporte** beinhalten alle gehandelten Güter mit der Masse, die sie bei Grenzübertritt 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 nach dem, woraus sie hauptsächlich bestehen. Für einzelne Produkte ist keine Zuordnung zu einer der vier Materialkategorien möglich, diese werden unter „andere Produkte“ oder „andere Erzeugnisse“ zusammengefasst. Dazu gehören z. B. Fabrikanlagen, Antiquitäten, optische Elemente.

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

Der **Material-Fußabdruck** („material footprint“, MF) gibt den Inlandsmaterialverbrauch in Rohmaterialäquivalenten wieder. Das heißt, er setzt sich zusammen aus der Inlandsentnahme 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).

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 (VGR) 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 definiert und die Grenzen zur natürlichen Umwelt und zu anderen Ökonomien werden entsprechend gesetzt. Von der natürlichen Umwelt gelangen inländisch entnommene Ressourcen (Inlandsentnahme) als Inputs in das System und Emissionen und Abfälle fließen als Outputs wieder hier hin zurück. Aus anderen Ökonomien gelangen Importe in das System bzw. fließen Exporte aus dem System in andere Ökonomien.

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 Eisen und Nicht-Eisenmetalle unterteilt.

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

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

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 Produktes 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.

Das Konzept der **planetaren Grenzen** (auch planetare Belastungsgrenzen; „planetary boundaries“; Rockström et al. 2009; Steffen et al. 2015) definiert biophysische Grenzen der Erde, deren Überschreiten zu schwerwiegenden Folgen für die Stabilität von Ökosystemen und der Lebensgrundlage der Menschen führt. Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler definieren neun dieser planetaren Grenzen, das sind: Klimawandel, Versauerung der Ozeane, stratosphärischer Ozonabbau, biogeochemische Kreisläufe von Stickstoff und Phosphor, Süßwasserverbrauch, Landnutzungsänderungen, Biodiversitätsverluste, chemische Verschmutzung und Einbringen neuartiger Substanzen und atmosphärische Aerosolbelastung.

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 nicht-metallische Mineralstoffe.

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, wieviel Ressourcenverbrauch wird durch das BIP verursacht. In diesem Bericht werden die Begriffe Ressourcenproduktivität und Ressourceneffizienz synonym verwendet.

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.

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).

Abkürzungen

BIP	Bruttoinlandsprodukt
CF	„carbon footprint“ CO ₂ -Fußabdruck
CRM	„critical raw materials“ (kritische Rohstoffe)
DE	„domestic extraction“ (Inlandsentnahme)
DMC	„domestic material consumption“ (inländischer Materialverbrauch)
DMI	„direct material input“ (direkter Materialinput)
DPO	„domestic processed output“ (inländische Abgabe an die Natur)
EU-28	die 28 Mitgliedsstaaten der Europäischen Union (bis 2019)
EE-MRIO	„environmentally-extended multi-region input-output models“
GVA	„gross value added“ Bruttowertschöpfung
HANPP	„human appropriation of net primary production“ (menschliche Aneignung von Nettoprimärproduktion)
HDI	„human development index“ (Index menschlicher Entwicklung)
HHI	Herfindahl-Hirschman-Index
LCA	„life cycle analysis“ (Lebenszyklusanalyse)
MF	„material footprint“ (Material-Fußabdruck)
MFA	„material flow accounting“ (Materialflussrechnung)
PTB	„physical trade balance“ (physische Handelsbilanz)
RMC	„raw material consumption“ (Rohmaterialverbrauch)
RME	„raw material equivalents“ (Rohmaterialäquivalente)
RP	„resource productivity“ (Ressourcenproduktivität)
VGR	Volkswirtschaftliche Gesamtrechnung

Einheiten

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

Länderabkürzungen

AT	Österreich	HU	Ungarn
BE	Belgien	IE	Irland
BG	Bulgarien	IT	Italien
CY	Zypern	LT	Lettland
CZ	Tschechische Republik	LU	Luxemburg
DE	Deutschland	LV	Litauen
DK	Dänemark	MT	Malta
EE	Estland	NL	Niederlande
ES	Spanien	PL	Polen
FI	Finnland	PT	Portugal
FR	Frankreich	RO	Rumänien
GB	Großbritannien	SE	Schweden
GR	Griechenland	SI	Slowenien
HR	Kroatien	SK	Slowakische Republik

Datentabellen

Tabelle 1:
Österreichische Materialflüsse 2000 und 2018 in Millionen Tonnen
pro Jahr, Wachstum zwischen 2000 und 2018 und Zusammensetzung
der Flüsse nach Materialkategorien

Werte sind gerundet, Rundungsdifferenzen wurden nicht ausgeglichen.

	Materialflüsse (Mt/a)		Wachstum (Faktor)	Anteil am Gesamtfluss	
	2000	2018	2000–2018	2000	2018
Inlandsentnahme (DE)	136	135	1,0		
Biomasse	32	35	1,1	23%	26%
Fossile Energieträger	4	2	0,4	3%	1%
Metalle	2	3	1,5	2%	2%
Nicht-metallische Mineralstoffe	98	95	1,0	72%	71%
Importe	67	99	1,5		
Biomasse	17	27	1,6	26%	27%
Fossile Energieträger	25	34	1,4	38%	35%
Metalle	14	21	1,6	20%	22%
Nicht-metallische Mineralstoffe	7	10	1,4	11%	10%
andere Produkte	3	6	1,8	5%	6%
Exporte	40	67	1,7		
Biomasse	16	24	1,5	39%	36%
Fossile Energieträger	6	12	2,1	14%	18%
Metalle	10	16	1,7	24%	24%
Nicht-metallische Mineralstoffe	7	10	1,4	17%	14%
andere Produkte	3	5	1,8	7%	7%
Inlandsmaterialverbrauch (DMC)	162	167	1,0		
Biomasse	34	38	1,1	21%	23%
Fossile Energieträger	23	24	1,0	14%	15%
Metalle	6	8	1,3	4%	5%
Nicht-metallische Mineralstoffe	98	95	1,0	61%	57%
Andere Produkte	1	1	1,7	0%	1%

Tabelle 2:
Österreichischer Inlandsmaterialverbrauch (DMC) in Tonnen pro Kopf
und Jahr nach Materialkategorien und Wachstum zwischen 2000
und 2018

Werte sind gerundet, Rundungsdifferenzen wurden nicht ausgeglichen.

	Materialflüsse (t/cap/a)		Wachstum (Faktor)	Anteil am Gesamtfluss	
	2000	2018	2000–2018	2000	2018
Inlandsmaterialverbrauch pro Kopf (DMC/cap/a)	20	19	0,9		
Biomasse	4	4	1,0	21%	23%
Fossile Energieträger	3	3	0,9	14%	15%
Metalle	1	1	1,2	4%	5%
Nicht-metallische Mineralstoffe	12	11	0,9	61%	57%
Andere Produkte	0	0	1,5	0%	1%

Tabelle 3:
Österreichische Ressourcenproduktivität in Euro pro Kilogramm
und ihre Komponenten Inlandsmaterialverbrauch (DMC) in Millionen
Tonnen pro Jahr und BIP in Milliarden Euro pro Jahr 2000 und 2018
und Wachstum der Flüsse zwischen 2000 und 2018

Werte sind gerundet, Rundungsdifferenzen wurden nicht ausgeglichen.

	2000	2018	Wachstum (Faktor)
Ressourcenproduktivität, RP (€/t)	1.731	2.211	1,3
Inlandsmaterialverbrauch, DMC (Mt/a)	162	167	1,0
Bruttoinlandsprodukt, BIP* (M€/a)	280.579	368.712	1,3

* BIP in verketteten Volumina (Basisjahr 2015)

Tabelle 4:
Österreichische Materialflüsse nach Materialkategorien in Millionen
Tonnen pro Jahr, 2000–2018

Werte sind gerundet, Rundungsdifferenzen wurden nicht ausgeglichen.

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
DE	136	132	145	135	142	144	144	148	142	131	130	137	130	129	132	128	134	132	135
Biomasse	32	33	34	33	37	38	37	37	41	36	36	38	35	35	38	35	38	35	35
Fossile Energietr.*	4	4	4	4	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Metalle	2	2	2	3	2	3	2	3	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3
N.-met. Mineralst.**	98	93	104	95	100	102	102	105	97	90	89	94	90	89	89	88	92	92	95
Importe	67	69	72	75	79	83	89	92	89	81	89	93	93	90	88	90	94	97	99
Biomasse	17	17	17	18	20	20	23	23	22	22	23	24	23	25	24	25	26	27	27
Fossile Energietr.*	25	27	29	31	31	33	33	33	33	31	33	34	34	31	30	31	33	34	34
Metalle	14	14	14	15	16	17	19	21	21	15	20	22	21	19	18	19	19	21	21
N.-met. Mineralst.**	7	7	7	7	8	8	9	10	9	8	8	9	8	9	10	10	9	10	10
Andere Produkte	3	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5	6	6	6	6	6	6	6	6
Exporte	40	43	46	48	52	54	57	63	63	54	59	60	59	59	60	61	63	65	67
Biomasse	16	16	17	18	19	20	21	22	22	20	21	22	21	21	21	22	23	23	24
Fossile Energietr.*	6	7	8	8	9	9	10	12	12	10	11	12	11	10	10	11	11	11	12
Metalle	10	10	10	11	12	12	13	14	15	11	13	14	14	14	15	14	15	16	16
N.-met. Mineralst.**	7	7	8	8	8	8	9	10	10	8	9	9	8	8	9	9	9	9	10
Andere Produkte	3	3	3	3	4	4	4	4	5	4	4	4	4	5	5	5	5	5	5
DMC	162	158	170	161	169	173	176	177	169	158	161	170	164	161	160	157	165	164	167
Biomasse	34	34	34	33	38	37	39	38	40	38	38	40	37	38	41	37	41	38	38
Fossile Energietr.*	23	24	25	27	25	26	26	24	23	23	24	24	26	23	22	23	24	24	24
Metalle	6	6	6	7	6	8	9	10	8	7	9	10	10	8	6	8	8	9	8
N.-met. Mineralst.**	98	93	103	95	99	102	102	105	97	89	88	94	90	90	90	89	92	92	95
Andere Produkte	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

* Fossile Energietr. = Fossile Energieträger

** N.-met. Mineralst. = Nicht-metallische Mineralstoffe

Tabelle 5:
Österreichischer Inlandsmaterialverbrauch (DMC) nach
Materialkategorien in Tonnen pro Kopf und Jahr, 2000–2018

Werte sind gerundet, Rundungsdifferenzen wurden nicht ausgeglichen.

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Inlandsmaterial- verbrauch pro Kopf (DMC/cap/a)	20	20	21	20	21	21	21	21	20	19	19	20	19	19	19	18	19	19	19
Biomasse	4	4	4	4	5	5	5	5	5	5	5	5	4	5	5	4	5	4	4
Fossile Energieträger	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Metalle	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
N.-met. Mineralst.*	12	12	13	12	12	12	12	13	12	11	11	11	11	11	11	10	11	11	11
Andere Produkte	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

* N.-met. Mineralst. = Nicht-metallische Mineralstoffe

Tabelle 6:
Österreichische Ressourcenproduktivität in Euro pro Kilogramm
und Jahr und ihre Komponenten Inlandsmaterialverbrauch (DMC)
in Millionen Tonnen pro Jahr und BIP in Milliarden Euro pro Jahr,
2000–2018

Werte sind gerundet, Rundungsdifferenzen wurden nicht ausgeglichen.

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Inlandsmaterial- verbrauch pro Kopf (DMC/cap/a)	20	20	21	20	21	21	21	21	20	19	19	20	19	19	19	18	19	19	19
Biomasse	4	4	4	4	5	5	5	5	5	5	5	5	4	5	5	4	5	4	4
Fossile Energieträger	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Metalle	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
N.-met. Mineralst.*	12	12	13	12	12	12	12	13	12	11	11	11	11	11	11	10	11	11	11
Andere Produkte	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

* N.-met. Mineralst. = Nicht-metallische Mineralstoffe

Tabelle 7:
**Österreichischer Material-Fußabdruck in Millionen Tonnen pro Jahr
 und Tonnen pro Kopf und Jahr, 2000–2015**

Werte sind gerundet, Rundungsdifferenzen wurden nicht ausgeglichen.

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Material-Fußabdruck (Mt/a)	202	196	204	192	201	228	229	230	212	207	209	223	214	209	210	207
Material-Fußabdruck (t/cap/a)	25	24	25	24	25	28	28	28	26	25	25	27	25	25	25	24

Tabelle 8:
Österreichische inländische Abgabe an die Natur (DPO) nach
Sub-Kategorien in Millionen Tonnen pro Jahr, 2000–2017

Werte sind gerundet, Rundungsdifferenzen wurden nicht ausgeglichen.

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
inländische Abgabe an die Natur (DPO) (Mt/a)	83	87	87	92	92	96	97	95	97	93	99	97	95	95	90	92	91	94
Luftemissionen	78	82	82	87	88	91	92	90	92	88	94	92	90	91	85	87	86	89
davon: CO ₂ -Emissionen	76	81	81	86	86	90	91	89	91	87	93	91	89	89	84	86	85	88
Emissionen in natürliche Gewässer*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
dissipativer Gebrauch von Produkten	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	4	5	4	4	4	5	5	5
dissipative Verluste*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
deponierte Abfälle	2	2	2	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3

* Werte von 0 bedeuten, dass die Daten hier kleiner als 1Mt sind, bei Emissionen in natürliche Gewässer zwischen 77.055 t (2000) und 32.163 t (2017), bei dissipative Verluste zwischen 2.987 t (2000) und 3.593 t (2017).

