

SYNERGIEN ZWISCHEN NACHHALTIGER RESSOURCENNUTZUNG UND KLIMASCHUTZ

*Pilotstudie zur Modellierung von Materialflüssen
im MIO-ES-Modell des Umweltbundesamtes*

Johanna Vogel
Kurt Kratena
Nina Eisenmenger

Projektleitung Johanna Vogel (Umweltbundesamt)

AutorInnen Johanna Vogel (Umweltbundesamt)
Kurt Kratena (Centre of Economic Senario Analysis and Research, CESAR)
Nina Eisenmenger (Institut für Soziale Ökologie, SEC, Universität für Bodenkultur Wien),

Datenverarbeitung Anton Scharner (Centre of Economic Senario Analysis and Research, CESAR)

Lektorat Patricia Erler (Umweltbundesamt)

Satz/Layout Thomas Lössl (Umweltbundesamt)

Umschlagfoto © Elfriede Kasperowski/Umweltbundesamt

Auftraggeber Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie

Dank an Brigitte Karigl, Ulrich Kral, Günther Lichtblau, Holger Heinfellner, Michael Miess, Carmen Schmid und Michaela Titz für fachliche Beiträge und Diskussionen

Publikationen Weitere Informationen zu Umweltbundesamt-Publikationen unter:
<https://www.umweltbundesamt.at/>

Impressum

Medieninhaber und Herausgeber: Umweltbundesamt GmbH
Spittelauer Lände 5, 1090 Wien/Österreich

© Umweltbundesamt GmbH, Wien, 2021
Alle Rechte vorbehalten

INHALTSVERZEICHNIS

1	HINTERGRUND UND ZIELE DES PROJEKTS	4
2	DAS MIO-ES-MODELL DES UMWELTBUNDESAMTES	6
3	VON MIO-ES ZU MIO-MEF: MODELLERWEITERUNG UND INTEGRATION VON MATERIALFLUSSDATEN	8
4	AUSGEWÄHLTE MASSNAHMEN IN DEN BEREICHEN WOHNBAU UND PKW-VERKEHR	12
5	ERGEBNISSE DER MODELLSIMULATIONEN	16
5.1	Ergebnisse im Bereich Wohngebäude	16
5.1.1	Hauptergebnisse illustrieren Rebound-Effekt	16
5.1.2	Ergebnisse ohne Rebound-Effekt	20
5.2	Hauptergebnisse im Bereich Pkw-Verkehr	23
6	SCHLUSSFOLGERUNGEN UND AUSBLICK	27
7	LITERATURVERZEICHNIS	29
8	ANHANG: DETAILERGEBNISSE NACH MATERIALKATEGORIEN	32
8.1	Wohngebäude: Hauptergebnisse	32
8.2	Wohngebäude: Ohne Rebound-Effekt	34
8.3	Pkw-Verkehr: Hauptergebnisse	36

1 HINTERGRUND UND ZIELE DES PROJEKTS

Ressourcenverbrauch steigt stark an

Der globale Ressourcenverbrauch durch den Menschen hat sich seit 1970 verdreifacht und wird bei Fortführung derzeitiger Lebens- und Wirtschaftsgewohnheiten weiter steigen. Bereits jetzt verursacht die Entnahme und Verarbeitung natürlicher Ressourcen 90 % des weltweiten Biodiversitätsverlusts und ca. 50 % der Treibhausgas-Emissionen (UNEP IRP, 2019). Der Ressourcenverbrauch Österreichs liegt deutlich über dem globalen und dem EU-Durchschnitt (BMK, 2020).

Eine Begrenzung des menschlichen Ressourcenverbrauchs ist also von großer Bedeutung für ein Leben und Wirtschaften im Einklang mit den planetaren Grenzen (Steffen et al., 2015). Sie ist daher Ziel verschiedener nationaler und internationaler Strategien wie beispielsweise des europäischen Grünen Deals (EK, 2019), des neuen EU-Aktionsplans für die Kreislaufwirtschaft (EK, 2020) sowie der in Entwicklung befindlichen österreichischen Kreislaufwirtschaftsstrategie.

Nachhaltige Ressourcennutzung: Synergien zum Klimaschutz

Maßnahmen zur Eindämmung des Ressourcenverbrauchs können in zweierlei Hinsicht Synergien zum Klimaschutz aufweisen. Einerseits führt ein reduzierter Einsatz fossiler Rohstoffe, beispielsweise in Raumwärme und Verkehr, zu einem geringeren Ausstoß energetischer CO₂-Emissionen. Andererseits können durch eine Reduktion des Verbrauchs von metallischen und nicht-metallischen Mineralstoffen, beispielsweise im Bau und in der Fahrzeugproduktion (u. a. Stahl, Zement, Aluminium, Gips, Kunststoffe) auch jene CO₂-Emissionen vermieden werden, die während der Verarbeitung dieser Rohstoffe entstehen (Prozessemissionen; BMK, 2020).

Ziele und Inhalt dieser Pilotstudie

Ziel der gegenständlichen Pilotstudie ist, diese Synergiewirkungen anhand des MIO-ES-Modells, das vom Umweltbundesamt zur Erstellung langfristiger Energie- und Treibhausgas-Szenarien für Österreich eingesetzt wird, zu überprüfen. Dazu wurde in einem ersten Schritt die Integration von Daten zu österreichischen Ressourcenflüssen aus der Materialflussrechnung (Statistik Austria, 2021a) in das MIO-ES-Modell getestet. Die Daten wurden vom Institut für Soziale Ökologie (SEC) der Universität für Bodenkultur Wien zur Verfügung gestellt. Das MIO-ES-Modell wurde mit diesen Materialflussdaten so erweitert, dass zusätzlich zu Klimaschutzmaßnahmen auch Maßnahmen zur Reduktion des Ressourcenverbrauchs sowohl auf den Energieverbrauch, und damit auf die CO₂-Emissionen, als auch auf den Ressourcenverbrauch wirken. Daraus entstand der neue Modell-Prototyp MIO-MEF. In einem zweiten Schritt wurden Maßnahmen zur Reduktion des Ressourcenverbrauchs in den Bereichen Wohngebäude und Pkw-Verkehr definiert und deren CO₂-Reduktionswirkungen im dritten Schritt in Modellsimulationen mit MIO-MEF analysiert. Aus den Ergebnissen wurden erste Schlussfolgerungen für die Umsetzung solcher Maßnahmen abgeleitet, um die Synergien zwischen beiden Bereichen bestmöglich zu nutzen.

***Maßnahmen für
nachhaltige
Ressourcennutzung
und Klimaschutz
gemeinsam umsetzen***

Zusammenfassend konnte in dieser Pilotstudie anhand der Modellsimulationen gezeigt werden, dass Maßnahmen zur Reduktion des Ressourcenverbrauchs auch zur Verringerung von CO₂-Emissionen beitragen, was die vermuteten Synergiewirkungen für Österreich bestätigt. Maßnahmen aus beiden Bereichen können sich also gegenseitig verstärken und sollten daher gemeinsam implementiert werden, um eine höhere Wirkung zu erzielen. Der in der makroökonomischen Modellierung deutlich erkennbare Rebound-Effekt kann durch das Setzen passender Begleitmaßnahmen abgemildert werden.

2 DAS MIO-ES-MODELL DES UMWELTBUNDESAMTES

Das MIO-ES-Modell¹ wird im Umweltbundesamt für die Erstellung langfristiger Szenarien zu den österreichischen Treibhausgas-Emissionen nach der EU-Verordnung über das Governance-System der Energieunion (VO (EU) 2018/1999) eingesetzt. Außerdem wird es für die Evaluierung kurz- und mittelfristiger Wirkungen von klima- und energiepolitischen Maßnahmen auf Volkswirtschaft, Energieverbrauch und CO₂-Emissionen herangezogen.

Makroökonomisches Input-Output-Modell mit integriertem Energiesystem für Österreich

MIO-ES ist ein makroökonomisches Input-Output (IO)-Modell mit 79 Wirtschaftszweigen nach der NACE-Klassifikation sowie Gütern nach der CPA-Klassifikation, 14 Kategorien des privaten Konsums nach der COICOP-Klassifikation² und zehn Haushaltsgruppen, die den Dezilen der Einkommensverteilung entsprechen (Kratena und Scharner, 2020).³ Das Energiesystem ist in physischen Einheiten für 26 Energieträger voll in das ökonomische Modell in monetären Einheiten integriert und stellt alle Transformationsvorgänge von der Primärenergie bis hin zum energetischen Endverbrauch dar. Die Energievariablen sind über Preise und Konvertierungsfaktoren mit den monetären Größen des Modells verbunden, sodass jede Veränderung im Energiesystem eine Entsprechung in ökonomischen Variablen hat und umgekehrt. Somit kann das Modell nicht nur ökonomische Feedback-Wirkungen, sondern auch Wechselwirkungen zwischen ökonomischem System und Energiesystem abbilden. Außerdem ermöglicht die Integration des Energiesystems eine Ankopplung emissionssektoraler Partialmodelle für die Sektoren Verkehr, Stromerzeugung, Raumwärme und Industrie anhand definierter Schnittstellen. Dadurch können mit dem MIO-ES-Modell die volkswirtschaftlichen Auswirkungen von klima- und energiepolitischen Maßnahmen in diesen Emissionssektoren ebenso abgeschätzt werden, wie ihre Auswirkungen auf Energieverbrauch und (energiebedingte) CO₂-Emissionen.

Datenbasis

Die aktuelle Modellversion basiert auf Daten aus der österreichischen volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung, insbesondere der Input-Output-Statistik, sowie aus der Konsumerhebung und den EU Statistics on Income and Living Conditions (EU-SILC). Auf der Energieseite fließen die Energiebilanzen sowie Daten aus

¹ MIO-ES steht für "Makroökonomisches Input-Output-Modell mit integriertem Energiesystem".

² NACE (Nomenclature statistique des activités économiques dans la Communauté européenne) ist die EU-Klassifikation der Wirtschaftsbranchen. CPA (Classification of products by activity) ist die EU-Klassifikation von Gütern und Dienstleistungen. COICOP (Classification of individual consumption by purpose) ist eine von der EU verwendete internationale Klassifikation der Konsumausgaben privater Haushalte, privater Organisationen ohne Erwerbszweck sowie des Staates nach Verwendungszweck.

³ Energierrelevante Wirtschaftszweige der NACE-Klassifikation sowie die korrespondierenden Güter der CPA-Klassifikation sind auf Dreisteller-Niveau disaggregiert, dafür sind manche Zweisteller zusammengefasst dargestellt. Der Privatkonsum ist speziell für das Modell in energierelevante und nicht-energierelevante Kategorien der COICOP-Klassifikation gegliedert. Die Energieträger sind nach der österreichischen Energiebilanz dargestellt. Für einen Überblick über diese Klassifikationen siehe Statistik Austria (2021b, c).

emissionssektor-spezifischen Modellen von TU Wien, TU Graz und Umweltbundesamt ein. Das Modell liefert jährliche Ergebnisse von 2014 bis 2050 und kann für Politiksimulationen und Szenarien über diesen Zeitraum genutzt werden.

Derzeit können mit dem Modell eine Reihe von Politikinstrumenten und Maßnahmen simuliert werden, so zum Beispiel CO₂-Preise in ETS- und Non-ETS-Sektoren, Infrastrukturinvestitionen und Änderungen bei kontraproduktiven Subventionen und Steuern in den verschiedenen Emissionssektoren.

Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden. gibt einen Überblick über alle Outcome-Größen des Modells. In der vorliegenden Pilotstudie werden als Ergebnisse die Wirkungen simulierter Maßnahmen auf Bruttoinlandsprodukt, Beschäftigung, energetischen Endverbrauch und CO₂-Emissionen gesamt ausgewiesen.

Tabelle 1:
Outcome-Kenngrößen
des MIO-ES-Modells

Volkswirtschaftliche Parameter	
€	Bruttoproduktionswert, Wertschöpfung, Bruttoinlandsprodukt, Bruttoanlageinvestitionen, Exporte und Importe (alle nach NACE-Wirtschaftsbranchen, 2-Steller)
Vollzeitäquivalente	Beschäftigung und Arbeitslosenrate (nach NACE-Wirtschaftsbranchen, 2-Steller)
€	Verfügbares Haushaltseinkommen und Privatkonsum nach Einkommensdezilen
Kategorien des öffentlichen Haushalts	
€	Einnahmen: Direkte und indirekte Steuern und Subventionen (z. B. Einkommens- und Sozialversicherungseinnahmen, Einnahmen aus Konsumsteuern)
€	Ausgaben: Monetäre Sozialleistungen, öffentliche Investitionen, öffentlicher Konsum, soziale Sachleistungen, Subventionen, Zinszahlungen
€	Öffentliches Defizit
Energierrelevante Parameter	
TJ	Bruttoenergieverbrauch und energetischer Endverbrauch nach Energieträgern, KSG-Sektoren und NACE-Branchen
Kt CO ₂	CO ₂ -Emissionen nach KSG-Sektoren und NACE-Wirtschaftsbranchen (2-Steller)

Quelle: Umweltbundesamt

3 VON MIO-ES ZU MIO-MEF: MODELLERWEITERUNG UND INTEGRATION VON MATERIALFLUSSDATEN

In dieser Pilotstudie wurden erste Schritte gesetzt, um die österreichischen Ressourcenflüsse aus der Materialflussrechnung (Statistik Austria, 2021a) mit dem MIO-ES-Modell zu verknüpfen und teilweise zu integrieren. In der Materialflussrechnung werden die Ströme vier großer Materialkategorien – Biomasse, metallische und nicht-metallische Mineralstoffe sowie fossile Energieträger – für die Produktion und den Konsum innerhalb der österreichischen Volkswirtschaft sowie für Exporte und Importe zwischen Österreich und anderen Volkswirtschaften dargestellt. Die Materialflussrechnung umfasst Materialentnahmen aus der Natur im Inland (Inlandsentnahme), Importe, Exporte, Bestandsveränderungen und Outputs an die Natur. Letztere sind primär Emissionen und Abfälle (BMK, 2020). Das Institut für Soziale Ökologie (SEC) der Universität für Bodenkultur Wien lieferte Daten zu Inlandsentnahme und Importen auf der detailliertesten Ebene der österreichischen Materialflussrechnung (Viersteller).

***Makroökonomisches
Input-Output-Modell
mit integrierten
Material- und
Energieflüssen***

Aus der Integration der österreichischen Materialflussdaten in das MIO-ES-Modell entstand ein neuer Modellprototyp, MIO-MEF,⁴ in dem Veränderungen der ökonomischen Nachfrage oder der Produktionsstruktur der österreichischen Volkswirtschaft auch eine Änderung im Materialverbrauch bewirken. Gegenüber MIO-ES liefert MIO-MEF als zusätzliche Outcome-Größen die Inlandsentnahme und die Importe von Materialien. Die Anbindung und Integration der Materialflussdaten erfolgte für das MIO-ES-Basisjahr 2014. Da Materialflussdaten bis 2019 zur Verfügung standen, war ein Vergleich dieser Daten mit einer ex post-Prognose mit MIO-MEF möglich. Die dabei berechneten Prognosefehler wurden für die Kalibrierung des Materialfluss-Moduls verwendet und für Szenarien in die Zukunft fortgeschrieben.

***Integration von
Materialflüssen***

Das Anknüpfen von Materialflüssen (MF) an ein Input-Output-System umfasst die Dimensionen der Güter und der Sektoren im Input-Output (IO)-Modell ("User"). Auf Güterebene müssen die Materialflüsse mit den monetären Flüssen (in Mio. €) und den Energieflüssen (in Tj) verbunden werden. Dafür wurde auf Basis von Detailinformationen aus der Materialflussrechnung – insbesondere zur Verteilung der importierten Materialflüsse auf Güter der CPA-Klassifikation, die vom Institut für Soziale Ökologie zur Verfügung gestellt wurden – eine Korrespondenz von Klassifikationen geschaffen, die diese Zuordnung erlaubt. So wurde beispielsweise der Materialfluss "Getreide" der CPA-Kategorie "landwirtschaftliche Produkte" zugeordnet. Dafür wurden Transformationsmatrizen (**T**) konstruiert, deren Zeilen- und Spaltensummen jeweils die Materialflüsse in MF-

⁴ "Makroökonomisches Input-Output-Modell mit integrierten Material- und Energieflüssen"

Kategoriengliederung und in CPA-Gliederung ergeben. Aus diesen wurden folgende Koeffizientenmatrizen berechnet, um flexibel in beide Richtungen konvertieren zu können:

- die Matrix $T_{MF, CPA}$ zur Verteilung von MF-Kategorien auf CPA-Kategorien
- die Matrix $T_{CPA, MF}$ zur (Rück-)Verteilung von CPA- auf MF-Kategorien.

Die direkte Anbindung und Integration von Materialflüssen in MIO-MEF erfolgte in CPA-Gliederung.

Die Anbindung von Materialflüssen in physischen Einheiten erfordert darüber hinaus die Berechnung von "unit values" (Mio. €/1.000 t und Mio. €/TJ), die sich durch Division der beiden Datensätze durcheinander im Basisjahr 2014 ergeben. Diese "unit values" verknüpfen die realen monetären Daten und die Energiedaten in MIO-ES mit den physischen Materialflüssen und sind daher keine echten Preise, sondern Konvertierungsfaktoren, die über den Simulationszeitraum konstant bleiben.

Die Materialflüsse in Gütergliederung (CPA) wurden weiters anhand der IO-Struktur den einzelnen Sektoren ("Usern") zugeordnet. Dafür wurde im integrierten MIO-MEF-Modell eine physische Inputmatrix von Materialflüssen berechnet, die ihre Entsprechung im jeweiligen Teil der (monetären) Verwendungs-(engl. "use")Matrix der IO-Tabelle hat. Eine Matrix von "unit values" verknüpft diese beiden Ebenen. Dadurch erfolgt eine vollständige Integration von Materialflüssen, sodass Änderungen der monetären Nachfrage (bspw. im privaten Konsum) oder der Inputstruktur (bspw. durch mehr Recycling) im IO-Modell automatisch einen „Materialfluss-Impact“ generieren.

Die "User" von Materialflüssen, die mit dieser Methode an die entsprechende Nachfragegröße nach Gütern angehängt werden, sind: privater Konsum der Haushalte, Bruttoanlageinvestitionen und Vorleistungsnachfrage der Unternehmen sowie Exporte der gesamten Volkswirtschaft. Die Vorleistungsnachfrage der Unternehmen wird im IO-Modell über Koeffizienten-Matrizen bestimmt, die die verschiedenen Produktionstechnologien der Unternehmen für Nicht-Energie-Güter abbilden. Zum Anhängen der Materialflüsse wurden die entsprechenden Matrizen in physischen Einheiten berechnet; die Verbindung ist die Matrix der "unit values". In MIO-MEF (und MIO-ES) sind diese Matrizen nicht – wie in einfachen IO-Modellen – exogen, sondern ändern sich je nach preis- oder technologiegetriebener Nachfrageänderung durch die Unternehmen. Der gesamte Einsatz an Vorleistungsgütern der Unternehmen ist flexibel und kann gegen den Einsatz von Kapital, Arbeit und Energie substituiert werden. Die Materialflüsse der Energieproduktion bzw. das Aufkommen von Kohle, Öl und Gas werden direkt an diese Energiegüter angehängt.

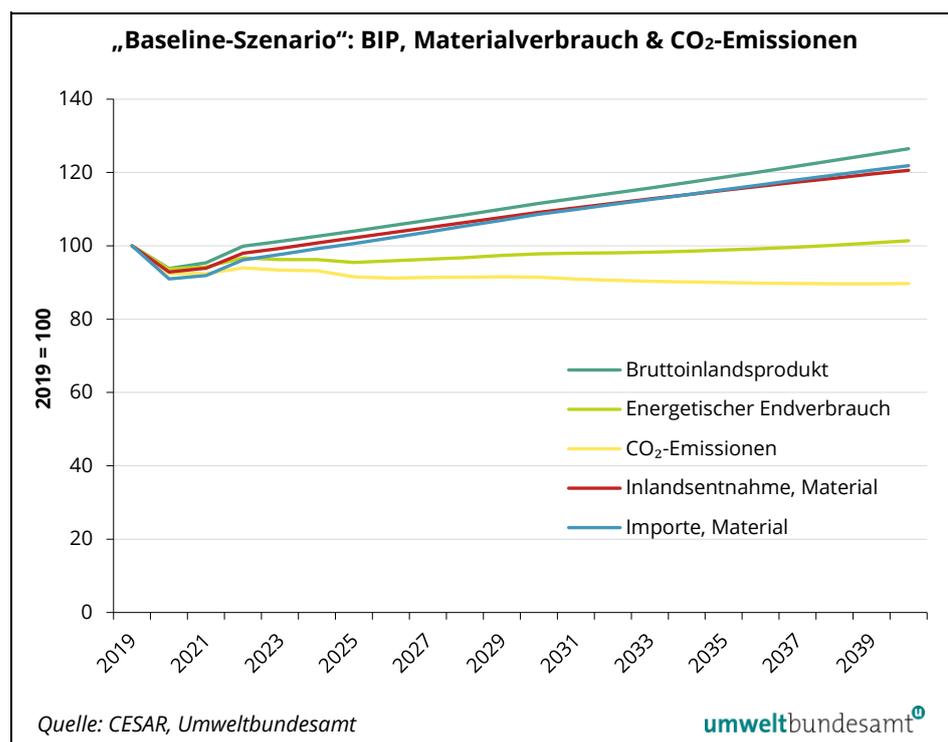
**"Baseline-Szenario" bis
2040 mit MIO-MEF**

Mit dem integrierten MIO-MEF-Modell wurde zunächst ein „Baseline-Szenario“⁵ bis 2019 berechnet und die so berechneten Werte für Materialflüsse mit den

⁵ Es handelt sich dabei um das "Baseline-Szenario" aus den derzeit laufenden Vorarbeiten zu Energie- und Treibhausgas-Szenarien für die Berichtspflichten 2023 (Projektnummer: 2764-504, Auftraggeber: BMK, Abteilung VI/1); Stand der Abstimmung mit dem BMK: Mai 2021.

tatsächlichen Daten verglichen. In weiterer Folge wurden die Prognosefehler als Residuen ins Modell integriert. Da diese Prognosefehler als relative Abweichungen zu sehen sind, wurden sie entsprechend fortgeschrieben und damit ein „Baseline-Szenario“ bis 2040 berechnet. **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** zeigt die Entwicklung wichtiger Kenngrößen in diesem Szenario: Dabei zeigt sich, dass sich der von MIO-MEF prognostizierte Materialverbrauch (Inlandsentnahme und Importe) über die Zeit weniger stark vom Bruttoinlandsprodukt (BIP) entkoppelt als der energetische Endverbrauch und die CO₂-Emissionen. Der tatsächliche Materialverbrauch hat sich in Österreich seit 2000 trotz BIP-Wachstums relativ stabil entwickelt (BMK, 2020). Die prognostizierte schwache Entkoppelung der Materialflüsse vom Bruttoinlandsprodukt bis 2040 in **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** sollte daher in einem Folgeprojekt, das eine detailliertere Modellierung von Materialflüssen vorsieht, genauer untersucht werden. Auf die in diesem Bericht präsentierten Simulationsergebnisse hat dieser Verlauf der Hauptkenngrößen im Baseline-Szenario jedoch keinen Einfluss, da er auch den Maßnahmen-Szenarien zugrunde liegt. Somit ist der Effekt der Maßnahmen, berechnet als *Differenz* zwischen Maßnahmen- und Baseline-Szenarien, davon nicht betroffen.

Abbildung 1:
"Baseline"-Szenario mit MIO-MEF für Österreich, bis 2040: Entwicklung Bruttoinlandsprodukt, Energieverbrauch, CO₂-Emissionen und inländische Materialentnahme sowie Materialimporte



Mit MIO-MEF simulierte Szenarien

Zusätzlich zum Baseline-Szenario werden zwei weitere Szenarien definiert und mit dem MIO-MEF-Modell simuliert:

- Das Maßnahmen-Szenario "Wohngebäude" und
- das Maßnahmen-Szenario "Pkw-Verkehr".

Die Differenz zwischen dem Baseline-Szenario und jedem der Maßnahmen-Szenarien hinsichtlich BIP und seiner Komponenten, Energieverbrauch, CO₂-

Emissionen und Materialverbrauch ergibt den Effekt der implementierten Maßnahmen in den beiden Bereichen. Im folgenden Abschnitt wird die Auswahl und Spezifikation der Maßnahmen genauer beschrieben.

4 AUSGEWÄHLTE MASSNAHMEN IN DEN BEREICHEN WOHNBAU UND PKW-VERKEHR

Hotspots in Österreich: Bau und Verkehr

Aufbauend auf Vorarbeiten des Instituts für Soziale Ökologie zu den Hotspots des österreichischen Ressourcenverbrauchs und der CO₂-Emissionen – u. a. im Projekt REDEC#2⁶ – wurde für diese Pilotstudie auf die Bereiche Wohngebäude und Pkw-Verkehr eingegangen, um potenzielle Synergien zwischen Maßnahmen für eine nachhaltigere Ressourcennutzung und Klimaschutz zu untersuchen. Laut Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK, 2020) entfällt in Österreich über die Hälfte des Materialverbrauchs auf Baurohstoffe (nicht-metallische Mineralstoffe). Global gesehen waren im Jahr 2015 jeweils 40 % der Treibhausgas-Emissionen aus der Materialverarbeitung auf das Bauwesen und die Sachgütererzeugung zurückzuführen, wovon die Errichtung von Wohngebäuden und die Herstellung von Fahrzeugen wiederum die Hauptprodukte darstellen (UNEP IRP, 2020). Im Jahr 2019 verursachten Verkehr und Gebäude die meisten Treibhausgas-Emissionen in Österreich außerhalb des EU-Emissionshandelssystems (Umweltbundesamt, 2021).

Definition und Auswahl der Maßnahmen

Die Auswahl der Maßnahmen in diesen Bereichen wurde in Abstimmung aller Projektpartner getroffen. Dazu wurden eine Literaturrecherche sowie Einschätzungen durch Expertinnen und Experten des Umweltbundesamtes herangezogen. Die konkrete Ausgestaltung der Maßnahmen wurde Studien entnommen, in denen Szenarien zur Reduktion von Materialverbrauch und CO₂-Emissionen in den Bereichen Gebäude und Personenverkehr u. a. für die EU-15 bis 2060 entwickelt und simuliert werden (Pauliuk und Heeren, 2020; Fishman et al., 2021). Drei Szenarien bilden dafür die Grundlage: Die Shared Socioeconomic Pathways (O'Neill et al., 2014) SSP1 ("Taking the Green Road") und SSP2 ("Middle of the Road") sowie das LED-Szenario ("Low Energy Demand"; Grübler et al., 2018), das ambitionierteste der drei. Für diese Szenarien definieren die beiden Studien detaillierte Parameterwerte für Maßnahmen in den Bereichen Wohngebäude und Pkw-Verkehr. In der vorliegenden Pilotstudie wurden die Maßnahmenspezifikationen für das LED-Szenario übernommen.

Nachfrage- und angebotsseitige Maßnahmen

Maßnahmen zur Reduktion des Materialverbrauchs können auf der Nachfrageseite und auf der Angebotsseite gesetzt werden. Die Nachfrageseite betrifft die EndverbraucherInnen sowie deren Intensität der Nutzung von Wohngebäuden und Pkw. So könnte ein Trend zu nachhaltigeren Lebensstilen in diesen Bereichen zu kleineren Wohnungen und weniger Pkw-Besitz führen, etwa durch mehr Co-Housing und Car-Sharing. Im Resultat sinken Wohnnutzfläche und Pkw-Bestand pro Kopf. Die Angebotsseite betrifft die Produzenten und deren Einsatz von Recycling, Wiederaufbereitung und -verwendung in ihren Produktionsprozessen sowie Trends zur Herstellung langlebigerer Produkte.

⁶ Dieses Projekt wurde im Auftrag des Bundesministeriums für Klimaschutz durchgeführt.

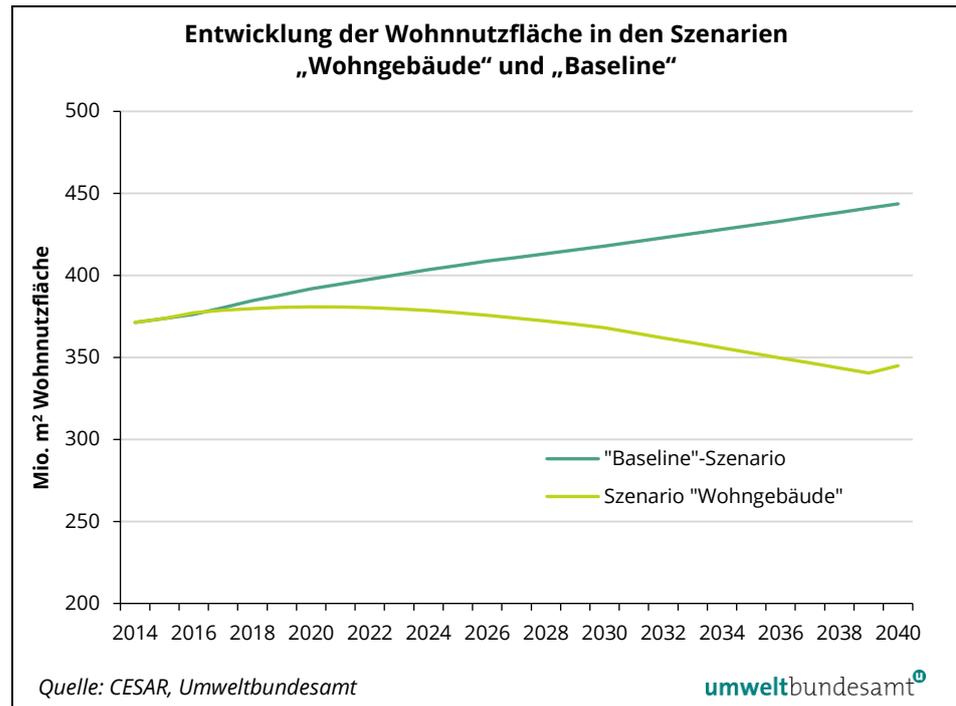
- Szenario** Im Bereich Wohngebäude wurden folgende Maßnahmen ausgewählt und als Szenario „Wohngebäude“ ins MIO-MEF-Modell implementiert:
- „Wohngebäude“:**
- Maßnahmen**
- Eine Reduktion der Wohnnutzfläche pro Kopf um 15 % bis 2040 gegenüber 2016, von 43 m² auf 36,6 m². Dieser Annahme ist eine Reduktion auf 30 m² pro Kopf bis 2060 im LED-Szenario hinterlegt. Die daraus resultierende Entwicklung der gesamten Wohnnutzfläche in Österreich im Szenario „Wohngebäude“ gegenüber dem Baseline-Szenario ist in Abbildung 2 dargestellt. Diese Maßnahme reduziert die neu zu bauende Wohnfläche und damit auch den Materialeinsatz dafür.
 - Eine Steigerung der Lebensdauer von Wohngebäuden bis 2040 um bis zu 90 %, gestaffelt nach Altersklassen,⁷ sodass die durchschnittliche Lebensdauer im Aggregat des österreichischen Gebäudebestandes von durchschnittlich 75 Jahren auf 93 Jahre ansteigt. Diese Lebensdauerverlängerung wird einerseits durch hochqualitativeren Neubau und andererseits durch Bestandssanierung erreicht. Daher wurde auch eine Steigerung der thermischen Sanierungsrate (Gebäudehülle), einer Eingangsgröße in MIO-MEF, um 30 % angenommen. Diese Maßnahme führt zu einer Reduktion des Neubaus, bedeutet allerdings auch mehr Materialeinsatz für die Sanierung. Insgesamt berechnete das Institut für Soziale Ökologie eine Reduktion des Materialeinsatzes im Bau um 20 %.
 - Eine Steigerung der Recyclingrate von anfallendem Abbruchmaterial für Gebäude auf 85 % ausgehend von einem Status Quo von 55 %⁸ (Circle Economy und ARA, 2019). Aufgrund dieser Maßnahme errechnete das Institut für Soziale Ökologie eine Steigerung der Recyclingflüsse (Produktion des Abfallsektors) und eine entsprechende Reduktion des primären Materialverbrauchs im Bausektor um 24 %. Dabei ist die sinkende Verfügbarkeit von Abbruchmaterial durch die oben angenommene Steigerung der Lebensdauer von Wohngebäuden miteingerechnet.

Überlegungen zur Biomasse und damit zusammenhängende weitere mögliche Maßnahmen im Bereich Wohngebäude – wie Bauen mit Holz statt Beton und Zement – konnten im Rahmen dieser Pilotstudie nicht berücksichtigt werden.

⁷ Dabei wird angenommen, dass die Lebensdauer des Gebäudebestands mit Baujahr zwischen 1910 und 1960 um 10 % ansteigt; für den Bestand mit Baujahr 1961–1980 um 30 %; 1981–1990 um 50 %; 1991–2000 um 70 % und 2001–2015 um 90 %.

⁸ Es wird darauf verwiesen, dass das in der EU-Abfallrahmenlinie vorgegebene Verwertungsziel von 70% für Bau- und Abbruchabfälle auch Vorbereitung zur Wiederverwendung und die „sonstige stoffliche Verwertung“ umfasst, nicht nur das Recycling. Dieses Ziel wird von Österreich erfüllt.

Abbildung 2:
Entwicklung der gesamten österreichischen Wohnnutzfläche bis 2040 unter den Annahmen der Szenarien „Wohngebäude“ und „Baseline“



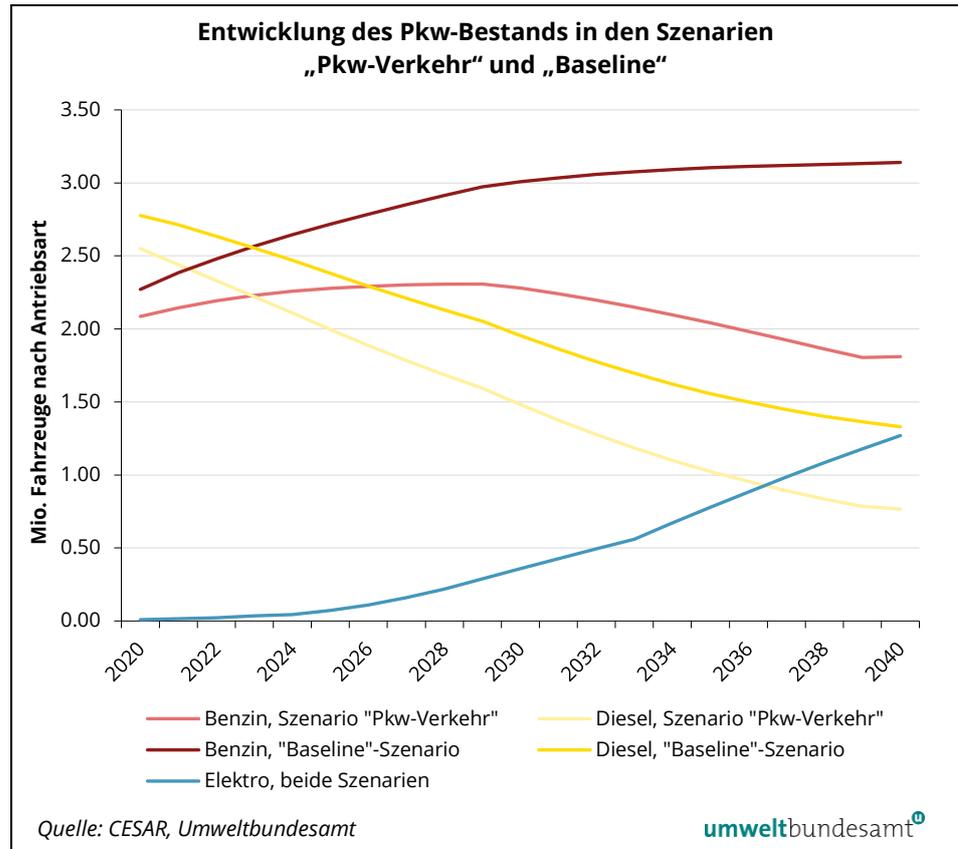
Szenario „Pkw-Verkehr“: Maßnahmen

Im Bereich Pkw-Verkehr wurden folgende Maßnahmen ausgewählt und als Szenario „Pkw-Verkehr“ ins MIO-MEF-Modell implementiert:

- Eine Reduktion des Pkw-Bestands pro Kopf um knapp 19 % bis 2040 gegenüber 2016, von 0,54 auf 0,44 Pkw pro Kopf. Dieser Annahme hinterlegt ist eine Reduktion auf 0,40 Pkw pro Kopf im Jahr 2050 im LED-Szenario. In der Umsetzung in MIO-MEF gilt diese Reduktion für Benzin- und Dieselfahrzeuge, während gleichzeitig angenommen wird, dass sich der Bestand elektrisch betriebener Pkw wie im Baseline-Szenario entwickelt (Abbildung 3). Ebenso hinterlegt ist ein Anstieg des Besetzungsgrades, d. h. der Relation von Pkw-Personen-Kilometern zu Pkw-Fahrzeug-Kilometern, um 50 % bis zum Jahr 2050 aufgrund von verstärkten Trends zu Car- und Ride-Sharing. Dadurch schwächt sich die Dynamik der Pkw-Personen-Kilometer im Vergleich zum Baseline etwas ab und der Modal Split verschiebt sich geringfügig zum öffentlichen Verkehr, sowie zum Rad- und Fußverkehr.
- Eine Steigerung der durchschnittlichen Lebensdauer von Pkw aller Antriebsarten um 20 % bis 2050 gegenüber 2016, d. h. im Schnitt von 13 auf 16,5 Jahre.
- Eine Steigerung der Recyclingrate von Metallen in der Herstellung von Pkw von 87,3 % (bezogen auf das Fahrzeuggewicht; BMK, 2021) auf 95 % bis 2040. Dadurch steigt der Input des Abfall- und Recyclingsektors in den Wirtschaftszweigen „Eisen/Stahl“ und „Sonstige Metalle“ proportional, während der Input von heimischen und importierten Erzen und im Sektor „Sonstige Metalle“ auch von importierten Metallen entsprechend sinkt.

Weitere wirksame Maßnahmen im Bereich Pkw-Verkehr sind die Reduktion von Größe und Gewicht von Pkw (Pauliuk und Heeren, 2020). Auf diese konnte im Rahmen dieser Pilotstudie nicht eingegangen werden.

Abbildung 3:
Entwicklung des österreichischen Pkw-Bestands bis 2040 unter den Annahmen der Szenarien „Pkw-Verkehr“ und „Baseline“



5 ERGEBNISSE DER MODELLSIMULATIONEN

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Simulation der beiden Maßnahmen-Szenarien „Wohngebäude“ und „Pkw-Verkehr“ mit dem MIO-MEF-Modell vorgestellt und interpretiert. Alle Ergebnisse sind als Differenz zwischen dem jeweiligen Maßnahmen-Szenario und dem Baseline-Szenario im angegebenen Jahr dargestellt und als Effekt des implementierten Maßnahmenbündels zu verstehen.

5.1 Ergebnisse im Bereich Wohngebäude

5.1.1 Hauptergebnisse illustrieren Rebound-Effekt

Haushaltsausgaben für Mieten sinken

Zwei der drei im Szenario „Wohngebäude“ implementierten Maßnahmen – die reduzierte Wohnnutzfläche pro Kopf und die verlängerte Lebensdauer von Wohngebäuden – bewirken in MIO-MEF, dass die Ausgaben der Haushalte für Mietzahlungen sinken.⁹ Wie aus Tabelle 2 ersichtlich ist, liegen die Konsumausgaben der Haushalte für Mieten im Jahr 2030 im Szenario "Wohngebäude" um knapp 12 % unter jenen im Baseline-Szenario, im Jahr 2040 um 22 %. Auch die Ausgaben für die Konsumkategorie „Wohnungsinstandhaltung“ sinken bis 2040 leicht gegenüber dem Baseline-Szenario. In den ersten Jahren steigen sie jedoch an (2030), da für die Verlängerung der Lebensdauer des Gebäudebestandes auch von einer höheren thermischen Sanierungsrate ausgegangen wurde (vgl. Kapitel 4).

Haushalte verlagern ihren Konsum

Die Reduktion der Haushaltsausgaben für Mietzahlungen bewirkt in MIO-MEF, dass die Haushalte bei gleichbleibendem Einkommen ihren Konsum auf andere Ausgaben verlagern. Diese sind hauptsächlich nicht-energierelevante Kategorien des Privatkonsums, die im unteren Teil von Tabelle 2 dargestellt sind. Insgesamt liegen die Haushaltsausgaben für nicht-energierelevanten Konsum im Jahr 2040 im Maßnahmen-Szenario „Wohngebäude“ um 6,4 % höher als im Baseline-Szenario. Das durch den deutlichen Rückgang in der Kategorie „Mieten“ freigewordene verfügbare Haushaltseinkommen fließt also stattdessen in dauerhafte Gebrauchsgüter wie Möbel und andere Einrichtungsgegenstände, Heimtextilien, Werkzeuge und Geräte für Haus und Garten; in (private) Gesundheitsgüter und -dienstleistungen; in Bekleidung; in Haushaltsgeräte wie Waschmaschinen, Kühlschränke oder Geschirrspüler und in sonstige Dienstleistungen wie Freizeit- und Kulturdienstleistungen, Reisen, Gastronomie und Hotellerie usw.

⁹ Bei der reduzierten Wohnnutzfläche pro Kopf fällt aufgrund der geringeren gemieteten Fläche weniger Gesamtmiete an. Im Fall der längeren Lebensdauer von Wohngebäuden sinkt die Abschreibungsrate von 1,33 % (bei einer durchschnittlichen Lebensdauer von 75 Jahren) auf 1,07 % (93 Jahre), wodurch der Barwert der Mietausgaben über die Lebensdauer sinkt.

Tabelle 2:
Maßnahmenwirkung im
Bereich Wohngebäude
auf die Kategorien der
Konsumausgaben der
Haushalte, Differenz (%)
zwischen Szenario
„Wohngebäude“ und Ba-
seline-Szenario, je Jahr

Privatkonsum der Haushalte	2030	2040
Energierrelevanter Konsum		
Mieten	- 11,9 %	- 22,2 %
Pkw-Kauf	0,0 %	- 0,1 %
Wohnungsinstandhaltung	12,8 %	- 0,4 %
Pkw-Instandhaltung	0,0 %	- 0,1 %
Flugverkehr	0,0 %	- 0,1 %
Öffentlicher Verkehr	0,0 %	0,0 %
Nicht energierelevanter Konsum		
Nahrungsmittel, Getränke, Tabak	1,3 %	2,9 %
Dauerhafte Gebrauchsgüter ohne Haushaltsgeräte	4,2 %	9,5 %
Bekleidung	3,9 %	8,9 %
Haushaltsgeräte	3,1 %	7,3 %
Sonstige Güter	2,8 %	6,5 %
Sonstiger Wohnungsaufwand (Wasser, Energie u. a.)	2,9 %	6,5 %
Gesundheit	3,9 %	9,0 %
Sonstige Dienstleistungen	3,0 %	6,8 %
Nicht energierelevanter Konsum, gesamt	2,8 %	6,4 %

Quelle: CESAR, Umweltbundesamt

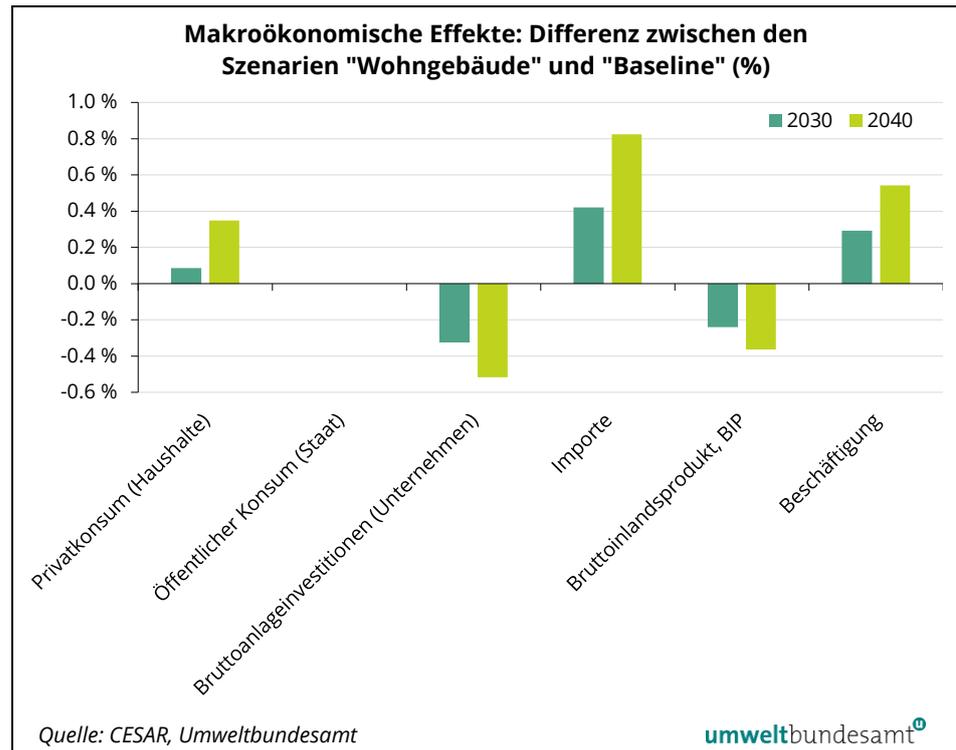
„Rebound-Effekt“

Diese Konsumverlagerung kann als „Einkommens-Rebound-Effekt“ im Konsum bezeichnet werden: Maßnahmen, die eigentlich den Ressourcenverbrauch insgesamt senken sollen, führen zu einer Verlagerung des Konsums vom „behandelten“ Bereich (hier: Wohnen) zu anderen Bereichen. Ein makroökonomisches Modell wie MIO-MEF, das gesamtsystemische Feedbackwirkungen inkludiert, ist gut geeignet, um diesen Effekt aufzuzeigen. Die Ergebnisse illustrieren allerdings auch, dass für einen insgesamt nachhaltigeren Umgang mit Ressourcen auch Verhaltensänderungen vonseiten der Konsumenten und Konsumentinnen im Sinn einer echten Lebensstiländerung (weniger Ressourcenverbrauch) notwendig sind.

Gesamter Privatkonsum und Beschäftigung steigen leicht, Unternehmens- investitionen und BIP sinken leicht

Abbildung 4 zeigt die Veränderungen im Bruttoinlandsprodukt und seinen Komponenten sowie der Beschäftigung im Maßnahmen-Szenario gegenüber dem Baseline-Szenario. Die leichte Reduktion des BIP – um – 0,2 % 2030 bzw. – 0,4 % 2040 – ist auf den Rückgang der Unternehmensinvestitionen zurückzuführen, welcher durch eine geringere Nachfrage nach den Dienstleistungen der Wirtschaftsbranchen Bauwesen und Vermietung verursacht wird. Die privaten Konsumausgaben der Haushalte steigen aufgrund des Rebound-Effekts insgesamt geringfügig an, was auch die Importe erhöht. Dass die Beschäftigung trotz sinkenden BIPs leicht ansteigt, liegt an der vergleichsweise höheren Beschäftigungsintensität jener Wirtschaftsbranchen, zu denen sich der Privatkonsum verlagert (hin zu Gastronomie, Freizeit- und Kulturdienstleistungen, weg von ressourcenintensiveren Branchen wie der Verarbeitung von nicht-metallischen Mineralstoffen).

Abbildung 4:
Maßnahmenwirkung im Bereich Wohngebäude auf die Komponenten des Bruttoinlandsprodukts und die Beschäftigung, Differenz (%) zwischen Szenario „Wohngebäude“ und Baseline-Szenario, je Jahr



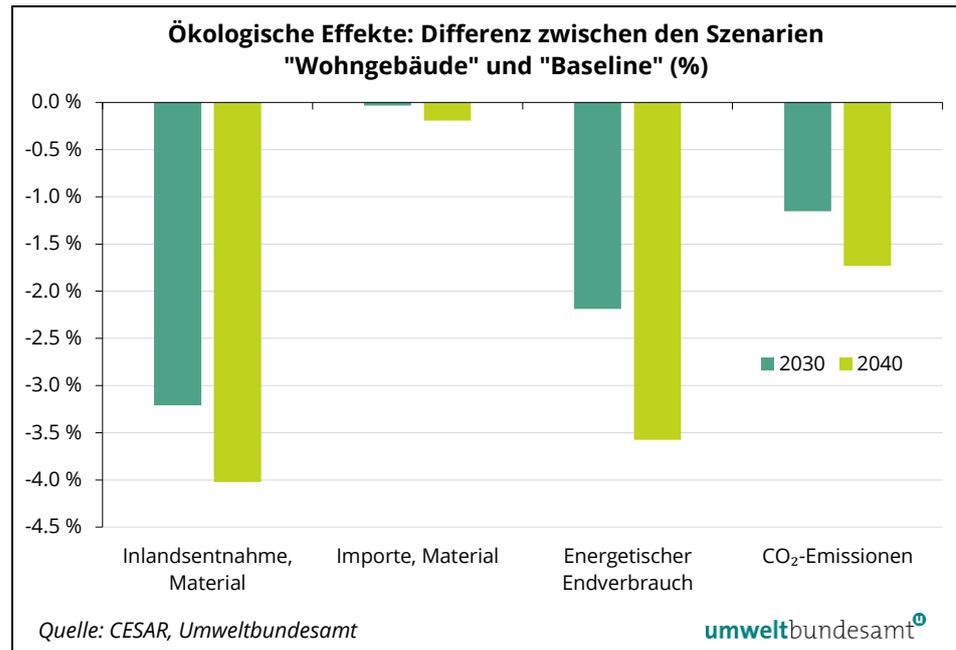
Inländische Materialentnahme von Baurohstoffen sinkt besonders stark, leichter Anstieg bei Biomasse

In Abbildung 5 sind die ökologischen Effekte des Maßnahmenbündels im Bereich Wohngebäude dargestellt. Der Materialverbrauch sinkt durch die geringere Nachfrage nach Baurohstoffen hauptsächlich im Inland: Die Inlandsentnahme ist im Jahr 2040 im Maßnahmen-Szenario um 4 % niedriger als im Baseline-Szenario, während die Importe nur geringfügig zurückgehen. Tabellen Tabelle 8 und Tabelle 9 im Anhang schlüsseln diese Ergebnisse nach den wichtigsten Materialkategorien auf. Die Inlandsentnahme der Kategorie nicht-metallische Mineralstoffe, von denen viele als Baurohstoffe dienen, liegt im Jahr 2040 im Maßnahmen-Szenario um ca. 7,2 Mio. Tonnen oder 6,3 % unter dem Baseline-Szenario. Auch die Inlandsentnahme von Nichteisen-Metallen (Roherze) sowie der fossilen Energieträger Erdöl und Erdgas sinkt – letztere aufgrund eines geringeren Heizwärmebedarfs auf verkleinerter Wohnnutzfläche in hochqualitativeren Gebäuden. Im Gegensatz dazu steigt die Entnahme von Biomasse-Kategorien. Dies spiegelt den Einkommens-Rebound-Effekt wider, der einen etwas höheren Konsum von Nahrungsmitteln bewirkt (vgl. Tabelle 2). Im Import gehen vor allem Erdgas und Erdöl sowie nicht-metallische Mineralstoffe wie Kies und Sand zurück. Insgesamt ist die Inlandsentnahme im Jahr 2040 im Maßnahmen-Szenario um 6,5 Mio. Tonnen geringer als im Baseline, die Importe um 228.000 Tonnen.

Gesamte CO₂-Emissionen sinken um 1,7 % gegenüber Baseline-Szenario

Aus Abbildung 5 ist ebenfalls ersichtlich, dass der energetische Endverbrauch im Jahr 2040 um knapp 3,6 % unter dem Baseline-Szenario liegt, die (energiebedingten) CO₂-Emissionen um 1,7 %. Die Emissionen gehen also um etwa die Hälfte weniger zurück als der energetische Endverbrauch, was am Einsatz CO₂-freier Energieträger in der Raumwärme liegt, der ebenfalls sinkt (bspw. Umgebungs- und Fernwärme, vgl. Tabelle 3). Der Energieverbrauch der Haushalte allein geht um ca. 12 % zurück, ihre CO₂-Emissionen um 3,6 %.

Abbildung 5: Maßnahmenwirkung im Bereich Wohngebäude auf Material- und Energieverbrauch sowie CO₂-Emissionen, Differenz (%) zwischen Szenario „Wohngebäude“ und Baseline-Szenario, je Jahr



Schlüsselt man den energetischen Endverbrauch weiter auf einzelne Energieträger auf (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**), so zeigt sich auch hier der Einkommens-Rebound-Effekt im Konsum, der die Nachfrage steigert und dadurch zu einem geringfügigen Anstieg des Einsatzes von Koks in der Industrie und von Petroleum im Flugverkehr sowie von Diesel führt.

Tabelle 3: Maßnahmenwirkung im Bereich Wohngebäude auf den energetischen Endverbrauch nach Energieträgern, Differenz (%) zwischen Szenario „Wohngebäude“ und Baseline-Szenario, je Jahr

Energetischer Endverbrauch	2030	2040
Braunkohle	- 4,7 %	- 5,0 %
Braunkohlenbriketts	- 0,5 %	- 1,0 %
Koks	0,1 %	0,1 %
Benzin	0,0 %	0,0 %
Petroleum	0,3 %	0,6 %
Dieselmotorkraftstoff	0,0 %	0,1 %
Gasöl für Heizzwecke	- 11,4 %	- 19,0 %
Naturgas	- 3,0 %	- 4,5 %
Brennholz	- 10,9 %	- 19,2 %
Brennbare Abfälle	- 1,7 %	- 1,8 %
Biogene	- 2,0 %	- 3,3 %
Umgebungswärme	- 8,2 %	- 17,0 %
Fernwärme	- 5,7 %	- 9,7 %
Elektrische Energie	- 0,1 %	- 0,2 %
Insgesamt	- 2,2 %	- 3,6 %

Quelle: CESAR, Umweltbundesamt

Zusammenfassend zeigen die Ergebnisse, dass ressourcenmindernde Maßnahmen im Bereich Wohngebäude trotz des Rebound-Effekts zu einer Reduktion der CO₂-Emissionen führen. Die Modellsimulationen mit MIO-MEF bestätigen in diesem Bereich also die eingangs postulierten Synergien zwischen nachhaltiger Ressourcennutzung und Klimaschutz.

5.1.2 Ergebnisse ohne Rebound-Effekt

Um die Größenordnung und die Auswirkungen des Rebound-Effekts genauer zu untersuchen, werden in diesem Abschnitt die Simulationsergebnisse im Bereich Wohngebäude ohne Rebound-Effekt dargestellt. Im Vergleich mit Tabelle 2 steigen auch ohne Rebound-Effekt die Haushaltsausgaben für die meisten Kategorien des nicht energierelevanten Konsums leicht an, im Aggregat um 1,5 % im Jahr 2040 im Maßnahmen-Szenario gegenüber dem Baseline. Der deutliche Rückgang der Ausgaben für Mietzahlungen führt also nach wie vor zu leichten Konsumverlagerungen. Die Ausgaben für Flugverkehr sinken jedoch deutlich, jene für Nahrungsmittel geringfügig.

*Tabelle 4:
Maßnahmenwirkung im
Bereich Wohngebäude
auf die Kategorien der
Konsumausgaben der
Haushalte, ohne
Rebound-Effekt, Diffe-
renz (%) zwischen Szena-
rio „Wohngebäude“ und
Baseline-Szenario,
je Jahr*

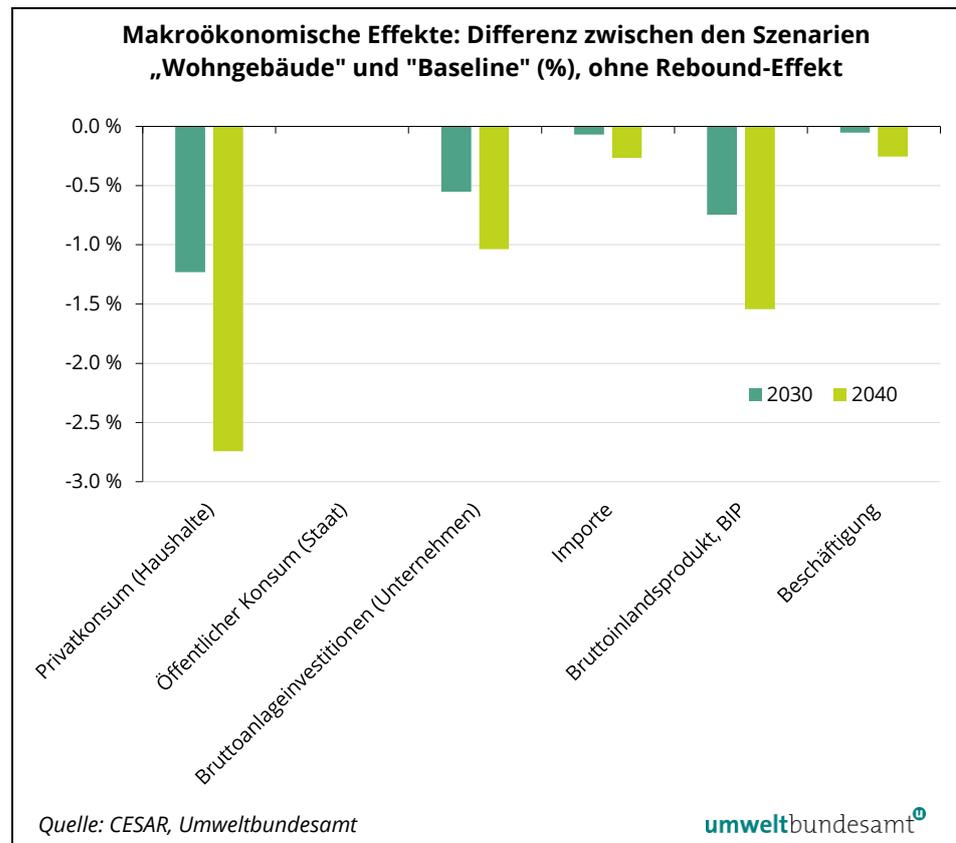
Privatkonsum der Haushalte	2030	2040
Energierrelevanter Konsum		
Mieten	- 11,9 %	- 22,2 %
Pkw-Kauf	0,1 %	0,2 %
Wohnungsinstandhaltung	12,8 %	- 0,4 %
Pkw-Instandhaltung	0,1 %	0,2 %
Flugverkehr	- 1,9 %	- 4,0 %
Öffentlicher Verkehr	0,0 %	0,0 %
Nicht energierelevanter Konsum		
Nahrungsmittel, Getränke, Tabak	- 0,1 %	- 0,3 %
Dauerhafte Gebrauchsgüter ohne Haushaltsgeräte	0,8 %	2,0 %
Bekleidung	0,9 %	2,2 %
Haushaltsgeräte	0,4 %	1,0 %
Sonstige Güter	0,7 %	1,6 %
Sonstiger Wohnungsaufwand (Wasser, Energie u. a.)	0,7 %	1,7 %
Gesundheit	0,8 %	2,0 %
Sonstige Dienstleistungen	0,7 %	1,6 %
Nicht energierelevanter Konsum, gesamt	0,6 %	1,5 %

Quelle: CESAR, Umweltbundesamt

**Gesamter
Privatkonsum,
Unternehmens-
investitionen und BIP
sinken, Beschäftigung
sinkt nur geringfügig**

Insgesamt liegt der Privatkonsum der Haushalte im Jahr 2040 im Maßnahmen-Szenario um 2,7 % unter dem Baseline-Szenario (Abbildung 6), während er inklusive Rebound-Effekt noch um 0,3 % darüber lag (Abbildung 4). Auch das Bruttoinlandsprodukt geht im Vergleich zum Maßnahmen-Szenario mit Rebound-Effekt deutlicher zurück, um 1,5 % statt um 0,4 %. Die Unternehmensinvestitionen sinken um 1 %, Importe und Beschäftigung um jeweils 0,3 % im Jahr 2040. Der Beschäftigungsrückgang ist also auch unter Ausschluss des Rebound-Effekts schwächer als der BIP-Rückgang, da die höhere Beschäftigungsintensität der nicht-energierelevanten Konsumkategorien den Rückgang in ressourcenintensiveren Kategorien beinahe ausgleicht.

Abbildung 6:
Maßnahmenwirkung im
Bereich Wohngebäude
auf die Komponenten
des Bruttoinlandspro-
dukts und die Beschäfti-
gung, ohne Rebound-Ef-
fekt, Differenz (%) zwi-
schen Szenario „Wohn-
gebäude“ und Baseline-
Szenario, je Jahr

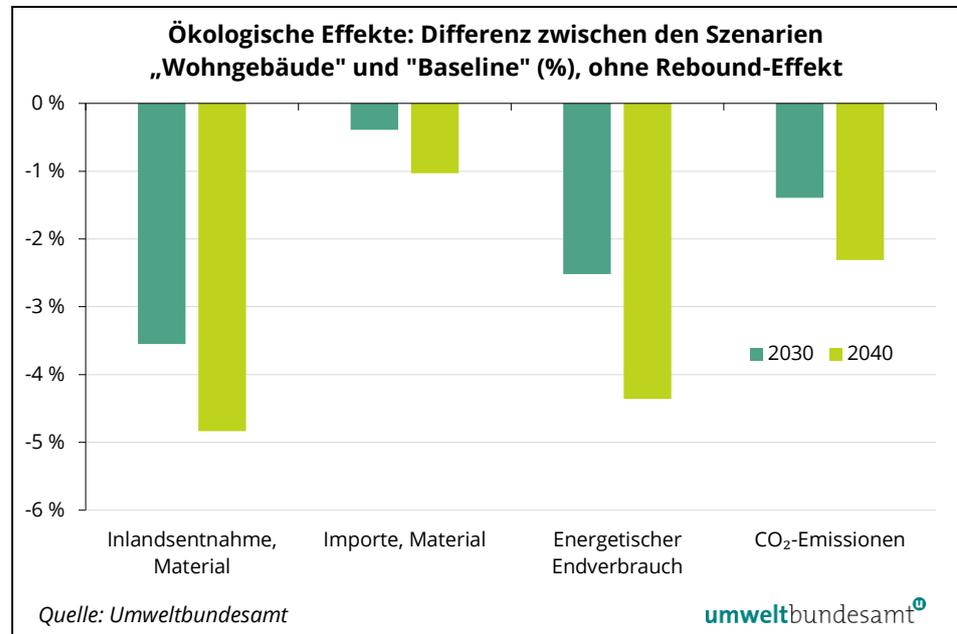


**Inländische
Materialentnahme und
Materialimporte aller
Kategorien gehen
zurück**

Die ökologischen Effekte sind ohne Rebound-Effekt ebenfalls stärker ausgeprägt (vgl. Abbildung 7 mit Abbildung 5). Die inländische Materialentnahme liegt im Jahr 2040 im Maßnahmen-Szenario um 4,8 % statt um 4 % unter dem Baseline-Szenario, die Materialimporte um 1 % statt um 0,2 %. Wie aus Tabellen Tabelle 10 und Tabelle 11 im Anhang ersichtlich ist, sinken sowohl Inlandsentnahme als auch Importe aller Materialkategorien, erstere um insgesamt rund 7,8 Mio. Tonnen im Jahr 2040 gegenüber dem Baseline-Szenario, letztere um ca. 1,2 Mio. Tonnen. Wie im Maßnahmen-Szenario mit Rebound-Effekt geht die Kategorie der nicht-metallischen Mineralstoffe (Baurohstoffe) am stärksten zurück. Im Gegensatz zu diesem Szenario kommt es ohne Rebound-Effekt jedoch nicht zu einem Anstieg der Biomasse-Kategorien, weder in der in-

ländischen Entnahme noch den Importen, sondern zu einem Rückgang (vgl. Tabellen Tabelle 8 und Tabelle 9 im Anhang). Dies ist mit dem Rückgang der Konsumausgaben für Nahrungsmittel im Maßnahmen-Szenario ohne Rebound-Effekt gegenüber dem Baseline konsistent (siehe Tabelle 4).

Abbildung 7:
Maßnahmenwirkung im Bereich Wohngebäude auf Material- und Energieverbrauch sowie CO₂-Emissionen, ohne Rebound-Effekt, Differenz (%) zwischen Szenario „Wohngebäude“ und Baseline-Szenario, je Jahr



CO₂-Emissionen sinken um 2,3 % gegenüber Baseline-Szenario

Der energetische Endverbrauch liegt im Maßnahmen-Szenario ohne Rebound im Jahr 2040 um 4,4 % statt um 3,6 % unter dem Baseline-Szenario, die (energiebedingten) CO₂-Emissionen um 2,3 % statt um 1,7 % (vgl. Abbildungen Abbildung 7 und Abbildung 5 sowie Tabellen Tabelle 5 und Tabelle 3).

Tabelle 5:
Maßnahmenwirkung im Bereich Wohngebäude auf den energetischen Endverbrauch nach Energieträgern, ohne Rebound-Effekt, Differenz (%) zwischen Szenario „Wohngebäude“ und Baseline-Szenario, je Jahr

Energetischer Endverbrauch	2030	2040
Braunkohle	- 5,5 %	- 6,9 %
Braunkohlenbriketts	- 0,8 %	- 1,9 %
Koks	- 0,2 %	- 0,6 %
Benzin	0,0 %	- 0,1 %
Petroleum	- 0,3 %	- 0,6 %
Dieselmotorkraftstoff	- 0,2 %	- 0,6 %
Gasöl für Heizzwecke	- 11,6 %	- 19,7 %
Naturgas	- 3,4 %	- 5,4 %
Brennholz	- 11,0 %	- 19,4 %
Brennbare Abfälle	- 2,2 %	- 2,7 %
Biogene	- 2,4 %	- 4,2 %
Umgebungswärme	- 8,4 %	- 17,4 %
Fernwärme	- 6,2 %	- 10,8 %
Elektrische Energie	- 0,5 %	- 1,1 %
Insgesamt	- 2,5 %	- 4,4 %

Quelle: CESAR, Umweltbundesamt

Ergebnisse bestätigen Synergien zwischen Maßnahmen für nachhaltigeren Ressourcenverbrauch und Klimaschutz

Zusammenfassend liefern die Simulationsergebnisse ohne Rebound-Effekt weitere Evidenz für Synergien zwischen Maßnahmen zur Reduktion des Ressourcenverbrauchs und dem Klimaschutz in Österreich. Um die stärkeren Emissionsreduktionen zu realisieren, die mit dem Maßnahmen-Szenario ohne Rebound-Effekt einhergehen, können begleitende Maßnahmen dabei unterstützen, den Rebound-Effekt abzumildern. So könnten bewusstseinsbildende Maßnahmen die Vorteile eines reduzierten Ressourcenverbrauchs kommunizieren, wie mehr finanzieller Spielraum für Investitionen in die eigene Lebensqualität durch geringere Konsumausgaben (stattdessen mehr Freizeit und Reduktion der Arbeitslast, bessere Produktqualität, intakte Umwelt).

5.2 Hauptergebnisse im Bereich Pkw-Verkehr

Ähnlich wie im Szenario „Wohngebäude“ führen im Szenario „Pkw-Verkehr“ zwei der drei implementierten Maßnahmen – die Reduktion des Pkw-Bestands pro Kopf und die Steigerung der Lebensdauer von Pkw – in MIO-MEF zu sinkenden Konsumausgaben der Haushalte für Kauf und Instandhaltung von Pkw. Wie Tabelle 6 zeigt, liegen im Maßnahmen-Szenario „Pkw-Verkehr“ im Jahr 2040 die Konsumausgaben für den Pkw-Kauf um knapp 38 % unter jenen im Baseline-Szenario, jene für die Pkw-Instandhaltung um rund 33 %.

„Rebound-Effekt“ mit Verlagerung der Konsumausgaben

Bei insgesamt gleichbleibendem verfügbarem Einkommen verlagern auch hier die Haushalte ihre durch geringere Ausgaben für Pkw freigewordenen Konsumausgaben auf nicht-energierelevante Konsumkategorien wie dauerhafte Gebrauchsgüter, Bekleidung, private Gesundheitsgüter und -dienstleistungen sowie Haushaltsgeräte und sonstige Dienstleistungen. Im Aggregat liegen die Haushaltsausgaben für nicht-energierelevanten Konsum im Maßnahmen-Szenario „Pkw-Verkehr“ im Jahr 2040 um 7,1 % höher als im Baseline-Szenario. Aber auch der öffentliche Verkehr profitiert leicht. Es wirkt also im Bereich Pkw-Verkehr ebenfalls ein Einkommens-Rebound-Effekt, der die Reduktion von Material- und Energieverbrauch sowie CO₂-Emissionen abschwächt.

Privatkonsum, Investitionen, BIP und Beschäftigung steigen leicht an

Makroökonomisch ist in Abbildung 8 ein geringfügiger Anstieg des Privatkonsums im Maßnahmen-Szenario gegenüber dem Baseline ersichtlich, der auf den Rebound-Effekt zurückzuführen ist. Die Importe gehen aufgrund der Dämpfung der Pkw-Nachfrage zurück, die Unternehmensinvestitionen steigen geringfügig an. Hier steigert einerseits die höhere Recyclingrate die Nachfrage nach den (vorwiegend heimischen) Dienstleistungen des Abfall- und Recyclingsektors, während sich andererseits die geringere Nachfrage nach Pkw aufgrund des hohen Importanteils in der Kfz-Herstellung nicht stark genug auf die heimischen Unternehmensinvestitionen durchschlägt, um diese insgesamt zu senken. BIP und Beschäftigung liegen im Jahr 2040 im Maßnahmen-Szenario jeweils um 0,5 % über dem Baseline-Szenario, wobei die Konsumverlagerung auf beschäftigungsintensive Dienstleistungsbranchen wieder positiv auf die Beschäftigung

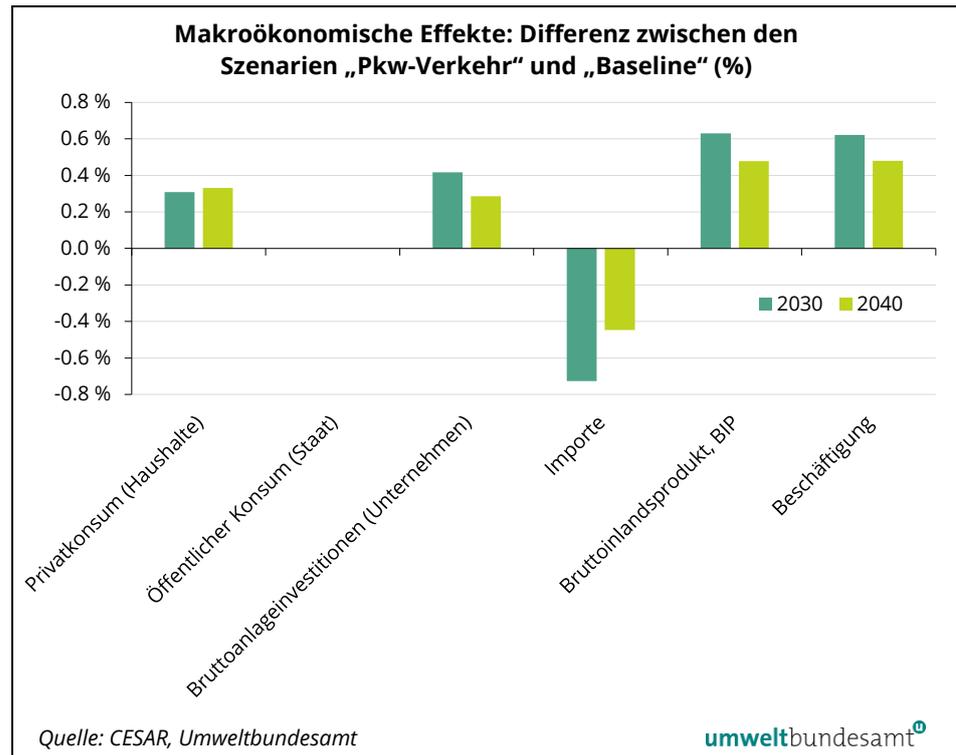
wirkt. Der Unterschied zur volkswirtschaftlichen Maßnahmenwirkung im Bereich Wohngebäude in Abschnitt 5.1.1, die in Bezug auf Investitionen und BIP leicht negativ ist, lässt sich mit der stärkeren heimischen Verankerung der Bauindustrie im Vergleich zur importabhängigeren Kfz-Branche erklären.

*Tabelle 6:
Maßnahmenwirkung im
Bereich Pkw-Verkehr auf
die Kategorien der Kon-
sumausgaben der Haus-
halte, Differenz (%) zwi-
schen Szenario „Pkw-
Verkehr“ und Baseline-
Szenario, je Jahr*

Privatkonsum der Haushalte	2030	2040
Energierrelevanter Konsum		
Mieten	0,0 %	0,0 %
Pkw-Kauf	- 45,4 %	- 38,1 %
Wohnungsinstandhaltung	0,0 %	0,0 %
Pkw-Instandhaltung	- 20,8 %	- 32,7 %
Flugverkehr	- 0,2 %	- 0,1 %
Öffentlicher Verkehr	5,2 %	1,4 %
Nicht energierelevanter Konsum		
Nahrungsmittel, Getränke, Tabak	4,0 %	3,5 %
Dauerhafte Gebrauchsgüter ohne Haushaltsgeräte	12,0 %	10,8 %
Bekleidung	11,1 %	10,1 %
Haushaltsgeräte	9,3 %	8,4 %
Sonstige Güter	7,7 %	7,1 %
Sonstiger Wohnungsaufwand (Wasser, Energie u.a.)	7,4 %	6,9 %
Gesundheit	11,0 %	10,0 %
Sonstige Dienstleistungen	8,4 %	7,6 %
Nicht energierelevanter Konsum, gesamt	7,7 %	7,1 %

Quelle: CESAR, Umweltbundesamt

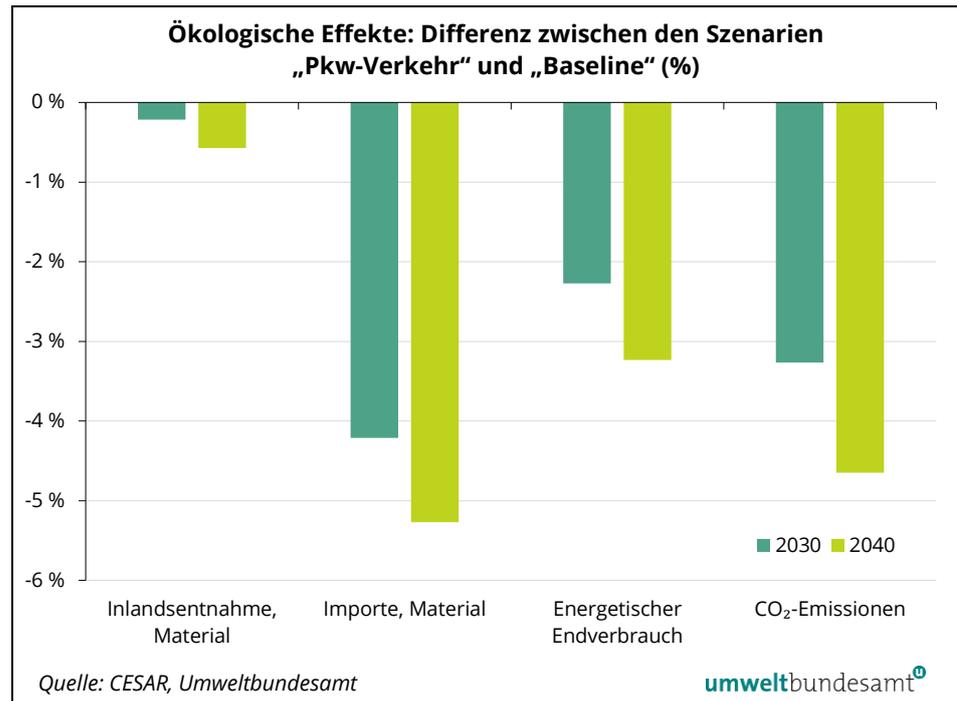
*Abbildung 8:
Maßnahmenwirkung im
Bereich Pkw-Verkehr auf
die Komponenten des
Bruttoinlandsprodukts
und die Beschäftigung,
Differenz (%) zwischen
Szenario „Pkw-Verkehr“
und Baseline-Szenario,
je Jahr*



Materialimporte von Eisenerz sinken besonders stark, leichter Anstieg bei Biomasse

Die ökologischen Effekte in Abbildung 9 sowie Tabellen Tabelle 12 und Tabelle 13 im Anhang zeigen, dass die Materialimporte deutlich stärker zurückgehen als die inländische Entnahme, was die Bedeutung des Imports im Pkw-Bereich unterstreicht. Insgesamt sind die Materialimporte im Maßnahmen-Szenario „Pkw-Verkehr“ im Jahr 2040 um 6,3 Mio. Tonnen oder 5,3 % niedriger als im Baseline-Szenario, die Inlandsentnahme um 920.000 Tonnen oder 0,6 %. Im Import gehen insbesondere Eisenerz, Metallprodukte und Erdöl zurück, bei der Inlandsentnahme Eisenerz, Erdöl und Erdgas. Der Verbrauch von Biomasse-Kategorien steigt sowohl beim Import als auch der Inlandsentnahme leicht an, was dem Rebound-Effekt im Konsum geschuldet ist (vgl. Tabelle 6).

Abbildung 9: Maßnahmenwirkung im Bereich Pkw-Verkehr auf Material- und Energieverbrauch sowie CO₂-Emissionen, Differenz (%) zwischen Szenario „Pkw-Verkehr“ und Baseline-Szenario, je Jahr



CO₂-Emissionen sinken um 4,6 % gegenüber Baseline-Szenario

Der energetische Endverbrauch liegt im Jahr 2040 im Maßnahmen-Szenario „Pkw-Verkehr“ um 3,2 % niedriger als im Baseline-Szenario, die CO₂-Emissionen um 4,6 %. Im Gegensatz zum Bereich Wohngebäude gehen die CO₂-Emissionen stärker zurück als der Energieverbrauch, das ausgewählte Maßnahmenbündel im Bereich Pkw bewirkt also eine stärkere Dekarbonisierung. Die in Kapitel 4 angenommene deutliche Steigerung von Car- und Ride-Sharing und die damit einhergehende Reduktion des Pkw-Bestands pro Kopf führen zu einem deutlichen Rückgang im Verbrauch von Benzin und Diesel (Tabelle 7). Außerdem steigt der Verbrauch CO₂-freier Energieträger geringfügig an (zum Beispiel in den durch den Rebound-Effekt angeregten Dienstleistungsbranchen).

Tabelle 7:
Maßnahmenwirkung im Bereich Pkw-Verkehr auf den energetischen Endverbrauch nach Energieträgern, Differenz (%) zwischen Szenario „Pkw-Verkehr“ und Baseline-Szenario, je Jahr

Energetischer Endverbrauch	2030	2040
Braunkohle	1,7 %	1,3 %
Braunkohlenbriketts	0,8 %	0,7 %
Koks	0,6 %	0,5 %
Benzin	- 20,0 %	- 33,3 %
Petroleum	1,1 %	0,9 %
Dieselmotorkraftstoff	- 7,0 %	- 9,0 %
Gasöl für Heizzwecke	0,4 %	0,4 %
Naturgas	0,7 %	0,6 %
Brennholz	0,2 %	0,2 %
Brennbare Abfälle	0,8 %	0,6 %
Biogene	1,0 %	0,6 %
Umgebungswärme	0,4 %	0,3 %
Fernwärme	0,9 %	0,8 %

Elektrische Energie	0,8 %	0,6 %
Insgesamt	- 2,3 %	- 3,2 %

Quelle: CESAR, Umweltbundesamt

Zusammenfassend weisen die Simulationsergebnisse mit MIO-MEF auch im Bereich Pkw-Verkehr trotz Rebound-Effekts eine Reduktion der CO₂-Emissionen aus. Die ausgewählten Maßnahmen zur nachhaltigeren Ressourcennutzung zeigen also auch in diesem Bereich Synergien zum Klimaschutz.

6 SCHLUSSFOLGERUNGEN UND AUSBLICK

Untersuchung von Synergien zwischen ressourcen- und klimapolitischen Maßnahmen

In dieser Pilotstudie wurde die Integration von Daten aus der österreichischen Materialflussrechnung ins MIO-ES-Modell des Umweltbundesamtes erfolgreich getestet. Der dabei entwickelte neue Modellprototyp MIO-MEF erlaubt die Überprüfung möglicher Synergien zwischen Maßnahmen zur Reduktion des Ressourcenverbrauchs und dem Klimaschutz für Österreich. Zu diesem Zweck wurden ausgewählte Maßnahmen zur nachhaltigeren Ressourcennutzung aus den Bereichen Wohngebäude und Pkw-Verkehr mit MIO-MEF simuliert und unter anderem auf ihre CO₂-Wirkung hin analysiert.

Maßnahmen für nachhaltige Ressourcennutzung und Klimaschutz verstärken sich gegenseitig

Die Ergebnisse der Modellsimulationen bestätigen Synergien zwischen den ausgewählten Maßnahmen zur Begrenzung des Ressourcenverbrauchs und dem Klimaschutz. Das heißt, dass diese Maßnahmen neben einer Reduktion des Materialverbrauchs zusätzlich auch eine CO₂-Reduktion bewirken, wodurch der Effekt von gleichzeitig gesetzten Klimaschutzmaßnahmen verstärkt wird. Maßnahmen zur Begrenzung des Ressourcenverbrauchs und Klimaschutzmaßnahmen sollten daher nach Möglichkeit gemeinsam gedacht und implementiert werden, da sie in Kombination noch stärker wirken können.

Wohngebäude: Bestandsaufbau begrenzen

Für den ersten in dieser Pilotstudie untersuchten Bereich, die Wohngebäude, bedeutet das, dass Klimaschutzmaßnahmen wie die Umstellung von Heizsystemen auf erneuerbare Energieträger und die thermische Sanierung der Gebäudehülle für eine noch bessere CO₂-Wirkung ergänzt werden könnten um Maßnahmen für verstärktes Recycling von Abbruchmaterialien, zur Reduktion der Wohnnutzfläche pro Kopf und zur Verlängerung der Lebensdauer von Gebäuden. Besonders die letzten beiden Punkte leisten einen wichtigen Beitrag zu einer absoluten Reduktion des Ressourcenverbrauchs im Gebäudebereich, und zwar über die Reduktion von Beständen, die in Österreich nach wie vor im Aufbau begriffen sind. Abbruchmaterial stellt im Gegensatz dazu nur einen kleinen Teil des gesamten Stoffstroms dar (Circle Economy und ARA, 2019), sodass verstärktes Recycling nur ein Teil der Lösung ist.

Pkw-Verkehr: Car- und Ride-Sharing anregen, um Pkw-Bestand pro Kopf zu reduzieren

Für den zweiten untersuchten Bereich, den Pkw-Verkehr, können Klimaschutzmaßnahmen wie die Elektrifizierung der Flotte und das Anregen eines Modal Shifts hin zu öffentlichem Verkehr, Rad- und Fußverkehr ergänzt werden um Maßnahmen für verstärktes Recycling der in der Fahrzeugherstellung verwendeten Metalle, zur Reduktion des Pkw-Bestands pro Kopf durch vermehrtes Car- und Ride-Sharing sowie zur Verlängerung der Lebensdauer von Pkw. Das in diesem Bereich ausgewählte Maßnahmenbündel, ausgehend von einer deutlichen Reduktion des Pkw-Bestands pro Kopf, leistet laut Modellsimulation auch einen etwas stärkeren Beitrag zur Reduktion der CO₂-Emissionen als jenes im Bereich Wohngebäude. Zwei weitere wirksame Maßnahmen, die Reduktion von Größe und Gewicht von Pkw, zum Beispiel durch die Nutzung leichterer Materialien, konnten im Rahmen dieser Pilotstudie nicht untersucht werden. Sie können der Literatur zufolge ebenfalls eine sinnvolle Ergänzung zu Klimaschutzmaßnahmen darstellen (Pauliuk und Heeren, 2020).

**MIO-MEF zeigt
Rebound-Effekt auf**

Sowohl im Bereich Wohngebäude als auch im Pkw-Verkehr zeigen die Modellsimulationen einen Rebound-Effekt auf, der über die Einkommen der Haushalte und ihre Konsumausgaben wirkt. Dieser Effekt führt zu einer Verlagerung des Privatkonsums und damit des Ressourcenverbrauchs und der CO₂-Emissionen weg von jenem Bereich, auf den ressourcen- und emissionsmindernde Maßnahmen angewendet werden, hin zu anderen, „unbehandelten“ Bereichen. Daraus lässt sich erstens schließen, dass der makroökonomische Modellprototyp MIO-MEF die gesamtsystemischen Feedback-Wirkungen solcher Maßnahmen gut abbilden kann und ein nützliches Tool darstellt, anhand dessen die Integration von Materialflüssen in die Arbeiten am Umweltbundesamt sowohl zu langfristigen Klima- und Energie-Szenarien als auch zur kurz- und mittelfristigen Maßnahmenevaluierung bspw. in der Kreislaufwirtschaft vorangetrieben werden kann. Zweitens untermauern sowohl die Synergiewirkungen als auch der Rebound-Effekt die Notwendigkeit umfassender Maßnahmenpakete in der Klima- und Ressourcenpolitik, damit Konsumenten und Konsumentinnen die Wahl zwischen verschiedenen klima- und ressourcenfreundlichen Alternativen haben. Ökonomische Instrumente wie eine Ressourcenbesteuerung können Teil eines solchen Pakets sein.

**Rebound-Effekt weist
auf Trade-Offs hin:
Sozial verträgliche
Ausgestaltung ist
zentral**

Drittens weist der Rebound-Effekt auf die Trade-Offs hin, die sich auf tun, wenn Maßnahmen zur Reduktion des Ressourcenverbrauchs gesetzt werden sollen. Eine sozial verträgliche Ausgestaltung muss bei einer Reduktion der Wohnnutzfläche oder bei einer Ressourcenbesteuerung von Anfang an mitgedacht werden. Empirische Studien belegen das Potenzial zur Reduktion von CO₂-Emissionen und Ressourcenverbrauch besonders bei den oberen Einkommensdezielen. Aus dem Klimaschutzbereich gibt es auch bereits Erfahrungswerte aus anderen Ländern, auf die für eine sozial verträgliche Ausgestaltung solcher Maßnahmen aufgebaut werden kann. So könnte eine Ressourcenbesteuerung analog zur CO₂-Besteuerung inklusive möglichst treffsicherer sozialer Ausgleichsmaßnahmen umgesetzt werden.

**Bewusstseinsbildung
für die Vorteile einer
Reduktion von Konsum
und Ressourcen-
verbrauch**

Begleitend gesetzte bewusstseinsbildende Maßnahmen können die Akzeptanz ökonomischer Maßnahmen unterstützen. Dabei sollte nicht nur auf die Umweltwirkungen übermäßigen materiellen Konsums fokussiert werden, sondern auch auf den finanziellen Spielraum für mehr Lebensqualität, der sich durch eine Konsumreduktion ergibt: Durch eine Wohnraumreduktion eingesparte Mietzahlungen müssen nicht in andere Konsumbereiche fließen, sondern können in mehr Freizeit und eine Reduktion der eigenen Arbeitslast oder in hochqualitative, langlebigere Produkte und Dienstleistungen investiert werden, wie zum Beispiel in einen nachhaltigen Urlaub oder in ein Smart Home auf Niedrigstenergiestandard. Weiter gedacht ist dann nicht mehr der Wert aller in einer Volkswirtschaft konsumierten und produzierten Güter und Dienstleistungen – also das Bruttoinlandsprodukt – das relevante Maß für den Wohlstand einer Gesellschaft, sondern Lebensqualität, sozialer Ausgleich und eine intakte Umwelt.

7 LITERATURVERZEICHNIS

- BMK – Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie. *Ressourcennutzung in Österreich 2020. Band 3*. Wien: BMK, 2020. Verfügbar unter: https://www.bmk.gv.at/dam/jcr:37bda35d-bf65-4230-bd51-64370feb5096/RENU20_LF_DE_web.pdf.
- BMK – Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie. *Die Bestandsaufnahme der Abfallwirtschaft in Österreich – Statusbericht 2021*. Wien: BMK, 2021. Verfügbar unter: https://www.bmk.gv.at/dam/jcr:04ca87f4-fd7f-4f16-81ec-57fca79354a0/BAWP_Statusbericht_2020.pdf.
- CIRCLE ECONOMY und ARA – Altstoff Recycling Austria. *The circularity gap report Austria. Closing the circularity gap in Austria*. 1. Juni 2019 [Zugriff am: 13. Juli 2021]. Verfügbar unter: <https://circulareconomy.europa.eu/platform/en/knowledge/austria-circularity-gap-report>.
- EK – Europäische Kommission. Der europäische Grüne Deal. Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Europäischen Rat, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen. Brüssel: Europäische Kommission, 2019, COM(2019) 640 final.
- EK – Europäische Kommission. Ein neuer Aktionsplan für die Kreislaufwirtschaft. Für ein sauberes und wettbewerbsfähiges Europa. Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen. Brüssel: Europäische Kommission, 2020, COM(2020) 98 final.
- FISHMAN, T., N. HEEREN, S. PAULIUK, P. BERRILL, Q. TU, P. WOLFRAM und E. G. HERTWICH. A comprehensive set of global scenarios of housing, mobility, and material efficiency for material cycles and energy systems modeling. *Journal of Industrial Ecology*, 2021, **25**(1), 305-320. Verfügbar unter: doi.org/10.1111/jiec.13122.
- GRÜBLER, A., C. WILSON, N. BENTO, B. BOZA-KISS, V. KREY, D. L. MCCOLLUM, N. D. RAO, K. RIAHI, J. ROGELJ, S. DE STERCKE, J. CULLEN, S. FRANK, O. FRICKO, F. GUO, M. GIDDEN, P. HAVLÍK, D. HUPPMANN, G. KIESEWETTER, P. RAFAJ, W. SCHOEPP und H. VALIN. A low energy demand scenario for meeting the 1.5°C target and sustainable development goals without negative emission technologies. *Nature Energy*, 2018, **3**(6), 515-527, Verfügbar unter: doi.org/10.1038/s41560-018-0172-6.
- KRATENA, K. und A. SCHARNER. MIO-ES: A Macroeconomic Input-Output Model with Integrated Energy System. Wien: Centre of Economic Scenario Analysis and Research (CESAR), 2020. Verfügbar unter: https://www.cesarecon.at/wp-content/uploads/2020/10/MIOES_Manual_Public_FINAL.pdf.

- O'NEILL, B. C., E. KRIEGLER, K. RIAHI, K. L. EBI, S. HALLEGATTE, T. R. CARTER, R. MATHUR und D. P. VAN VUUREN. A new scenario framework for climate change research: The concept of shared socioeconomic pathways. *Climatic Change*, 2014, **122**(3), 387-400. Verfügbar unter: doi.org/10.1007/s10584-013-0905-2.
- PAULIUK, S. und N. HEEREN. Material efficiency and its contribution to climate change mitigation in Germany. *Journal of Industrial Ecology*, 2020, **25**(1), 479-493. Verfügbar unter: doi.org/10.1111/jiec.13091.
- STATISTIK AUSTRIA. *Materialflussrechnung* [online]. 29.12.2020 [Zugriff am: 7. Juli 2021]. Verfügbar unter: https://www.statistik.at/web_de/statistiken/energie_umwelt_innovation_mobiltaet/energie_und_umwelt/umwelt/materialflussrechnung/index.html.
- STATISTIK AUSTRIA. *Klassifikationsdatenbank* [online]. 9.11.2020 [Zugriff am: 7. Juli 2021]. Verfügbar unter: http://www.statistik.at/web_de/klassifikationen/klassifikationsdatenbank/index.html.
- STATISTIK AUSTRIA. *Energiebilanzen* [online]. 28.5.2021 [Zugriff am: 7. Juli 2021]. Verfügbar unter: http://www.statistik.at/web_de/statistiken/energie_umwelt_innovation_mobiltaet/energie_und_umwelt/energie/energiebilanzen/index.html.
- STEFFEN, W., K. RICHARDSON, J. ROCKSTRÖM, S. E. CORNELL, I. FETZER, E. M. BENNETT, R. BIGGS, S. R. CARPENTER, W. DE VRIES, C. A. DE WIT, C. FOLKE, D. GERTEN, J. HEINKE, G. M. MACE, L. M. PERSSON, V. RAMANATHAN, B. REYERS und S. SÖRLIN. Planetary boundaries - Guiding human development on a changing planet. *Science*, 2015, **347**(6223), 1259855-1259855, Verfügbar unter: doi.org/10.1126/science.1259855.
- UMWELTBUNDESAMT. Klimaschutzbericht 2021. Wien: Umweltbundesamt, Publikation August 2021.
- UNEP IRP – United Nations Environment Programme International Resource Panel. *Global Resources Outlook 2019. Fact Sheet*. Paris: United Nations Environment Programme, 2019. Verfügbar unter: <https://www.resourcepanel.org/reports/global-resources-outlook>.
- UNEP IRP – United Nations Environment Programme International Resource Panel. *Resource Efficiency and climate change. Material efficiency strategies for a low-carbon future*. Paris: United Nations Environment Programme, 2020. ISBN: 978-92-807-3771-4. Verfügbar unter: <https://www.resourcepanel.org/reports/resource-efficiency-and-climate-change>.

Rechtsvorschriften

VO (EU) 2018/1999: Verordnung (EU) 2018/1999 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 11. Dezember 2018 über das Governance-System für die Energieunion und für den Klimaschutz, zur Änderung der Verordnungen (EG) Nr. 663/2009 und (EG) Nr. 715/2009 des Europäischen Parlaments und des Rates, der Richtlinien 94/22/EG, 98/70/EG, 2009/31/EG, 2009/73/EG, 2010/31/EU, 2012/27/EU und 2013/30/EU des Europäischen Parlaments und des Rates, der Richtlinien 2009/119/EG und (EU) 2015/652 des Rates und zur Aufhebung der Verordnung (EU) Nr. 525/2013 des Europäischen Parlaments und des Rates. Amtsblatt der Europäischen Union, L 328/1.

8 ANHANG: DETAILERGEBNISSE NACH MATERIALKATEGORIEN

8.1 Wohngebäude: Hauptergebnisse

*Tabelle 8:
Maßnahmenwirkung im
Bereich Wohngebäude
auf die inländische Ma-
terialentnahme, Diffe-
renz (%) zwischen Szena-
rio „Wohngebäude“ und
Baseline-Szenario,
je Jahr*

Materialkategorie	2030	2040	2040 (1000 t)
Getreide	0,8 %	2,1 %	108
Wurzeln, Knollen	0,7 %	1,7 %	14
Zuckerpflanzen	1,1 %	1,9 %	81
Hülsenfrüchte	1,3 %	6,3 %	1
Nüsse	0,8 %	2,3 %	0,1
Ölhaltige Früchte	0,7 %	1,6 %	8
Gemüse	0,9 %	2,7 %	13
Obst	0,8 %	2,3 %	15
Fasern	0,2 %	0,4 %	0,1
Nichteisen-Metalle (Roherze)	- 4,6 %	- 6,3 %	- 39
Nicht-metallische Mineralstoffe	- 4,9 %	- 6,3 %	- 7.217
Erdöl und Flüssigerdgas	- 0,7 %	- 1,0 %	- 6
Erdgas	- 0,6 %	- 1,0 %	- 6
Gesamte Inlandsentnahme	- 3,2 %	- 4,0 %	- 6.453

Quelle: CESAR, Umweltbundesamt

Tabelle 9:
Maßnahmenwirkung im
Bereich Wohngebäude
auf die Materialimporte,
Differenz (%) zwischen
Szenario „Wohnge-
bäude“ und Baseline-
Szenario, je Jahr

Materialkategorie	2030	2040	2040 (1000 t)
Getreide (roh und verarbeitet)	0,9 %	1,8 %	65
Wurzeln, Knollen (roh und verarbeitet)	0,9 %	1,8 %	4
Zuckerpflanzen (roh und verarbeitet)	1,1 %	2,2 %	5
Hülsenfrüchte (roh und verarbeitet)	0,8 %	1,7 %	0,2
Nüsse (roh und verarbeitet)	0,9 %	2,0 %	1
Ölhaltige Früchte (roh und verarbeitet)	0,8 %	1,7 %	12
Gemüse (roh und verarbeitet)	0,9 %	1,9 %	12
Kupfer	0,2 %	0,1 %	1
Bauxit und sonstiges Aluminium	0,1 %	0,1 %	1
Uran und Thorium	0,3 %	0,6 %	0,03
Sonstige Nichteisen-Metalle	- 0,3 %	- 0,6 %	- 2
Produkte überwiegend aus Metall	0,2 %	0,4 %	23
Naturwerksteine und Natursteine	- 1,6 %	- 1,9 %	- 11
Kreide und Dolomit	- 1,3 %	- 2,2 %	- 1
Tonschiefer	- 0,9 %	- 1,6 %	- 0,1
Chemische und Düngemittelminerale	- 0,2 %	- 0,3 %	- 3
Salz	- 1,3 %	- 2,1 %	- 5
Sonstige Bergbauprodukte, sonstige Steine und Erden	- 1,2 %	- 1,8 %	- 24
Kalk- und Gipsstein	- 8,8 %	- 100,0 %	- 1
Kies und Sand	- 2,1 %	- 4,1 %	- 156
Ton und Kaolin	- 1,8 %	- 2,8 %	- 31
Produkte überwiegend aus nicht-metallischen Mineralstoffen	- 1,4 %	- 1,6 %	- 68
Braunkohle + agglomeriert	- 0,3 %	- 0,5 %	0
Steinkohle + Briketts	- 0,3 %	- 0,4 %	- 12
Ölhaltige Sande und Schiefer	- 2,3 %	- 3,4 %	- 0,001
Torf	- 0,4 %	- 0,5 %	- 0,5
Erdöl und Flüssigerdgas	- 0,4 %	- 0,6 %	- 70
Erdgas	- 1,3 %	- 2,1 %	- 301
Gesamter Import	0,0 %	- 0,2 %	- 228

Quelle: CESAR, Umweltbundesamt

8.2 Wohngebäude: Ohne Rebound-Effekt

Tabelle 10:
Maßnahmenwirkung im
Bereich Wohngebäude
auf die inländische Ma-
terialentnahme, ohne
Rebound-Effekt, Diffe-
renz (%) zwischen Szena-
rio „Wohngebäude“ und
Baseline-Szenario,
je Jahr

Materialkategorie	2030	2040	2040 (1000 t)
Getreide	- 0,1 %	- 0,3 %	- 17
Wurzeln, Knollen	- 0,1 %	- 0,3 %	- 2
Zuckerpflanzen	- 0,2 %	- 0,3 %	- 13
Hülsenfrüchte	- 0,2 %	- 1,0 %	- 0,2
Nüsse	- 0,1 %	- 0,4 %	- 0,02
Ölhaltige Früchte	- 0,1 %	- 0,3 %	- 1
Gemüse	- 0,1 %	- 0,4 %	- 2
Obst	- 0,1 %	- 0,4 %	- 2
Fasern	0,0 %	- 0,1 %	- 0,01
Nichteisen-Metalle (Roherze)	- 4,8 %	- 6,6 %	- 41
Nicht-metallische Mineralstoffe	- 5,0 %	- 6,7 %	- 7.640
Erdöl und Flüssigerdgas	- 0,9 %	- 1,4 %	- 9
Erdgas	- 0,8 %	- 1,4 %	- 9
Gesamte Inlandsentnahme	- 3,6 %	- 4,8 %	- 7.758

Quelle: CESAR, Umweltbundesamt

Tabelle 11:
Maßnahmenwirkung im
Bereich Wohngebäude
auf die Materialimporte,
ohne Rebound-Effekt,
Differenz (%) zwischen
Szenario „Wohnge-
bäude“ und Baseline-
Szenario, je Jahr

Materialkategorie	2030	2040	2040 (1000 t)
Getreide (roh und verarbeitet)	- 0,1 %	- 0,2 %	- 9
Wurzeln, Knollen (roh und verarbeitet)	- 0,1 %	- 0,2 %	- 1
Zuckerpflanzen (roh und verarbeitet)	- 0,1 %	- 0,2 %	0
Hülsenfrüchte (roh und verarbeitet)	- 0,1 %	- 0,3 %	- 0,03
Nüsse (roh und verarbeitet)	- 0,1 %	- 0,2 %	0
Ölhaltige Früchte (roh und verarbeitet)	- 0,1 %	- 0,3 %	- 2
Gemüse (roh und verarbeitet)	- 0,1 %	- 0,2 %	- 1
Kupfer	0,0 %	- 0,3 %	- 1
Bauxit und sonstiges Aluminium	0,0 %	- 0,3 %	- 6
Uran und Thorium	- 0,1 %	- 0,2 %	- 0,01
Sonstige Nichteisen-Metalle	- 0,5 %	- 1,0 %	- 3
Produkte überwiegend aus Metall	- 0,1 %	- 0,5 %	- 27
Naturwerksteine und Natursteine	- 2,1 %	- 3,0 %	- 17
Kreide und Dolomit	- 1,6 %	- 2,7 %	- 1
Tonschiefer	- 1,0 %	- 2,0 %	- 0,1
Chemische und Düngemittelminerale	- 0,8 %	- 1,8 %	- 18
Salz	- 1,5 %	- 2,6 %	- 7
Sonstige Bergbauprodukte, sonstige Steine und Erden	- 1,5 %	- 2,5 %	- 34
Kalk- und Gipsstein	- 11,9 %	- 100,0 %	- 1
Kies und Sand	- 2,5 %	- 5,0 %	- 192
Ton und Kaolin	- 2,3 %	- 3,9 %	- 43
Produkte überwiegend aus nicht-metallischen Mineralstoffen	- 1,9 %	- 2,7 %	- 115
Braunkohle + agglomeriert	- 0,4 %	- 0,7 %	- 1
Steinkohle + Briketts	- 0,4 %	- 0,6 %	- 19
Ölhaltige Sande und Schiefer	- 3,0 %	- 5,2 %	- 0,002
Torf	- 0,5 %	- 0,8 %	- 0,7
Erdöl und Flüssigerdgas	- 0,5 %	- 0,9 %	- 106
Erdgas	- 1,5 %	- 2,5 %	- 371
Gesamter Import	- 0,4 %	- 1,0 %	- 1.221

Quelle: CESAR, Umweltbundesamt

8.3 Pkw-Verkehr: Hauptergebnisse

Tabelle 12:
Maßnahmenwirkung im
Bereich Pkw-Verkehr auf
die inländische Material-
entnahme, Differenz (%)
zwischen Szenario „Pkw-
Verkehr“ und Baseline-
Szenario, je Jahr

Materialkategorie	2030	2040	2040 (1000 t)
Getreide	2,5 %	2,6 %	135
Wurzeln, Knollen	2,3 %	2,2 %	18
Zuckerpflanzen	3,6 %	2,4 %	100
Hülsenfrüchte	4,0 %	7,9 %	1
Nüsse	2,7 %	2,9 %	0,13
Ölhaltige Früchte	2,2 %	2,0 %	10
Gemüse	2,9 %	3,3 %	16
Obst	2,7 %	2,9 %	18
Fasern	0,7 %	0,4 %	0,1
Eisenerz	- 35,5 %	- 35,7 %	- 2.041
Nichteisen-Metalle (Roherze)	0,2 %	0,1 %	1
Nicht-metallische Mineralstoffe	0,2 %	0,1 %	157
Erdöl und Flüssigerdgas	- 3,0 %	- 4,3 %	- 26
Erdgas	- 2,8 %	- 4,0 %	- 27
Gesamte Inlandsentnahme	- 0,2 %	- 0,6 %	- 920

Quelle: CESAR, Umweltbundesamt

Tabelle 13:
Maßnahmenwirkung im
Bereich Pkw-Verkehr auf
die Materialimporte,
Differenz (%) zwischen
Szenario „Pkw-Verkehr“
und Baseline-Szenario,
je Jahr

Materialkategorie	2030	2040	2040 (1000 t)
Getreide (roh und verarbeitet)	2,7 %	2,3 %	80
Wurzeln, Knollen (roh und verarbeitet)	2,7 %	2,2 %	6
Zuckerpflanzen (roh und verarbeitet)	3,2 %	2,7 %	6
Hülsenfrüchte (roh und verarbeitet)	2,6 %	2,1 %	0,3
Nüsse (roh und verarbeitet)	2,9 %	2,4 %	1
Ölhaltige Früchte (roh und verarbeitet)	2,6 %	2,1 %	15
Gemüse (roh und verarbeitet)	2,8 %	2,3 %	15
Eisenerz	- 34,5 %	- 45,0 %	- 6.277
Kupfer	0,2 %	0,1 %	1
Bauxit und sonstiges Aluminium	- 0,1 %	- 0,2 %	- 3
Uran und Thorium	1,0 %	0,8 %	0,04
Sonstige Nichteisen-Metalle	0,2 %	0,1 %	0,3
Produkte überwiegend aus Metall	- 7,4 %	- 6,4 %	- 386
Naturwerksteine und Natursteine	1,3 %	1,0 %	5
Kreide und Dolomit	0,4 %	0,2 %	0,05
Tonschiefer	0,2 %	0,1 %	0,003
Chemische und Düngemittelminerale	1,4 %	1,3 %	13
Salz	0,4 %	0,2 %	0,5
Sonstige Bergbauprodukte, sonstige Steine und Erden	0,7 %	0,5 %	7
Kalk- und Gipsstein	8,7 %	9,9 %	4
Kies und Sand	0,4 %	0,1 %	5
Ton und Kaolin	0,9 %	0,7 %	7
Produkte überwiegend aus nicht-metallischen Mineralstoffen	1,4 %	1,1 %	50
Braunkohle + agglomeriert	- 0,4 %	- 0,7 %	- 1
Steinkohle + Briketts	- 0,5 %	- 0,8 %	- 22
Ölhaltige Sande und Schiefer	- 16,8 %	- 25,6 %	- 0,01
Torf	- 0,6 %	- 0,9 %	- 1
Erdöl und Flüssigerdgas	- 2,2 %	- 3,1 %	- 373
Erdgas	0,4 %	0,3 %	42
Gesamter Import	- 4,2 %	- 5,3 %	- 6.256

Quelle: CESAR, Umweltbundesamt