



Volkswirtschaftliche Evaluierung von Netto-Null Treibhausgas- Emissionspfaden für Österreich

Endbericht

Diese Projekt wurde finanziert von:



Autor:innen: Univ.-Prof. Mag. Dr.rer.soc.oec. Karl Steininger, Dr.ⁱⁿ Veronika Kulmer, Matthias Salomon Bsc
Universität Graz, Wegener Center für Klima und Globalen Wandel

Unter Mitarbeit von: Univ. Prof. ⁱⁿ Dr.in Sigrid Stagl und Linus Eckert M.Sc. (beide: WU Wien) in Abschnitt 2.3 „Szenarienbeschreibung
JustTransition“ und Abschnitt 3.5 „Qualitative Einordnung JustTransition“

Jänner2024

Inhaltsverzeichnis

1. Motivation und Projektziel	3
2. Netto-Null Szenarien	4
2.1 Szenarienbeschreibung ZeroBasis	4
2.2 Szenarienbeschreibung ZeroTransition	5
2.3 Szenarienbeschreibung JustTransition	7
3. Makroökonomische Analyse	9
3.1 Modellbeschreibung allgemein	9
3.2 Datenaufbereitung und Szenarienvergleich	11
3.2.1 Energienachfrage und -verbrauch	11
3.2.2 Energieerzeugung	13
3.3 Implementierung in das Modell	14
3.4 Simulationsergebnisse	15
3.5 Qualitative Einordnung der Maßnahmen des Just Transition Szenarios	19
4. Zusammenfassung und Schlussfolgerungen	21
5. Quellenverzeichnis	22
6. Anhang	24

1. Motivation und Projektziel



Klimaneutralität bis 2040

Der jüngste sechste Sachstandsbericht des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) verdeutlichte noch eindrücklicher als bereits die vorherigen die Dringlichkeit, mit der die globalen Emissionen von Treibhausgasen reduziert werden müssen, um die Erderhitzung so zu begrenzen, dass für die Menschheit noch eine lebenswerte Zukunft ermöglicht wird. Um seinen im völkerrechtlich verbindlichen Abkommen von Paris zugesicherten Beitrag für diese dringend notwendigen Reduktionen zu leisten, strebt Österreich – wie im aktuellen Regierungsprogramm, in Strategien und in Verweisen in Einzelmateriengesetzen verankert – Klimaneutralität bis zum Jahr 2040 an. Der dafür notwendige Umbau unseres Energie- und Mobilitätssystems wird tiefgreifende Veränderungen mit sich bringen und hohe Investitionen erfordern, aber auch große Chancen für die langfristige Sicherung von Beschäftigung, die Reduktion von Energieimporten, die Verringerung der Energieabhängigkeit und Erhöhung der Gesundheit mit sich bringen. Um die zahlreichen Veränderungen ökonomisch einzuordnen, werden im Rahmen des durch den Verein Mutter Erde finanzierten Projektes verschiedene Klimaneutralitätsszenarien analysiert. Die Analyse von Szenarien ist wichtig und sinnvoll, weil sie uns ermöglicht, verschiedene Pfade zukünftiger Entwicklungen zu verstehen und dabei hilft, potenzielle Herausforderungen, Chancen und

Risiken zu identifizieren. Der vorliegende Teil der Studie widmet sich der makroökonomischen Bewertung der drei im Rahmen der Studie analysierten Szenarien. Das Szenario ZeroBasis stellt ein überwiegend technologiezentriertes Transformationsszenario dar, das ohne ambitionierte Verringerung der Gesamt-Energiennachfrage auskommt. Das Szenario ZeroTransition entspringt dem Transitionsszenario der Energie und Treibhausgasszenarien 2023 (UBA, 2023a) und beinhaltet darüber hinausgehend weitere tiefgreifendere strukturelle Änderungen der Volkswirtschaft, die sich vor allem durch starke Energienachfragereduktionen manifestieren. Das Szenario JustTransition ist eine Erweiterung des Szenarios ZeroTransition und bildet zusätzliche Aspekte der sozial gerechten nachhaltigen Transformation ab.

2. Netto-Null Szenarien

2.1 Szenarien- beschreibung ZeroBasis

Kurzbeschreibung

Das ZeroBasis Szenario stellt eine überwiegend technologiezentrierte Transformation dar, die ohne ambitionierte Verringerung der Gesamt-Energienachfrage stattfindet. Soziale Innovationen und Verhaltensänderungen stellen hier nur einen geringfügigen Teil der Transformation dar. Viel mehr wird der Wandel zu einer klimaneutralen Gesellschaft durch eine energieintensive und vor allem durch die technisch getriebene Elektrifizierung der Wirtschaft vorangetrieben. Dieser Trend betrifft vor allem die Bereiche Mobilität und Industrie. Das Szenario geht von einer internationalen Entwicklung aus, in der Österreich vollständig in europäische Energiemärkte integriert ist und keinerlei Beschränkungen für Importe und Exporte (insbesondere für Elektrizität) hat. Es wird angenommen, dass Österreichs wichtige europäische Handelspartner ebenfalls gemäß den Zielen des European Green Deals der Europäischen Union die Klimaneutralität bis spätestens 2050 erreichen.

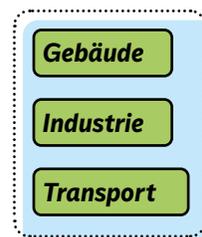
Szenarienhintergrund

Der Vergleich von mehreren Szenarien war in der vorliegenden Analyse vertieft möglich, weil auf den umfassenden Vorarbeiten im Forschungsprojekt INTEGRATE (Steininger et al., 2023) aufgebaut werden konnte. Insbesondere das Szenario ZeroBasis wurde in Kollaboration mit diesem Projekt entwickelt, das mehrere Szenarien für Österreichs Weg zur Klimaneutralität in

einer konsistenten Modellkette analysiert. Das Szenario ZeroBasis ist dabei jenes, in dem ohne weitreichende Energieverbrauchsvermeidungsstrategien und mit vollständiger europäischer Integration, d.h. ohne Importbeschränkungen bei Elektrizität, die Klimaneutralität erreicht wird. Die genauen Annahmen des Szenarios sind in den einzelnen sektoralen Modellen begründet, die die zukünftige Entwicklung der Energienachfrage wichtiger klimapolitisch relevanter Bereiche abbilden.



Sektorale Modelle zur Bestimmung der Energienachfrage



Optimierung des Energieangebots



Zusammenführung zu einem Szenario

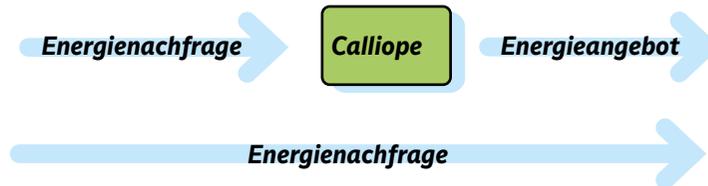


Abbildung 1:

Schematische Darstellung der Konzeption des **ZeroBasis Szenarios**

Für den Bereich Gebäude stützen sich die Annahmen auf Untersuchungen der Universität Innsbruck (UIBK) (Tosatto et al., 2023), für den Bereich Industrie auf das Zero Emission Szenario der Studie „New Energy for Industry“ (NEFI, 2022) und für Transport auf Ergebnisse des Energiemodells DESSTinEE (Boßmann and Staffell, 2015). Basierend auf diesen Nachfrage- daten, wurde das dafür erforderliche Energieangebot durch das Energiesystemmodell Euro-Calliope ermit- telt (für eine Modellbeschreibung siehe Pfenninger and Pickering, 2018). Dieses bestimmt auf Basis von linea- rer Kostenoptimierung und unter Berücksichtigung na- tionaler Systemgrenzen den Technologiemit- tel der Energiebereitstellung, Import- und Exportströme, sowie die damit verbundenen Kosten. Dabei wird angenommen, dass die Klimaneutralität der Gesellschaft gemäß den Zielen des European Green Deals auf gesamter euro- päischer Ebene erfolgt¹. Abbildung 1 veranschaulicht schematisch die einzelnen Bestandteile der Szenari- erstellung im Energiebereich.

¹ Die Klimaneutralität wird insgesamt auf europäischer Ebene erfüllt, einzelne Länder können abweichen, wobei dies jeweils durch andere Länder kompensiert wird. Für Österreich wird in der vorliegenden Studie auch zudem nationale Klimaneutralität unterstellt.

2.2 Szenarien- beschreibung ZeroTransition

Kurzbeschreibung

Dieses Szenario orientiert sich am Transitionsszenario der Energie- und Treibhausgasszenarien 2023 (UBA, 2023a). Ebenfalls bildet das Szenario die Grundlage des Nationalen Netzinfrastrukturplans (BMK, 2023). Inhaltlich bildet dieses Szenario einen besonders weit- gehenden politischen und sozioökonomischen Wan- del im Hinblick auf das Klimaneutralitätsziel für Öster- reich bis 2040 und 2050 ab. Anders als im Szenario ZeroBasis, beinhaltet es zahlreiche Entwicklungen, die zur Energienachfragereduktion beitragen. Ein zent- raler Aspekt ist der strukturelle Wandel in der Indus- trie, der eine umfassende Umsetzung der österrei- chischen Kreislaufwirtschaftsstrategie beinhaltet. In der Energiebereitstellung setzt das Szenario gemäß dem Erneuerbaren Ausbaugesetz (EAG) auf einen drasti- schen Ausbau der heimischen erneuerbaren Energie- kapazitäten bis 2030 und darüber hinaus. Anders als das ZeroBasis Szenario hat dieses Szenario das Ziel, von 2030 fortführend den Strombedarf bilanziell zu 100 % aus heimischer Erzeugung zu decken.



Szenarien Hintergrund

Ein Großteil der Annahmen zum Energieverbrauch nach Energieträger in den Bereichen Mobilität, Gebäude, Industrie und Landwirtschaft des ZeroTransition Szenarios stammen aus dem Energie- und Treibhausgasszenarien 2023 (UBA, 2023a) und dem Nationalen Netzinfrastrukturplans (UBA, 2023b). Die Annahmen zu Energieerzeugung, genauer gesagt Erzeugung von Strom, Fernwärme und erneuerbaren Gasen, liegen auch diesen Studien zugrunde. Zusätzlich wurden die vorliegenden Daten in einigen Bereichen durch veröffentlichte Daten aus Publikationen des Umweltbundesamtes (UBA) ergänzt. Allen voran für den Bereich Mobilität wurde hierfür die Studie „Transition Mobility 2040“ (UBA, 2022) herangezogen, da diese zusätzlich zu den energetischen Daten auch Annahmen zu dahinterliegenden Maßnahmen beinhaltet und sich das Szenario daraus besser einordnen lässt. Aus demselben Grund wurde in den Bereichen Landwirtschaft und Gebäude auf die „Kurzstudie zum Energieeffizienzgesetz“ (UBA, 2021) zurückgegriffen.

Abbildung 2 veranschaulicht die einzelnen Elemente der Szenarienerstellung schematisch. In der Energiebereitstellung setzt das Szenario gemäß dem Erneuerbaren Ausbaugesetz (EAG) auf einen drastischen Ausbau der heimischen erneuerbaren Energiekapazitäten bis 2030 und darüber hinaus. Im Gegensatz zum Szenario ZeroBasis zielt das ZeroTransition Szenario auf eine ausgeglichene Außenhandelsbilanz im Strom ab (d.h. Österreichs Energieimporte werden

mit 100 % heimischer Erzeugung bilanziert). Wie bereits im ZeroBasis Szenario verbleiben auch in diesem Szenario einige Restemissionen, die nicht durch den Ausbau von erneuerbaren Energien substituiert werden können. Diese Restemissionen bestehen unter anderem aus Prozessemissionen, welche in der Herstellung von Stahl oder Zement entstehen.

Da für diese Restemissionen noch keine klimaneutrale Substitutionsmöglichkeit besteht, müssen die verbleibenden Emissionen durch Kohlenstoffspeicherung ausgeglichen werden.

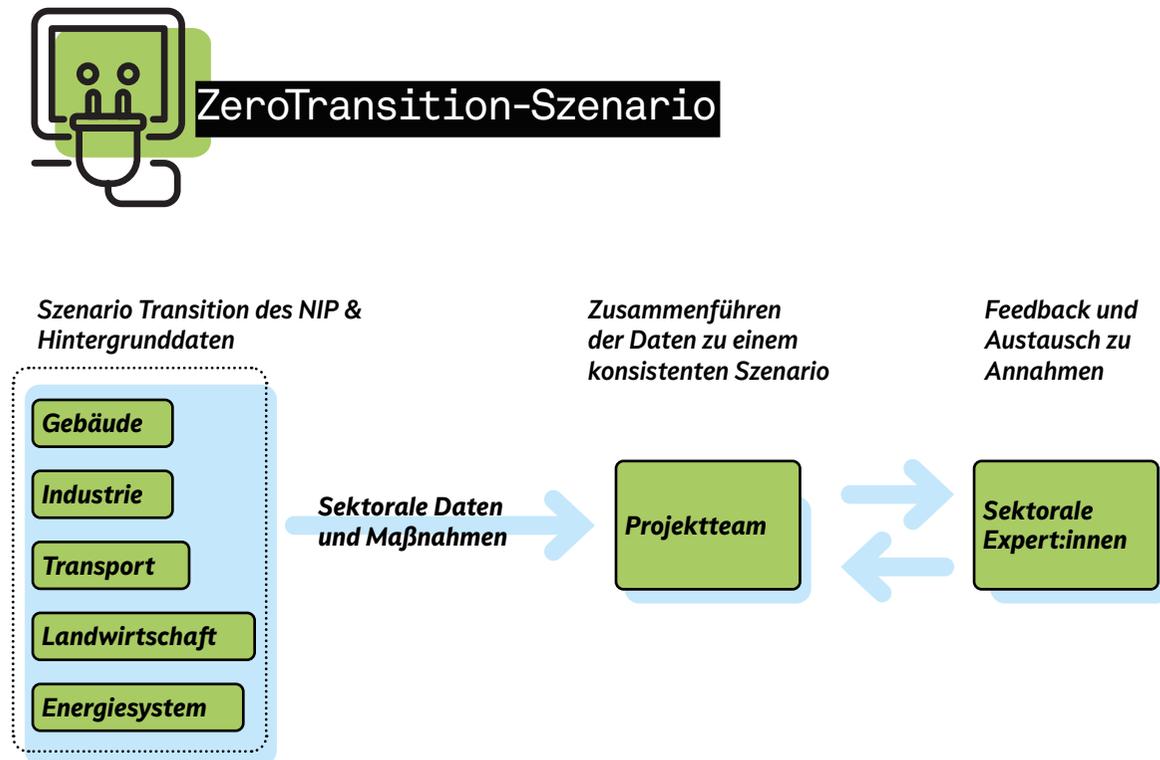


Abbildung 2:
Schematische Darstellung der Konzeption des **ZeroTransition Szenarios**

2.3 Szenarien- beschreibung JustTransition

Kurzbeschreibung

Das JustTransition Szenario ist eine Erweiterung des ZeroTransition Szenarios in Hinblick auf Aspekte der sozialen Gerechtigkeit. Diese Erweiterung beinhaltet die Implementierung zusätzlicher Maßnahmen, die auf soziale Nachhaltigkeit und Gerechtigkeit abzielen. Neben der Zielsetzung einer gänzlich emissionsfreien Gesellschaft steht in diesem Szenario damit ebenso die Fragestellung der Klimagerechtigkeit im Mittelpunkt.

Szenarienhintergrund

Die Erweiterung mit Fokus sozialer Gerechtigkeit umfasst folgendes Maßnahmenbündel (Abbildung 3 stellt die Szenarienerstellung grafisch dar). Erstens, die Einführung eines progressiven grünen Steuersystems welches eine Luxus-fokussierte CO₂-Steuer sowie eine simultane Vermögensbesteuerung beinhaltet. Eine luxus-fokussierte CO₂-Steuer besteuert verschiedene Güterklassen – und damit verschiedene Einkommensklassen – unterschiedlich im Konsum (Oswald et al., 2023). Diese luxusorientierte CO₂-Steuer betrifft Emissionen aus dem Flugverkehr, Pauschalreisen, Kauf von KFZ und ähnlichen Konsumkategorien. Eine Vermögensbesteuerung fördert die Umverteilung von unproduktivem zu produktivem Kapital, potenziell mit Produktivitätssteigerungen (Seim, 2017). Die gleichzeitige Anwendung beider Besteuerungsformen ermöglicht eine Lenkung von Kapital von umweltschädlichen zu umweltfreundlichen Investitionen.

Zweitens wird eine gesamtgesellschaftliche Arbeitszeitanpassung durchgeführt. Genauer gesagt, wird angenommen, dass sich die Arbeitszeit um durchschnittlich 1,2 Stunden pro Woche reduziert (siehe Ederer & Streicher 2023). Drittens, wird im Bereich Mobilität verstärkt auf Car-Sharing-Praktiken gesetzt. Durch einen Zuwachs an Car Sharing in urbanen Gegenden könnten mitunter Parkplätze eingespart werden, wodurch zusätzlicher Platz für soziale Räume oder entsiegelte Flächen bestünde. Wie auch in den Szenarien ZeroBasis und ZeroTransition, bestehen nach der kompletten Umstellung auf erneuerbare Energieträger weiterhin gesamtheitlich Restemissionen. Im JustTransition Szenario sollen dazu, wie in den beiden anderen Szenarien, vorhandene Potentiale zur Kohlenstoffspeicherung, insbesondere durch natürliche allenfalls auch technische Senken, genutzt werden.

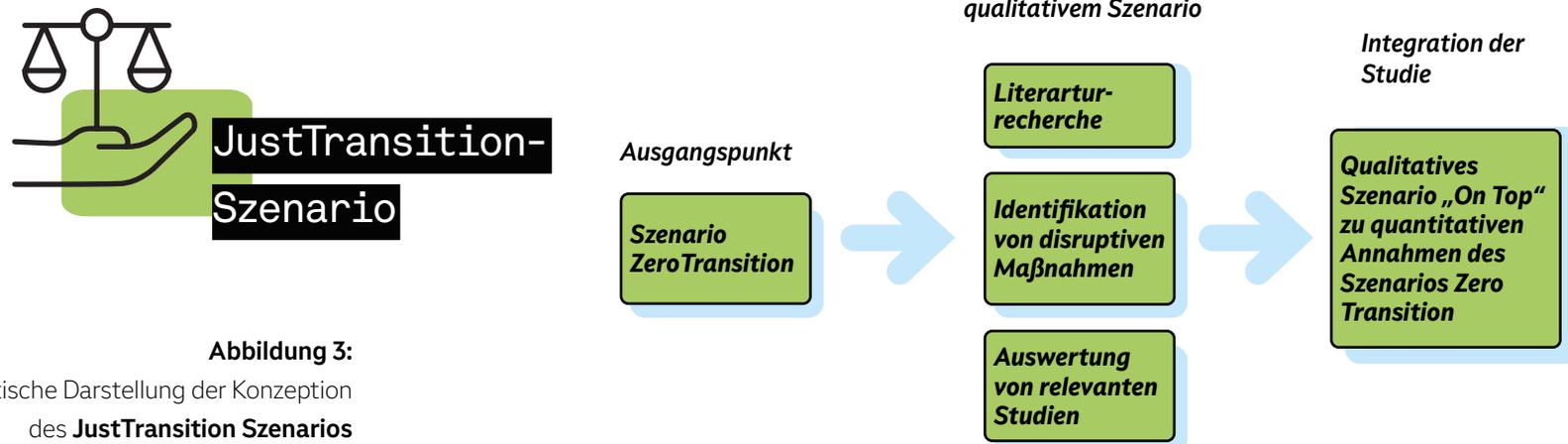
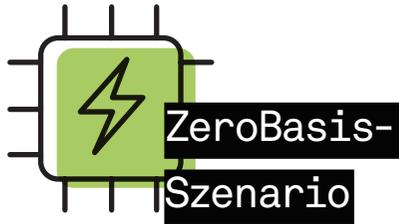


Abbildung 3:
Schematische Darstellung der Konzeption
des **JustTransition Szenarios**

Netto-Null Szenarien Übersicht



Technischer Wandel



Gesellschaftlicher Wandel



Technischer Wandel



Gesellschaftlicher Wandel



Technischer Wandel



Gesellschaftlicher Wandel



3. Makroökonomische Analyse

Die Makroökonomische Analyse hat zum Ziel, die zuvor beschriebenen Szenarien in Hinsicht auf ihre makroökonomischen Effekte zu evaluieren und zu vergleichen. Um dies zu tun, wird in der Analyse das makroökonomische CGE (Computable General Equilibrium) WEGDYN.AT des Wegener Center für Klima und Globalen Wandel herangezogen (Bachner, 2017; Mayer et al., 2021). Zunächst wird die Methodik im Allgemeinen erläutert, anschließend werden die modell-spezifischen Eigenschaften näher beschrieben. Nach der Darstellung der Integration der untersuchten Szenarien in das Modell werden die Ergebnisse der Modellierung beschrieben und erste Schlussfolgerungen gezogen. Die Maßnahmen des JustTransition Szenarios konnten aufgrund der eingeschränkten Datenlage nur teilweise in das makroökonomische Modell implementiert werden. Daher erfolgt die Bewertung der über das Szenario ZeroTransition hinausgehenden Maßnahmen hinsichtlich der volkswirtschaftlichen Effekte dieser Maßnahmen primär durch eine qualitative Einordnung. Die quantitative Analyse konzentriert sich auf die Bewertung und den Vergleich der Szenarien ZeroBasis und ZeroTransition.

3.1 Modellbeschreibung allgemein

Angewandte allgemeine Gleichgewichtsmodelle (computable general equilibrium, CGE) dienen der makroökonomischen Analyse von Politikmaßnahmen und ökonomischen Entwicklungen. Sie sind konzipiert, um die Dynamiken und Wechselwirkungen innerhalb einer Volkswirtschaft abzubilden und zu analysieren. Im Kern beruhen CGE-Modelle auf der Annahme eines allgemeinen Gleichgewichts, d.h. einem Zustand in dem auf den Märkten für Güter und Dienstleistungen sowie jenen für die Produktionsfaktoren Arbeit und Kapital jeweils Angebot und Nachfrage aufeinander zustreben und sich schließlich (d.h. in einer langfristigen Perspektive) im Gleichgewicht befinden. Die Ergebnisse solcher Modelle müssen daher als Ergebnisse langfristiger Trends interpretiert werden. Ebenfalls dürfen sie nicht als Prognosen verstanden werden, vielmehr als Erkenntnisse liefernd welche volkswirtschaftlichen Unterschiede die jeweils simulierten Politiken hervorrufen. Im hier vorliegenden Fall sollen sie uns beispielsweise über die ökonomischen Auswirkungen der modellierten Netto-Null-Treibhausgas-Emissions-Szenarien informieren. Zudem muss in der Interpretation noch berücksichtigt werden, dass CGE-Modelle vorwiegend klassisch ökonomische Aspekte wie zum Beispiel

Entwicklungen der Wirtschaftsaktivität oder des privaten und öffentlichen Konsums aufzeigen können. Weitere nicht monetäre Effekte, die ebenfalls einen wichtigen Teil der gesellschaftlichen Auswirkungen analysierter Entwicklungen darstellen, werden in der Regel nicht quantitativ modelliert, können aber in Parallelrechnungen einfließen. Im konkreten Beispiel der Dekarbonisierung der Volkswirtschaft sind solche hier nicht monetär quantifizierte Aspekte die positiven Umweltauswirkungen (wir vergleichen nur Szenarien, die alle Netto-Null Treibhausgasemissionen erreichen) oder nicht monetäre messbare soziale Aspekte. Beachtet man die genannten Einschränkungen in der Methodik, können CGE-Modelle eine Fülle wichtiger Erkenntnisse liefern. Ihr Vorteil liegt vor allem darin, dass sie das systemische Zusammenwirken von Haushalten, Unternehmen und öffentlicher Hand gut und detailliert abbilden und damit auch indirekte Effekte aufzeigen, die durch das Zusammenwirken verschiedener Akteure entstehen. Abbildung 3 (adaptiert nach Bachner et. al (2015)) zeigt schematisch auf, wie die einzelnen Bestandteile in einem CGE-Modell typischerweise verknüpft sind.



CGE-Modell

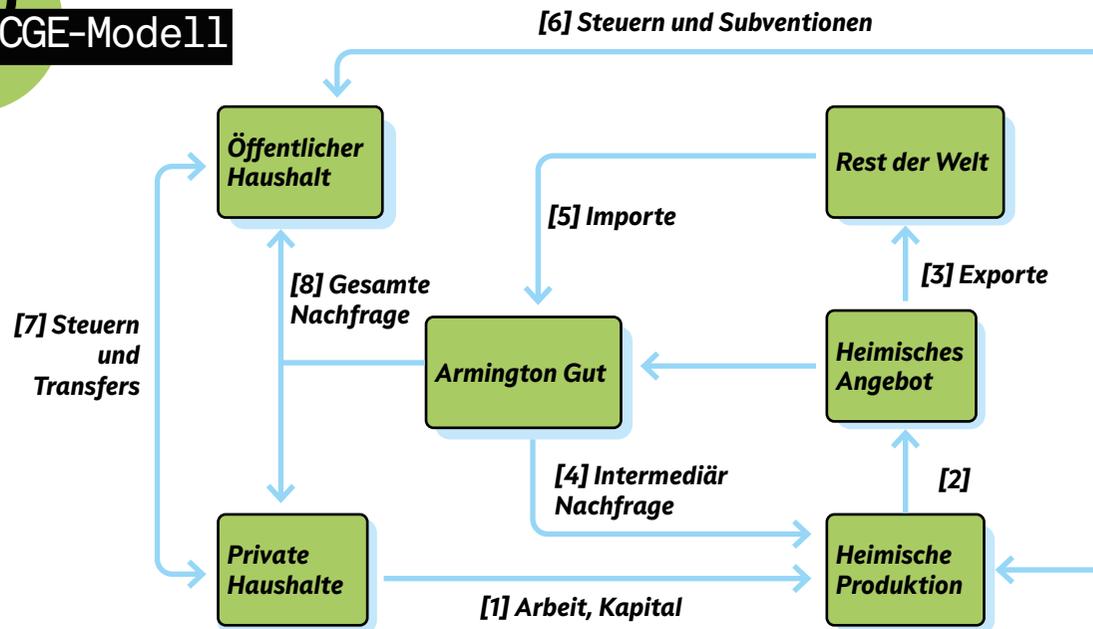


Abbildung 4:

Schematische Abbildung eines CGE-Modells

In Abbildung 4 sind die Beziehungen zwischen den verschiedenen Akteuren und die Ströme zwischen denselben ersichtlich und vereinfacht abgebildet. Private Haushalte sind in CGE-Modellen typischerweise mit den Produktionsfaktoren Arbeit und Kapital ausgestattet. Sie stellen diese Faktoren den inländischen Produzenten zur Verfügung [1]. Die Unternehmen nutzen die bereitgestellten Faktoren und bereits produzierte Güter, um das inländische Angebot an Gütern und Dienstleistungen zu produzieren [2]. Ein Teil dieses Angebots wird in Form von Exporten ins Ausland geliefert [3]. Der andere Teil des inländischen

Angebots [4] wird mit den Importen [5] auf dem heimischen Gütermarkt angeboten. Dieses wird als „Armington-Gut“ bezeichnet, weil es der sogenannten Armington Annahme für den Außenhandel folgt, nach der Güter der gleichen Klasse als unvollkommene Substitute behandelt werden, die unter der Bedingung bestimmter Elastizitäten ausgetauscht werden können (Armington, 1969). Damit wird das Faktum abgebildet, dass Güter eines Sektors (z.B. Textilien) sowohl exportiert als auch importiert werden, eben weil es nicht völlig idente Güter sind, sondern heimische und importierte Güter einander substituieren können.

Ein dritter Teil des inländischen Angebots wird vom Staat nachgefragt und in Form von erhobenen Steuern finanziert oder in Form von Subventionen über eine Verbilligung der Güter für die anderen Akteure bereitgestellt [6]. Der Konsum der privaten Haushalte wird ebenfalls besteuert oder subventioniert. Weiters werden Transfers vom Staat zur Verfügung gestellt ausbezahlt [7]. Die auf dem heimischen Markt verfügbare Menge an Gütern und Dienstleistungen (Armington-Gut) wird von den privaten Haushalten sowie der öffentlichen Hand nachgefragt (konsumiert) [8] (der öffentliche Konsum kann auch als Bereitstellung öffentlicher Güter interpretiert werden). Darüber hinaus können die Haushalte einen Teil ihres Einkommens sparen, um den verfügbaren Kapitalstock zu erhöhen. In Bezug auf das Verhalten der Akteure geht das Modell von typischen neoklassischen Annahmen der Volkswirtschaftslehre aus. Haushalte maximieren ihren Nutzen, indem sie Güter und Dienstleistungen konsumieren. Die Konsumententscheidungen hängen vom Einkommen, Preisen und individuellen Präferenzen ab. Das Modell beinhaltet Nachfrageelastizitäten, um abzuschätzen, wie Haushalte auf Veränderungen von Preisen reagieren. Produktionsseitig wird angenommen, dass Produzenten die zur Verfügung stehenden Produktionsfaktoren sowie Intermediärgüter nutzen, um die üblichen Entlohnungen (etwa für das eingesetzte Kapital) zu erreichen. Ebenfalls werden Produktionselastizitäten genutzt, um zu quantifizieren, wie Unternehmen auf Veränderungen der Preise der Produktionsinputs durch eine Verschiebung in deren Einsatzverhältnis (hin zu den billiger gewordenen) reagieren.

Konkret wird in dieser Studie das CGE-Modell WEG-DYN.AT verwendet. Dieses Modell basiert auf Vorarbeiten von Bachner (2017) und Mayer et al. (2021) und wurde im Zuge des vorliegenden Projektes erweitert und adaptiert. WEGDYN.AT ist ein rekursiv dynamisches Modell, das Österreich als kleine offene Volkswirtschaft darstellt. Es ist auf Daten der erweiterten Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung (eine sogenannte Social Accounting Matrix (SAM)) von 2014 kalibriert und umfasst Input-Output-Beziehungen von 81 Sektoren auf Basis der NACE-Klassifikation (Statistik Austria, 2008). Die SAM ist durch Daten zu CO₂-Emissionen auf Basis von Statistik Austria (2014) erweitert. Konkret wird der Einsatz von bestimmten Energieträgern anhand spezifischer Emissionskoeffizienten mit Emissionen verknüpft. Weiters verfügt das Modell über vier unterschiedliche private Haushaltsgruppen, die anhand ihres Einkommens in Quartile unterteilt werden. Das Modell nimmt eine fixierte Sparquote an, die sich ebenfalls nach Haushaltsgruppen unterscheidet, und zu einem Aufbau des Kapitalstocks führt. Der Arbeitsmarkt erlaubt klassische freiwillige Arbeitslosigkeit, die sich anhand eines fixierten Mindestreallohns einstellt. Für den internationalen Handel gilt die Armington-Annahme der Produktheterogenität (Armington, 1969), so dass im Inland produzierte und importierte Güter als unvollkommene Substitute behandelt werden. Exporte ins Ausland generieren Devisen, die wiederum zur Finanzierung von Importen verwendet werden können.

3.2 Datenaufbereitung und Szenarienvergleich

In der makroökonomischen Analyse der Szenarien ist vor allem der Energieverbrauch und die Energiebereitstellung eine zentrale Größe, da einerseits die genaue Ausgestaltung des Energiesystems das Netto-Null-Emissionsziel sicherstellt und andererseits durch die ausgelösten direkten und indirekten Effekte erhebliche volkswirtschaftliche Effekte entstehen. Daher wird zunächst die Struktur des Energiesystems beschrieben, die den Szenarien zugrunde liegt. Da sich in der Modellierung die Energienachfrage im JustTransition Szenario nur marginal von

der Energienachfrage im ZeroTransition Szenario unterscheidet und die Energiebereitstellungssysteme ident sind, wird das JustTransition Szenario nicht gesondert in den Abbildungen dargestellt.

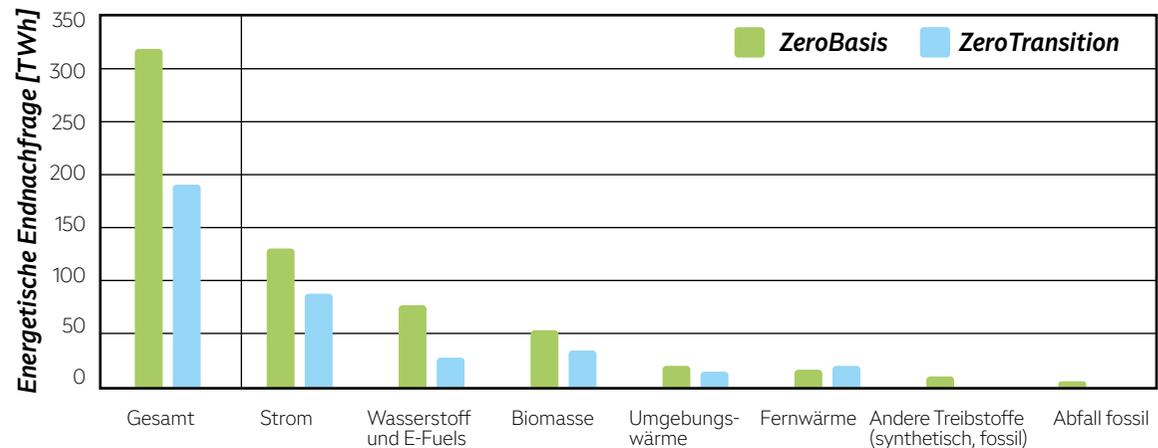
3.2.1 Energienachfrage und -verbrauch

Wie bereits eingangs in der Beschreibung der Szenarien erwähnt, unterscheiden sich das ZeroBasis Szenario und das ZeroTransition Szenario substantiell in Hinblick auf die Energienachfrage. Dies betrifft einerseits die Höhe des Energieverbrauchs im Allgemeinen. Wie dem linken Panel in Abbildung 5 zu entnehmen ist, ist das ZeroBasis Szenario mit einer insgesamten Energienachfrage von rund 317 TWh



Abbildung 5: Gegenüberstellung der **Energienachfragen**

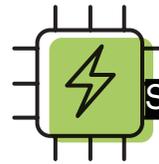
Energetische Endnachfrage gesamt und nach Energieträger



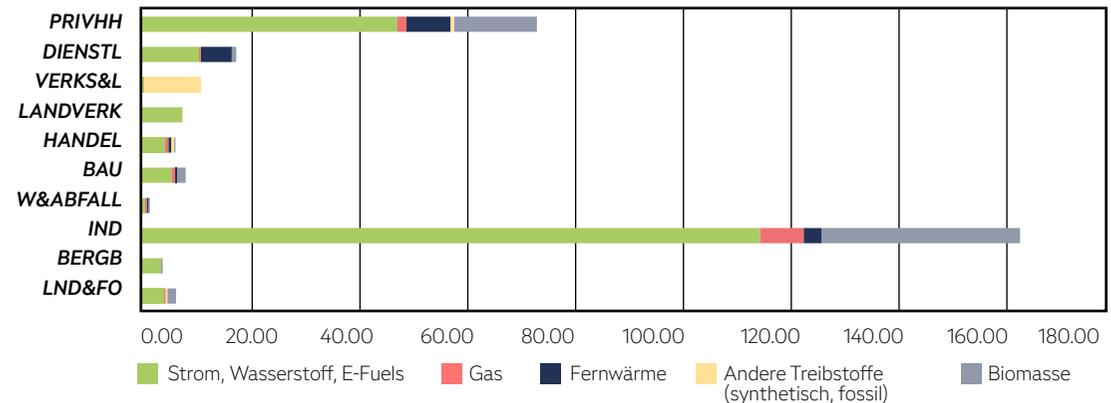
Anmerkung: für diese und alle folgenden Abbildungen können die Detaildaten den Tabellen im Anhang entnommen werden.

deutlich energieintensiver als das ZeroTransition Szenario mit einer Nachfrage von etwa 192 TWh. Dieser Zusammenhang zeigt sich ebenfalls in der genaueren Analyse der Energienachfrage nach den einzelnen Energieträgern, die im rechten Panel der Abbildung 5 zu erkennen ist. Allen voran die deutlichen Unterschiede in dem Bedarf an Strom (131 TWh vs. 88 TWh) und Wasserstoff (78 TWh vs. 29 TWh) sind diesbezüglich besonders hervorzuheben. Ein genauerer Blick in diesektorale Zusammensetzung der Energienachfrage zeigt weiters, in welchen Branchen der Volkswirtschaft diese vorwiegend besteht (siehe Abbildung 6).

Der Vergleich der beiden Szenarien zeigt erneut nun auch auf sektoraler Ebene, dass sich die Endnachfrage nach Energie in beiden Szenarien deutlich unterscheidet. Besonders ausgeprägt ist dieser Unterschied im Bereich der Industrie, wobei sich vor allem der Bedarf nach Strom stark unterscheidet. Der starke Unterschied erklärt sich dadurch, dass im ZeroTransition Szenario intensiv auf kreislaufwirtschaftliche Produktionsstrukturen und Energiebedarfsvermeidung gesetzt wird.



Sektorale Energienachfrage ZeroBasis (in TWh)



Sektorale Energienachfrage ZeroTransition (in TWh)

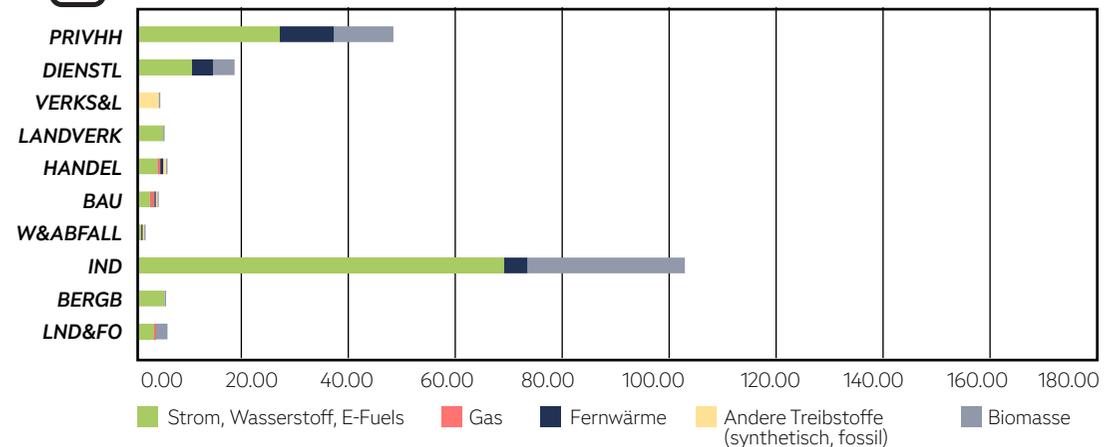


Abbildung 6: Sektorale Energienachfrage aufgeteilt nach Energieträgern und Branchen, **PRIVHH**- Private Haushalte, **DIENSTL**- Dienstleistungssektoren, **VERKS&L**- Schiffs- und Luftverkehr, **LANDVERK**- Verkehr über Land, **HANDEL**- Handel, **BAU**- Bauwirtschaft, **W&ABFALL**- Wasserbereitstellung und Abfallwirtschaft, **IND**- Industriesektoren, **BERGB**-Bergbau und fossile Extraktion

3.2.2 Energieerzeugung

Um die zuvor genannte unterschiedlichen Nachfrage nach Energie zu decken, beinhalten beide Szenarien unterschiedliche Energiebereitstellungssysteme und -strukturen. Diese unterscheiden sich abgesehen von dem aus der Nachfrage resultierenden Unterschied der absoluten Höhe ebenso in der strukturellen Zusammensetzung. Zusätzlich unterscheiden sich die Handelsströme von Strom. Abbildung 7 zeigt die dementsprechenden Unterschiede für die Strombereitstellung, und vergleicht die Mengen mit den Zielen der Stromerzeugung gemäß Erneuerbarem Ausbaugesetz (EAG) im Jahr 2030.

Abbildung 7 zeigt deutliche Unterschiede in der Bereitstellung des Stroms. Mit insgesamt knapp 120 TWh heimischer Stromproduktion geht das ZeroTransition Szenario von einem deutlich ambitionierteren Ausbau

der heimischen Stromerzeugung aus. Im ZeroBasis Szenario fällt diese mit etwa 67 TWh geringer als in den Ausbauzielen des Erneuerbaren Ausbaugesetzes (EAG) festgelegt ist aus. Folglich ist im ZeroBasis Szenario die Auslandsabhängigkeit wesentlich höher und die Stromimporte umfassen rund 63 TWh. Im Kontrast dazu wird im ZeroTransition Szenario davon ausgegangen, dass Österreich ab 2030 sogar zum Nettoexporteur von Strom wird und dadurch am Ende der Periode die festgelegten Ziele des EAG für 2030 deutlich überschreitet. Abgesehen von den deutlichen Unterschieden in der Höhe, unterscheidet sich in beiden Szenarien – wie in Abbildung 8 zu erkennen ist – auch die Zusammensetzung der Stromproduktion. Im ZeroBasis Szenario erfolgt die Stromproduktion ähnlich zur heutigen Situation zu einem großen Teil aus Wasserkraft. Die restliche heimische Stromproduktion in dem Szenario teilt sich zu geringeren Teilen auf

Photovoltaik und Wind auf. Im ZeroTransition Szenario ist der Strommix hingegen deutlich diversifizierter und bedarf eines weitaus ambitionierteren Ausbaus an Photovoltaik und Windkraft. Weiters werden 5 % des Stromes über Verwertung von Biomasse gewonnen. Analog zum Bereitstellungsmix des heimisch produzierten Stromes unterscheiden sich die Szenarien auch grundlegend in der Bereitstellung der Fernwärme. In beiden Szenarien ist eine vollständige Dekarbonisierung von fossiler Wärmebereitstellung zu erkennen. Im ZeroTransition Szenario setzt sich die Produktion der Fernwärme aus Biomasse (52 %), Geothermie und Umgebungswärme (42 %) und zu geringen Anteilen aus Wasserstoff (6 %) zusammen. Im ZeroBasis Szenario hingegen setzt sich die Produktion der benötigten Fernwärme durch einen Mix aus Biomasse (80 %), Geothermie und Umgebungswärme (10 %) und thermischer Verwertung von Abfällen (10 %) zusammen.



Stromerzeugung und Nettoimporte

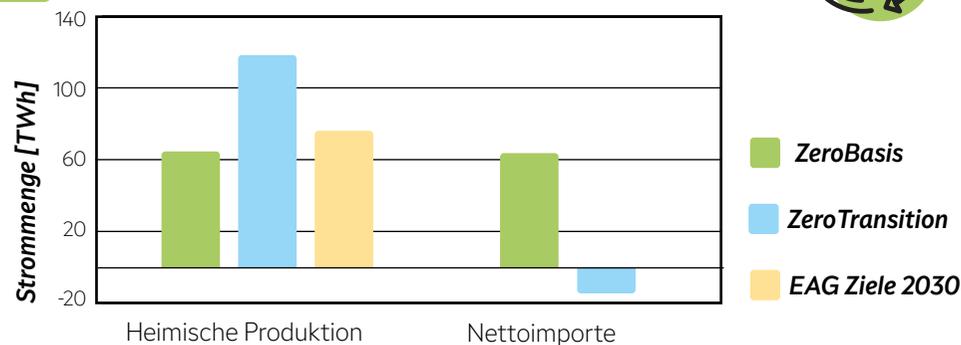


Abbildung 7: Stromerzeugung und Nettoimporte in beiden Szenarien im Vergleich zu den EAG-Ausbauzielen für das Jahr 2030. Die produzierten Strommengen für die Szenarien ZeroBasis und ZeroTransition

beziehen sich auf den Endzustand der dekarbonisierten und defossilisierten Volkswirtschaft und damit den finalen Ausbaugrad.



Mix der Stromerzeugung und EAG 2030

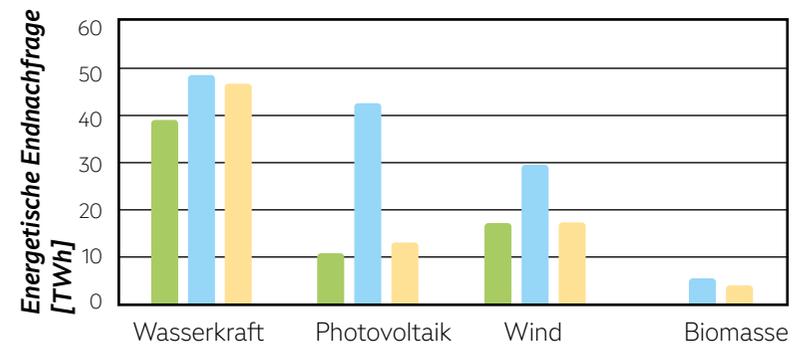


Abbildung 8: Heimische Stromproduktion nach Erzeugungstechnologie

3.3 Implementierung in das Modell

Die zuvor beschriebenen substanziellen Unterschiede im Energiesystem werden mittels einer Modellbrücke, die bottom-up Energiedaten und makroökonomische Strukturdaten verknüpft, in WEGDYN.AT implementiert. Ziel dieser Modellbrücke ist es, die Eigenschaften und Elemente der einzelnen Szenarien bestmöglich abzudecken und so das Naturell der Szenarien gut abzubilden. Gleichzeitig wird versucht dem Modell genügend Freiheitsgrade zu lassen, um interne Feedbackeffekte und Rückkoppelungen zuzulassen. Um diese Ziele zu erreichen wird auf mehreren Ebenen in das Modell eingegriffen.

Nachfrageseitige Schocks in WEGDYN.AT: Die Nachfrage nach einzelnen Energieträgern (nrg) in den jeweiligen Sektoren (ecs) wird entsprechend der Werte des jeweiligen Szenarios (sce) angepasst. Gleichung (1) beschreibt die Spezifikation des Energienachfragemultiplikators (ENM), der im Modell die jeweilige Anpassung der Energienachfrage bewirkt. Werte, die mit einem Überstrich gekennzeichnet sind, sind Werte des Basisjahres auf das das Modell kalibriert ist. Für die Energienachfrage nach Energieträgern im Basisjahr 2014, wurde die Physikalische Energieflussrechnung (PEFA) der Statistik Austria herangezogen.

$$ENM(sce, ecs, nrg) = \frac{TWh(sce, esc, nrg)}{\overline{TWH}(ecs, nrg)}$$

Gleichung 1: ENM (sce,ecs,nrg)- EnergieNachfrage-Multiplikator, TWh(sce,ecs,nrg)- Energienachfrage nach Energieträger und Sektor in Abhängigkeit vom Szenario, $\overline{TWH}(ecs,nrg)$ - Energienachfrage nach Energieträger und Sektor im Ausgangsjahr.

Durch Division der jeweiligen sektoralen Nachfrage nach bestimmten Energieträgern aus den Inputdaten und den Daten des Ausgangsjahres ergibt sich ein Faktor, der zur Skalierung der einzelnen Nachfrage verwendet wird.

Angebotsseitige Schocks in WEGDYN.AT: Auf der Angebotsseite wurde zunächst nach Gleichung (2) der Technologiemitmix der Stromerzeugung im jeweiligen Szenario (sce) für jede Erzeugungstechnologie (tec) an die Bereitstellungsdaten des jeweiligen Szenarios angepasst.

$$EMS(sce, tec) = \frac{\sum_{tec} \overline{Y}(tec)}{\overline{Y}(tec)} * \frac{TWh(sce, tec)}{\sum_{tec} TWH(sec, tec)}$$

Gleichung 2: EMS (sce,tec)-ElektizitätsMixShift für jede Technologie pro Szenario, $\overline{Y}(tec)$ - produzierter Wert je Erzeugungstechnologie im Basisjahr, TWH(sce,tec)-Erzeugte Strommenge im Szenario.

Durch Multiplikation der jeweiligen Mengenfelder der Stromerzeugungstechnologien aus der Social Accounting Matrix (SAM) wird mit dem Parameter der aus den In-

putdaten vorgegebene Stromerzeugungsmix bestimmt. Zusätzlich wird die Kostenstruktur durch technologie-spezifische Prognosen aus dem europäischen Energiesystemmodell Calliope aktualisiert. Weiters werden Kosten für notwendige begleitende Infrastrukturmaßnahmen wie Netzausbau und Speicherkapazitäten berücksichtigt. Für das ZeroBasis Szenario stammen diese ebenfalls direkt aus dem Energiesystemmodell Calliope. Für das ZeroTransition Szenario basieren die Annahmen auf einer Österreich-spezifischen Studie zum Netzausbau (Frontier Economics & AIT, 2022). Analog zur Anpassung des Strommixes wurden auch die Zusammensetzung der Fernwärmebereitstellung und die Struktur der Strom- und Wärmemengen aus KWK entsprechend der Eingangsdaten verändert. Zusätzlich zu den im Modell eingepflegten strukturellen Verschiebungen im Energiesystem wird ein im ZeroTransition Szenario und JustTransition Szenario ausgeprägter Wandel zu kreislaufwirtschaftlichen Produktionsstrukturen in der Industrie in die Modellierung übernommen. Um diesen grundlegenden Wandel abzubilden, wird der Bedarf an materiellen Vorleistungen in der industriellen Produktion um 25 % verringert, und dafür in gleichem Maße durch erhöhten Einsatz an Arbeit ersetzt. Diese Annahme zur Verschiebung hin zu höherer Arbeitsintensität fußt auf einschlägigen Erkenntnissen aus der Literatur (Wijkman, A. & Skånberg, 2016; IISD & SITRA, 2020; Laubinger et al., 2020). Diese zeigen, dass kreislaufwirtschaftliche Produktionsformen wie z.B. Recycling, Reparaturarbeiten und auch Sanierung deutlich arbeitsintensiver als bereits etablierte lineare Produktionsstrukturen sind.

Die zusätzlichen Maßnahmen des JustTransition Szenarios konnten aufgrund von fehlender Datenverfügbarkeit nur teilweise in das Modell aufgenommen werden. Die Maßnahme Car Sharing orientiert sich an einer Studie des deutschen Umweltbundesamtes (Gsell et al., 2015). Durch die Implementierung der Maßnahme kann im JustTransition Szenario im Bereich Verkehr eine um rund 5 % geringere Energienachfrage im Vergleich zum ZeroTransition Szenario erreicht werden. Die Maßnahme Luxus-fokussierte CO₂-Steuer orientiert sich an einer Studie der Universität Leeds (Oswald et al., 2023). Diese beschreibt die Wirkungsweise einer progressiv gestalteten CO₂ Steuer, die vor allem Emissionen aus Luxusgütern stärker betrifft. Nachdem in der makroökonomischen Modellierung der klimaneutrale Endzustand der Transition analysiert wird, fällt die Höhe der gewählten CO₂-Steuer aufgrund der bereits erreichten vollständigen Vermeidung aller Emissionen nur unwesentlich ins Gewicht. Weitaus relevanter ist die Festsetzung des Preises wie beschrieben aber für die Entwicklung hin zu diesem Zustand. Diese Dynamik war jedoch nicht Fokus der Studie und wird daher nicht im Detail bewertet. Aus diesem Grund werden auch die Unterschiede in der Form der Besteuerung von CO₂ am Ende dieses Abschnitts der ökonomischen Bewertung qualitativ eingeordnet. Weiters konnten Maßnahmen der Arbeitszeitanpassung vom Wifo (Ederer & Streicher, 2023) sowie zur Vermögensbesteuerung (Seim, 2017) nicht in das Modell integriert werden. Diese Maßnahmen, ebenso wie der Umgang mit Restemissionen und dessen Folgen, werden dementsprechend ebenfalls qualitativ behandelt.

3.4 Simulations- ergebnisse

Abbildung 9 zeigt die makroökonomischen Auswirkungen der beiden beschriebenen Szenarien (ZeroBasis, ZeroTransition) anhand zentraler Indikatoren. Zur besseren Vergleichbarkeit werden die Ergebnisse jeweils relativ zu den Werten des Basisjahres der Modellkalibrierung dargestellt.

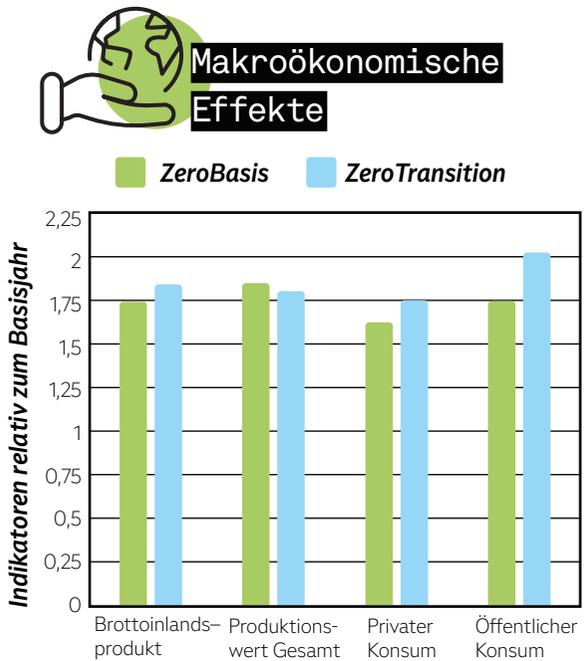


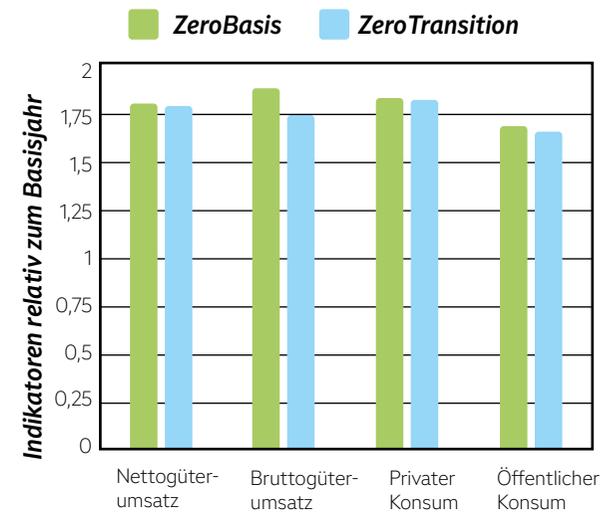
Abbildung 9: Makroökonomische Ergebnisse zu den Netto-Null-Treibhausgasemissions-Szenarien für die Wertschöpfung und den Konsum

Bruttogüterumsatz: Physische Menge der in der österreichischen Volkswirtschaft gehandelten Güter

Nettogüterumsatz: Physische Menge der österreichischen Endnachfrage (Bruttogüterumsatz minus Vorleistungen aus anderen Wirtschaftssektoren)

Das linke Panel von Abbildung 9 zeigt die klassischen makroökonomischen Größen, die zur Einordnung der gesamtwirtschaftlichen Effekte relevant sind. Das rechte Panel zeigt zusätzlich die mengenbezogenen Indikatoren, die Informationen zu den physikalisch hinter der Produktion stehenden Mengen (z.B. Tonnen, Liter, Stunden, etc.) geben. Um die Simulationsergebnisse richtig interpretieren zu können, ist eine Kombination der Informationen aus beiden Panels erforderlich.

Mengenbezogene makro- ökonomische Effekte

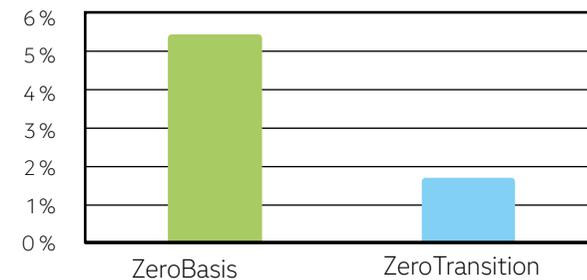




Bezüglich der gesamtwirtschaftlichen Leistung der einzelnen Szenarien zeigt sich, dass das ZeroTransition Szenario das ZeroBasis Szenario in wichtigen makroökonomischen Kennzahlen übertrifft. Wie aus dem oberen Panel von Abbildung 9 ersichtlich, übertreffen das Bruttoinlandsprodukt, der private Konsum und der öffentliche Konsum im ZeroTransition Szenario jene des ZeroBasis Szenarios deutlich. Dies ist durch mehrere Teileffekte zu erklären. Erstens zeigt sich, dass die substantielle Energienachfragesenkungen und damit verbundenen Effizienzverbesserungen positive Auswirkungen auf die Wertschöpfung haben, da durch sie Produktionsprozesse deutlich kostengünstiger werden. Zweitens hat die strukturelle Änderung hin zu arbeitsintensiveren, aber ressourcenschonenderen Prozessen, die durch die Etablierung kreislaufwirtschaftlicher Prozesse in der Industrie folgt, positive Auswirkungen auf die Wertschöpfung. Um die Hintergründe davon besser zu verstehen, hilft es, einen genaueren Blick auf den mengenbezogenen (materiellen) Güter- und den Dienstleistungsumsatz im unteren Panel zu werfen. Es zeigt sich, dass die produzierten Mengen im ZeroBasis Szenario höher sind als jene im ZeroTransition Szenario. Dieser augenscheinliche Widerspruch erklärt sich dadurch, dass im ZeroTransition Szenario durch die strukturelle Änderung in der Industrie ein weit größerer Teil der Wertschöpfung durch den Faktoreinsatz von Arbeit entsteht und ein geringerer Anteil durch materielle Zwischenprodukte. Durch die arbeitsintensivere Herstellung von Produkten entstehen Produkte die wertvoller und beispielsweise auch langlebiger sind. Dementsprechend sind diese auch in den Augen der Gesellschaft höher be-

wertet und sorgen insgesamt für einen Wohlfahrtsgewinn im ZeroTransition Szenario. Abgesehen von den oben beschriebenen Effekten unterscheiden sich die Szenarien deutlich im Hinblick auf die Dynamiken auf dem Arbeitsmarkt. Abbildung 10 zeigt die Ergebnisse für die Arbeitslosigkeit und für das Faktorpreisverhältnis von Arbeit und Kapital.

Arbeitslosigkeit



Faktorpreisverhältnis PL/PK

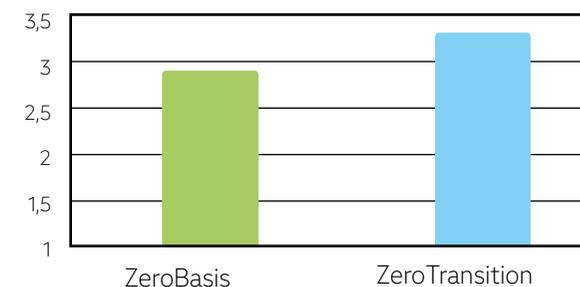


Abbildung 10: Makroökonomische Ergebnisse für den Arbeitsmarkt

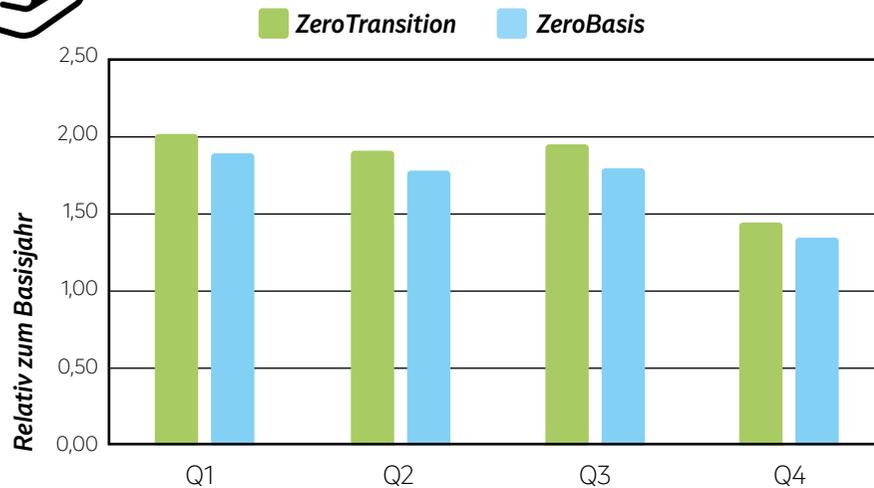
Durch den höheren Bedarf an Arbeit in der Produktion im ZeroTransition Szenario ist das Faktorpreisverhältnis (PL/PK) höher (rechtes Panel)³. Die höhere Entlohnung des Faktors Arbeit führt schließlich zu höherem Arbeitsangebot und einem Sinken der Arbeitslosigkeit bis hin zur Vollbeschäftigung (linkes Panel). Des Weiteren hat die höhere Entlohnung von Arbeit auch Verteilungseffekte auf die Haushaltsgruppen. Abbildung 11 veranschaulicht dies.

Im linken Panel in Abbildung 11 sind die Wohlfahrtseffekte gemäß der Hicks'schen Wohlfahrtsdefinition der äquivalenten Variation⁴ dargestellt. Es zeigt sich, dass alle Haushalte analog zu den gesamtwirtschaftlichen Ergebnissen im ZeroTransition Szenario bessergestellt werden. Diese Entwicklung lässt sich vor allem durch das höhere verfügbare Einkommen der Haushalte welches aus der höheren Entlohnung folgt, erklären. Das rechte Panel zeigt die Gegenüberstellung der verfügba-

ren Einkommen relativ zum Ausgangsjahr. Der Effekt ist in den ersten drei Einkommensquartilen ausgeprägter, da diese einen größeren Teil ihres Einkommens aus Arbeitseinkommen beziehen. Um die Effekte auf die verschiedenen Wirtschaftssektoren zu analysieren, hilft zunächst ein Blick auf Abbildung 12, die die Veränderung des Werts der produzierten Güter und Dienstleistungen im Vergleich zum Basisjahr zeigt.



Wohlfahrtseffekte nach Einkommensquartilen



Verfügbares Einkommen nach Einkommensquartilen

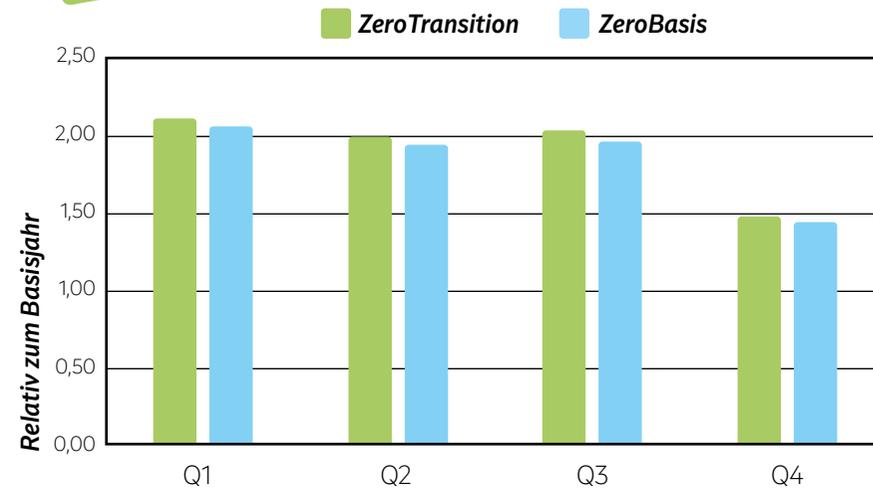


Abbildung 11: Makroökonomische Verteilungswirkungen. Q1-Q4 bezeichnen die vier Einkommensquartile beginnend mit dem niedrigsten Einkommensquartil.

³ Der Index ist hier bezogen auf das Verhältnis der Faktorpreise im Ausgangsjahr. Durch die über den langen Zeitraum stark ansteigende Kapitalausstattung – und vergleichsweise dazu kaum ansteigendes physisches Arbeitsangebot (in Stunden) erhöht sich das Verhältnis in beiden Szenarien. Relevant für die Aussage ist hier die stärkere Erhöhung im Szenario ZeroTransition.

⁴ Die Wohlfahrtsdefinition der Äquivalenten Variation nach Hicks übersetzt Wohlfahrtseffekte in monetäre Einheiten. Sie beschreibt jenes Einkommen, das ein Haushalt bei konstanten Preisen erhalten müsste, um das beschriebene Nutzenniveau zu erreichen. In anderen Worten wird damit die Veränderung der Konsummöglichkeiten beschrieben.

Obwohl sich die Größenordnung der Effekte auf die einzelnen Branchen grundsätzlich unterscheidet, sind die Wirkungsrichtung und die Struktur der Effekte auf die einzelnen Branchen in beiden Szenarien sehr ähnlich. Es zeigt sich, dass im ZeroBasis Szenario analog zu den gesamtwirtschaftlichen Ergebnissen in fast allen Branchen mehr Güter und Dienstleistungen produziert werden. Da aufgrund der kreislaufwirtschaftlichen Pro-

duktionsstruktur im ZeroTransition Szenario zwar ein geringerer Teil der Industrieproduktion als Vorleistung für andere Produkte benötigt wird, gleichzeitig, aber deutlich mehr Primärfaktor Arbeit nachgefragt wird, ist das Bruttoinlandsprodukt im ZeroTransition Szenario, wie bereits erwähnt, insgesamt dennoch etwas höher. Die Energiebereitstellungssysteme für Strom und Wärme entsprechen zwar in ihrer Zusammensetzung

dem zuvor dargestellten Inputdatenmix, unterscheiden sich jedoch in ihrem Niveau. Diese Unterschiede sind modelltechnisch zu erwarten und zeigen die Stärken eines geschlossenen makroökonomischen Modells mit endogenen Wachstumsdynamiken und Rückkopplungseffekten von Schocks. Dennoch ist festzuhalten, dass die Struktur des Energiesystems und insbesondere die Relation der Unterschiede zwischen den Sze-



Sektorale Effekte

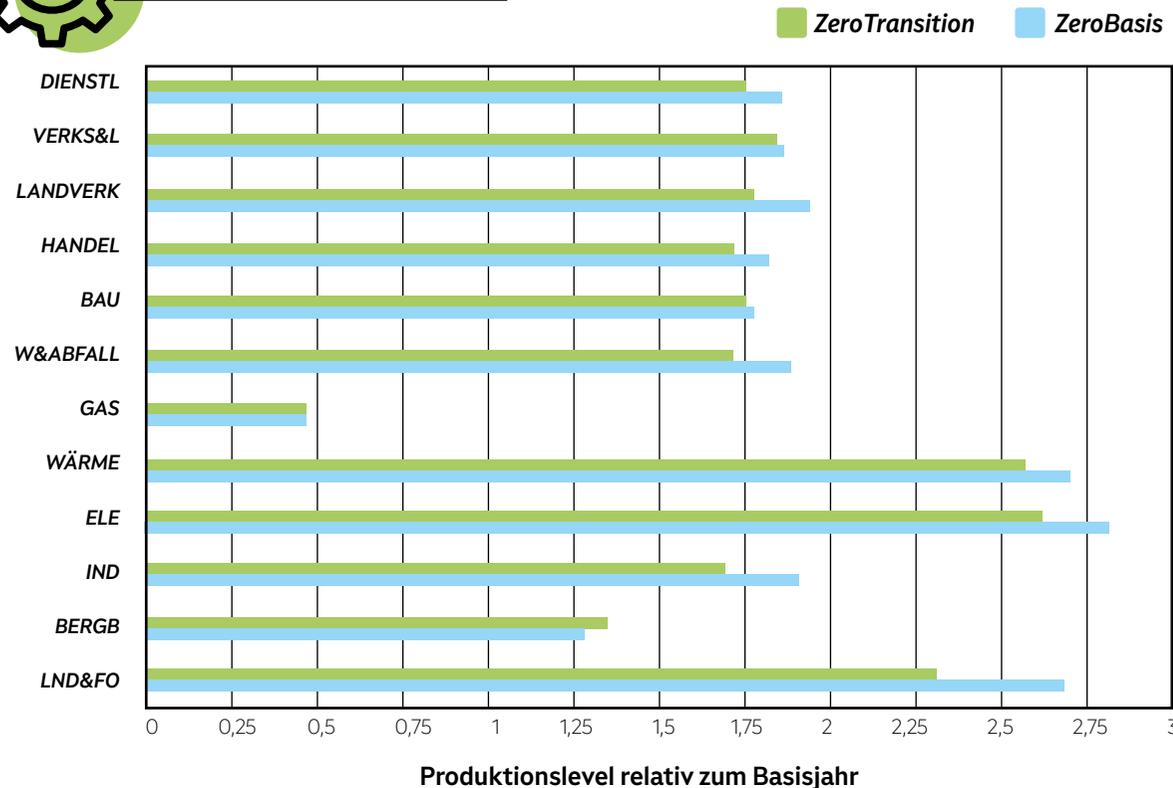


Abbildung 12:

Sektorale Effekte dargestellt nach Branchen. **PRIVHH**- Private Haushalte, **DIENSTL**- Dienstleistungssektoren, **VERKS&L**- Schiffs- und Luftverkehr, **LANDVERK**- Verkehr über Land, **HANDEL**- Handel, **BAU**- Bauwirtschaft, **W&ABFALL**- Wasserbereitstellung und Abfallwirtschaft, **GAS**- Gaswirtschaft, **WÄRME**- Bereitstellung von Fernwärme, **ELE**- Stromproduktion, **IND**- Industriesektoren, **BERGB**- Bergbau und fossile Extraktion.

narien in den Modellergebnissen konsistent abgebildet werden (und eben auch Rückwirkungen über die Ausgangswerte hinaus abbilden). Die geringere Produktion in Mengen im ZeroTransition Szenario wirkt sich ebenfalls auf die ausgestoßenen verbleibenden CO₂-Emissionen aus. Diese bestehen in beiden Szenarien vorwiegend aus Prozessemissionen und zu geringem Anteil aus Restgrößen aus Bereichen, die im Modell nicht hinreichend abgebildet werden. Abbildung 13 zeigt die Gegenüberstellung der im Modell verbleibenden CO₂-Emissionen der beiden Szenarien im Vergleich zu den aktuellen Daten für das Jahr 2022 für Österreich (UBA, 2023).

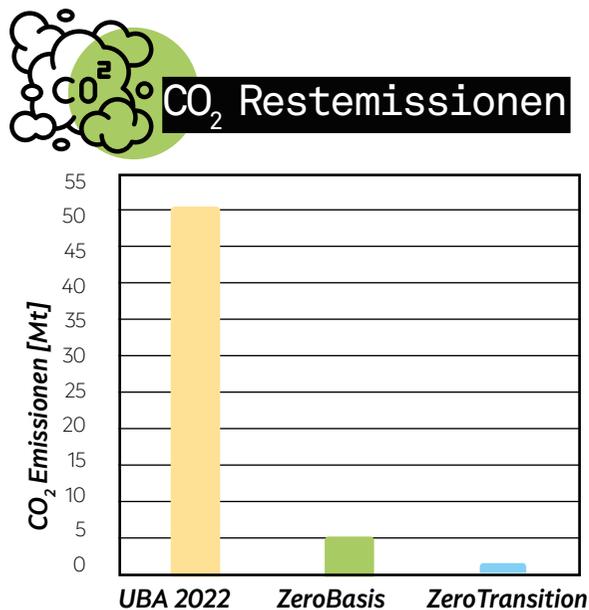


Abbildung 13: Gegenüberstellung der CO₂ Emissionen

3.5 Qualitative Einordnung der Maßnahmen des JustTransition Szenarios

Wie bereits beschrieben, konnten in der Analyse nur Teile der im JustTransition Szenario umgesetzten Maßnahmen in die makroökonomische Modellierung einfließen. Konkret wurden in Anlehnung an die Studie von Gsell et al. (2015) über das ZeroTransition Szenario hinausgehende Energienachfragereduktionen von ca. 5 % durch Sharing-Ansätze im Mobilitätsbereich quantifiziert. Hier ergeben sich naturgemäß analog zu den zuvor beschriebenen Modellmechanismen durch eine weitere Reduktion der Energienachfrage zusätzliche positive volkswirtschaftliche Effekte. Diese sind jedoch aufgrund der gesamtwirtschaftlich sehr geringen Größenordnung vernachlässigbar (d.h. Effekte der volkswirtschaftlichen Analyse sind praktisch ident zu jenen vom ZeroTransition Szenario).

Auf fiskalischer Ebene beinhaltet das JustTransition Szenario eine progressive CO₂-Steuer und eine Vermögenssteuer. Ein Literaturüberblick zeigt, dass eine Vermögenssteuer positive Effekte auf Wertschöpfung und Produktivität haben kann (Seim, 2017). Dies ist auf die Verschiebung von unproduktivem Kapital hin zu produktivem Kapital zurückzuführen. Des Weiteren zeigt eine Studie des Wifo, dass bei einer Vermögensbesteuerung von 1 % ab einem Nettovermögen von über 1 Mio. € ein potenzielles Steueraufkommen von 156 Mrd. € für ganz Europa zu erwarten ist (Kre-

nek & Schratzenstaller, 2017). Für die progressive CO₂-Steuer zeigen Oswald et al. (2023), dass durch die Einführung der Steuer im Vergleich zu einer gewöhnlichen CO₂-Steuer zusätzliche positive Emissionseinsparungen erzielt werden (Oswald et al., 2023). Darüber hinaus zeigt die Studie eine gleichzeitige Reduktion der Ungleichheit. Wie bereits erläutert, ist eine Analyse der Auswirkungen verschiedener CO₂-Steuersysteme im Rahmen dieser Studie nicht möglich, da der Endzustand einer bereits vollständig dekarbonisierten Volkswirtschaft betrachtet wurde. Um die makroökonomischen und insbesondere die verteilungspolitischen Effekte des progressiven Steuersystems dennoch einordnen zu können, kann auf Forschungsergebnisse früherer Studien zurückgegriffen werden, die zum Teil ebenfalls mit dem Modell WEGDYN.AT durchgeführt wurden. Zunächst ist festzuhalten, dass die Ergebnisse der Studien stark von der Art des gewählten Modells abhängen (Nabernegg, 2021). Studien, die primär die ausgabenseitigen Effekte von CO₂-Steuern analysieren, kommen generell zu dem Schluss, dass CO₂-Steuern eine regressive Verteilungswirkung entfalten (Eisner et al., 2021). Einkommensschwache Haushalte werden demnach durch die Steuer überproportional belastet. Dies liegt vor allem daran, dass einkommensschwache Haushaltsgruppen einen höheren Anteil ihres Einkommens für emissionsintensive Güter ausgeben. Studien, die auf ähnlichen Modellansätzen wie die vorliegende Studie beruhen und somit zusätzlich die einnahmenseitigen Effekte von CO₂-Steuern berücksichtigen können, zeigen deutlich weniger regressive, oder auch progressive Verteilungswirkungen (Nabernegg, 2021; Mayer et al., 2021; Wallenko, 2022). Eine

progressive Ausgestaltung der CO₂-Steuer, wie sie im Szenario JustTransition enthalten ist, würde daher die im Vergleich zum Szenario ZeroBasis ohnehin progressivere Gesamtwirkung des Szenarios ZeroTransition weiter verstärken.

Eine Arbeitszeitanpassung nach Präferenz der Bevölkerung in Österreich hätte nach der Studie des Wifo eine gesamtgesellschaftliche Arbeitszeitreduktion um 1,2 Stunden pro Woche zur Folge (Ederer & Streicher, 2023). Diese Arbeitszeitreduktion führt auf der einen Seite zu einer Reduktion des Bruttoinlandsprodukts um 0,5 bis 1%, während auf der anderen Seite die Arbeitslosigkeit um 1 bis 2% sinkt. Das Ergebnis, dass eine Arbeitszeitreduktion einen positiven Effekt auf Arbeitslosigkeit hat, zeigen auch weitere Studien (Raposo & Van Ours, 2010). Andere Studien, die eine Reduktion der Arbeitszeit auf ihre Wirkung auf das Bruttoinlandsprodukt untersuchen, kommen zu dem Ergebnis, dass eine Arbeitszeitreduktion ebenso zu einer Erhöhung des Bruttoinlandsprodukts führen kann, da sie zu einer Senkung der Arbeitslosigkeit führt und dies wiederum netto-positive Wertschöpfungseffekte zur Folge haben kann (Du et al., 2013).



4. Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Die im Rahmen dieser Studie durchgeführte Analyse verschiedener Klimaneutralitätsszenarien für Österreich zeigt, dass weitreichende Veränderungen in vielen Bereichen des Wirtschaftssystems und der Gesellschaft notwendig sind, um die österreichischen Klimaziele über das Jahr 2030 hinaus zu erreichen. Den analysierten Szenarien liegen unterschiedliche Strategien zur Erreichung der Klimaneutralität zugrunde: Während das Szenario ZeroBasis auf ambitionierte technische Umstellungen und eine weitgehende Elektrifizierung setzt, zielt das Szenario ZeroTransition auf strukturelle Änderungen der Produktionsstrukturen, des Konsumverhaltens und letztlich auf umfassende Reduktionen des Energiebedarfs ab. Darüber hinaus unterscheiden sich die Szenarien auch deutlich hinsichtlich der Energiebereitstellung. Im Szenario ZeroTransition wird der inländische Energiebedarf durch einen ambitionierten Ausbau erneuerbarer Energien gedeckt, mit dem Ziel einer Netto-Null-Energieaußenhandelsbilanz im Strommarkt. Im Szenario ZeroBasis hingegen werden große Teile der benötigten Energie, auch Strom, durch Importe bereitgestellt. Die relativ hohe Abhängigkeit von Strom- und Wasserstoffimporten ist klimapolitisch nur dann sinnvoll, wenn die jeweiligen Handelspartner ebenfalls die Ziele der EU und eine rasche Klimawende anstreben. Der hohen Integration in den internationalen Energiemarkt stehen natürlich auch Risiken gegenüber. Hervorzuheben ist in diesem Zusammenhang die auch aus ökonomischer Sicht geringere Resilienz der heimischen Wirtschaft gegenüber inter-

nationalen Preisentwicklungen, wie die aktuelle Energiekrise gezeigt hat. Daraus werden die Vorteile und die Risikominderung ersichtlich, die sich durch eine konsequente Umsetzung von Maßnahmen in Österreich ergeben, die auch auf die Reduktion der Gesamtenergienachfrage abzielen. Wie hier gezeigt wurde, führt ein solches Szenario insgesamt zu höherer Beschäftigung und Wohlfahrt.

Beide Szenarien untermauern, dass zur Erreichung der Klimaziele weitreichende Maßnahmen im Energiebereich u.a. der Ausbau von erneuerbaren Energieträgern und der bestehenden Stromnetze notwendig sein werden. Um die zahlreichen Herausforderungen zu bewältigen, ist eine klare Planung notwendig. Die Studie zeigt sehr deutlich, dass sich eine dekarbonisierte und de-

fossilisierte Wirtschaft und Wohlfahrtsgewinne nicht ausschließen, bei kluger Gestaltung einander vielmehr bedingen. Hervorzuheben ist insbesondere, dass Energieeffizienzsteigerungen und vor allem Reduktionen der Energienachfrage, z.B. durch kreislauforientierte Prozesse, nicht nur Emissionsreduktionen, sondern auch positive Wertschöpfungseffekte mit sich bringen. Eine weitgehende Umstellung der Produktion auf arbeitsintensivere und im Gegenzug materialsparende Produktionsformen führt nicht nur zu einer Verringerung des Materialverbrauchs, sondern auch zu positiven Wertschöpfungseffekten. Darüber hinaus ergeben sich durch die Verlagerung zu arbeitsintensiveren Prozessen positive Verteilungseffekte, da Haushalte mit geringerem Einkommen überproportional von höheren Löhnen profitieren.



5. Quellenverzeichnis

Armington, P. S. (1969). A Theory of Demand for Products Distinguished by Place of Production (Une théorie de la demande de produits différenciés d'après leur origine) (Una teoría de la demanda de productos distinguiéndolos según el lugar de producción). Staff Papers (International Monetary Fund), 16(1), 159–178. <https://www.elibrary.imf.org/downloadpdf/journals/024/1969/001/article-A007-en.xml>

Bachner, G., Bednar-Friedl, B., Nabernegg, S., & Steininger, K. W. (2015). Economic Evaluation Framework and Macroeconomic Modelling. In K. W. Steininger, M. König, B. Bednar-Friedl, L. Kranzl, W. Loibl, & F. Pretenthaler (Eds.), *Economic Evaluation of Climate Change Impacts* (pp. 101–120). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-12457-5_7

Bachner, G. (2017). Assessing the economy-wide effects of climate change adaptation options of land transport systems in Austria. *Regional Environmental Change*, 17, 1–12. <https://doi.org/10.1007/s10113-016-1089-x>

Boßmann, T., & Staffell, I. (2015). The shape of future electricity demand: Exploring load curves in 2050s Germany and Britain. *Energy*, 90, 1317–1333. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.06.082>

Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK). (2023).

Integrierter österreichischer Netzinfrastrukturplan-Entwurf zur Stellungnahme. <https://www.bmk.gv.at/themen/energie/energie-versorgung/netzinfrastrukturplan.html>

Du, Z., Yin, H. & Zhang, L. (2013). The macroeconomic effects of the 35-h workweek regulation in France. *The B.E. Journal of Macroeconomics*, 13(1), 881-901. <https://doi.org/10.1515/bejm-2012-0073>

Ederer, S., & Streicher, G. (2023). Makroökonomische Effekte einer Arbeitszeitanpassung in Österreich. WIFO Studies.

Eisner, A., Kulmer, V., & Kortschak, D. (2021). Distributional effects of carbon pricing when considering household heterogeneity: An EASI application for Austria. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2021.112478>

Frontier Economics & Austrian Institute of Technology (AIT). (2022). Der volkswirtschaftliche Wert der Stromverteilnetze auf dem Weg zur Klimaneutralität in Österreich. https://oesterreichsenergie.at/fileadmin/user_upload/Oesterreichs_Energie/Publikationsdatenbank/Studien/2022/Frontier_AIT-OE-Wert_der_Stromverteilnetze-Policy_Paper-Langfassung-28012022.pdf

Gsell, M., Dehoust, G., Hülsmann, F., Brommer, E.,

Cheung, E., Förster, H., ... & Zandonella, R. (2015). Nutzen statt Besitzen: Neue Ansätze für eine Collaborative Economy. Umweltbundesamt.

International Institute for Sustainable Development (IISD) & SITRA. (2020). Effects of the Circular Economy on Jobs. <https://www.iisd.org/system/files/2020-12/circular-economy-jobs.pdf>

IPCC. (2023). Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Genf, Schweiz, 1-34. <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001>

Krenek, A., & Schratzenstaller, M. (2017). Sustainability-oriented future EU funding: A european net wealth tax. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:157834278>

Mayer, J., Dugan, A., Bachner, G., & Steininger, K. W. (2021). Is carbon pricing regressive? Insights from a recursive-dynamic CGE analysis with heterogeneous households for Austria. *Energy Economics*, 104, 105661. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2021.105661>

Oswald, Y., Millward-Hopkins, J., Steinberger, J. K., Owen, A., & Ivanova, D. (2023). Luxury-focused carbon taxation improves fairness of climate policy. *One Earth*. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4199632>

Laubinger, F., Lanzi, E., Chateau, J. (2020). Labour market consequences of a transition to a circular economy: A review paper. *OECD Working Papers* No. 162. <https://dx.doi.org/10.1787/e57a300a-en>

Pfenninger, S., & Pickering, B. (2018). Calliope: A multi-scale energy systems modelling framework. *Journal of Open Source Software*, 3(29), 825. <https://doi.org/10.21105/joss.00825>

Raposo, P. S., & Van Ours, J. C. (2010). How a reduction of standard working hours affects employment dynamics. *De Economist*, 158, 193-207. <https://doi.org/10.1007/s10645-010-9142-5>

Seim, D. 2017. „Behavioral Responses to Wealth Taxes : Evidence from Sweden.“ *American Economic Journal: Economic Policy*, 9 (4): 395-421. <https://doi.org/10.1257/pol.20150290>

Statistik Austria. (2008). ÖNACE 2008. https://statistik.at/KDBWeb/kdb_Einstieg.do?NAV=DE

Statistik Austria. (2014). Air emission accounts 2014. <https://statistik.gv.at/statistiken/energie-und-umwelt/umwelt/luftemissionsrechnung>

Steininger, K. W., Alaux, N., Glas, N., Hoff, H., Kueschnig, M., Kulmer, V., Mestel, R., Nabernegg, S., Ochs, F., Passer, A., Salomon, M., Sanvito, F., Streicher, W., Tisovsky, M., Tosatto, A., Trugger, B., Vogel, J., Wallenko, L. (2023). INTEGRATE: Identifying a cross-sector integrated framework and incentive design, distributional and budgetary implications-Summary for Scientific Advisory Board.

Tosatto, A., Ochs, F., Streicher, W., Magni, M., & Venturi, E. (2023). Methodology for the calculation of energy scenarios to achieve carbon neutrality in the building stock. 18th International IBPSA Conference, Shanghai.

Umweltbundesamt (UBA). (2021). Kurzstudie zum Energieeffizienzgesetz. <https://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/rep0772.pdf>

Umweltbundesamt (UBA). (2022). TRANSITION MOBILITY 2040- Entwicklung eines Klima- und Energieszenarios zur Abbildung von Klimaneutralität im Verkehr 2040. <https://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/rep0808.pdf>

Umweltbundesamt (UBA). (2023a). ENERGIE- UND TREIBHAUSGASSZENARIEN 2023. https://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/rep0882_bfz.pdf

Umweltbundesamt (UBA). (2023b). NAHZEITPROGNOSE DER ÖSTERREICHISCHEN TREIBHAUSGAS-EMISSIONEN FÜR DAS JAHR 2022. <https://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/rep0869.pdf>

Nabernegg, S. (2021). Emission distribution and incidence of national mitigation policies among households in Austria. *Graz Economics Papers* 2021-12. <https://ideas.repec.org/s/grz/wpaper.html>

NEFI. (2022). Pathway to industrial decarbonization, Scenarios for the development of the industrial sector in Austria. *New Energy for Industry*. https://www.nefi.at/files/media/Pdfs/NEFI_Szenarienbericht_v15_WHY_Design.pdf

Wallenko, L. (2022). The eco-social tax reform in Austria: economy-wide and distributional effects of a CO₂ tax under a region-specific revenue recycling scheme. *Enlisch (USA)*

Wijkman, A. & Skånberg, K. (2016). The circular economy and benefits for society: Jobs and climate clear winners in an economy based on renewable energy and resource efficiency. *The Club of Rome*. <https://clubofrome.org/wp-content/uploads/2020/03/The-Circular-Economy-and-Benefits-for-Society.pdf>

Anhang

Tabelle A.1:

Endnachfrage nach Energieträgern (energetisch und nichtenergetisch)

<i>Endnachfrage nach Energieträgern in TWh</i>	<i>ZeroBasis</i>	<i>ZeroTransition</i>
Gesamt	317	192
Strom	131	88
Wasserstoff und E-Fuels	78	30
Biomasse	54	36
Umgebungswärme	21	15
Fernwärme	17	21
Andere Treibstoffe (synthetisch, fossil)	11	2
Abfall fossil	5	1

Tabelle A.2:

Sektorale Energienachfrage aufgeteilt nach Energieträgern und Branchen

		<i>LND&FO</i>	<i>BERGB</i>	<i>IND</i>	<i>W&ABFALL</i>	<i>BAU</i>	<i>HANDEL</i>	<i>LANDVERK</i>	<i>VERKS&L</i>	<i>DIENSTL</i>	<i>PRIVHH</i>
ZeroBasis	Strom, Wasserstoff, E-Fuels	4.56	3.78	114.84	1.00	5.70	4.65	8.10	0.68	10.94	47.49
	Gas	0.18	0.19	8.06	0.12	0.62	0.64	0.00	0.00	0.32	1.67
	Fernwärme	0.12	0.00	3.30	0.30	0.19	0.40	0.00	0.00	5.69	8.30
	Andere Treibstoffe (synthetisch, fossil)	0.02	0.00	0.00	0.06	0.14	0.63	0.00	10.23	0.19	0.58
	Biomasse	1.71	0.15	36.50	0.23	1.42	0.23	0.00	0.00	0.63	15.45
ZeroTransition	Strom, Wasserstoff, E-Fuels	3.38	5.24	68.80	0.79	2.59	3.85	4.80	0.13	10.36	26.74
	Gas	0.16	0.00	0.00	0.12	0.74	0.64	0.00	0.00	0.00	0.00
	Fernwärme	0.13	0.00	4.34	0.30	0.18	0.40	0.00	0.00	3.86	10.10
	Anere Treibstoffe (synthetisch, fossil)	0.01	0.00	0.00	0.06	0.19	0.63	0.00	1.54	0.00	0.00
	Biomasse	1.98	0.04	29.60	0.27	0.20	0.26	0.21	0.02	3.96	11.27

PRIVHH- Private Haushalte, **DIENSTL**- Dienstleistungssektoren, **VERKS&L**- Schiffs- und Luftverkehr, **LANDVERK**- Verkehr über Land, **HANDEL**- Handel, **BAU**- Bauwirtschaft, **W&ABFALL**- Wasserbereitstellung und Abfallwirtschaft, **IND**- Industriesektoren, **BERGB**-Bergbau und fossile Extraktion

Tabelle A.3:

Heimische Stromproduktion und Nettoimporte von Strom

	<i>ZeroBasis</i>	<i>ZeroTransition</i>	<i>EAG Ziele 2030</i>
Heimische Stromproduktion in TWh	66	120	77
Nettoimporte von Strom	63	-13	-

Tabelle A.4:

Mix der Stromerzeugung und EAG Ziele 2030

	<i>ZeroBasis</i>	<i>ZeroTransition</i>	<i>EAG Ziele 2030</i>
Heimische Stromproduktion in TWh	66	120	77
davon Wasserkraft	39	48	43
davon Photovoltaik	10	42	13
davon Windkraft	17	30	17
davon Biomasse	0	6	4

Tabelle A.5: Makroökonomische Ergebnisse zu den Netto-Null-Treibhausgas-emissions-Szenarien für die Wertschöpfung und den Konsum

Makroökonomischer Gesamteffekt (relativ zum Basisjahr 2014)				
	Bruttoinlandsprodukt	Produktionswert Gesamt	Privater Konsum	Öffentlicher Konsum
ZeroTransition	1.84	1.80	1.74	2.02
ZeroBasis	1.75	1.84	1.62	1.76
Mengenbezogener Gesamteffekt (relativ zum Basisjahr 2014)				
	Nettogüterumsatz	Bruttogüterumsatz	Privater Konsum	Öffentlicher Konsum
ZeroTransition	1.79	1.74	1.82	1.66
ZeroBasis	1.81	1.88	1.83	1.69

Tabelle A.6:**Makroökonomische Ergebnisse für den Arbeitsmarkt**

	<i>Arbeitslosigkeit</i>	<i>Faktorpreisverhältnis PL/PK</i>
<i>ZeroBasis</i>	5.43 %	2.90
<i>ZeroTransition</i>	1.69 %	3.31

Tabelle A.7:**Makroökonomische Verteilungswirkungen**

<i>Wohlfahrt nach Einkommensquartilen (Relativ zum Basisjahr 2014)</i>		
	<i>ZeroTransition</i>	<i>ZeroBasis</i>
Q1	2.02	1.89
Q2	1.92	1.79
Q3	1.96	1.81
Q4	1.46	1.36
<i>Verfügbares Einkommen nach Einkommensquartilen (Relativ zum Basisjahr 2014)</i>		
	<i>ZeroTransition</i>	<i>ZeroBasis</i>
Q1	2.10	2.04
Q2	2.00	1.93
Q3	2.02	1.95
Q4	1.47	1.44

Tabelle A.8: Sektorale Effekte

	<i>ZeroBasis</i>	<i>ZeroTransition</i>
LND&FO	2.67	2.30
BERGB	1.28	1.35
IND	1.90	1.69
ELE	2.81	2.61
WÄRME	2.69	2.56
GAS	0.47	0.47
W&ABFALL	1.88	1.71
BAU	1.77	1.75
HANDEL	1.82	1.72
LANDVERK	1.93	1.77
VERKS&L	1.86	1.84
DIENSTL	1.86	1.75

Sektorale Effekte dargestellt nach Branchen. **PRIVHH**- Private Haushalte, **DIENSTL**- Dienstleistungssektoren, **VERKS&L**- Schiffs- und Luftverkehr, **LANDVERK**- Verkehr über Land, **HANDEL**- Handel, **BAU**- Bauwirtschaft, **W&ABFALL**- Wasserbereitstellung und Abfallwirtschaft, **GAS**- Gaswirtschaft, **WÄRME**- Bereitstellung von Fernwärme, **ELE**- Stromproduktion, **IND**- Industriesektoren, **BERGB**- Bergbau und fossile Extraktion.

Tabelle A.9: CO₂ Restemissionen

	<i>CO₂-Restemissionen [Mt]</i>
UBA 2022	50.7
ZeroBasis	5.2
ZeroTransition	1.7

Impressum:

Umweltinitiative Wir für die Welt
 Hugo-Portisch-Gasse 1, 1136 Wien
 office@muttererde.at

Grafik: Büro Brauner, Fotos und Icons: © envatoelements.com, S. 3: PV Anlage am Haus des Meeres
 © Christian Fischer/WWF, S. 10: iStockphoto.com