

## Integrierte Modellierung

Hauptaugenmerk in der Modellierung lag auf der Entwicklung eines sektorübergreifenden Bewertungsinstruments (Integrative Economic Evaluation Tool, IEET), das zur **Quantifizierung von Energieflüssen** und zur **Abschätzung der sozioökonomischen Auswirkungen** in den verschiedenen Szenarien geeignet ist. In einem schrittweisen Vorgehen wurde dafür das Energiesystemmodell Euro-Calliope (Pickering et al., 2022) mit dem makroökonomischen Modell WEGDYN-AT (Bachner, 2024) gekoppelt, wie in Abbildung 1 ersichtlich ist.

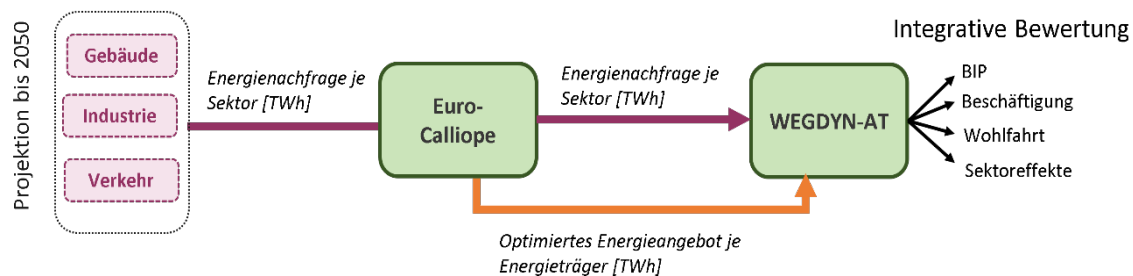


Abbildung 1: Quantitative Modellierung: Kopplung von Energiesystemmodell und makroökonomischem Modell

Ein zentrales Element in der Koppelung der beiden Modelle stellten detaillierte Projektionen zur Energienachfrage in den Fokussektoren Industrie (WP2), Gebäude (WP3) und Verkehr (basierend auf früheren Forschungsprojekten) dar. Diese Projektionen flossen zunächst in das Energiesystemmodell ein, das unter Einbeziehung europaweiter Energieflüsse (hinsichtlich Erzeugung, Umwandlung und Speicherung) und systemweiter Kosten für die Energieerzeugung (Wärme, Elektrizität) einen entsprechenden kostenoptimalen angebotsseitigen Energiemix bestimmte. Euro-Calliope konnte auch verschiedene Restriktionen hinsichtlich der Handelsmöglichkeiten am internationalen Energiemarkt abbilden, um die **Auswirkungen beschränkter Energieimporte (limitiert vs. unlimitiert)** zu identifizieren, die als zusätzliche Dimension zu REF und INT analysiert wurden. Im nächsten Schritt wurden die jeweiligen Ergebnisse zu Energienachfrage und -angebot in das makroökonomische Modell integriert, um die wirtschaftlichen und verteilungspolitischen Auswirkungen zu untersuchen.

Abbildung 2 zeigt den abgeschätzten Energiebedarf (Endenergiebedarf und nicht-energetische Nutzung von Energieträgern) je Sektor in den beiden Szenarien REF und INT im Jahr 2050, sowie einen Vergleich zum Status Quo im Jahr 2022.

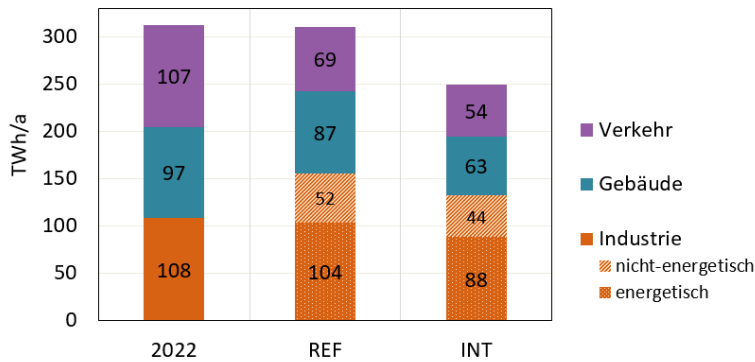


Abbildung 2: Energienachfrage in 2022 sowie in den Szenarien REF und INT 2050. Die Balken beinhalten sowohl den energetischen Endverbrauch (inkl. Umgebungswärme und Solarthermie) als auch den nicht-energetischen Verbrauch von Energieträgern.

Aus Abbildung 2 geht hervor, dass ein Zustand von Netto-Null-Emissionen mit einem **Anstieg in der Energienachfrage in der Industrie** einhergeht, was unter anderem auf den hohen Bedarf an klimaneutral erzeugten Energieträgern wie Wasserstoff und Strom zurückzuführen ist. Dementsprechend ist eine Senkung der Energienachfrage erstrebenswert (Szenario INT), um den Druck auf die heimische Energieerzeugung zu minimieren.

Dies wird noch einmal stärker in Abbildung 3 deutlich, die einen Überblick über die heimische Stromproduktion je Energieträger in den verschiedenen Szenarien gibt. Aus der Abbildung ist ersichtlich, dass die **beschränkte Importmöglichkeit von erneuerbarer Energie** (rechter Abschnitt in Abbildung 3) eine **deutlich höhere heimische Stromerzeugung vor allem im REF-Szenario erfordert**. Während die erforderliche heimische Stromproduktion in REF\_unlimitiert bei 79 TWh/a liegt, steigt sie auf 151 TWh/a in REF\_limitiert. Dies liegt einerseits an der eingeschränkten Verfügbarkeit von Stromimporten aus dem Ausland und andererseits an den relativ hohen Elektrolyseverlusten, die bei der heimischen Erzeugung von grünem Wasserstoff entstehen.

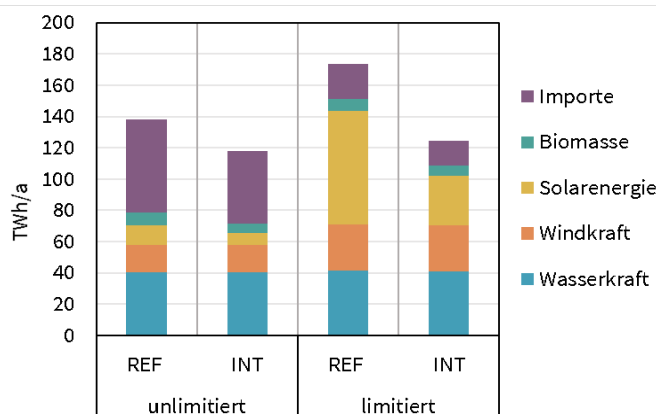


Abbildung 3: Heimische Stromerzeugung in 2050 in REF und INT, je nach Annahme bezüglich des Zugangs zum internationalen Energiemarkt (unlimitiert, limitiert)

Abbildung 4 zeigt schließlich, wie sich diverse makroökonomische Indikatoren im Vergleich zu ihren Niveaus von 2022 in den vier Netto-Null-Zuständen entwickeln.

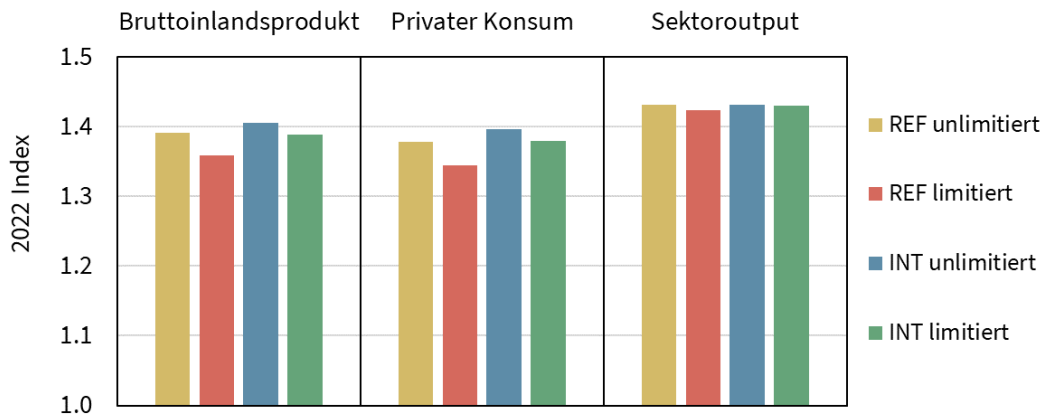


Abbildung 4: Veränderung ausgewählter makroökonomischer Indikatoren (Bruttoinlandsprodukt-BIP, privater Konsum, sektorale Produktion) in den Netto-Null-Szenarien im Vergleich zu 2022. Die abgebildeten Indikatoren beziehen sich auf reale Werte und sind relativ zu ihren Niveaus im Jahr 2022 indexiert.

Aus der makroökonomischen Analyse lässt sich ableiten, dass **zusätzliche Maßnahmen zur Verringerung der Energienachfrage**, wie in INT angenommen, **wirtschaftlich vorteilhaft sind**. Alle abgebildeten Indikatoren liegen in den beiden INT-Szenarien höher als oder gleich hoch wie in den REF-Szenarien, unabhängig von Importbeschränkungen. Darüber hinaus übt die Kombination aus hoher Energienachfrage und begrenzten Importmöglichkeiten (rote Balken) den größten Druck auf das Energiesystem aus und führt somit zu einer vergleichsweise ungünstigen gesamtwirtschaftlichen Lage.

Im Szenario INT (also bei reduzierter Energienachfrage) mit begrenzten Importen hingegen zeigt sich, dass die negativen makroökonomischen Auswirkungen aufgrund der auferlegten Importbeschränkungen durch die Verringerung der Energienachfrage teils ausgeglichen werden können. In INT wird sowohl von höheren individuellen Anstrengungen zur Energiereduktion ausgegangen (geringere Nachfrage nach motorisiertem Individualverkehr, geringerer Heizbedarf) als auch von ambitionierten Maßnahmen zur Stärkung der Kreislaufwirtschaft in der Industrie (vermehrter Einsatz von Stahlschrott, Kunststoffrecycling etc.). Dies führt zu einer Verlagerung in der Vorleistungsnachfrage der Industriesektoren von Energie hin zu einer intensiveren Nutzung von Materialien und Recyclingdienstleistungen. Der **geringere Energiebedarf und der geringere Materialeinsatz pro Produktionseinheit führen zu niedrigeren Produktionskosten**, was sich positiv auf das Bruttoinlandsprodukt (BIP) auswirkt.

### **Schlussfolgerungen und Empfehlungen**

Wohlstand und eine gute Wirtschaftsleistung stehen nicht im Widerspruch zu einem niedrigen Emissionsniveau und geringer Energienachfrage. Zusätzliche Maßnahmen zur **Reduktion der Energienachfrage**, wie sie im INT-Szenario angenommen werden, erweisen sich als **ökonomisch vorteilhaft**. Die makroökonomische Bewertung der verschiedenen Netto-Null-Szenarien zeigt, dass unabhängig von der Einbettung Österreichs in den internationalen Energiehandel relevante Wirtschaftsindikatoren wie BIP, privater Konsum oder sektorale Produktion in beiden INT-Szenarien höher als oder zumindest gleich hoch sind wie in den REF-Visionen. Darüber hinaus zeigt sich, dass vor allem die **Kombination**

**aus hoher Energienachfrage und begrenzten Importmöglichkeiten** einen großen Druck auf das Energiesystem und somit die gesamtwirtschaftliche Leistung mit sich bringt. Im Szenario INT mit geringer Energienachfrage können negative Auswirkungen im Fall von beschränkten Energieimporten in hohem Maß durch den Rückgang der Energienachfrage **kompensiert** werden.

Auf der Grundlage dieser Ergebnisse wird es auch eine wichtige Aufgabe zukünftiger Forschung sein, die zeitliche Dynamik und die damit verbundenen Infrastrukturanforderungen, die zu einem Netto-Null-Zustand bis Mitte des Jahrhunderts führen, genauer zu untersuchen. Darüber hinaus bleiben weitere Details der Frage nach der Höhe der notwendigen Investitionen und inwieweit diese von der öffentlichen Hand bereitgestellt werden sollen, zu klären. Aus den in diesem Projekt gewonnenen Erkenntnissen lässt sich ableiten, dass Österreich eine **fundiertere Strategie bezüglich des Ausbaus erneuerbarer Energien über das Jahr 2030 hinaus** benötigt. Zudem braucht es mehr **Planungssicherheit**, was die Geschwindigkeit der Implementierung neuer Energieträger wie grünen Wasserstoff oder synthetische Kraftstoffe betrifft, damit alle beteiligten Akteur:innen gut in die Transformation eingebunden werden können.