CROSS-SEC

Beyond energy: Integrated cross-sectoral scenarios for reaching climate neutrality in Austria

Programm / Ausschreibung	ACRP, Austrian Climate Research Programme 2024	**Status**	laufend
Projektstart	01.10.2025	**Projektende**	31.03.2028
Zeitraum	2025 - 2028	**Projektlaufzeit**	30 Monate
Keywords	Climate neutrality; modeling; negative emissions; cross-sectoral scenarios		

Projektbeschreibung

Die Europäische Union (EU) strebt an, bis 2050 Klimaneutralität zu erreichen, während der Nationale Energie- und Klimaplan (NEKP) Österreichs vorgibt, dieses Ziel sogar schon 2040 zu erreichen. Nach der Definition der Europäischen Kommission bedeutet das Erreichen von Klimaneutralität, Netto-Null-Emissionen von Treibhausgasen (THG) in Summe über alle Sektoren zu erreichen und anschließend netto-negative Emissionen zu erzielen. Während die Emissionen aus fossilen Brennstoffen in den letzten zwei Jahrzehnten und insbesondere in den letzten Jahren stark zurückgegangen sind, stagnieren die Nettoemissionen in Österreich seit 1990 nahezu. Dies ist auf eine Verringerung der Kohlenstoffsenken im Sektor Landnutzung, Landnutzungsänderungen und Forstwirtschaft (LULUCF) sowie auf anhaltende Emissionen in der Landwirtschaft zurückzuführen.
Ein umfassendes Verständnis der Wechselwirkungen zwischen allen Sektoren ist daher notwendig, um dieses ehrgeizige Klimaziel zu erreichen und erfordert ein über das Verständnis von Energiesystemen hinausgehendes Vorgehen. In Österreich fehlen jedoch derzeit integrierte Szenarien, die zeigen, wie Klimaneutralität erreicht werden kann und dabei alle Sektoren einbeziehen. Dies schränkt das Verständnis der verfügbaren Mitigationsmaßnahmen, ihrer Wechselwirkungen und ihrer relativen Kosten erheblich ein. Derzeit fehlen Informationen für öffentliche und private Entscheidungsträger:innen, um die Auswirkungen alternative Maßnahmen, sowie die dafür nötigen Investitionen, bewerten zu können.

Um diese Forschungslücke zu schließen, entwickelt CROSS-SEC Szenarien zur Erreichung von Klimaneutralität in allen Sektoren bis 2040, wobei Optionen zur Entfernung von Kohlenstoffdioxid in Energiesystemen, Industrie, Landwirtschaft und Forstwirtschaft berücksichtigt werden. Die Szenarien ermöglichen die Identifikation potenzieller Synergien und Zielkonflikte von Minderungsmaßnahmen in Bezug auf Gesamtkosten, Investitionserfordernisse und ausgewählte SDGs zwischen allen Sektoren, unter Berücksichtigung ihrer Wechselwirkungen. Sie helfen zudem, das unklare zukünftige Potenzial von Wäldern als Kohlenstoffsenken oder -quellen und die damit verbundenen Auswirkungen auf das Klimaneutralitätsziel besser zu verstehen. Durch die Einbindung von Stakeholdern wird sichergestellt, dass die Szenarien praktische Fragestellungen beantworten und die von uns entwickelten Transformationspfade in relevanten Institutionen verbreitet werden.
Wir entwickeln integrierte Szenarien, die die Verknüpfungen zwischen allen Treibhausgas (THG)-emittierenden Sektoren erfassen und relevante Annahmen harmonisieren, wie beispielsweise die Nutzung von Biomasse für Energie oder die Ausweitung erneuerbarer Energieanlagen auf landwirtschaftlichen Flächen. Wir bauen explizit auf früheren

Forschungsarbeiten im Rahmen des Austrian Climate Research Programs (ACRP) und anderer Initiativen auf und nutzen in Vorprojekten entwickelte österreichische Szenariendaten. In einem umfangreichen Stakeholder-Dialog werden bestehende Szenarioannahmen aktualisiert, wobei besonderes Augenmerk auf die Verknüpfungen zwischen den Sektoren gelegt wird. Aufbauend auf diese von Stakeholdern entwickelte Systemdefinition werden wir Forschungsfragen ableiten, die durch entsprechende Szenarienentwicklung und Modellauswertungen beantwortet werden.

Zu diesem Zweck kombinieren wir bestehende sektorale Modelle, um die komplexen Interaktionen, Zielkonflikte und Synergien zu adressieren, die für die Erreichung von Klimaneutralität entscheidend sind. Ein zentrales Instrument unseres Ansatzes ist das Energiesystemmodell PyPSA-EUR, das eine detaillierte Modellierung des österreichischen Energiesystems mit hoher zeitlicher Auflösung ermöglicht und den Handel von Energieträgern mit europäischen Nachbarn einbezieht. PyPSA-EUR berücksichtigt auch Industrieemissionen und bietet umfassende Einblicke in die Investitions- und Betriebskosten, die für die Dekarbonisierung im Energiesystem erforderlich sind. Dieses Modell wird mit FAMOS, einem räumlich aufgelösten Modell der österreichischen Landwirtschaft, und dem Forstmodell 3WME gekoppelt, welches das Biomassewachstum und die Kohlenstoffspeicherung in österreichischen Wäldern modelliert. Die Modelle verwenden Klimawandelszenarien als Input, um Klimawandelfolgen und potenzielle Anpassungskosten zu bewerten. Die Modellkopplung erfolgt durch die Ableitung verschiedener Kombinationen von Treibhausgas-, Biomasse- und Strompreisen mit dem daraus resultierenden Biomasseangebot, Agri-PV Flächen, Treibhausgasen und Kohlenstoffspeicherung aus dem Landwirtschaftsmodell sowie Kohlenstoffspeicherung und Biomasseangebot aus dem Forstmodell für jedes Szenario. Diese Kombinationen werden in PyPSA-EUR inkludiert, welches die Gesamtkosten zur Erreichung von Klimaneutralität minimiert.

Unsere Forschung geht in vier zentralen Aspekten über bisherige Arbeiten hinaus: Erstens bieten wir erstmals einen konsistenten Satz von Szenarien zur Erreichung von Klimaneutralität an, der alle relevanten Sektoren, einschließlich Landwirtschaft und Landnutzung, Landnutzungsänderungen und Forstwirtschaft (LULUCF), in den Modellen berücksichtigt. Zweitens bewerten wir umfassend das Potenzial negativer Emissionen, indem wir Kohlenstoffdioxidentfernungsoptionen (CDR) in den Sektoren Energie, Forstwirtschaft und Landwirtschaft miteinander verknüpfen. Drittens bauen wir effizient auf bestehende Szenarien und Stakeholder-Engagement-Prozesse auf und erweitern und verbessern frühere hochrelevante Arbeiten auf integrative Weise. Viertens werden wesentliche Modellupdates in allen Modellen durchgeführt. Das europäische Energiesystemmodell wird an österreichische Bedürfnisse angepasst und insbesondere um Minderungsoptionen aus Landwirtschaft und Forstwirtschaft erweitert. Während dies in früheren Ansätzen bereits versucht wurde, verwenden wir erstmals ein zeitlich hoch aufgelöstes Modell in diesem Kontext, welches eine vollständige Bewertung der Herausforderungen bei der Integration hoher Anteile erneuerbarer Energien ermöglicht. Das landwirtschaftliche Modell wird erweitert, um Investitionskosten von Minderungsoptionen sowie die Landnutzung durch Photovoltaikanlagen zu berücksichtigen. Das Forstmodell wird aktualisiert, um auch Kosten von Minderungsoptionen, insbesondere Kompensationszahlungen für den Verzicht auf Biomasseentnahme, zu berücksichtigen.
Wir werden mehrere Szenarien für 2030 und 2040 modellieren, die durch Fragestellungen der Stakeholder geprägt sind. Unser integrierter Szenarioansatz liefert einen robusten Rahmen für die Entwicklung sektorübergreifender Klimaneutralitätsstrategien und bietet wesentliche Indikatoren wie den Vergleich verschiedener Minderungsoptionen, deren Kosten und den Auswirkungen auf nachhaltige Entwicklungsziele (SDGs). Unsere Forschung unterstreicht die entscheidende Rolle der sektoralen Integration und der Berücksichtigung von negativen Emissionen bei der Bewältigung des Klimawandels und liefert wertvolle Erkenntnisse für Wissenschaft, Politik und Stakeholder auf dem Weg Österreichs zur Klimaneutralität. Wir veröffentlichen die Ergebnisse auf wissenschaftlichen Konferenzen und in Fachzeitschriften und stellen die zugehörige

Modell- und Dateninfrastruktur offen bereit. Zusätzlich zu einem Stakeholder-Workshop werden die Projektergebnisse mittels eines Policy Briefs an relevante Interessengruppen verbreitet und die Öffentlichkeit wird während des Projekts über Bluesky sowie am Projektende über Medien eingebunden.
Das Projekt ist aufgrund der Kopplung verschiedener Sektormodelle und der engen Einbindung von Stakeholdern komplex. Das Konsortium ist aber gut gerüstet, um die damit verbundenen Herausforderungen und Risiken zu bewältigen. Das Konsortium verfügt über mehr als ein Jahrzehnt gemeinsamer Forschungserfahrung, hat erfolgreich in früheren (ACRP-) Projekten und an der Szenariobewertung im zweiten Österreichischen Sachstandsbericht (AAR2) zusammengearbeitet und an der Schnittstelle der drei Sektoren publiziert. Es kann daher auf einen reichen Wissensschatz, Werkzeuge und Prozessmanagementmechanismen zurückgreifen. Das Projektteam besteht zu mehr als 50 % aus Frauen.
Geschlechtsspezifische Auswirkungen der Szenarien werden in der abschließenden Bewertung der Szenarien berücksichtigt.

Abstract

The European Union (EU) aims at achieving climate neutrality by 2050, while Austria’s National Energy and Climate Plan (NECP) states a 2040 target. According to the definition by the European Commission, attaining climate neutrality implies reaching net-zero greenhouse gas (GHG) emissions in all sectors, and net negative emissions afterwards. While in Austria, emissions from fossil fuels have declined over the last two decades and in particular very strongly in recent years, net emissions have almost stagnated since 1990 due to a reduction in carbon sinks from the Land Use, Land-Use Change, and Forestry (LULUCF) sector, and persistent emissions in agriculture. Hence, a comprehensive understanding of interactions among all emitting sectors is necessary to reach the climate neutrality target. Consequently, achieving climate neutrality will require to move beyond understanding energy systems, which has been the main focus of recent scenario building efforts. But such scenarios are currently lacking in Austria, which significantly limits the understanding of available mitigation options, their interactions, and their relative costs. This, in turn, implies that public and private decision makers do not have sufficient information to develop measures required for attaining climate neutrality, or to evaluate the target in terms of investment needs.
To address this research gap, CROSS-SEC provides the first set of scenarios for achieving full climate neutrality across all sectors by 2040, taking into account carbon dioxide removal options in energy systems, agriculture, and forestry. The scenarios allow (i) identifying possible synergies and trade-offs between mitigation measures in terms of total costs, investment requirements, and selected SDGs considering all sectors and the interactions between them, and (ii) understanding the consequences of uncertain future carbon sink potentials in forests for the overall climate neutrality target. Engaging stakeholders from different sectors will improve the understanding of cross-sectoral interactions, ensure the relevance of the scenarios in terms of answering open practical problems, and the dissemination of potential transformation pathways towards climate neutrality in relevant institutions.

We develop integrated scenarios that capture the interlinkages between all GHG emitting sectors and harmonize relevant assumptions, accounting for sector linkages such as biomass use for energy and expansion of renewable energy facilities on agricultural land. We explicitly build on previous research within the Austrian Climate Research Program (ACRP) and other initiatives, using a wealth of existing Austrian sectoral scenario data including stakeholder evaluations. In an extensive stakeholder dialogue, we will update existing scenario assumptions and in particular explore the interlinkages between emitting sectors. Building upon an understanding of these sectoral interlinkages, stakeholders will derive open research questions which will be addressed by corresponding scenario development and model evaluations.
For that purpose, we combine existing models for the energy, industry, agriculture and forestry sectors to address the

complex interactions, trade-offs, and synergies crucial to achieving climate neutrality. A key tool in our approach is the state-of-the-art energy system model, PyPSA-EUR, which enables detailed modeling of the Austrian energy system with high temporal resolution, incorporating energy carrier trade with European neighbors. PyPSA-EUR also includes industrial emissions, providing full insights into the investment and operational costs required for phasing out unabated fossil fuels. This model is coupled with FAMOS, a spatially resolved Austrian farm model, and the forestry model 3WME that evaluates biomass growth and carbon stocks in Austrian forests. Besides modeling mitigation costs, the models also use climate change scenarios as input for assessing climate change impacts and potential adaptation costs. Model coupling is achieved by first running the agricultural and forestry model under different assumptions for prices of greenhouse gas emissions, biomass, and electricity for all scenarios. The resulting combinations of price assumptions and model outputs in terms of biomass supply, greenhouse gas emissions, extent of agri-PV areas and carbon storage are integrated into PyPSA-EUR, where total costs for attaining climate neutrality are minimized.

Our research advances previous work in four key aspects: First, we provide, for the first time, a consistent set of scenarios reaching climate-neutrality, considering all relevant sectors and in particular also including agriculture and land-use, land-use change and forestry (LULUCF) in models. Second, we will comprehensively evaluate negative emission potentials using state-of-the-art sectoral models by linking carbon dioxide removal (CDR) options in the energy, forestry, and agricultural sectors. Third, we build efficiently on existing scenarios and stakeholder engagement processes, therefore extending and improving previous highly relevant work in an integrative way. Fourth, crucial model updates will occur in all models to consistently evaluate variable and investment costs of mitigation measures. The European energy system model will be tailored to Austrian needs, and in particular will be extended to include the mitigation options from agriculture and forestry. While this has been done in previous attempts, we introduce a highly temporally resolved model in this context, allowing for a full evaluation of the challenges of integrating high shares of renewables. The agricultural model will be enhanced to account for investment costs of mitigation options, and for land-use by photovoltaic installations. The forestry model will be updated to also report costs of mitigation options, i.e. in particular compensation payments for not extracting biomass, and harvesting costs.
We will model multiple scenarios for 2030 and 2040, shaped by stakeholder informed research questions. Our integrated scenario approach delivers a robust framework for developing cross-sectoral climate neutrality strategies, offering critical indicators for comparing different mitigation options including their costs, and impacts on sustainable development goals (SDGs). This research highlights the crucial role of sectoral integration and negative emissions in addressing climate change, providing valuable insights for academia, policymakers, stakeholders, and representatives from emitting sectors as Austria works toward climate neutrality. We will accordingly disseminate the results at scientific conferences, in journal papers, and will provide the associated model and data infrastructure openly. Furthermore, in addition to the stakeholder workshops, we disseminate project results to relevant interest groups with a policy brief and actively engage with the public on Bluesky during the project and by addressing the media at the end of the project.

As different sectoral models are coupled, and scenarios are developed in close interaction with stakeholders, the project is complex. However, the project consortium is well able to deal with the associated challenges and risks. The consortium has more than a decade of joint research experience, has successfully collaborated in previous (ACRP) projects and on scenario evaluation within the second Austrian Assessment Report (AAR2), has published on the interface of the three sectors before, and has a strong professional network including stakeholders from all relevant sectors. It, therefore, can benefit from a wealth of common knowledge, tools, and process management mechanisms. The project team consists of more than 50% of

women, and gender-specific impacts of scenarios will be addressed in the final evaluation of the scenarios.

Projektkoordinator

- Universität für Bodenkultur Wien Institut für Nachhaltige Wirtschaftsentwicklung

Projektpartner

- Bundesforschungs- und Ausbildungs- zentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft
- Universität Graz Institut für Umweltsystemwissenschaften