

CO₂-NEUTRALITÄT IM ÖSTERREICHISCHEN ENERGIESYSTEM 2040 – EIN EXERGIEBASIERTER ANSATZ

Thomas KIENBERGER¹, Peter NAGOVNAK¹, Lisa KUEHBERGER¹, Roberta
CVETKOVSKA¹, Christoph SEJKORA¹

Einleitung

Mit dem Regierungsprogramm „Aus Verantwortung für Österreich“ bekennt sich die österreichische Bundesregierung zur Klimaneutralität im Jahr 2040 [1]. Im Vergleich zu den Zielen z.B. der Europäischen Union, die auf 2050 ausgerichtet sind [2], nehmen wir damit eine Vorreiterrolle ein, die u.a. zu Chancen im Bereich der Technologieexporte oder im Bereich regionaler Wertschöpfungskreisläufe führen kann. Da die Primärenergieversorgung Österreichs heute noch zu rund 65% auf fossilen Energieträgern beruht, ist jedoch zur Zielerreichung ein rascher und großflächiger Umbau des Energiesystems vorzusehen. Dabei ist zudem zu berücksichtigen, dass die technischen Potentiale der erneuerbaren Energieträger in Österreich beschränkt sind: Bei einem Primärenergieeinsatz von ca. 400 TWh/a [3] können aus technischen Potentialen nur maximal ca. 266 TWh/a [4] aus lokalen erneuerbaren Energiequellen abgedeckt werden. Aufgrund dieser Herausforderungen ist es dringend nötig, Maßnahmen zum Ausbau der Erneuerbaren sowie zur Energieeffizienz, sowohl bei Endanwendungs- als auch bei Umwandlungs- und Speichertechnologien zu verstärken. Nur durch die Kombination beider Handlungsfelder kann der Anteil an zu importierender erneuerbarer Energie möglichst geringgehalten werden.

In der gegenständlichen Arbeit stellen wir dazu Ergebnisse eines exergiebasierten Ansatzes vor. Dabei wird für die Betrachtungsjahre 2030 und 2040 jeweils mittels linearer Optimierung der Primärenergieeinsatz zur Deckung der Exergiebedarfe der Nutzenergien (Kategorien: Raumwärme, Nieder- und Hochtemperaturwärme, Traktion, Standmotoren, etc.), minimiert. Mit Hilfe einer zeitlich fein aufgelösten Betrachtungsweise wollen wir damit aufzeigen, wie zukünftige Energiesysteme mit hohen Anteilen an volatilen Erneuerbaren hinsichtlich energieeffizienter Endanwendungs- sowie Umwandlungs- und Speichertechnologien grundsätzlich auszugestaltet sind.

Methodik

Bedarfsseitig wird die Nutzenergie als unterstes Bilanzaggregat herangezogen. Damit können wir durch deren Verbindung mit entsprechenden Endanwendungstechnologien einerseits effizienzoptimale energieträger- und sektorenaufgelöste Endenergiebedarfe bzw. industrielle Gesamtenergiebedarfe (insbesondere in den Sektoren Eisen u. Stahl, Chemie und Zement) ermitteln. Andererseits kann durch die anschließende Integration unterschiedlicher Umwandlungs- und Speichertechnologien das nationale Energiesystem über die gesamte Energieumwandlungskette, vom Nutzenergiebedarf über Endenergie und Sekundärenergie bis zum Primärenergiebedarf, optimiert werden. Zur Abbildung des zeitlichen Verhaltens werden synthetische Lastprofile verwendet.

Zur Modellierung der Aufbringungsseite werden die erneuerbaren Energiequellen Solarenergie, Wind, Wasser, Biomasse und Abwärme, betrachtet. Die Ziele des aktuellen Erneuerbaren Ausbaugesetzes [5], die für das Jahr 2030 gelten, werden linear bis 2040 extrapoliert. Zur Abbildung der zeitlichen Auflösung des jeweiligen Ausbaus werden auf 15-Minuten Basis aufgelöste, energiequellen- und energieträgerspezifische Erzeugungsprofile eingesetzt.

Die Berechnungen zum zeitlich aufgelösten Ausgleich zwischen Bedarf und Aufbringung folgen dabei dem einleitend beschriebenen, exergiebasierten Ansatz. Bilanzzeitraum sind jeweils die Betrachtungsjahre 2030 und 2040, die in einstündige Zeitschritte aufgelöst werden. Zur Berechnung werden zunächst die Nutzenergiebedarfe der genannten Kategorien über Exerriefaktoren in Nutz-Exergien (Useful Exergy Demands - UED) umgerechnet [4]. Bei der nationalen erneuerbaren Aufbringung (NatGP) wird analog vorgegangen: Primärenergie wie Wind, PV oder Biomasse wird

¹ Montanuniversität Leoben, Lehrstuhl für Energieverbundtechnik, Parkstraße 31, 8700 Leoben, Tel: +43 3842 402 5401, E-Mail: evt@unileoben.ac.at, Webaufttritt: <https://evt-unileoben.at/de/>

ohnedies als Exergie betrachtet. Bei ausgebauten Abwärmen kommen entsprechende temperaturabhängige Exerriefaktoren zum Einsatz. Über die anschließende Minimierung der Exerriefverluste ($Loss_{tot}$) werden nun energieeffiziente Endenergie-Technologien mit Umwandlungs- und Speichertechnologien so kombiniert, dass die bilanzielle Summe der exergiebezogenen Importe (im betrachteten Fall Strom- und Gasimporte) möglichst gering sind (vgl. Gl. 1). In diesem Fall minimiert sich der Primärenergiebedarf des betrachteten Systems. [6, 7]

$$\min \quad Ex_{Loss,tot} = Ex_{Sup,tot} - Ex_{UED,tot} = \sum_i Ex_{NatGP,i} + \left(\sum_j Ex_{Imp,j} - \sum_k Ex_{Exp,k} \right) - Ex_{UED,tot} \quad (1)$$

Ergebnisse

In Abb. 2 werden exemplarische Ergebnisse des erklärten exergiebasierten Ansatzes gezeigt. Diese beziehen sich auf das österreichische Elektrizitätssystem 2030 und sehen einen Ausbau der Erneuerbaren gemäß dem Erneuerbaren Ausbaugesetz [5] vor. In Abb. 2 links oben (A) erkennt man die zu erwartenden saisonalen Effekte insbesondere durch Photovoltaik und Wasserkraft. Rechts oben (B) ist die endenergetische Verwendung von Elektrizität dargestellt. Durch den exergieoptimierten Zugang ergeben sich im Vergleich zu heute maßgebliche Zusatzbedarfe, insbesondere durch Elektromobilität und Wärmepumpen. Letztere verursachen naturgemäß Bedarf in den Wintermonaten, der zu Unterdeckungen mit nationalen Erneuerbaren zur Folge hat (C). Diese werden im exergieoptimierten Fall durch nationale KWK-Anlagen gedeckt. In den Sommermonaten entstehen Überdeckungen, wie für den Betrieb von Pumpspeichern, für Prozesswärmepumpen sowie, in geringfügigem Ausmaß, für den Betrieb von Elektrolyseuren verwendet werden (D). Aufgrund der Interaktion des Elektrizitätssystems mit dem Gassystem ergibt sich ein saisonaler Gasbedarf zur Versorgung der GuD-Kraftwerke (C). Darüber hinaus wird Gas in einem exergieoptimierten System insbesondere zur Versorgung von Hochtemperaturanwendungen in der Industrie sowie gewisser Mobilitätsbedarfe (Schwerverkehr) verwendet. Industrielle Abwärmen sowie Abwärmen der GuD-Kraftwerke senken den Primärenergiebedarf für Niedertemperatur-Heizungen im Winter. In Summe kann durch die Optimierung der Exergieeffizienz sowohl in der Endenergieanwendung als auch bei den Energieumwandlungs- und Speicherprozessen der Primärenergieeinsatz von rund 400 TWh/a auf ca. 240 TWh/a gesenkt werden. Trotz allem ist zukünftig mit Importen, vor allem von erneuerbaren Gasen, zu rechnen. Dazu sind robuste Importoptionen zu entwickeln.

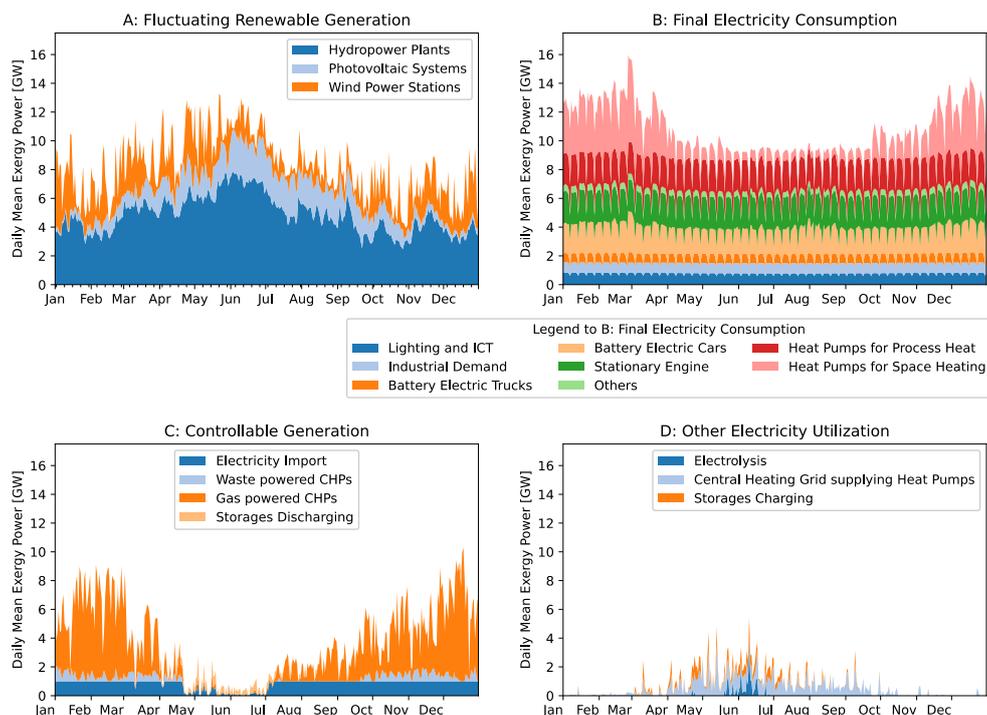


Abbildung 2: Exergieoptimiertes Elektrizitätssystem 2030. Links oben: Elektrizitätsaufbringung aus erneuerbarer Erzeugung, Rechts oben: Endenergiebedarf Elektrizität, Links unten: Aufbringung von Unterdeckungen im elektrischen Energiesystem, Rechts unten: Nutzung von Überdeckungen im elektrischen Energiesystem

Literaturverzeichnis

- [1] BUNDESKANZLERAMT ÖSTERREICH: Aus Verantwortung für Österreich : Regierungsprogramm 2020-2024. Wien, 2020
- [2] EUROPEAN COMMISSION (Hrsg.): The European Green Deal : COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE EUROPEAN COUNCIL, THE COUNCIL, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS. Brussels, 11.12.2019 (COM(2019) 640 final)
- [3] BUNDESMINISTERIUM FÜR KLIMASCHUTZ, UMWELT, ENERGIE, MOBILITÄT, INNOVATION UND TECHNOLOGIE: Energie in Österreich : Zahlen, Daten, Fakten. Wien, 2021
- [4] SEJKORA, Christoph ; KÜHBERGER, Lisa ; RADNER, Fabian ; TRATTNER, Alexander ; KIENBERGER, Thomas: Exergy as Criteria for Efficient Energy Systems—A Spatially Resolved Comparison of the Current Exergy Consumption, the Current Useful Exergy Demand and Renewable Exergy Potential. In: *Energies* 13 (2020), Nr. 4, S. 843
- [5] BUNDESMINISTERIUM FÜR KLIMASCHUTZ, UMWELT, ENERGIE, MOBILITÄT, INNOVATION UND TECHNOLOGIE: Erneuerbaren-Ausbau-Gesetz – EAG) : Entwurf 2021-03-16. 16.03.2021
- [6] SEJKORA, Christoph ; LINDORFER, Johannes ; KÜHBERGER, Lisa ; KIENBERGER, Thomas: Interlinking the Renewable Electricity and Gas Sectors: A Techno-Economic Case Study for Austria. In: *Energies* 14 (2021), Nr. 19, S. 6289
- [7] SEJKORA, Christoph ; KÜHBERGER, Lisa ; RADNER, Fabian ; TRATTNER, Alexander ; KIENBERGER, Thomas: Exergy as criteria for efficient energy systems – Maximising energy efficiency from resource to energy service, an Austrian case study. In: *Energy* 239 (2022), S. 122173