

# Minimierung der Exergieverluste in zukünftigen energieträgerübergreifenden Versorgungssystemen

## Modellierung

Lukas KRIECHBAUM<sup>1(1)</sup>, Christoph SEJKORA<sup>(1)</sup>, Thomas KIENBERGER<sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> Montanuniversität Leoben, Lehrstuhl für Energieverbundtechnik

### Motivation und zentrale Fragestellung

Die Nutzung fossiler Brennstoffe verursacht 68 % der weltweiten anthropogenen CO<sub>2</sub>-Emissionen [1]. Um einem weiteren prognostizierten Anstieg entgegenzuwirken [2] und um die Ziele der COP 21 in Paris zu erreichen [3], sind Primärenergieeffizienzmaßnahmen und eine Substitution von fossilen Energieträgern durch Erneuerbare notwendig [4]. Ein energieträgerübergreifender Ansatz kann zu einer besseren Nutzung der verfügbaren erneuerbaren Energiequellen und der bestehenden Netzinfrastrukturen führen [5].

Exergie ist ein Qualitätsmaß für Energie und beschreibt deren Fähigkeit, Arbeit zu verrichten. Dies ist insbesonders bei der gleichzeitigen Betrachtung unterschiedlichen Energieformen (z.B. Strom, Wärme, etc.) wichtig, da diese unterschiedliche Exergieanteile haben. Mithilfe einer Exergieanalyse kann ermittelt werden, ob die verfügbare Arbeitsfähigkeit eines Energieträgers effizient genutzt wird. Dies unterstützt die zentrale Fragestellung und das Ziel dieser Arbeit: das Aufzeigen möglicher, exergieoptimierter Energieverbunde, die durch energieträgerübergreifende Maßnahmen wie zum Beispiel Kraft-Wärme-Kopplung oder kaskadierte Energienutzung Primärenergieverluste minimieren.

### Methodische Vorgangsweise

Energieträgerübergreifende Modellierungen wurden bisher im Rahmen der Betrachtung von Microgrids [6], virtuellen Kraftwerken [7] oder mithilfe des Energy Hub Ansatzes [8, 9] durchgeführt. In dieser Arbeit wird zur Modellierung das Open Source Optimierungsframework oemof (open energy modelling framework) verwendet, welches auf dem Prinzip der linearen Optimierung fußt [10]. oemof unterstützt die orts- und zeitaufgelöste Modellierung des Strom-, Wärme-, Gas- und Mobilitätssektors. Durch einen generischen Ansatz und ein modulares Design kann es für eine Vielzahl von Aufgabenstellungen, wie zum Beispiel eine exergetische Optimierung, angewendet werden.

Zur geographischen Aggregation wird der zellulare Ansatz verwendet, bei dem sog. Energiezellen als kleinste Ebene des Energieaustauschs verwendet werden. Zur Wahl der Zellengröße orientiert man sich an bestehenden Strukturen des Energiesystems wie z.B. an Gebieten die durch einen Ortsnetztransformator versorgt werden. Wichtig ist, dass die gewählte Zellenstruktur über alle betrachteten Energieträger gleich gehalten wird [11]. Die Energieumwandlung von Energieträger  $\alpha$  in Energieträger  $\beta$  wird durch den Wirkungsgrad  $\eta_{\alpha,\beta}$  beschrieben:  $P_{\beta}^{out} = \eta_{\alpha,\beta} \cdot P_{\alpha}^{in}$ . Für eine Zelle mit mehreren Energieträgern und Umwandlungsaggregaten können diese Gleichungen zur folgenden Matrixschreibweise zusammengefasst werden [12]:

$$\begin{pmatrix} P_{\alpha}^{out} \\ P_{\beta}^{out} \\ \vdots \\ P_{\omega}^{out} \end{pmatrix}_{p^{out}} = \begin{pmatrix} \eta_{\alpha,\alpha} & \eta_{\beta,\alpha} & \cdots & \eta_{\omega,\alpha} \\ \eta_{\alpha,\beta} & \eta_{\beta,\beta} & \cdots & \eta_{\omega,\beta} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \eta_{\alpha,\omega} & \eta_{\beta,\omega} & \cdots & \eta_{\omega,\omega} \end{pmatrix}_C \cdot \begin{pmatrix} P_{\alpha}^{in} \\ P_{\beta}^{in} \\ \vdots \\ P_{\omega}^{in} \end{pmatrix}_{p^{in}}$$

Grundsätzlich besteht Energie besteht aus Exergie  $B$  und aus Anergie  $A$ . Exergie ist jener Teil der Energie, der in Arbeit umgewandelt werden kann, Anergie jener Anteil, der keine Arbeit verrichten kann. Der Exergieanteil  $v_{ex}$  kann durch folgende Gleichung bestimmt werden:

$$B = E \cdot v_{ex}$$

Unterschiedliche Energieformen haben unterschiedliche Exergieanteile. Strom und Gas zum Beispiel sind pure Exergie, bei Wärme hängt sie vom Temperaturniveau des Mediums und dem Temperaturniveau der Umgebung ab. Die in dieser Arbeit verwendeten Exergieanteile sind in Tabelle 1 angeführt.

<sup>1</sup> Franz-Josef-Straße 18, 8700 Leoben, +43 3842 402-5404, lukas.kriechbaum@unileoben.ac.at, evt.unileoben.ac.at

Tabelle 1 Exergienanteile für Strom, Gas und Wärme

	Exergieanteil $\nu_{ex}$	Exergie $\hat{B}$
Strom	1	$P_{el}$
Gas	1	$P_a$
Heat	$(1 - T_{ref}/T)$	$P_h * \nu_{ex,h}$

Der irreversible Exergieverlust  $B^{loss}$  kann als Differenz zwischen ein- und austretender Exergieströme  $B^{in}$  und  $B^{out}$  angeschrieben werden:

$$B^{loss} = B^{in} - B^{out}$$

In einem Energiesystem bestehend aus mehreren Knoten  $H = \{1, 2, \dots, N_H\}$  müssen diese Ströme über alle Energieträger  $\Gamma = \{\alpha, \beta, \dots, N_\Gamma\}$  und Zeitschritte  $T = \{T_s, T_{s+1}, \dots, T_e\}$  aufsummiert werden

$$\begin{aligned} B^{in} &= \sum_{i \in H} \sum_{k \in \Gamma} \sum_{t \in T} B_{i,k,t}^{in} = \sum_{i \in H} \sum_{k \in \Gamma} \sum_{t \in T} E_{i,k,t}^{in} * \nu_k^{ex} \\ B^{out} &= \sum_{i \in H} \sum_{k \in \Gamma} \sum_{t \in T} B_{i,k,t}^{out} = \sum_{i \in H} \sum_{k \in \Gamma} \sum_{t \in T} E_{i,k,t}^{out} * \nu_k^{ex} \end{aligned}$$

Soll ein System ein exergetisches Optimum erreichen, lautet die Zielfunktion der Optimierung wie folgt:  
 $\min(B^{loss})$

Zusätzlich dazu sind noch die Randbedingungen wie beschränkte Erzeugungskapazitäten, minimale und maximale Lasten oder Speicherkapazitäten zu berücksichtigen.

## Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Untersucht wird in dieser Arbeit ein kommunales Energiesystem mit Strom-, Gas- und Wärmeversorgung. Strom- und Gasnetze haben eine Verbindung zum übergeordneten Netz, die Wärme wird lokal produziert. Wind und PV speisen in das Stromnetz ein. Als Flexibilitätsoptionen zum Ausgleich von Erzeugung und Bedarf stehen Strom und Wärmespeicher zur Verfügung. Alle Einspeiser, Verbraucher, Umwandlungsaggregate und Speicher sind in einem Knoten über Sammelschienen miteinander verbunden (siehe Abbildung 1)

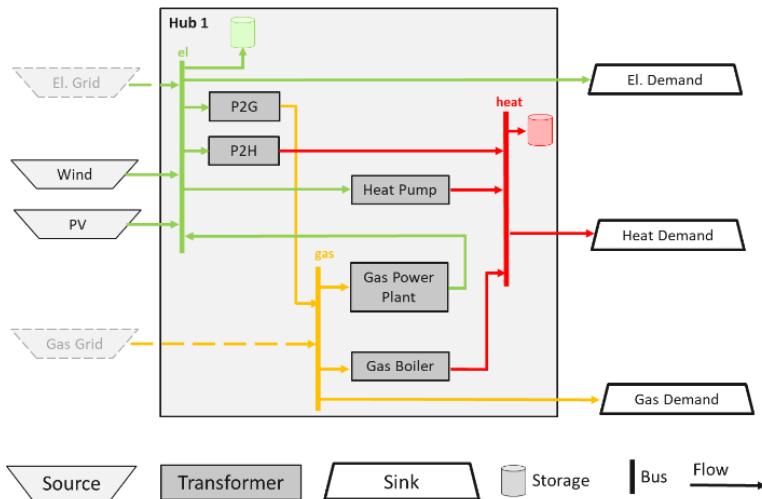


Abbildung 1 Einknoten Energiesystemmodell mit Einspeisern, Umwandlungsaggregaten, Verbrauchern und Speichern

Die Verbraucher werden durch die Verwendung von synthetischen- oder Standardlastprofilen abgebildet. Die Modellierung der Wind- und PV-Einspeisung erfolgt mit Lastprofilgeneratoren [13, 14]. Es wird ein Basisszenario erstellt, welches dem Status Quo einer typischen österreichischen Mittelstadt entspricht. Darauf aufbauend werden weitere Szenarien erstellt, die bei zukünftig erhöhter erneuerbarer Einspeisung und zusätzlichen Speicherkapazitäten exergetische Optima zeigen. Alle Szenarien werden durch Kennzahlen wie Energieeffizienz, Exnergieeffizienz, Eigennutzungsgrade sowie Energie- und Leistungsautarkie bewertet.

## Literatur

- [1] CO2 Emissions from Fuel Combustion 2017. Paris, Lanham: Organization for Economic Cooperation & Development; Rowman & Littlefield Publishers, Incorporated [Distributor], 2017.
- [2] N. S. Lewis and D. G. Nocera, "Powering the planet: Chemical challenges in solar energy utilization," (eng), Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, vol. 103, no. 43, pp. 15729–15735, 2006.
- [3] United Nations Framework Convention of Climate Change, Ed., United Nations Framework Convention on Climate Change: Adoption of the Paris agreement. Paris: United Nations, 2015.
- [4] G. Brauner, Energiesysteme: Regenerativ und dezentral. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2016.
- [5] M. Heimberger et al., "Energieträgerübergreifende Planung und Analyse von Energiesystemen," Elektrotech. Inftech., vol. 134, no. 3, pp. 229–237, 2017.
- [6] B. Morvaj, R. Evins, and J. Carmeliet, "Comparison of individual and microgrid approaches for a distributed multi energy system with different renewable shares in the grid electricity supply," Energy Procedia, vol. 122, pp. 349–354, 2017.
- [7] P. Asmus, "Microgrids, Virtual Power Plants and Our Distributed Energy Future," The Electricity Journal, vol. 23, no. 10, pp. 72–82, 2010.
- [8] M. Geidl et al., "Energy hubs for the future," IEEE Power and Energy Magazine, vol. 5, no. 1, pp. 24–30, <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=4042137>, 2007.
- [9] M. Geidl and G. Andersson, "Optimal Power Flow of Multiple Energy Carriers," IEEE Trans. Power Syst., vol. 22, no. 1, pp. 145–155, 2007.
- [10] S. Hilpert et al., "The Open Energy Modelling Framework (oemof) - A new approach to facilitate open science in energy system modelling," Energy Strategy Reviews, vol. 22, pp. 16–25, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211467X18300609>, 2018.
- [11] B. Böckl, L. Kriechbaum, and T. Kienberger, "Analysemethode für kommunale Energiesysteme unter Anwendung des zellulären Ansatzes," in 14. Symposium Energieinnovation: Energie für unser Europa, Graz, 2016.
- [12] M. Geidl and G. Andersson, "Optimal power dispatch and conversion in systems with multiple energy carriers," in Proceedings of the 15th power system computation conference (PSSC), Liege, 2005.
- [13] I. Staffell and S. Pfenninger, "Using bias-corrected reanalysis to simulate current and future wind power output," Energy, vol. 114, pp. 1224–1239, 2016.
- [14] S. Pfenninger and I. Staffell, "Long-term patterns of European PV output using 30 years of validated hourly reanalysis and satellite data," Energy, vol. 114, pp. 1251–1265, 2016.