

Modellierung des Lastprofils eines Elektrolichtbogenofens mittels Markov-Ketten

Johannes Dock, Daniel Janz,
Thomas Kienberger

- Vorstellung OxySteel
- Einführung und Motivation
- Methodik
 - Datenanalyse
 - Markov-Ketten
 - Generierung Lastprofile
- Ergebnisse
- Zusammenfassung und Ausblick

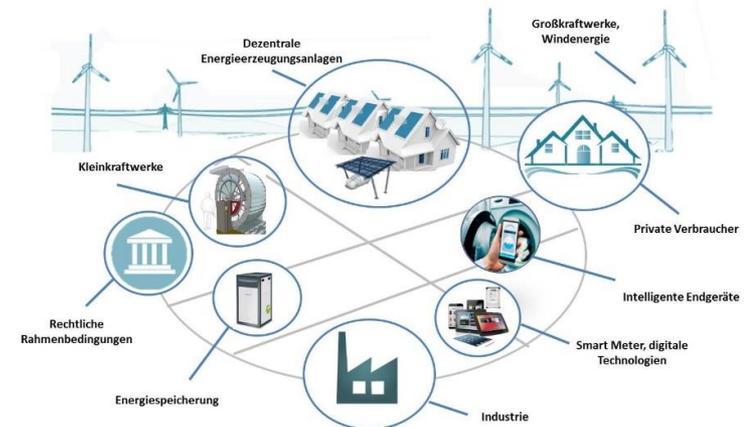
OxySteel

Energieeffizienz und DSM im Elektrostahlwerk



Neue Technologien

- „smart“ Oxyfuel
- Carbon Capture and Utilization
- Integration in bestehendes Energiesystem
- Demonstrationsanlage



Flexibilität

- Industrielles Verbrauchslastprofil
- Demand Side Management
- Speichertechnologien
- Integration Erneuerbarer Energieträger

Einführung und Motivation

- 42 % des Europäischen Stahls mittels Elektrolichtbogenofen (EAF) hergestellt.¹
- Reduktion von Energieeinsatz und CO₂-Emissionen.²
- Einsatz von elektrischer Energie aus erneuerbaren Quellen.
- Chargenprozesse führen zu stark fluktuierenden Energieverbräuchen.

→ Die Kenntnis des Verbrauchslastprofils der einzelnen Verbraucher und des gesamten Werkes ermöglicht

- die energietechnische Optimierung der Betriebsweise,
- die Vorhersage der Belastung des vorgelagerten Netzes, und
- die Identifikation von Flexibilitätsoptionen für den Einsatz erneuerbarer Energieträger und für Demand Side Management.

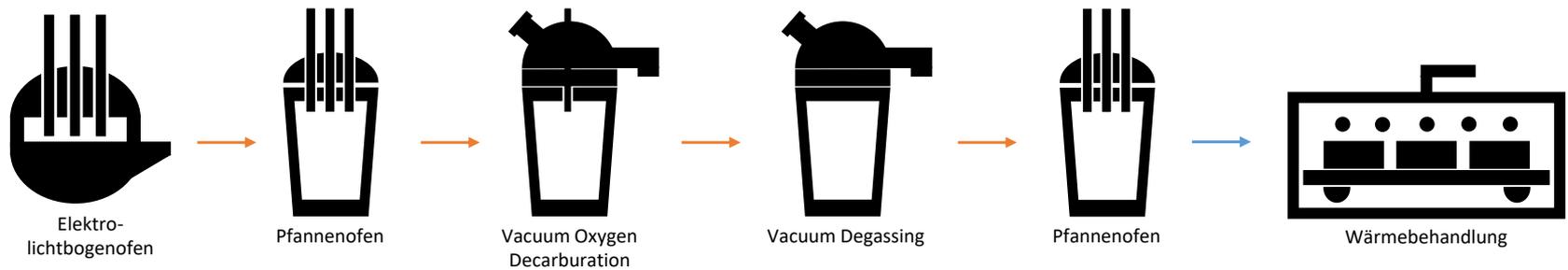
→ Die Simulation von Zukunftsszenarien erfordert den Einsatz von synthetischen Lastprofilen, da sich geänderte Rahmenbedingungen auch auf den zeitlichen Energieverbrauch auswirken.

¹ Eurofer, "European steel in figures," covering 2009 - 2018, Brussels, 2019. Accessed on: Nov. 06 2019.

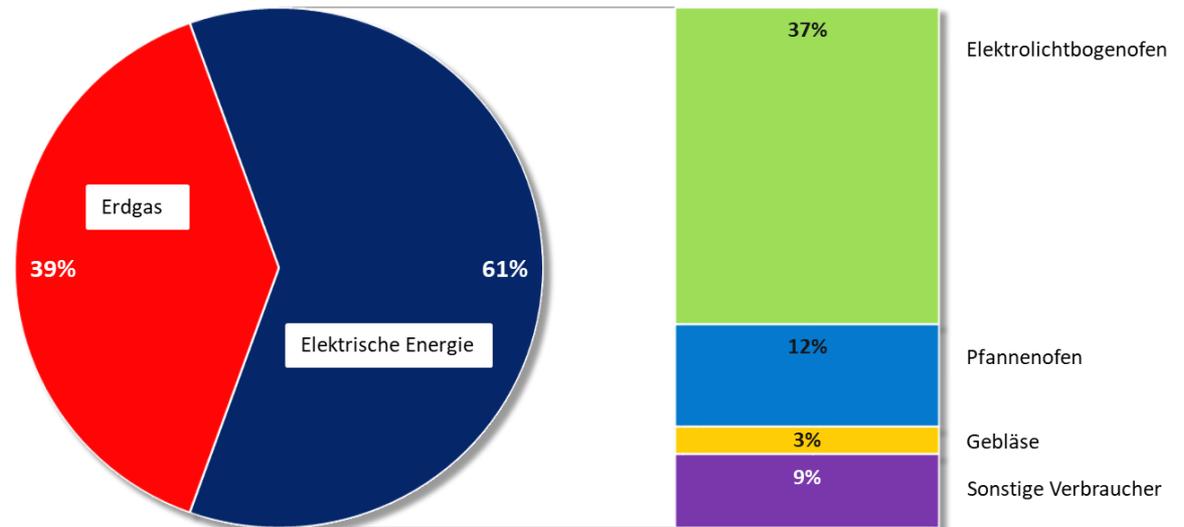
² M. Arens et al., "Pathways to a low-carbon iron and steel industry in the medium-term – the case of Germany," *Journal of Cleaner Production*, vol. 163, pp. 84–98, 2017.

Methodik

Warum Modellierung des EAF?

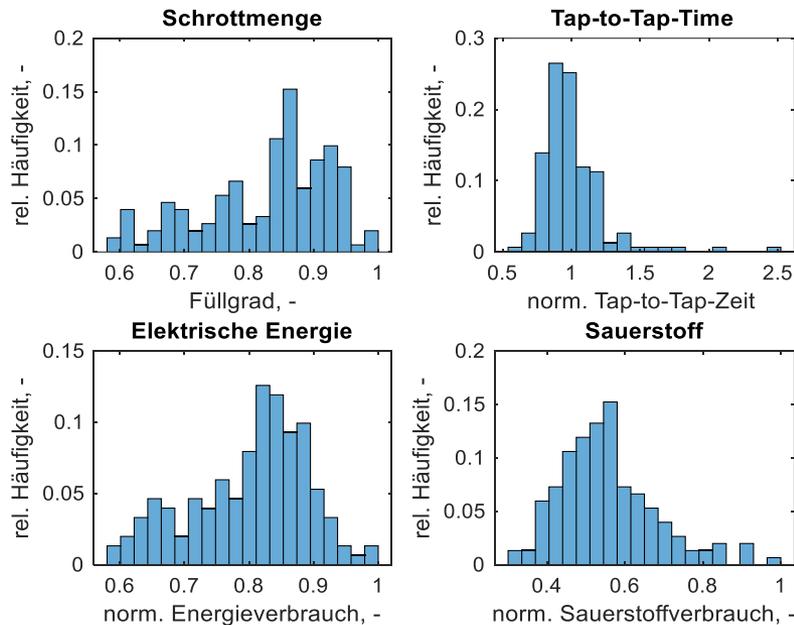


Energieverbrauch



Methodik

Datenanalyse



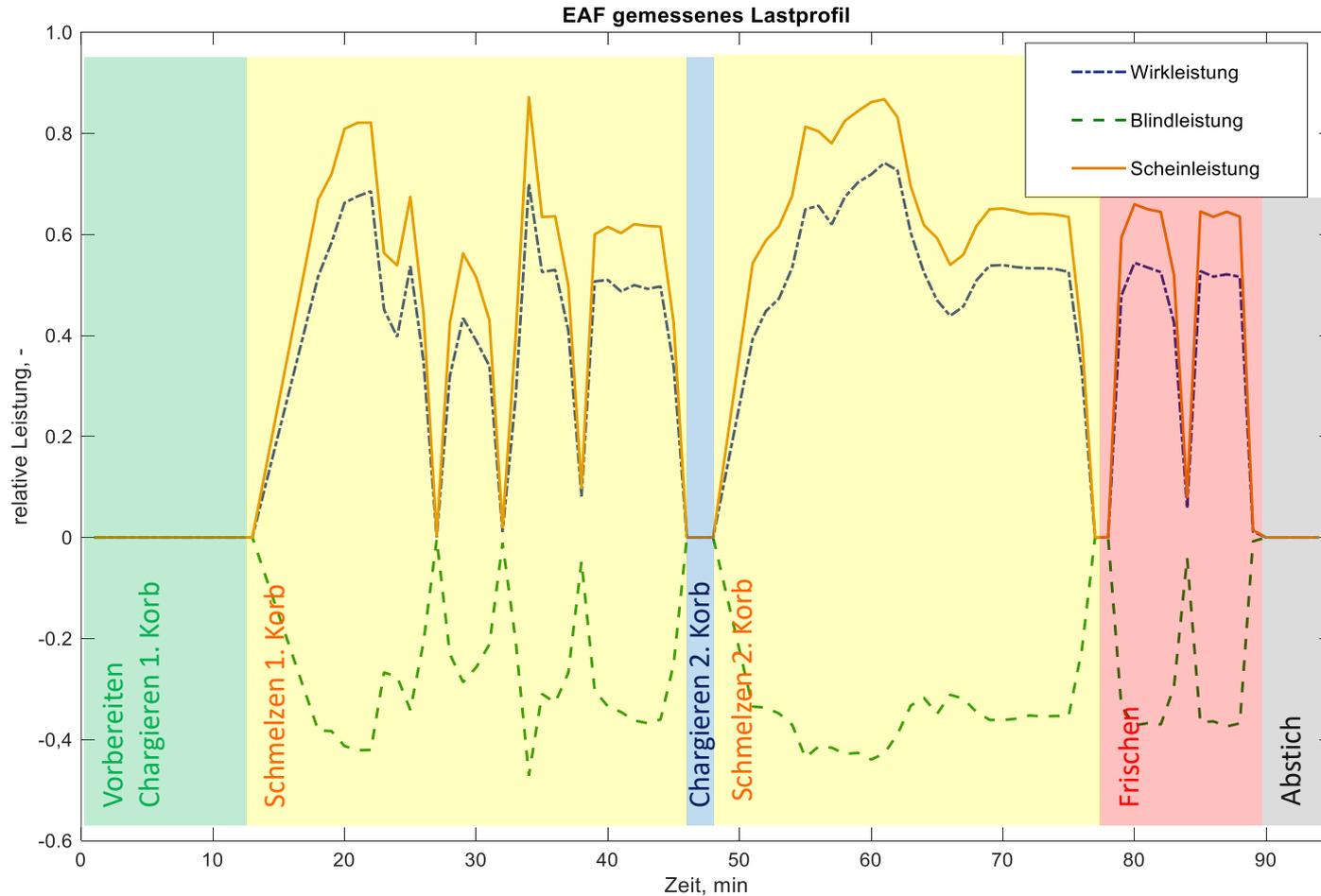
- Elektrischer Energieverbrauch hauptsächlich von chargierter Schrottmenge abhängig.
- Kein direkter Zusammenhang zwischen Sauerstoffmenge und elektrischem Energieverbrauch.
- Tap-to-Tap-Zeiten schwanken beträchtlich und korrelieren nicht mit Schrottmenge oder Energieverbrauch.
- Zeitliches Lastverhalten während der Prozessphasen stochastisch.

→ Berechnung des elektrischen Energieverbrauchs über die chargierte Schrottmenge.

→ Stochastische Modellierung des Verbrauchslastprofils.

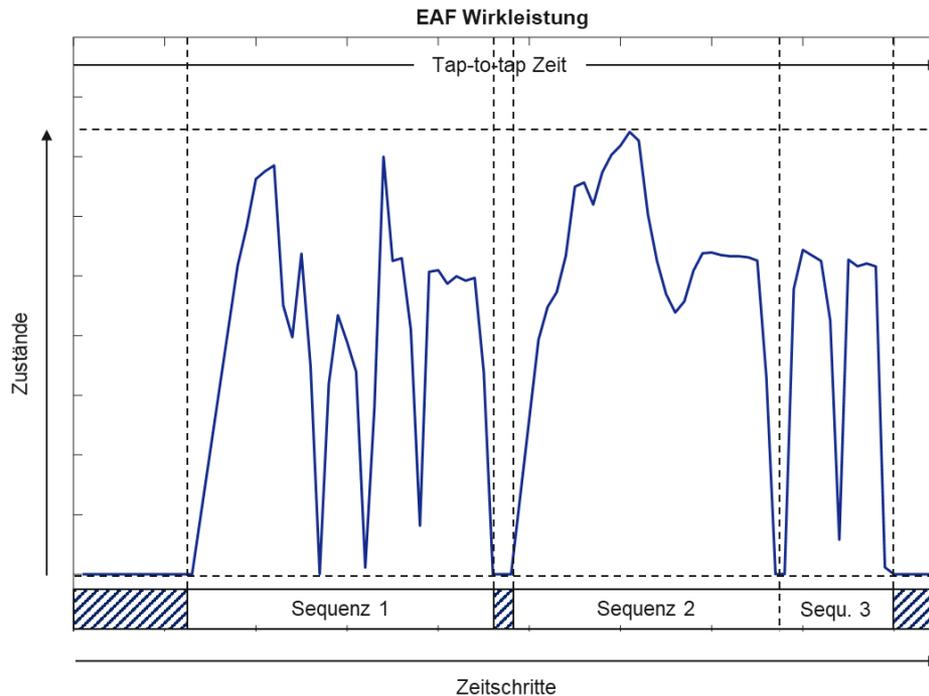
Methodik

Lastprofil des Elektrolichtbogenofens



Methodik

Markov-Ketten



- Betrachtung des physikalischen Prozesses als Aneinanderreihung diskreter Zustände.
- Hängt der Zustand eines Systems im nächsten Zeitschritt ausschließlich vom aktuellen Zustand ab, erfüllt der Prozess die Markov-Eigenschaft.

Modellierung eines Prozesses mittels Markov-Ketten

- In dem beobachteten Prozess gibt es eine bestimmte Wahrscheinlichkeit $p_{ij}(n)$, dass das System im nächsten Zeitschritt in einen anderen Zustand übergeht.
- Anordnung der Wahrscheinlichkeiten in einer Matrix der Form

$$P(n) = \begin{pmatrix} p_{00}(n) & p_{01}(n) & \cdots & p_{0j}(n) & \cdots \\ p_{10}(n) & p_{11}(n) & \cdots & p_{1j}(n) & \cdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ p_{i0}(n) & p_{i1}(n) & \cdots & p_{ij}(n) & \cdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \end{pmatrix},$$

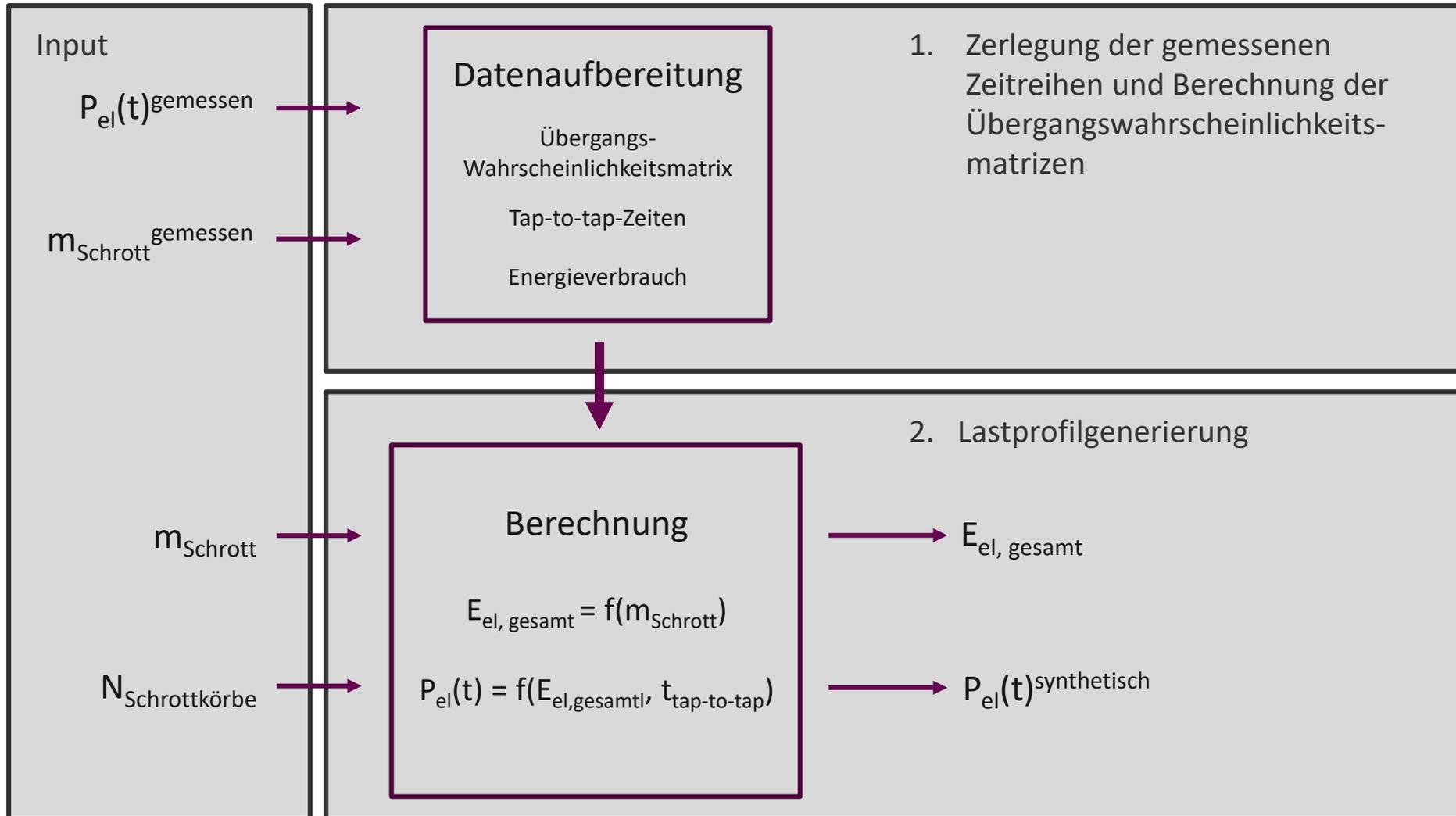
wobei $0 \leq p_{ij}(n) \leq 1$ und für alle i $\sum_{all\ j} p_{ij}(n) = 1$ gilt.

- Kumulierung der Wahrscheinlichkeiten für jede Zeile sodass

$$p_{ij,kum} = p_{ij-1,kum} + p_{ij}.$$
- Festlegung eines Anfangszustandes.
- Ziehen einer Zufallszahl $0 \leq z \leq 1$ und Bestimmung des neuen Zustandes mithilfe der kumulierten Übergangswahrscheinlichkeitsmatrix.³

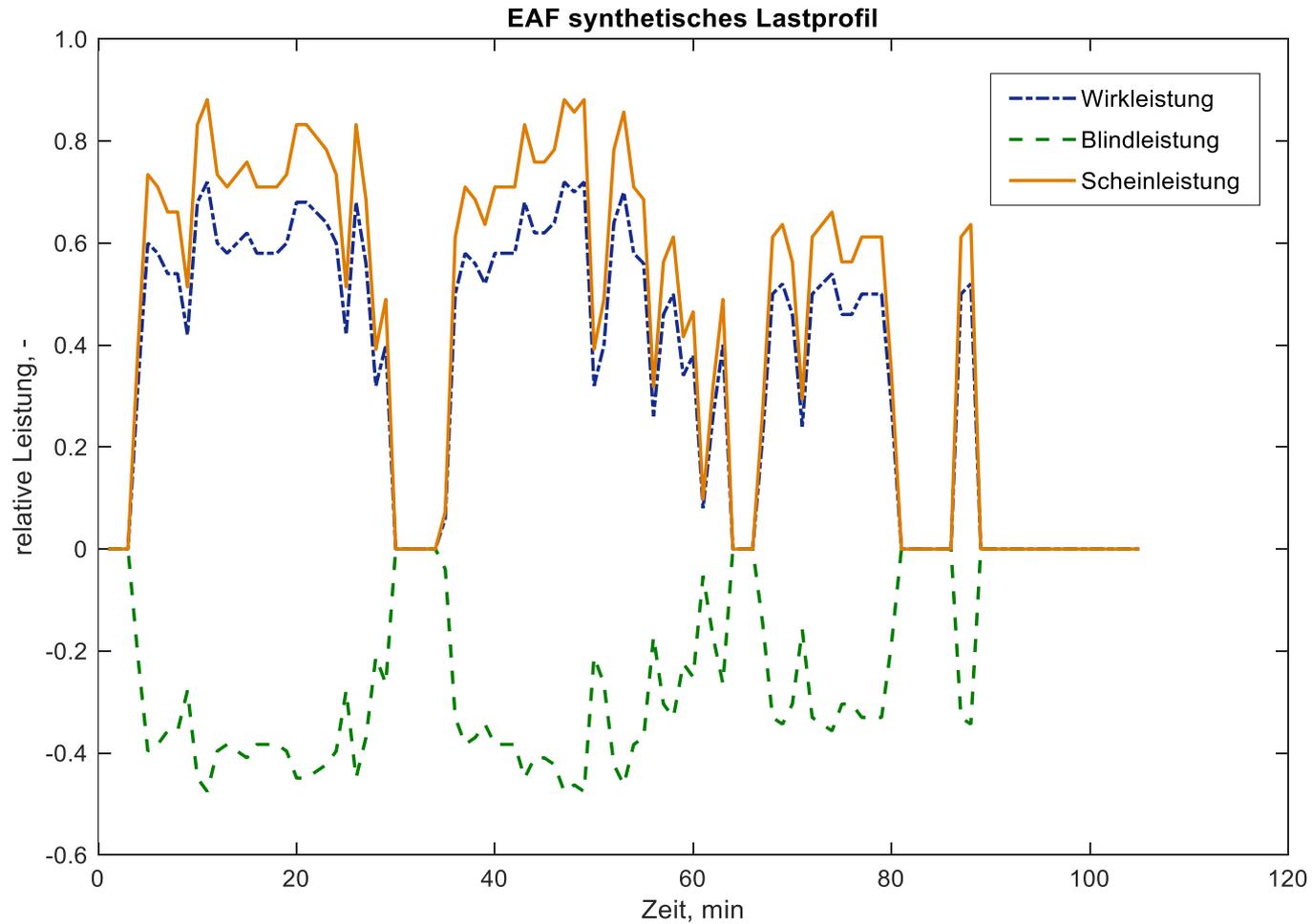
Methodik

Lastprofilerstellung



Ergebnisse

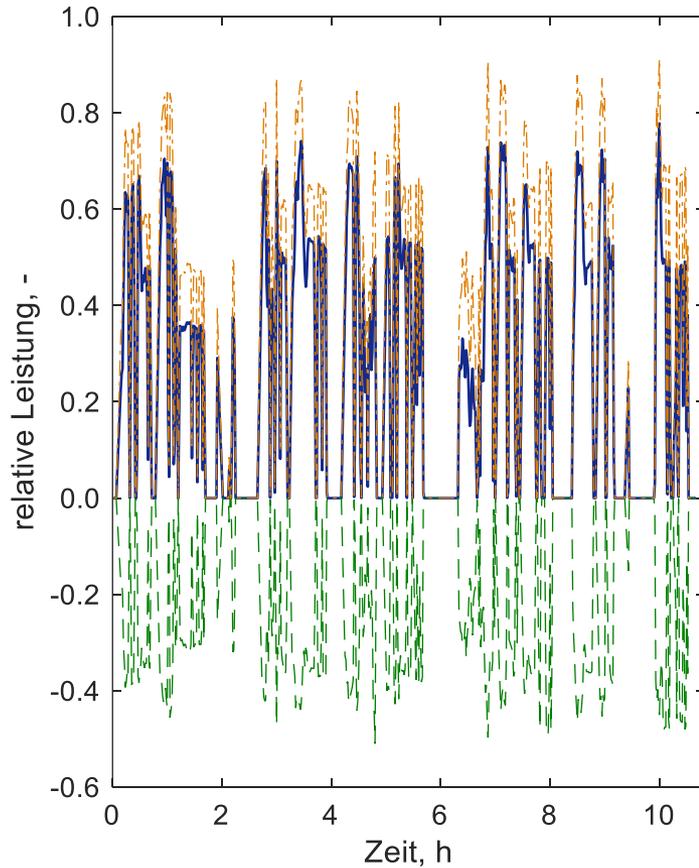
Synthetisches Lastprofil



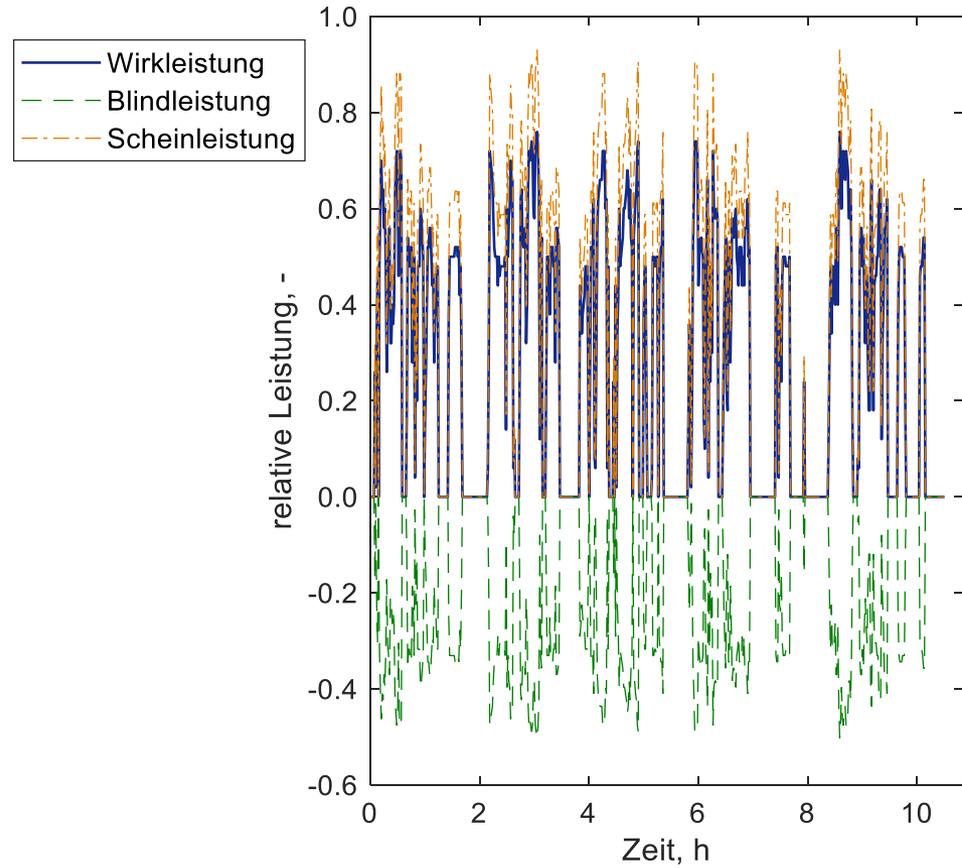
Ergebnisse

Vergleich Lastprofile

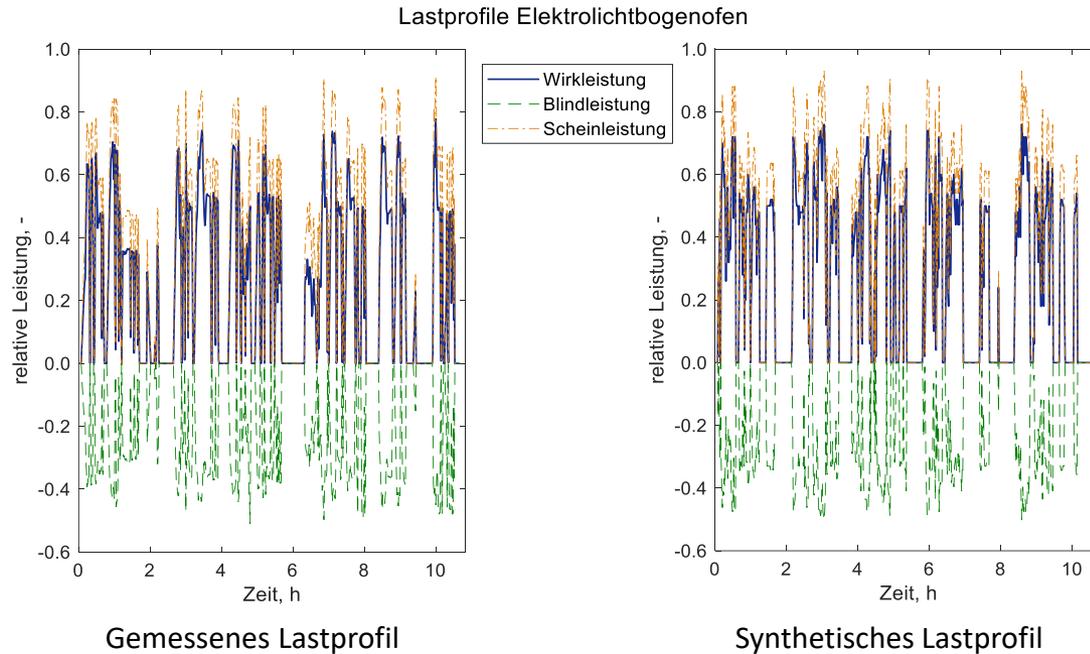
Lastprofile Elektrolichtbogenofen



Gemessenes Lastprofil



Synthetisches Lastprofil



- Viele physikalische Prozesse können als Folge möglicher Zustände beschrieben werden.
- Hängt bei einem stochastischen Prozess der zukünftige Zustand des Systems ausschließlich von seinem aktuellen Zustand ab, handelt es sich um einen Markov-Prozess.
- Für die Entwicklung des Prozesses sind die Übergangswahrscheinlichkeiten entscheidend.
- Markov-Ketten dienen der Modellierung stochastischer Prozesse.

Zusammenfassung und Ausblick

Zusammenfassung

- Modellierung des physikalischen Prozesses als Markov-Kette.
- Die Wirkleistung Beschreibt den Zustand des Systems in jedem Zeitschritt.
- Das vorliegende Modell liefert ein skalierbares, synthetische Lastprofil des betrachteten Elektrolichtbogenofens.
- Das Ergebnis ist synthetisch, spiegelt jedoch realistische Lastverläufe, Energieverbräuche und Tap-to-Tap-Zeiten wieder.

→ Das Modell eignet sich zur Simulation des vorliegenden Energiesystems.

Ausblick

- Implementierung des EAF-Modells in das Energiesystemmodells des Elektrostahlwerkes.
- Einsatz des Energiesystemmodells zur Systemintegration neuer Technologien und zur Simulation der Auswirkungen von Zukunftsszenarien auf das E-Stahlwerk.

Vielen Dank für Ihr Interesse!

