

Methode zur erzeugungsseitigen Optimierung einer energieflexiblen Fabrikinfrastruktur mit thermischen Verbrauchern

Themenbereich 7 – Industrie

Stefan ROTH¹⁽¹⁾, Fabian KRISCHKE¹⁽²⁾⁽³⁾, Stephan CARDA²⁽²⁾, Christian RIESER²⁽²⁾,
Stefan BRAUNREUTHER¹⁽³⁾, Gunther REINHART¹⁽¹⁾

⁽¹⁾ Fraunhofer-Einrichtung für Gießerei-, Composite- und Verarbeitungstechnik IGCV,
Provinstr. 52, 86153 Augsburg, Germany,

⁽²⁾ UPM GmbH, Friedrich-Haindl-Straße 10, 86956 Schongau, Germany

⁽³⁾ Hochschule Augsburg, Fakultät für Maschinenbau und Verfahrenstechnik,
An der Hochschule 1, 86161 Augsburg, Germany

Motivation und Forschungsfrage

Mit dem Übereinkommen von Paris haben die teilnehmenden Staaten im Jahr 2015 vereinbart, den Anstieg der globalen Jahresmitteltemperatur auf deutlich unter 2 °C über dem vorindustriellen Niveau zu begrenzen [1]. Die Bundesregierung von Deutschland verfolgt diese Ziele mit ambitionierten Maßnahmen, wie der Senkung des Primärenergieverbrauchs und dem Ausbau der erneuerbaren Energieerzeugung [2]. Durchschnittlich stammen heute über 35 Prozent der elektrischen Energie in Deutschland aus regenerativen Energiequellen. Der Anteil soll bis 2035 auf über 55 Prozent und bis 2050 auf über 80 Prozent steigen [3]. Im Gegensatz zu den konventionellen Kraftwerken erfolgt die Stromerzeugung durch erneuerbare Erzeugungsanlagen meist sehr volatil. Durch begrenzte Speichermöglichkeiten muss das Energiedargebot mit der Energienachfrage ständig im Gleichgewicht sein. Zukünftig werden neben dem wirtschaftlichen Energieeinsatz auch die Fähigkeit eines Energiesystems zur flexiblen Arbeitsweise sowie die Nachhaltigkeit des eingesetzten Primärenergieträgers entscheidend sein [4]. In Industrieprozessen wird ein Großteil der Energie für Prozesswärme benötigt. Im Jahr 2015 hatte die Prozesswärme einen Anteil von rund 65 Prozent am gesamten Endenergieverbrauch der deutschen Industrie [5]. Durch Sektorkopplung ist es möglich, die benötigte thermische Energie mit einem energieflexiblen Bereitstellungsprozess zu kombinieren. In dieser Arbeit wird eine Methode zur Optimierung der Energieerzeugung unter Berücksichtigung volatiler Energiemärkte und des thermischen Energiebedarfs industrieller Unternehmen vorgestellt.

Stand der Wissenschaft

In der Wissenschaft gibt es eine Vielzahl von Ansätzen, die sich mit der energieflexiblen Betriebsweise von Energieerzeugungsanlagen beschäftigen. Durch die hohe Komplexität der Energiebereitstellung wird im Allgemeinen für die Umsetzung ein Optimierungssystem verwendet. Dabei werden die Studien unter verschiedenen Ansätzen betrachtet. In den Studien von Helin et al. [6], Kwag et al. [7] und Marshman et al. [8] wird neben der energieflexiblen Erzeugung das Verbraucherverhalten mit aufgenommen und die energieflexible Betriebsweise hinsichtlich verschiedener Strommärkte optimiert. In der Studie von Kumbartzky et al. [9] wird, neben der Optimierung der Betriebsweise, das Bieten an verschiedenen Energiemärkten optimiert. Die vorliegende Arbeit legt den Fokus auf eine energieflexible Bereitstellung von elektrischer Energie und berücksichtigt dabei neben den Gegebenheiten der Strom- und Gasmärkte insbesondere den thermischen Energiebedarf eines produzierenden Unternehmens.

Methodisches Vorgehen

Es wurde ein Optimierungsmodell entworfen, das eine energieflexible Bereitstellung von thermischer Energie erlaubt. Dazu wurden verschiedene Prozesse und Prozesskomponenten analysiert und in Energiebilanzen dargestellt. Ziel der Energiebilanzierung ist es, Energieströme als Ein- und Ausgangsströme darzustellen und dabei lineare Abhängigkeiten der Energieströme zu entwickeln. Durch die Prozessanalyse ist es möglich, ein ganzzahliges Optimierungsprogramm der Form nach Gleichung (1) zu entwickeln.

¹ Fraunhofer-Einrichtung für Gießerei-, Composite- und Verarbeitungstechnik IGCV, Provinstr. 52, 86153 Augsburg, Tel.: +49 821 90678-168, E-Mail: stefan.roth@igcv.fraunhofer.de

$$\begin{aligned} \text{Min}(x) \quad & f(x) := c^T x \\ \text{u. d. N.} \quad & b_L \leq Ax \leq b_U \quad (1) \\ & x_L \leq x \leq x_u \end{aligned}$$

$f(x)$: Zielfunktion
 x : Entscheidungsvariable
 c : Kosten
 T : Zeitschritt
 $x_{L,U}$: Untere und obere Schranke der Entscheidungsvariable
 $b_{L,U}$: Unterer und oberer Funktionswert der Nebenfunktion

Das Optimierungsprogramm wird für eine Sensitivitätsstudie verwendet. Dabei wird nach der in Abbildung 1 dargestellten Vorgehensweise verfahren. In einem Optimierungsmodell wird ein steigendes lineares Renditepotential R modelliert, welches durch ein das Verhältnis von Erlösen zu Kosten wiedergegeben wird. Die Optimierungsstudien werden bei statischen thermischen Energiebedarfen durchgeführt, die sukzessive erhöht werden. Das Ergebnis der Optimierungsstudien sind Lastkurven zur energieflexiblen Bereitstellung der jeweiligen thermischen Energie in Abhängigkeit des Renditepotentials.

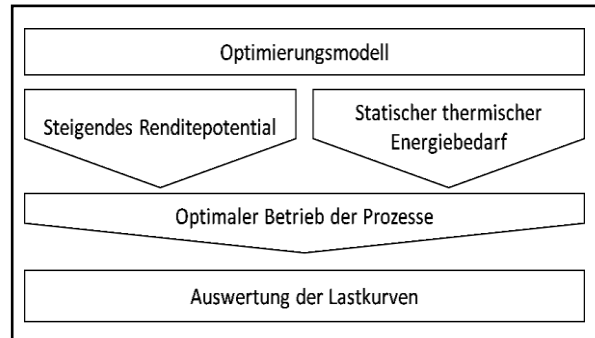


Abbildung 1: Methodische Vorgehensweise

Anwendung am Beispiel eines Papierherstellers

Die Methode wurde bei einem Papierhersteller angewandt. Beim Papierherstellungsprozess wird die thermische Energie in Form von Prozessdampf bei niedrigen Drücken unter Temperaturen von ca. 130°C bereitgestellt. Durch diese Druck- und Temperaturanforderungen eignen sich Gas- und Dampfkraftwerke zur Bereitstellung der thermischen Energie. Im Anwendungsfall wurde ein solches Kraftwerk modelliert und durch Dampfkessel erweitert sowie die marktseitigen Kosten und Erlöse in die Optimierung aufgenommen. Abbildung 2 zeigt die Ergebnisse der Optimierung mit elektrischer Leistung der Erzeugung bei verschiedenen thermischen Energiebedarfen in Abhängigkeit unterschiedlicher Erlös- und Kostenverhältnisse.

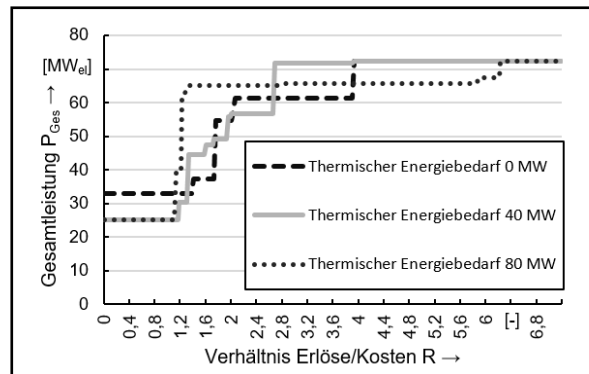


Abbildung 2: Ergebnisse der Optimierungsstudien

Fazit und Ausblick

Die vorgestellte Methode ermöglicht es, die organisatorischen und betriebswirtschaftlichen Entscheidungen zum energieflexiblen Betrieb von Erzeugungsanlagen mit einer mathematischen Modellierung zu unterstützen. Das Modell wurde so gestaltet, dass es in weiterführenden Arbeiten präzisiert und um weitere Marktoptionen ergänzt werden kann.

Literatur

- [1] United Nations, „Pariser Klimaabkommen“.
- [2] Bundesregierung von Deutschland, Energiekonzept für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung, 2010.
- [3] Gesetz für den Ausbau erneuerbarer Energien: Erneuerbare-Energien-Gesetz - EEG 2017, 2014.
- [4] J. Karl, Dezentrale Energiesysteme: Neue Technologien im liberalisierten Energiemarkt, 3. Aufl. München: De Gruyter, 2012.
- [5] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, „Energieeffizienz in Zahlen“, https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/energieeffizienz-in-zahlen.pdf?__blob=publicationFile&v=10.
- [6] K. Helin, A. Kåki, B. Zakeri, R. Lahdelma und S. Syri, „Economic potential of industrial demand side management in pulp and paper industry“, Energy, Jg. 141, S. 1681–1694, 2017.
- [7] H.-G. Kwag und J.-O. Kim, „Optimal combined scheduling of generation and demand response with demand resource constraints“, Applied Energy, Jg. 96, S. 161–170, 2012.
- [8] D. J. Marshman, T. Chmelyk, M. S. Sidhu, R. B. Gopaluni und G. A. Dumont, „Energy optimization in a pulp and paper mill cogeneration facility“, Applied Energy, Jg. 87, Nr. 11, S. 3514–3525, 2010.
- [9] N. Kumbartzky, M. Schacht, K. Schulz und B. Werners, „Optimal operation of a CHP plant participating in the German electricity balancing and day-ahead spot market“, European Journal of Operational Research, Jg. 261, Nr. 1, S. 390–404, 2017.