

MODELLIERUNG VON WÄRMEPUMPEN IN WÄRMENETZEN UND ANALYSE DER AUSWIRKUNGEN AUF DAS DEUTSCHE STROMERZEUGUNGSSYSTEM

Christiane BERNATH¹, Frank SENSFUß¹

Motivation und zentrale Fragestellung

Im Jahr 2015 entfielen über 53 % des deutschen Endenergieverbrauchs auf die Bereitstellung von Nutzwärme in Form von Raumwärme, Prozesswärme und Warmwasser (AGEB 2016). Für die Wärmeerzeugung werden weiterhin vorwiegend fossile Energieträger wie Kohle, Erdöl und Erdgas verbrannt, während der Anteil Erneuerbarer Energien am Endenergieverbrauch im Wärmebereich aktuell bei nur 13 % liegt (BEE 2017). Eine Strategie zur Reduktion des fossilen Brennstoffbedarfs im Wärmesektor ist die Sektorkopplung, welche in diesem Kontext die Nutzung von erneuerbarem Strom für Anwendungen zur Wärmeerzeugung bezeichnet. Die Bereitstellung von Wärme kann generell entweder durch dezentrale Anlagen erfolgen oder über ein Wärmenetz, in welches Wärme von zentral installierten Anlagen eingespeist wird. Der Fokus des vorliegenden Beitrags liegt auf den Wärmenetzen, die für die Dekarbonisierung im Gebäudesektor eine wichtige Rolle spielen und beim Ausgleich der fluktuierenden Erzeugung erneuerbarer Energien einen wichtigen Beitrag zur Flexibilisierung leisten können (Pfluger et al. 2017). Eine Technologie zur Sektorkopplung von Strom und Wärme in Wärmenetzen ist die elektrische Großwärmepumpe, die mit einer hohen Effizienz Wärme auf geringem Temperaturniveau bereitstellen kann. In einigen skandinavischen Ländern wird diese Technologie bereits standardmäßig für die Fernwärmeerzeugung eingesetzt, während sie in Deutschland erst in den letzten Jahren an Bedeutung gewinnen konnte (Wolf et al. 2014). Werden in Wärmenetze Strom-Wärme-Technologien wie Großwärmepumpen integriert, hat der erhöhte Strombedarf Auswirkungen auf die Struktur der Stromnachfrage und auf die Strominfrastruktur. Der zukünftige Beitrag von Wärmenetzen zur Dekarbonisierung des Wärmesektors ist insbesondere bei den ambitionierten Klimaschutzziele für das Jahr 2050 relevant. Hieraus ergibt sich die zentrale Fragestellung dieses Beitrags:

Welche Auswirkungen hat die Integration der neuen Technologie Großwärmepumpe in die Wärmenetze auf die zukünftige Struktur des deutschen Stromerzeugungssystems?

Methodische Vorgehensweise

Das Optimierungsmodell Enertile

Ausgangspunkt für eine modellgestützte Analyse dieser Fragestellung ist das Modell Enertile (www.enertile.eu), welches zur Optimierung des europäischen Elektrizitätssystems eingesetzt wird. Mithilfe des Modells können zu vorgegebenen Rahmenbedingungen kosteneffiziente langfristige Entwicklungspfade zur Dekarbonisierung der Stromversorgung untersucht werden (Pfluger 2014). Für eine größtenteils exogen vorgegebene Stromnachfrage wird der kostenminimale Ausbau und Einsatz von Kraftwerken zur Lastdeckung berechnet, wobei konventionelle Kraftwerke, erneuerbare Energien, Stromnetze und Energiespeicher berücksichtigt werden. Zu den Ergebnissen des Modells zählen der Zubau und der stündliche Einsatz der Kraftwerke und Technologien, sowie die Kosten und CO₂-Emissionen der Energieerzeugung. Im Modell Enertile werden zusätzlich zur detaillierten Abbildung des Stromsektors große Wärmenetze modelliert (Deac 2017). Zur Deckung der exogen vorgegebenen Wärmenachfrage werden in den Wärmenetzen verschiedene Erzeugungsoptionen vorgegeben, die modellendogen zugebaut werden. Dazu zählen Anlagen mit Kraft-Wärme-Kopplung (KWK), fossil befeuerte Heizkessel, Elektroheizkessel und Wärmespeicher. Weiterhin werden Wärmenetze nach der Verfügbarkeit von Kohle als Brennstoff in zwei Kategorien differenziert. Generell kann Kohle oder Erdgas als Brennstoff in den KWK-Anlagen und den fossilen Heizkesseln eingesetzt werden. Die Integration der Großwärmepumpe als Technologieoption in den Wärmenetzen stellt eine relevante Modellerweiterung dar, um die Auswirkungen der Sektorkopplung von Strom und Wärme in Wärmenetzen auf das Stromerzeugungssystem zu analysieren.

¹ Fraunhofer / Institut für System- und Innovationsforschung, Breslauer Straße 48, 76139 Karlsruhe, Tel.: +49 721 6809-257, christiane.bernath@isi.fraunhofer.de, www.isi.fraunhofer.de

Modellierung der Großwärmepumpe

Die Großwärmepumpe wird in Enertile als Luftwärmepumpe modelliert, die als Wärmequelle die Außenluft nutzt. Dies stellt eine konservative Annahme dar, da in der Realität in den verschiedenen Wärmenetzen auch besser geeignete Wärmequellen, wie z. B. Abwärme oder Erdreich, in gewissem Umfang nutzbar sein sollten. Eine methodische Herausforderung bei der Modellierung von Wärmepumpen besteht darin, die variable Effizienz der Wärmepumpe abzubilden. Die Leistungszahl von Wärmepumpen ist als das Verhältnis von erzeugter Wärmeleistung zur eingesetzten elektrischen Leistung definiert und abhängig vom Betriebspunkt. Je geringer die Temperaturdifferenz zwischen Wärmequelle und Heizsystem, desto höher ist die Leistungszahl. Die Effizienz einer Luftwärmepumpe hängt folglich stark von der Temperatur der Außenluft ab und muss im Modell in hoher zeitlicher Auflösung ermittelt werden.

Modellbasierte Szenarioanalyse

Die Auswirkungen der Integration von Großwärmepumpen in Wärmenetze auf die zukünftige Struktur des deutschen Stromerzeugungssystems werden mithilfe einer modellbasierten Szenarioanalyse untersucht. Dazu werden die Ergebnisse von zwei Szenarien gegenübergestellt, die sich in der Verfügbarkeit der Großwärmepumpe als Technologieoption unterscheiden. Weiterhin werden Sensitivitätsrechnungen durch Variation relevanter Parameter durchgeführt. Folgende Fragestellungen werden für die Auswertung der Ergebnisse herangezogen:

- Welche Auswirkungen hat die Integration der neuen Technologie Großwärmepumpe in die Wärmenetze auf die Deckung der Wärmenachfrage?
- Welchen Einfluss hat dies auf die Struktur des Kraftwerksparks und wie verändern sich dadurch die Gesamtkosten der Stromerzeugung und die CO₂-Emissionen?
- Welche Auswirkungen hat die Großwärmepumpe auf die Entwicklung der KWK?

Ergebnisse

In den Modellergebnissen für das Jahr 2050 zeigen sich starke Unterschiede in den Wärmenetzen im Hinblick auf die Anteile der Großwärmepumpe an der Deckung der Wärmenachfrage. So wird die Großwärmepumpe in Wärmenetzen mit Zugang zu Kohle als Brennstoff nur wenig zur Wärmeerzeugung eingesetzt. In Wärmenetzen ohne Kohlezugang deckt die Großwärmepumpe über 50 % der Wärmenachfrage und verdrängt somit einen Teil der erdgasbasierten Wärmeerzeugung.

Literatur

- [1] AGEB (Hg.) (2016): Anwendungsbilanzen für die Endenergiesektoren in Deutschland in den Jahren 2013 bis 2015. AG Energiebilanzen e.V. Berlin.
- [2] BEE (Hg.) (2017): Trend-Prognose und BEE-Zielszenario. Entwicklung der Erneuerbaren Energien bis 2020. Bundesverband Erneuerbare Energie e.V. Berlin.
- [3] Deac, Gerda (2017): Auswirkungen der Kopplung von Strom- und Wärmemarkt auf die künftige Integration der Erneuerbaren Energien und die CO₂-Emissionen in Deutschland. Dissertation. unveröffentlicht.
- [4] Pfluger, Benjamin (2014): Assessment of least-cost pathways for decarbonising Europe's power supply. A model-based long-term scenario analysis accounting for the characteristics of renewable energies. Zugl.: Karlsruher Institut für Technologie, KIT, Diss., 2013. Karlsruhe: KIT Scientific Publishing.
- [5] Pfluger, Benjamin; Tersteegen, Bernd; Franke, Bernd et al. (2017): Langfristszenarien für die Transformation des Energiesystems in Deutschland. Studie im Auftrag des BMWi. Hg. v. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung; Consentec GmbH; Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg.
- [6] Wolf, Stefan; Fahl, U.; Blesl, M.; Voß, A.; Jakobs, R. (2014): Analyse des Potenzials von Industriewärmepumpen in Deutschland. Hg. v. Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER), Stuttgart.