

# Erzeugung von Fernwärmelastgängen aus Temperaturprofilen

Jochen Conrad, Tobias Schmid und Christoph Pellingner

*Auf dem Weg zu einem emissionsärmeren Wärmeversorgungssystem spielt die Fernwärme eine wichtige Rolle. Sie ermöglicht die Wärmeversorgung durch hocheffiziente Technologien und erneuerbare Energien in Regionen mit hoher Siedlungsdichte und die Deckung des Wärmebedarfs von Industriegebieten. Die Potenziale der Fernwärme können auf der Basis von Lastgängen ermittelt werden. Um diese deutschlandweit zu bestimmen, hat die Forschungsstelle für Energiewirtschaft (FfE) eine Methodik zur Erzeugung von synthetischen Fernwärmelastgängen auf der Grundlage von Temperaturzeitreihen und verschiedenen Parametern entwickelt.*

In der Energiesystemanalyse steigt die Bedeutung wie auch die Komplexität bei der Abbildung der Fernwärmeversorgung mit Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (KWK) und Heizwerken (HW). Zum einen dürfen die KWK-Anlagen nicht länger wärmegeführt modelliert werden, zum anderen können Fernwärmenetze in Kombination mit Power2Heat-Anlagen als funktionale Speicher [1] einen Beitrag zur Integration der erneuerbaren Energien leisten.

Erschwert wird die Modellierung der Fernwärme durch eine teilweise uneinheitliche Datenbasis. Im Rahmen dieses Artikels werden statistische Datenquellen und ein Ansatz zur Modellierung von Fernwärmelastgängen basierend auf Wetterdaten vorgestellt. Die resultierenden Lastgänge werden regional und differenziert nach allgemeiner Versorgung (Energieversorgungsunternehmen, EVU) und Industrie dargestellt. Für den jeweiligen Lastgang erfolgt eine Abschätzung des Einsatzes von KWK-Anlagen und HW.

Die Daten wurden im Rahmen eines laufenden Forschungsvorhabens erhoben [2]. Als Betrachtungsraum für die Untersuchung wurde Deutschland und Österreich gewählt, da beide Länder ein Strommarktgebiet bilden.

## Fernwärmebereitstellung

Die Energiedaten des BMWi, Tab. 25 [3] weisen den Fernwärmeverbrauch je Sektor aus. Die ebenfalls ausgewiesene Einspeisung basiert auf den Hauptberichten des Energieeffizienzverbands für Wärme, Kälte und KWK e. V. (AGFW) [4]. Dieser hat im Rahmen der Analyse den Wärmeverbrauch nach HW und KWK je Netz zur Verfügung gestellt. Zusätzlich liegen die Daten zur Produktionswärme vor. Aus der Regionalstatistik [5] wird die Energieverwendung von Fernwärme der Betriebe des verarbeitenden Gewerbes sowie des Bergbaus entnommen. Es erfolgt keine Differenzierung nach KWK und Heizwerken. Diese erfolgt in der Fachserie 4 Reihe 6.4 [6]. Hier wird jedoch nur die gesamte KWK-Erzeugung – also nicht nur der in Fernwärme einspeisende Anteil – ausgewiesen. Eine differenzierte Ausweisung erfolgt in den Energieszenarien für ein Energiekonzept der Bundesregierung [7]. Die Zahlen basieren auf dem Jahr 2008.

Für Österreich werden die Energiebilanzen von Statistik Austria verwendet [8]. Diese weisen für EVU und Unternehmen mit Eigenzeugungsanlagen (UEA) die Fernwärmeerzeugung differenziert nach KWK und

HW aus. Leistungen werden nicht ausgewiesen. Nachfolgend werden UEA mit Industrie gleichgesetzt.

Zusätzlich erfolgte eine Recherche von fehlenden Daten für die größten Fernwärmenetze in Deutschland und Österreich. Unter anderem wurden KWK-Leistungen und HW-Leistungen erfasst. In Tab. 1 und Tab. 2 ist die modellierte (Modell) Fernwärmebereitstellung den verschiedenen statistischen Quellen gegenübergestellt.

## Modellierung von Fernwärme-Lastgängen

Wesentliche Eingangsdaten, die der Methodik zur Erstellung synthetischer Fernwärmelastgänge zugrunde liegen, sind die stündlich gemessenen Lastgänge von verschiedenen Netzbetreibern für mehrere Jahre. Diese decken sowohl kleine Netze in Städten mit weniger als 100 000 Einwohnern als auch große in Städten mit mehr als 1 Mio. Einwohnern ab.

Neben den gemessenen Lastgängen baut die Methodik auch auf Temperaturzeitreihen auf. Diese werden über das Webinterface Pamore des Deutschen Wetterdienstes [9] in

**Tab. 1: Fernwärmebereitstellung für Deutschland, Bezugsjahr 2012: Vergleich von Statistik und Modell**

	EVU in TWh			Industrie in TWh			Summe in TWh		
	Energiedaten [3]	Energieszenarien [7]	Modell	Energiedaten [3]	Regionalstatistik [5]	Modell	Energiedaten [3]	Modell	
<b>KWK</b>	AGFW Hauptbericht [4]		Modell	Fachserie 4 Reihe 6.4 [6]*		Modell	Energieszenarien [7]	Modell	
		64,5	68,7		95,6	57,1	129,8	125,8	
<b>HW</b>	AGFW Hauptbericht [4]		Modell	Fachserie 4 Reihe 6.4 [6]*		Modell		Modell	
		12,4	15,7		3,2	4,3		20,0	
<b>Summe</b>	Energiedaten [3]	Energieszenarien [7]	Modell	Energiedaten [3]	Regionalstatistik [5]	Modell	Energiedaten [3]	Modell	
		75,0	82,2	84,4	47,1	61,9	61,4	122,1	145,8

\* KWK ohne explizite Ausweisung der Einspeisung in Fernwärmenetze

einem 2,8 km Raster für jeden Standort der Fernwärmenetze in stündlicher Auflösung abgerufen.

## Fernwärmelastgang

Die gemessenen Fernwärmelastgänge zeigen für jeden Typtag (Werktag oder Wochenende bzw. Feiertag) und jede Uhrzeit einen starken Zusammenhang zwischen Außenlufttemperatur und Last. Die Außenlufttemperatur stellt dabei einen gewichteten Mittelwert der vergangenen 72 Stunden dar, da diese einen Einfluss auf den Wärmebedarf eines Gebäudes haben. Die mittlere Temperatur berechnet sich gemäß Gauß'scher Summenformel. So wird für den gewählten Zeitraum von 72 Stunden die aktuelle Stunde mit 2,7 % gewichtet.

$$\bar{T}(t) = \frac{2}{n(n+1)} \sum_{i=1}^n i \cdot T(t-n+i)$$

- t Zeitpunkt t, z. B. fünf für die fünfte Stunde des Jahres  
i Laufvariable  
n Länge des Zeitraums für die Mittelung, z. B. 72 für 72 Stunden  
T(i) Außentemperatur zum Zeitpunkt

Der Zusammenhang zwischen Last und Außentemperatur kann über eine asymmetrische Sigmoidfunktion beschrieben werden. Gegenüber einer symmetrischen Sigmoidfunktion hat sie den Vorteil, die Last bei kalten Temperaturen nicht zu unterschätzen.

$$P(\bar{T}) = A + \frac{B}{\left(1 + e^{\left(\frac{\bar{T}-D}{C}\right)^E}\right)}$$

- P normierte Fernwärmeleistung  
A bis E Parameter der Sigmoidfunktion  
T Außentemperatur

Die Parameter A bis E der Sigmoidfunktion beeinflussen unterschiedliche Eigenschaften der Kurve. So kann mit dem Parameter A die Minimallast festgelegt werden. Diese liegt in Fernwärmenetzen mit hohen Anteilen an Wohngebäuden typischerweise bei ca. 10 % der Maximallast. Diese kann mit dem Parameter B eingestellt werden. Weiterhin können die Mitte (D) und die Asymmetrie (E) durch die Parameter verändert werden.

**Tab. 2: Fernwärmebereitstellung für Österreich, Bezugsjahr 2012: Vergleich von Statistik und Modell**

	EVU		Industrie	
KWK	Energiebilanz [8]	Modell	Energiebilanz [8]	Modell
	11,8 TWh	11,6 TWh	2,6 TWh	2,8 TWh
HW	Energiebilanz [8]	Modell	Energiebilanz [8]	Modell
	8,7 TWh	8,4 TWh	0,2 TWh	0,1 TWh

Um die Sigmoidfunktion den Messwerten anzupassen, werden die Parameter A bis E für jede Stunde und jeden Typtag optimiert. Dabei wird das Ziel verfolgt, das Abweichungsquadrat zu minimieren. In Abb. 1 ist das Ergebnis der Optimierung für einen Werktag um 1:00 Uhr zu sehen.

Die Funktion wird zunächst auf die Maximallast des Fernwärmenetzes skaliert. Falls bekannt, werden die Volllaststunden des einzelnen Netzes durch eine Verzerrung des Lastgangs exakt abgebildet. Dabei wird das Verhältnis von Minimal- zu Maximallast beibehalten. Die Kosinus-Funktion bestimmt den Faktor, mit dem die Fernwärmelast multipliziert wird:

$$F = 1 + A \cdot \Delta VLS \cdot (\cos(2\pi \cdot P_{FW}) - 1)$$

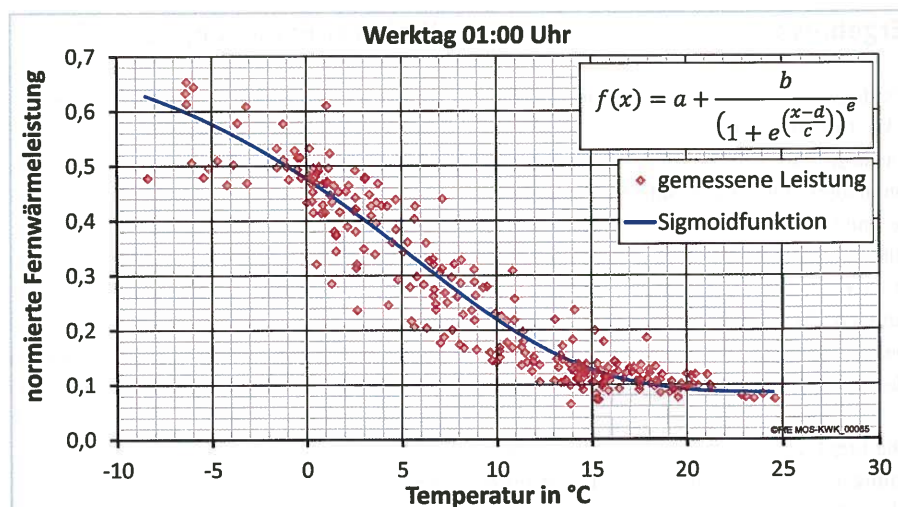
- F Faktor zur Multiplikation der Fernwärmelast  
A empirischer Faktor zur Kalibrierung der VLS  
 $\Delta VLS$  Abweichung der Volllaststunden (synthetisch & gemessen)  
PFW normierte Fernwärmelast

Bei der Synthese von Industrielastgängen ist eine höhere Grundlast zu erwarten. Nach [10] liegt der Anteil der Prozesswärme am Fernwärmeverbrauch in der Industrie bei ca. 80 %. Diese wird vereinfacht als Grundlast angenommen. Die restlichen 20 % werden wie oben beschrieben abgebildet.

## KWK-Einsatz

Aus den vorangegangenen Betrachtungen liegen Lastgänge zum Fernwärmeverbrauch für EVU und Industrie vor. Für Österreich liegen von beiden Kategorien die KWK-Anteile je Bundesland vor. Für Deutschland können die KWK-Anteile über die Daten des AGFW bestimmt werden. Der KWK-Anteil in der Industrie in Deutschland wird über den Mittelwert von Österreich abgeschätzt.

Um den KWK-Einsatz vollständig abbilden zu können, müssten u. a. die Strompreise, die Brennstoffpreise, die Kraftwerkstypen und die je Netz zur Verfügung stehenden Wärmespeicher und Heizwerke im Rahmen einer Kraftwerkseinsatzplanung berücksichtigt werden. Im Rahmen dieser



**Abb. 1** Modellierung der Fernwärmelast mit einer Sigmoidfunktion



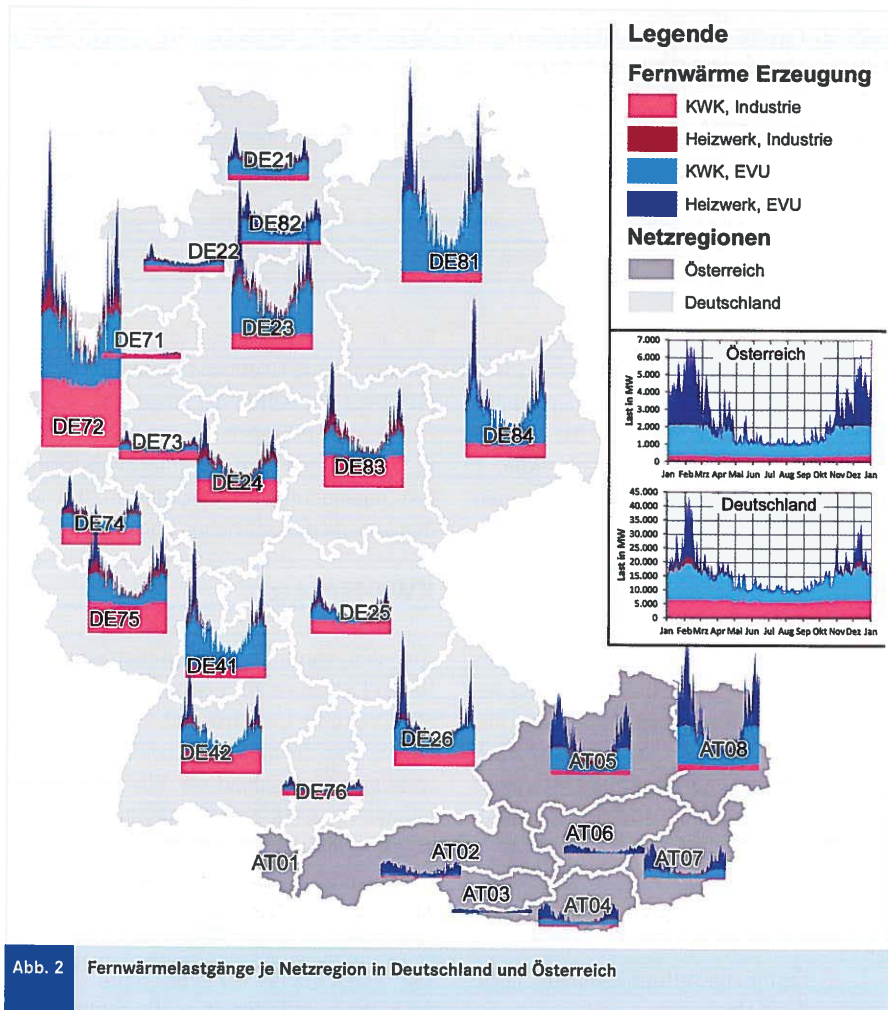


Abb. 2 Fernwärmelastgänge je Netzregion in Deutschland und Österreich

Veröffentlichung wurde ein vereinfachter, reproduzierbarer Ansatz gewählt. Die KWK-Erzeugung wird als konstantes Band, basierend auf den KWK-Anteilen, bestimmt.

## Ergebnisse

Es liegen regional aufgelöste Lastgänge für EVU bzw. Industrie und KWK bzw. HW vor. Diese sind in Abb. 2 auf Ebene der Netzregionen aggregiert und zusätzlich als Lastgang je Land dargestellt. In Deutschland beträgt die maximale Last 48 GW, die minimale Last 8,1 GW. In Österreich entsprechend 7,1 GW und 0,8 GW. Der KWK-Anteil in Deutschland beträgt 86 %, in Österreich 63 %. Der Anteil der Industrie variiert regional deutlich.

Die Ergebnisse können z. B. bei der Bestimmung des regionalen Power2Heat-Potenzials verwendet werden. Bei einer Dimensionierung der thermischen Leistung auf die minimale Fernwärmelast beträgt das Power-

2Heat-Potenzial in Deutschland für den Sektor EVU 2,6 GW, in der Industrie 5,7 GW. In Österreich entsprechend 0,51 GW und 0,27 GW.

## Weiterer Forschungsbedarf

Die vorgestellten Lastgänge erheben weder den Anspruch auf Vollständigkeit noch auf einen exakten Lastverlauf. Die Abweichungen zu den verschiedenen statistischen Quellen wurden bereits diskutiert. Für eine Verbesserung werden u. a. folgende Informationen benötigt: Gemessene Lastgänge von industriellen Fernwärmenetzen, Daten zum Einsatz von Heizwerken in der Industrie in Deutschland und KWK- und HW-Leistungen für Österreich.

Die Fernwärmelastgänge werden laufend überarbeitet und auf Anfrage zur Verfügung gestellt. Anmerkungen zur Modellierung nehmen die Autoren gerne entgegen.

## Literatur

- [1] Pelling, C.: Die Merit Order funktionaler Energiespeicher 2030. In: FfE Fachtagung 2013: Tagungsband und Vorträge. München 2013.
- [2] Laufendes Projekt: Pelling, C.; Schmid, T.; et al.: Merit-Order der Energiespeicherung im Jahr 2030. Forschungsstelle für Energiewirtschaft e. V., München 2015. <http://www.ffe.de/die-themen/speicher-und-netze/414>.
- [3] Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi): Zahlen und Fakten - Energiedaten - Nationale und Internationale Entwicklung. Berlin 2015.
- [4] Der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e.V. (AGFW): Hauptberichte zu diversen Jahren. Frankfurt am Main, 2014.
- [5] Regionaldatenbank, Wiesbaden: Statistische Ämter des Bundes und der Länder, 2012. [www.regionalstatistik.de](http://www.regionalstatistik.de)
- [6] Statistisches Bundesamt (destatis): Produzierendes Gewerbe – Stromerzeugungsanlagen der Betriebe im Verarbeitenden Gewerbe sowie im Bergbau und in der Gewinnung von Steinen und Erden 2012. In: Fachserie 4 Reihe 6.4. Wiesbaden 2013.
- [7] Schlesinger, M.; Lindberger, D.; Lutz, C.: Energieszenarien für ein Energiekonzept der Bundesregierung – Projekt Nr. 12/10. Basel/Köln/Osnabrück 2010.
- [8] Statistik Austria: Gesamtenergiebilanz Österreich (1970 bis 2013). Wien 2014.
- [9] Deutscher Wetterdienst (DWD): Zugriff auf die Daten über das Webinterface Pamore. Offenbach 2014.
- [10] Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung (ISI); Rohde, C.: Erstellung von Anwendungsbilanzen für das Jahr 2012 für das verarbeitende Gewerbe mit Aktualisierungen für die Jahre 2009-2011. Karlsruhe, 2013.

*J. Conrad M. Sc., Dipl.-Phys. T. Schmid und Dipl.-Phys. C. Pelling, Wissenschaftliche Mitarbeiter; Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V., München  
JConrad@ffe.de*