

Eignung von KWK und Wärmepumpen zum Ausgleich der fluktuierenden Stromerzeugung (FEE): eine energiewirtschaftliche Betrachtung



IZES

Eva Hauser
hauser@izes.de

Hermann Guss
guss@izes.de

Patrick Hoffmann
hoffmann@izes.de

Andreas Weber
weber@izes.de

Fraunhofer IBP

Dr. Dietrich Schmidt
dietrich.schmidt@ibp.fraunhofer.de

Patrick Schumacher
Patrick.Schumacher@ibp.fraunhofer.de

Fraunhofer IWES

Norman Gerhardt
Norman.Gerhardt@iwes.fraunhofer.de

Einleitung: Thermische Stromsenken zur Nutzung zukünftiger FEE-Überschüsse

Die Umsetzung des Energiekonzepts der Bundesregierung wird dazu führen, dass bei zukünftig sehr hohen Anteilen von Strom aus fluktuierender erneuerbarer Erzeugung (= FEE) Stunden auftreten werden, in denen bereits das Dargebot der FEE die Last im bundesdeutschen Stromnetz übersteigen wird. Dies wirft die Frage auf, wie groß diese Überschüsse sein werden, wann sie tendenziell auftreten und wie mit ihnen umgegangen werden soll.

Im hier vorliegenden Artikel soll der Forschungsbedarf in Bezug auf den Einsatz von Wärmepumpen als Gebäudeheizsystemen und Elektroheizkesseln in KWK-basierten Wärmenetzen als ‚Stromsenken‘ zur Nutzung dieser Überschussmengen untersucht werden.

Heutige und zukünftige Nutzung von Wärmepumpen als thermische Stromsenken

Eine naheliegende Lösung ist der Einsatz überschüssigen Stromes in thermischen Anwendungen, d. h. zum Heizen oder zum Kühlen, und dies bevorzugt im Gebäudesektor. Dieser ist gegenwärtig für mehr als ein Drittel des gesamten Energieverbrauches verantwortlich und zeichnet sich durch eher standardisierte Anwendungen bzw. Prozesse v. a. im Niedertemperaturwärmebereich aus.

Unter diesen Anwendungen im Haushalts- bzw. Gebäudebereich gehört wiederum die Wärmepumpe zu denen, die in die engere Auswahl für eine Nutzung als Senke überschüssigen EE-Stroms kommen. Die direkte Nutzung von Strom – in Direktheizungen oder mittels Speicherheizungen – soll wegen der weitaus schlechteren primärenergetischen Bilanz im Vergleich zu Wärmepumpen hier nicht betrachtet werden.

Wärmepumpen sind in der Lage, als Heizsystem aus der Umweltwärme durch die Nutzung von stromgetriebenen Kompressoren die in den Gebäuden notwendige Niedertemperaturwärme bereitzustellen. Diese Heizenergie kann direkt genutzt werden. Sie kann aber auch mittels des Gebäudes und seiner thermischen Trägheit oder mittels eines Warmwasser-

speichers als Speichermedium für die Wärme dienen und somit eine spätere Nutzung des Stromes vorziehen. Diese Fähigkeit zur zeitlichen Lastverschiebung kann sich für das zukünftige Stromsystem als interessant erweisen, wenn es gilt, EE-Strom-Überschüsse zu nutzen.

Diesen Fall haben die Forscher des Fraunhofer Instituts für Bauphysik und des Fraunhofer IWES näher untersucht: Dabei wurde zunächst ein möglicher Lastverlauf im Jahr 2050 modelliert. Ergebnis dieser Modellierung waren die Stunden, in denen das EE-Dargebot unterhalb und oberhalb der Last liegen sollte, das heißt, die Stunden, zu denen die Bereitstellung zusätzlicher Residuallast notwendig sein oder zu denen EE-Überschüsse auftreten sollten.

Geht man davon aus, dass das heutige Strommarktmodell in seinen Grundzügen auch in 2050 Bestand haben wird, ist in den Zeiträumen mit EE-Überschüssen tendenziell mit günstigen Stromgroßhandelspreisen zu rechnen und in den Stunden mit zusätzlicher Residuallastbereitstellung mit vergleichsweise höheren Preisen. Damit sollte (lässt man die übrigen Strompreiskomponenten außen vor) auch ein ökonomischer Anreiz bestehen, den günstigen Strom zu nutzen und die spätere Nutzung des teureren Stroms zu vermeiden.

Durch die Nutzung ‚modellbasierter prädiktiver Regelungen‘, d. h. der integrierten Prognose der Erzeugung aus EE-Anlagen und der verschiedenen Komponenten der Last (bzw. der Energienachfrage zum Heizen, Kühlen, für Mobilität oder die sonstigen Stromanwendungen) kann dann bestimmt werden, welche Mengen Überschuss-Stroms zu welchen Preisen zur Verfügung stehen.

In einem weiteren Schritt kann diese modellbasierte prädiktive Regelung zur Information der Stromnutzer bzw. zur Ansteuerung ihrer Geräte genutzt werden. Durch diese übergreifende Steuerung können die Zeiträume, in denen die Wärmepumpen Strom aus dem Netz aufnehmen, besser mit dem wechselnden Dargebot der FEE in Übereinstimmung gebracht werden.

Im nächsten Schritt der Modellierung des Fraunhofer IBP wurde – unter Beachtung der Bedürfnisse der Gebäudenutzer, der thermischen Trägheit der Gebäude und der technischen Möglichkeiten der Wärmepum-

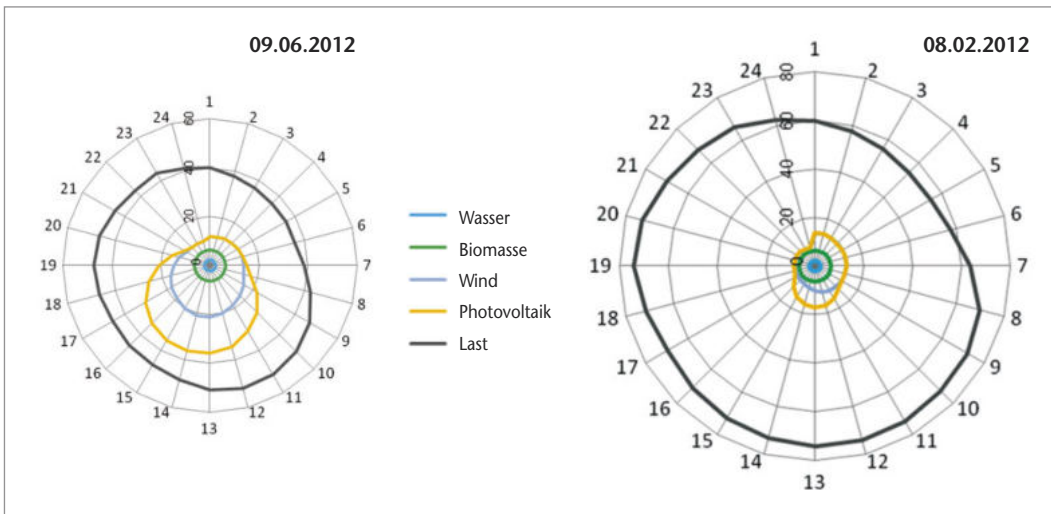


Abbildung 1
Dargebot Erneuerbarer
und Lastprofil an einem
Sommertag (links) und
einem Wintertag (rechts).

pen und ihrer Peripherie – genau dieser optimierte Einsatz der Wärmepumpen für einen hypothetischen Februar des Jahres 2050 modelliert.

Geht man davon aus, dass die zeitliche Verlagerung des Wärmepumpeneinsatzes dazu führt, dass diese Heizgeräte nun mit erneuerbarem statt mit konventionellem Strom betrieben werden, kann der Anteil der EE-Nutzung von 45% im unregelmäßigen Fall auf 64% im optimierten Fall angehoben werden. Somit verspricht die Nutzung dieser Systeme zum optimierten Einsatz von Wärmepumpen eine bessere Deckung der thermischen Energiebedarfe durch EE und könnte damit ein Baustein des zukünftigen, prinzipiell auf EE basierten Stromsystems werden.

Inwieweit diese zukünftig optimierte Nutzung von Wärmepumpen bereits heute schon eingesetzt werden kann, soll im Folgenden kurz untersucht werden. Folgende Fragestellungen spielen dabei eine Rolle:

a) Besteht heute zeitliche Deckungsgleichheit von FEE-Dargebot und Wärmepumpeneinsatz?

Die Bundesrepublik weist durch ihre klimatischen Bedingungen im Winter höhere Energieverbräuche und damit auch eine höhere elektrische Lastanforderung auf als im Sommer. Dementsprechend sind in den Sommermonaten wegen der geringeren Last tendenziell höhere Abdeckungsgrade durch FEE anzutreffen. Untersucht man diese genauer, stellt man fest, dass zum heutigen Zeitpunkt jedoch nur wenige Stunden auftreten, in denen gleichzeitig eine niedrige Last und hohe Einspeisewerte von Wind und/oder PV auftreten. Gleichzeitig erreichen selbst an sommerlichen Wochenenden mit hoher Einspeisung von Wind und PV und einer dementsprechend niedrigen Residuallast die FEE nicht die öffentliche Netzlast (Abbildung 1, links).

Im Winter, das heißt dann, wenn hohe Heizwärmebedarfe bestehen, ist auch eine höhere Netzlast vorhanden. In dieser Jahreszeit sind Zeitpunkte mit niedrigen Residuallasten tendenziell seltener. Betrachtet man weiterhin die Zeitpunkte mit sehr niedrigen Temperaturen und damit den höchsten Heizwärmebedarfen, kann zum gegenwärtigen Zeitpunkt nicht von ‚Überschüssen‘ aus der Stromerzeugung gesprochen werden (Abbildung 1, rechts).

Dies heißt dann auch, dass derzeit im Gesamtsystem keine Notwendigkeit besteht, ein ‚Überschussmanagement‘ zu betreiben. Der zukünftige Einsatz eines solchen ‚Überschussmanagements‘ sollte daher auf der Basis fundierter wissenschaftlicher Analysen zur Menge und zur (jahres)zeitlichen Verteilung wirklicher FEE-Überschüsse bestimmt werden.

b) Welche Lastauswirkungen haben Wärmepumpen in Abhängigkeit von der Außentemperatur?

Bei der Erarbeitung eines ‚Stromüberschussmanagements‘ sollte ein weiterer Punkt eine zentrale Rolle spielen: die generellen Verbrauchscharakteristika der zur Nutzung eventueller Überschüsse genutzten Geräte. Werden hierzu strombasierte Heizsysteme in Privathaushalten oder auch in Gewerbegebäuden genutzt, so können diese als beständige Wärmeverbraucher gelten. Es ist zusätzlich davon auszugehen, dass zumeist nur in eine Art von Heizsystem (hauptsächlich strom- oder brennstoffbasiert, jeweils ggf. mit solarthermischer Unterstützung) investiert wird, da Heizsysteme eine relativ kapitalintensive Investition darstellen. Dementsprechend wird der jeweilige Energieträger kontinuierlich genutzt. Ein Energieträgerswitch innerhalb eines Gebäudes dürfte eher selten der Fall sein. Dies hat besondere Auswirkungen vor allem dann, wenn der Energieträger Strom genutzt wird. Da dieser leitungsgebunden und als solches

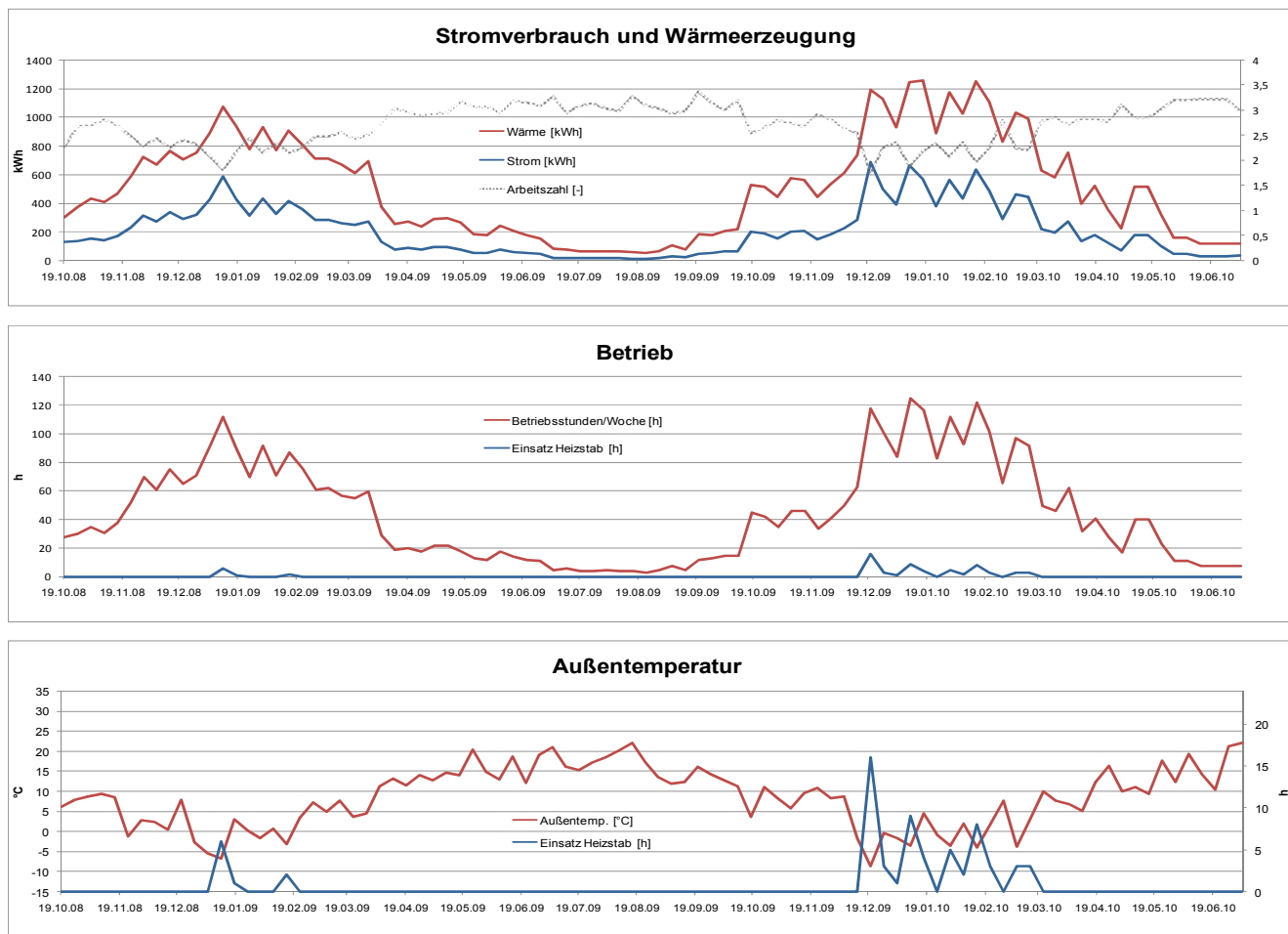


Abbildung 2
Temperaturabhängigkeit
von Luftwärmepumpen

nicht speicherbar ist, sind bei der Nutzung von Strom zum Heizen auch die Auswirkungen auf das Stromsystem zu beachten.

Im Folgenden sollen diese Auswirkungen für die Nutzung von Wärmepumpen in einer überblicksartigen Form kurz beleuchtet werden, um hierauf aufbauend Leitfragen für die künftige Energiesystemforschung zu entwickeln.

Als Ausgangsbasis dient die Auswertung der Temperaturabhängigkeit vor allem von Luftwärmepumpen. Diese wird exemplarisch am Beispiel einer Luftwärmepumpe mit Unterstützung durch einen Heizstab in einem Altbau mit Fußbodenheizung, jedoch ohne eine überdurchschnittliche Dämmung gezeigt (Abbildung 2).

Hier zeigt sich, dass die Arbeitszahl dieser Wärmepumpe vor allem im Winterhalbjahr auch Werte unter zwei aufweisen kann. Arbeitszahlen nahe an oder über drei werden vor allem im Sommerhalbjahr erzielt. Die zusätzliche Nutzung des Heizstabes verschlechtert weiterhin die Arbeitszahl des gesamten Heizsystems, und dies gerade dann, wenn die Außentemperaturen unter dem Gefrierpunkt liegen.

Dies wirft für die Nutzung von Wärmepumpen als ‚Stromsenken‘ für Überschussstrom einige Fragen auf, die anhand einer für die Gesamtzahl der Wärmepumpen (und ihrer verschiedenen Typen) repräsentativen Anlagenanzahl intensiver untersucht werden müsste.

- Wie häufig werden zukünftig Stromüberschüsse auftreten, und wie häufig sind diese gerade in den Zeiten mit Außentemperaturen unter dem Gefrierpunkt und dementsprechend hohen Heizwärmebedarfen?
- Welche Strommengen werden zu diesen Zeitpunkten von den Wärmepumpen (und den ggf. in das Heizsystem integrierten Heizstäben) benötigt und wie verhalten sich folglich die Arbeitszahlen der verschiedenen Arten von Wärmepumpen?
- Wie ist die *Thermosensibilität* (d. h. die Stromlaststeigerung pro Kelvin sinkender Außentemperatur, s. Kasten S. 81) im gesamten deutschen Stromnetz? Welchen Anteil haben hierin die diversen Stromwärmeeanwendungen und insbesondere die Wärmepumpenheizsysteme?

Dieses Konzept wird vor allem vom französischen Übertragungsnetzbetreiber RTE besonders untersucht, da RTE seit Jahren mit einem massiv steigenden Strombezug bei sinkenden Außentemperaturen konfrontiert ist: In Frankreich ist die maximale elektrische Lastspitze von 74,9 GW im Jahr 2001 auf 102,1 GW im Februar 2012 angestiegen. Die Thermosensibilität steigt ebenso seit Jahren dort beständig an, und liegt gegenwärtig bei über 2,3 GW/K. Während diese Entwicklung lange Jahre vor allem der steigenden Anzahl an Stromdirektheizungen zugeschrieben wurde, wird sie heute vor allem der zunehmenden Anzahl an Wärmepumpen zugeschrieben, da aufgrund gestiegener Effizienzanforderungen im Gebäudesektor kaum noch Stromdirektheizungen neu zugebaut werden. RTE geht aktuell von einer jährlichen Zunahme der Thermosensibilität von 70 M/K aus.

Vgl. hierzu: RTE 2012: La vague de froid de février 2012, Paris 2012, unter

<http://www.rte-france.com/fr/actualites-dossiers/a-la-une/vague-de-froid-de-fevrier-2012-analyse-par-rte-des-consequences-sur-le-systeme-electrique-francais>, Download am 16.10.2012

- Welche Auswirkungen hat dies auf das gesamte Stromsystem? Werden durch die Nutzung von Wärmepumpen und Heizstäben gegebenenfalls zusätzliche Kraftwerkskapazitäten notwendig? Welche Arten von Kraftwerken werden dies sein und welche Umweltauswirkungen sind hierdurch zu erwarten?

Eignung von Elektroheizkesseln in KWK-Anlagen als ‚Stromsenke‘

Zum gegenwärtigen Zeitpunkt wird nicht nur die Eignung von Wärmepumpenheizsystemen als ‚Stromsenke‘ für heutige oder zukünftige Überschüsse an Strom diskutiert, sondern auch die von Elektroheizkesseln in KWK-basierten Fernwärmenetzen. Diese basiert darauf, dass KWK-Systeme nicht nur als erzeugungsseitige Flexibilitätsoption dienen können, sondern auch als nachfrageseitige. Hier bestehen Forschungsfragen in zwei Richtungen:

- Wie kann die Stromerzeugung aus KWK stärker an das schwankende Dargebot aus FEE angepasst werden und welche monetären Anreize oder regulatorischen Vorgaben sind hierfür notwendig?
- Analog zu den obigen Forschungsfragen zu Wärmepumpen sollte aber auch thematisiert werden, welche Auswirkungen durch den Einsatz dieser Elektroheizkessel auf das Stromsystem entstehen.

Dabei spielt auch die aktuelle Konfiguration der Stromspotmärkte eine Rolle: Hierbei ist zwischen der Funktionsweise des Day-ahead-Marktes und des Intraday-Marktes zu unterscheiden.

- Im Intraday-Markt können Stromanbieter und -nachfrager jeweils ihre Gebote einstellen. Passen diese zusammen, kommt ein gegenseitiges Geschäft mit einer sehr kurzfristig folgenden physikalischen Stromlieferung zustande. Damit können auch sehr zeitnah wirkliche Überschussmengen noch einen Käufer finden.
- Im Day-ahead-Markt hingegen wird für jede Stunde des Folgetages ein einheitlicher Markträumungspreis aus allen Geboten gebildet, zu dem alle Mengen ge- bzw. verkauft werden. Dies bedeutet, dass Elektroheizkessel, die im Day-ahead-Markt aufgrund ihrer Erwartungen niedriger Strompreise als Nachfrager auftreten, für eine zusätzliche Nachfrage sorgen. Hier ist davon auszugehen, dass Elektroheizkessel dann Strom nachfragen werden, wenn die Preise im Day-ahead-Markt auf dem Niveau von Braunkohlekraftwerken liegen oder darunter. Solange dies der Fall ist und keine echten Stromüberschüsse genutzt werden, ist fraglich, inwieweit diese Form der Stromnutzung wirklich als ökologisch gelten kann.

Fazit

Bei beiden Nutzungen von Strom im Wärmesystem zur Deckung von Heizwärmebedarfen ist klar zwischen der heutigen Anwendung und der zukünftigen zu unterscheiden. Die empirischen Auswertungen haben gezeigt, dass zum gegenwärtigen Zeitpunkt noch keine gesamtsystemischen FEE-Überschüsse vorhanden sind und sowohl Wärmepumpen als auch die Elektroheizkessel im schlechten Fall sogar zur Schaffung einer zusätzlichen Stromnachfrage führen können. Um diesen negativen Effekt zu vermeiden, besteht dementsprechend weiterer Forschungsbedarf, um ein während der Transformation des Stromsystems zum jeweiligen Zeitpunkt passendes ‚Überschussmanagement‘ zu entwickeln. Damit soll verhindert werden, dass eine Stromnachfrage entsteht, die eben nicht aus EE, sondern aus konventionellen Kraftwerken bedient werden muss und die Außerbetriebnahme dieser Kraftwerke damit nicht konterkariert wird.