

Wärme- und Kälteversorgung in Städten und Regionen mit hohen Anteilen an erneuerbaren Energien in der Stromversorgung

Dr. Bernhard Wille-Haussmann, Fraunhofer ISE, Freiburg, bernhard.wille-haussmann@ise.fraunhofer.de;
Marc Brunner (Universität Stuttgart); Norman Gerhardt (Fraunhofer IWES); Dr. Martin Kleimaier (ETG);
Dr. Philip Mayrhofer (Enerstorage GmbH); Arno Poehlmann (LEW); Joerg Rummen (RWE Effizienz GmbH);
Dr. Serafin von Roon (FFE); Jens Werner (TU Dresden)

Kurzfassung

Die Nutzung von Strom in Wärmeanwendungen (P2H) wird getrieben durch den sinken thermischen Bedarf, die Zielstellungen erneuerbare Quellen in allen Bereichen einzusetzen und sinkende Stromgestehungskosten von EE. Diese Anwendungen sind in der Regel mit Speichern kombiniert und bieten Flexibilitäten für die Energieversorgung. Je nach zu unterscheidender Systemgrenze Gebäude, Niederspannungsnetz oder Region ergeben sich verschiedene Auswirkungen. Diese werden in Verbindung mit aktuellen Rahmenbedingungen diskutiert.

Abstract

The usage of electricity in heating applications (P2H) is driven by decreasing thermal demand, the target to integrate renewables in all sectors, and decreasing production cost for renewables. Typically these applications are combined with storages which allocate flexibilities for energy supply. Depending on system boundaries of building, low voltage grid, or region different effects can be observed, which will be discussed in combination with the current framework.

1 Einleitung

Der immer geringer werdende Heizenergiebedarf in modernen Wohnhäusern (vgl. Bild 1), verbunden mit einem hohen Maß an Eigenversorgungskonzepten, stellt etablierte Versorgungskonzepte zunehmend in Frage. Beispielsweise werden zahlreiche Wohngebiete bereits ohne Erdgasleitungen konzipiert und Fernwärmeanschlusszwänge lassen sich schwer durchsetzen. Es stellt sich daher die Frage nach zukünftigen Konzepten einer ganzheitlichen Energieversorgung für Smart Cities.

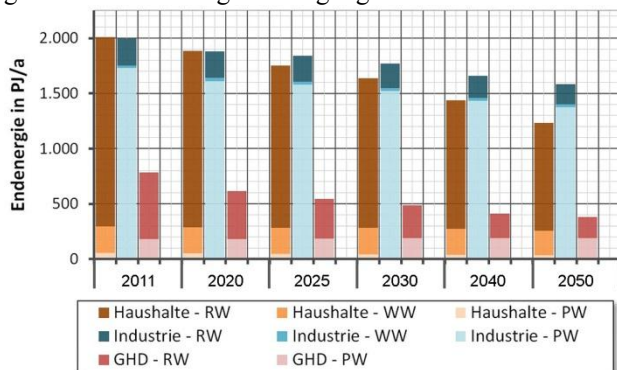


Bild 1 Entwicklung des Wärmebedarfs (Endenergie) der Verbrauchssektoren im Trendszenario, eigene Darstellung nach [1]

Zahlreiche Gründe führen zu einer „Elektrifizierung“ dieses verbleibenden Wärmebedarfs. Dabei ist ein System mit rein elektrischer Bereitstellung in Installation und Wartung sehr einfach sowie eine Kopplung zu regenerativer Eigenerzeugung naheliegend. Derzeit weist Heizstrom noch einen schlechten Primärenergiefaktor von 2,6 auf. Mit fortschreitendem Ausbau von Windkraft und Photovoltaik wird dieser jedoch ständig verbessert. In Bezug auf den Einsatz von Strom im Wärmemarkt führt dies zu einem Paradigmenwechsel: Strom aus Windkraft-

oder PV-Anlagen wird zum neuen „Primärenergieträger“. Soll, wie es Energieszenarien vorsehen, der größte Teil unseres Endenergiebedarfs regenerativ gedeckt werden, ist ein Großteil hiervon Strom aus Wind und PV, wodurch sich auch dessen Nutzung im Wärmesektor rechtfertigen lässt [2].

In der Fachwelt besteht Konsens, dass für einen hohen Anteil fluktuierender Energieträger an der Energieversorgung Flexibilitäten erforderlich sind. Für die Allokierung der Speicherkapazitäten werden zahlreiche Konzepte, wie klassische Pumpspeicher, die direkte Speicherung in Batterien sowie die indirekte Speicherung über Wasserstoff oder Methan (P2G) diskutiert. Während diese Technologien hohe Kosten und z.T. erhebliche Umwandlungsverluste aufweisen, lassen sich elektrisch thermisch gekoppelte Systeme (Wärmepumpe, Direktstromheizung) mit heute marktverfügbaren thermischen Speichern koppeln und dadurch als flexible Stromlasten in das Energieversorgungssystem integrieren. Dies wird unter dem Begriff Power-to-Heat (P2H) zusammengefasst und beschreibt jede Technologie, die Strom in Wärme umwandelt. P2H-Erzeuger können beliebig zu hybriden Systemen mit anderen Wärmeerzeugern kombiniert werden, was die Flexibilität auf der Stromseite im Gegensatz zu monovalenten Systemen verbessert.

Die Entwicklung der Stromgestehungskosten (vgl. Bild 2) zeigt, dass Photovoltaik und Wind in den Bereich konventioneller Erzeuger kommen. Privatkunden, die sich heute eine neue PV-Anlage installieren lassen, nutzen in der Regel aus wirtschaftlichen und oft auch aus ideellen Gründen die Möglichkeit einer möglichst hohen Eigenversorgung mit Strom für die Haushaltsversorgung, künftig wohl auch für die Bereitstellung von Warmwasser und Heizenergie. Der logische, nächste Schritt ist die

Integration von elektrischen oder thermischen Speichern zur Steigerung der Eigenversorgungsquote.

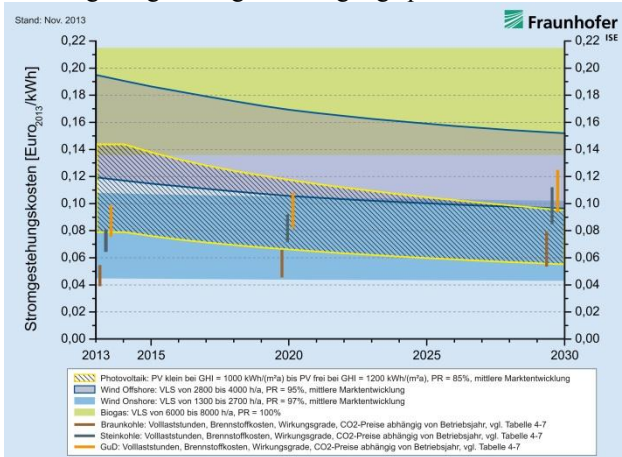


Bild 2 Stromgestehungskosten für erneuerbare und konventionelle Erzeuger [3]

Neben der Wärmeversorgung im Bereich der Wohnwirtschaft und des Gewerbes, stellt der Wärmebedarf von Industriebetrieben eine weitere Möglichkeit dar, überschüssigen Strom mit dem Einsatz von erprobter P2H-Technologie nutzbar zu machen. Prozesswärme in Industrien wie Papier, Chemie und Pharma verursacht den Großteil des Energiebedarfs einer Stadt oder Region. Die Betrachtung einer „Smart City“ sollte deswegen das Gesamtsystem im Blick behalten. Durch die Heterogenität der verschiedenen Abnehmer ergibt sich darüber hinaus das Potential weiterer Optimierungsmöglichkeiten.

Dieses Paper gibt zunächst einen Überblick über die technologischen Möglichkeiten elektrischer Heizsysteme und deren Speicher. Anschließend werden die Auswirkungen auf die verschiedenen Systemebenen bewertet. Ebene sind das lokale Gebäude und größere Gebiete inkl. der Netzstruktur. Zusammenfassend werden die Ergebnisse vor dem Hintergrund der regulatorischen Rahmenbedingungen und Hemmnisse diskutiert.

2 Technologieübersicht

Stromgekoppelte Wärmeerzeuger haben bereits heute als Verbraucher eine bedeutsame Rolle im Stromversorgungssystem (vgl. Bild 3). Im Folgenden werden Technologien für elektrische Wärmeerzeugung und -speicherung vorgestellt.

2.1 Strombasierte Wärmeerzeuger

2.1.1 Elektrische Widerstandsheizung

Seit den 50-er Jahren gibt es in Deutschland die Speicherheizung. Diese damals zur Auffüllung sogenannter Lasttäler in der Nacht eingeführte Technik könnte künftig - lastvariabel betrieben - Netze be- oder entlasten: Die ursprüngliche Einzelgerät-Speicherheizung verfügt bereits über Speichermasse in Form von Schamottesteinen. Direkte elektrische Fußboden- oder Wandheizungen nutzen die Speichermöglichkeiten der sie umgebenden Materialien (Speicherstrich). Elektrische Heizsysteme mit Heizwasserkreislauf nutzen zentrale

Wasserspeicher und gegebenenfalls die Gebäudemasse, um möglichst viel Wärme speichern zu können.

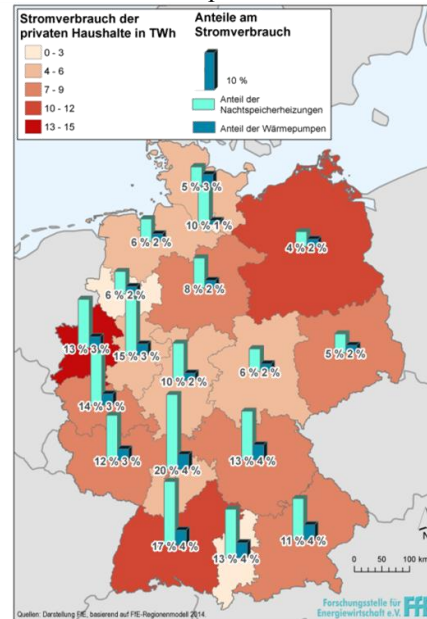


Bild 3 Regionale Verteilung des Stromverbrauchs von elektrischen Speicherheizungen und Wärmepumpen [5]

Die mittels Widerstandsheizung betriebene zentrale Warmwasserbereitung im Warmwasserspeicher mit 200 bis 400 Litern Kapazität für den Privathaushalt ist eine besondere Form der Widerstandsheizung. Sie ist eine wichtige Komponente bei der Nutzung von Eigenstrom, weil Warmwasser ganzjährig benötigt wird.

Die Investitionskosten dieser Systeme sind niedrig und in fast jeder Größe bis 5 MW verfügbar. Der Wirkungsgrad liegt nahe bei 100%. In Deutschland sind ca. 1,4 Mio. elektrische Speicherheizungen mit einem jährlichen Stromverbrauch von etwa 13 TWh in Betrieb. Aus der Betriebsweise nach dem temperaturabhängigen Standardlastprofil ergibt sich eine maximale Last am kältesten Tag des Testreferenzjahres von 9 GW.

2.1.2 Elektrodenheizkessel

Im größeren Maßstab (d.h. > 1 MW elektrischer Leistung) wird P2H auch in Form von Elektrodenheizkesseln umgesetzt. Hier fließt der Strom zwischen Elektroden durch das Wasser eines Kessels und erhitzt dieses dadurch. Dafür wird eine bestimmte Leitfähigkeit des Kesselwassers vorausgesetzt. Die Leistungsregelung erfolgt stufenlos über eine hydraulische Anpassung der Eintauchtiefe der Elektroden. Elektrodenheizkessel werden in der Größenordnung von 5-45 MW gefertigt und in der Mittelspannung betrieben.

2.1.3 Wärmepumpen

Wärmepumpen sind in der Lage, eigentlich für Heizwärme oder Warmwasserbereitung nicht brauchbare Umweltwärme in einem Temperaturbereich von -25 °C bis 20 °C auf ein höheres nutzbares Temperaturniveau zu bringen. Bei Kompressionswärmepumpen wird in einem geschlossenem Kreislauf Kältemittel durch Umgebungswärme verdampft, komprimiert und damit erhitzt.

Je nach Wärmequelle stammen 60 bis 80% der abgegebenen Wärme aus der Umwelt, der Rest wird in Form von Strom für den Antrieb des Verdichters, für Umwälzpumpen und für Steuerungszwecke eingesetzt. In Abhängigkeit der Wärmequelle sind verschiedene Jahresarbeitszahlen zu erwarten (vgl. Tabelle 1). Folgende Wärmequellen sind verfügbar:

Außen- und Abluft

Als Wärmequelle für Luft-Wärmepumpen können sowohl die Außen- als auch die Abluft eines Gebäudes dienen. Unterschieden wird nach dem Trägermedium für die Heizwärme in zwei Systeme: Luft/Luft oder Luft/Wasser.

Grundwasser

Wasser/Wasser-Wärmepumpen erschließen Grundwasser als Wärmequelle. Über einen Förderbrunnen wird dieses Wasser der Wärmepumpe zu- und über einen Schluckbrunnen wieder in das unterirdische Reservoir abgeführt. Durch die ganzjährig konstante und zumeist relativ hohe Temperatur des Grundwassers arbeiten die Anlagen mit hoher Effizienz.

Erdwärme

Die im Erdboden gespeicherte Wärme wird durch Sole/Wasser-Wärmepumpen genutzt, und zwar mittels Erdsonden (Tiefe ca. 100 m) oder Erdkollektor (Tiefe ca. 1,5 m). Die ganzjährig konstanten Temperaturen des Erdreiches ermöglichen eine hohe Effizienz dieser Anlagen.

	Heute	2030
Luft Wärmepumpe	3,1	4,1
Grundwasser Wärmepumpe	4	5,1
Erdsonden Wärmepumpe	3,8	4,4

Tabelle 1 Arbeitszahlen Wärmepumpen (heute, 2030) [5]

In Deutschland sind ca. 450 Tausend Anlagen mit einem jährlichen Stromverbrauch von etwa 3,6 TWh in Betrieb. Aus der Betriebsweise nach dem temperaturabhängigen Standardlastprofil ergibt sich eine maximale Last am kältesten Tag des Testreferenzjahres von 1 GW.

2.2 Speicher

2.2.1 Stromspeicher

Als Stromspeicher werden in Zusammenhang mit einer Eigenstromerzeugung Batteriespeicher eingesetzt. Heutige Systeme für den Haushaltsbereich verfügen über Kapazitäten zwischen 2 und 40 Kilowattstunden. Bei Wirtschaftlichkeitsbetrachtung ist der Wirkungsgrad (75–90%) zu berücksichtigen.

2.2.2 Wärmespeicher

Die einfachste Form einer Speicherung von Wärme im Heizungs- bzw. Warmwasserbereich ist der Wasserspeicher. Er ist in der Investition preisgünstig und seit Jahrzehnten erprobt. Wasserspeicher sind verlustbehaftet und geben auch bei Nichtnutzung ständig Wärme an die kühlere Umgebung ab. Sie eignen sich also eher als Kurzzeitspeicher.

Latentwärmespeicher nutzen den Phasenwechsel von fest auf flüssig von bestimmten Salzen oder Paraffinen. Bei diesem Wechsel kann viel Schmelzwärme eingespeichert

werden. Bei der Erstarrung wird diese Wärme wieder zurück gewonnen. Beim Einsatz von Latentwärmespeichern ist zu beachten, dass der Schmelzpunkt über der Temperatur der benötigten Nutzwärme (z.B. 35°C bei Fußbodenheizung oder 60°C bei Warmwasser) liegen muss.

Bei thermochemischen Wärmespeichern wird Silikagel oder Zeolith durch Wärmezufuhr getrocknet (Desorption). Dabei wird Wasserdampf entzogen. Zu einem beliebigen späteren Zeitpunkt wird Wasserdampf wieder zugeführt und Wasser lagert sich am chemischen Material an (Adsorption). Dabei wird die zuvor eingesetzte Wärme auf hohem Temperaturniveau wiederum freigesetzt. Diese Wärmespeicher eignen sich gut als Langzeitspeicher, da sie praktisch keine Stand-by-Verluste aufweisen. Sie erfordern aber Temperaturen von über 100°C.

3 Systemische Auswirkungen

Dieser Abschnitt untersucht die sich ergebenden Potentiale von P2H und insbesondere von Wärmepumpen auf die verschiedenen Systemebenen des Gebäudes und eines exemplarischen Verteilnetzes. Auf Verteilnetzebene steht eine Wärmepumpenverbund im Mittelpunkt, dessen Ansteuerbarkeit sowie der Einsatz zur Spannungshaltung bewertet wird. Anschließend wird P2H für eine Region analysiert. Für alles 3 Ebenen sind die spezifischen Anforderungen, der modelltechnische Ansatz, sowie Kernergebnisse dargestellt.

3.1 Gebäudesystem

Im Rahmen der Energiewende unbeachtet bleibt oftmals, dass ca. 83 % des Endenergieverbrauchs im Haushalt für die Wärmeversorgung (Raumwärme (RW) und Warmwasser (WW)) benötigt werden [6], ein Bereich, wo erneuerbare Energien bisher eine untergeordnete Rolle spielen.

3.1.1 Zielsetzung

Die nachfolgenden Betrachtungen sollen zeigen, welche Potentiale im Bereich der dezentralen Wärme-eigenversorgung durch ein intelligentes Erzeugungsmanagement (iEMA) bestehen. Hierbei werden zwei wesentliche Ziele durch die Einsatzplanung verfolgt. Zum einen ist die aus erneuerbaren Energien bereitgestellte Wärme zur Gewährleistung des RW- und WW-Bedarfs zu maximieren. Zum anderen soll durch das iEMA ein netzdienliches Verhalten, d.h. ein Beitrag zur Spannungshaltung und Reduktion der Strombelastung in den elektrischen Netzen, durch die Wärmeerzeuger realisiert werden. Maßgebend für einen effizienten Ressourceneinsatz ist, dass die Wärmeerzeugung möglichst zeitnah zum Verbrauch erfolgt.

3.1.2 Modell

Die Versorgung eines Gebäudes wird am Beispiel eines Einfamilienhauses mit Wärmepumpe aufgezeigt. Auf Basis eines abstrahierten Modells werden hierfür energetische Betrachtungen mit einer Auflösung von

15 min durchgeführt. Die Eingangsparameter sind dabei in Bild 4 dargestellt.

Beispielgebäude: Einfamilienhaus

Energiestandard: EnEV 2004 (57 kWh_m²/a)

Luftwechselrate: 0,5

Anlagenkenndaten bzw. -bemessungswerte

PV-Spitzenleistung: 6 kW_p

Wärmepumpenkenndaten:

COP 2,52, P_{th min}=400 W,

P_{th max}=4 kW, modulierend

Speichervolumen:

WW: 3,5 kWh (200l),

RW: 23 kWh (500l)

Last- bzw. Erzeugergänge

PV-Einspeisung: 4250 kWh

Elektrobedarf: 3200 kWh

Raumwärmebedarf: 11903 kWh

Trinkwassererwärmung: 2427 kWh (120 l), 3950 kWh (200 l)

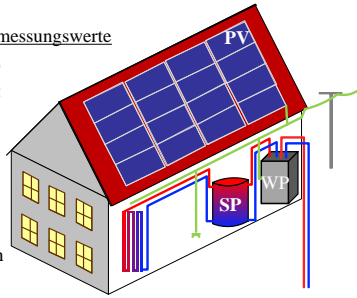


Bild 4 Gebäudemodell mit den Eingangsdaten

Grundlage für die energetischen Betrachtungen stellen aufgelöste, realitätsnahe Lastprofile für die im Gebäude anfallenden, thermischen und elektrischen Bedarfe sowie den Erzeugergang der PV-Anlage dar. Die thermischen Lastprofile basieren auf einer komplexen 3D - Gebäudesimulation, bei denen anhand eines Typreferenzjahres, eines vorgegeben Energiestandards sowie eines vorgegeben Heizsystems der thermische Bedarf bestimmt wird. Auf elektrischer Seite wird als Basis für die Erstellung des Lastgangs ein probabilistischer Ansatz verfolgt, bei dem für eine vorgegebene Haushaltsausstattung (Wasserkocher, Waschmaschine etc.) mit einem zugehörigen spezifischen Nutzerverhalten sich ein typischer Lastverlauf ergibt. Der PV-Erzeugergang entstammt einer umfangreichen Simulation unter Beachtung von u.a. Wolkenzug und Umgebungstemperaturen.

3.1.3 Ergebnisse

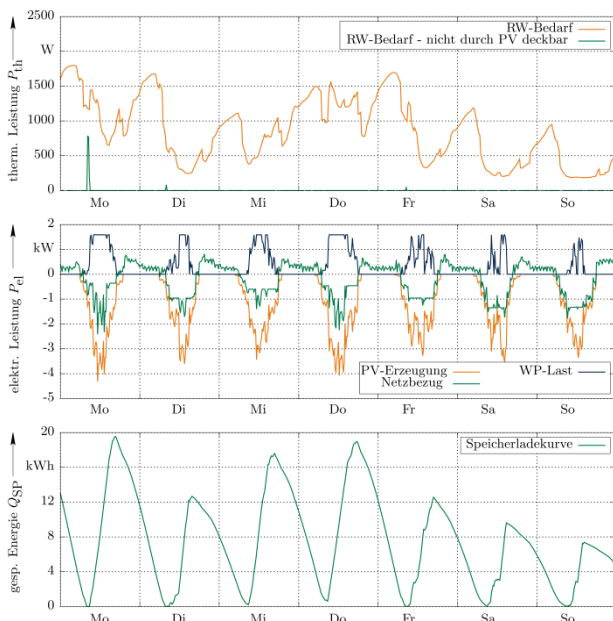


Bild 5 Verläufe für Erfüllung der RW durch PV Nutzung in der Wärmepumpe (Mitte April)

Nachfolgend sollen erste, sich ergebende Potentiale aufgezeigt werden. Bild 5 zeigt beispielhaft Zeitverläufe für Mitte April. Ein Großteil der durch PV erzeugten elektr. Energie kann nach Deckung des elektr. Bedarfs zur

Wärmeproduktion herangezogen werden. Dies führt zu einer erheblichen Reduktion der ins Netz eingespeisten PV-Spitzenleistung.

Eine für die WW- und RW-Bereitstellung getrennt durchgeführte Jahresbetrachtung zeigt erhebliches Potential (Tab. 2 und Tab. 3). Es werden zwischen 13% und 24% der eingespeisten Energie von PV-Anlagen für die Deckung des Wärmebedarfs und Elektroenergiebedarfs genutzt. Durch das iEMA kann für die WW-Bereitstellung ein Eigenbedarfsdeckungsanteil (EBDA) von 61% bzw. 51% erreicht werden. Im Bereich der RW liegt der Anteil jedoch mit 21,6% deutlich geringer, da der RW- Bedarf und PV-Einspeisung konträr zueinander verlaufen. Im Weiteren ist eine erhebliche Reduktion der PV-Spitzenleistung zwischen 17% und 32% erreichbar. Begrenzend wirken diesbezüglich im Wesentlichen die Wärmepumpen- als auch die Speicherdimensionierung. Die Nutzung einer Wärmepumpe zur Gebäudeklimatisierung im Sommer wurde hierbei nicht betrachtet.

Warmwasserverbrauch	120 l/d	200 l/d
Dez. genutzte PV – Energie	13 %	19 %
EBDA in Wärmeversorgung	61 %	51 %
Reduktion der PV-Jahresspitze	26,1 %	32,7 %

Tabelle 2 WW-Bereitstellung: genutzte PV-Energie, EBDA und Reduktion der PV Spitzenleistung

Raumwärmebereitstellung	EnEV 2004 LW 0,5
Dez. genutzte PV –	24 %
EBDA in Wärmeversorgung	21,6 %
Reduktion der PV-Jahresspitze	17,3 %

Tabelle 3 RW-Bereitstellung: genutzte PV-Energie, EBDA und Reduktion der PV-Spitzenleistung

3.2 Verteilnetz

Ein wichtiger Vorteil strombasierter Wärmeerzeugung ist deren Flexibilität durch die Integration thermischer Speicher in die Gebäude. Um diese Flexibilität im Sinne elektrischer Netze zu nutzen, stellt sich die Frage wie viel der gesamten installierten Leistung der Wärme-erzeuger zu jeder Zeit zu- oder abgeschaltet werden kann. Dem gegenüber steht jedoch die Wärmeversorgung der Haushalte, welche jederzeit gewährleistet sein muss. Diese gewonnene Flexibilität kann potentiell genutzt werden, um EE zu integrieren. Im Verteilnetz naheliegend ist die Frage, in wie weit durch elektrische Wärmeerzeugung die ansonsten durch regenerative Einspeisung ausgelösten Spannungsanhebungen kompensiert werden können.

3.2.1 Modell

Um die genannte Zielsetzung zu untersuchen, wird auf ein modifiziertes, in [7] und [8] beschriebenes, gekoppeltes elektrisch-thermisches Simulationsmodell zurück gegriffen und ein ländliches Niederspannungsnetz betrachtet. Methodisch werden jeweils 30 Tage im April simuliert. Im gewählten Szenario verfügen innerhalb des betrachteten Niederspannungsnetzes ca. 15% der Haushalte über eine Wärmepumpe. Dies entspricht 10 Haushalten, welche jeweils einen spezifischen Wärmeverbrauch von ca. 50 bis 100 $\frac{kWh_{th}}{m^2 \cdot a}$ aufweisen. Der

durchschnittliche Wärmebedarf der Haushalte für Raumwärme beträgt im April ca. 6% des Jahres-Heizenergiebedarfs. Die Wärmepumpen werden hierbei ausschließlich zur Deckung des Raumwärmebedarfs eingesetzt. Die kumulierte elektrische Anschlussleistung aller Wärmepumpen beträgt 24,7 kW_{el}. Neben den übrigen elektrischen Verbrauchern und den beschriebenen Wärmepumpen werden PV-Anlagen mit einer kumulierten Einspeiseleistung von 148 kW_p berücksichtigt.

3.2.2 Ansteuerbarkeit des Wärmepumpenverbundes

Im ersten Schritt wird einmal täglich ein Anlauf- und ein Ausschaltsignal von verschiedener Dauer, jeweils beginnend zu verschiedenen Tageszeiten, an alle Wärmepumpen in dem betrachteten Niederspannungsnetz gesendet. Wesentliches Merkmal ist, inwiefern Wärmepumpen mit angeschlossenem Wärmespeicher für verschiedene spezifische Speichervolumina in der Lage sind, einem Anlaufsignal (Signal „AN“) von jeweils verschiedener Länge zu entsprechen. Der Regler der angesteuerten Haushalte entspricht dem Signal jeweils nur dann, wenn der Wärmebedarf des Haushalts jederzeit gedeckt ist und der Wärmespeicher in seinen zulässigen Grenzen betrieben wird. Bild 6 zeigt die jeweils bei einem Einschaltsignal an alle Wärmepumpen tatsächlich verfügbare, mittlere Leistung.

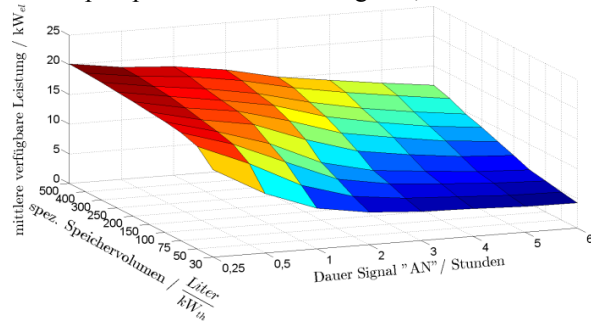


Bild 6: mittlere abrufbare Leistung für verschiedene Signallängen und spezifische Speichervolumina für April
Es wird deutlich, dass mit steigender Signaldauer des AN-Befehls bzw. des spezifischen Speichervolumens die mittlere verfügbare Leistung ab- bzw. zunimmt. Zudem ist zu beobachten, dass insbesondere längeren „AN-Signalen“ nicht mehr über die gesamte Dauer des Signals Folge geleistet werden kann. Dies erscheint plausibel, da selbst bei sehr großen Wärmespeichern aufgrund des im April verhältnismäßig geringen Wärmeenergiebedarfs nicht mehr die speicherbare Wärmeenergiemenge das beschränkende Element ist sondern der Wärmeverbrauch selbst.

Im zweiten Schritt wird untersucht, inwiefern Wärmepumpen durch gezielten Betrieb zu Zeiten einer Einspeisung aus Photovoltaik in der Lage sind, die hierdurch ausgelösten Spannungsanhebungen zu kompensieren. Mit Hilfe der elektrischen Lastflussrechnung wird schließlich bestimmt, inwiefern der gesteuerte Betrieb der Wärmepumpen sich auf die Spannung auswirkt. Da im Rahmen der ersten Simulationen ausschließlich Raumwärme als Wärmesenke berücksichtigt wurde, ist der spannungsenkende Effekt durch Wärmepumpen als tendenziell gering einzustufen. Weitere Untersuchungen werden zusätzlich den Bedarf für Warmwasser einbeziehen.

3.3 P2H in einer Region

Mit zunehmendem EE-Ausbau wird es auch langfristig zu deutschlandweiten EE-Überschüssen kommen. Derzeit ergeben sich nicht nutzbare EE-Überschüsse aber insbesondere in EE-Regionen aufgrund von Engpässen auf Verteil- und Übertragungsebene. Dabei wird durch Einspeisemanagement (EinsMan) die nicht transportierbare EE-Einspeisung abgeregelt – davon der Hauptteil in Schleswig-Holstein. Dieser Anteil hängt stark vom Voranschreiten des Ausbaus der Nord-Süd Stromtrassen ab. Bild 7 zeigt für das Jahr 2023 in Schleswig-Holstein EE-Überschüsse von 2,7 TWh, welche ein wirtschaftliches Ausbaupotenzial von 1,3 GW für P2H ermöglichen würden [9]. Es ist zu prüfen, ob P2H auch als ein kosteneffizientes Element langfristig eine Alternative zu einem sonst überdimensionierten Netzausbau für die EE-Integration in anderen Regionen Deutschlands sein kann.

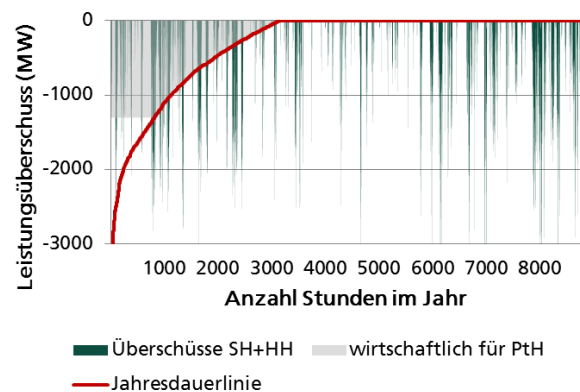


Bild 7 Jahreszeitreihe und -dauerlinien des EE-Überschusses in Schleswig-Holstein und Hamburg 2023 [9].

Für die Nutzarmachung dieses EinsMan-Strom bestehen Vorschläge in einer Auktion durch den Netzbetreiber und Verkauf dieses Stromes an bivalente P2H-Anlagen, welche sich sehr gut in die bestehenden Regelungen zur Netzengpassbewirtschaftung für Großkraftwerke integrieren ließen [9]. Durch bivalente P2H-Anlagen – auch als hybride Systeme bezeichnet – wird die Strombedarfsdeckung bei einem Mangel an EE-Strom nicht zusätzlich belastet, da zu diesen Zeiten auf einen anderen Energieträger zurückgegriffen werden kann.

Hierbei werden insbesondere zentrale Elektrodenheizkessel im Maßstab von 5 bis 15 MW eingesetzt, die sich aufgrund von Skaleneffekten durch eine niedrige spezifische Investition und OPEX auszeichnen. Im Bereich der Fernwärme-KWK ist dabei aufgrund der saisonal eingeschränkten Verfügbarkeit ein Wärmespeicher ein wichtiger Bestandteil. Industrieanlagen mit einem durchgehend hohen Dampfbedarf, wie sie vor allem in den Bereichen Chemie, Papier und Pharma zu finden sind, eignen sich hervorragend zur Integration einer P2H-Anlage in Form eines Elektrodendampfkessels. Dabei wird die Anlage in die Medienversorgung vor Ort eingebunden und greift daher nicht in primäre Produktionsprozesse ein.

4 Fazit

In den betrachteten Szenarien wurde untersucht, welche Beiträge P2H auf den verschiedenen Systemebenen liefern kann. Für das Hausenergiesystem wurde gezeigt, dass - motiviert durch sinkende PV-Preise und damit sinkenden Stromgestehungskosten - der PV-Anteil am Stromverbrauch durch elektrische Raumheizung oder Brauchwasserbereitung gesteigert werden konnte. Je nach Speichergröße konnte die PV Einspeisespitze um ca. 25% gesenkt werden.

Betrachtet man einen Wärmepumpenverbund im Niederspannungsnetz, kann der Verbund sehr gut als flexibler Verbraucher zugeschaltet werden. Diese Fähigkeit nimmt jedoch naturgemäß aufgrund des geringen bzw. gar nicht vorhandenen Heizwärmebedarfs bis zum Sommer stark ab. Höhere Speichervolumina ermöglichen hierbei generell eine höhere Flexibilität.

Die Betrachtung von Einspeisemanagement für Schleswig Holstein zeigt ein wirtschaftlich nutzbares Potential für P2H von 1,3 GW. Darüber hinaus sind Stromheizungen schnell und präzise regelbar und daher ideal für die Erbringung von Regelleistung geeignet. Bei Abruf von P2H bei EE-Überschüssen ersetzen diese Systeme fossile Brennstoffe, da hierdurch die Wärmeerzeugung auf Basis fossiler Quellen entsprechend zurückgefahren werden kann.

4.1 Hemmnisse / Rahmenbedingungen

Einem wirtschaftlichen Einsatz von P2H stehen derzeit noch die geltenden Rahmenbedingungen entgegen, die im Folgenden kurz erläutert werden sollen.

Die bestehenden rechtlichen Regularien für die Belieferung mit Strom im Privatkunden- und Gewerbe-segment sind im Rahmen der Liberalisierung entwickelt worden. Sogenannte Standardlastprofile ermöglichen es jedem Stromvertrieb, Kunden eines Segments in ganz Deutschland einfach und effizient im Sinne der Transaktionskosten zu beliefern. Die Strombeschaffung für dieses Kundensegment erfolgt i.d.R. am Terminmarkt mit einem deutlichen zeitlichen Vorlauf zum Erfüllungszeitraum. Eine Berücksichtigung von tageszeitlichen Preisschwankungen an der Strombörse (EEX) im Beschaffungsprozess ist nicht vorgesehen.

Mit dem deutlichen Zubau an fluktuierend einspeisenden Erzeugungskapazitäten (Sonne/Wind), insbesondere bedingt durch das Re-Finanzierungsmodell des EEGs, haben sich die täglichen Strompreisschwankungen an der Börse deutlich erhöht und sind heute stark vom Wetter abhängig. Große Strom-Verbraucher machen sich diese Schwankungen in ihrer Einkaufsstrategie zunutze, da sie flexibel Strom nach veränderbaren Lastfahrplänen verbrauchen können. Die fixen standardisierten Fahrpläne für Privat- und Gewerbekunden geben eine solche Flexibilität jedoch nicht her. Erst durch die Einführung von intelligenten Zählern (Smart Meter) und der dazugehörigen regulatorischen Rahmenbedingungen sollen in Zukunft auch flexible Tarife möglich sein.

Insbesondere setzt jedoch die heute zum überwiegenden Teil energieabhängige Tarifstruktur keine oder sogar falsche Anreize für eine Nutzung von Strom im Wärme-

markt, da jede in diesem Sektor verbrauchte Kilowattstunde auch mit allen Steuern und Abgaben belastet wird und somit keine wirtschaftliche Alternative zu den fossilen Primärenergieträgern gegeben ist. Rd. 50% des heutigen Strompreises entfallen dabei auf Steuern und Abgaben, weitere 20% auf die regulierten Netzentgelte.

Eine Veränderung der Tarifstruktur, die sich an der echten Kostenstruktur orientiert – also einen viel höheren Fixpreisanteil haben müsste - ist daher dringend erforderlich. Nur wenn den Kunden Strom für den Wärmemarkt zu attraktiven Preisen angeboten werden kann – insbesondere zu den in Zukunft immer häufiger zu erwartenden Zeiten mit Überschüssen bei den erneuerbaren Energien – wird es gelingen die fossilen Energieträger im Wärmemarkt teilweise zu ersetzen und somit auch einen Beitrag zu einer Flexibilisierung des Strombedarfs zu liefern.

Wenn die Energiewende gelingen soll, ist eine gesamt-hafte Betrachtung aller Energiemärkte (Strom, Gas, Wärme ...) dringend erforderlich. Hierfür sind die rechtlichen und regulatorischen Voraussetzungen zu schaffen.

5 Literatur

- [1] Michael Schlesinger, et al.: Entwicklung der Energiemärkte - Energierferenzprognose. Prognos AG, EWI, GWS mbH, 2014
- [2] Rolf-Michael Lüking, Matthias Günther: Rollentausch – Strom und Brennstoffe im regenerativen Energieversorgungssystem, BWK, 2014
- [3] Christof Kost, et.al.: Stromgestehungskosten Erneuerbare Energien, Fraunhofer ISE, 2013
- [4] Jochen Conrad, Christoph Pellingner, Tobias Schmid : Merit Order der Energiespeicherung im Jahr 2030. Teilprojekt: P2H in privaten Haushalten, FfE 2014
- [5] Marek Miara, et.al.: Wärmepumpen Effizienz - Messtechnische Untersuchung von Wärmepumpenanlagen zur Analyse und Bewertung der Effizienz im realen Betrieb, Fraunhofer ISE, 2010
- [6] Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V.: Auswertungstabellen zur Energiebilanz 1990-2012, 2013
- [7] Brunner, Braun, Tenbohlen: Heat pumps as important contributors to local demand-side management, IEEE PES PowerTech Conference 2013
- [8] Brunner, Braun, Tenbohlen: Wärmepumpen als Möglichkeit zur Spannungsregelung in Niederspannungsnetzen. ETG-Kongress 2013
- [9] Norman Gerhardt, et.al.: Power-to-Heat zur Integration von ansonsten abgeregeltem Strom aus Erneuerbaren Energien, Agora Energiewende, 2014

6 Danksagung

Die ETG-Task Force „Wärme- und Kälteversorgung in flexiblen Energieversorgungssystemen mit hohen Anteilen an erneuerbaren Energien“ setzt sich aus über 30 Personen aus verschiedenen Institutionen zusammen, die alle relevanten Bereiche aus Forschung, Lehre, Industrie, Netzbetrieb und Anwendung repräsentieren.