

# DIMENSIONIERUNG VON WÄRMESPEICHERSYSTEMEN IN WOHNGBÄUDEN ZUR NETZENTLASTUNG

---

*D. Schmidt und S. Hoffmann*

*Technische Universität Kaiserslautern, Fachbereich Bauingenieurwesen, Fachgebiet Gebäudesysteme und Gebäudetechnik*

*Paul-Ehrlich-Straße 14, Gebäude 14, Zimmer 272, D-67663 Kaiserslautern*

*Tel.: 0631/205-4274, Email: daniel.schmidt@bauing.uni-kl.de*

## **ABSTRACT**

Die fluktuierende Erzeugung und Einspeisung von erneuerbaren Energien stellt das Stromnetz vor extreme Herausforderungen und der zunehmende Ausbau dieser Energiequellen wird dieses Problem zukünftig weiter verschärfen. Der Beitrag beschäftigt sich mit dem Forschungsansatz des INTERREG-Projekts PtH4GR<sup>2</sup>ID (Power-to-Heat for the Greater Regions Renewables Integration and Development), der aufzeigen soll, ob und wie Power-to-Heat in Kombination mit Wärmespeichersystemen genutzt werden kann, um das Stromnetz zu entlasten. Zu diesem Thema werden TRNSYS-Simulationen durchgeführt und die Ergebnisse bezüglich eines möglichen Netzmanagements eingeordnet. Hierbei zeigt sich, dass dieser Ansatz durchaus das Potential hat, einen wichtigen Anteil zum Gelingen der Energiewende leisten zu können.

The fluctuating generation and feed-in of renewable energies is an extreme challenge for the electricity grid and the increasing use of these energy sources will further intensify this problem in the future. This article deals with the research approach of the INTERREG-Project PtH4GR<sup>2</sup>ID (Power-to-Heat for the Greater Regions Renewables Integration and Development), which aims to demonstrate whether and how Power-to-Heat can be used in combination with heat storage systems to relieve the grid. For this topic, TRNSYS simulations are carried out and the results regarding a possible network management are classified. The results show that this approach has the potential to make an important contribution to the success of the energy transition.

## **EINLEITUNG**

Die Energiewende ist nach wie vor ein zentrales Thema innerhalb der Forschung und wird auch in den kommenden Jahren eine große Herausforderung darstellen. So hat sich die Bundesrepublik Deutschland das Ziel gesetzt, bis 2050 mindestens 80 % des Bruttostromverbrauchs aus erneuerbaren Energien zu erzeugen. (vgl. EEG 2017 - Deutschland, 2017) Gemessen am Potenzial innerhalb Deutschlands ist dieses Ziel sicherlich erreichbar; auch eine komplette Abdeckung der benötigten Leistung durch erneuerbare Energien ist zukünftig denkbar. Dies berücksichtigt aber noch nicht die eigentlich größte Herausforderung der Energiewende – die sehr fluktuierende und kaum planbare Einspeisung von Strom aus erneuerbaren Energien.

Die Endlichkeit der fossilen Brennstoffe ist uns längst bewusst und auch aus Klimaschutzgründen ist eine zunehmende Unabhängigkeit vom Kohle- und Gasstrom wünschenswert. Dennoch hatte diese Art der zentralen Stromerzeugung in leistungsstarken Kraftwerken über Jahre hinweg den großen Vorteil, dass sie sehr einfach steuerbar war und somit zu jeder Zeit ziemlich genau dem Strombedarf angepasst werden konnte. Dieser Vorteil wird zukünftig zunehmend wegfallen und muss durch alternative, intelligente Steuerungssysteme ersetzt werden, denn die größtenteils für die Erzeugung der Energie verantwortlichen Faktoren (Solarstrahlung und Windstärke) werden auch zukünftig nicht durch den Menschen beeinflussbar sein.

Einen interessanten Forschungsansatz für diese zukünftigen Problemstellungen können hierbei Power-to-Heat-Lösungen darstellen. Power-to-

Heat beschreibt den Vorgang, bei dem Strom in Wärme umgewandelt wird. Dabei sollte allerdings im Gegensatz zu klassischen Heizstäben eine (deutlich) bessere Effektivität erzielt werden. Besonders Wärmepumpen sind hier als mögliche Lösung zu nennen und gelten daher als Technologie, die zunehmend an Bedeutung gewinnen wird.

Über Power-to-Heat-Anlagen wird somit auch ein wichtiger Bogen zur Wärmewende aufgezeigt. Das Thema Energiewende wird oftmals auf eine zunehmende Integration von erneuerbarem Strom begrenzt, allerdings darf auch ein Umstellen der Wärmeerzeugung, die sich in Deutschland größtenteils noch über Gasheizungen darstellt, nicht vernachlässigt werden.

Innerhalb dieses thematischen Schwerpunkts ist das INTERREG-Forschungsprojekt PTH4GR<sup>2</sup>ID (Power to Heat for the Greater Region's Renewables Integration and Development) angesiedelt, in dem Forscher der Universitäten Kaiserslautern, Lüttich, Luxemburg und Nancy sowie des Forschungsinstituts IZES die Entwicklung eines Regelungssystems für Wärmepumpen untersuchen, das zu einer Entlastung der Stromnetze beitragen soll.

## **HINTERGRUND**

Vor dem großflächigen Ausbau der erneuerbaren Energien entstanden Schwankungen im Stromnetz eigentlich ausschließlich durch unplanmäßige Kraftwerksausfälle. Um solche Engpässe abzufangen, wurde ursprünglich die Regelenergie eingeführt, also eine Energieform, die in bestimmten Zeiträumen dazu beitragen kann, dass sich Erzeugung und Bedarf die Waage halten. Mit der zunehmenden Einspeisung von erneuerbaren Energieträgern ins Stromnetz ist die Bedeutung der Regelenergie deutlich gestiegen, da die Fluktuation nicht mehr ausschließlich an Ausfälle gebunden ist, sondern auch von sich dauernd ändernden Wetterbedingungen abhängt.

Daraus folgend wird die schwankende Erzeugung von erneuerbaren Energien zukünftig nicht mehr ausschließlich über oftmals sehr teure Regelenergie abzufangen sein, sondern das Augenmerk sollte zunehmend auch auf ein Anpassen des Bedarfs an die Erzeugung gerichtet werden (Demand-Side-Management). Es gilt also Wege zu finden, den Strom dann zu

nutzen, wenn er zur Verfügung steht und den Bedarf möglichst gering zu halten, wenn dies nicht der Fall ist. Dies muss allerdings unter der Prämisse geschehen, dass der gewohnte Komfort nicht leidet.

An genau diesem Punkt wird das Thema Power-to-Heat interessant, innerhalb dessen sich der Beitrag größtenteils auf elektrisch betriebene Wärmepumpen fokussiert. Diese nutzen Strom und erzeugen Wärme, die wiederum recht einfach gespeichert werden kann, da nahezu jeder Haushalt in Deutschland über einen Wärmespeicher verfügt, meistens gefüllt mit Wasser. Die Wärme, die wir zum Heizen unserer Wohnungen nutzen, muss also nicht zwingend dann produziert werden, wenn wir die Heizung anschalten. Wärmepumpen können vielmehr die Wärme genau dann durch elektrischen Strom generieren, wenn das Netz Stromverbraucher benötigt und die gespeicherte Wärme ohne Erzeugung nutzen, wenn eine Entlastung des Netzes gefordert ist.

Dieser thematische Schwerpunkt wird innerhalb des Beitrags behandelt. Im Mittelpunkt steht die Frage, wie lange Gebäude aus verschiedenen Baualtersklassen mit unterschiedlichen Speichervolumina beheizt werden können, ohne dass die Wärmepumpe zusätzliche Wärme generieren muss, wenn der Speicher zu Beginn der Betrachtung vollgeladen ist. Die hieraus resultierenden Ergebnisse sollen einen Beitrag zur Potenzialabschätzung von Power-to-Heat Anlagen zur Stabilisierung des Netzes geben.

## **VORGEHENSWEISE**

Um die beschriebenen Untersuchungen durchführen zu können, muss in einem ersten Schritt eine passende Simulationsumgebung geschaffen werden. Als Software wurde hierfür TRNSYS gewählt, da sich die benötigten Modelle (Speicher, Gebäude, Wärmepumpe, etc.) dort gut abbilden lassen. (vgl. TRANSSOLAR, 2018)

Zur Festlegung eines Gebäudes wurde von den Projektpartnern die Tabula-Studie genutzt und aus dieser ein deutsches Einfamilienhaus als Referenzobjekt gewählt. (vgl. IEE Project TABULA, 2012) Um ein möglichst breites Spektrum an Gebäuden anzusprechen und um auch verschiedene Heizwärmebedarfe abzubilden, wurden, durch ein Anpassen der thermischen Gebäudehülle, verschiedene Baualtersklassen erzeugt. Die Baualtersklasse des ursprünglichen Gebäudes ist E (1958 -1968),

zusätzlich gewählt wurden die Altersklassen I (1995 – 2001, nach 3. Wärmeschutzverordnung), J (2002-2009, nach EnEV) und L (jünger als 2016, aktueller Neubau). Zudem wurde das Gebäude in zwei thermische Zonen mit unterschiedlicher Solltemperatur unterteilt. Eine Zone wird hierbei auf 22 °C geheizt, die andere wird als angenommenes Schlafzimmer lediglich auf 18 °C gehalten. Zudem verfügt das Gebäude über einen unbeheizten Keller, sowie über ein teilweise unbeheiztes Dach. Das Gebäude wurde dreidimensional in SketchUp (vgl. Trimble, 2018) gezeichnet und anschließend über die Schnittstelle TRNSYS3d eingelesen und steht somit während den Simulationen im Type 56 zur Verfügung, der innerhalb von TRNSYS alle für die Simulation relevanten Gebäudedaten enthält.



Abbildung 1: SketchUp-Modell des Referenzgebäudes

Weiterhin wurden die Speichervolumina variiert. Hierbei wurde festgelegt, Speicher mit einem Volumen von ca. 500 l, 1000 l und 2000 l zu untersuchen. Die Speicher und ihre Dämmung wurden nach Herstellerinformationen modelliert. (vgl. Vaillant) Als Medium wird innerhalb dieses Beitrages lediglich Wasser gewählt, zukünftig können allerdings auch Untersuchungen mit PCM interessant sein. Zur Modellierung des Speichers innerhalb TRNSYS wurde Type 340 gewählt, da dieser über eine große Anzahl frei definierbarer Größen verfügt und sich somit außerordentlich gut eignet, um Wasserspeicher auf der Grundlage von Herstellerinformationen zu modellieren. (vgl. Harald Drück, 2006)

Bezüglich der Wärmepumpe liegt der Fokus des Beitrags auf Luft-Wasser-Wärmepumpen. Dies ist die momentan in Deutschland am häufigsten genutzte Technik, da sie am einfachsten zu installieren ist. (vgl. European Heat Pump Association (EHPA), 2018) Wärmepumpen mit

Erdkollektoren und/oder Tiefenbohrung sind nicht nur kostenintensiver, sondern stehen auch längst nicht für jedes Wohngebäude zur Verfügung, wohingegen Luft als Wärmequelle frei verfügbar ist. Für die Simulation der Wärmepumpe wurde der TRNSYS-Type 941 gewählt, dieser stellt eine klassische Luft-Wasser Wärmepumpe dar. (vgl. TESS, 2018) In diesem Zuge sei allerdings erwähnt, dass die Effizienz und die Leistungszahlen der Wärmepumpe innerhalb dieses Beitrages nicht detailliert untersucht werden. Der Fokus liegt auf dem Zeitraum, in dem die Wärmepumpe nicht läuft und das Gebäude lediglich durch die gespeicherte Wärme beheizt werden muss.

Bei der Erzeugung der Wärme wird das maximale Temperaturlimit innerhalb des oberen Bereiches des Speichers auf 70 °C gelegt, bei dieser Temperatur gilt der Speicher in der Betrachtung als vollgeladen. Durch die natürliche Schichtung innerhalb eines Speichers besteht trotzdem die Möglichkeit, im unteren Bereich auch kühleres Wasser zu entziehen, der Speicher wird also nicht durchmischt. Diese definierte Temperatur ist zwar relativ hoch und Wärmepumpen arbeiten in diesem Bereich nicht mehr sonderlich effizient, da die zu überbrückende Wärmedifferenz zwischen Quellen- und Senkenseite zu hoch ist, allerdings soll diese hohe Temperatur auch nur erreicht werden, wenn es zur Entlastung des Netzes beiträgt. Und zu diesen Zeitpunkten, an denen zukünftig zu viel Elektrizität ins Netz eingespeist wird, ist es letztlich immer noch besser, den Strom mit einem geringen Wirkungsgrad zu nutzen, als überhaupt nicht.

Als Heizsystem, um die Wärme innerhalb des Gebäudes nutzen zu können, wurden zum jetzigen Zeitpunkt lediglich Radiatoren betrachtet, obwohl Wärmepumpen gerade in Neubauten hauptsächlich in Kombination mit Flächenheizsystemen genutzt werden. Dabei wurde das Heizsystem mit Type 362, der einen klassischen Radiator abbildet, modelliert. (vgl. S. Holst) Entsprechende Simulationen mit einer Flächenheizung werden zukünftig ebenfalls angestrebt.

Mit den Modellen (Wärmepumpe, Speicher, Gebäude, Radiatoren) wurde anschließend eine Simulationsumgebung in TRNSYS erstellt, mit der die gewünschten Simulationen durchgeführt werden können. In den folgenden Ergebnissen

werden reale Wetterdaten für die Simulation genutzt, um die Ergebnisse in einem aktuellen Szenario abbilden zu können. Als Quelle für die Daten wurde der Deutsche Wetterdienst genutzt, als Standort wurde Saarbrücken festgelegt. (vgl. Deutscher Wetterdienst, 2018) Aus den Aufzeichnungen des Wetterdienstes wurde anschließend ein Inputfile für die TRNSYS Simulation erstellt. Die hierfür benötigten Messgrößen sind in erster Linie die Umgebungstemperatur und die Solarstrahlung.

Bei der Auswahl der Wetterdaten wurde ein besonderes Augenmerk daraufgelegt, einen Zeitraum zu finden, indem sich Phasen mit einem hohen und einem niedrigen Anteil an erneuerbar produziertem Strom gegenüberstehen. Somit können die Simulationsergebnisse in einem realen Zeitraum des Jahres eingeordnet werden. Der letztlich gewählte Zeitraum umfasst den 24. bis 30.01.2018.

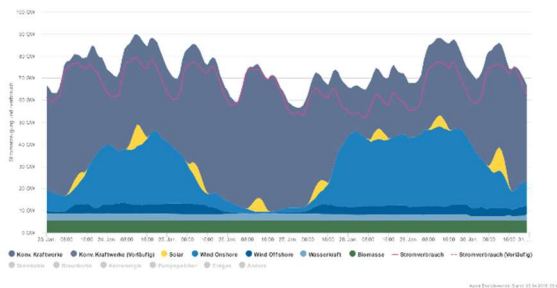


Abbildung 2: Stromdaten für erneuerbare und konservative Erzeugung in Deutschland (Agora Energiewende)

Abbildung 2 zeigt reale Stromdaten in Deutschland für diesen Zeitraum. Hierbei wurde bewusst eine Zeitspanne gewählt, in der mehrere Tage mit einer ungewöhnlich hohen Einspeisung an erneuerbarer Energie von einem Zeitraum mit sehr geringer Einspeisung unterbrochen werden. Somit kann das zentrale Thema des Beitrags unter tatsächlichen Randbedingungen untersucht werden.

Während der Zeiten mit einem relativ hohen Anteil an erneuerbarem Strom im Netz, kann und soll die Wärmepumpe laufen, innerhalb der Zeiten mit sehr geringer Einspeisung allerdings nach Möglichkeit nicht. Der Hintergrund dieser Annahme, der in der Einleitung und im Hintergrund schon angesprochen wurde, ist die Entlastung des Netzes. Phasen, in denen bereits jetzt teilweise über 50 % des Stromes aus erneuerbaren Quellen stammen, werden zukünftig Phasen sein, in denen zu viel Strom

erzeugt wird. Auf der anderen Seite werden Tage, an denen die Sonne kaum scheint und es relativ windstill ist, auch bei einem zunehmenden Ausbau der erneuerbaren Energien nicht in der Lage sein, den Strombedarf zu decken. Daher werden die Schaltsignale der Wärmepumpe an diese Gegebenheiten angepasst und als Zeitspanne mit einem geringen Anteil an erneuerbarer Energie werden mit Bezug auf die obige Abbildung 48 Stunden gewählt. (25.01. 16:00 Uhr bis 27.01. 16:00 Uhr) Die nachfolgende Untersuchung soll zeigen, unter welchen Bedingungen Gebäude und Speicher in der Lage sind, für diese 48 Stunden auf eine Erzeugung von Wärme zu verzichten. Die nachfolgende Abbildung zeigt die Wetterdaten für Saarbrücken innerhalb dieses Zeitraums, der auch als Quelle für die Erstellung eines TRNSYS Wetterfiles genutzt wurde.

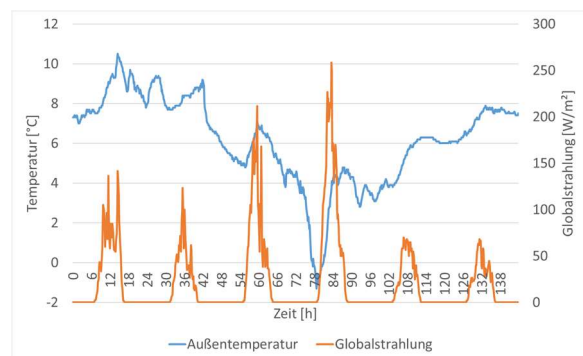


Abbildung 3: Wetterdaten am Standort Saarbrücken zur Generierung des TRNSYS-Inputfiles

Zum Auswerten der Simulationen musste zudem ein Rahmen für die thermische Behaglichkeit festgelegt werden. Als Referenzkriterium wurde hierfür die operative Temperatur innerhalb der 22 °C Zone des Gebäudes gewählt: solange diese oberhalb von 20 °C liegt, wird die Behaglichkeit noch als akzeptabel eingestuft.

Die zentrale Frage bei der Auswertung der folgenden Ergebnisse lautet also, wie lange der thermische Komfort innerhalb des Gebäudes aufrechterhalten werden kann, wenn keine zusätzliche Wärme erzeugt wird? Hierbei wird ein besonderes Augenmerk auf die Baualterklassen und die verschiedenen Speichervolumina gelegt.

## ERGEBNISSE

In einem ersten Schritt wurde der Heizwärmebedarf der entwickelten Gebäudemodelle über Simulationen ermittelt. Die folgende Abbildung zeigt die Ergebnisse.

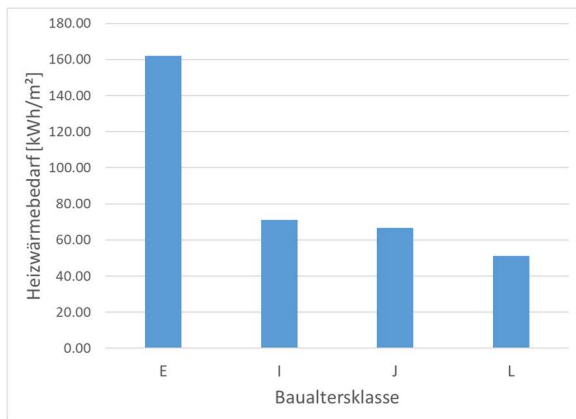


Abbildung 4: Heizwärmebedarf der Baualterklassen

Die Abbildung verdeutlicht, dass der Heizwärmebedarf kontinuierlich mit zunehmenden Dämmstandards sinkt und somit zwischen den Altersklassen E (~162 kWh/m²) und L (~51 kWh/m²) abnimmt. Wie bereits erwähnt, wurde das Gebäude der Tabula-Studie entnommen und entspricht einem realen Einfamilienhaus aus den 1960er Jahren. Der mit diesem Modell simulierte Heizwärmebedarf entspricht nahezu genau dem Bedarf, der in der Studie als Referenz angegeben wird. (vgl. IEE Project TABULA, 2012) Wichtig bei den jüngeren Baualterklassen ist die Vorgehensweise, dass kein neues Gebäudemodell entworfen wurde, sondern lediglich die U-Werte der thermischen Hüllfläche auf typische Werte für die entsprechenden Zeiträume angepasst wurden. Dabei bleiben die simulierten Ergebnisse auch für die anderen gewählten Altersklassen in einem realistischen Bereich.

Mit diesen Gebäudemodellen wurden anschließend die weiteren Simulationen durchgeführt. Abbildung 5 zeigt die Ergebnisse.

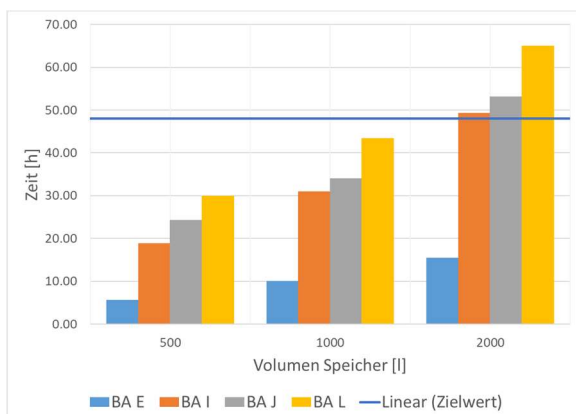


Abbildung 5: Simulationsergebnisse für Baualterklassen und Speichervolumina

Das Diagramm ist in drei Abschnitte unterteilt; die Unterteilung orientiert sich hierbei an den Volumina des Wassertanks. Wie beschrieben, wurden drei unterschiedlich große Volumina gewählt (~ 500 l, ~ 1000 l, ~ 2000 l), zudem wurden vier verschiedene Baualterklassen simuliert. Die Ergebnisse zeigen für die verschiedenen Kombinationen aus Volumen und Baualterklasse auf, wie viele Stunden die operative Temperatur innerhalb des Wohnbereichs oberhalb von 20 °C gehalten werden kann, wenn keine zusätzliche Wärme generiert wird. Die horizontale Linie gibt hierbei den gewählten Zielwert von 48 Stunden vor, der auf Grund der realen Stromdaten in Abbildung 2 gewählt wurde.

Auf den ersten Blick zeigen die Ergebnisse die erwartete Struktur. Umso größer das Volumen und umso jünger die Baualterklasse, umso länger kann die Temperatur gehalten werden. Dies war zu erwarten und hat seinen Ursprung in dem Verhältnis von Volumen zu Speicherkapazität und von Baualterklasse zu Heizwärmebedarf.

Zudem zeigt sich, dass mindestens ein Speichervolumen von 2000 l zur Verfügung stehen muss, um den Zeitraum von 48 Stunden zu überbrücken. Mit diesem Volumen ist es ab der Baualterklasse I möglich, den thermischen Komfort ausreichend lange zu wahren.

## DISKUSSION

Nachfolgend werden die präsentierten Ergebnisse eingeordnet und die zentralen Fragen des Forschungsansatzes beantwortet.

Zur Einleitung der Diskussion wird die Vorgehensweise nochmal kurz zusammengefasst. In einem ersten Schritt wurde ein Zeitraum gesucht, in dem sich Phasen mit hohem und niedrigem Anteil an erneuerbarem Strom im Netz gegenüberstehen. Ein solcher Zeitraum wurde zwischen dem 24.01. und 30.01.2018 identifiziert und darauffolgend als Randbedingung der Simulation definiert. Daraufhin wurden, passend zu diesem Zeitpunkt, reale Wetterdaten genutzt, um ein entsprechendes Inputfile für die Simulation zu generieren.

Der zu erreichende Grenzwert wurde während den Simulationen auf 48 Stunden festgelegt, dies entspricht in etwa dem Zeitraum, in dem das Netz fast ausschließlich Strom aus konventionellen

Kraftwerken enthält und somit der Verbrauch möglichst geringgehalten werden sollte, wenn diese Kraftwerke zunehmend abgeschaltet werden.

Bei einem detaillierten Blick auf die Ergebnisse zeigt sich zuerst, dass Gebäudealtersklasse E, unabhängig vom Speichervolumen, kein großes Potenzial zur Netzentlastung besitzt. Der Wärmebedarf typischer Gebäude aus dieser Baualtersklasse ist letztlich zu hoch, als dass man das Gebäude längere Zeit ohne Erzeugung von Wärme beheizen könnte. Selbst bei einem vollgeladenen Speichersystem müsste die Wärmepumpe innerhalb der Heizperiode unabhängig von den betrachteten Speichervolumina also mindestens einmal pro Tag laufen, um den thermischen Komfort sicher zu stellen.

Die anderen betrachteten Baualtersklassen verfügen hingegen bereits über eine Wärmedämmung, die unterschiedlichen resultierenden Heizwärmebedarfe sind in Abbildung 4 dargestellt. Daraus resultiert auch, dass die Gebäude mit einer geringeren Temperatur beheizt werden können und das Speichersystem somit länger ausreichend Wärme enthält. Bei Erhöhung des Speichervolumens wird somit eine ebenso höhere Speicherkapazität erzielt und daraus resultierend kann eine längere Zeitdauer überbrückt werden. Somit können die Gebäude also einen signifikanten Beitrag zur Netzentlastung leisten, wobei das Potenzial mit einer tendenziellen Überdimensionierung der Wärmespeicher steigt.

Im hier gewählten Anwendungsbeispiel zeigt sich, dass bei einem 2000 l-Tank, also einem für Einfamilienhäuser schon recht großen Volumen, die drei Gebäude mit Dämmung in der Lage sind, den Grenzwert von mindestens 48 Stunden zu erreichen. Diese Gebäude könnten also innerhalb der wind- und solararmen Zeitspanne ihren Strombedarf ohne Unterschreitung des minimalen thermischen Komforts reduzieren. Ebenso wären sie in der darauffolgenden Periode mit sehr hohem Anteil an erneuerbaren Energien in der Lage, für mehrere Stunden die Wärmepumpe als Stromverbraucher zuzuschalten und somit die freie Kapazität innerhalb des Speichersystems wieder mit Wärme zu beladen.

Bei der Diskussion der Ergebnisse sei allerdings auch nochmals erwähnt, dass die erhaltenen Resultate maßgeblich mit den gewählten thermischen Randbedingungen zusammenhängen. Der Grenzwert wurde hier bei einer operativen Temperatur von 20 °C gezogen, allerdings definiert jeder Mensch selbst, bis zu welcher Temperatur er seine Umgebung als komfortabel wahrnimmt. Dementsprechend könnte diese Temperatur im Anwendungsfall in beide Richtungen variieren, je nach persönlicher Präferenz, und dies hätte somit auch einen Einfluss auf die Ergebnisse. Die gewählten 20 °C bewegen sich zwar bereits am unteren Rand dessen, was man in der eigenen Wohnung und innerhalb der Heizperiode im Normalfall akzeptieren würde, da es sich allerdings um einen Grenzwert handelt, der in Kombination mit einem Regelungssystem nur möglichst selten unterschritten werden darf, wurde dieser Wert als Referenz gewählt.

Ein weiterer wichtiger Punkt innerhalb des Beitrages ist die eigentliche Relevanz des Forschungsansatzes, also eine Einschätzung, ob die Erzeugung von Wärme in Wohngebäuden in ihrer Gesamtheit überhaupt eine ausreichend große Rolle spielt, um das Stromnetz entlasten zu können. Laut aktuellen Statistiken entfallen etwa 25 % des Energieverbrauchs in Deutschland auf private Haushalte (vgl. Umweltbundesamt, 2016) und innerhalb der Haushalte wiederum etwa 70 % auf die Erzeugung von Wärme. (vgl. Umweltbundesamt, 2016) Dementsprechend nutzen wir in Deutschland ca. 18 % der kompletten eingesetzten Energie zum Erzeugen der Wärme in Wohngebäuden. Wie bereits angesprochen, wird ein Großteil dieser Wärme über Gasheizungen erzeugt, also eine Technologie, die zukünftig auch zunehmend umgestellt werden muss, wenn man sich von fossilen Energieträgern lösen möchte. Power-to-Heat-Lösungen und dabei speziell Wärmepumpen werden hierbei definitiv eine Alternative darstellen. Anhand der signifikanten Bedeutung von Raumwärme innerhalb Deutschlands ist das Potenzial von geregelter, möglichst intelligent erzeugter Wärme groß.

Eine hohe Bedeutung bei der Zukunftsfähigkeit des untersuchten Systems kommt hierbei sicherlich einer entsprechenden Regelung zu, die Signale aus dem Netz enthält, auf prädiktive Wetterdaten zugreift und den thermischen

Komfort innerhalb des Gebäudes berücksichtigt. Die Entwicklung eines solchen Systems ist einer der zentralen Ansätze des INTERREG-Forschungsprojekts PtH4GR<sup>2</sup>ID.

Dementsprechend kann es durchaus auch eine interessante Überlegung für weitergehende Untersuchungen sein, noch größere Volumen für Wärmespeichersysteme zu betrachten. Über eine heutzutage standardmäßige Dämmung können die Wärmeverluste der Speichersysteme minimiert werden und das angesprochene Potenzial zur Netzentlastung könnte dementsprechend weiter gesteigert werden. Demgegenüber stehen allerdings auch höhere Kosten und ein steigender Platzbedarf für die Wärmespeicher. Verglichen mit momentan noch sehr kostenintensiven Stromspeichern könnte dieser Ansatz dennoch eine interessante Alternative darstellen.

### **SCHLUSSFOLGERUNG**

Die Energiewende ist in Kombination mit der zunehmenden Abkehr von fossilen Brennstoffen alternativlos; ein Hauptanteil bei den erneuerbaren Energien wird der Sonne und dem Wind zukommen. Der Beitrag und seine Ergebnisse zeigen auf, dass Regelenergien und elektrische Speichersysteme zukünftig an Wichtigkeit gewinnen werden, um die Schwankungen des Stromnetzes auffangen zu können. Da diese beiden Lösungsansätze zurzeit allerdings noch ziemlich kostenintensiv sind, wurde eine weitere Lösung betrachtet: Power-to-Heat-Anlagen in Kombination mit Wärmespeichersystemen, die nahezu jedes Wohngebäude besitzt. Ist es also eine Option, kostengünstigere und weitverbreitete Wärmespeichersysteme zur Netzentlastung zu nutzen?

Die diskutierten Ergebnisse zeigen, dass zwei Faktoren für eine relevante Netzentlastung entscheidend sind: Die Baualterklasse (respektive der daraus folgende Heizwärmebedarf) sowie das Speichervolumen. Nahezu ungedämmte Altbauten haben einen zu hohen Wärmebedarf, als dass sie einen wirklichen Beitrag leisten können, dementsprechend muss mindestens ein thermisch saniertes Gebäude oder ein Neubau mit gewissen thermischen Standards (mind. entsprechend 3. WSchV1995) vorliegen. Der zweite Faktor ist das Speichervolumen, welches letztlich definiert, wie viel nutzbare

Speicherkapazität zur Verfügung steht. Schon mit einem recht kleinen Volumen von 500 l lässt sich mit den relevanten Gebäuden eine Zeitspanne von ca. 20 h bis 30 h überbrücken. Dieser Zeitraum kann mit steigendem Volumen weiter erhöht werden; eine Überdimensionierung der Speichersysteme könnte für die betrachtete Problemstellung also durchaus ein Lösungsansatz sein. Allerdings scheint es für eine momentane, möglichst reale Einordnung der Ergebnisse sinnvoller zu sein, den Ist-Zustand in Deutschland zu betrachten und dieser wurde mit den gewählten Volumen zwischen 500 l und 2000 l abgebildet. Größere Volumen in Einfamilienhäusern dürften eher selten zu finden sein, jedenfalls sind auf dem Markt kaum solche Speichervolumina für den privaten Gebrauch zu erwerben.

Der große Anteil der Heizenergie in Wohngebäuden am deutschen Gesamtenergiebedarf (ca. 18 %) zeigt deutlich auf, dass der vorgestellte Forschungsansatz zukünftig relevant sein wird. Im Jahr 2016 wurden in Deutschland ca. 30 % der Neubauten mit Wärmepumpen als Heizsystem ausgestattet, die Tendenz ist weiterhin steigend. (vgl. Statistisches Bundesamt, 2017) Damit ist die Wärmepumpe in Neubauten bereits das am zweithäufigsten genutzte Heizsystem, direkt hinter Gasheizungen. Der Anteil von Power-to-Heat-Anlagen an der gesamten Wärmeerzeugung in deutschen Wohngebäuden wird also zunehmen, da die Technologien immer effizienter werden und der Anteil an erneuerbaren Energien im Stromnetz zunimmt. Somit wird auch ein immer größerer Anteil der 18 % des Gesamtenergiebedarfs durch stromgeführte Anlagen aufgebracht werden, was das Potenzial zur Netzentlastung verdeutlicht. Auf der anderen Seite muss an dieser Stelle ebenfalls erwähnt werden, dass sich die durchgeführten Simulationen momentan auf einzelne Einfamilienhäuser beziehen. Über weitere Untersuchungen, v.a. mit Industriegebäuden, könnte auch die Kühlperiode im Sommer betrachtet werden und somit auch zu diesen Zeiten das Potenzial zur Netzentlastung beurteilt werden. Die innerhalb dieses Beitrages vorgestellten Ergebnisse zur Wärmeerzeugung beziehen sich lediglich auf die Heizperiode. Zusätzlich sei abschließend darauf hingewiesen, dass ein einzelnes Gebäude natürlich alleine kein allzu großes Potenzial zur Netzentlastung

aufweist, vielmehr müssen ganze Wohnblocks betrachtet und somit auch Quartierskonzepte entworfen werden. Anhand der hier dargestellten Simulationen sollte für ein beispielhaftes Gebäude aufgezeigt werden, unter welchen Bedingungen grundsätzlich die benötigte Flexibilität zur Entlastung des Stromnetzes bereitgestellt werden kann, ohne den thermischen Komfort zu unterschreiten. Um die benötigte Kapazität erreichen zu können, die für eine signifikante Netzentlastung benötigt wird, müssen allerdings immer mehrere, bestenfalls unterschiedliche Gebäude (Einfamilienhaus, Mehrfamilienhaus, Nichtwohngebäude) betrachtet werden.

Letztlich zeigt der Beitrag, dass Power-to-Heat-Lösungen nicht alleine in der Lage sein werden, das Problem der fluktuierenden Stromerzeugung zu beheben, sie können aber durchaus einen wichtigen Beitrag leisten, gerade um temporäre Phasen mit einer großen Abweichung zwischen Erzeugung und Bedarf zu überbrücken.

## LITERATURVERZEICHNIS

Agora Energiewende: Agorameter - Aktuelle Stromdaten. Online verfügbar unter <https://www.agora-energiewende.de/de/themen/-agothem-/Produkt/produkt/76/Agorameter/>, zuletzt geprüft am 04.05.2018.

Deutscher Wetterdienst: Climate Data Center. Online verfügbar unter <ftp://ftp-cdc.dwd.de/pub/CDC/>, zuletzt geprüft am 24.04.2018.

EEG 2017 - Deutschland: Gesetz für den Ausbau erneuerbarer Energien. Erneuerbare-Energien-Gesetz - EEG 2017.

European Heat Pump Association (EHPA): Heat pump sales overview. Online verfügbar unter [http://www.stats.ehpa.org/hp\\_sales/story\\_sales/](http://www.stats.ehpa.org/hp_sales/story_sales/), zuletzt geprüft am 30.04.2018.

Harald Drück: MULTIPOINT Store-Model for TRNSYS.

IEE Project TABULA: TABULA. Online verfügbar unter <http://episcopes.eu/index.php?id=97>, zuletzt geprüft am 24.04.18.

S. Holst: TRNSYS-Models for Radiator Heating Systems. Bayerisches Zentrum für angewandte Energieforschung e.V.

Statistisches Bundesamt: Baugenehmigungen / Baufertigstellungen von Wohn- und Nichtwohngebäuden (Neubau) nach Art der Beheizung und Art der verwendeten Heizenergie, Lange Reihen ab 1980 - 2016.

TESS: TESS Component Libraries. General Descriptions.

TRANSSOLAR: TRNSYS. Version 17. Online verfügbar unter [http://trnsys.de/docs/trnsys/trnsys\\_uebersicht\\_de.htm](http://trnsys.de/docs/trnsys/trnsys_uebersicht_de.htm), zuletzt geprüft am 25.04.2018.

Trimble: SketchUp. Version 2017. Online verfügbar unter <https://www.sketchup.com/de>, zuletzt geprüft am 25.04.2018.

Umweltbundesamt: Energieverbrauch nach Energieträgern, Sektoren und Anwendungen. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/daten/energie/energieverbrauch-nach-energietraegern-sektoren>, zuletzt geprüft am 24.04.18.

Umweltbundesamt: Energieverbrauch privater Haushalte. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/daten/private-haushalte-konsum/wohnen/energieverbrauch-privater-haushalte>, zuletzt geprüft am 24.04.18.

Vaillant: Datenheft Vaillant aIISTOR VPS. Multi-Funktionsspeicher aIISTOR VPS /3.