



Doppelt heizt besser

Zwei Wärmequellen und zentral geführte Einzelraumregelungen senken den Energieverbrauch von Heizungswärmepumpen



Bei neuen oder sanierten Einfamilienhäusern mit geringem Energiebedarf sorgen immer häufiger Luft-Wasser-Wärmepumpen für die Wärmeversorgung. Sie haben im Vergleich zu Erdreichwärmepumpen deutlich geringere Anschaffungskosten und können problemlos in Niedertemperatur-Heizkreise integriert werden. Wissenschaftler aus Forschung und Industrie wollen die Effizienz der Systeme steigern, indem sie einerseits eine zweite Wärmequelle für die Wärmepumpe nutzen und andererseits den Wärmebedarf durch zentral geführte Einzelraum- und Vorlaufregelungen vermindern.

Wärmepumpen arbeiten umso effektiver, je geringer der Temperaturunterschied zwischen Wärmequelle und Wärmesenke ist. In Wohngebäuden sorgen deshalb meist Fußbodenheizungen oder andere große Heizflächen dafür, dass die Heizwärmeverteilung auf niedrigen Temperaturen arbeitet. Das Temperaturniveau der Energiequellen ist jedoch in der Regel vorgegeben. Während einer Erdsonden-Wärmepumpe nahezu konstante Temperaturen im Bereich von 10 °C angeboten werden, sind bei einer Außenluft-Wärmepumpe Wärmeangebot und -bedarf gegenläufig. Gerade wenn eine hohe Heizleistung benötigt wird, also bei kalter Außenluft, arbeitet sie mit geringerer Effizienz.

Wissenschaftler des Fraunhofer ISE haben untersucht, wie zusätzliche Wärmequellen auf vergleichsweise hohen Temperaturen das primäre Energieangebot ergänzen können. In Frage kommt beispielsweise Wärme aus Solaranlagen oder den zentralen Lüftungen hochgedämmter Wohnhäuser.

Die Forschungsarbeiten fanden in enger Abstimmung mit Kollegen des E.ON Research Center (ERC), der RWTH Aachen statt, die die Wärmeverteilung unter die Lupe nahmen. Sie zeigten Optimierungspotenziale auf, die sich aus verbesserten Regelstrategien für die bedarfsgerechte Einzelraumversorgung ergeben.

Dieses Forschungsprojekt wird gefördert vom

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi)

In Simulationsrechnungen und Laborversuchen führten die Projektpartner ihre Forschungsschwerpunkte für die Wärmequellen und -senken zusammen. Als Industriepartner leitete, koordinierte und unterstützte der Heizungsbauer Vaillant die Forschungsarbeiten. Im Fokus der Untersuchungen standen neu gebaute oder sanierte Einfamilienhäuser mit einem Energiebedarf von unter 120 kWh/a. Um die Vergleichbarkeit mit anderen Studien herzustellen, bezogen sich die Forscher in Simulationsrechnungen auf ein zweigeschossiges Wohnhaus mit einer Fläche von 140 m², wie es durch die IEA SHC Task 44 modelliert ist. Als Randbedingung sind ein Heizwärmebedarf von 60 kWh/(m²a) und ein Warmwasserverbrauch von 17,7 kWh/(m²a) vorgegeben.

Wärme aus zwei Quellen

Voruntersuchungen zeigten, dass Luft-Wasser-Kompaktgeräte im Aufbau einfach und kostengünstig bleiben, wenn sie Gebäudeabluft als zweite Wärmequelle nutzen. Deshalb bildete dieses Konzept einen Schwerpunkt der Forschungsarbeiten, angefangen von ersten Simulationen, über die Optimierung des Verdampfers, bis hin zum Aufbau eines Demonstrators.

Ein weiteres Augenmerk galt der klassischen Luft-Wärmepumpe mit Außeneinheit, bei der eine thermische Solaranlage als ergänzende Wärmequelle dient. Die Berechnungen zeigten jedoch ein ungünstiges Verhältnis der Investitionskosten zum Mehrertrag. Zudem ist hier die Regelung besonders komplex. Sie muss, abhängig von den Betriebszuständen entscheiden, ob die Solaranlage als Wärmequelle für die Wärmepumpe dient, oder direkt in den Vorlauf der Heizwärmeverteilung einspeist. Das Konzept wurde aus wirtschaftlichen Gründen nicht weiterverfolgt, denn ein Hauptvorteil der Luft-Wasser-Wärmepumpe sind die geringen Systemkosten. Diesen Pluspunkt wollten die Forscher nicht aus der Hand geben. Die umfangreichen Simulationen verschiedener Systemvarianten zeigten zudem, dass eine vergleichbar große Photovoltaikanlage gegenüber der thermischen Solaranlage primärenergetisch vorteilhaft ist.

Zweifache Wärmeentnahme steigert die Effizienz

Zentrale Lüftungssysteme nutzen in der Regel bereits einen Teil der Fortluft-Abwärme, entweder aktiv mit einer eigenen Kleinstwärmepumpe oder durch passive Rückgewinnung über einen Kreuzwärmetauscher. Ziel der Wissenschaftler war, passive Systeme mit Hilfe der Heizungswärmepumpe besser zu nutzen. Sie untersuchten zwei Systemvarianten: Der Abluftstrom kann hinter dem Kreuzwärmetauscher – mit verringerter Enthalpie – der Wärmepumpen-Zuluft beigemischt werden, oder aber direkt unter Umgehung des Kreuzwärmetauschers. Die Versuche an einem eigens aufgebauten Demonstrator zeigten eindeutige Ergebnisse. Wird an einem Betriebspunkt die Abluft hinter dem Kreuzwärmetauscher genutzt, so steigt die System-Leistungszahl (COP) um 15 %, bei direkter Beimischung jedoch nur um 2 %.

Verdampfer – dem Eise entronnen

Die beigemischte Abluft macht sich an dem Verdampfer der Wärmepumpe besonders bemerkbar. Ist sie doch gesättigt mit Feuchtigkeit. Dies kann zu erheblichen Änderungen bei der Frostbildung und ohne entsprechende Maßnahmen zu einem Effizienzverlust durch häufiges Abtauen einer Wärmepumpe führen. Die Wissenschaftler entwickelten durch die Einführung von Verdampfern mit



Abb. 1 Aufbau des entwickelten Demonstrators für die kombinierte Nutzung von Außen- und Abluft.

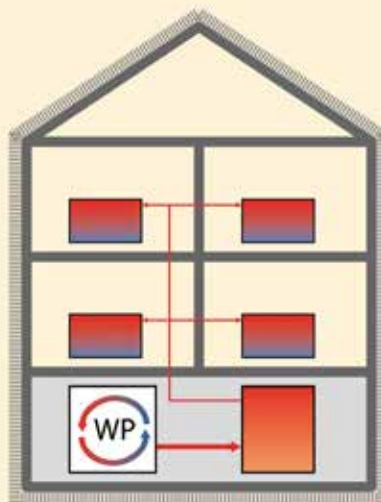


Abb. 2 Prinzip des Senken-HiLs: abgebildetes Heizungsnetz, simulierte Umgebung (grau hinterlegt).

5 mm Rundrohren einen Ansatz, auf dessen Basis kompaktere Verdampfer konstruiert werden können bei gleicher Kälteleistung. Mit angepassten Lamellenpaketen im Verdampfer kann dabei zeitgleich eine für Frost geeignete Betriebsweise gefahren werden. Die Wissenschaftler verfolgten die Strömungs- und Temperaturverteilung der Luft im zeitlichen Verlauf mit und ohne Abluftbeimischung, vor und hinter dieser zentralen Komponente. Es zeigte sich, dass bei den erstmals angewandten Verdampfern die wärmere und feuchtere Mischluft zunächst noch ungleichmäßig durch den Verdampfer strömt, was ebenso zu einer inhomogenen Vereisung führt. Dadurch steigt dort der Strömungswiderstand lokal im Lamellenpaket und die Luft wird entsprechend in den weniger vereisten Bereich umgelenkt. Diese Form der Frostbildung ist auf die Beimischung der Abluft, aber auch eine ungleichmäßige Kältemittelverteilung zurückzuführen.

Vorlauftemperaturen und Einzelraumregelung

Da sich der Temperaturhub, den eine Wärmepumpe leisten muss, direkt auf ihre Leistungszahl auswirkt, kommt der Niedertemperatur-Wärmeverteilung eine wichtige Rolle für die Gesamteffizienz zu. Zusätzliche Einspar-

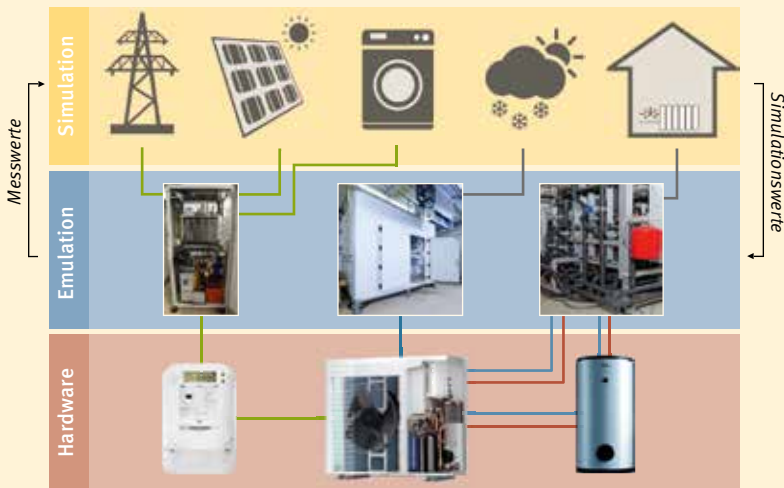


Abb. 3 Konzept des HiL-Prüfstandes für Wärmerezeuger.



Abb. 4 Gesamtansicht der HiL-Kabinen zur Abbildung des hydraulischen Heizungsnetzes einer Wohnung mit vier Räumen.

potenziale erschließen sich, wenn die zugefügte Raumwärme immer dem tatsächlich notwendigen Bedarf angepasst wird. Hierfür sind genauere Kenntnisse über einzelne Räume bzw. Bereiche mit unterschiedlicher Nutzung notwendig. Wie die Wärmeverteilung optimiert werden kann, untersuchten Wissenschaftler des ERC. Sie verfolgten die Idee, Informationen der Einzelraumregelungen zentral zusammenzuführen. Auf Basis dieser Daten kann dann die Heizwassertemperatur dem Bedarf angepasst werden. Vereinfachte Simulationen mit dieser adaptiven Vorlauftemperatur lassen ein Potenzial für die Primärenergieeinsparung von bis zu 7 % erwarten. Die Güte der Regelung hängt maßgeblich von der Genauigkeit der Heizkörperventile, ihrer elektrischen Aktoren und Qualität der elektronischen Raumtemperatursensoren ab. Deshalb untersuchten die Forscher typische Sensoren und Aktoren. Dabei konnten sie entscheidende Optimierungspotenziale aufzeigen und umsetzen. Die neu entwickelten Komponenten und Regelkonzepte wurden auf Prüfständen der Projektpartner, dem Senken-Hardware-in-the-Loop des ERC, und dem Wärmepumpenprüfstand des ISE getestet.

Hardware-in-the-Loop

Nach der getrennten Untersuchung und Optimierung der Wirkzusammenhänge auf Quellen- und Senkenseite führten die Projektpartner beide Teilbereiche in ein Gesamtsystem zusammen. Dazu wurde das System in Simulationen und im Hardware-in-the-Loop-Verfahren in unterschiedlichen Varianten analysiert und letztlich in einem Demonstrationsobjekt umgesetzt. Regelungskonzepte können die Wissenschaftler im Zusammenspiel mit einem realen hydraulischen Netz untersuchen. Dazu nutzen sie einen Prüfstand der RWTH Aachen. Hier kann Hardware, wie z. B. Heizkörper mit Anbindungsleitungen, Thermostatventile und Raumsensoren, unter dynamischen, kontrollierbaren Randbedingungen geprüft werden. Möglich macht dies das Hardware-in-the-Loop-Prinzip (HiL). Dabei wird reale Hardware in eine simulierte Umgebung eingebettet. Mit diesem Verfahren kann das Betriebsverhalten von Heizkörpern in einer Wohnung mit vier Räumen unter der Berücksichtigung der dynamischen Prozesse beim Heizbetrieb nachgebildet werden. Die Heizkörper werden in einer Testumgebung aufgebaut, die das hydraulische Heizungsnetz einer Wohnung abbildet. Das gekoppelte Simulationsmodell stellt die Randbedingungen für den Prüfstand bereit, wodurch die dynamischen Vorgänge berücksichtigt werden.

Ergebnisse aus Simulationen und Messungen

Eine wesentliche Herausforderung für die Bedarfsführung des Wärmerezeugers ist die Trägheit des Gesamtsystems. Es dauert eine geraume Zeit, bis eine Temperaturänderung von der Wärmepumpe über die Hydraulik bis zu den Heizflächen gelangt. Entsprechend verzögert ändert sich die Raumtemperatur, die von den Sensoren erfasst wird. Diese Totzeit erschwert die Regelung. Die Forscher konnten zeigen, dass sich, fast unabhängig von der Art der Regelung, zentral ausgewertete Einzelraumregelkreise positiv auf die Bedarfsregelung auswirken.

Einfache Zusammenhänge bringen gute Resultate, beispielsweise:

- Wenn kein Raum Wärmebedarf hat, muss der Wärmerezeuger auch keine Wärme bereitstellen. Dies reduziert die Taktung des Wärmerezeugers und senkt die Bereitschaftsverluste des Erzeugers.
- Wenn der Wärmerezeuger nicht aktiv ist, sollten auch die Antriebe von Heizungsaktoren nicht arbeiten. Dies verlängert die Batterielebensdauer und mindert Geräuschemissionen.

Auch komplexere Zusammenhänge lassen sich ableiten:

- Sind alle Ventile auf Einzelraumbene gedrosselt, kann die Vorlauftemperatur gesenkt werden. Die niedrigere Systemtemperatur steigert die Effizienz der Wärmerezeugung.
- Wenn der Wärmerezeuger nicht moduliert, also bei Teillast zwangsläufig taktet, ist auch eine taktende Raumregelung sinnvoll.

Diese und weitere Zusammenhänge führen dazu, dass die Regelungsstrategien den Stromverbrauch des Verdichters der Wärmepumpe um mehr als 10 % senken. Die Taktung des Wärmerezeugers halbiert sich nahezu und der Stromverbrauch für die Wärmeverteilung reduziert sich um mehr als 20 %.



Wärmepumpen im Gebäudebestand

Der Erfolg der Wärmewende Deutschlands hängt maßgeblich von der Sanierung des Gebäudebestandes ab. Neben den baulichen Maßnahmen geht es auch um den Austausch ineffizienter Heizungssysteme. Elektrisch angetriebene Wärmepumpen können nicht nur den Primärenergiebedarf von Gebäuden senken, denn sie koppeln zudem die Sektoren elektrische Energie und Wärme. Eine netzdienliche Steuerung erlaubt es, Stromverbrauch in lastarme Zeiten zu verlagern.

Im Forschungsprojekt „WPsmart im Bestand“ untersuchen Wissenschaftler die Effizienz von Wärmepumpen in unterschiedlich sanierten Einfamilienhäusern und analysieren deren Flexibilität beim Lastmanagement. Im Fokus stehen neben monovalenten oder monoenergetischen Außenluft- und Erdreich-Wärmepumpen auch Systeme, die zusätzlich über Öl- oder Gas-Kessel verfügen. Unter der Leitung des Fraunhofer ISE vermessen die Projektpartner rund 60 Wärmepumpen, wovon 10 Anlagen mit Fokus auf netzdienlichen Betrieb untersucht werden. Aus dem Messzeitraum bis Oktober 2017 waren 15 Außenluft- und 12 Erdreich-Wärmepumpen auswertbar, die in Gebäuden von 1850 bis 2001 installiert sind. Deren Sanierungsgrad reicht von unsaniert bis vollsaniert. Bei der Wärmeverteilung dominieren neben reinen Radiator- und Fußbodenheizungen vor allem Mischsysteme. Bei den Außenluft-Wärmepumpen zeigt sich eine deutliche Relation zwischen den maximalen Heizkreisvorlauftemperaturen, die von 34 bis 53 °C reichen und den Jahresarbeitszahlen, die zwischen 2,5 und 4,1 liegen. Diese Korrelation ist bei den Erdreichanlagen kaum ersichtlich. Dies liegt jedoch nicht an der Art der Wärmequelle, sondern weist auf eine Vielzahl unterschiedlicher Effizienzeinflüsse hin. So variieren bspw. die anteiligen Energieverbräuche der Hilfsantriebe und der Elektroheizstäbe. Zudem unterscheiden sich die Leistungszahlen (COPs) der verschiedenen Wärmepumpen. Die Bandbreite der Jahresarbeitszahlen liegt zwischen 1,8 und 4,8, wobei maximale Heizkreisvorlauftemperaturen zwischen 32 und 66 °C gemessen wurden. Die Mittelwerte von 3,1 (Außenluft-Wärmepumpen) und 3,7 (Erdreich-Wärmepumpen) liegen auf ähnlichem Niveau wie in vorherigen Feldstudien, bei denen überwiegend in neuen Gebäuden gemessen wurde. Im nächsten Schritt werden die vorgenommenen Sanierungsmaßnahmen analysiert, um deren Einfluss auf die Betriebsbedingungen und letztlich auf die Effizienz der Wärmepumpe zu ermitteln.

Projektbeteiligte

- » **Projektkoordination:** Vaillant GmbH, Remscheid, Lars Heinen, lars.heinen@vaillant.de | www.vaillant.de
- » **Quellenmanagement:** Fraunhofer ISE, Freiburg, Thore Oltersdorf, thore.oltersdorf@ise.fraunhofer.de | www.ise.fraunhofer.de
- » **Senkenmanagement:** RWTH Aachen: E.ON Energy Research Center – Lehrstuhl für Gebäude- und Raumklimattechnik, Aachen, Dr.-Ing. Rita Streblov, rstreblov@eonerc.rwth-aachen.de, www.eonerc.rwth-aachen.de

Literatur

- » Heinen, L.; Anger, M.; Oltersdorf, T. u. a.: Verbundvorhaben: Modifikation von Standard-Kältekreisen in Wärmepumpen zur optimierten Einbindung von Umweltwärme aus mehreren Quellen sowie Quellen- und Senkenmanagement [MOSKWA]. Gemeinschaftlicher Abschlussbericht über alle Teilvorhaben. Vaillant GmbH, Remscheid (Hrsg.); Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (ISE), Freiburg im Breisgau (Hrsg.); RWTH Aachen. E.ON Energy Research Center. Lehrstuhl für Gebäude- und Klimatechnik (Hrsg.). 2017. FKZ 03ET1169A-C; DOI 10.2314/GBV:1006133194

Mehr vom BINE Informationsdienst

- » Gasmotor-Wärmepumpe versorgt sanierte Wohnanlage. BINE-Projektinfo 09/2017
- » Mit Gas-Adsorptionswärmepumpen heizen. BINE-Projektinfo 03/2015
- » Komplexe Bestandsgebäude energetisch bewerten. BINE-Projektinfo 16/2013
- » Dieses Projektinfo gibt es auch online und in englischer Sprache unter www.bine.info/Projektinfo_04_2018

BINE Informationsdienst berichtet aus Projekten der Energieforschung in seinen Broschürenreihen und dem Newsletter. Diese erhalten Sie im kostenlosen Abonnement unter www.bine.info/abo

Impressum

Projektorganisation
Bundesministerium
für Wirtschaft und Energie (BMWi)
11019 Berlin

Projektträger Jülich
Forschungszentrum Jülich GmbH
Steffen Linsmayer
52425 Jülich

Förderkennzeichen
03ET1169A-C

ISSN
0937-8367

Herausgeber
FIZ Karlsruhe · Leibniz-Institut
für Informationsinfrastruktur GmbH
Hermann-von-Helmholtz-Platz 1
76344 Eggenstein-Leopoldshafen

Autor
Dr. Franz Meyer

Urheberrecht
Titelbild und Abb. 2-4:
E.ON Energy Research Center
Abb. 1: Fraunhofer ISE

Eine Verwendung von Text und
Abbildungen aus dieser Publikation ist
nur mit Zustimmung der BINE-Redaktion
gestattet. Sprechen Sie uns an.

Kontakt · Info

Fragen zu diesem Projektinfo?
Wir helfen Ihnen weiter:

0228 92379-44
kontakt@bine.info

BINE Informationsdienst
Energieforschung für die Praxis
Ein Service von FIZ Karlsruhe

Kaiserstraße 185–197
53113 Bonn
www.bine.info

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages