



Elektrisch angetriebene Wärmepumpen

Aktuelle Ergebnisse aus Forschung und Feldtests

Zur Sache

Auf dem deutschen Heizungsmarkt haben sich elektrische Wärmepumpen als feste Größe etabliert. Ihr Marktanteil lag in den letzten Jahren zwischen acht und zehn Prozent. Etwa jeder vierte Neubau wird mit einer Wärmepumpe beheizt. Während vor einigen Jahren noch überwiegend Erdreich-Wärmepumpen verkauft wurden, haben sich die Verkaufszahlen in den letzten Jahren zugunsten der Außenluft-Wärmepumpen verschoben. Sorgfältig geplant, können Wärmepumpenanlagen ökonomisch sehr gut gegenüber anderen Heizsystemen bestehen. Den höheren Anschaffungskosten stehen niedrigere Energie- und Betriebskosten gegenüber. Auch in der ökologischen Bilanz sind Wärmepumpen konkurrenzfähig. Die Position verbessert sich stetig mit dem wachsenden Anteil erneuerbarer Energien bei der Stromversorgung.

Diesem Erfolg der Wärmepumpe ist intensive Forschung vorausgegangen. Die Effizienz und Zuverlässigkeit der Systeme wurde entscheidend gesteigert und klimaschädliche Arbeitsmedien konnten durch weitaus umweltverträglichere Kältemittel ersetzt werden. Trotz des hohen Entwicklungsstandes gibt es gute Gründe für weitere Forschung mit neuen Schwerpunkten:

So erfordern die höheren Dämmstandards effiziente Wärmepumpensysteme besonders kleiner Leistung. Zunehmend gefragt sind auch Systeme, die eine Doppelnutzung zum Heizen und Kühlen erlauben. Effizienzsteigerungen und Kostensenkung lassen sich durch Detailverbesserungen an den Systemen ebenso erreichen, wie durch die Optimierung von Anlagenkomponenten. Der Einsatz neuer natürlicher Arbeitsmedien führt zur weiteren Reduzierung der Treibhausgasemissionen.

Auch thermisch angetriebene Absorptions- und Adsorptionswärmepumpen stehen durch mehrere Hersteller bereit, um vor allem in Gebäuden mit bereits gasbetriebener Wärmeversorgung Heiz- und Brennwertgeräte zu ersetzen. Die Technologie ist allerdings noch nicht so fortgeschritten wie elektrische Wärmepumpen und zurzeit auf dem Markt eine Randerscheinung – es spricht viel dafür, dass die Situation sich in der Zukunft ändern wird.

Die Effizienz der Wärmepumpe ist stärker von den Einsatzbedingungen abhängig als die anderer Heizsysteme. Die Jahresarbeitszahl, als ein Maß der Energieeffizienz, kann daher von Objekt zu Objekt erheblich schwanken. Belastbare Messdaten aus der Praxis waren bisher noch nicht ausreichend verfügbar und Messergebnisse von Testständen sind für den realen Betrieb nur bedingt aussagekräftig. Ein kürzlich abgeschlossenes Monitoring-Projekt liefert neue Daten. Darüber lassen sich konkrete Empfehlungen für die Planung, die Installation und den Betrieb von Wärmepumpen ableiten. Die Ergebnisse dieses Forschungsprojektes bilden einen Schwerpunkt dieses BINE-Themeninfos.

Ihre BINE-Redaktion
redaktion@bine.info

Inhalt

- 3** Performance der Wärmepumpe
- 5** Aus der Praxis: Einfamilienhaus mit el. Wärmepumpe
- 5** En passant: Brückentechnologie
- 9** Aus der Praxis: Schulgebäude mit thermischer Wärmepumpe
- 10** Effizienz unter realen Bedingungen
- 16** Leistungsregelung der Wärmepumpe
- 17** Im Portrait: Fachplaner aus Deutschland und der Schweiz berichten
- 18** Wärmepumpen plus Solar
- 20** Wärmepumpen im Netz

Impressum

ISSN

1610 - 8302

Herausgeber

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

Autoren

Simon Braungardt
 Danny Günther
 Marek Miara
 Jeannette Wapler
 Fraunhofer-Institut
für Solare Energiesysteme (FhG-ISE)
 Werner Weißing
 E.ON Ruhrgas AG

Redaktion

Dr. Franz Meyer

Titelbild

Viessmann Werke, Allendorf

Version in Englisch

Das Dokument finden Sie unter
www.bine.info.

Urheberrecht

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



Kaiserstraße 185-197, 53113 Bonn
 Tel. 0228 92379-0
 Fax 0228 92379-29
kontakt@bine.info
www.bine.info



Abb. 1 Wärmepumpen-Teststand
Quelle: FhG-ISE

Performance der Wärmepumpe

Forschungsinstitute, Hersteller und Betreiber vermessen die Effizienz von Wärmepumpensystemen im realen Betrieb. Obwohl die gleichen Kenngrößen verwendet werden, können die Ergebnisse jedoch nur bedingt miteinander verglichen werden, denn die Bilanzgrenzen und Auswertungsmethoden unterscheiden sich oftmals sehr.

In einem europäischen Projekt „SEasonal PEformance factor and MOnitoring for heat pump systems in the building sector (SEPOMO-Build)“ werden Methoden für die Durchführung und Auswertung von Feldmessungen von Wärmepumpensystemen erarbeitet, die als Vorgabe verwendet werden können. Zur Bewertung der Effizienz einer Wärmepumpe, also zur Angabe des Verhältnisses von Nutzen zu Aufwand, sind Leistungszahl und Arbeitszahl die entscheidenden Kennwerte.

- Die Leistungszahl, auch als coefficient of performance (COP) bezeichnet, wird im stationären Betrieb, also unter konstanten Betriebsbedingungen, ermittelt. Sie gibt das Verhältnis der abgegebenen Wärmeleistung zur aufgenommenen elektrischen Leistung wieder.
- Die Arbeitszahl beschreibt das Verhältnis der über einen längeren Zeitraum (z. B. ein Jahr) abgegebenen thermischen Energie zur aufgenommenen elektrischen Energie.

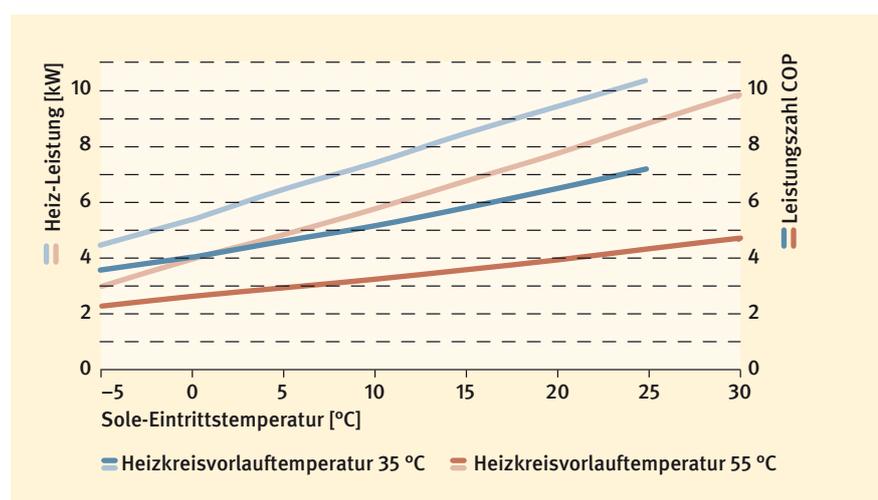
Die Leistungszahlen werden auf Prüfständen bei definierten Randbedingungen ermittelt. So wird als Nenn-Normbetriebspunkt für Sole/Wasser-Wärmepumpen der Betriebspunkt B0/W35 gemäß EN14511 verwendet. Dies bezeichnet den Betrieb bei einer Soletemperatur von 0 °C / -3 °C (Eintritt / Austritt) und einer Heizkreistemperatur von 35 °C/30 °C (Austritt / Eintritt). Teilweise werden die Leistungszahlen noch nach der früher geltenden Norm EN 255 angegeben, bei denen die Sole/Wasser-Wärmepumpen bei gleichen Soletemperaturen, jedoch bei Heizkreistemperaturen von 35 °C/25 °C vermessen wurden. Bei Berechnung der Leistungszahl gemäß den Normen wird neben der aufgenommenen elektrischen Leistung des Verdichters auch der anteilige Bezug der Quellenpumpe sowie der Heizkreispumpe berücksichtigt, die zur Überwindung der internen Druckverluste erforderlich sind.

Grundsätzlich kann die Leistungszahl einer Wärmepumpe bei beliebigen möglichen stationären Randbedingungen ermittelt werden. Da die Leistungszahl stark von den Betriebsbedingungen, insbesondere den Temperaturen, abhängt, ist sie jedoch immer nur unter Nennung der Randbedingungen anzugeben und zu betrachten.

Temperaturabhängigkeit von Leistung und Leistungszahl

Als idealer Vergleichsprozess für einen Wärmepumpenprozess kann der linksläufige Carnot-Prozess herangezogen werden. Bei dem Carnot-Prozess ist die Effizienz nur von der oberen Temperatur T_0 und unteren Tempera-

Abb. 2 Leistungszahl und Leistung einer Sole/Wasser-Wärmepumpe, abhängig von der Sole-Eintrittstemperatur und der Heizkreis-Austrittstemperatur.
Quelle: FhG-ISE



Monitoringprojekte des Fraunhofer-Instituts für Solare Energiesysteme

	Anzahl der Anlagen	Partner	Laufzeit
WP Effizienz	ca. 100	Förderung BMWi, 7 WP-Hersteller, 2 Energieversorger	10/2005 bis 09/2010
WP im Bestand	ca. 70	E.ON Energie AG	10/2006 bis 12/2009
WP Monitor	ca. 100	12 WP-Hersteller, EnBW	12/2009 bis 05/2013

Abb. 3 Quelle: FhG-ISE

tur T_u abhängig, zwischen denen der Prozess abläuft ($COP_{Carnot} = T_o / (T_o - T_u)$; T in K). Auch wenn die Leistungszahl einer Wärmepumpe deutlich geringer ist, weist sie doch im Wesentlichen eine vergleichbare Temperaturabhängigkeit auf wie der Vergleichsprozess. Damit ist die jeweils vorhandene Verdampfungs- und Kondensationstemperatur entscheidend für die Effizienz der Wärmepumpe. Abb. 2 zeigt exemplarisch die Leistungszahl einer Sole/Wasser-Wärmepumpe abhängig von der Soleeintrittstemperatur und der Heizkreisaustrittstemperatur. Die Leistungszahl steigt mit Verringerung der Temperaturdifferenz, also mit steigender Quellentemperatur bzw. mit Reduzierung der Senkentemperatur.

Die Verbesserung der Leistungszahl bei einer Anhebung der Verdampfungstemperatur bzw. bei Reduzierung der Kondensationstemperatur liegt im Bereich zwischen 1,5 % und 4 % pro Kelvin im üblichen Wärmepumpenbetrieb (Betriebspunkte mit Vereisung eines luftbeaufschlagten Verdampfers sind hier nicht berücksichtigt). Wie hoch die Effizienzänderung ausfällt, hängt zum einen von den thermodynamischen Zusammenhängen ab: bei geringem Temperaturhub wirkt sich eine Temperaturänderung um 1 K stärker aus als bei einem größeren Temperaturhub und die Änderung der Verdampfungstemperatur hat eine stärkere Veränderung der Effizienz zur Folge als eine

gleiche Änderung der Kondensationstemperatur. Zum anderen haben prozesstechnische Aspekte einen Einfluss. Auch die Heiz- und Kälteleistung einer – nicht leistungs-geregelten – Wärmepumpe zeigt eine starke Temperaturabhängigkeit und steigt mit höherer Verdampfungstemperatur und sinkt mit höherer Kondensationstemperatur (Abb. 2).

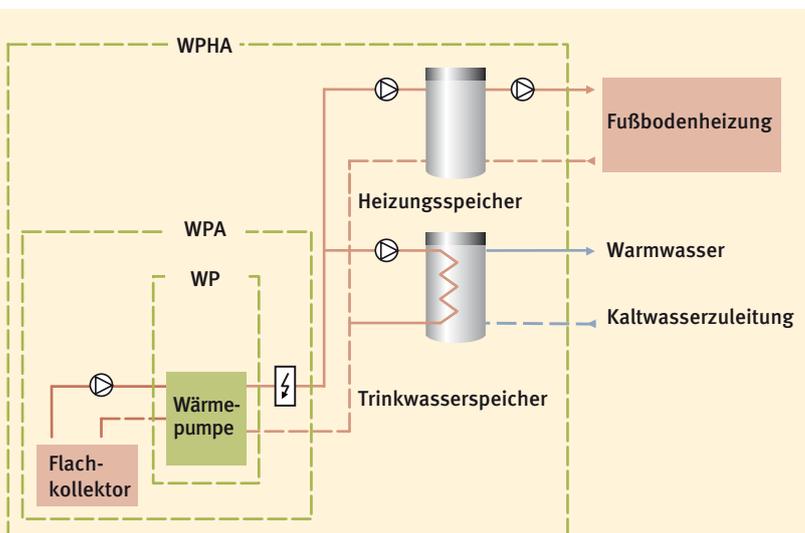
Bilanzgrenzen in Wärmepumpensystemen

Bei der Ermittlung von Arbeitszahlen eines Wärmepumpensystems können unterschiedliche Systemgrenzen definiert werden. In Abb. 4 sind am Beispiel eines Wärmepumpensystems, das Erdreich mit Hilfe eines Flachkollektors als Wärmequelle nutzt und Wärme zur Raumheizung und Trinkwassererwärmung bereitstellt, exemplarisch drei mögliche Systemgrenzen dargestellt: Die „engste“ Systemgrenze (WP) bezieht nur den Energiebezug des Wärmepumpengerätes (Verdichter, Steuerung, ggf. eine Ölumpfheizung des Verdichters) ein. Nimmt man in den Bilanzierungsraum noch den Antrieb im Wärmequellenkreis (Ventilator, Sole- bzw. Brunnenpumpe) mit auf und – wenn vorhanden – eine elektrische Zusatzheizung, so wird es hier als Wärmepumpenanlage (WPA) bezeichnet. Sowohl bei der Bilanzierung der WP als auch bei der WPA wird die erzeugte thermische Energie direkt hinter der Wärmepumpe bzw. der elektrischen Zusatzheizung ermittelt. Betrachtet man die Effizienz der gesamten Wärmepumpenheizungsanlage (WPHA), wird nur die Nutzenergie, also hinter den Speichern, berücksichtigt. Als Verbraucher fließen dann noch die Lade-pumpen in die Berechnung mit ein.

Einflussparameter auf die Arbeitszahl von Wärmepumpen

Aufgrund des hohen Temperatureinflusses auf die Effizienz wird die Jahresarbeitszahl einer Wärmepumpe wesentlich von dem Temperatureiveau auf der Wärmequellen- und Wärmesenkenseite bestimmt. Es existiert eine Vielzahl von Faktoren, die Einfluss auf die Betriebstemperaturen haben. Sowohl der Einsatzbereich der Wärmepumpe als auch die Planung, die Installation und Inbetriebnahme sowie die Betriebsphase sind dabei von Bedeutung.

Abb. 4 Systemgrenzen für die Ermittlung der Arbeitszahl
Quelle: FhG-ISE



Aus der Praxis

Einfamilienhaus mit el. Wärmepumpe

In einem neuen Einfamilienhaus mit 127 m² beheizter Gebäudefläche und geringem Heizenergiebedarf dient eine Wärmepumpe der Gebäudebeheizung und der Trinkwassererwärmung. Das außen aufgestellte Gerät mit einer Heizleistung von 7,5 kW (bei A2/W35 nach EN 14511) nutzt Außenluft als Wärmequelle. Sowohl im Trinkwasser- als auch im Heizungsspeicher sind ergänzend Elektroheizstäbe installiert, die entsprechend individuell eingestellter Parameter betrieben werden. Die Beheizung der Räume erfolgt mittels Fußboden- und Wandheizung. Der Handtuch-Heizkörper im Bad wird ebenfalls mit den geringen Heizkreistemperaturen betrieben. Dieses Objekt wird im Rahmen des Projektes "WP Monitor" untersucht.

Von Mai 2011 bis April 2012 erreichte die Anlage eine Arbeitszahl von 3,3, innerhalb der Ergebnisse des Monitoringprojektes „WP-Effizienz“ ein vergleichsweise hoher Wert. Der Heizkreis wurde im Mittel bei 35 °C/28 °C betrieben. Die Beladung des Trinkwasserspeichers erfolgte im Mittel bei 47 °C/42 °C. Die bereitgestellte Wärme teilte sich mit 84 % bzw. 16 % auf die Raumheizung und Trinkwassererwärmung auf. Die jährliche Betriebsdauer dieser Wärmepumpe lag bei 2.100 Stunden. Die beiden Heizstäbe waren sehr selten in Betrieb, sodass weniger als 1 % des Wärmebedarfes für Heizung und Trinkwassererwärmung direkt elektrisch erzeugt wurde.

Steckbrief Einfamilienhaus

Gebäudetyp	Einfamilienhaus
Bau- und Installationsjahr	2010
beheizte Gebäudefläche	127 m ²
energetische Gebäudeklasse	Niedrigenergiehaus
Wärmepumpentyp	elektrisch betriebene Wärmepumpe
Heizleistung	7,5 kW (bei A2/W35 nach EN14511)
COP	3,7 (bei A2/W35 nach EN14511)
Kältemittel	R404A
Einsatzbereich	Heizung und Warmwasser
Wärmequellensystem	Außenluft – außen aufgestellt
Speicher	Pufferspeicher 200 l Trinkwasserspeicher 300 l
Wärmeverteilsystem	Fußboden-, Wandheizung, Handtuch-Radiatoren
Auslegungheizkreistemperatur	Vorlauf: 38 °C / Rücklauf: 33 °C
Betriebsart	monoenergetisch

Abb. 5 Quelle: FhG-ISE

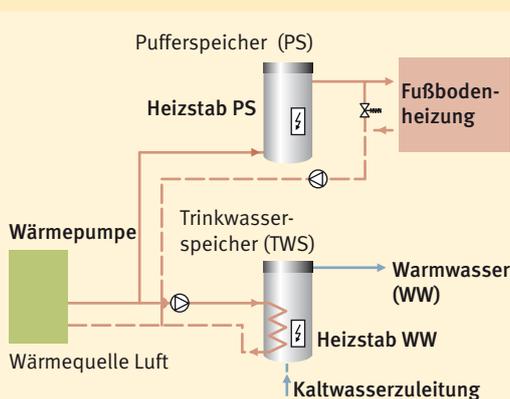


Abb. 6 Anlagenschema. Quelle: FhG-ISE

En passant



Abb. 7 Geothermisch beheizte Brücke in Berkenthin.
Quelle: H.S.W. Ingenieurbüro Rostock

Brückentechnologie

Fahrbahnoberflächen von Brücken, insbesondere in ungünstiger geographischer Lage – z. B. über Gewässer, in Einschnitten, Schattenlagen und Niederungsbereichen, vereisen im Winter wesentlich schneller als Straßenabschnitte mit direktem Kontakt zum Erdboden. Damit wird das Unfallrisiko deutlich erhöht und der Winterdienst ist zu frühzeitigem Einsatz gezwungen, selbst wenn der allgemeine Straßenzustand dies noch nicht erfordert. Automatische Taumittelsprühanlagen können zu einer Entlastung führen, sind jedoch aufgrund ökologischer und ökonomischer Bedenken umstritten.

Eine Lösung ist der Einsatz oberflächennaher geothermischer Energie, die deutschlandweit erstmalig bei der Erneuerung der Straßenbrücke Berkenthin über den Elbe-Lübeck-Kanal im Rahmen eines Pilotprojektes erprobt wird. Der Asphaltaufbau der Brücke ist mit Heizschlangen durchzogen. Neben einer Beheizung des Fahrbahnbelags im Winter besteht die Möglichkeit, den Asphalt im Sommer zu kühlen und somit die Gefahr der Spurrinnenbildung zu verringern und die Lebensdauer des Belages zu verlängern. Die Beheizung bzw. Kühlung erfolgt über eine Wärmepumpe, die an eine Einbrunnenanlage angeschlossen ist.

Abb. 8 Fahrbahntemperierung verhindert Blitzeis.
Quelle: H.S.W. Ingenieurbüro Rostock





Abb. 9 Speicher in einem Logistikzentrum.
Quelle: Bosch Thermotechnik GmbH, Wetzlar



Abb. 10 Wärmepumpen in einem Mehrfamilienhaus in Augsburg.
Quelle: Bundesverband Wärmepumpe e. V., Berlin

- Der **Einsatzbereich** der Wärmepumpe bringt gewisse Grenzen hinsichtlich der Wahl der Wärmepumpentechnologie (z. B. der Wärmequellenart) mit sich. Zudem sind Randbedingungen und Grenzen hinsichtlich der erforderlichen Senktemperatures gegeben: Es bestehen z. B. relevante Unterschiede zwischen dem Einsatz im unsanierten Altbau und dem im Neubau. Im Neubau mit Fußbodenheizung unterscheidet sich der Heizungsbetrieb wesentlich von dem Betrieb zur Brauchwassererwärmung.
- Der **Planer** bestimmt mit der Auswahl und Dimensionierung des Heizungssystems – in dem Rahmen, den der Heizwärmebedarf und die räumlichen Gegebenheiten bieten – die erforderlichen Heizkreistemperaturen.
- Eine sorgfältige **Installation**, die fachmännische **Inbetriebnahme** und ein kontrollierter **Betrieb** tragen dazu bei, die geplanten Betriebstemperaturen einzuhalten bzw. den ggf. abweichenden realen Anforderungen anzupassen. So führt eine nicht angepasste Heizkurve z. B. möglicherweise dazu, dass die Anlage mit Heizkreistemperaturen betrieben wird, die höher als erforderlich sind. Eine ungünstige Positionierung der Speicher-Temperatur Sensoren kann eine fehlerhafte Speicher-

beladung, vor allem bei Kombispeichern, verursachen: die Wärmepumpe erzeugt mehr Energie auf dem hohen Trinkwassertemperaturniveau als erforderlich. Nicht vollständig schließende 3-Wege-Ventile und fehlende Rückschlagklappen verursachen u. a. eine ungewünschte Entladung des Trinkwasserspeichers.

Neben Aspekten, die Einfluss auf die Betriebstemperatur haben, ist selbstverständlich auch der Hilfsenergieeinsatz zu beachten.

Bewertung von Wärmepumpen

Die Leistungszahl einer Wärmepumpe ermöglicht den Vergleich verschiedener Wärmepumpen unterschiedlicher Hersteller untereinander; natürlich unter der Voraussetzung, dass die Leistungszahlen unter gleichen Randbedingungen ermittelt wurden. Ebenso ist der Vergleich der Ergebnisse verschiedener Felduntersuchungen nur bedingt möglich, wenn nicht genau die gleichen Bilanzgrenzen und Auswertungsmethoden verwendet wurden. Außer der Frage, an welcher Stelle die Systemgrenze gezogen

Abb. 11 Treibhausgasemissionen (ohne Berücksichtigung von Kältemittelverlusten) sowie Primärenergieaufwand von Wärmepumpen und Gas-Brennwertkesseln.
Quelle: FhG-ISE

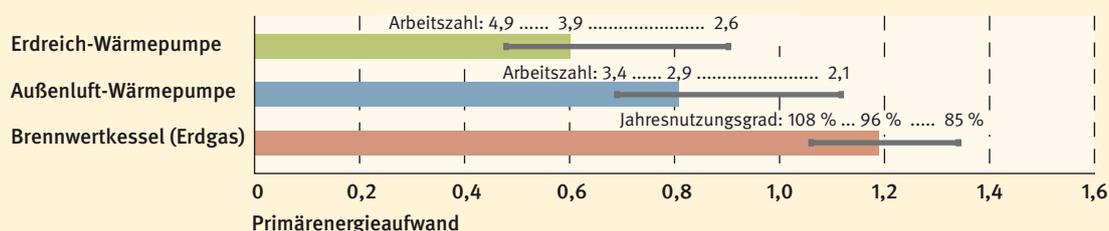
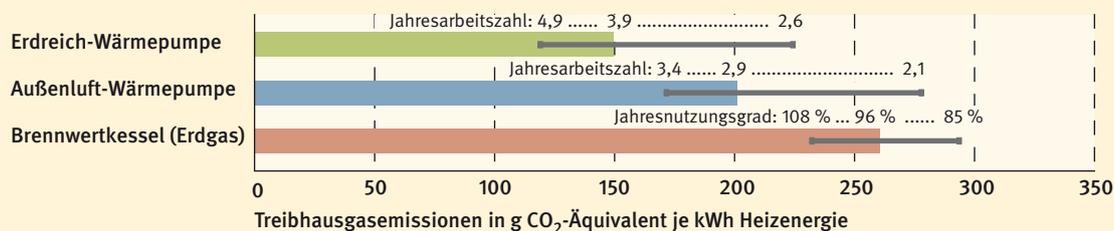




Abb. 12 Wärmepumpenspeicher mit installierter Messtechnik.
Quelle: Vaillant Deutschland GmbH & Co. KG, Remscheid



Abb. 13 Fußbodenheizung in einem Neubauprojekt in Duisburg.
Quelle: Thomas Lienemeyer, Mülheim a. d. Ruhr

wurde, sind noch andere Aspekte relevant. So macht es einen Unterschied, ob bei der Berechnung der Arbeitszahl ungenutzte Heizenergie berücksichtigt wird, die im Sommer systembedingt oder infolge eines Fehlbetriebes erzeugt wurde. Auch können nur gleiche Bilanzzeiträume (z. B. ein Jahr) miteinander verglichen werden.

Zur Einordnung von Arbeitszahlangaben sollten neben den Bilanzgrenzen und Bilanzzeiträumen die Art der Wärmequelle, das Einsatzgebiet (z. B. Gebäudestandard, Heizungssystem, Verhältnis Heizungsbedarf zu Brauchwasserbedarf) und die Betriebstemperaturen genannt sein. Häufig werden als Betriebstemperaturen im Heizkreis nur die Vorlauftemperaturen angegeben. Jedoch sind diese nicht alleine ausschlaggebend für die Kondensationstemperatur. Auch die Rücklauftemperatur hat einen Einfluss.

Bei Betrachtung der Temperaturverläufe an einem Kondensator ist dies deutlich nachvollziehbar. So stellt sich z. B. bei 35/30 eine höhere Kondensationstemperatur ein als bei 35/25. Dies zeigen auch Messungen des Prüfzentrums NTB Buchs in der Schweiz. Bei 13 Außenluft/Wasser-Wärmepumpen und 19 Sole/Wasser-Wärmepumpen wurden jeweils Normmessungen nach EN 14511 und EN 255 durchgeführt. Dabei lag der COP mit einer Heizkreistemperatur von 35/30 bei Außenluft-Wärmepumpen im Mittel 7 % und bei Sole-Wärmepumpen im Mittel um 6 % niedriger als bei 35/25. Daher ist ersichtlich, dass immer Vorlauf- und Rücklauftemperatur (resp. eine Temperatur und die Spreizung) genannt werden sollten. Ist es für einen Vergleich mehrerer Anlagen übersichtlicher, nur eine Betriebstemperatur im Heizkreis heranzuziehen, so eignet sich die Heizkreismitteltemperatur besser als die Heizkreisvorlauftemperatur.

Bewertung von Wärmepumpen im Vergleich zu anderen Wärmeerzeugern

Für einen direkten Vergleich einer Wärmepumpe mit einem anderen Energieerzeuger, z. B. einem Gas-Brennwertkessel, können unterschiedliche Kennwerte betrachtet werden. Im Folgenden werden der Primärenergieaufwand, der zur Raumheizung und Brauchwassererwärmung notwendig ist, und die entstehenden Treibhausgasemissionen vorgestellt.

In Abb. 11 ist der Primärenergieaufwand von Wärmepumpen und Gas-Brennwertkesseln für verschiedene Arbeitszahlen bzw. Jahresnutzungsgrade gegenübergestellt. Die Bandbreite der Arbeitszahlen beruht auf den Monitoringprojekten „WP Effizienz“ und „WP im Bestand“. Die Daten für die Brennwertkessel wurden im Rahmen der „Felduntersuchung: Betriebsverhalten von Heizungsanlagen mit Gas-Brennwertkesseln“ an 60 Gas-Brennwertkesseln ermittelt. Die zugrunde gelegten spezifischen Primärenergiefaktoren für elektrische Energie (2,35) und Erdgas (1,12) geben die jeweilige Endenergieerzeugung in Deutschland im Jahre 2010 wieder. Der Vergleich zeigt, dass Wärmepumpen bei richtiger Auslegung und Betrieb deutliche Primärenergieeinsparungen gegenüber einem Gas-Brennwertkessel erreichen. So haben Erdreich-Wärmepumpen mit einer Arbeitszahl von 3,9 (Mittelwert im Projekt „WP Effizienz“) eine Primärenergieeinsparung von 49 % gegenüber einem Gas-Brennwertkessel mit einem Jahresnutzungsgrad von 96 %. Und Außenluft-Wärmepumpen erreichen bei einer Arbeitszahl von 2,9 (Mittelwert im Projekt „WP Effizienz“) noch eine Einsparung von 32 %. Es zeigt sich jedoch auch, dass bei Wärmepumpen mit sehr geringen Jahresarbeitszahlen – je nach Effizienz des Vergleichssystems – nur geringe oder keine Einsparungen mehr erreicht werden können.

Die Treibhausgase, die durch den Endenergiebedarf einer Wärmepumpe und eines Brennwertkessels erzeugt werden, sind in Abb. 11 dargestellt. Es zeigen sich ähnliche Einsparpotenziale für die Treibhausgasemissionen bei der Wärmebereitstellung mit Wärmepumpen gegenüber Gas-Brennwertkesseln wie für die Primärenergie. So erreichen Erdreich-Wärmepumpen (Außenluft-Wärmepumpen) mit Jahresarbeitszahlen von 3,9 (2,9) um 43 % (23 %) geringere Treibhausgasemissionen im Betrieb. Berücksichtigt werden in diesen Werten jedoch nicht Treibhausgasemissionen, die durch Kältemittelverluste entstehen.

Kältemittlemissionen können entlang der gesamten Prozesskette von der Herstellung über die Anwendung (hier also den Wärmepumpenbetrieb) und der Entsorgung auftreten. Der Beitrag des Kältemittels an den Treibhausgasemissionen, die durch das Heizen mit einer Wärmepumpe entstehen, hängt also von den jeweiligen Kältemittelverlusten und dem eingesetzten Kältemittel ab. Das Umweltbundesamt gibt als Anhaltswert für



Abb. 14 Installation von Sole-Erdwärmepumpen in einem Neubauprojekt in Mülheim a. d. Ruhr.
Quelle: Thomas Lienemeyer, Mülheim a. d. Ruhr

die Kältemittelverluste von Heizungswärmepumpen in Deutschland einen Wert von 2,5 % der Kältemittelfüllmenge pro Jahr an. Dieser Wert stellt einen Mittelwert dar und umfasst sowohl „schleichende“ Emissionen als auch Emissionen bei Serviceeinsätzen und bei Havarien bezogen auf eine durchschnittliche Lebensdauer von 15 Jahren. Bei der Entsorgung wird von einer mittleren Recyclingrate von 70 % ausgegangen.

Wie sich dies auf die Treibhausgasemissionen auswirkt, soll am Beispiel einer üblichen Außenluft-Wärmepumpe für zwei verschiedene Kältemittel konkretisiert werden. Angenommen wird ein Gebäude mit 160 m² Wohnfläche, einem spezifischen Jahreswärmebedarf von 70 kWh/(m²a) für Raumheizung und 17 kWh/(m²a) für Brauchwassererwärmung. Die Wärmepumpe beinhaltet 3 kg Kältemittel, die Heizleistung beträgt 7,5 kW bei einer Jahresarbeitszahl von 2,9.

Verwendet man das in neuen Heizungswärmepumpen meistgenutzte Kältemittel R407C (Global Warming Potential (GWP-Wert) 1,774), so erhöhen sich die Treibhausgasemissionen durch Kältemittelverluste um 9 %. Sie steigen um 19 %, wenn das selten eingesetzte R404a verwendet wird. R404a hat den höchsten GWP-Wert (3,922) der in Heizungswärmepumpen genutzten Fluorkohlenwasserstoffe.

Dies bedeutet, dass die betrachtete Wärmepumpe gegenüber dem Gas-Brennwertkessel nur 8 bis 16 % geringere Treibhausgasemissionen aufweist, wenn die angenommenen Kältemittelverluste berücksichtigt werden.

Leistungszahl der Wärmepumpengeräte derzeit

Das Gütesiegel für Wärmepumpen der EHPA (European Heat Pump Association) zertifiziert die Qualität von Wärmepumpen anhand von technischen, planerischen sowie servicespezifischen Qualitätsrichtlinien. Dabei müssen die Heizungs-Wärmepumpen festgelegte Mindestwerte der Leistungszahlen erzielen (gemessen nach EN 14511). Viele der am Markt verfügbaren Geräte erreichen diese Grenzwerte (Abb. 15).

Ein anderer Referenzwert zur Einordnung der Effizienz von Wärmepumpen sind die Grenzwerte der Jahresarbeitszahl, die für die Förderung von Wärmepumpen gesetzt sind. Derzeitige Förderrichtlinien der BAFA (Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle) sehen vor, dass nur Wärmepumpen, die in Bestandgebäuden (Baujahr vor 2009) eingesetzt werden, eine Förderung erfahren. Die berechneten Jahresarbeitszahlen müssen Werte von 3,8 für Sole/Wasser-Wärmepumpen und 3,5 für Außenluft/Wasser-Wärmepumpen erreichen.

Leistungszahlen von Wärmepumpen im Nenn-Normbetriebspunkt nach EN 14511

Typ	Arbeitspunkt	Mindestwert der Leistungszahl für EHPA Gütesiegel	Leistungszahl marktverfügbarer Wärmepumpen
Sole/Wasser	B0/W35	4,3	4,0 ... 5,0
Wasser/Wasser	W10/W35	5,1	5,0 ... 6,0 (6,5)
Luft/Wasser	A2/W35	3,1	3,0 ... 4,0 (4,4)

Abb. 15 Quelle: FhG-ISE

Aus der Praxis



Abb. 16 Die neue Gas-Absorptionswärmepumpe des Schulgebäudes in Plaidt.
Quelle: E.ON Energie AG, München

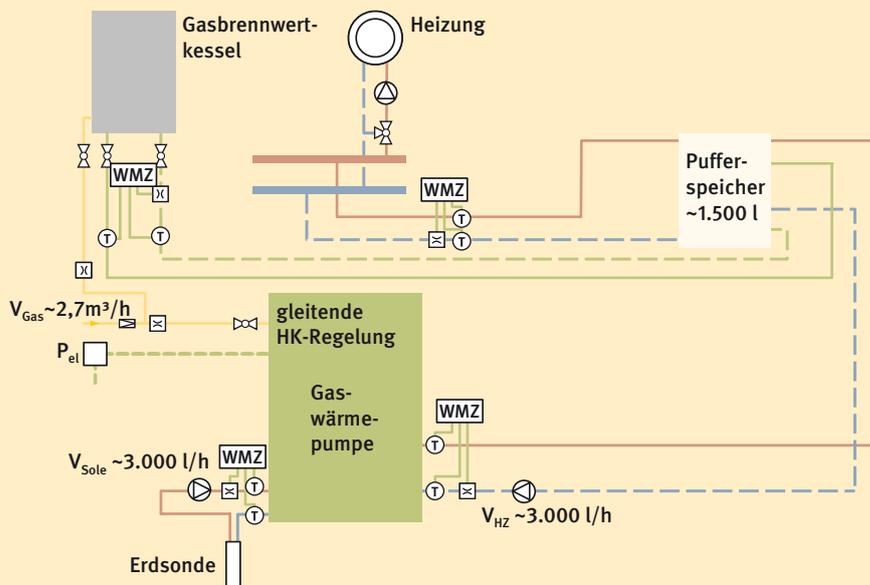


Abb. 17 Anlagenschema der Wärmepumpenanlage des Schulgebäudes.
Quelle: E.ON Energie AG, München

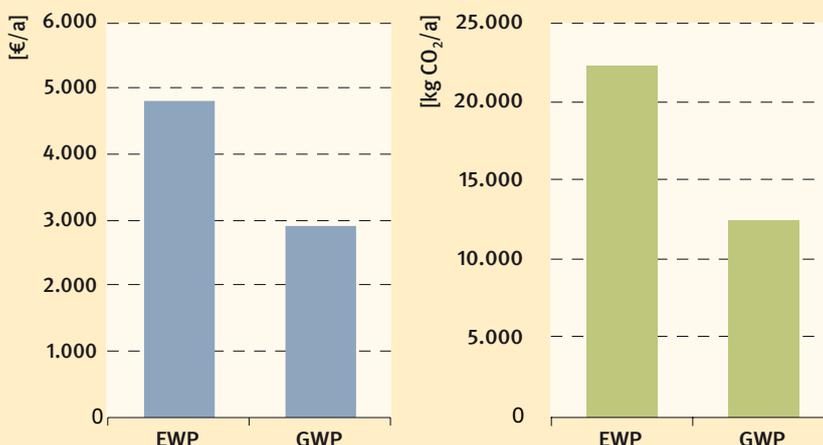


Abb. 18 Vergleich der Kosten und der CO₂-Emissionen pro Jahr zwischen Elektrowärmepumpe (EWP) und Gaswärmepumpe (GWP). Quelle: E.ON Energie AG, München

Schulgebäude mit thermischer Wärmepumpe

Das im Jahr 1907 in Plaidt erbaute Schulgebäude wurde 2010 anlagentechnisch saniert. Dabei wurden zwei Elektrowärmepumpen mit Erdreich als Wärmequelle durch eine neuentwickelte Gas-Absorptionswärmepumpe ersetzt. Als Wärmequelle nutzt diese auch das Erdreich. Der Pufferspeicher von 1.500 l wurde nicht erneuert. Zur Spitzenlastdeckung ist anstelle des Elektro-Heizstabes ein Gas-Brennwertgerät eingebaut worden. Die Wärmeübergabe im Gebäude wird durch eine Radiatorenheizung realisiert. Um die hocheffizient erzeugte Wärme auch weiter effektiv zu verteilen und das Niveau der Heizkreisvorlauftemperatur möglichst gering zu halten, wurde ein hydraulischer Abgleich vorgenommen.

Ergebnisse

Während der Heizperiode 2011 / 2012 erreichte die Gaswärmepumpe einen Jahresnutzungsgrad von 137,5 %. Der Jahresnutzungsgrad der Gaswärmepumpe ist das Verhältnis zwischen der von der GWP abgegebenen Wärmemenge zu der zugeführten Wärmenmenge aus Erdgas, und ist damit direkt vergleichbar mit den allgemein bei den Brennwertkesseln angegebenen Jahresnutzungsgraden. Die jährliche Betriebsdauer der Anlage lag im Messzeitraum bei 2.335 Stunden.

Einsparungen

Durch den Austausch der alten Elektrowärmepumpen gegen das neue erdgasbasierte Absorptionswärmepumpe- / Gasbrennwertsystem wurde vom Gesamtsystem (GWP, ZHG) eine Energiekosteneinsparung von 39 % und eine CO₂-Reduzierung von 44 % über eine Heizperiode messtechnisch nachgewiesen. Dies belegen die Abrechnungszahlen des örtlichen Versorgers.

Steckbrief Schule in Plaidt

Gebäudetyp	Schule
Baujahr	1907
Installationsjahr	2010
beheizte Gebäudefläche	840 m ²
energetische Gebäudeklasse	Altbau
Wärmepumpentyp	Gas-Absorptionswärmepumpe
Einsatzbereich	Heizung
Wärmequelle/- senke	Erdreich (Erdsonde 12 * 100 m)
Wärmeverteilsystem	Radiatorenheizung
Auslegungstemperatur	Vorlauf: 70 °C / Rücklauf: 50 °C
Betriebsart	monoenergetisch (Erdgas)
Kältemittel	R717
ergänzendes Heizsystem	Gas-Brennwertgerät (50 kW)
Nennwärmeleistung GWP	max. 40 kW (modulierend)

Abb. 19

Quelle: E.ON Energie AG, München

Abb. 20 Vermessung einer Wärmepumpe im Rahmen des Projektes „WP-Effizienz“. Quelle: FhG-ISE



Effizienz unter realen Bedingungen

In drei breit angelegten Monitoringprojekten untersuchte das Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme die Effizienz von elektrisch angetriebenen Wärmepumpensystemen zur Raumheizung und Warmwasserbereitung im Altbau und Neubau. Bei diesen Felduntersuchungen wurde jeweils nicht nur die im realen Betrieb erreichte Effizienz ermittelt, sondern auch die Betriebsbedingungen untersucht und das Systemverhalten analysiert. Dies diente der Bewertung der jeweiligen Anlage und der Ermittlung von Optimierungspotenzialen.

Die Monitoringprojekte basieren auf der Erfassung der Wärmemengen und elektrischen Energien sowie der Volumenströme und Temperaturen mit einer minütlichen Auflösung sowie der täglichen Datenfernabfrage, Speicherung und Auswertung am Institut. Die erzeugte thermische Energie wird direkt nach der Wärmepumpe bilanziert – getrennt für die Raumheizung und Brauchwassererwärmung. Zur Berechnung der Arbeitszahl wird die thermische Energie zum Energiebezug der elektrischen Komponenten ins Verhältnis gesetzt. Hierbei werden der Verdichter und die Steuerung der Wärmepumpe sowie der Antrieb im Wärmequellenkreis (Ventilator, Sole- bzw. Brunnenpumpe) und der Heizstab berücksichtigt.

Im Rahmen des Projektes „WP-Effizienz“ wurden vom Fraunhofer ISE rund 100 Wärmepumpen in neu gebauten Einfamilienhäusern, mit einem spezifischen Heizwärmeverbrauch zwischen 30 bis 150 kWh/(m²a), vermessen. In einem ähnlichen Projekt („WP im Bestand“) untersuchte das Fraunhofer ISE Wärmepumpen in unsanierten bzw. teilsanierten Bestandsgebäuden. Hier wurden insgesamt rund 70 Anlagen vermessen, die als Ersatz für Ölkessel installiert wurden.

Arbeitszahlen im Jahresgang

Die Effizienz, die eine Wärmepumpe im Betrieb erreichen kann, wird wesentlich von dem Temperaturniveau auf der Wärmequellen- und Wärmesenkenseite bestimmt. Je kleiner der Unterschied zwischen Wärmequelle und Wärmesenke, desto höher die Effizienz der Wärmepumpe. Die Betrachtung der monatlichen Ar-

beitszahlen des Projektes „WP Effizienz“ verdeutlicht diesen Zusammenhang.

In Abb. 22 sind die Vorlauftemperaturen des Wärmesenkenkreises (getrennt für Raumheizung und Warmwasserbereitung) und die Monatsarbeitszahlen über ein Jahr (Juli 2009 bis Juni 2010) als Mittelwert aller ausgewerteten Erdreich/Wasser-Wärmepumpen dargestellt. Deutlich sind die im Jahresverlauf schwankenden Monatsarbeitszahlen zu erkennen. Diese spiegeln die sich ändernden Betriebsbedingungen wieder. Aufgrund der fast ausschließlich verwendeten Flächenheizungen betragen die Vorlauftemperaturen im Heizbetrieb im Mittel 36 °C, während im Warmwasserbetrieb Durchschnittswerte von 51 °C erreicht werden.

Im Jahresverlauf variiert das Verhältnis der Energie, die zur Raumheizung und zur Warmwasserbereitung bereitgestellt wird, entsprechend dem Heizwärmebedarf der einzelnen Monate. In der Kernheizperiode beträgt der Anteil der Warmwasserbereitung bei den untersuchten Anlagen im Mittel rund 10 %; einem für Neubauten recht niedrigen Wert. Somit liegt der gewichtete Mittelwert der Wärmesenktemperatur in den Wintermonaten nahe der Temperatur im Heizbetrieb und in den Sommermonaten nahe der Temperatur im Warmwasserbetrieb. Die Quellentemperaturen (Abb. 29) weisen ebenfalls jahreszeitliche Schwankungen auf. Jedoch können die höheren Soletemperaturen in den Sommermonaten die hohen Senktemperatur nicht „kompensieren“. Neben dem höheren Temperaturhub in den Sommermonaten wirkt sich die Tatsache, dass aufgrund der kurzen Betriebszeiten der Wärmepumpe der Anteil der Steuerung an dem elektrischen Energiebezug steigt, negativ

Gegenüberstellung der Monitoringprojekte

Forschungsprojekt	WP im Bestand	WP Effizienz	WP Monitor
Projektpartner und Projektförderung	E.ON Energie AG	7 Wärmepumpen-Hersteller, 2 Energieversorger, BMWi	12 Wärmepumpen-Hersteller, EnBW
Projektlaufzeit	10/2006 – 12/2009	10/2005 – 09/2010	12/2009 – 05/2013
Nenn-Leistung der WP (min ... mittel ... max)	5 kW ... 14 kW ... 37 kW	6 kW ... 9 kW ... 17 kW	5 kW ... 9 kW ... 17 kW
Wärmequelle Erdreich	36	56	47
Wärmequelle Außenluft	34	18	34
Wärmeverteilsystem	Flächenheizungen: 3 % Radiatoren: 71 % Kombiniert: 26 %	Flächenheizungen: 94 % Radiatoren: 1 % Kombiniert: 5 %	Flächenheizungen: 88 % Radiatoren: 4 % Kombiniert: 8 %

Abb. 21 Quelle: FhG-ISE

auf die Arbeitszahl aus. Die mittleren Monatsarbeitszahlen betragen im Juli / August knapp über 3,0 und steigen mit Beginn der Heizperiode auf Werte über 4,0. In dieser Zeit profitiert die Wärmepumpe von dem noch regenerierten Erdreich und den im Mittel noch geringen Senkentemperaturen. In der Kernheizperiode fallen die Arbeitszahlen leicht unter 4,0 ab. Über ein Jahr betrachtet, lag die mittlere Arbeitszahl bei JAZ=3,9.

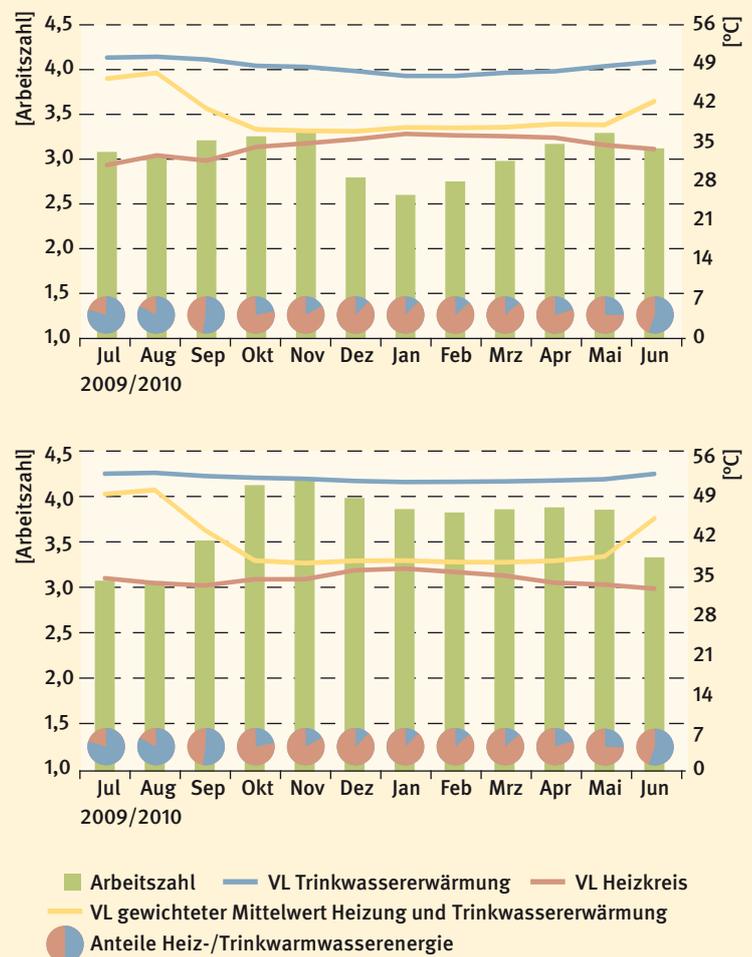
Auch die untersuchten Außenluft/Wasser-Wärmepumpen sind in Gebäuden installiert, die – im Mittel – einen ähnlich hohen Anteil der Raumheizung bei niedrigen Heizkreistemperaturen aufweisen. Somit liegen hier vergleichbare Bedingungen auf der Wärmesenkenseite vor (Abb. 22). Es offenbart sich jedoch ein großer Unterschied der monatlichen Arbeitszahlen gegenüber den Erdreich/Wasser-Wärmepumpen. Während man bei Erdreich-Wärmepumpen die Heizperiode eindeutig an den höheren Arbeitszahlen erkennt, arbeiten die Außenluft-Wärmepumpen gerade in den Wintermonaten am ineffizientesten, da der Wärmepumpe nur geringe Quellentemperaturen zur Verfügung stehen. So liegt die niedrigste mittlere monatliche Arbeitszahl (2,6) – in Korrelation zu der Außentemperatur – im Januar. In den Sommermonaten sind die Lufttemperaturen zwar wesentlich höher, fast gleichermaßen aber auch die Senkentemperaturen für die nun fast ausschließlich benötigte Warmwasserbereitung. Die höchsten Arbeitszahlen sind somit in der Übergangszeit zu finden (November 2009 und Mai 2010 mit jeweils 3,2). Wird die Heizgrenze gerade unterschritten, liegen die mittleren Wärmesenkentemperaturen wegen den geringen Temperaturen im Heizbetrieb niedriger als im Sommer, die Außentemperaturen sind jedoch noch relativ hoch. Wie bei den Erdreich/Wasser-Wärmepumpen wirkt sich auch hier der „Standby-Verbrauch“ der Wärmepumpe in den Sommermonaten mit den geringen Betriebszeiten stärker (und damit negativ) auf die Arbeitszahl aus als in den Monaten mit längeren Betriebszeiten. Die mittlere Jahresarbeitszahl liegt bei 2,9.

Altbau und Neubau im Vergleich

In Abb. 25 sind die jeweils erzielten Arbeitszahlen der beiden Projekte gegenübergestellt. Das Diagramm zeigt die über die genannten Auswertungszeiträume ermittel-

ten durchschnittlichen Arbeitszahlen aller Anlagen der vier Kombinationen aus Alt- und Neubau sowie den Wärmequellen Außenluft und Erdreich. Wie oben vorgestellt, wurden im Projekt „WP Effizienz“ die Erdreich-Wärmepumpensysteme im Mittel mit einer Arbeitszahl

Abb. 22 Durchschnittliche Arbeitszahlen (AZ) aller Anlagen. Oben: Wärmequelle Außenluft, unten: Wärmequelle Erdreich. Quelle: FhG-ISE



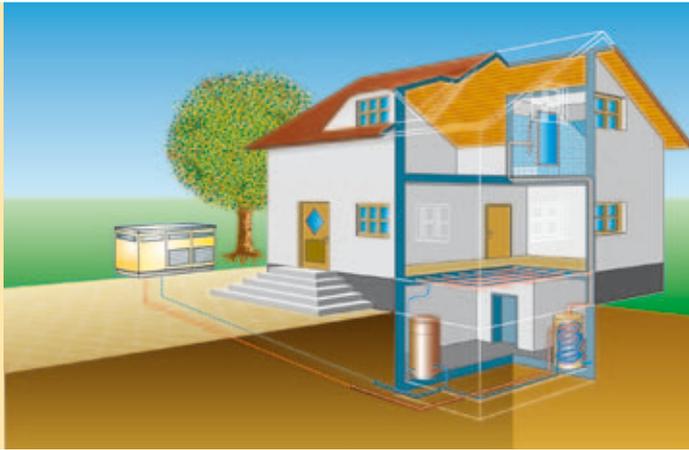


Abb. 23 Schema einer Luft/Wasser-Wärmepumpe
Quelle: Abb. 23 – 24 Bundesverband Wärmepumpe e. V., Berlin

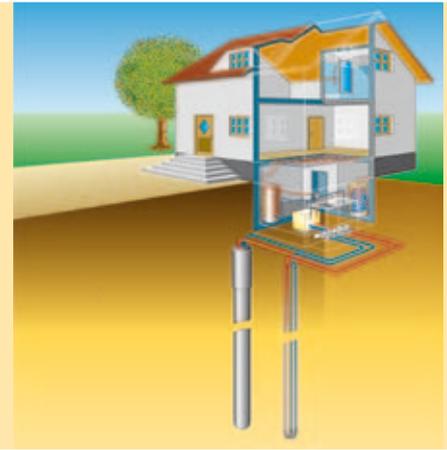


Abb. 24 Schema einer
Erdreich/Wasser-Wärmepumpe

von 3,9 betrieben, wohingegen die Erdreich-Wärmepumpensysteme des Projektes „WP im Bestand“ im Mittel eine Arbeitszahl von 3,3 erreichten. Dies spiegelt die installierten Wärmeverteilssysteme wider: die Neubauten sind fast ausschließlich mit Fußbodenheizungen ausgestattet, während in den Altbauten die Raumheizung in den meisten Gebäuden über Radiatoren erfolgte. Die Heizungsvorlauftemperaturen lagen in den Altbauten mit 54 °C im Mittel knapp 20 K über denen im Neubau. Auch bei den vermessenen Außenluft-Wärmepumpen zeigt sich der tendenzielle Unterschied zwischen beiden Projekten: Während im Neubau im Mittel eine Arbeitszahl von 2,9 erreicht wurde, liegt die mittlere Arbeitszahl bei den Altbauten bei 2,6.

Die Betrachtung der Mittelwerte zeigt nur den tendenziellen Unterschied beider Projekte auf. Innerhalb eines Projektes sind teilweise große Unterschiede der Arbeitszahlen der einzelnen Anlagen vorhanden. So erreichten im Projekt „WP Effizienz“ dreiviertel der Erdreich-Wärmepumpen zwar Jahresarbeitszahlen im Spektrum von +/- 10 % des Projekt-Mittelwertes, doch lagen Einzelwerte der Jahresarbeitszahlen zwischen 3,0 und 5,2. Den höchsten Wert erreichte eine Anlage, die zum einen bei unterdurchschnittlichen Senkentemperaturen betrieben wurde und zum anderen – aufgrund einer großzügig dimensionierten Erdsondenanlage – hohe Quel-

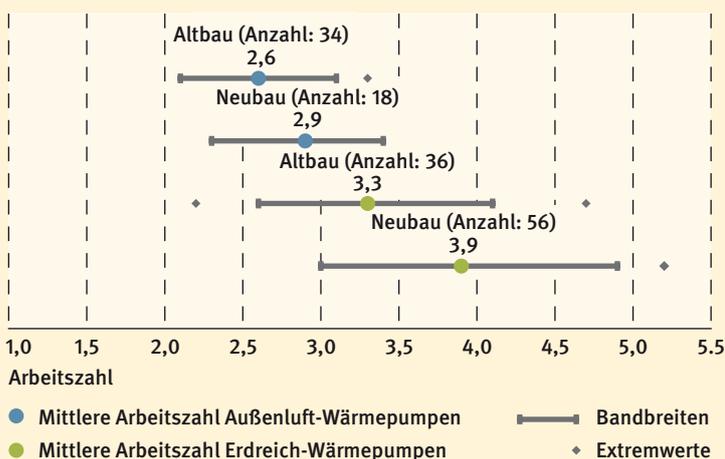
lentemperaturen auch in der Kernheizperiode beibehält. Im Bereich der Altbauten wies die Erdreich-Anlage mit der geringsten Effizienz eine Jahresarbeitszahl von 2,2 und die Anlage mit der höchsten Effizienz, die sich in einem umfangreich sanierten, mit einer Fußbodenheizung ausgestatteten Gebäude befindet und nicht zur Warmwasserbereitung genutzt wurde, eine Jahresarbeitszahl von 4,7 auf. Die Bandbreite der Arbeitszahlen der Außenluft-Wärmepumpen hat bei den Bestandsgebäuden und den Neubauten in etwa das gleiche Ausmaß und reichte von 2,1 bis 3,3 bzw. von 2,3 bis 3,4.

Einsatz des Heizstabes

Erfreulicherweise sind die Anteile der elektrischen Zusatzheizung in den meisten vermessenen Anlagen auf sehr niedrigem Niveau. Im Folgenden sind die Ergebnisse aus dem Projekt „WP Effizienz“ für das Jahr 07/2009 – 06/2010 vorgestellt. Im Fall der Erdreichanlagen waren bei der Mehrzahl der 56 Anlagen keine Heizstabaktivitäten vorhanden. Und nur bei rund 10 % der Anlagen wurden mehr als 1 % der thermischen Energie für Raumheizung und Brauchwassererwärmung von einem Heizstab bereitgestellt. Die Detail-Auswertung der Heizstabaktivitäten deutet darauf hin, dass diese zumindest teilweise auf einen bewussten Betrieb des Heizstabes zur Unterstützung während der Bauaustrocknung des Gebäudes, auf ungünstige Parametrierungen der Regelungen oder auf kurzzeitige Ausfälle der Wärmepumpe zurückzuführen sind.

Bei Außenluft-Wärmepumpenanlagen hatten die Heizstäbe erwartungsgemäß einen höheren Anteil an der Wärmebereitstellung. Hier wiesen rund 40 % der 18 Anlagen einen Anteil über 1 % auf. Abgesehen von einer Anlage wurden jedoch weniger als 5 % der Wärmebereitstellung vom Heizstab übernommen. Während die Aktivität des Heizstabes bei Erdreichanlagen kaum mit den Außentemperaturen korreliert, ist hingegen bei den meisten Außenluft-Wärmepumpen diese Korrelation eindeutig gegeben. Bei fast allen untersuchten Anlagen wurde die Aktivität des Heizstabes in den kältesten Monaten festgestellt. Bei einigen Anlagen zeigte sich auch in heißen Sommermonaten ein Betrieb des Heizstabes. Bei extrem hohen Außentemperaturen können Betriebsbedingungen auftreten, die außerhalb des Kennfeldes des Kom-

Abb. 25 Bandbreiten der im Feldtest ermittelten Arbeitszahlen von Erdreich- und Außenluft-Wärmepumpen in Neu- und Altbauten.
Quelle: FhG-ISE



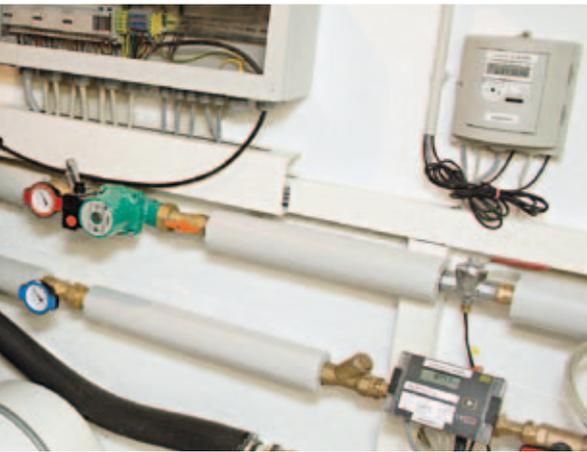


Abb. 26 Installierte Messtechnik
Quelle: FhG-ISE



Abb. 27 Teststand
Quelle: FhG-ISE



Abb. 28 Online-Visualisierung von Betriebsdaten
Quelle: FhG-ISE

pressors liegen. Dann schaltet die Wärmepumpe ab und der Heizstab übernimmt die Warmwasserbereitung.

Elektrischer Energiebedarf von Ventilator und Pumpen

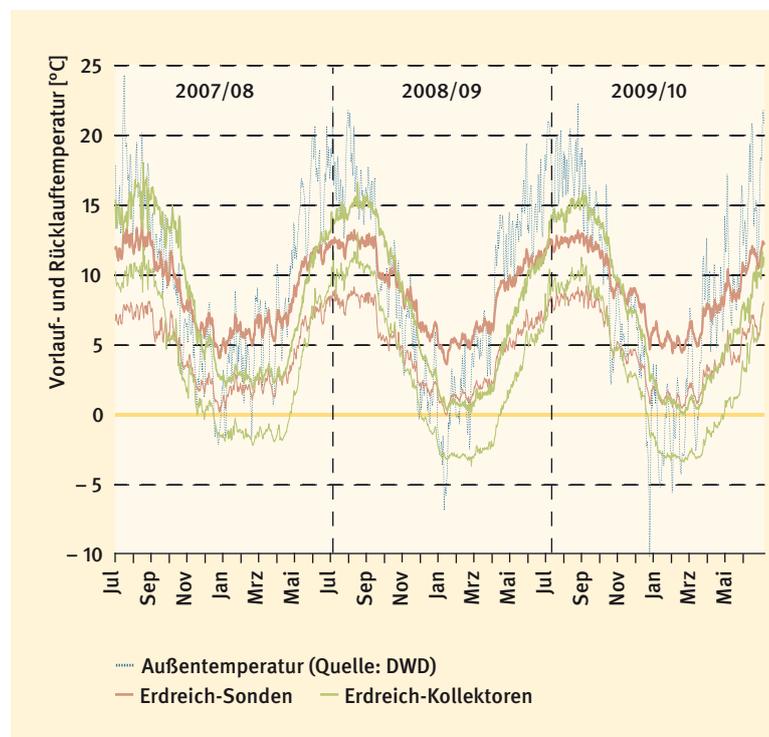
Der Energiebedarf der wärmequelleseitigen Komponenten, Pumpe bzw. Ventilator, ergab bei beiden Wärmequellen sehr ähnliche Werte. So wurden bei den Erdreich-Wärmepumpen für den Antrieb der Wärmequellenpumpe im Mittel 5,9 % der elektrischen Energie, die von der Wärmepumpe (ohne Heizstab) bezogen wurde, benötigt. Die Bandbreite der einzelnen Anlagen war relativ gleichmäßig gestreut in einem Spektrum zwischen von 2 % und 10 %; in einem Fall lag der Anteil bei 12 %. Die Ursachen hierfür sind vielfältig und reichen von unterschiedlichen Dimensionierungen der Quellenanlagen, Abweichungen der Betriebsvolumenströme von den Auslegungsvolumenströmen bis zu unterschiedlichen Effizienzen der Pumpen im jeweiligen Betriebspunkt.

Der Anteil für den Ventilator bei den Außenluft-Wärmepumpen lag im Mittel bei 6,7 %. Die Bandbreite der Einzelanlagen ist vergleichbar zu dem der Wärmequellenpumpe der Erdreichanlagen und reicht von 2 % bis 11 %.

Wärmequelle Sole

In den vermessenen Erdreich-Wärmepumpensystemen sind zumeist Erdsonden oder Flachkollektoren als Wärmequellenanlagen eingesetzt. Oberflächennahe Sonderbauformen (wie Erdkörbe) bildeten die Ausnahme.

Die Anlagen mit Erdsonden einerseits und die Anlagen mit Erdkollektoren andererseits weisen unterschiedliche Charakteristika des jahreszeitlichen Verlaufes der Soletemperaturen auf. In Abb. 29 ist der Verlauf der Vorlauf- und Rücklauftemperaturen gemittelt über alle ausgewerteten Anlagen getrennt für diese beiden Wärmequellenanlagentypen dargestellt. Zusätzlich ist die Außentemperatur, als Mittelwert verschiedener Orte in Deutschland, abgebildet. Die Darstellung zeigt, dass Anlagen mit Erdsonden im Mittel eine deutlich geringere Schwankungsbreite der Soletemperaturen im Jahresverlauf aufweisen als Anlagen mit Erdkollektoren: die



Erdreichtemperatur – hier als Vorlauftemperatur bezeichnet – der Anlagen mit Erdsonden fiel in der Kernheizperiode auf 4 °C und stieg in den Sommermonaten auf 13 °C an. In Anlagen mit Erdkollektoren sank die Solevorlauftemperatur mit Beginn der Heizperiode unter die der Anlagen mit Erdsonden. Aufgrund der Erwärmung der oberflächennahen Erdschicht übersteigt sie diese ab Juni erneut. Dies spiegelt sich in den Arbeitszahlen wider. In den Sommermonaten und zu Beginn der Heizperiode arbeiten die Anlagen mit Erdkollektoren im Mittel mit höheren Arbeitszahlen als die Anlagen mit Erdsonden. In der Kernheizperiode und im Frühjahr kehrt sich der Effekt um. Aufgrund der höheren Energiebereitstellung im Winter gegenüber dem Sommer lag damit der Durchschnitt der Jahresarbeitszahlen der Anlagen mit Erdsonden über dem der Anlagen mit Erdkollektoren. Betrachtet über den Bilanzzeitraum wurden die Wärmepumpen mit Erdsonden im Mittel bei einer Vorlauftemperatur von 7 °C betrieben und die Anlagen mit Erdkollektoren bei einer Vorlauftemperatur von

Abb. 29 Solevorlauf- und Solerücklauftemperaturen gemittelt über die ausgewerteten Anlagen.
Quelle: FhG-ISE



Effizienz versus Effektivität

Bei der Bewertung von Wärmepumpen steht die Arbeitszahl meist im Mittelpunkt. Ist dieser Kennwert jedoch immer die richtige Größe um Wärmepumpenanlagen zu beurteilen? Die Effizienz der Wärmebereitstellung sagt nichts darüber aus, ob die Wärme zweckmäßig bereitgestellt wurde und wie viel elektrische Energie bezogen wurde. Hier hilft der Begriff der Effektivität, der das eigentliche Ziel, die Einsparung der Heiz- und Primärenergie erfasst.

Zur Verdeutlichung werden zwei Anlagen aus dem Monitoring-Projekt „WP-Effizienz“ vorgestellt, die in Abb. 30 veranschaulicht sind. Das erste Beispiel zeigt eine erdgekoppelte Wärmepumpenanlage, die eine Jahresarbeitszahl von 4,2 erreichte. Für die Raumheizung des Gebäudes wurde eine spezifische Wärmeenergie von $100 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ bereitgestellt und für die Brauchwassererwärmung von $21 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$. Damit ergab sich ein spezifischer Primärenergieverbrauch von $74 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$. Im zweiten Beispiel wird eine Außenluft/Wasser-Wärmepumpe in einem besser isolierten Gebäude vorgestellt; der Heizenergieverbrauch lag mit $47 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ bei nur rund der Hälfte. Die Effizienz der Wärmepumpe ist aufgrund der genutzten Wärmequelle mit 3,3 deutlich geringer (wenn auch im Kontext der vermessenen Außenluft-Wärmepumpensysteme überdurchschnittlich). Jedoch ergab sich ein rund 30 % geringerer spezifischer Primärenergiever-

brauch ($57 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$) für die Deckung des Energiebedarfes für Raumheizung und Brauchwassererwärmung. Man kann somit festhalten, dass in dem ersten Beispiel eine effiziente Wärmepumpe in einem unter energetischen Gesichtspunkten weniger effektiveren Gesamtsystem arbeitet, während in dem zweiten Beispiel trotz geringer Effizienz der Wärmepumpe ein effektiveres Gesamtsystem besteht.

Relevant ist diese Betrachtung auch bei der Bewertung von Wärmepumpensystemen in zunehmend immer energieeffizienteren Neubauten, die über Flächenheizungssysteme wie Fußboden- oder Wandheizungen verfügen. Der große Unterschied der Wärmesenktemperatur im Heizungs- und Warmwasserbetrieb der Wärmepumpe führt dazu, dass sich das Verhältnis zwischen dem Heizenergie- und Warmwasserbedarf zunehmend in der Effizienz der Wärmepumpe niederschlägt. Eine Wärmepumpe im Passivhaus arbeitet fast die Hälfte ihrer Betriebszeit im Warmwasserbetrieb, also einem Betriebspunkt, der nur eine geringe Effizienz zulässt. Dies wirkt sich negativ auf die Jahresarbeitszahl aus. Der Bedarf an elektrischer Energie des Wärmepumpensystems ist hingegen geringer als bei einem Gebäude, das zwar mit einem gleichen Wärmepumpen-, Heizungs- und Brauchwassererwärmungssystem ausgestattet ist, aber wegen eines geringeren Dämmstandards einen höheren Heizenergiebedarf aufweist.

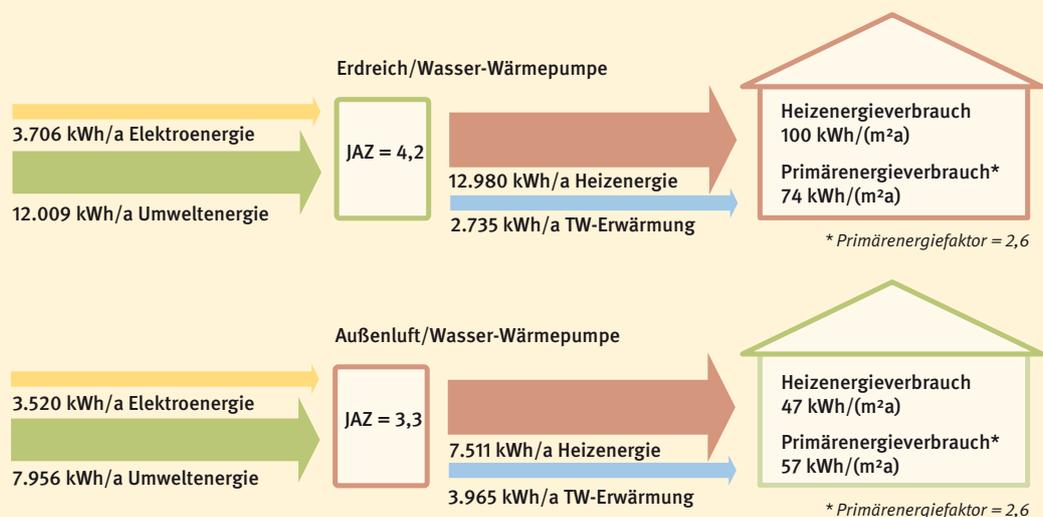


Abb. 30 Energiebilanz von zwei Wärmepumpensystemen zur Raumheizung und Brauchwassererwärmung (Bilanzjahr: 2009).
Quelle: FhG-ISE

knapp $4 \text{ }^\circ\text{C}$. Die Rücklaufftemperatur der Wärmepumpen lag im Mittel knapp 4 K unter der Vorlauftemperatur.

Die Soletemperaturen, die sich im Betrieb einstellen, sind von einer Vielzahl von Faktoren abhängig. Vergleicht man bei den Wärmepumpen mit Erdsonden die niedrigste Wochenmitteltemperatur der Sole im Betrachtungszeitraum April 2009 bis März 2010, so zeigt sich, dass sie sich bei den einzelnen Anlagen um bis zu 8 K unterscheiden. Bei der „ungünstigsten“ Anlage sank die

Wochenmitteltemperatur des Vorlaufes (Rücklaufes) im Betrieb auf $1 \text{ }^\circ\text{C}$ ($-3 \text{ }^\circ\text{C}$), hingegen bei der „günstigsten“ Anlage nur auf $9 \text{ }^\circ\text{C}$ ($5 \text{ }^\circ\text{C}$).

Als Kenngröße für die Auslegung von Erdsonden in Einfamilienhäusern wird häufig die spezifische Entzugsleistung, als Entzugsleistung bezogen auf die Gesamtlänge der Erdsonde(n), verwendet. Die zuständige Richtlinie (VDI 4640) gibt drei allgemeine Richtwerte abhängig vom Erdreich für Wärmepumpen zur Heizungs-



Abb. 31 Überwachung der Haustechnik per App
Quelle: Viessmann Werke GmbH & Co. KG, Allendorf

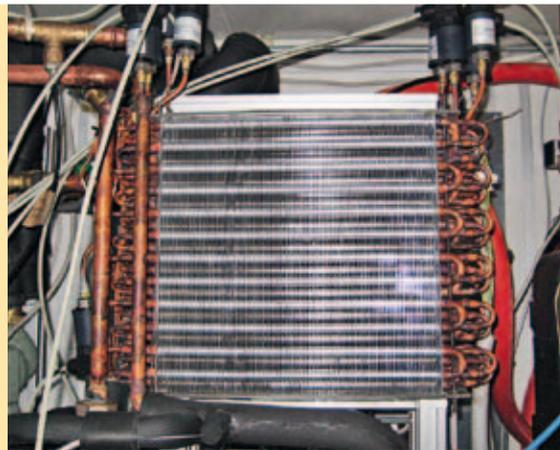


Abb. 32 Prototyp eines Lamellenwärmeübertragers
Quelle: FhG-ISE

und Brauchwassererwärmung vor: 20 W/m bei schlechtem Untergrund, 50 W/m bei normalem Festgesteins-Untergrund und wassergesättigtem Sediment sowie 70 W/m für Festgestein mit hoher Wärmeleitfähigkeit. In Abb. 33 sind die gemessenen Solerücklauftemperaturen einzelner Anlagen über der jeweiligen mittleren spezifischen Entzugsleistung (ermittelt aus den Messwerten der Jahresentzugsenergie und der Laufzeit sowie der Erdsonden-Gesamtlänge) dargestellt. Die Bandbreite der gemessenen mittleren Entzugsleistungen liegt zwischen 30 W/m und 64 W/m. Zum einen zeigt sich, dass die Anlagen mit den höchsten Solerücklauftemperaturen in der Heizperiode auch nur mit eher geringeren Entzugsleistungen betrieben wurden. Jedoch erkennt man auch deutlich die große Bandbreite der Temperaturen derjenigen Anlagen, die über gleiche spezifische Entzugsleistungen verfügten. Dies verdeutlicht, dass neben der spezifischen Länge der Erdsondenanlage andere Faktoren, wie die Eigenschaften des Untergrundes (mittlere Temperatur des ungestörten Erdreiches, Erdreichbeschaffenheit, Vorkommen von Grundwasser), der Erdsonde (insbesondere der Verfüllung) und des Betriebes (Strömungsform, Betriebsdauer) einen großen Einfluss haben. Da in dem Projekt keine Kenntnis über das Erdreich besteht, lassen sich die jeweiligen Effekte der Einflussfaktoren nicht näher untersuchen.

„WP Monitor“: Monitoringprojekt mit Online-Visualisierung der Messdaten

„WP Monitor“ ist der Titel einer aktuellen Felduntersuchung von Wärmepumpen durch das Fraunhofer ISE. In dem Projekt werden rund 100 Wärmepumpen vermessen, wobei etwa 50 Anlagen aus „WP-Effizienz“ übernommen wurden. Die Verlängerung der Monitoringperiode ermöglicht die Generierung einer umfassenden Datenbasis für Langzeituntersuchungen. Teilweise können Messdaten über einen Zeitraum von bis zu sechs Heizperioden gesammelt werden, was zum Beispiel bessere Möglichkeiten bei der Untersuchung der Wärmequelle Erdreich zulässt.

Im Unterschied zu den beiden vorhergehenden Projekten erfolgt jetzt auch eine Vermessung von erdgekoppelten Wärmepumpensystemen, die einen Direktverdampfer anstelle eines mit einem Wasser-Glykol-Gemisch gefüll-

ten Wärmequellenkreises verwenden. Außerdem werden entsprechend der Marktentwicklung jetzt auch Wärmepumpen variabler Leistung betrachtet. Zu den Projektpartnern bei „WP Monitor“ zählen zwölf deutsche und österreichische Hersteller und ein Energieversorger.

Für alle Wärmepumpeninteressenten wurde die Möglichkeit geschaffen, den Betrieb realer Wärmepumpensysteme zu verfolgen. Hierfür wird auf der Projekt-Homepage (www.wp-monitor.ise.fraunhofer.de) der freie Zugang zu den Messdaten von anonymisierten Wärmepumpen-Anlagen angeboten. Neben einer Anlagenbeschreibung werden alle Messgrößen als Tageswerte und die wichtigsten Energie- und Arbeitszahlen als Monatswerte gezeigt.

Abb. 33 Solerücklauftemperatur (minimale Wochenmitteltemperatur) und mittlere spezifische Entzugsleistung von 27 Wärmepumpensystemen im Betrachtungszeitraum April 2009 und März 2010 des Projektes „WP Effizienz“.
Quelle: FhG-ISE

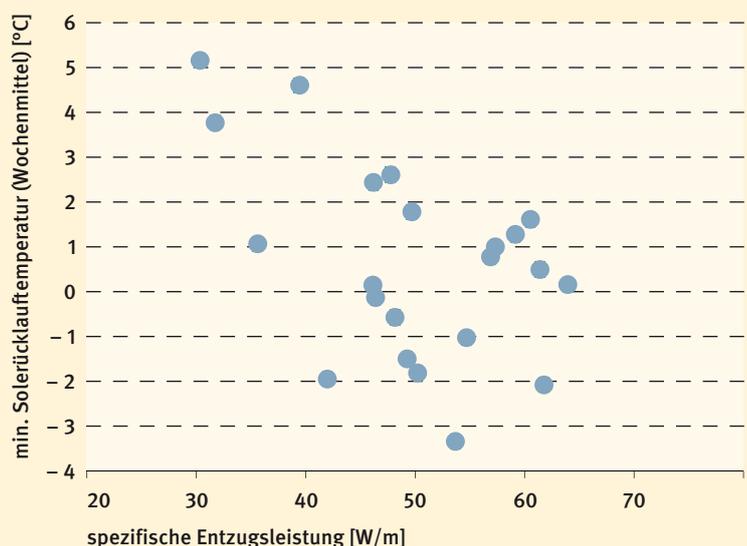


Abb. 34 Scrollverdichter
 Quelle: Viessmann
 Werke GmbH & Co. KG,
 Allendorf



Leistungsregelung der Wärmepumpe

Die Heizleistung von Wärmepumpen mit unregelmäßigem Verdichter vergrößert sich mit zunehmender Wärmequellentemperatur. Vor allem Außenluft-Wärmepumpen erzielen somit hohe Heizleistungen genau dann, wenn sie eigentlich gar nicht benötigt werden. Dafür steigt die Anzahl der Betriebsstakte bei immer kürzeren Laufzeiten, was eine Reihe von Nachteilen mit sich bringt. Eine Möglichkeit, dem entgegenzuwirken, ist der Einsatz leistungsgeregelter Verdichter.

Aktueller Stand der Technik im Leistungsbereich von Ein- und Zweifamilienhäusern ist der sogenannte Scrollverdichter, der die Hubkolbenmaschine fast komplett abgelöst hat. Beim Scroll findet die Verdichtung zwischen zwei übereinander liegenden Spiralen statt.

Unabhängig von der Verdichter-Bauart wurden bislang überwiegend solche Maschinen eingesetzt, deren Verdichtungsleistung nur vom Druck- bzw. Temperaturniveau auf der Verdampfer- und Kondensatorseite abhängt. Bei diesen unregelmäßigem Verdichtern ergibt sich ein direkter Zusammenhang zwischen Wärmequellentemperatur und Heizleistung. Vor allem für Wärmepumpen mit der Wärmequelle Außenluft hat dies zur Folge, dass hohe Heizleistungen genau dann bereitgestellt werden, wenn der Raumheizbedarf gering ist. Nur im Auslegungspunkt entsprechen sich Heizleistung der Wärmepumpe und Heizlast des Gebäudes. Für den Betrieb bedeutet dies eine Zunahme der Takte mit steigender Außentemperatur. Zahlreiches Anfahren des Verdichters verringert dessen Lebensdauer. Gleichzeitig führen kurze Taktzeiten zu längerem Betrieb unter Anfahrbedingungen, wodurch die Effizienz gemindert wird.

Um einen kontinuierlicheren Betrieb zu gewährleisten, können Heizungspufferspeicher eingesetzt oder Mindestlauf- bzw. Mindestpausenzeiten für den Verdichter in der Regelung eingestellt werden. Weiterhin ist die mono-valente Auslegung (ein Wärmeerzeuger) von Wärmepumpen mit unregelmäßiger Heizleistung – vor allem mit Außenluft als Wärmequelle – nachteiliger als bei konventionellen Heizsystemen. Umso mehr bietet sich eine Spitzenlastdeckung an, die bei Wärmepumpen in der Regel durch primärenergetisch ineffiziente Heizstäbe

realisiert wird. Eine Annäherung der Heizleistung von Wärmepumpen ohne Leistungsregelung an den momentanen Bedarf kann durch mehrere Leistungsstufen oder mehrere Verdichter erreicht werden.

Zur aktiven Anpassung der Verdichterleistung an die Heizlast besteht eine Vielzahl von Möglichkeiten. In der Praxis eine eher geringe Bedeutung haben Regelungen, die einen Eingriff in den Kältekreis erfordern und verlustbehaftet sind (bspw. Saugdruck- oder Heißgasbypass-Regelung). Tatsächlich werden im Gebäudebereich zur Leistungsanpassung die Drehzahlregelung oder die Digital Scroll Technologie eingesetzt.

Die hierbei fast ausschließlich verwendete Drehzahlregelung wird auch als Inverter-Technologie bezeichnet und wurde bereits viele Jahre erfolgreich in der Klimatechnik verwendet. Mittels Leistungselektronik wird im Antriebsmotor eine dem aktuellen Wärmebedarf entsprechende Drehzahl eingestellt. Der große Vorteil der Inverter-Technologie ist der hohe COP im Teillastbereich. Nachteilig bei dieser Technologie wirkt sich der kontinuierliche Energiebedarf der Elektronik aus.

Der Digital Scroll Verdichter arbeitet nach dem gleichen Grundprinzip wie der Scrollverdichter. Der Unterschied besteht darin, dass der Digital Scroll auch im sogenannten ungeladenen Zustand betrieben werden kann. Dabei arbeitet der Motor bei konstanter Drehzahl im Leerlauf weiter. Die Verdichterleistung ergibt sich durch den Anteil der Laufzeit im ungeladenen Zustand bezogen auf die Dauer eines Zyklus. Nachteil dieser Technologie ist die Tatsache, dass die Leistungsanpassung nur unter Effizienzeinbußen erreicht werden kann.



Kältemittel

Ozonschichtschädigende Kältemittel wurden in der Vergangenheit vor allem durch Fluorkohlenwasserstoffe (FKW) ersetzt, die aber auch klimaschädlich sind. Daher gewinnen natürliche Kältemittel mit geringem Treibhauspotenzial an Bedeutung. Propan und Propen können aufgrund ähnlicher thermodynamischer Eigenschaften die FCKW und HFKW ersetzen. Ihre Brennbarkeit bringt allerdings sicherheitstechnische Anforderungen mit sich, z. B. bei der Aufstellung und Belüftung der Anlage, den verwendeten Komponenten sowie evtl. Sicherheitseinrichtungen. In Deutschland sind nur wenige Wärmepumpen mit diesen Kältemitteln auf dem Markt. Ein Grund ist das Produkthaftungsrisiko der KomponentenhHersteller aufgrund teils unklarer rechtlicher Vorschriften bei gleichzeitig noch geringem Absatzpotenzial. Der Einsatzbereich beschränkt sich meist auf Warmwasser-Wärmepumpen mit einer Füllmenge von unter 150 g und außen aufgestellter Außenluft/Wasser-Wärmepumpen. Die Komponenten-Forschung zielt auf die Minimierung der Kältemittelmenge und die Einführung neuer Sicherheitskomponenten. Das Forschungsprojekt „Ersatz fluorierter Treibhausgase durch natürliche Kältemittel“ des BMU unterstützt die Markteinführung natürlicher Kältemittel.

Kohlendioxid (CO₂) ist aus ökologischer und sicherheitstechnischer Sicht ein nahezu ideales Kältemittel. Es ist preiswert, chemisch inaktiv und weder giftig noch brennbar und hat ein vergleichsweise vernachlässigbares Treibhauspotenzial. Es erfordert aber hohe Betriebsdrücke, die besondere Anforderungen an technische Komponenten wie Verdichter und Wärmeübertrager stellen. Eine thermodynamische Besonderheit ist die geringe kritische Temperatur von 31 °C. Bei hohen Senktemperaturen kondensiert das Kältemittel nicht mehr, sondern kühlt bei „stark gleitender“ Temperatur (isobar) ab. CO₂ eignet sich daher besonders bei großer Temperaturspreizung zwischen Vorlauf und Rücklauf. Beispiele hierfür sind die Brauchwassererwärmung, die gleichzeitige Brauchwassererwärmung und Niedertemperaturheizung über zwei Wärmetauscher in Reihe und Luftheizungen. Auf dem deutschen Markt bietet derzeit ein Hersteller CO₂-Wärmepumpen kleiner Heizleistung (5 und 9 kW) an. Kleine Wärmepumpen, die für den Passivhaussektor geeignet wären, sind noch nicht verfügbar.

Forscher der TU Braunschweig untersuchten die Wärmeversorgung eines Niedrigstenergie-sowie eines Passivhauses. CO₂-Wärmepumpen von kleiner Heizleistung mit angeschlossenem Schichtenspeicher wiesen Energieeinsparpotenziale gegenüber herkömmlichen Wärmepumpen auf.

Die Kältemittel-Forschung untersucht auch neue Stoffe bzw. Stoffgemische für kältetechnische Anwendungen. Das vom BMWi geförderte Grundlagenprojekt „Low-GWP-Kältemittel“ des ILK Dresden zeigt aussichtsreiche Ergebnisse einer Propan-CO₂-Mischung.

Im Portrait

Fachplaner aus Deutschland und der Schweiz berichten



Rüdiger Grimm

Geschäftsführender Gesellschafter der im Januar 2007 gegründeten geoENERGIE Konzept GmbH – einem international tätigen Fachplanungsbüro für Erdwärme

In Deutschland werden gegenwärtig etwa 25.000 erdgekoppelte Wärmepumpen pro Jahr errichtet. Für einen effizienten und nachhaltigen Betrieb ist das reibungslose Zusammenspiel zwischen Haustechnik, Geoplaner und Bohrtechnik zwingend erforderlich – nur wenn es hier stimmt, wird das System eine entsprechend hohe Jahresarbeitszahl aufweisen. Bei einer Vielzahl von Anlagen sind jedoch die Betriebsdaten überhaupt nicht bekannt. Fehler aus Planung, Installation und Betrieb werden somit überhaupt nicht erkannt und es kann bei Problemfällen auch nur schwer gegengesteuert werden.

Einen wesentlichen Schwerpunkt in unserer täglichen Arbeit als Fachplaner für oberflächennahe Geothermie spielt daher die Beratung der Kunden bezüglich der frühzeitigen Implementierung eines Monitoringsystems. Dies kann in unterschiedlichen Bearbeitungstiefen geschehen und reicht von der simplen Erfassung des Wärme- und Strombedarfs zur Ermittlung einer Jahresarbeitszahl bis zum detaillierten Online-Monitoring mit Übertragung der Daten im Minutentakt.

In jedem Fall ist dabei festzuhalten, dass behördliche Auflagen in wasserrechtlichen Genehmigungsbescheiden wie beispielsweise die Übergabe von Jahresbilanzen oder die regelmäßige Messung von Untergrundtemperaturen keine überzogenen Forderungen darstellen, sondern letztlich zum Nutzen des Betreibers sind.



Peter Hubacher

Inhaber des Ingenieurbüros Hubacher Engineering im schweizerischen Engelburg

Trotz intensiver Forschung ist die Effizienz der Wärmepumpenanlagen noch nicht auf dem gewünschten Niveau. In der Schweiz wird seit über 16 Jahren Feldmonitoring durchgeführt. Die Forscher entschieden sich zu Beginn für ein einfaches Erfassungssystem, um mit dem Budget ein möglichst großes Anlagenspektrum erfassen zu können. Das Monitoring bei Feldanlagen sollte die anfänglichen Wissenslücken schließen. Dies hat sich gelohnt. Wurde doch gerade wegen der anfänglich sehr bescheidenen Resultate bezüglich der Effizienz von Kleinwärmepumpen ein Wettbewerb ausgelöst, der die Entwicklung von Wärmepumpen positiv beeinflusst hat. Lag die Jahresarbeitszahl JAZ anfänglich bei Luft/Wasser-Wärmepumpen bei ca. 2,6, kann man heute mit 3,0 und sogar höheren JAZ-Werten rechnen. Bei Sole/Wasser-Wärmepumpen ist der Wert von ca. 3,4 auf 4,0 – 4,5 gestiegen. Durch das Feldmonitoring erhalten die Herstellerfirmen und Installateure eine Vielzahl von Erfahrungswerten und Betriebsinformationen, die bei der Stichprobengröße von rund 280 Anlagen auch statistisch gesichert sind. Die wichtigsten Punkte betreffen Mittelwerte über die JAZ, Auslastungsgrad, Störungsanfälligkeit, Betriebsverhalten und Laufzeiten, Wärmeproduktion und Elektrokonsum, aber auch geeignete hydraulische Systeme sowie Wartungs- und Unterhaltskosten. Dank solcher Forschungsprojekte können Fragen der Energiepolitik und des Stromkonsums samt Stromnetzbelastungen besser beantwortet werden.

Abb. 35 Wärmepumpe und Solarenergie lassen sich kombinieren.
Quelle: obs/Schüco International KG



Wärmepumpen plus Solar

Wärmepumpensysteme lassen sich in vielen Fällen gut mit thermischen Solaranlagen kombinieren, um im Sommer einen Großteil des Warmwasserbedarfs und in Übergangszeiten einen Teil der Heizlast solar zu decken. Alternativ steigt die Effizienz der Wärmepumpe signifikant, wenn die Temperatur ihrer Wärmequelle solarthermisch angehoben wird.

Solarthermischer Systeme werden in Wohngebäuden häufig so ausgelegt, dass Kollektorfläche und Speicher rund 60 % des jährlichen Warmwasserbedarfes solar decken. Bei einer größeren Dimensionierung des Systems kann es auch zur Heizungsunterstützung eingesetzt werden. Der verbleibende Energiebedarf zur Warmwasserbereitung und Raumheizung wird von einem weiteren Wärmeerzeuger, z. B. einem Gaskessel oder einer Wärmepumpe bereitgestellt. Hierbei ist ein Solarkollektor über einen Solarkreis an einen Speicher angebunden.

„Konventionelle“ Einbindung solarthermischer Systeme

Eine Anlagenkonfiguration, die Solaranlage und Wärmepumpe kombiniert, zeigt Abb. 37. Die Solaranlage belädt einen Trinkwasserspeicher, der – immer wenn erforderlich – zusätzlich auch von der Wärmepumpe erwärmt wird. Die Raumheizung wird in diesem Beispiel direkt – also ohne Heizungsspeicher – ausschließlich von der Wärmepumpe übernommen.

Wichtig ist, dass die Wärmepumpenregelung der solaren Wärmeerzeugung Vorrang gibt. Aufgrund der hohen Arbeitszahl der Solaranlage sinkt der elektrische Energiebedarf und die Systemeffizienz erhöht sich. Die Effizienzverbesserung und die Betriebskosteneinsparung hängen von vielen Parametern ab, so z. B. der solaren Einstrahlung, den Typen der Hauptkomponenten und deren Dimensionierung. In Anlagen mit erdgekoppelten Wärmepumpen reduziert die Solaranlage die Wärmeabnahme aus dem Erdreich im Sommer. Inwieweit dadurch die Erdreichtemperatur während des Heiz-

betriebes weniger absinkt, bzw. die Erdsonde oder der Erdkollektor kleiner dimensioniert werden können, hängt u. a. von der relativen Verringerung des Wärmeentzuges und dem Vorhandensein von Grundwasserströmungen ab.

Solarwärme als Wärmequelle der Wärmepumpe

Ein anderer Ansatz ist es, die solarthermische Anlage auf der Quellenseite der Wärmepumpe einzubinden. So dient solare Wärme als alleinige oder zusätzliche Wärmequelle für die Wärmepumpe. Seit einigen Jahren findet sich auf dem Markt eine wachsende Anzahl von Systemen, die sich teilweise nur geringfügig, mitunter aber grundlegend, unterscheiden. Zentrale Unterschiede bestehen dabei hinsichtlich folgender Aspekte:

- Wärmequelle: Art und Dimensionierung der Wärmequelle(n)
- Wärmespeicher: Ist auf der Wärmequellenseite ein Speicher eingebunden? Welcher Speichertyp wird verwendet?
- Kollektortyp: Welches Temperatur-Niveau stellt die Solaranlage zur Verfügung?
- Einbindung: Wird die Solarwärme zusätzlich zur Einbindung in der Quellenseite auch auf der Senkenseite, also zur „direkten“ Trinkwasser- (und Heizungswasser-)Erwärmung eingesetzt?

Im Folgenden werden drei Beispiele aus der Vielzahl der vorhandenen Anlagenkonzepte dargestellt.

Abb. 38 zeigt eine Anlage mit erdgekoppelter Wärmepumpe und Einbindung von unverglasten Kollektoren, die Wärme kostengünstig auf einem niedrigen Temperaturniveau zur Verfügung stellen. Die Solarwärme wird ausschließlich auf der Quellenseite eingebunden. Die im Sommer eingespeiste Solarenergie kann zur Regeneration des Erdreiches beitragen. Dies stabilisiert die Wärmequelle gegenüber einem möglichen, unvorhersehbar gesteigerten Wärmeentzug und erhöht die Wärmequellentemperatur der Wärmepumpe (geringfügig).

Eine Anlage, die ausschließlich die Solaranlage als Wärmequelle der Wärmepumpe verwendet, zeigt Abb. 39. Vorrangig beheizt der Flachkollektor direkt den Trink-



Abb. 36 Solarspeicher für Wärmepumpen
Quelle: Bundesverband Wärmepumpe e. V., Berlin

wasserspeicher. Wenn die solare Energieerzeugung den Bedarf übersteigt oder die erzeugten Temperaturen zu gering sind, wird die solare Wärme in einen Pufferspeicher geführt, der als Wärmequelle der Wärmepumpe genutzt wird. Der Speicher sorgt dafür, dass die Wärmenutzung der Solarenergie zeitversetzt mit deren Erzeugung erfolgen kann.

Ein Anlagenkonzept mit Außenluft-Wärmepumpe und Flachkollektor ist in Abb. 40 dargestellt. Die solare Wärme beheizt vorrangig einen Trinkwasserspeicher. Ist die erzeugte Temperatur nicht ausreichend, wird die solare Wärme während des Wärmepumpenbetriebes direkt als zusätzliche Wärmequelle der Wärmepumpe verwendet. Dies erhöht die Quellentemperatur der Wärmepumpe, die bei Außenluft-Wärmepumpe in der Heizperiode an kalten Tagen nur sehr niedrig ist.

Systembewertung

Feldmessungen und Simulationsstudien zeigen Effizienzverbesserungen durch eine Solaranlage auf der Wärmesenkenseite („klassisches System“). Die Einbindung auf der Wärmequellenseite erfordert ein ausgereiftes, robustes Regelungskonzept, der Zugewinn ist differenzierter zu betrachten. Bislang fehlen umfassende Analysen der unterschiedlichen Konzepte bei verschiedenen Einsatzbereichen und Randbedingungen. Während für Wärmepumpen und Solarkollektoren jeweils einschlägige Richtlinien existieren, kann für kombinierte Systeme auf keine entsprechenden Standards zurückgegriffen werden.

Das europäische Projekt „Solar and Heat Pump Systems“ der Internationalen Energy Agency IEA mit einer Laufzeit von 1/2010 bis 12/2013 widmet sich der Vergleichbarkeit solarthermischer Wärmepumpensysteme und erarbeitet u. a. Bewertungsgrößen und Methoden für die Systemuntersuchung im Rahmen von Simulationsmethoden, Labormessungen und Feldtests. In dieses Verbundvorhaben fließen auch die Ergebnisse eines an der Universität Stuttgart durchgeführten und vom BMU geförderten Projektes zur Entwicklung von Leistungsprüfungen und der ökologischen Bewertung von kombinierten Solar-Wärmepumpenanlagen (WPSol) ein.

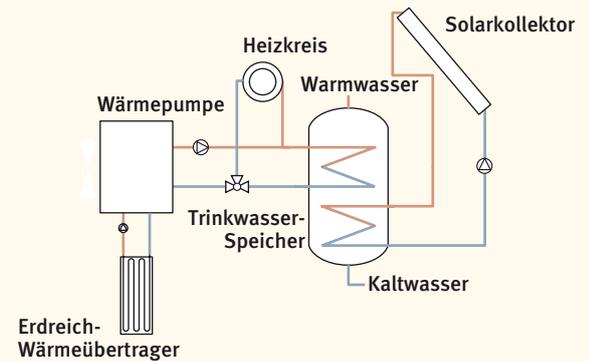


Abb. 37 Anlagenschema eines Wärmepumpensystems mit Einbindung eines Flachkollektors an den Trinkwasserspeicher.

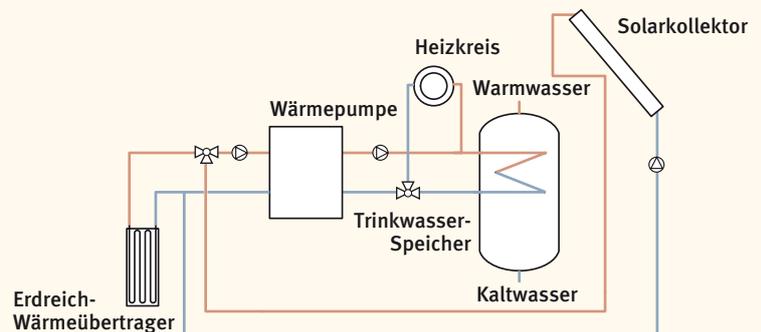


Abb. 38 Anlagenschema eines Wärmepumpensystems mit unverglastem Solarkollektor, der Solarwärme in das Erdreich einspeist bzw. direkt der Wärmepumpe als zweite Wärmequelle zur Verfügung stellt.

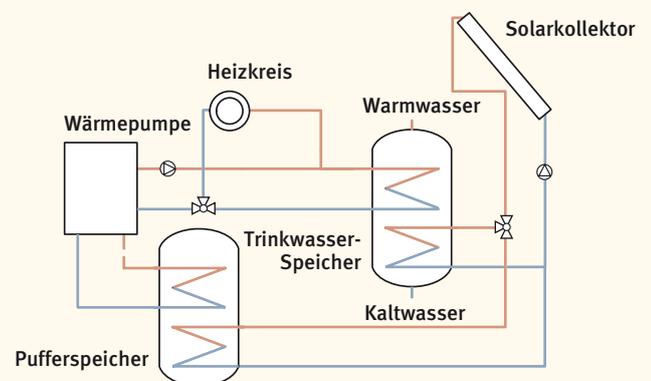


Abb. 39 Anlagenschema eines Wärmepumpensystems mit Flachkollektoren zur Beheizung des Trinkwasserspeichers und als alleinige Wärmequelle der Wärmepumpe.

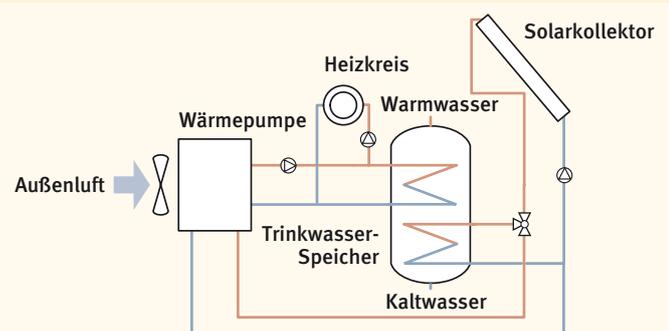


Abb. 40 Anlagenschema eines Systems mit Außenluft-Wärmepumpe und Solarkollektor zur direkten Trinkwasserbereitung und als zweite Wärmequelle.
Quelle: Abb. 37 – 40 FhG-ISE



Die Wärmepumpe im Stromnetz

Bis zum Jahr 2020 peilt die Bundesregierung einen Anteil regenerativen Stroms von 35 % an. Treibende Technologien sind dabei fluktuierende Energieerzeuger wie Windkraft und Photovoltaik. Eine aktive Laststeuerung von Wärmepumpen innerhalb eines intelligenten Versorgungssystems kann einen Beitrag leisten, Energieangebot und Nachfrage zu synchronisieren. Dabei nutzt man die Speicherfähigkeit der Heizungs- und Trinkwasserspeicher sowie der Gebäudemasse.

Ende 2011 betrug die elektrische Anschlussleistung aller in Deutschland installierten Wärmepumpen ca. 1,5 GW. Im Extremfall könnten diese Wärmepumpensysteme pro Tag 36 GWh Elektroenergie nutzen. Zum Vergleich: die aktuelle Kapazität der in Deutschland installierten Pumpspeicherkraftwerke beträgt etwa 40 GWh. Laut Bundesverband Wärmepumpe könnte sich die elektrische Anschlussleistung bis zum Jahr 2020 auf 4,4 GW erhöhen. Die Stromerzeugung durch Windenergie lag 2012 zwischen 0 und 24 GW, wobei eine deutliche saisonale Abhängigkeit hinsichtlich der Energieeinspeisung bestand. Gleiches gilt für die Solarenergie, deren Spitze von 22 GW im gleichen Zeitraum erwartungsgemäß zur Mittagszeit eingetreten ist. Aufgrund ihrer Speicherkapazität kommen Wärmepumpenheizungssysteme nur für die tageweise Pufferung in Frage. Der generelle Beitrag durch Wärmepumpen ist eng mit dem Verlagerungspotenzial der Betriebszeiten verknüpft. Hierfür müssen von den Energieversorgungsunternehmen noch Preiskonzepte entwickelt und ein entsprechendes Preissignal zur Verfügung gestellt werden. Zudem sind die Regelungsstrategien für den Wärmepumpenbetrieb anzupassen.

Die vom Fraunhofer ISE durchgeführten Feldtests haben bestätigt, dass nur wenige der untersuchten Wärmepumpen bei Temperaturen im Auslegungsbereich zu 100 Prozent ausgelastet sind. Neben der Auslegung spielen die Betriebsart, die Regelung und Parametrierung sowie die Speicherkapazität im Heizsystem und im Gebäude eine Rolle. In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage nach den Komfortgrenzen der Bewohner. Je größer der regelbare Temperaturbereich ist, desto flexibler kann die Wärmepumpe als steuerbare Last eingesetzt werden. Ebenfalls ungeklärt sind die Auswirkungen des stromgeführten Betriebs auf die Effizienz des Wärmepumpenheizungssystems. Abweichungen vom ausschließlich wärmegeführten Betrieb können u. a. zu Änderungen bei den Systemtemperaturen, den Speicherverlusten oder den Verdichter-Laufzeiten führen. Ein noch ungeklärter Punkt ist hierbei die Ausgestaltung der Kommunikations- und Steuerfähigkeit. Eine zweckmäßige, jedoch nur langfristig umsetzbare Lösung ist der Aufbau einer neuen Informations- und Kommunikationstechnik (IKT) Infrastruktur zur bidirektionalen Kommunikation, etwa im Rahmen der Verbreitung von Smart Metern. Gleichzeitig muss jede Wärmepumpe mit einem entsprechenden (bestenfalls einheitlichen) Gateway zur Kommunikation ausgestattet sein.

Mehr vom BINE Informationsdienst

- » Mit Wärme kühlen. BINE-Projektinfo 07/2012
- » Weichenheizung mit Erdwärme. BINE-Projektinfo 12/10
- » Erdwärme für Bürogebäude nutzen. BINE-Projektinfo 07/10
- » Erdgekoppelte Wärmepumpen für Neubauten. BINE-Projektinfo 03/10
- » Wärmepumpen: Die Heiztechnik-Alternative. BasisEnergie Nr. 10

Links und Literatur

- » www.wp-effizienz.ise.fraunhofer.de | www.wp-monitor.ise.fraunhofer.de | www.wp-im-gebaeudebestand.de
- » Bongs, C.; Günther, D.; Helmling, S. u. a.: Wärmepumpen. Heizen – Kühlen – Umweltenergie nutzen. FIZ Karlsruhe. BINE Informationsdienst, Bonn (Hrsg.). Stuttgart: Fraunhofer IRB Verl., 2013. ca. 160 S., ISBN 978-3-8167-9046-4, BINE-Fachbuch, 29,80 Euro (Print); 29,80 Euro (E-book), www.baufachinformation.de

Projektorganisation

Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi)
11019 Berlin

Projekträger Jülich
Forschungszentrum Jülich GmbH
52425 Jülich

Förderkennzeichen

0327401A
0327393B
0327841A, B

Kontakt · Info

Fragen zu diesem Themeninfo?
Wir helfen Ihnen weiter:

0228 92379-44

Weitere Informationen zum Thema sind beim BINE Informationsdienst oder unter www.bine.info abrufbar.



Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Technologie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages