



**Fraunhofer** Institut  
Solare Energiesysteme

# **Feldmessung Wärmepumpen im Gebäudebestand**

Kurzfassung zum Abschlussbericht

Berichtszeitraum 1.12.2006 - 31.12.2009

**Berichtnummer:** TAG-4-0110-ru-e01

## **Auftraggeber**

E.ON Energie AG  
Brienner Strasse 40, 80333 München

## **Auftragnehmer**

Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE  
Heidenhofstrasse 2, 79110 Freiburg

## **Bearbeitung:**

Christel Russ,  
Marek Miara, Michael Platt, Danny Günther, Thomas Kramer,  
Holger Dittmer, Thomas Lechner, Christian Kurz

Freiburg, im August 2010

## Inhaltsverzeichnis

1	Das Projekt .....	3
2	Ergebnisse.....	4
2.1	Arbeitszahlen .....	4
2.2	Arbeitszahl und Temperatur im Heizkreis .....	8
2.3	Installierte elektrische Leistungen und Betriebszeiten der Wärmepumpen .....	10
2.4	Heizkurven.....	11
2.5	Energiebilanzen .....	12
2.6	Gütegrad.....	13
2.7	Wirtschaftlichkeit.....	14
3	Primärenergie und CO <sub>2</sub> -Emissionen .....	17
4	Zusammenfassung und Schlussfolgerung .....	19

## Verzeichnis Abbildungen

Abbildung 1	Arbeitszahlen der Wärmepumpen im Bewertungszeitraum 2008 und 2009, getrennt nach Wärmepumpentyp. Die Sole/Wasser-Wärmepumpen sind nach Wärmequelle getrennt, die Luft/Wasser-Wärmepumpen nach Aufstellungsort sortiert. Die gestrichelten Balken stellen die Wärmepumpenanlagen mit separater Warmwasserbereitung dar.....	5
Abbildung 2	Sole/Wasser-Wärmepumpen - Übersicht zu den Arbeitszahlen, der erzeugten Energie für Heizung und Warmwasser sowie den Stromverbrauch im Bewertungszeitraum 2008 und 2009 .....	6
Abbildung 3	Luft/Wasser-Wärmepumpen - Übersicht zu den Arbeitszahlen, der erzeugten Energie für Heizung und Warmwasser sowie den Stromverbrauch im Bewertungs- zeitraum 2008 und 2009....	7
Abbildung 4	Vergleichende Darstellung der mittleren monatlichen Werte der Arbeitszahlen, Vorlauftemperaturen der Wärmequelle und –senke sowie der Differenz der Senktemperatur zur Quelltemperatur (Temperaturhub) für die Sole/Wasser- und Luft/Wasser-Wärmepumpen in den Messjahren 2008/2009 .....	8
Abbildung 5	Arbeitszahlen und Vorlauftemperaturen in der Wärmesenke in der Heizzeit Januar bis März und Oktober bis Dezember 2009 für alle Projekte. Gekennzeichnet sind die Anlagen mit Kombispeicher(*), die nur eine Vorlauftemperatur für Heizung und Warmwasser haben, die Anlagen mit separater Warmwasserbereitung (**) und die Anlagen, bei denen die elektrische Zusatzheizung in Betrieb war (***).....	9
Abbildung 6	Monatsmittelwerte der Betriebszeiten der Wärmepumpen in der Messphase 2008/2009. Für die erdgekoppelten Wärmepumpen werden die Betriebszeiten getrennt nach Wärmequellenutzung mittels Erdkollektor und Erdsonde sowie der Gesamtwert angegeben. ....	10
Abbildung 7	Sole/Wasser-Wärmepumpen Gleichzeitigkeit des Betriebs der Wärmepumpen im Messzeitraum 2007 bis 2009. Dargestellt sind Tageswerte aus 15 Minuten-Mittelwerten; links Sole/Wasser-Wärmepumpen; rechts Luft/Wasser-Wärmepumpen.....	11
Abbildung 8	Heizkurve der Sole/Wasser-Wärmepumpen mit Erdkollektoren - dargestellt sind die linearen Regressionskurven aus den Messwerten der einzelnen Anlagen .....	12
Abbildung 9	Vergleich des Gütegrades im Heizbetrieb für Sole/Wasser-Wärmepumpen in der Anlaufphase und im stabilen Heizbetrieb zu dem Anteil der in der Anlaufphase erzeugten Wärmemenge .....	14
Abbildung 10	Spezifische Energiekosten und mittlere Arbeitszahlen.....	16
Abbildung 11	Struktur der jährlichen Gesamtkosten für Wärmepumpe und Ölkessel.....	17
Abbildung 12	Mittleren monatlichen Primärenergieverbrauchs der Wärmepumpen im Vergleich zum Ölkesseln für die erzeugte Wärme .....	17
Abbildung 13	Vergleich der Wärmepumpen mit anderen Versorgungssystemen auf Basis des Nutzenergiekennwertes Nutzenergiewertes und der CO <sub>2</sub> - Emissionen.....	18

# 1 Das Projekt

Mit dem Start des Projektes der E.ON Energie AG „Feldmessung Wärmepumpen im Gebäudebestand“ im Dezember 2006 wurde erstmals in Deutschland die Möglichkeit gegeben, bis zu 100 Wärmepumpen im Gebäudebestand messtechnisch zu untersuchen und zu bewerten. Die sieben Regionalversorger der E.ON Energie AG akquirierten die Projektteilnehmer und bereiteten die Projekte vor. Das Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme Freiburg übernahm die Logistik und Umsetzung der messtechnischen Untersuchung, die Installation der Datenerfassung, die Datenverwaltung sowie die analytische Bewertung der Ergebnisse des Feldversuches.

Es wurden 36 Sole/Wasser- und 35 Luft/Wasser-Wärmepumpen in die analytische Auswertung aufgenommen. Die zwei Wasser/Wasser- Wärmepumpen wurden aber bei der Gesamtanalyse und Auswertung nicht berücksichtigt, da sie keinen repräsentativen Querschnitt darstellen.

Im Feldtest wurden Anlagen der Firmen Alpha Innotec (23), Viessmann (15) Stiebel Eltron (11), Ochsner (9), Nibe (5), Dimplex (4), Waterkotte (3), Buderus (1), Vaillant (1) und Heliotherm (1) untersucht.

Die Wärmepumpenanlagen waren zur Deckung des Heizwärme und Warmwasserbedarfs zu 59 % in Einfamilienhäusern, zu 37 % in Zweifamilienhäusern und zu 4 % in Dreifamilienhäusern eingesetzt. 29 % der Gebäude waren aus den Jahren 1919 bis 1957, 41 % aus den Jahren 1958 bis 1981 und 27 % aus den Jahren 1982 bis 1996.

Die beheizte Nutzfläche inklusive beheizter Kellerfläche liegt im Mittel bei 181m<sup>2</sup>, wobei die Flächen im Einzelnen zwischen 90 m<sup>2</sup> und 360 m<sup>2</sup> liegen.

Der Wärmeverbrauch zur Bereitstellung von Heizung und Warmwasser wurde anhand des von den Bewohnern genannten Ölverbrauchs der letzten 5 Jahre ermittelt. Er liegt im Mittel bei 177 kWh/m<sup>2</sup>a beheizter Nutzfläche (ohne Berücksichtigung des Jahresnutzungsgrades und der Umwandlungsverluste am Ölbrenner). Entsprechend dem Wärmedämmstandard der Gebäude werden Wärmeverbräuche zwischen 85 kWh/m<sup>2</sup>a und 340 kWh/m<sup>2</sup>a ermittelt. Die unterschiedlichen Anforderungen an den Wärmebedarf spiegeln sich auch in den Ergebnissen hinsichtlich der erzeugten Wärmemengen, der Vorlauftemperaturen im Heizkreis, den Betriebsstunden der Wärmepumpen und nicht zuletzt in den Arbeitszahlen wider.

Bei den Sole/Wasser-Wärmepumpen wurden wegen der unterschiedlichen Temperaturen im Solekreis die Anlagen mit Erdkollektoren (10) und mit Erdsonden (26) meist getrennt bewertet. Bei den Luft/Wasser-Wärmepumpen wurde zwischen Außenaufstellung (21) und Innenaufstellung (14) unterschieden. Da die Ergebnisse aber nur geringfügig voneinander abweichen, wurden sie gemeinsam bewertet.

Die hydraulischen Konzepte der installierten Wärmepumpenanlagen weichen stark voneinander ab. In 48 Anlagen erfolgt die Heizwärmeverteilung über Pufferspeicher und die Trinkwarmwasserbereitstellung über Trinkwarmwasserspeicher. Ein Kombispeicher, der entsprechend seinem Systemaufbau im oberen Teil Trinkwarmwasser und im unteren Teil Heizwärme speichert, wird in 20 Anlagen genutzt. Acht Systeme haben eine Heizwärmeverteilung ohne Pufferspeicher, wobei das Trinkwarmwasser meist über einen Trinkwarmwasserspeicher bereitgestellt wird. Bei diesen direkt von der Wärmepumpe versorgten Heizungssystemen erfolgt die Wärmeübergabe in zwei Projekten über

Fußbodenheizung, zwei über Heizkörper und in den anderen Projekten über kombinierte Fußbodenheizung und Heizkörper (meist im Bad, Kinder- und Schlafzimmer). Insgesamt werden 19 dieser gemeinsamen Wärmeübergabesysteme im Feldtest genutzt. Wie im Gebäudebestand erwartet, dienen in 71% der Gebäude Heizkörper zur Wärmeübergabe. Die Wärmeübergabesysteme wurden beim Austausch der Ölheizungen gegen Wärmepumpen meistens nicht verändert.

Bei sechs Wärmepumpenanlagen wird das Trinkwarmwasser separat erzeugt, fünfmal mit kleinen Luft-Wärmepumpen, die meist Kellerluft als Wärmequelle nutzen und einmal mit einem elektrischen Durchlauferhitzer. Die kleinen Luft-Wärmepumpen zur Trinkwasserbereitung wurden nicht in die Auswertung einbezogen, wobei die Wärmepumpen zur Heizwärmeversorgung in der Gesamtauswertung berücksichtigt wurden.

In 11 Projekten werden zusätzlich noch Solaranlagen in das Gesamtsystem eingebunden. Dabei wird solare Wärme zur Unterstützung der Trinkwarmwasserbereitstellung in den Trinkwasserspeicher oder zusätzlich zur Heizungsunterstützung in den Pufferspeicher eingespeist. In einem Projekt wird die solare Wärme im niedrigen Temperaturbereich noch zusätzlich beim Betrieb der Wärmepumpe zum Vorheizen der Sole genutzt.

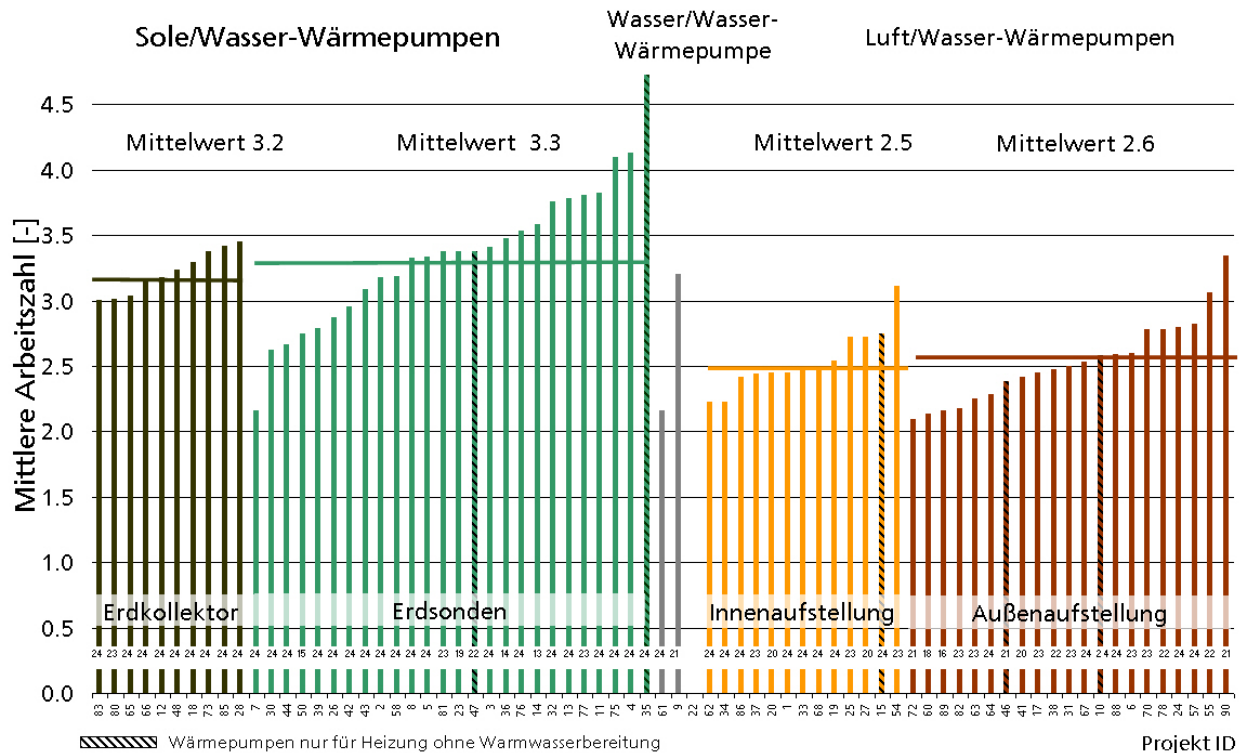
Anhand der Bewohnerinformationen wurden die installierten thermischen Leistungen nach den Herstellerangaben in typischen Betriebspunkten der Wärmepumpen für die Wärmequelle und Wärmesenke ermittelt. Dabei wurde beachtet, dass für die Wärmesenke, d. h. den Wärmekreis zur Heizwärme- bzw. Trinkwarmwasserbereitstellung nach der Wärmepumpe eine Temperatur von 50 °C vorgesehen ist. Um vergleichbare Werte zu erhalten, wurden die spezifischen Leistungen pro m<sup>2</sup> beheizter Wohnfläche ermittelt. Die Mittelwerte der spezifischen installierten Leistungen sind für beide Wärmepumpensysteme vergleichbar und liegen bei rund 14 kW. Die spezifischen installierten Leistungen der Sole/Wasser-Wärmepumpen liegen mit 73,3 W/m<sup>2</sup> etwas unter denen der Luft/Wasser-Wärmepumpen mit 74,8 W/m<sup>2</sup>, verursacht durch die im Mittel um 18 m<sup>2</sup> größere beheizte Nutzfläche bei den Projekten der Sole/Wasser-Wärmepumpen.

## 2 Ergebnisse

### 2.1 Arbeitszahlen

Zur Bewertung der Effizienz von Wärmepumpenanlagen wird die Leistungszahl (COP) herangezogen. Sie kann nach DIN 255 bzw. DIN 14511 ermittelt werden. In der Praxis wird die Jahresarbeitszahl genutzt, die als Quotient der in einem Jahr erzeugten Energie für Heizung und Warmwasser zu der aufgewandten elektrischen Energie für den Verdichter und die Hilfsenergien errechnet wird. Bei der Auswertung der Wärmepumpen wurde in der Hilfsenergie die Solepumpe/Ventilator, die Steuerung und Regelung sowie die elektrische Zusatzheizung berücksichtigt. In Abbildung 1 sind die mittleren Arbeitszahlen für die gesamte Betriebszeit 2008/2009 dargestellt. Bei den Sole/Wasser-Wärmepumpen mit Erdkollektoren wird eine Arbeitszahl von 3,2 erreicht, wobei die Einzelanlagen Arbeitszahlen zwischen 3,0 und 3,4 haben. Werden Erdsonden als Wärmequelle genutzt, wird eine mittlere Arbeitszahl von 3,3 erreicht, wobei es zwischen den einzelnen Projekten größere Unterschiede gibt. Wie später gezeigt wird, hängt die erreichte Arbeitszahl stark

von der Temperaturdifferenz zwischen Wärmequelle und Wärmesenke ab, aber auch von der absoluten Vorlauftemperatur in der Wärmesenke. Die höchste Arbeitszahl in Anlage 35 konnte erreicht werden, weil hier eine Fußbodenheizung mit bis zu 33 °C mittlerer Vorlauftemperatur im Heizkreis (Wärmesenke) betrieben wird. Außerdem wird mit dieser Anlage kein Warmwasser bereitet. Das Gebäude ist hinsichtlich seines Wärmebedarfs von 96 kWh/m<sup>2</sup>a eher mit einem gut sanierten Gebäude zu vergleichen, als mit einem unsanierten Bestandsgebäude. Auch die anderen Wärmepumpen mit Arbeitszahlen von etwa 4 haben Heizungssysteme mit mittleren Vorlauftemperaturen von bis zu 40 °C.



**Abbildung 1** Arbeitszahlen der Wärmepumpen im Bewertungszeitraum 2008 und 2009, getrennt nach Wärmepumpentyp. Die Sole/Wasser-Wärmepumpen sind nach Wärmequelle getrennt, die Luft/Wasser-Wärmepumpen nach Aufstellungsort sortiert. Die gestrichelten Balken stellen die Wärmepumpenanlagen mit separater Warmwasserbereitung dar.

Bei den Luft-Wasser-Wärmepumpen unterscheiden sich die Anlagen mit Innen- und Außenaufstellung in der Arbeitszahl nur geringfügig und es wird insgesamt eine mittlere Arbeitszahl von 2.6 erreicht.

Wie sich die Arbeitszahlen in Verbindung mit der Wärmeenergieerzeugung für Heizung und Warmwasser über das Jahr verändern, wird in den Abbildung 2 für die Sole/Wasser-Wärmepumpen und Abbildung 3 für die Luft/Wasser-Wärmepumpen gezeigt. Die Bereitstellung von Warmwasser ist bei beiden Anlagentypen über das Jahr verteilt etwa gleich. Der Anteil Heizwärme an der Gesamtwärmebereitstellung nimmt von Januar bis April ab und steigt dann vom September bis Dezember wieder an. Bei den Sole/Wasser-Wärmepumpen ist von Januar bis April mit abnehmendem Gesamtwärmebedarf bei gleichzeitigen sinkenden Vorlauftemperaturen ein kleiner Anstieg der Arbeitszahl zu bemerken, danach sinkt die Arbeitszahl bis August ab. Ursache ist hier die vorwiegende Warmwasserbereitung mit höheren Temperaturen als bei der Heizwärmeversorgung, wie später noch gezeigt wird. Nimmt der Anteil Heizwärme an der Gesamtbedarfsdeckung zu, steigt die Arbeitszahl bis Oktober

an. Ursache ist hier einmal der insgesamt noch niedrige Wärmebedarf, die geringen Vorlauftemperaturen im Heizkreis und die höhere Temperatur im Solekreis nach erfolgter Regeneration des Erdreiches. Der hohe Heizwärmebedarf im Winter führt zu größeren Entzugsenergien aus dem Erdreich, was zu einem Absenken der Solevorlauftemperaturen führt. Gleichzeitig erhöht sich entsprechend der Heizkurven auch die Vorlauftemperatur im Heizkreis. Das führt insgesamt zu einem größeren Temperaturhub zwischen Wärmequelle und Wärmesenke und folglich zur Verkleinerung der Arbeitszahlen.

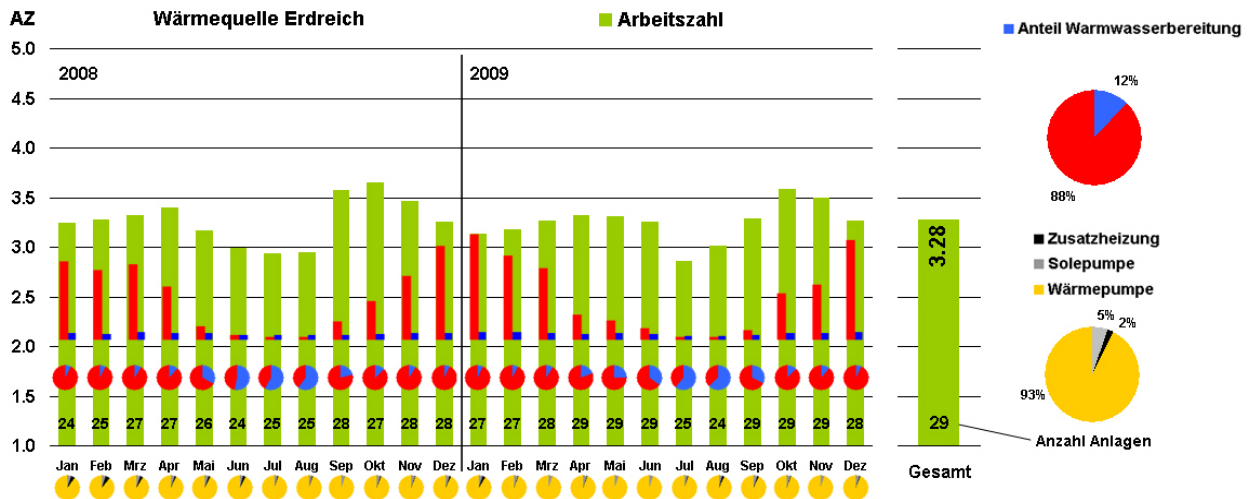
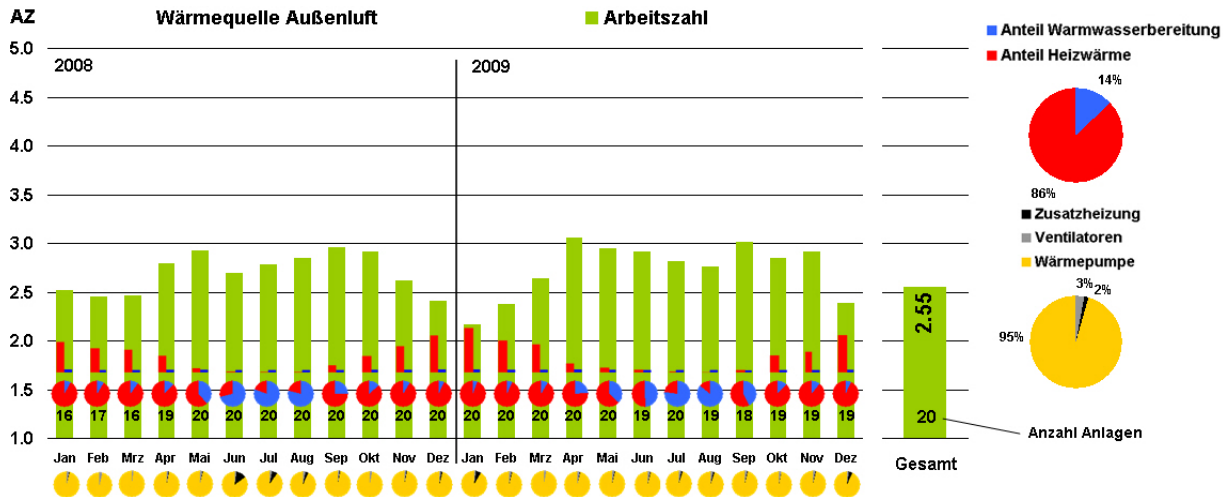


Abbildung 2 Sole/Wasser-Wärmepumpen - Übersicht zu den Arbeitszahlen, der erzeugten Energie für Heizung und Warmwasser sowie den Stromverbrauch im Bewertungszeitraum 2008 und 2009

Bei den Luft/Wasser-Wärmepumpen zeigt sich ein prinzipiell anderer Verlauf der monatlichen Arbeitszahlen. Bei niedrigen Umgebungstemperaturen in den Monaten Dezember bis Februar und den hohen Vorlauftemperaturen im Heizkreis infolge des höheren Heizwärmebedarfs werden niedrige Arbeitszahlen von unter 2,5 erhalten. Steigende Außentemperaturen im April und Mai und ein reduzierter Wärmebedarf bei gleichzeitig niedrigeren Vorlauftemperaturen führen zur Erhöhung der Arbeitszahl auf Werte bis 3. Im Sommer wird dann trotz hoher Außentemperaturen die Arbeitszahl wieder kleiner, weil vorwiegend Warmwasser mit höheren Vorlauftemperaturen erzeugt wird. Mit zunehmender Deckung des Heizwärmebedarfs im September steigt die Arbeitszahl wieder an, um dann ab November in Abhängigkeit von der Außentemperatur und den steigenden Temperaturen im Heizkreisvorlauf die geringsten Werte anzunehmen.



**Abbildung 3** Luft/Wasser-Wärmepumpen - Übersicht zu den Arbeitszahlen, der erzeugten Energie für Heizung und Warmwasser sowie den Stromverbrauch im Bewertungszeitraum 2008 und 2009

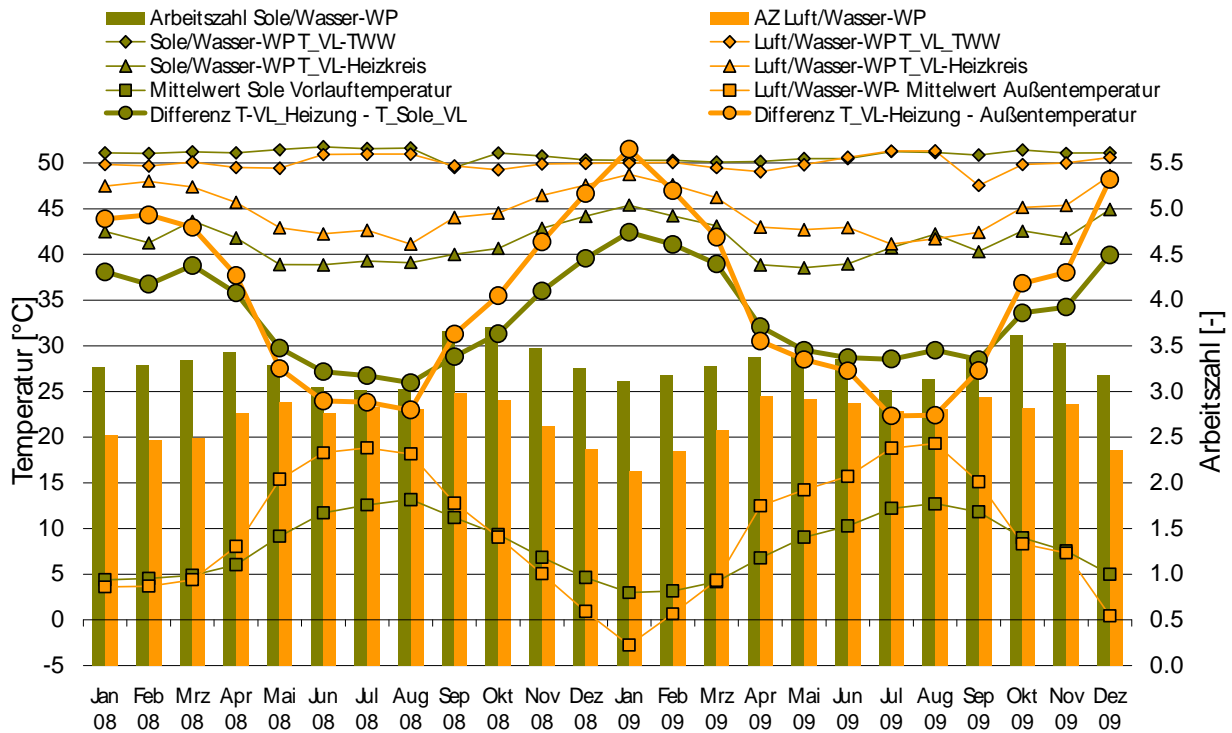
Bei der Diskussion der monatlichen Arbeitszahlen wird deutlich, dass die Temperaturen der Wärmequelle und Wärmesenke einen entscheidenden Einfluss auf die Arbeitszahl haben. Neben den absoluten Temperaturen ist die Differenz zwischen beiden Temperaturen - der Temperaturhub - von Bedeutung, wie anhand der Darstellung in Abbildung 4 gezeigt wird. Vergleichend sind für Sole/Wasser- und Luft/Wasserwärmepumpen die monatlichen Mittelwerte für die Arbeitszahlen, die Wärmequellen- und Wärmesenkentemperaturen sowie der aus den Mittelwerten errechnete Temperaturhub (bezogen auf die Vorlauftemperatur Heizung) dargestellt. Die Vorlauftemperaturen der Sole umfassen die mittleren Vorlauftemperaturen aus den Anlagen mit Erdsonden und Erdkollektoren.

Die Vorlauftemperaturen im Sekundärkreis zur Warmwasserbereitung sind für beide Anlagentypen vergleichbar und über das gesamte Jahr relativ konstant. Für die Heizwärmebereitstellung liegen die mittleren Vorlauftemperaturen der Luft/Wasser-Wärmepumpen um bis zu 4 K über denen der Sole/Wasser-Wärmepumpen.

Die mittleren Wärmequellentemperaturen der Sole/Wasser-Wärmepumpen liegen im Sommer unter denen der Luft/Wasser-Wärmepumpen (Außentemperatur), im Winter darüber. Trotz ähnlicher mittlerer Vorlauftemperaturen beider Systeme z. B. im März oder November, schwanken die täglichen Außentemperaturen stärker als die Temperaturen im Solekreis, was im Einzelnen zu größeren Abweichungen der Arbeitszahlen bei den Luft/Wasser-Wärmepumpen führt.

Die Temperaturdifferenzen zwischen Wärmesenke und Wärmequelle verlaufen bei beiden Wärmepumpensystemen tendenziell gleich, große Differenzen im Winter und kleinere Differenzen im Sommer, wobei erwartungsgemäß die Differenzen bei den Sole/Wasser-Wärmepumpen im Winter kleiner und im Sommer etwas größer als bei den Luft/Wasser-Wärmepumpen sind. Das hat zur Folge, dass im Winter die Arbeitszahlen der Luft/Wasser-Wärmepumpen wesentlich kleiner als die der Sole/Wasser-Wärmepumpen sind. Wird in den Sommermonaten hauptsächlich Warmwasser bereitet und nähern sich die Temperaturdifferenzen in beiden Anlagensystemen an, ist auch der Unterschied zwischen den Arbeitszahlen wesentlich geringer. Im April bis Mai 2009

wird ein vergleichbarer Temperaturhub in beiden Systeme erreicht. Trotzdem wird bei den Sole/Wasser-Wärmepumpen eine höhere Arbeitszahl als bei den Luft/Wasser-Wärmepumpen ermittelt, weil die Vorlauftemperaturen im Heizkreis niedriger sind.



**Abbildung 4** Vergleichende Darstellung der mittleren monatlichen Werte der Arbeitszahlen, Vorlauftemperaturen der Wärmequelle und -senke sowie der Differenz der Senkentemperatur zur Quellentemperatur (Temperaturhub) für die Sole/Wasser- und Luft/Wasser-Wärmepumpen in den Messjahren 2008/2009

## 2.2 Arbeitszahl und Temperatur im Heizkreis

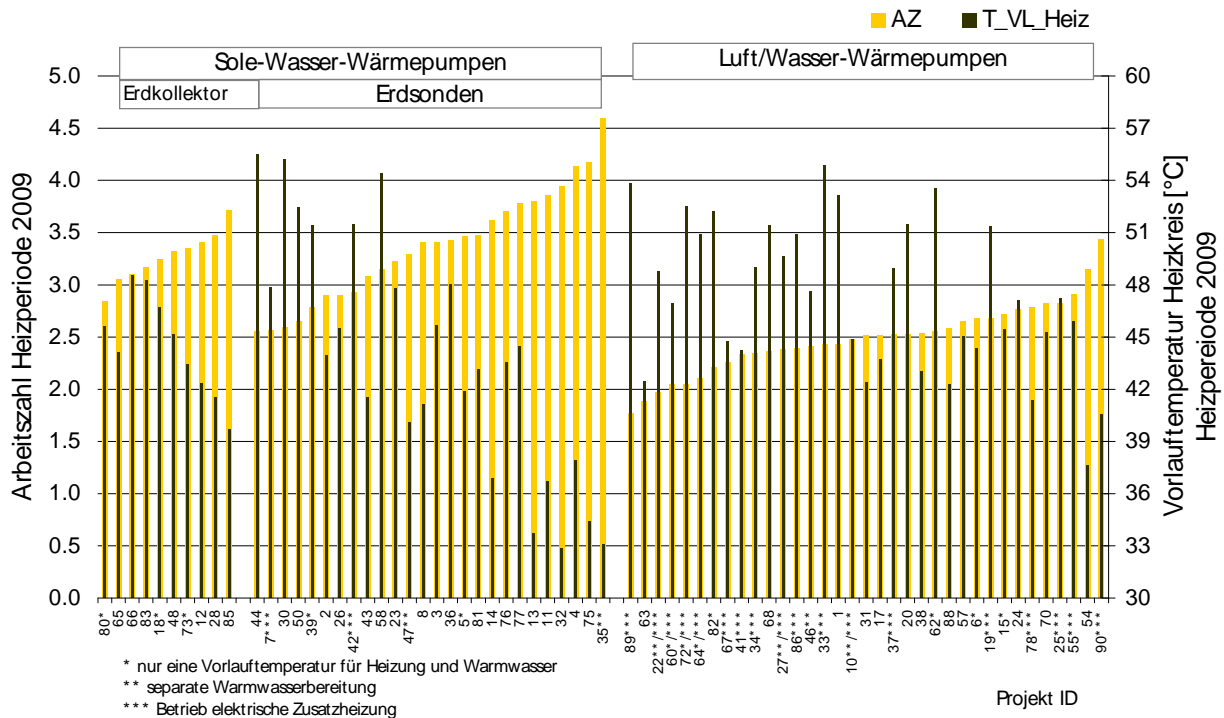
Um den Einfluss der Temperatur im Heizkreis auf die Arbeitszahl zu ermitteln, werden die mittleren Vorlauftemperaturen (gewichtet entsprechend der erzeugten Wärmemengen für Heizung und Warmwasserbereitung) in der Wärmesenke für die Bereitstellung von Heizung und Warmwasser und die mittlern Arbeitszahlen der Monate Januar bis März und Oktober bis Dezember 2009 untersucht, Abbildung 5.

Bei den erdgekoppelten Wärmepumpen mit Erdkollektoren wird in der Heizzeit bei hohen Vorlauftemperaturen deutlich eine geringere Arbeitszahl erreicht als bei niedrigeren Vorlauftemperaturen.

Bei den Sole/Wasser-Wärmepumpen mit Erdsonden ist ebenfalls der Trend nachweisbar – geringere Vorlauftemperaturen ergeben eine bessere Arbeitszahl. Sehr kleine Arbeitszahlen erreichen z. B. die Anlagen 44 und 30. Diese Anlagen laufen bei hohem Temperaturniveau ohne eingestellte Heizkurve. Die Heizkurven der Anlagen 58 und 42 verlaufen relativ flach mit hohen Temperaturen, was zu niedrigeren Arbeitszahlen führt. Eine richtige Einstellung der Heizkurven könnte die Arbeitszahl für diese Anlagen wesentlich verbessern. Besonders gute Arbeitszahlen werden bei den Anlagen mit geringer Vorlauf-temperatur erreicht, z.B. Anlage 35, die nur zum Betreiben einer Fußbodenheizung im niedrigen Temperaturbereich eingesetzt ist.



Auch die Anlagen 4, 13, 32 und 75 haben niedrige Vorlauftemperaturen und betreiben z. T. Fußbodenheizungen.



**Abbildung 5** Arbeitszahlen und Vorlauftemperaturen in der Wärmesenke in der Heizzeit Januar bis März und Oktober bis Dezember 2009 für alle Projekte. Gekennzeichnet sind die Anlagen mit Kombispeicher(\*), die nur eine Vorlauftemperatur für Heizung und Warmwasser haben, die Anlagen mit separater Warmwasserbereitung (\*\*), und die Anlagen, bei denen die elektrische Zusatzheizung in Betrieb war (\*\*\*).

Die Luft/Wasser-Wärmepumpen zeigen sehr deutlich, dass vor allem die Anlagen mit niedrigen Arbeitszahlen (bis 2,4) in der Heizperiode eine sehr hohe Vorlauftemperatur haben. So könnte die Arbeitszahl der Anlagen 89 und 82 wesentlich verbessert werden, wenn eine funktionsfähige Heizkurve eingestellt wird. Damit kann die mittlere Vorlauftemperatur reduziert werden. Anlage 72 hat eine sehr flach eingestellte Heizkurve bei hohem Temperaturniveau. Auch hier kann mit einer Optimierung der Heizkurve eine Verbesserung der Arbeitszahl vorgenommen werden. Weiterhin macht sich bei den Luft/Wasser-Wärmepumpen der Betrieb der elektrischen Zusatzheizung in der Kernheizzeit bemerkbar. Einerseits werden dadurch hohe Vorlauftemperaturen erreicht, zum anderen werden die Arbeitszahlen niedriger, weil die elektrische Zusatzheizung bei der Berechnung der Arbeitszahlen berücksichtigt wird. Das betrifft hauptsächlich die Anlagen 22, 27, 33, 34, 37, 60, 64, 72 und 80.

Schlussfolgernd kann man feststellen, dass niedrige Vorlauftemperaturen in jedem Fall zu besseren Arbeitszahlen führen. Der Einsatz von großflächigen Wärmeübergabesystemen wie Fußbodenheizungen ermöglichen es, mit Vorlauftemperaturen bis zu 43 °C auszukommen. Auch richtig eingestellte Heizkurven können zur Reduzierung des jährlichen Temperaturniveaus führen. Bei Einsatz von Luft/Wasser-Wärmepumpen sollte darauf geachtet werden, dass ihr Einsatz nur in solchen Gebäuden realisiert wird, in denen Vorlauftemperaturen von 48 bis 50 °C im Mittel nicht überschritten werden.

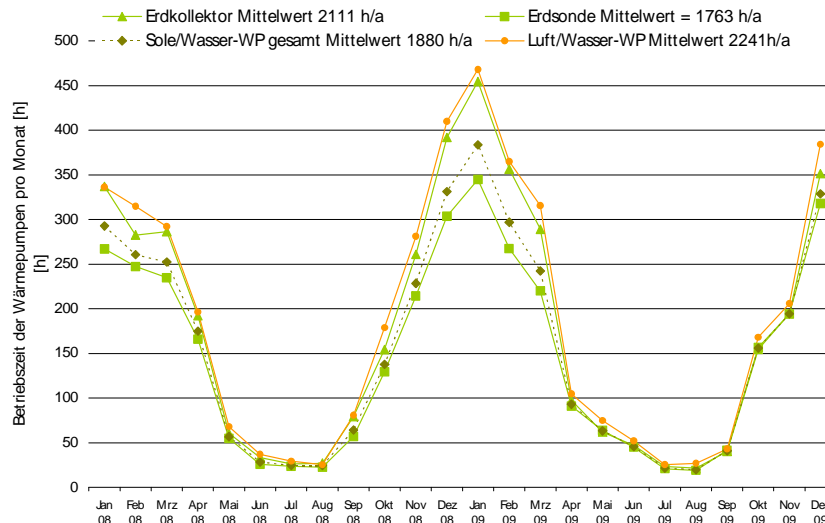
### 2.3 Installierte elektrische Leistungen und Betriebszeiten der Wärmepumpen

Im Ergebnis der Bewertung der Messdaten wurde für den Verdichter im Mittel eine elektrische Leistung von 4,0 kW gemessen. Der gesamte Leistungsbe-  
reich lag zwischen 1,9 kW bis 7,2 kW, wobei anteilmäßig gleich viele Anlagen  
unter und über dem Mittelwert liegen.

In Abschnitt 2.1 wurden die erzeugten Wärmemengen in Verbindung zur Ar-  
beitszahl vorgestellt. Aus den Balkendiagrammen ist die erzeugte Wärme-  
menge abzulesen. In Korrelation zu diesen Wärmemengen ist auch die Lauf-  
zeit der Wärmepumpen zu sehen. In den Sommermonaten Mai bis August  
liegen die Laufzeiten der Wärmepumpen im Mittel unter 50 Stunden pro Mo-  
nat. In dieser Zeit wird hauptsächlich Warmwasser bereitet, wobei die Wär-  
mepumpen im Mittel zwei- bis dreimal täglich für etwa 20-30 Minuten in Be-  
trieb sind. Beide Wärmepumpentypen haben vergleichbare Laufzeiten.

Mit dem Rückgang der Außentemperatur laufen die Luft/Wasser-  
Wärmepumpen länger als die Sole/Wasser-Wärmepumpen, da mehr Ener-  
gieaufwand benötigt wird, um den Heizwärmebedarf zu decken. Im Dezember  
liegen die Mittelwerte der Laufzeiten der Luft/Wasser-Wärmepumpen um fast  
100 Stunden über denen der Sole/Wasser-Wärmepumpen. Dabei ist jedoch  
zu bemerken, dass die Sole/Wasser-Wärmepumpen mit Erdkollektoren ähn-  
lich lange Laufzeiten wie die Luft/Wasser-Wärmepumpen haben, vgl.  
Abbildung 6.

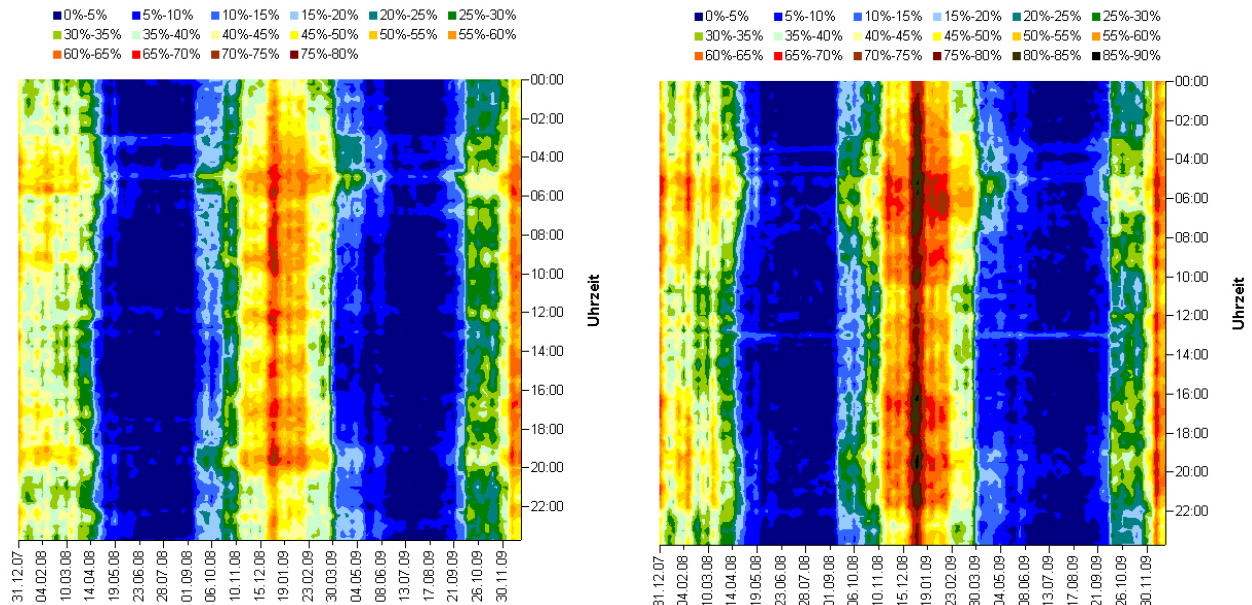
Insgesamt wurden für die Luft/Wasser-Wärmepumpen im Mittel Laufzeiten  
von 2241 kWh/a und die Sole/Wasser-Wärmepumpen von 1880 h/a ermittelt.



**Abbildung 6 Monatsmittelwerte der Betriebszeiten der Wärmepumpen in der Messphase 2008/2009. Für die erdgekoppelten Wärmepumpen werden die Betriebszeiten getrennt nach Wärmequellenutzung mittels Erdkollektor und Erdsonde sowie der Gesamtwert angegeben.**

Wenn der Betrieb der Wärmepumpen hinsichtlich der Netzbebelastung be-  
wertet werden soll, dann ist neben der Kenntnis der installierten elektrischen  
Leistungen und den mittleren Laufzeiten auch die Gleichzeitigkeit des Betriebs  
der Wärmepumpen über den Tag und das Jahr sinnvoll. Abbildung 7 zeigt die  
Gleichzeitigkeit des täglichen Betriebs der Wärmepumpen über das Jahr. Die  
unterschiedlichen Farben geben den prozentualen Anteil für den gleichzeiti-  
gen Betrieb an, wobei blau für eine geringe Gleichzeitigkeit steht, was auch

mit geringen Laufzeiten der Wärmepumpen korreliert. Rote bis dunkelblaue Färbungen in den Wintermonaten bedeuten eine hohe Gleichzeitigkeit beim Betrieb der Wärmepumpen, die dann auch die längsten Betriebszeiten haben. Auch hier ist die Häufigkeit des gleichzeitigen Betriebs der Luft/Wasser-Wärmepumpen stärker ausgeprägt als bei den Sole/Wasser-Wärmepumpen.



**Abbildung 7 Sole/Wasser-Wärmepumpen Gleichzeitigkeit des Betriebs der Wärmepumpen im Messzeitraum 2007 bis 2009. Dargestellt sind Tageswerte aus 15 Minuten-Mittelwerten; links Sole/Wasser-Wärmepumpen; rechts Luft/Wasser-Wärmepumpen**

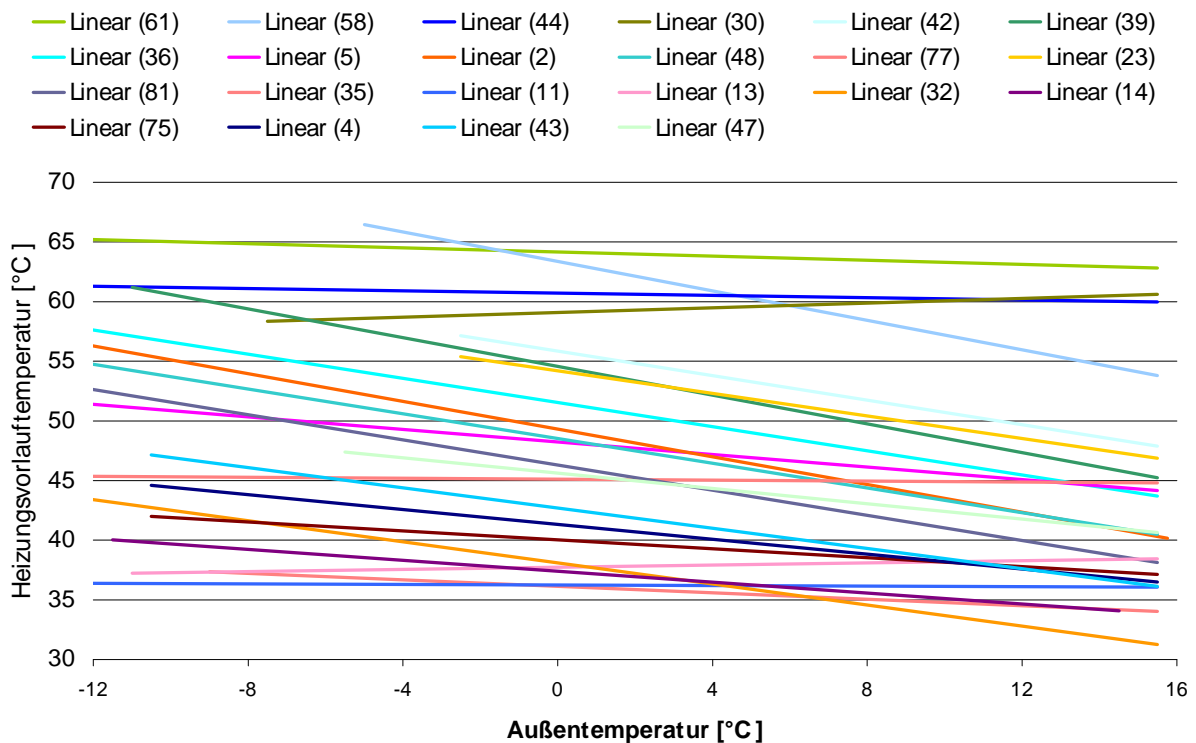
## 2.4 Heizkurven

Zur Sicherung der Wärmeversorgung in den Gebäuden haben die Wärmepumpenhersteller in ihren Anlagen automatische witterungsgeführte Heizkurven hinterlegt. Für jeden Nutzer werden durch die Installateure die entsprechenden Heizkurven ausgewählt und eingestellt. Damit wird die Vorlauftemperatur im Heizsystem im Verhältnis zur aktuellen Außentemperatur geregelt. Je nach Lage des Gebäudes wird eine minimale Außentemperatur vorgegeben, meist -12 °C, sowie die dazu gehörende maximale Vorlauftemperatur im Heizkreis eingestellt. Entsprechend den gewünschten Heizkreisvorlauftemperaturen kann man die Heizkurve zu höheren bzw. niedrigeren Vorlauftemperaturen verschieben. Prinzipiell verläuft aber eine Heizkurve für niedere Vorlauftemperaturen, wie z.B. für Fußbodenheizungen, flacher als bei höheren Vorlauftemperaturen im Heizkreis.

Zum messtechnischen Nachweis der Heizkurven wurden für jede Wärmepumpenanlage die maximale Vorlauftemperatur im Sekundärkreis (Heizkreis vor dem Pufferspeicher) bei jedem Betriebszyklus der Wärmepumpe und die dazugehörigen Außentemperaturen ermittelt. Anschließend wurde das Mittel der maximalen Vorlauftemperaturen bei gleichen Außentemperaturen errechnet und grafisch über dieser Temperatur dargestellt. Die lineare Regressionskurve aus den Messergebnissen jeder Anlage wurde als Heizkurve definiert. Die Heizkurven sollen hier am Beispiel der Sole/Wasser-Wärmepumpen mit Erdsonden dargestellt werden.

Wie in Abbildung 8 zeigt, ist der lineare Verlauf der Heizkurven entsprechend den Wärmeübergabesystemen und der geforderten Wärmebedarfsdeckung unterschiedlich. So sind die bei niedrigen Vorlauftemperaturen sehr flach verlaufenden Heizkurven typisch für Fußbodenheizung (Anlagen 11 und 14). Auch die Anlagen 13, 32 und 35 haben niedere Vorlauftemperaturen und eine flache Heizkurve. In diesen Systemen wird das kombinierte Wärmeübergabesystem Fußbodenheizung und Heizkörper genutzt. Ebenfalls noch flache Heizkurven, aber bereits höhere Vorlauftemperaturen zeigen die Anlagen 4, 7, 43 (Fußbodenheizung und Heizkörper) und 81 (Heizkörper). Sehr hohe Vorlauftemperaturen werden in den Anlagen 58 (64 °C bis 52 °C) und 61 (67°C bis 61°C) registriert, wobei die Heizkurve unterhalb von 60 °C flacher verläuft.

Es gibt auch Anlagen, in denen die Heizkurve eine konstante Vorlauftemperatur unabhängig von der Außentemperatur zeigt (Anlagen 11 bei 36,5°C, Anlage 77 bei 45 °C und Anlage 44 bei 60°C) Bei Anlage 30 (58 °C bis 60 °C) ist offensichtlich keine reale Heizkurve eingestellt und die ständig hohen Vorlauftemperaturen führen zu niedrigen Arbeitszahlen, z. B. auch Anlage 44 mit AZ= 2,7, Anlage 30 mit AZ = 2,6.



**Abbildung 8** Heizkurve der Sole/Wasser-Wärmepumpen mit Erdkollektoren - dargestellt sind die linearen Regressionskurven aus den Messwerten der einzelnen Anlagen

## 2.5 Energiebilanzen

Zur Bewertung der Energiebilanzen werden die Sole/Wasser/Wärmepumpen herangezogen, da die Energien der Wärmequelle, d. h. die dem Erdreich entzogene Energie, der Stromverbrauch am Verdichter und die erzeugten Wärmemengen gemessen wurden. Die Differenzen zwischen erzeugter Wärme und aufgewandten Energien aus Umweltwärme und Stromaufnahme am Ver-

dichter werden als „Verluste“ an der Wärmepumpe bewertet. Insgesamt liegen diese „Verluste“ zwischen 4% und 14 %. Neben den tatsächlich auftretenden Verlusten im Kältekreis der Wärmepumpe, die messtechnisch nicht erfasst werden, können durch die Positionierung der Messfühler ebenfalls Abweichungen bei den gemessenen Temperaturen auftreten. Die Temperaturmessungen zur Ermittlung der Energien im Sole- und Heizkreis erfolgen im Vorlauf der Soleleitung vor der Wärmepumpe und in den Leitungen im Heizkreis nach der Wärmepumpe vor dem Pufferspeicher bzw. dem Trinkwasserspeicher. Die Messstellen sind unterschiedlich weit vom Verdampfereingang/Kondensatorausgang in der Wärmepumpe entfernt, so dass Leitungsverluste die Messwerte der Temperatur beeinflussen können. Weiterhin wurde innerhalb der gesamten Messzeit die Solekonzentration in den einzelnen Anlagen nicht kontrolliert, so dass Änderungen der Solekonzentration z. B. beim eventuellen Ausgleichen von Verlusten durch Wiederauffüllen des Solekreises mit Wasser erfolgen können.

## 2.6 Gütegrad

Zur Bewertung von Wärmepumpen wird allgemein die Arbeitszahl als technische Kennzahl herangezogen. Um Wärmepumpen unterschiedlicher Typen und von verschiedenen Herstellern zu vergleichen, wird der COP bei definierten einheitlichen Randbedingungen auf dem Teststand gemessen. Einen besseren Vergleich der Effizienz der Wärmepumpen unter realen Einsatzbedingungen ermöglicht der Gütegrad der Wärmepumpen. Der Gütegrad wird als Verhältnis der Leistungszahl der Wärmepumpen zum Wirkungsgrad nach dem idealen Carnot-Prozess ermittelt und gibt die Abweichungen des tatsächlichen Prozesses zu diesem an. Ein hoher Gütegrad steht für eine hohe Effizienz der Wärmepumpe.

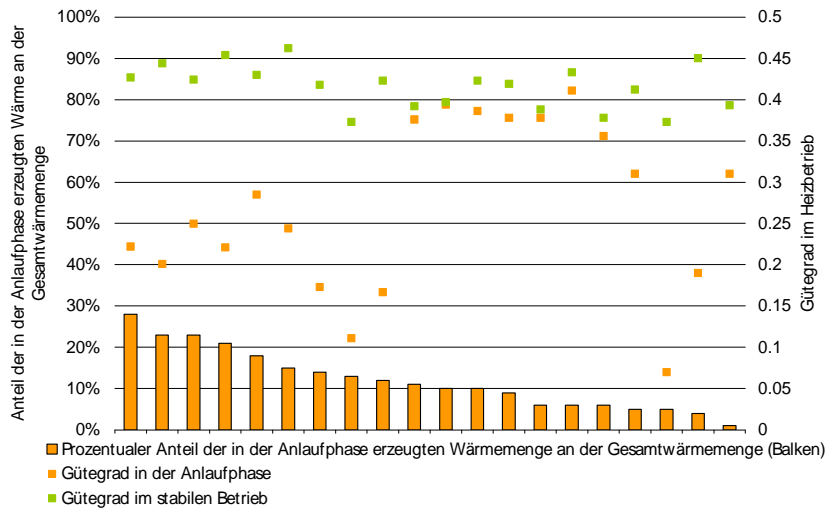
Die Gütegrade der Sole/Wasser-Wärmepumpen liegen im Allgemeinen zwischen 0.4 und 0.5, die der Luft/Wasser-Wärmepumpen zwischen 0.35 und 0.4.

Die Ermittlung des Gütegrades der untersuchten Anlagen wurde für die Warmwasserbereitung und die Heizwärmebereitstellung getrennt bewertet.

**Tabelle 1 Jahreswert 2008 des Carnot-Gütegrades der Sole/Wasser- und Luft/Wasser-Wärmepumpen für ausgewählte Projekte**

Wärmepumpentyp	Gütegrad im Heizbetrieb	Gütegrad im Warmwasserbetrieb	Gütegrad Literaturangaben
Sole/Wasser-Wärmepumpe	0,42 (0,38 - 0,46)	0,38 (0,31 - 0,49)	0,4 – 0,5
Luft/Wasser-Wärmepumpe	0,3 (0,28 - 0,44)	0,32 (0,29 - 0,38)	0,35 – 0,4

Besonders starke Abweichungen im Gütegrad wurden in der Anlaufphase der Wärmepumpen nachgewiesen, nach dem Start der Wärmepumpe bis zum konstanten Betrieb, d. h. bis die Wärmepumpen eine konstante Vorlauftemperatur im Heizkreis/Trinkwarmwasser erreicht haben, vgl. Abbildung 9.



**Abbildung 9 Vergleich des Gütegrades im Heizbetrieb für Sole/Wasser-Wärmepumpen in der Anlaufphase und im stabilen Heizbetrieb zu dem Anteil der in der Anlaufphase erzeugten Wärmemenge**

## 2.7 Wirtschaftlichkeit

Die Beurteilung der Wirtschaftlichkeit der im Feldtest untersuchten Wärmepumpen im Vergleich mit einem konventionellen Ölkessel wurde anhand der Annuitätsmethode nach VDI 2067-1 durchgeführt. Mit der Annuitätsmethode werden Zahlungen mit veränderlichen Beträgen während der rechnerischen Nutzungsdauer (Betrachtungszeitraum) in periodisch konstante Zahlungen transformiert. Zur ökonomischen Berechnung sind folgende Kostenarten, mit zugeordneter Komponente versehen, notwendig:

- Kapitalgebundene Kosten (Investitionskosten)
- Verbrauchsgebundene Kosten (Energiekosten)
- Betriebsgebundene Kosten (Kosten für Wartung, Instandsetzung und Bedienung)
- Sonstige Kosten (Versicherungskosten)

Die Berechnung der Wirtschaftlichkeit erfolgte mit Hilfe eines konstanten Zinssatzes von 6% (Basis Ölpreis 2008 bis Juni 2010) und konstanten Energiepreise (der Basis mittlerer Preis der E:ON Energie AG für Wärmepumpen im Jahr 2008). Alle Angaben verstehen sich netto, d.h. ohne MwSt.

Da es sich bei der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung nach VDI 2067 um eine statische Methode handelt, sind die Ergebnisse als Orientierung bezüglich der kapitalgebundenen und der verbrauchsgebundenen Kosten zusehen. Bei den betriebsgebundenen Kosten werden nach VDI 2067 Werte von 1 bis 2 % für Instandsetzungs- und Wartungskosten vorgegeben. Wärmepumpen laufen im Allgemeinen wartungsfrei und wie aus der Umfrage zur Akzeptanz hervorgeht, wurden auch fast keine Wartungsverträge abgeschlossen. Deshalb sind die angesetzten Kosten von 1 % für Wärmepumpen in Verbindung mit den hohen Investitionskosten als zu hoch einzuschätzen und werden im Kostenvergleich nicht berücksichtigt.

Nach den vorliegenden Rechnungen liegen die Investitionskosten für die Sole/Wasser-Wärmepumpen mit durchschnittlich 20.815 Euro um etwa 25% über den mittleren Investitionskosten der Luft/Wasser-Wärmepumpen von 15.602 Euro. Die Kosten sind ohne Berücksichtigung der Mehrwertsteuern

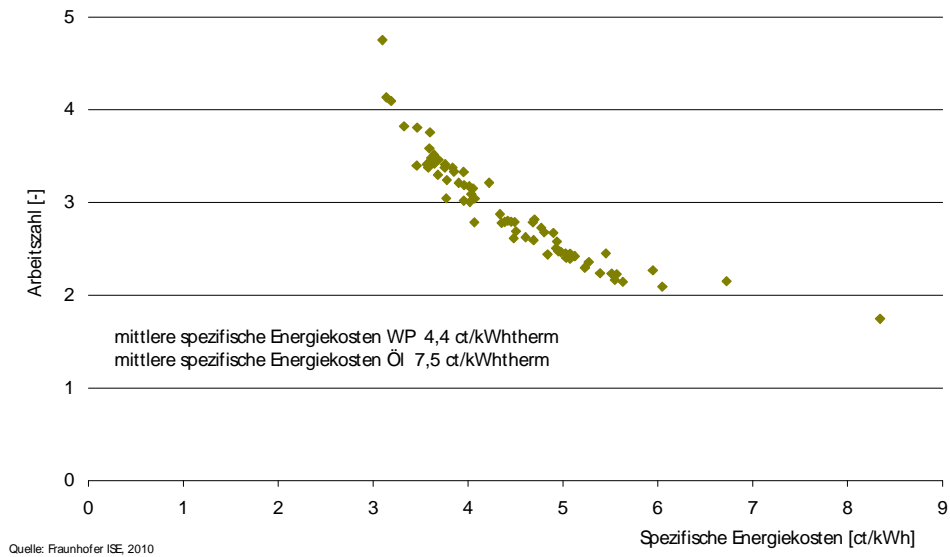
angegeben und enthalten die Kosten für die Wärmepumpe, den Speicher, das Zubehör, die Elektroanschlüsse der Wärmepumpe und die Montage, bei den Sole/Wasser-Wärmepumpen noch zusätzlich die Kosten für die Bohrung der Sonde bzw. den Erdkollektor. Die spezifischen Investitionskosten pro beheizter Nutzfläche liegen mit 116 €/m<sup>2</sup> etwa 27 € über denen der Luft/Wasser-Wärmepumpen. Mit 1659 € sind auch die spezifischen Kosten pro installierte kWh<sub>thermisch</sub> um 467 € höher als die Kosten der Luft/Wasser-Wärmepumpen. Die deutlich höheren Investitionskosten der Sole/Wasser-Anlagen entstehen vor allem durch die aufwendigere Wärmequellenerschließung für Erdsonden oder Erdkollektoren im Vergleich zu Luft/Wasser-Anlagen. Die Kosten für die Erschließung der Wärmequelle bei den Sole/Wasser-Wärmepumpen betragen für die Erdwärmesonden im Mittel 840 €/kW<sub>thermisch</sub>, für die Erdkollektoren 272 €/kW<sub>thermisch</sub> und liegen in den allgemein für die Erschließung angegebenen Werten<sup>1</sup> für Sonden zwischen 650 und 950 €/kW<sub>thermisch</sub>, für Erdkollektoren zwischen 250 und 300 €/kW<sub>thermisch</sub>. Neben der Bohrausführung durch einen zertifizierten Fachbetrieb werden in z. B. auch Genehmigungen oder geologische Gutachten für die Erdbohrung benötigt. Diese Kosten wurden jedoch in der Kostenermittlung nicht berücksichtigt. Die Investitionskosten der Kessel-Modernisierung sind laut den vorliegenden Angeboten im Mittel mit rund 8.900 Euro veranschlagt worden, wobei die Angebote unter 6000 Euro nicht berücksichtigt wurden, da sie z. T. nur den reinen Ölkessel beinhalten. Die spezifischen Investitionskosten für die Ölkesselmodernisierung liegen im Mittel bei 45 Euro pro m<sup>2</sup> beheizter Nutzfläche.

Basis der Ermittlung der Energiekosten sind die von den Regionalversorgern der E.ON im Jahr 2008 gültigen Kosten für den Wärmepumpentarif mit einem mittleren Arbeitspreis von 12,70 ct/kWh im Hochtarif und 10,05 ct/kWh im Niedertarif sowie einem mittleren Grundpreis von 4,88 Euro pro Monat. Ziel des Projektes war der Vergleich der Wärmepumpen mit einem Ölheizungssystem. Um beide Systeme hinsichtlich der Kosten für die Wärme zu vergleichen, wurden anhand des Stromverbrauchs der Wärmepumpe und den erzeugten Wärmemengen die spezifischen Heizkosten für die Wärmepumpen sowie vergleichend für Ölkessel mit einem Jahresnutzungsgrad vom 80 % (konventioneller Kessel) ermittelt. Die mittleren spezifischen Heizkosten für die Wärmepumpenanlagen erreichen Werte von 4,4 Ct/kWh, die der Ölkessel liegen bei 7,5 ct/kWh.

Werden die spezifischen Energiekosten der Wärmepumpe in Korrelation zur Arbeitszahl gesetzt, stellt man fest, dass beide gegenläufig sind. Daraus ergibt sich, dass mit steigender Arbeitszahl der zur Erzeugung einer kWh Wärme notwendige elektrische Aufwand geringer wird und damit die spezifischen Energiekosten sinken, vgl. Abbildung 10.

---

<sup>1</sup> Internet – Vogel Heizungen und Bäder, [www.heizen4u.de/waermepumpen/waermepumpen-kosten.html](http://www.heizen4u.de/waermepumpen/waermepumpen-kosten.html)<sup>1</sup>



**Abbildung 10 Spezifische Energiekosten und mittlere Arbeitszahlen**

In den sonstigen Kosten sind alle jährlichen Ausgaben zusammengefasst, die beim Betrieb der Wärmepumpe bzw. eines Ölkessels anfallen. Dazu gehören unter anderem die betriebsgebundenen Kosten für Wartung, Instandsetzung und Bedienung sowie weitere Nebenkosten wie z.B. Versicherungskosten. Diese jährlichen sonstigen Kosten werden für die Wärmepumpe pauschal mit 1% und für den Ölkessel mit 2% der Investitionskosten nach VDI 2067-1 veranschlagt. Für den Ölkessel sind in den sonstigen Kosten zudem noch die Ausgaben für den Schornsteinfeger und für Emissionsmessungen enthalten. Die Wartungskosten für die Wärmepumpe sind sehr gering, jedoch sollten in regelmäßigen Abständen bei Luft/Wasser-Wärmepumpen die Luftkanäle und die Verdampferlamellen gereinigt werden. Sie werden bei der grafischen Betrachtung nicht berücksichtigt. Bei Wasser/Wasser-Wärmepumpen ist es notwendig, in regelmäßigen Abständen den Filter im Primärkreislauf zu reinigen oder auszutauschen.

Fasst man alle Kosten vergleichend zusammen, dann ergibt sich die in Abbildung 11 dargestellte Kostenaufteilung für die Wärmepumpen und den konventionellen Ölkessel. Bei den Sole/Wasser-Wärmepumpen dominieren die kapitalgebundenen Kosten mit 65 % gegenüber den verbrauchsgebundenen Kosten (Energiekosten) von 35 %. Luft/Wasser-Wärmepumpen haben wegen der geringeren Investitionskosten nur kapitalgebundene Kosten von 54 % gegenüber verbrauchsgebundenen Kosten von 46 %. Bei konventionellen Ölkesseln sind wegen der niedrigen Investitionskosten nur 28 % der Gesamtkosten für kapitalgebundene Kosten, aber 67 % der Kosten für Energiekosten aufzuwenden. Die Gesamtkosten nach VDI 2067 sind für die Luft/Wasser-Wärmepumpen geringer als für den Ölkessel. Dagegen sind die Gesamtkosten der Sole/Wasser-Wärmepumpen infolge der hohen Kostenanteile für die Erdbohrungen trotz der niedrigen Energieverbrauchskosten mit denen der Ölkessel vergleichbar.



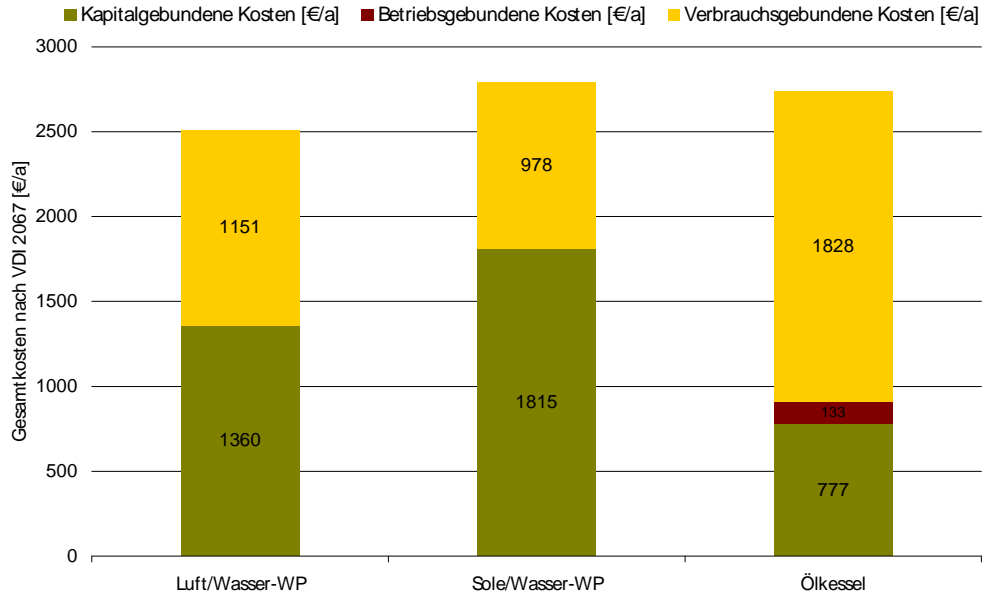


Abbildung 11 Struktur der jährlichen Gesamtkosten für Wärmepumpe und Ölkessel

### 3 Primärenergie und CO<sub>2</sub>-Emissionen

Basis zur Bewertung des Primärenergieverbrauchs und der CO<sub>2</sub>-Emissionen ist der Strommix des deutschen Kraftwerksparks. Für die Bewertung des Stroms gilt ein Primärenergiefaktor von 2,6, für Öl 1,1.

Für die primärenergetische Bewertung der Wärmepumpen wird der Stromverbrauch der Wärmepumpe genutzt, der zur Bereitstellung von Heizwärme und Warmwasser aufgewandt wird. Um vergleichend den Ölverbrauch für die von der Wärmepumpe bereitgestellte Wärmemenge zu ermitteln, wird diese Wärmemenge mit dem Nutzungsgrad der konventionellen Ölheizung von 0,8 auf den tatsächlichen Ölverbrauch umgerechnet (Endenergie). Das Ergebnis zeigt, dass die Wärmepumpen bezogen auf den Primärenergieverbrauch im Mittel um 32 % besser als die Ölkessel liegen. Auch die Luft/Wasser-Wärmepumpen mit Arbeitzahlen von 2,6 sind im Mittel noch um 23% besser als konventionelle Ölkessel, vgl. Abbildung 12

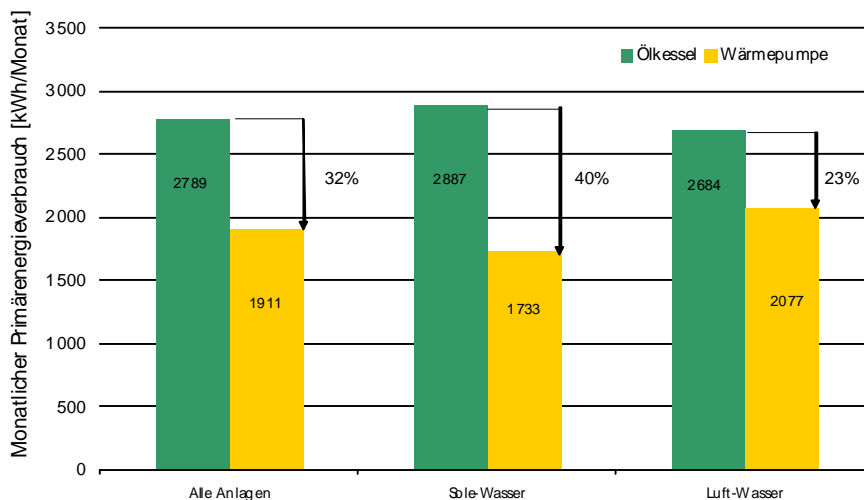


Abbildung 12 Mittlerer monatlicher Primärenergieverbrauch der Wärmepumpen im Vergleich zum Ölkessel für die erzeugte Wärme

Zu ähnlichen Ergebnissen gelangt man, wenn man als Basis der Stromerzeugung den Kraftwerksmix der E.ON Energie AG zugrunde legt und die Primärenergiefaktoren dynamisch in Abhängigkeit der Stromerzeugung und Laufzeiten der Wärmepumpe betrachtet. Basis sind die Viertelstundenwerte für jeden Wochentag des für die Stromerzeugung bereitstehenden Kraftwerksparks für jeweils ein Quartal. Der Primärenergiefaktor und die CO<sub>2</sub>-Emissionen können anhand der realen Energieträger ermittelt werden. In Verbindung mit der Häufigkeit der Laufzeiten der Wärmepumpen wird der tatsächliche Primärenergieaufwand der Wärmepumpen ermittelt. Dividiert man den so erhaltenen Primärenergiefaktor durch die Arbeitszahl, erhält man die Nutzenergiekennwerte für die Wärmepumpen<sup>2</sup>. Wie in Abbildung 13 gezeigt, liegen die Nutzenergiekennwerte für Sole/Wasser- und Luft/Wasser-Wärmepumpen unter denen von Öl- und Gas-Brennwerttechnik.

Aus Abbildung 13 ist auch zu ersehen, dass die äquivalenten CO<sub>2</sub>- Werte in g/kWh erzeugter Wärme unter denen der Öl- und Gas-Brennwerttechnik liegen. Damit können die Wärmepumpen beim Einsatz im Gebäudebestand mit den erreichten Arbeitszahlen als effiziente Versorgungssysteme eingestuft werden.

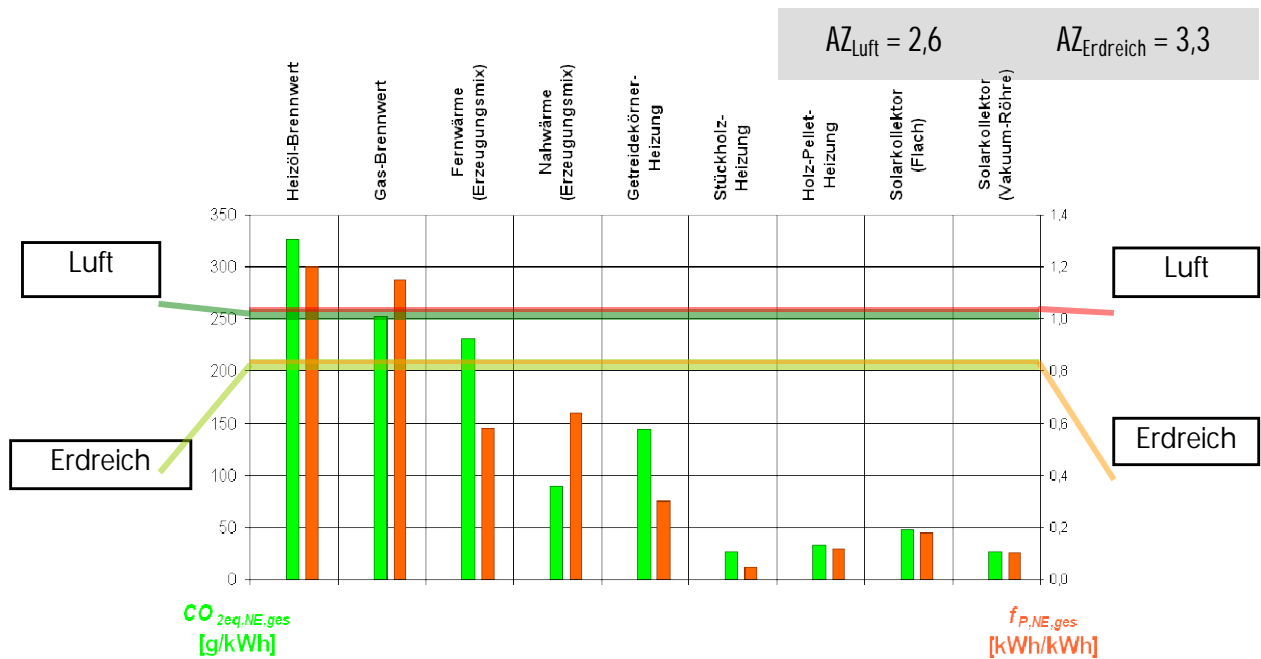


Abbildung 13 Vergleich der Wärmepumpen mit anderen Versorgungssystemen auf Basis des Nutzenergiekennwertes Nutzenergiewertes und der CO<sub>2</sub>- Emissionen

<sup>2</sup> D. Günther, Bewertung von elektrisch angetriebenen Kompressionswärmepumpen im Feldtest hinsichtlich Primärenergieaufwand und Klimarelevanz, Diplomarbeit Fraunhofer ISE, Juni 2009

## 4 Zusammenfassung und Schlussfolgerung

In dem deutschlandweiten Feldtest zur Untersuchung von „Wärmepumpen im Gebäudebestand“ wurden die Messdaten von 35 Luft/Wasser und 36 Sole/Wasser-Wärmepumpen analysiert und bewertet. Die installierte Leistung beider Wärmepumpentypen liegt im Mittel bei 14 kW thermisch. Anhand der Ergebnisse konnte nachgewiesen werden, dass die untersuchten Wärmepumpen bezogen auf die mittleren Arbeitszahlen hinsichtlich der Betriebskosten, dem Primärenergieverbrauch und der CO<sub>2</sub>-Bilanz günstiger als die zum Vergleich angesetzten konventionellen Ölkessel sind. Damit können aus ökologischer Sicht Wärmepumpen in Bestandgebäuden als effiziente Versorgungssysteme eingestuft werden.

Es wurden im Mittel Arbeitszahlen von 3,3 für die Sole/Wasser- und 2,6 für die Luft/Wasser-Wärmepumpen ermittelt, die ein wesentliches Kriterium für die Effizienz der Wärmepumpen sind. Ausschlaggebend für die Größe der Arbeitszahl sind die Temperaturdifferenz zwischen Wärmesenke und Wärmequelle, der Temperaturhub, sowie die absoluten Vorlauftemperaturen. Wie die Ergebnisse zeigen, ist der Temperaturhub der Luft/Wasser-Wärmepumpen in den Wintermonaten stets höher als bei den Sole/Wasser-Wärmepumpen. Hinzu kommt, dass auch die mittleren Vorlauftemperaturen im Heizkreis höher und die Wärmequellentemperaturen im Winter niedriger als bei den Sole/Wasser-Wärmepumpen sind. Das führt dazu, dass die Luft/Wasser-Wärmepumpen insgesamt niedrigere Arbeitszahlen als die Sole/Wasser-Wärmepumpen erreichen. Die Deckung des Wärmebedarfs für Heizung und Warmwasser ist in den Wintermonaten bei den Luft/Wasser-Wärmepumpen mit deutlich längeren Laufzeiten verbunden. Im Sommer haben beide Wärmepumpentypen etwa gleiche Laufzeiten, da vorwiegend Warmwasser unter etwa gleichen Betriebszeiten bereitet wird.

Als Fazit für den Einsatz von Wärmepumpen im Gebäudebestand gilt, dass beim Einsatz der Wärmepumpe die Temperaturdifferenz zwischen Wärmesenke und Wärmequelle möglichst klein sein sollte. Da man beim Einsatz der Luft/Wasser-Wärmepumpe die Außentemperatur der Luft nicht beeinflussen kann, sollte die Vorlauftemperatur im Heizkreis möglichst gering gehalten werden und unter 50 °C liegen. Deshalb ist vor der Entscheidung zum Einsatz einer Wärmepumpe in Bestandsgebäuden durch die Installationsfirma, einen unabhängigen Energieberater oder ein Planungsbüro zu prüfen, ob man den gesamten Heizwärmebedarf durch Dämmmaßnahmen senken kann, um auch die Vorlauftemperatur zu reduzieren. Eine zweite Variante zum Absenken der Vorlauftemperatur ist eine Flächenvergrößerung der Wärmeübergabesysteme. Das ist jedoch im Altbau nicht immer machbar. Ist beides nicht möglich, ist ggf. vom Einsatz einer Luft/Wasser-Wärmepumpe abzuraten.

Sole/Wasser-Wärmepumpen haben wegen der kleineren Temperaturschwankungen im Solekreis bessere Arbeitszahlen, aber auch hier gilt, dass die Vorlauftemperatur im Heizkreis möglichst unter 50 °C gehalten werden sollte. Die Maßnahmen hierzu entsprechen den oben genannten.

Die vom Mittelwert abweichenden Arbeitszahlen der untersuchten Wärmepumpen sind jedoch nicht nur durch die abweichenden Temperaturen im Heizkreis und den Temperaturhub begründet. Obwohl die eingesetzten Wärmepumpen technisch weitgehend ausgereift sind und den Anforderungen im Gebäudebestand gerecht werden, sollte das gesamte hydraulische System inklusive der Steuerung und Regelung auf die Einsatzbedingungen der Wärmepumpe abgestimmt sein. Wie die Untersuchung von Einzelanlagen zeigte,

entspricht die vorgegebene Steuerung und Regelung der Anlagen nicht immer den realen Bedingungen. Z.B. ist die Bereitstellung von Heizwärme im Sommer ein Problem, das bei einigen Anlagen auftritt. Es führt zwar nicht zur Verschlechterung der Arbeitszahl, mindert aber die Gesamteffizienz des Versorgungssystems. Ursache ist, dass die Pumpe im Heizkreis (nach dem Pufferspeicher) auch im Sommer aktiv ist und damit den Pufferspeicher „entlädt“, wodurch wiederum die Wärmepumpe Heizwärme bereit stellt. Hier sollte prinzipiell eine bessere bedarfsgeführte Regelstrategie genutzt werden, die ggf. der modellbasierten prädikativen Regelung entspricht, wie sie industrielle Prozesse nutzen.

Um eine Wärmepumpe im Gebäudebestand effizient zu betreiben, ist es erforderlich, das Planer und Installateure bei der Auswahl des Wärmepumpentyps und der Leistung der Wärmepumpe folgende Anforderungen beachten:

1. Wie hoch ist der Heizwärmebedarf des Gebäudes? – Ggf. ist erst eine wärmetechnische Sanierung ratsam, um den Heizwärmebedarf zu senken, bevor die Wärmepumpe installiert wird.
2. Wie hoch sind die Vorlauftemperaturen im Heizkreis? Ggf. ist durch eine energetische Sanierung der Gebäudehülle und/oder Vergrößerung der Flächen der Wärmeübergabesysteme die Vorlauftemperatur möglichst auf unter 50 °C zu senken.
3. Es ist zu prüfen, welcher Typ der Wärmepumpen im jeweiligen Gebäude sinnvoll genutzt werden kann. Bei hohen Vorlauftemperaturen von über 55 °C im Heizbetrieb sollte ggf. vom Einsatz einer Luft/Wasser-Wärmepumpe Abstand genommen werden.
4. Es ist zu prüfen, ob alle Parameter der Steuerung und Regelung den Anforderungen entsprechen, besonders hinsichtlich der Bedarfsvorgaben und der Positionierungen der Steuersensoren sowie der Betriebsweise der Lade- bzw. Heizkreispumpen? Die Heizkreispumpen sollten außerhalb der Heizzeit abgeschaltet werden.
5. Eine bedarfsgerechte Einstellung der Heizkurven und Prüfung der Funktionsfähigkeit des Außentemperatursensors ist vorzunehmen.
6. Zur Einhaltung der Temperaturspreizung im Heizkreis (nach dem Pufferspeicher) und damit der Anforderung an die Bereitstellung von Heizwärme ist unbedingt ein hydraulischer Abgleich im System durchzuführen.
7. Sind alle Bauteile (z. B. Dreiwegeventile, Rückschlagklappen) im hydraulischen Kreis richtig installiert und voll funktionsfähig, damit Fehlströme im hydraulischen System vermieden werden?
8. Die Benutzer der Wärmepumpe sollten eine Einweisung in den Betrieb der Wärmepumpe erhalten
9. Auch wenn Wärmepumpen kaum Wartung benötigen, sollten die Schmutzabscheider in den hydraulischen Kreisen regelmäßig gereinigt werden, ebenso wie die Luftkanäle und Verdampferlamellen bei Luft/Wasser-Wärmepumpen und die Filter im Primärkreislauf bei Wasser/Wasser-Wärmepumpen. Dies sollte mindesten einmal jährlich erfolgen.

Werden diese Bedingungen beachtet, kann die Wärmepumpe auch im Gebäudebestand die Wärmeversorgung energetisch, ökologisch und mit geringen Betriebskosten sichern.

Anhand der Ergebnisse der Befragung der Projektteilnehmer über „die Entscheidung für eine Wärmepumpe“ wird sichtbar, dass vor allem die Installateure einen hohen Beratungsanteil hinsichtlich der Entscheidung für die Wärmepumpe und der Auswahl des Wärmepumpentyps haben. Das setzt allerdings voraus, dass die Installateure über die entsprechenden Fachkenntnisse der Wärmepumpen, des Wärmebedarfs der Gebäude sowie des Nutzungsprofils der Wärmeversorgung verfügen. Die Installateure sollten deshalb gut geschult sein und ausreichendes Informationsmaterial besitzen, um den Anforderungen an eine bedarfsgerechte Beratung und Realisierung der Wärmepumpeninstallation gerecht zu werden.

Die Befragung der Projektteilnehmer im Feldtest „Ersatz von Ölheizkesseln im Wohngebäudebestand durch Wärmepumpen“ führten zu dem Ergebnis, dass über 90 % der Befragten rundum zufrieden mit der Wärmepumpe sind und den Einsatz der Wärmepumpe weiter empfehlen würden. Das zeigt eine hohe Akzeptanz der Wärmepumpennutzung im Gebäudebestand. Als wesentliche Entscheidungskriterien für den Ersatz einer Ölheizung durch eine Wärmepumpe standen die zu erwartenden niedrigeren Energiekosten und die Umweltfreundlichkeit der Wärmepumpe gegenüber der Ölheizung im Vordergrund. Darin spiegelt sich ein hoher Grad des Umweltbewusstseins der Projektteilnehmer wieder.