

Wuppertal Institut
für Klima, Umwelt, Energie
GmbH

MINI-Technologiefolgenabschätzung Gas-Wärmepumpe

im Rahmen des Projektes „Energiebalance“

Autor: Dietmar Schüwer

dietmar.schuewer@wupperinst.org

Dr. Manfred Fishedick

Wuppertal-Institut für Klima, Umwelt, Energie

Döppersberg 19, 42103 Wuppertal

Tel: 0202 / 2492-0 E-Mail: manfred.fishedick@wupperinst.org

Angelika Paar, Philipp Otter, Dr. Martin Pehnt

ifeu-Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg

Wilckensstraße 3, 69120 Heidelberg

Tel: 06221 / 4767-0 E-Mail: martin.pehnt@ifeu.de

Projektleitung: Dr. Martin Pehnt

Heidelberg, Wuppertal, 15. Mai 2008

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | MINI-TECHNOLOGIEFOLGENABSCHÄTZUNG GAS-WÄRMEPUMPE | 5 |
| 1.1 | Technisches Prinzip der Gas-Wärmepumpe..... | 6 |
| 1.2 | Abgrenzung zu den Referenzsystemen | 7 |
| 1.2.1 | Abgrenzung zur Brennwerttechnik | 7 |
| 1.2.2 | Abgrenzung zur Elektro-WP..... | 10 |
| 1.3 | Technische Spezifikation und Vor- und Nachteile der betrachteten Gas-Wärmepumpen | 13 |
| 1.3.1 | Vorteile der Gas-Wärmepumpe..... | 15 |
| 1.3.2 | Nachteile der Gas-Wärmepumpe..... | 17 |
| 1.4 | Aspekte der Systemintegration | 18 |
| 1.5 | Abschließende Bewertung / Fazit..... | 20 |
| 2 | LITERATUR | 24 |

Abbildungsverzeichnis

| | |
|--|----|
| Abb. 1-1 Absatzzahlen von Elektro-Wärmepumpen für Heizung und Warmwasserbereitung_____ | 5 |
| Abb. 1-2 Prinzipvergleich zwischen a) Kompressions- und b) Sorptions-WP _____ | 6 |
| Abb. 1-3 Energieflussdiagramm einer elektrischen Wärmepumpe mit einer Arbeitszahl = 4 _____ | 7 |
| Abb. 1-4 Nutzungsgradvergleich von Erdgas-Heizkesseln (oberer Wert: theoretischer Normnutzungsgrad / unterer Wert: Jahresnutzungsgrad in der Praxis) mit Gas-Wärmepumpen (nur Normnutzungsgrad)_____ | 8 |
| Abb. 1-5 Thermischer Nutzungsgrad untersuchter DAWP-Anlagen von Buderus / Bosch Thermotechnik GmbH (nur Heizbetrieb, ohne elektrische Hilfsenergie)_____ | 9 |
| Abb. 1-6 Umrechnungsdiagramm für Leistungszahlen (Elektro-WP) und primärenergetischem Nutzungsgrad als Funktion des Kraftwerkswirkungsgrades _____ | 11 |
| Abb. 1-7 Bandbreite der Treibhausgasemissionen von Elektro- und Gas-Wärmepumpen im Vergleich zu Erdgaskesseln (eta: Jahresnutzungsgrad / JAZ: Jahresarbeitszahl / JHZ: Jahresheizzahl) _____ | 12 |
| Abb. 1-8 Gasklimageräte in Deutschland _____ | 14 |
| Abb. 1-9 Effizienzvergleich zwischen Elektro- und Gas-WP als Funktion von Außen- und Vorlauftemperatur_____ | 16 |

Tabellenverzeichnis

Tab. 1-1 Abhängigkeit der Wärmepumpen-Arbeitszahl von Art der Wärmequelle und Vorlauftemperatur (Angaben inkl. Strombedarf für Pumpen u. Ventilatoren) 10

Tab. 1-2 Mindestens einzuhaltende Jahresarbeitszahlen für den zukünftigen Einsatz von Wärmepumpen im Neubau (gemäß für 2009 geplantem EEWärmeG) bzw. für die Förderfähigkeit im Neubau oder Altbau (gemäß Marktanzreizprogramm 2008) _____ 22

1 Mini-Technologiefolgenabschätzung Gas-Wärmepumpe

Wärmepumpen (im Folgenden WP abgekürzt) funktionieren prinzipiell wie ein Kühlschrank: Sie entziehen der Umgebung Wärme und geben sie auf einem höheren Temperaturniveau wieder ab. Die Wärmequelle kann entweder Luft, Erdreich oder Wasser (Brunnenwasser, Abwasser) sein. Elektrisch betriebene WP etablieren sich insbesondere zunehmend im Neubau und haben in den vergangenen Jahren starke Zuwachsraten aufzuweisen (s. Abb. 1-1). Der Bundesverband WärmePumpe e.V. (BWP) gibt für das Jahr 2006 ein Marktvolumen von rund 43.900 verkauften WP zum Heizen und weiteren rund 7.600 WP zur Warmwasserbereitung an. Dies entspricht gut 5% der insgesamt rund 800.000 in 2006 bundesweit neu installierten Heizungsanlagen¹. Auch für 2007 setzte sich der Nachfragetrend fort: Allein im ersten Quartal 2007 wurden mit fast 16.550 verkauften Heizungs-WP bereits rd. 38 Prozent des Gesamtabsatzes 2006 erreicht². Insgesamt sind deutschlandweit ca. 170.000 Wärmepumpen installiert¹.

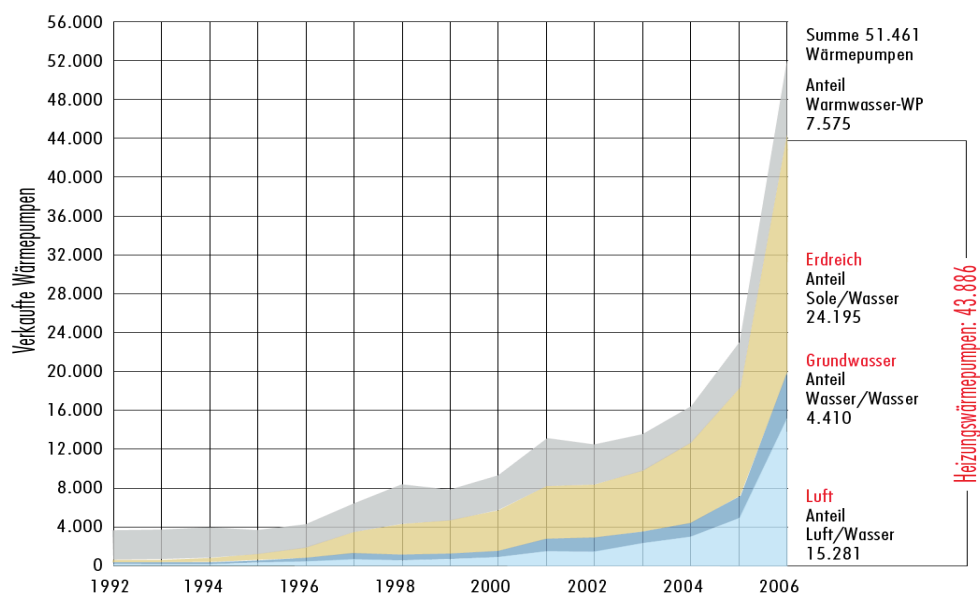


Abb. 1-1 Absatzzahlen von Elektro-Wärmepumpen für Heizung und Warmwasserbereitung

Quelle: Bundesverband WärmePumpe (BWP) e. V. 2007

Während die Elektro-WP marktreif zur Verfügung steht und zunehmend an Bedeutung gewinnt, befindet sich die Gas-WP für den Einsatz in Ein- und Mehrfamilienhäusern noch in einer frühen Markteintrittsphase. Für den Bereich größerer Leistungen - z.B. zur Schwimmbadbeheizung und -Entfeuchtung - sind gasmotorisch betriebene WP bereits heute verfügbar.

¹ Angabe lt. Artikel „Geizen beim Heizen“ der VDI Nachrichten vom 04.01.2008

² Siehe IWR-Meldung vom 18.05.07 (www.iwr.de/re/iwr/07/05/1805.html)

1.1 Technisches Prinzip der Gas-Wärmepumpe

Bei der WP im Allgemeinen können folgende **technische Prinzipien** unterschieden werden:

- Kompressions-WP** (Elektro-WP, Gasmotor-WP)
- Sorptions-WP** (Absorptions-WP, Adsorptions-WP)
- Vuilleumier-WP** (hier nicht weiter betrachtet)

Beiden Prinzipien a) und b) ist gleich, dass bei ihnen mittels Verdampfer einer Wärmequelle Umgebungswärme entzogen wird, die nach Druckerhöhung anschließend im Verflüssiger zur Einspeisung in ein Wärmenetz (Heizwasser und/oder Warmwasser) auf einem erhöhten Temperaturniveau zur Verfügung steht. Der entscheidende Unterschied liegt in der Art der Verdichtung: Während bei der Kompressions-WP ein mechanischer Kompressor (angetrieben über einen Elektro- oder Verbrennungsmotor) zum Einsatz kommt (s. Abb. 1-2 a), findet bei der Sorptions-WP die Verdichtung auf thermischem Wege über Sorptions- und Desorptionsprozesse statt (s. Abb. 1-2 b). Bei der Sorptions-WP wird lediglich für den Lösungsmittelkreislauf noch eine elektrische Pumpe benötigt, dessen Stromverbrauch jedoch weit unterhalb des Kompressors einer Elektro-WP liegt.

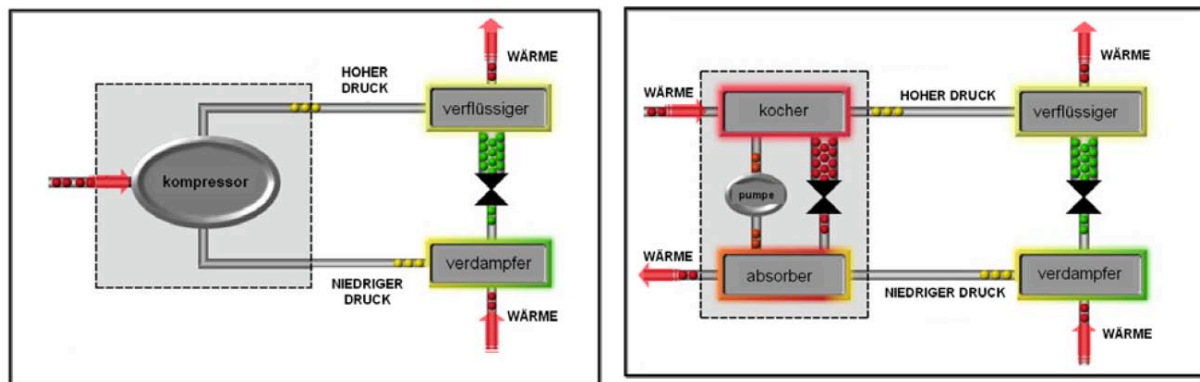


Abb. 1-2 Prinzipvergleich zwischen a) Kompressions- und b) Sorptions-WP

Quelle: Robur 2007

Nach Art des Adsorbens wird bei der Sorptionsanlage noch weiter zwischen Absorptions- und Adsorptions-WP unterschieden: Bei der **Absorptionstechnik** wird das verdampfte Kältemittel in einer (flüssigen) Lösung (z.B. Ammoniak/Wasser oder Wasser/Lithiumbromid) absorbiert, bei der **Adsorptionstechnik** an der Oberfläche eines Feststoffes (z.B. Zeolithe, Silikagel, Aktivkohle) angelagert. Ein Spezialfall der Absorptions-WP ist die Diffusions-Absorptions-WP (DAWP), bei der auch noch die Lösungsmittelpumpe durch Ausnutzung der freien Konvektion eines Hilfsgases (Helium) ersetzt wird.

Neben der Unterscheidung des Anlagenprinzips ist eine weitere **Unterscheidung nach Art der Antriebsenergie** möglich in:

- Elektro-WP** (Kompressionsanlage)
- Gas-WP** (Kompressions- oder Sorptionsanlage)
- Sorptions-WP mit **sonstigen Wärmequellen** als Antrieb (z.B. industrielle Prozessabwärme, BHKW-Abwärme, Solarenergie, hier nicht weiter betrachtet)

Die Antriebsenergie wird benötigt, um den (mechanischen oder thermischen) Verdichter anzutreiben, mit dessen Hilfe über einen thermodynamischen Kreisprozess die Nutzung der Umweltwärme erst ermöglicht wird. Bei einer Elektro-WP muss beispielsweise typischerweise ein Viertel der Nutzwärme über elektrisch bereitgestellte Antriebsenergie aufgebracht werden, drei Viertel der Nutzwärme können dann aus der Umgebung zusätzlich gewonnen werden (s. Abb. 1-3).

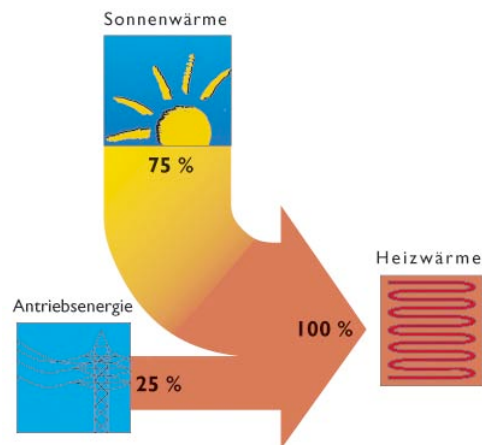


Abb. 1-3 Energieflussdiagramm einer elektrischen Wärmepumpe mit einer Arbeitzahl = 4

Quelle: BWP 2008

Während die Elektro-WP immer als Kompressions-WP ausgeführt ist, kann die Gas-WP sowohl als Gas-Motor- als auch als Gas-Sorptions-Anlage realisiert werden. Bei der ersten Variante treibt ein Gas-Motor anstelle eines Elektromotors den Verdichter an. Die auf einem relativ hohem Temperaturniveau anfallende Abwärme des Motors wird zusätzlich zu der eigentlich genutzten Umgebungswärme in den Heizkreislauf eingespeist. Bei der Sorptionsvariante wird Erdgas in einem Brenner verbrannt und die entstehende Wärme für den Regenerationsprozess des Kältemittels genutzt.

1.2 Abgrenzung zu den Referenzsystemen

Als Referenzsystem zur Gas-WP kommen mit der Elektrowärmepumpe und mit der Gas-Brennwerttechnik zwei Basisvarianten in Betracht. Um sich gegen diese Technologien behaupten zu können, muss die Gas-WP ökologische, ökonomische oder sonstige Vorteile aufweisen, die im Folgenden untersucht werden sollen.

1.2.1 Abgrenzung zur Brennwerttechnik

Die Gas-Brennwerttechnik gilt heutzutage bei erdgasversorgten Objekten als Stand der Technik. Sie erzielt auf dem Prüfstand einen (heizwertbezogenen) **Wirkungsgrad** von bis zu 109%. Ihr **Jahresnutzungsgrad** liegt mit rund 100 % deutlich oberhalb eines modernen Erdgas-Niedertemperaturkessels (ca. 92%) oder eines Heizöl-Brennwertkessels (ca. 95 %).

Bei gasbetriebenen WP wird die Effizienz der Anlage über die dimensionslose **Heizzahl** charakterisiert. Sie ist definiert als das Verhältnis von Nutzwärmeleistung (in kW_{th}) zu Brennstoffleistung (Produkt aus Brennstoffmassenstrom und -Heizwert H_i) und ermöglicht den direkten Vergleich mit den Wirkungsgraden konventioneller Heizsysteme. Analog zum

Jahresnutzungsgrad (bei Heizkesseln) bzw. zur Jahresarbeitszahl (bei der Elektro-WP) wird die **Jahresheizzahl** definiert als Verhältnis aus Wärmeenergieertrag eines Jahres pro eingesetzter Brennstoffenergie (inklusive elektrischer Hilfsenergie auf Primärenergiebasis).

Wie die roten Balken in Abb. 1-4 zeigen, weisen die betrachteten Gas-WP etwa 25% bis 45% höhere Wirkungs- bzw. Nutzungsgrade auf als das Referenzsystem Brennwertkessel. Die höchste Effizienz erreicht die gasmotorisch betriebene WP, gefolgt von der Absorptions-WP. Für den kleineren Leistungsbereich (Versorgung von Ein- und Zweifamilienhäusern) werden derzeit die DAWP und die Zeolith-WP entwickelt, welche ebenfalls erhebliche Energieeinsparungen gegenüber der Brennwerttechnik versprechen. Das CO₂-Einsparpotenzial gegenüber der Referenztechnologie kann bei den Gas-WP auf ca. 20% bis 40% abgeschätzt werden.

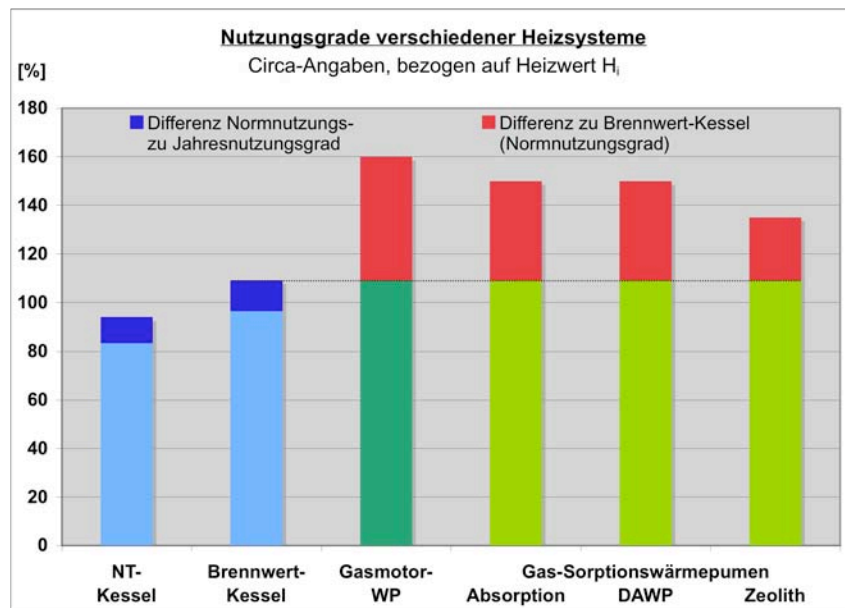


Abb. 1-4 Nutzungsgradvergleich von Erdgas-Heizkesseln (oberer Wert: theoretischer Normnutzungsgrad / unterer Wert: Jahresnutzungsgrad in der Praxis) mit Gas-Wärmepumpen (nur Normnutzungsgrad)

Quellen: DBU 2004 / VZN 2007 / BINE 2005 / BINE 2007 / Robur 2006 / Welp 2008 / eigene Abschätzungen

Bei der Betrachtung der Effizienz von Heizungsanlagen ist zu beachten, dass zwischen *heizwert- und brennwertbezogenen* Wirkungsgraden H_i und H_s unterschieden werden muss³. Die Unterschied in der Betrachtung *mit und ohne Nutzung der Kondensationswärme* (sog. latente Abwärme) liegt bei ca. Faktor 1,11 bei Erdgas und 1,06 bei Heizöl. Der Normnutzungsgrad, welcher die Anlageneffizienz unter Idealbedingungen am Prüfstand charakterisiert, liegt bei einem modernen Gas-Brennwertkessel bei ca. $H_s = 98\%$ / $H_i = 109\%$ und bei einem Öl-Brennwertkessel bei ca. $H_s = 98\%$ / $H_i = 104\%$. In der Praxis können die tatsächlichen, über das Jahr gemittelten Nutzungsgrade jedoch z.T. erheblich von den Normnutzungsgraden abweichen. Eine Felduntersuchung im Auftrag der DBU ergab beispielsweise, dass bei Brennwertgeräten statt des vom Hersteller angegebenen

³ Nach Euronorm EN 437:2003 gilt: H_i = Heizwert, Index „i“ steht für lat. „inferior = unterer“ (ehemals unterer Heizwert H_u) H_s = Brennwert, Index „s“ steht für lat. „superior = höherer“ (ehemals oberer Heizwert H_o)

Normnutzungsgrades von 109% in der Praxis im Mittel nur ca. 96% erreicht werden (DBU 2004). Ähnliche (Zwischen-)Ergebnisse erbrachte in Bezug auf die elektrische WP ein im Oktober 2006 gestarteter zweijähriger Feldtest der „Lokale Agenda 21 - Gruppe Umwelt/Energie Lahr“ (Umwelt/Energie Lahr 2007). Auch hier konnte nachgewiesen werden, dass die tatsächlichen Nutzungsgrade z.T. erheblich unterhalb der von Herstellern, Verbänden oder Energieversorgern beworbenen Normnutzungsgrade liegen. Da bei Gas-WP insbesondere im kleinen Leistungsbereich noch wenig Erfahrungswerte vorliegen, sind die Angaben in Abb. 1-4 zunächst auf die theoretischen Werte der Normnutzungsgrade beschränkt. Sie sind daher eher als optimistische Abschätzung bzw. als Zielwerte zu verstehen.

In Abb. 1-5 sind erste Praxisergebnisse der e.on Ruhrgas für die DAWP von Buderus / Bosch Thermotechnik dargestellt. Die Nutzungsgrade der Anlagen schwanken im reinen Heizbetrieb zwischen 108 % und 141 %. Im Mittel liegen sie bei 121 % und somit noch deutlich unterhalb der in Abb. 1-4 dargestellten Zielwerte bzw. unterhalb der auf dem Prüfstand ermittelten Heizzahl von 1,47⁴. Wird die WP zusätzlich zur Heizung auch zur Warmwassererzeugung (höheres Temperaturniveau) eingesetzt, verringerte sich im Praxistest der Nutzungsgrad auf 114 % (Bandbreite: 99 % bis 141 %). Dies entspricht einer Absenkung des Nutzungsgrades um knapp 6 % gegenüber dem reinen Heizbetrieb (Ruhrgas 2008).

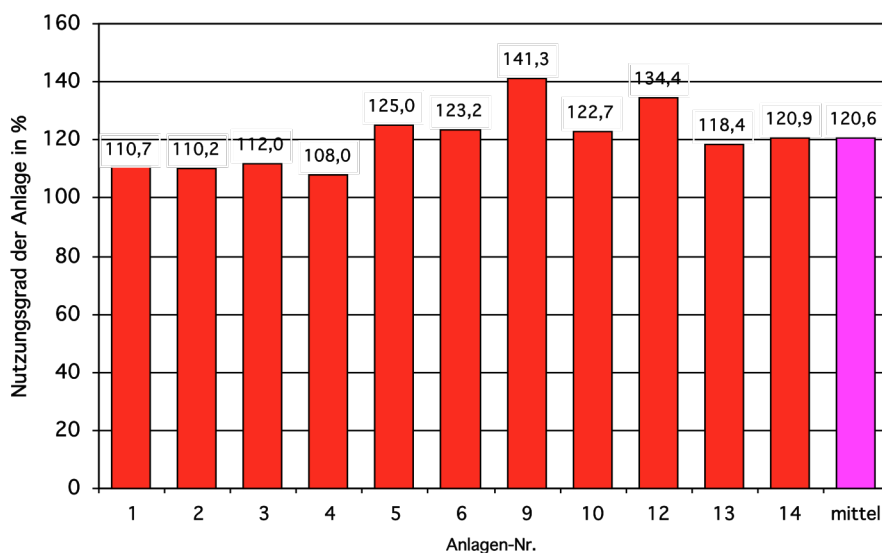


Abb. 1-5 Thermischer Nutzungsgrad untersuchter DAWP-Anlagen von Buderus / Bosch Thermotechnik GmbH (nur Heizbetrieb, ohne elektrische Hilfsenergie)

Quelle: Ruhrgas 2008

Diese ersten Ergebnisse zeigen, dass die im EEWärmeG (Entwurf vom 05.12.07) für Gas-WP formulierte Anforderung einer Mindestheizzahl von 1,2 (= Nutzungsgrad von 120%) von der untersuchten DAWP bei reinem Heizungsbetrieb im Mittel nur knapp und bei integrierter Warmwasserversorgung derzeit noch nicht eingehalten werden kann. Da das EEWärmeG zudem die Berücksichtigung des peripheren Stromverbrauchs (Grundwasser- bzw.

⁴ Die Heizzahl von 1,47 wurde jedoch bei sehr niedrigen, d.h. optimistisch simulierten Vor- und Rücklauftemperaturen von 24,8°C bzw. 21,3°C ermittelt (Ruhrgas 2008).

Soleumwälzpumpe, Regelung) verlangt, ist sogar die Einhaltung der Mindestheizzahl bei reinem Heizbetrieb nicht unbedingt gewährleistet. Dies bedeutet, dass bei der untersuchten DAWP im kleinen Leistungsbereich noch Effizienzverbesserungen erforderlich sind, um zukünftige gesetzliche Anforderungen sicher einhalten zu können. Da sich die Entwicklung der DAWP in einem frühen Stadium befindet, ist jedoch noch mit Potenzial bei der Effizienzverbesserung zu rechnen.

1.2.2 Abgrenzung zur Elektro-WP

Der Vergleich der Gas-WP mit der Elektro-WP gestaltet sich insbesondere aus zwei Gründen schwieriger als der oben vorgenommene Vergleich mit konventionellen Erdgaskesseln: Zum einen ist die Effizienz, und somit das Energieeinsparpotenzial, der Elektro-WP in etwas höherem Maße abhängig von der Temperaturdifferenz zwischen Wärmequelle (Umgebungstemperatur) und Wärmenutzung (Heizungsvorlauftemperatur). Zum anderen wird das resultierende CO₂-Einsparpotenzial entscheidend von der Art der Erzeugung des Wärmepumpenstroms bestimmt.

Die Güte einer elektrisch betriebenen WP-Anlage wird charakterisiert durch die Leistungszahl (Momentanwert, analog zu Wirkungsgrad) und durch die Arbeitszahl (Jahreswert, analog zu Nutzungsgrad). Die **Leistungszahl** ε (englisch **COP** = Coefficient of Performance) ist definiert durch das Verhältnis von gelieferter Wärmeleistung zu eingesetzter elektrischer Leistung und liegt typischerweise oberhalb von vier. Der für die Praxis relevante Wert ist die (**Jahres-)**Arbeitszahl α (englisch **SPF** = Seasonal Performance Factor): Sie gibt den Wärmeenergieertrag eines Jahres pro eingesetzter elektrischer Energie an und liegt typischerweise oberhalb von drei, das bedeutet, dass pro eingesetzter Kilowattstunde Strom drei Kilowattstunden (regenerativer) Umgebungswärme zusätzlich gewonnen werden können.

Die Arbeitszahl ist - wie oben angedeutet - in hohem Maße abhängig von der verwendeten Wärmequelle und der Vorlauftemperatur des Heizungssystem (vgl. Tab. 1-1).

Tab. 1-1 Abhängigkeit der Wärmepumpen-Arbeitszahl von Art der Wärmequelle und Vorlauftemperatur (Angaben inkl. Strombedarf für Pumpen u. Ventilatoren)

| Wärmequelle | Mittlere Temp. der Wärmequelle | Vorlauftemperatur | |
|-------------|-----------------------------------|-------------------|------|
| | | 35°C | 50°C |
| Grundwasser | 10°C | 4,5 | 4,0 |
| Erdreich | 0°C (Sole) | 3,8 | 3,0 |
| Luft | 2°C | 3,0 | 2,3 |

Quelle: VZN 2007

Bei der Verwendung von Grundwasser oder Erdreich als Wärmequelle können üblicherweise Arbeitszahlen > 3, in günstigen Fällen auch > 4 erreicht werden. Arbeitszahlen < 3 machen ökologisch (und auch ökonomisch) keinen Sinn, da der Gewinn an Umgebungswärme durch die Verluste bei der Stromerzeugung wieder kompensiert werden. Wärmepumpen mit Luft als Wärmequelle sind daher nur in Ausnahmefällen sinnvoll einzusetzen. Gute Voraussetzungen für den Einsatz von Wärmepumpen liegen in sehr gut gedämmten Gebäuden möglichst in Kombination mit Flächenheizungen (→ niedrige Vorlauf-temperaturen) vor. Hohe Arbeitszahlen reduzieren nicht nur die Betriebskosten für den Strom

als Antriebsquelle, sondern auch die relativ hohen Investitionskosten für die Wärmepumpe und insbesondere auch für den Wärmetauscher (z.B. in Form eines Erdkollektors).

Will man Elektro-WP und Gas-WP **primärenergetisch** miteinander vergleichen, so muss eine Aussage über den Kraftwerkswirkungsgrad getroffen werden. Dieser ist der Indikator für den Primärenergieaufwand zur Erzeugung des Wärmepumpenstroms. Das EEWärmeG (Entwurf vom 05.12.07) verlangt für Elektro-WP die Einhaltung von Mindestarbeitszahlen von 3,3 (Luft) bzw. 4,0 (Sole bzw. Grundwasser). Wie Abb. 1-6 zeigt, entspricht dies - bei einem heutigen mittleren Kraftwerkswirkungsgrad in Deutschland von rund 35% - einer äquivalenten Gas-Wärmepumpen-Heizzahl von 1,16 bzw. 1,4. Zukünftige Wirkungsgradverbesserungen im Kraftwerkspark würden die Primärenergiebilanz der Elektro-WP entsprechend verbessern.

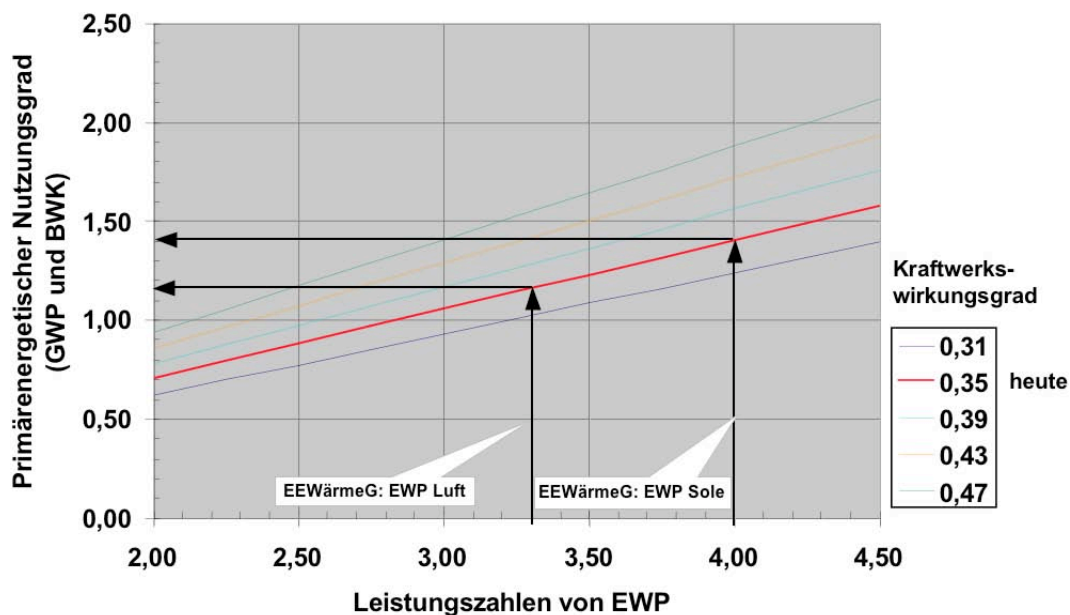


Abb. 1-6 Umrechnungsdiagramm für Leistungszahlen (Elektro-WP) und primärenergetischem Nutzungsgrad als Funktion des Kraftwerkswirkungsgrades

Quelle: Ruhrgas 2008

Der Vergleich der **Treibhausgasemissionen** (inklusive vorgelagerter Prozessketten) in Abb. 1-7 zeigt, dass die Bandbreite bei den Elektro-WP besonders groß ist: Eine gut ausgeführte Erdreich-Wärmepumpenanlage (mit niedriger Vorlauftemperatur von 35°C und dementsprechend hoher Arbeitszahl von 3,8) erzielt mit 175 g_{CO₂Äqu.}/kWh sehr gute Emissionswerte und spart gegenüber einem Brennwertkessel (bzw. Niedertemperaturkessel) rund 31% (bzw. 41%) ein.

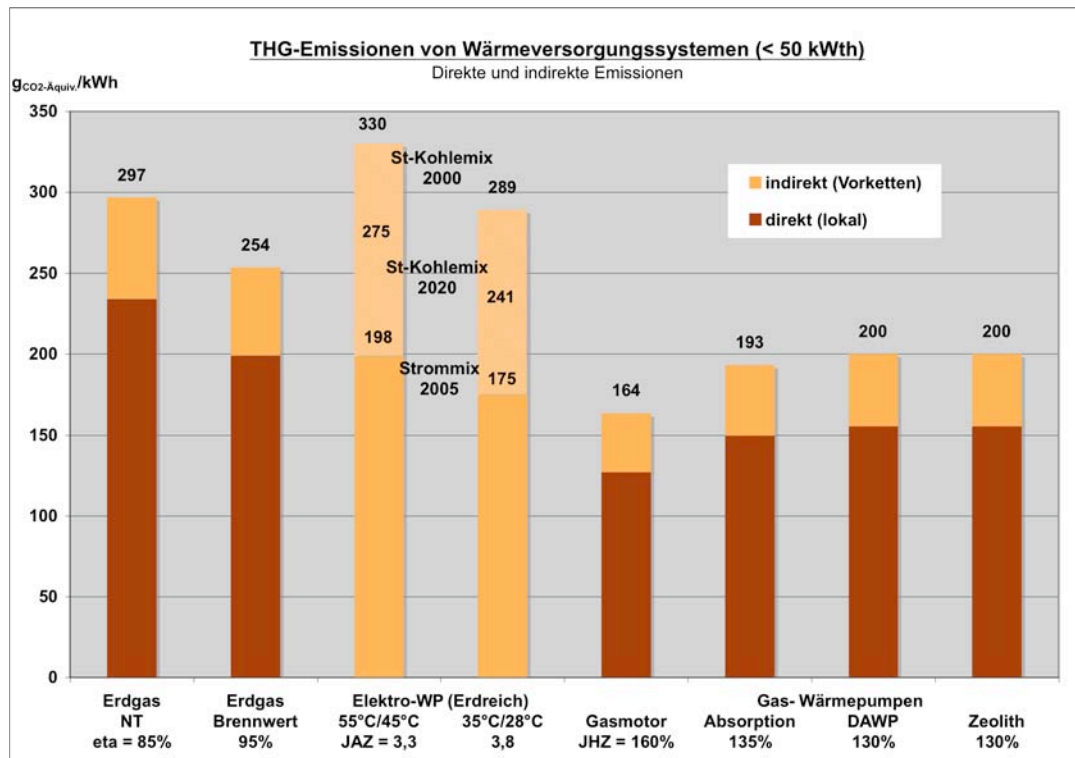


Abb. 1-7 Bandbreite der Treibhausgasemissionen von Elektro- und Gas-Wärmepumpen im Vergleich zu Erdgaskesseln (eta: Jahresnutzungsgrad / JAZ: Jahresarbeitszahl / JHZ: Jahresheizzahl)

Quellen: Eigene Berechnungen (GEMIS 4.2) / Gas-Wärmepumpen: Welp 2008 (GEMIS 4.4)

Für ein Heizsystem mit höherer Vorlauftemperatur (55°C / Arbeitszahl von 3,3) verschlechtern sich die Werte zwar auf 198 g_{CO₂Äqu.}/kWh, liegen aber immer noch 22% unterhalb derer einer Erdgas-Brennwertheizung (254 g_{CO₂Äqu.}/kWh). Die Verhältnisse kehren sich jedoch um, wenn bei der Produktion des Stroms für die Wärmepumpe nicht von dem tatsächlichen Strom-Mix in Deutschland (hier Stützjahr 2005), sondern von einer Produktion ausschließlich in Steinkohlekraftwerken ausgegangen wird: In diesem Fall liegen die Emissionen 14% (für zukünftige Kohlekraftwerke des Jahres 2020 mit 46,1% Nutzungsgrad) bis 30% (für Kohlekraftwerke des Jahres 2000 mit 39,0% Nutzungsgrad) *oberhalb* der Erdgas-Brennwerttechnik⁵.

Zukünftig ist eine Steigerung der Kraftwerkswirkungsgrade und eine weiter abnehmende CO₂-Intensität bei der Stromerzeugung zu erwarten. Dieser Umstand würde perspektivisch sowohl die Primärenergie- (vgl. Abb. 1-6) als auch die THG-Emissionsbilanz (vgl. Abb. 1-7) der Elektro-Wärmepumpe begünstigen. Voraussetzung hierfür ist jedoch, dass ausreichende zusätzliche klimaverträgliche Stromerzeugungspotenziale vorhanden sind und gleichzeitig dauerhaft hohe Arbeitszahlen im Praxisbetrieb realisiert werden können⁶.

⁵ Diese Sichtweise ist durchaus begründbar, wenn man für den Strominput das Prinzip der Grenzstromerzeugung anwendet. Daher ist davon auszugehen, dass zusätzliche strombasierte Anwendungen im Wärmesektor auf Basis von Mittellast-Steinkohlekraftwerken realisiert werden müssten. Dies hätte - wie dargestellt - eine entsprechend schlechtere Emissionsbilanz zur Folge.

⁶ Dass Letzteres nicht unbedingt gewährleistet ist, zeigt ein Feldtest der Lokalen Agenda 21 - Gruppe Umwelt/Energie Lehr, bei dem die Praxisdaten von 33 Betreibern mit Luft-, Erdreich- und Grundwasser-Heiz-

Die Gas-WP liegt etwa im Bereich von 164 $\text{g}_{\text{CO}_2\text{-Äqu.}}/\text{kWh}$ (Motor-WP, angenommener Nutzungsgrad 160%) bis 200 $\text{g}_{\text{CO}_2\text{-Äqu.}}/\text{kWh}$ (DAWP und Zeolith, Nutzungsgrad 130%). Dies bedeutet, dass sie bezüglich der Treibhausgasemissionen etwa vergleichbar sind mit Elektro-WP, sofern man für den bereitgestellten Wärmepumpenstrom den Strom-Mix 2005 ansetzt. Gas-WP sind jedoch Elektro-WP deutlich überlegen, wenn der Ansatz der Grenzstromerzeugung aus Steinkohlekraftwerken verfolgt wird.

Neben Treibhausgasen sind noch weitere schädigende energiebedingte Emissionen zu berücksichtigen. Als Beispiel seien hier die versauernden Luftschadstoffe (insbesondere SO_2 , NO_x und HCl) genannt, die in einer Ökobilanz im SO_2 -Äquivalentwert zusammengefasst werden. Die direkten und indirekten SO_2 -Äquivalente der Gas-WP liegen etwa 50% unterhalb von denen der Elektro-WP (eigene Berechnungen mit GEMIS 4.2 / Welp 2008). Im Gegensatz zur Elektro-WP fällt bei Gas-WP außerdem in der Vorkette kein radioaktiver Müll an.

1.3 Technische Spezifikation und Vor- und Nachteile der betrachteten Gas-Wärmepumpen

In diesem Kapitel werden die Vor- und Nachteile von Gas-WP im Vergleich zu den Referenzsystemen (Erdgas-Brennwertkessel und Elektro-WP) und im Vergleich untereinander aufgezeigt. Betrachtet werden dabei folgende drei Typen:

- a) **Gasmotor-WP** (mit Luftkollektor) ca. 18 - 75 kW
Hersteller: z.B. Aisin / Toyota Group, Mitsubishi Heavy Industries, Sanyo (marktreif)
- b) **(Diffusions)-Absorptions-WP** (mit Erdwärmesonde oder Luftkollektor)
Hersteller:
Robur (marktreif; 35 - 180 kW),
Buderus / Bosch Thermotechnik⁷ (Entwicklung/Feldtest DAWP; 3,6 kW + 19 kW
Zusatzbrennwertgerät)
- c) **Zeolith-Adsorptions-WP** (mit Solar-Luft-Kollektor) 10 kW
Hersteller: Vaillant (Entwicklung/Feldtest Zeolith-Wasser-WP)

Die gasmotorisch betriebenen Anlagen wurden in Japan entwickelt. Im asiatischen Raum spielen Klimatisierungsanwendungen eine große Rolle. Dies ist der Grund dafür, dass dort bereits frühzeitig - neben elektrisch betriebenen Kühlsystemen - auch Gas-Klimageräte entwickelt wurden, die sowohl zu Kühl- als auch zu Heizzwecken eingesetzt werden können. Lt. ASUE 2006 sind weltweit mehr als 600.000 Anlagen im Einsatz. In Deutschland werden ca. 90 Anlagen betrieben, deren kumulierte Anschlussleistung bei 2,7 $\text{MW}_{\text{Kälte}}$ bzw. 3,3 MW_{Heiz} liegt (s. Abb. 1-8).

Wärmepumpen und 4 Betreibern mit Warmwasser-Wärmepumpen in Ein- und Zweifamilienhäusern ausgewertet wurden: Die untersuchten Erdreich-Wärmepumpen mit Fußbodenheizung erreichen im Mittel eine Jahresarbeitszahl von $\text{JAZ} = 3,5 - 3,6$, gefolgt von Grundwasser-Wärmepumpen mit einer $\text{JAZ} = 3,4$. Die Luft-Wärmepumpen aus dem Praxistest weisen jedoch im Mittel nur $\text{JAZ} = 3,0$ (Fußbodenheizung) bzw. $\text{JAZ} = 2,3$ (Radiator-Heizkörper) auf. Noch ungünstiger sind die Werte der ebenfalls mit Luft betriebenen Klein-Warmwasser-Wärmepumpen mit einer mittleren Arbeitszahl von nur $\text{JAZ} = 1,7$ (Umwelt/Energie Lahr 2007).

⁷ 2003 wurde die Buderus AG von der Robert Bosch GmbH übernommen und in BBT (Bosch-Buderus-Thermotechnik GmbH mit Hauptsitz in Wetzlar) umbenannt. Die BBT GmbH wiederum wurde zum 1. Januar 2008 umfirmiert und trägt nun den Namen Bosch Thermotechnik GmbH.



Abb. 1-8 Gasklimageräte in Deutschland

Quelle: ASUE Sep. 2006

Die italienische Fa. **Robur** bietet für den Leistungsbereich von 35 - 180 kW **Absorptions-WP** an, die wahlweise als reine Heiz- und Warmwasserbereitungsanlagen oder als kombinierte Kühl- und Heizanlagen (Heizbetrieb im Winter / Kühlbetrieb im Sommer) ausgeführt sind. Als Umgebungsenergie kann - wie bei der Elektro-WP - Wärme aus dem Erdreich, der Luft und aus Wasser genutzt werden. Eine dokumentierte Referenzanlage⁸ (17 kW_{Kälte} / 35 kW_{Wärme}) wurde z.B. 2006 von der Bayerischen Rhöngas GmbH in Bad Neustadt zur Beheizung und Klimatisierung eines Bürogebäudes der Überlandwerk Rhön GmbH installiert.

Im Gegensatz zu den als marktreif zu bezeichnenden Gasmotor-WP und der Absorptions-WP von Robur befinden sich die für den kleineren Leistungsbereich geeignete DAWP ebenso wie die Zeolith-WP noch im Feldteststadium. An diesen für 2007 und 2008 durchgeführten Feldtests beteiligen sich neben den Herstellern Buderus (Bosch Thermotechnik, Wetzlar) und Vaillant (Remscheid) die Gasversorger e.on Ruhrgas (Essen) und GASAG (Berlin).

In dem Feldtest wird die **DAWP** von **Buderus** (Typbezeichnung Loganova) mit einem Ammoniak-Wasser-Gemisch als Kältemittel und Helium als Hilfgas (zum Antrieb des Kältemittelkreislaufs) betrieben. Als Wärmequelle dient eine 27 m tiefe Erdsonde. Die WP hat inklusiv der Umgebungswärme eine Heizleistung von 3,6 kW. Der Spitzenlastbetrieb wird

⁸ S.u. http://www.robur.com/pag_news_dett.jsp?id_news=258&cat=12 (Zugriff 13.02.08)

über ein integriertes Brennwertgerät mit zusätzlichen 19 kW realisiert. Als Maße für den Prototypen werden 200 x 60 x 60 cm (H x B x T) angegeben⁹. Die GASAG gibt ein Energieeinsparpotenzial von 25% gegenüber Brennwerttechnik an (GASAG 2007a). Die DAWP wird derzeit in Einfamilienhäusern in Berlin, Marl, Dorsten, Moers, Essen, Ratingen, Neuss, Fulda und Frankfurt getestet. In dem Feldtest werden in einer ersten Phase (September 2007 bis April 2009) 10 Geräte und in einer zweiten Phase (Juni 2008 bis Dezember 2009) weitere 50 bis 100 Geräte unter Praxisbedingungen getestet (Ruhrgas 2008).

Die auf dem **Adsorptions**prinzip basierende **Zeolith-Wasser-WP**¹⁰ der Fa. **Vaillant** liefert über Solar-Luft-Kollektoren eine Heizleistung von insgesamt 10 kW. Die Baugröße für den Prototypen beträgt 170 x 80 x 70 cm (H x B x T). Der Jahresnutzungsgrad wird mit 130% und die Energie- und Emissionseinsparungen gegenüber Brennwerttechnik mit 17% angegeben (GASAG 2007b / Vaillant 2005).

1.3.1 Vorteile der Gas-Wärmepumpe

Im Folgenden werden die Vorteile der oben beschriebenen Gas-WP im Vergleich zu den Referenzsystemen und im Vergleich untereinander dargestellt.

Vorteile gegenüber Gas-Brennwerttechnik

Im Vergleich zu Erdgas-Brennwertkesseln ergeben sich folgende systembedingte Vorteile:

- Hohe Heizzahlen von ca. 135 bis 150%, dadurch deutliche Effizienzgewinne und damit Primärenergieeinsparungen von ca. 17 bis 40%
- Deutliche CO₂-Einsparpotenziale von ca. 20 bis 35% (vgl. Abb. 1-7)
- Durch technischen Fortschritt perspektivisch noch weitere Effizienzsteigerungen möglich, während Gas-Brennwerttechnik bereits technisch ausgereift und nahe am physikalisch möglichem Wirkungsgrad ($H_i = 100\%$ bzw. $H_s = 111\%$) angelangt ist
- Möglichkeiten zur Kühlung und zur kombinierten Wärme- und Kälteerzeugung

Vorteile gegenüber Elektro-WP:

- Je nach Ausführung geringerer Primärenergieeinsatz als bei Elektro-WP
- Unabhängig von der Betrachtungsweise der Stromproduktion niedrige CO₂-Emissionen; bei Betrachtung Kraftwerksmix heute etwa auf gleichem Niveau wie Elektro-WP (Erdreich mit 35°C/28°C), bei Grenzstromerzeugungs-Ansatz mit minus 31 bis minus 41% (Steinkohlemix 2000) bzw. minus 17 bis minus 32% (Steinkohlemix 2020) erheblich geringere Emissionen (vgl. Abb. 1-7)
- Bei Wärmequelle Erdreich: Aufgrund der Nutzung von Verbrennungsabwärme ca. bis zu 40% kleinere Wärmetauscher-Flächen (Sonde/Kollektor) erforderlich

⁹ Mit zwei Metern Bauhöhe ist der derzeitige Prototyp für Keller mit niedriger Deckenhöhe ungeeignet. Lt. Hersteller hat das Nachfolgemodell jedoch eine geringere Bauhöhe.

¹⁰ Zeolithe sind keramikähnliche Feststoffe aus Aluminiumoxid und Siliziumoxid, welche in der Lage sind, unter Wärmeabgabe große Mengen Wasser zu adsorbieren. Unter Wärmezufuhr kann das Wasser wieder ausgetrieben werden (reversibler Prozess). Die ökologisch unbedenklichen Stoffe werden u.a. seit den 1980er Jahren in Waschmitteln zur Wasserenthärtung eingesetzt.

- Investitionskostenersparnis bei der Erschließung der Wärmequelle
- Erweiterung des Anwendungsbereiches auf Gebäude mit begrenzter Gartenfläche
- Bei Wärmequelle Luft: Aufgrund der Nutzung von Verbrennungsabwärme geringerer Leistungs- und Wirkungsgradabfall bei niedrigen Außentemperaturen (Gas-WP: minus 24...30% / Elektro-WP: minus 30%...35% zwischen +10°C und -15°C Außentemperatur, s. Beispiel in Abb. 1-9); weitere Vorteile:
 - Kürzere Anlaufzeiten
 - Eis-Abtauphasen entfallen

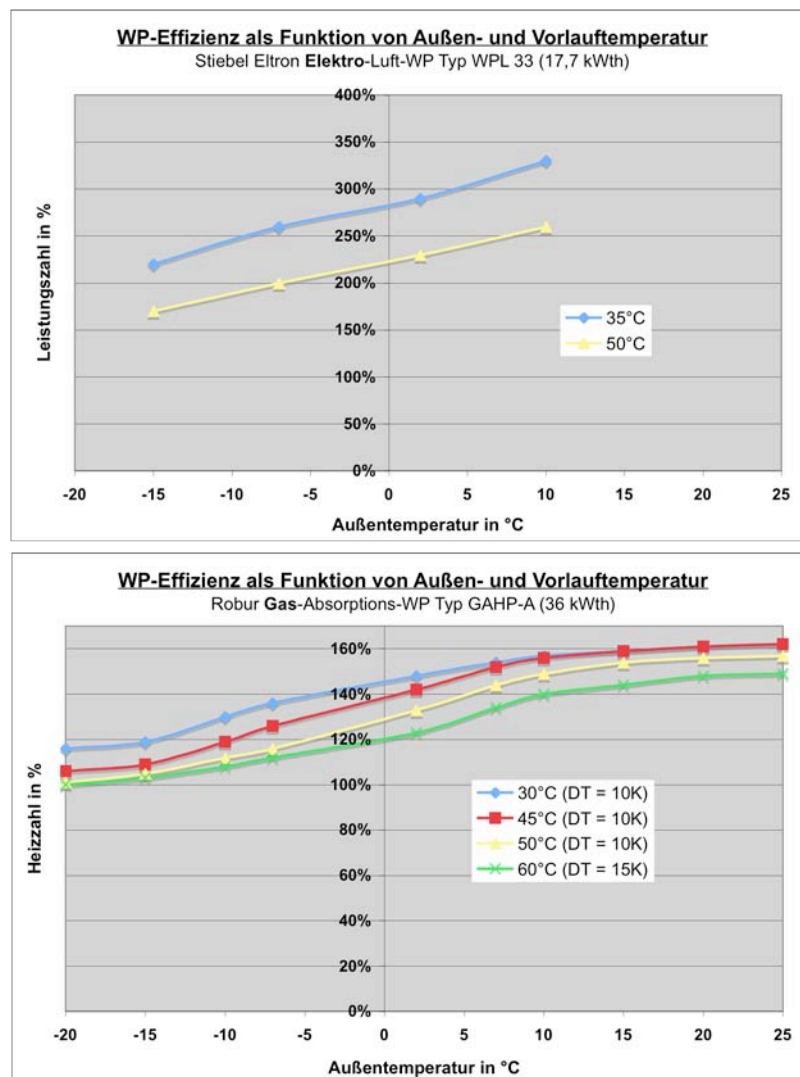


Abb. 1-9 Effizienzvergleich zwischen Elektro- und Gas-WP als Funktion von Außen- und Vorlauftemperatur

Vergleich Gas-WP untereinander:

Vorteile Gasmotor-WP:

- Weitere Effizienzgewinne gegenüber Sorptions-WP (je nach Anlagengröße bis zu +10%)
- Produkte sind marktverfügbar und Anwendungserfahrung liegt vor

- Flexiblerer Einsatz möglich, da Wärme auf verschiedenen Temperaturniveaus zur Verfügung steht (gute Eignung für industrielle / gewerbliche Anwendungen):
 - Sensible Wärme im Abgas mit 600°C (→ Nutzwärme von 100°C),
 - Kühlwasserwärme (→ Nutzwärme von ca. 90°C),
 - Kondensatorwärme (→ Nutzwärme von 40 bis 50°C) sowie
 - Verdampferwärme (je nach Wärmequelle i.d.R. zwischen 0° und 10°C)

Vorteile Sorptions-WP (allgemein):

- Relativ leise, daher besondere Eignung im Wohngebäudebereich (aber bei Luft als Wärmequelle Geräusche durch Ventilator)
- Besonders schadstoffarme Verbrennung (vergleichbar Brennwertkessel)
- Wartungsarmer Betrieb (da nur wenige bewegte Teile)

Vorteile DAWP:

- Besonders leise und wartungsarm, da ohne Lösungsmittelpumpe
- Hilfsstrombedarf für Lösungsmittelpumpe entfällt
- Prototyp geeignet für kleinen Leistungsbereich (EF- und MF-Häuser)
- s.a. Vorteile Sorptions-WP (allgemein)

Vorteile Zeolith-WP:

- Prototyp geeignet für kleinen Leistungsbereich (EF- und MF-Häuser)
- Unproblematisches Kältemittel (Zeolithe sind ungiftig und nicht brennbar)
- In Verbindung mit Solar-Luft-Kollektor keine Gartenfläche erforderlich
- s.a. Vorteile Sorptions-WP (allgemein)

1.3.2 Nachteile der Gas-Wärmepumpe

Im Folgenden werden die Nachteile der oben beschriebenen Gas-WP im Vergleich zu den Referenzsystemen und im Vergleich untereinander dargestellt.

Nachteile gegenüber Gas-Brennwerttechnik

Im Vergleich zu Erdgas-Brennwertkesseln weisen Gas-WP folgende Nachteile auf:

- Höhere Investitionskosten für WP-Gerät und Erschließung einer Wärmequelle (Luft / Wasser / Erdreich)
- Höherer Planungsaufwand
- Größerer Platzbedarf

- Höhere Schadstoff- und Lärmemissionen (betrifft nur Gasmotor-WP)
- Bei Sonde/Kollektor Gartenfläche, bei Solar-Luftkollektor Dachfläche und bei Luft-WP Aufstellfläche im Außenbereich erforderlich
- Bei Luftkollektor Geräuschentwicklung

Nachteile gegenüber Elektro-WP:

- Lokale Schadstoffemissionen (jedoch auf geringem Niveau)
- Gasanschluss erforderlich
- Geringere Marktverfügbarkeit bzw. Langzeiterfahrung
- Ggf. erhöhter Platzbedarf (jedoch kompaktere Geräte in Entwicklung)
- (Derzeit noch) höhere Investitionskosten für das WP-Gerät

Vergleich Gas-WP untereinander:

Nachteile Gasmotor-WP:

- Höhere Schadstoff- und Lärmemissionen (Verbrennungsmotor)
- (Derzeit) keine Anlagen für kleinen Leistungsbereich verfügbar
- Höherer Verschleiß, regelmäßige Wartungsarbeiten erforderlich

Nachteile Sorptions-WP (allgemein):

- Geringere Effizienz als Gasmotor-WP (bis zu -10%)
- (Derzeit noch) höhere Investitionskosten

Nachteile DAWP:

- Derzeit nur Prototyp (im Feldtest) verfügbar
- Aufwändigeres Handling für Kältemittel erforderlich (Ammoniak ist toxisch und brennbar)
- s.a. Nachteile Sorptions-WP (allgemein)

Nachteile Zeolith-WP:

- Derzeit nur Prototyp (im Feldtest) verfügbar
- s.a. Nachteile Sorptions-WP (allgemein)

1.4 Aspekte der Systemintegration

Erdgas-WP sind - ebenso wie Elektro-WP - in der Lage, Umgebungswärme (d.h. einen bestimmten Regenerativanteil) in ein Heizungssystem einzuspeisen. Dabei wirken sich

Niedertemperatur-Heizsysteme (d.h. Flächenheizungen mit niedrigen Vorlauftemperaturen) günstig auf die Effizienz der Anlage aus (hohe Arbeits- bzw. Heizzahl). Voraussetzung für den Einsatz von Niedertemperatur-Heizsystemen ist i.d.R. ein guter Wärmestandard des Gebäudes. Insofern eignen sich Wärmepumpen besonders im **Neubau** sowie im energetisch anspruchsvoll saniertem Bestand. Da Gas-WP durch ihren Brenner bzw. Motor zusätzlich zur Umgebungswärme eine Wärmequelle auf höherem Niveau zur Verfügung steht, eignet sich die Gas-WP jedoch auch - mit Einschränkungen - für den Gebäudebestand mit schlechteren Dämmstandards. Da im **Altbau** nicht immer eine Nachrüstmöglichkeit für Erdkollektorsysteme realisierbar ist, kommt hier die Nutzung einer Gasmotor-WP oder einer Sorptions-WP mit Solar-Luftkollektor in Betracht, die tendenziell energetisch günstiger zu bewerten sind als elektrisch betriebene Luft-WP.

Für extrem gut gedämmte Gebäude, insbesondere **Passivhäuser**, ist die Gas-WP jedoch insbesondere aus zwei Gründen der Elektro-WP unterlegen: Derzeit gibt es noch keine Gas-WP-Anlagen für den Kleinstleistungsbereich (Heizleistungsbedarf für Passivhäuser: max. 10 W/m²) und für derart geringe Leistungen ist ohnehin ein Gasanschluss des Gebäudes i.d.R. ökonomisch nicht mehr vertretbar. Für Gebäude nach EnEV-Standard (Neubau oder Sanierung) deuten sich neue, innovative Hybridsystem-Lösungen an, die derzeit mit Elektro-WP realisiert werden, ggf. zu einem späteren Zeitpunkt auch mit kleinen Gas-WP vorstellbar wären (s. Infobox zu SOLAERA).

WP sind auch als **Klimageräte** auslegbar. Da aufgrund der Klimaerwärmung zukünftig auch in Deutschland ein wachsender Klimatisierungsbedarf zu erwarten ist, ist dies ein zusätzliches Argument für den Einsatz von WP. Unter dem Gesichtspunkt der integralen Planung sollte jedoch zunächst immer versucht werden, den Klimatisierungsbedarf durch verschiedene Maßnahmen (Dämmung, Verschattung, Verringerung der internen Kühllasten, Nachtkühlung etc.) so gering wie möglich zu halten. Erst wenn diese Effizienz-Maßnahmen erschöpft sind, sollte eine aktive Kühlung in Betracht gezogen werden. Diese kann bei Vorhandensein einer WP mit Erdsonde bzw. Erdkollektor besonders energiesparend über eine freie Kühlung¹¹ realisiert werden.

Was die zukünftige Integration in das Energiesystem betrifft, lassen sich folgende Aussagen treffen: Der **ökologische** Vorteil der Erdgas-WP gegenüber der Elektro-WP schwindet mit zunehmend CO₂-freier werdendem Strom. Auf der anderen Seite verbessert wiederum ein zukünftig verstärkter Einsatz von Biogas die Ökobilanz der Erdgas-WP. Genaue Effekte sind derzeit noch schwer abschätzbar bzw. müssten in einer Szenarienrechnung quantifiziert werden. Ähnliches gilt für die **ökonomische** Betrachtung: Unabhängig davon, dass für den kleinen Leistungsbereich derzeit nur Gas-WP-Prototypen (von Buderus und Vaillant) zur Verfügung stehen und somit noch keine belastbaren Aussagen über spezifische Investitionskosten vorliegen, ist die zukünftige Energiepreisentwicklung von Strom und Gas entscheidend dafür, ob bei den Wärmegestehungskosten die WP auf Basis von Strom oder auf Basis von Gas günstiger abschneiden wird. Auch hier könnte eine Szenarienbetrachtung erste Abschätzungen liefern.

¹¹ Bei der „Freien Kühlung“ (auch „natural cooling“) wird das kühle Erdreich oder Grundwasser genutzt, um die Raumwärme im Sommer abzuleiten. Dabei bleibt die Wärmepumpe bis auf die Regelung und Umwälzpumpen ausgeschaltet, so dass sich der Energieeinsatz auf den Hilfsstrombedarf für die Kollektor- und Heizkreispumpen beschränkt. Die Fa. Viessmann bietet beispielsweise eine vormontierte „natural cooling“-Box mit integriertem Mischer (zur Verhinderung der Taupunktunterschreitung) an.

(www.viessmann.de/de/products/Heat_pumps/NC-Box.html)

Infobox Systemintegration Solarwärme/Latentwärmespeicher:

Einen innovativen Ansatz verfolgt die **Fa. Consolar** mit ihrem **SOLAERA** genannten Konzept: SOLAERA ist eine Kombination aus elektrischer Wärmepumpe, hybridem Solarkollektor (Luft- und Flüssigkeits-Kollektor) und Eisspeicher. Das Interessante an diesem Konzept ist, dass bei der Anlage im Gegensatz zu reinen Solarkollektoren auch ein Nacht- bzw. Schlechtwetterbetrieb möglich ist und über den Eisspeicher (Latentwärmespeicher) ein kompakter Wärmespeicher mit hoher Kapazität und geringen Verlusten zur Verfügung steht. Dadurch ist - für Gebäude nach EnEV-Standard (max. 10 MWh Jahresverbrauch) - eine 100%-Versorgung mit diesem System möglich. Lt. eigenen Aussagen können im Vergleich zu einer konventionellen Öl- bzw. Gasheizung bis zu 60% CO₂ eingespart werden und Jahresarbeitszahlen von 5 bis 7 erzielt werden. Für 2007 ist ein Feldtest und für 2008 eine erste Vermarktung geplant. Zusammengefasst kombiniert diese Anlage die Vorteile einer Luft-WP (keine Investitionskosten für Erdkollektoren, keine Erdarbeiten, Schornstein, Gasanschluss, Tank oder Lagerbehälter) mit den Vorteilen einer Solaranlage (hohe Primärenergieeinsparung).

Weitere Infos unter: www.consolar.de/solaera.html

1.5 Abschließende Bewertung / Fazit

Als Fazit können folgende Aussagen getroffen bzw. Empfehlungen ausgesprochen werden:

- Gas-WP sind aus ökologischer Sicht bereits heute der Gasbrennwerttechnik überlegen.
- Im Gegensatz zur Brennwerttechnik weisen Gas-WP noch Optimierungspotenziale auf, die einen weiteren Ausbau des ökologischen Vorsprungs erwarten lassen.
- Der ökologische Vergleich zur Elektro-WP wird in hohem Maße von den Annahmen zur Erzeugung des WP-Stromes bestimmt: Im (für die Elektro-WP) günstigen Fall liegen Gas- und Elektro-WP etwa auf gleichem Niveau, im ungünstigen Fall hat die Erdgas-WP erhebliche ökologische Vorteile gegenüber der Elektro-WP zu bieten.
- Wie die WP-Systeme aus ökologischer Sicht zukünftig zu bewerten sind, hängt in entscheidendem Maße vom zukünftigen Strom-Mix (fossile, nukleare und regenerative Anteile) sowie Gas-Mix (Anteile Erdgas/Biogas) ab.
- Wie die WP-Systeme aus ökonomischer Sicht zukünftig zu bewerten sind, hängt in entscheidendem Maße von der Entwicklung zukünftiger Strom- und Gaspreise ab.
- Als optimale Einsatzgebiete eignen sich tendenziell:
 - die Erdgas-WP für den Bestand (höherer Energiebedarf, höhere Vorlauftemperatur, keine (Luft-WP) bzw. weniger (Sole-WP) Erdarbeiten erforderlich, Erdgasanschluss vorhanden)
→ Verdrängung Erdgas-Brennwertkessel
 - die Elektro-WP für den sehr gut gedämmten Neubau (geringer Energiebedarf, niedrige Vorlauftemperaturen)
- Die Kompatibilität von Erdgas-WP für den Einsatz in Gebäuden mit Passivhaus-Standard ist voraussichtlich nicht gegeben.

- Grundsätzlich können WP davon profitieren, dass ihr Einsatzbereich auch auf eine Kühlfunktion im Sommer erweiterbar ist. Dabei sollte auf eine aktive Kühlung durch die Anlage soweit möglich verzichtet werden und stattdessen die energiesparende Variante der freien Kühlung (natural cooling) genutzt werden (nur möglich mit Erdreich als Wärmequelle).
- Feldtests von (Elektro-)WP-Anlagen haben gezeigt, dass in der Praxis die Effizienz der Anlage oft erheblich von den von Herstellern, Verbänden und teilweise auch der Politik beworbenen Werten abweicht. Diesem Problem sollte durch entsprechende Qualitätssicherung, d.h. fachgerechte Planung und Installation auf der einen Seite und konsequentes Energiemonitoring (u.a. durch Einbau von Wärmemengenzählern) auf der anderen Seite begegnet werden.

Anhang

MAP 2008 und EEWärmeG 2009 (Mindestarbeitszahlen für Wärmepumpen)

Das für 2009 geplante **EEWärmeG**¹² schreibt zukünftig für Neubauten die Nutzung von erneuerbarer Wärme (Biomasse, Solarenergie, Umgebungs- oder Geothermiewärme) vor. In dem Entwurf vom 5. Dez. 2007 werden für den Einsatz von Wärmepumpen (zur Nutzung von Umgebungs- oder Geothermiewärme) Mindestarbeitszahlen genannt, die in Tab. 1-2 dokumentiert sind. Ferner sind in der Tabelle die im neuen **MAP**¹³ (Marktanreizprogramm) für 2008 geforderten Mindestarbeitszahlen gelistet, die für die Förderfähigkeit von Wärmepumpen nachgewiesen werden müssen.

Tab. 1-2 Mindestens einzuhaltende Jahresarbeitszahlen für den zukünftigen Einsatz von Wärmepumpen im Neubau (gemäß für 2009 geplantem EEWärmeG) bzw. für die Förderfähigkeit im Neubau oder Altbau (gemäß Marktanreizprogramm 2008)

| Mindest-JAZ | EEWärmeG 2009 | MAP 2008 | |
|-----------------------------------|------------------|-------------|--------|
| | Neubau | Neubau | Altbau |
| Elektro-WP | | | |
| Sole/Wasser bzw. Wasser/Wasser | 4,0 | 4,0 | 3,7 |
| Luft/Wasser | 3,3 | 3,5 | 3,3 |
| Gas-WP | 1,2 | 1,2 | |
| Innovationsbonus | - | 4,7 | 4,5 |

Europäische und deutsche Umweltlabel für Wärmepumpen („Euro-Blume“ und „Blauer Engel“)

Das EU-Label **„Euro-Blume“** (vom 9. Nov. 2007) definiert Mindestleistungs- und Mindestheizzahlen für Elektro-, Gasmotor- und Gasabsorptionswärmepumpen mit einer Heizleistung bis 100 kW. Nebenbedingung ist ein maximaler GWP-Wert von 2.000 (Global Warming Potential). Weitere Infos unter:

http://ec.europa.eu/environment/ecolabel/product/pg_heatpumps_en.htm

Das deutsche Umweltzeichen **„Blauer Engel“** orientiert sich an einem CO₂-Äquivalenzwert und bewertet elektrische Wärmepumpen nach dem TEWI-Konzept (Total Environmental Warming Impact). Bei dieser ganzheitlichen Bewertung werden die Klimawirkungen aus der Energieerzeugung und aus dem Kältemittel über einen zusammengefassten CO₂-Äquivalenzwert (TEWI) bilanziert wird. Weitere Infos zu den Kriterien für

Elektrisch betriebene WP unter:

http://www.blauer-engel.de/deutsch/produkte_zeichenanwender/vergabegrundlagen/ral.php?id=141

¹² http://www.erneuerbare-energien.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/entwurf_ee_waerme.pdf

¹³

http://www.bafa.de/bafa/de/energie/erneuerbare_energien/vorschriften/energie_ee_richtlinie_2008.pdf

und für Gasbetriebene WP unter:

http://www.blauer-engel.de/deutsch/produkte_zeichenanwender/vergabegrundlagen/ral.php?id=130

2 Literatur

- ASUE 2006a: Heizen und Kühlen mit Gaswärmepumpen / Gasklimageräten.
www.asue.de/veroeff/g_w_pump/image/Heizen_und_Kuehlen_Gaswaermepumpen_2006.pdf
und
www.asue.de/veroeff/g_w_pump/image/Gasklima_Folder_A4.pdf
- ASUE 2006b: Marktübersicht Gasklimageräte, Gaswärmepumpen, Gasabsorptionskälteanlagen – Angebot und Anbieter:
www.asue.de/images/veroeff_pdf/marktuebersicht_2006_gesamt.pdf
- BINE 2005: Heizen mit Zeolith-Heizgerät. BINE-Projekt Info 02/05 des FIZ Karlsruhe, Bonn 2005
- BINE 2007: Wärmepumpen - Heizen mit Umweltenergie. BINE Informationsdienst des FIZ Karlsruhe, Verlag Solarpraxis AG, Berlin 2007
- DBU 2004: Felduntersuchung: Betriebsverhalten von Heizungsanlagen mit Gas-Brennwertkesseln. gefördert von der DBU (Förderkennzeichen 14133), Wolfenbüttel 2004
<http://www.delta-q.de/servlet/PB/menu/1022154/index.html>
- GASAG 2007a: Innovativ mit Erdwärme: die gasbetriebene Diffusions-Absorptions-Wärmepumpe. Flyer der GASAG Berlin 2007
http://www.gasag.de/de/y_downloads/pdf_neu/innovationen/loganova_diff_absorp_wp.pdf
- GASAG 2007b: Innovativ mit Umweltwärme: die gasbetriebene Zeolith-Wärmepumpe. Flyer der GASAG Berlin 2007
www.gasag.de/de/y_downloads/pdf_neu/innovationen/zeolith.pdf
- Robur 2006: Robur GAHP Produktreihe - Gas-Absorptionswärmepumpen zum Heizen und/oder Kühlen mittelgroßer und großer Gebäude. Produktkatalog der Fa. Robur Spa, Verdellino/Italien
http://www.robur.com/gestione/immagini/allegati_prodotti/GAHP-DE-X-DPL194-10-06.zip
- Robur 2007: Grundinformationen zu elektrischen und Gas-Absorptionswärmepumpen - Funktionsprinzip und technische Unterschiede. Information der Fa. Robur 2007,
www.robur.com/gestione/immagini/allegati_news/Warmepumpen_Vergleich_Teil1.pdf
- Ruhrgas 2008: Weßing, W. / Droste, W.: Stand der Entwicklung der Gaswärmepumpe für das Einfamilienhaus. Vortrag der E.ON Ruhrgas AG (TGT Anwendungstechnik) auf der ASUE-Fachtagung Heizen und Kühlen mit Gaswärmepumpen am 12. März 2008 in Aalen-Treppach
- Umwelt/Energie Lahr 2007: Feldtest Elektro-Wärmepumpen: Nicht jede Wärmepumpe trägt zum Klimaschutz bei. Erfassung der Leistungsfähigkeit von Elektro-Wärmepumpen unter realistischen Betriebsbedingungen am Oberrhein. Eine zweijährige Untersuchung der Lokalen Agenda 21 - Gruppe Umwelt/Energie Lahr und der Ortenauer Energieagentur Offenburg über die Ergebnisse der ersten Heizperiode 2006/07.
- Vaillant 2005: Innovation Zeolith Heizgerät. Produktinfo 03/05 der Vaillant GmbH & Co. KG, Remscheid
http://www.vaillant.de/stepone2/data/downloads/52/44/00/Broschuere_Zeolith.pdf
- VZN 2007: Heizung und Warmwasser - Moderne Heiztechnik mit Sonnenenergie, Holz und Co.. Verbraucherzentrale Niedersachsen e.V. Hannover 2007
- Welp 2008: Welp, A.: Einsatz von gasbetriebenen Wärmepumpen in der Hausenergieversorgung. Masterarbeit (Master of Science) an der Universität Koblenz-Landau FB3 (Mathematik / Naturwissenschaften), Koblenz Februar 2008