

Energie sparen durch Wärmepumpenanlagen



Baden-Württemberg

WIRTSCHAFTSMINISTERIUM

Energie sparen ...

durch Wärmepumpenanlagen



Fast 40 % der in Deutschland insgesamt eingesetzten Endenergie fließen in die Raumheizung und Warmwasserbereitung. Wärmepumpen bieten sich hier als energieeffiziente und kostengünstige Heizsysteme besonders an: Sie nutzen gespeicherte Sonnenenergie in Form der Umgebungswärme aus dem Erdreich, aus dem Grund- und Oberflächenwasser sowie der Außenluft.

Die Technologie der Wärmepumpe ist mittlerweile ausgereift, in der Praxis bewährt und bietet eine viel versprechende Alternative zu Öl oder Gas. Ein Einsatz lohnt sich vor allem in Neubauten und in gut wärmegeämmten Altbauten, insbesondere in Verbindung mit einem Niedertemperatur-Heizsystem.

Damit diese Technologie all ihre Vorzüge ausspielen kann, werden jedoch an die Planung und Ausführung hohe Qualitätsanforderungen gestellt. Auch müssen insbesondere im Altbau passende Rahmenbedingungen vorliegen, damit die Effizienz der Gesamtanlage nicht leidet. Es besteht sonst die Gefahr, dass die Ergebnisse hinter den Möglichkeiten und Erwartungen zurück bleiben.

Mit dem raschen Anstieg installierter Anlagen wird die Qualitätssicherung immer wichtiger. Dazu laufen auf Landesebene vielfältige Aktivitäten und Arbeitsgruppen von der Erstellung mehrerer Handreichungen bis zum Projekt „Wärmepumpendoktor“ für bereits laufende Anlagen. Laufende Feldtests und Auswertungen tragen zu weiteren wichtigen Erkenntnissen bei.

Das Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg möchte mit dieser Broschüre einen Beitrag zur verstärkten Nutzung erneuerbarer Energien in Baden-Württemberg und damit zur Sicherung der Beschäftigung und Wettbewerbskraft von Handwerksunternehmen leisten.

Mein besonderer Dank gilt dem Steinbeis-Transferzentrum Energie-, Umwelt- und Reinraumtechnik, Offenburg für die wissenschaftliche Bearbeitung, dem Fraunhoferinstitut für solare Energiesysteme (ISE), Freiburg für die Bereitstellung von Messergebnissen und Anlagendaten sowie der sehr engagierten Arbeitsgruppe Wärmepumpe im Landesarbeitskreis „Innovative Energienutzung in Gebäuden und Betrieben“ für die Zusammenstellung der Anlagen-Steckbriefe und die fachlich kompetente Begleitung.

Ernst Pfister MdL
Wirtschaftsminister des Landes Baden-Württemberg

Stuttgart, im Dezember 2009

Energie sparen durch Wärmepumpenanlagen

Impressum

Herausgeber:

Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg
Informationszentrum Energie
Theodor-Heuss-Str. 4
70174 Stuttgart
Tel.: (0711) 123-2526
Fax: (0711) 123-2377
Internet: www.wm.baden-wuerttemberg.de
E-Mail: poststelle@wm.bwl.de

Inhaltliche Bearbeitung:

STZ-EURO
Steinbeis-Transferzentrum Energie-, Umwelt- und
Reinraumtechnik, Offenburg
Dipl.-Ing. (FH) Michael Kuhn

Redaktion:

Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg
Dipl.-Ing Harald Höflich

Gestaltung Umschlag:

Axel Göhner, Wirtschaftsministerium
Baden-Württemberg

Gestaltung:

wahl_visuellegestalter, Stuttgart

Druck:

Druckerei Mack GmbH, Schönaich

10. aktualisierte Auflage Dezember 2009

Die Broschüre entstand in enger Zusammenarbeit und Abstimmung mit der Arbeitsgruppe Wärmepumpe im Landesarbeitskreis „Innovative Energienutzung in Gebäuden und Betrieben“.

01 EINFÜHRUNG	EINFÜHRUNG	6	07 EINFLUSSGRÖSSEN AUF DIE EFFIZIENZ VON WÄRMEPUMPEN- HEIZANLAGEN	EINFLUSSGRÖSSEN AUF DIE EFFIZIENZ VON WÄRMEPUMPEN- HEIZANLAGEN	42
02 MARKTENTWICK- LUNG	MARKTENTWICKLUNG	8		7.1 VORBEMERKUNGEN	42
03 ENTWICKLUNGS- TRENDS BEI WÄRMEPUMPEN	ENTWICKLUNGSTRENDS BEI WÄRMEPUMPEN	10	08 FELDTEST- ERGEBNISSE	FELDTESTERGEBNISSE	48
04 ALLGEMEINE GRUNDLAGEN DER WÄRME-PUMPEN- TECHNIK	ALLGEMEINE GRUNDLAGEN DER WÄRMEPUMPENTECHNIK	12		8.1 ERZIELTE JAHRESARBEITSAHLEN VON LUFT/WASSER- UND SOLE/WASSER-WÄRMEPUMPEN	48
	4.1 WIE ARBEITET EINE WÄRMEPUMPE	12		8.2 BETRIEBSVERHALTEN VON ANLAGEN MIT ERDWÄRMENUTZUNG	50
	4.2 BETRIEBSWEISEN VON WÄRMEPUMPENHEIZANLAGEN	13	09 PLANUNGS- HINWEISE FÜR ALT- UND NEUBAUTEN	PLANUNGSHINWEISE FÜR ALT- UND NEUBAUTEN	52
	4.3 WÄRMEQUELLEN ALLGEMEIN	15		9.1 DIMENSIONIERUNG VON WÄRME- PUMPEN-HEIZANLAGEN BEI MONOE- NERGETISCHER BETRIEBSWEISE	52
	4.3.1 BESONDERE HINWEISE ZUR WÄRMEQUELLE AUSSENLUFT	16		9.1.1 BEISPIEL FÜR WÄRMEQUELLE AUSSENLUFT	52
	4.3.2 BESONDERE HINWEISE ZU ERDWÄRMESONDENANLAGEN	21		9.1.2 BEISPIEL FÜR WÄRMEQUELLE ERDREICH (ERDWÄRMESONDE)	55
	4.4 BEZEICHNUNG VON WÄRMEPUMPEN	25		9.2 PLANUNGSABLAUF FÜR ALT UND NEUBAU	57
	4.5 EFFIZIENZ-KENNGRÖßEN VON WÄRMEPUMPEN	25		9.3 WIRTSCHAFTLICHKEIT VON WÄRMEPUMPENANLAGEN	60
	4.6 ENERGIE- UND UMWELTBILANZ VON WÄRMEPUMPEN	27		9.4 WELCHE KOMPONENTEN UND LEISTUNGEN SOLLTE EIN ANGEBOT ENTHALTEN?	61
	4.7 WAS SPRICHT FÜR DEN WÄRMEPUMPENEINSATZ	29	10 WEITERE ANWENDUNGS- GEBIETE VON WÄRMEPUMPEN	WEITERE ANWENDUNGSGEBIETE VON WÄRMEPUMPEN	64
05 BETRIEBSVER- HALTEN VON WÄRMEPUMPEN	BETRIEBSVERHALTEN VON WÄRMEPUMPEN	30		10.1 WÄRMWASSER-WÄRMEPUMPEN	64
	5.1 EINFLUSS DER WÄRMEQUELLEN- UND DER VORLAUFTEMPERATUR AUF DIE HEIZLEISTUNG	30		10.2 KONTROLLIERTE WOHNUNGS- LÜFTUNG	65
	5.2 AUSWIRKUNG AUF DIE AUSLEGUNG VON WÄRMEPUMPEN- HEIZANLAGEN	31	11 SOFTWARE	SOFTWAREÜBERSICHT	67
06 HYDRAULISCHE EINBINDUNG VON WÄRMEPUMPEN	HYDRAULISCHE EINBINDUNG VON WÄRMEPUMPEN	34	12 LITERATUR	LITERATUR	68
	6.1 VORBEMERKUNGEN	34	13 GLOSSAR	GLOSSAR	69
	6.2 GRUNDLAGEN FÜR DEN HEIZBETRIEB	34	14 ANHANG	A 1 STECKBRIEFE VON AUSGEFÜHRTEN WÄRMEPUMPENANLAGEN	71
	6.3 GRUNDLAGEN FÜR DIE TRINKWASSERERWÄRMUNG	37		A 2 ENERGIE- UND WIRTSCHAFTLICH- KEITSANALYSE NEUBAU	78
	6.4 GRUNDLAGEN FÜR DEN (PASSIVEN) KÜHLBETRIEB	40		A 3 ENERGIE- UND WIRTSCHAFTLICH- KEITSANALYSE SANIERUNG	81
				A 4 INTERNATIONALE GÜTESIEGEL FÜR WÄRMEPUMPEN	84
				A 5 ÜBERSICHT KÄLTEMITTEL	85
				A 6 SYSTEMGRENZEN FÜR DIE EFFIZIENZBEWERTUNG VON WÄRMEPUMPENANLAGEN	86
				A 7 STAATLICHE UND SONSTIGE FÖRDERUNGSMÖGLICHKEITEN	88
				A 8 ERNEUERBARE ENERGIE WÄRMEGESETZE	90
				A 9 INFORMATIONEN- UND BERATUNGS- STELLEN IN BADEN-WÜRTTEMBERG	92
				A10 REGIONALE ENERGIEAGENTUREN IN BADEN-WÜRTTEMBERG	93

1 Einführung

Moderne strombetriebene Wärmepumpen-Heizanlagen sind bezüglich der Jahresenergiekosten und der Umweltbilanz selbst gegenüber den effizientesten gas- und ölbefeuerten Heizanlagen im Vorteil.

Dies ist unter anderem dadurch begründet, dass sich die Rahmenbedingungen für einen wirtschaftlichen und umweltverträglichen Wärmepumpenbetrieb in den letzten Jahren positiv entwickelten, was die rasante Marktentwicklung der Wärmepumpe (siehe Kapitel 2) eindrucksvoll belegt.

Im Einzelnen sind dies:

- Steigende Energiepreise bei fossilen Energieträgern
- Wunsch zum Einsatz von erneuerbarer Energien, bzw. gesetzliche Vorgaben z. B. Erneuerbare-Wärme-Gesetz Baden-Württemberg (EWärmeG BW)
- Erneuerbare-Energien-Wärme-Gesetz des Bundes (EEWärmeG)
- Vorteilhafte Wärmepumpen-Stromtarife der Energieversorger
- Geringerer Primärenergieaufwand für die Stromerzeugung
- Förderanreize durch Bund, Länder, Kommunen und Energieversorger
- Einfache Systeme, die überwiegend als monovalente/monoenergetische Wärmepumpenanlagen installiert sind
- Niedrige Vorlauftemperaturen bedingt durch stark reduzierte flächenbezogene Heizlasten, was den Einsatz von Niedertemperaturheizsystemen insbesondere Fußbodenheizung oder Wandheizung begünstigt (auch bei Bestandsgebäuden ist durch die vielfachen Förderanreize der Wärmeschutz teilweise erheblich verbessert worden, was auch dort den effizienten Einsatz ermöglicht)
- Höhere Wärmequellentemperaturen in Verbindung mit Erdwärmesonden
- Effizientere Außenluft-Wärmepumpen durch leistungsgeregelte Verdichter
- Effiziente sommerliche (passive) Kühlung in Verbindung mit Erdwärmesonden (dies vermeidet den Einsatz von weniger effizienten mobilen Einzelkühlgeräten)
- Effiziente Wärmepumpen mit Prüfzertifikat (siehe Gütesiegel für Wärmepumpen und Erdwärmesonden-Bohrfirmen, Anhang A4)
- Zunehmend besseres technisches Know-how bei geschulten Planern und Installationsbetrieben

Wärmepumpen können überall dort sinnvoll zum Einsatz kommen, wo Niedertemperatur-Heizsysteme als Wärmeabnehmer zur Verfügung stehen und der Erschließung der Wärmequelle nichts entgegen steht.

Die Klimaschutz- und Energieagentur Karlsruhe (KEA) hat eine Evaluierung von 150 installierten Wärmepumpenanlagen mit Erdwärmesonden durchgeführt. Dies erfolgte mittels Befragungen und durch Vor-Ort-Besuche bei Anlagenbetreibern aus Baden-Württemberg. Als Hauptargumente, warum sich die Hauseigentümer für eine Wärmepumpe entschieden haben, wurden die Umweltvorteile und die Wirtschaftlichkeit genannt. Die Wärmepumpen ersetzen nach dieser Analyse in über 40 % aller Fälle den Energieträger Heizöl. Bei der Frage nach der Zufriedenheit der Betreiber mit der Wärmepumpenanlage wurden Noten von 1,3 bis 1,9 verteilt bei einer Notenskala von 1 (sehr zufrieden) bis 5 (absolut unzufrieden). Die Durchschnittsnote für die Zufriedenheit mit der Wirtschaftlichkeit wurde mit 1,4 angegeben.

Warum Wärmepumpen?

Kennzeichen moderner
Wärmepumpenheizanlagen

Gute Noten für Wärmepumpen-Heizanlagen mit Erdwärmesonden.
Fast alle Betreiber würden es wieder tun!

In der Abbildung 1 sind die wichtigsten Fakten der analysierten 125 Kleinanlagen zusammengefasst. Detaillierte Informationen können bei der KEA, siehe Anhang A10, erfragt werden.

Abbildung 1:
Teilergebnisse aus der
Evaluierung von 125
bestehenden Klein-
Wärmepumpenanlagen
mit Erdwärmesonden durch
die KEA [15]

Merkmale der analysierten Klein-Wärmepumpenanlagen mit Erdwärmesonden

- Durchschnittlich 2,2 Erdwärmesonden pro Gebäude (Bandbreite 1–5)
- Durchschnittlich 88 m Sondenlänge (Bandbreite 30–200 m)
- Inbetriebnahme im Zeitraum 1997 bis 2004
- Durchschnittliche Heizleistung der Wärmepumpe 12,5 kW (Bandbreite 1–30 kW)
- > 50% der Anlagen mit Elektrozusatzheizung
- 85% der Anlagen mit Pufferspeicher mit durchschnittlich 560 Liter Inhalt
- 90% der Anlagen mit Warmwasserbereitung über die Wärmepumpe
- 12% der Gebäude über die Wärmepumpe gekühlt
- 96% der Anlagen mit Sondervertrag für den Strombezug
- Durchschnittlich 7.000 kWh Stromverbrauch pro Jahr
- 9% der Anlagen mit Wärmezähler
- 22% der Anlagen mit zusätzlicher Solarthermischer Anlage mit durchschnittlich 10 m² Kollektorfläche

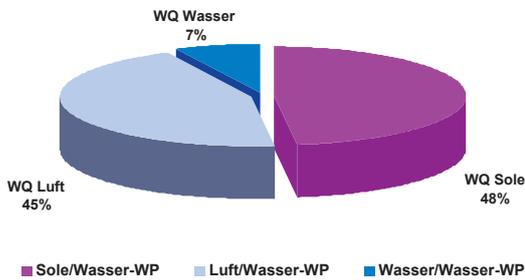
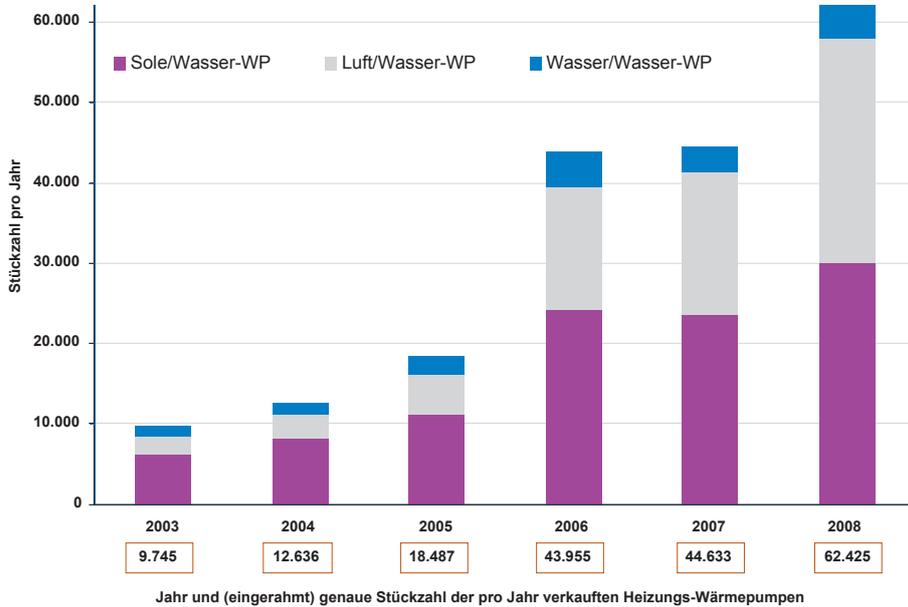
Anwendungsbereich der
Broschüre

Diese Infoschrift konzentriert sich im Wesentlichen auf die Anwendung von elektrisch betriebenen Wärmepumpen mit den am häufigsten realisierten Wärmequellen Erdwärme und Außenluft, die in Ein- und Mehrfamilienhäusern sowie in kleineren Büro- und Verwaltungsgebäuden mit Heizleistungen kleiner 30 kW in Verbindung mit Niedertemperatur-Heizsystemen (Vorlauftemperatur < 55°C) zum Einsatz kommen. Sie richtet sich an Architekten, Planer und Installationsbetriebe und soll dem Praktiker helfen, durch die korrekte Abstimmung der einzelnen Komponenten, wie Wärmepumpe, Wärmequelle, Heizsystem, Regelung und Hydraulik zu einem umweltverträglichen, kostengünstigen und betriebssicheren Wärmepumpenbetrieb zu gelangen.

Für größere Wärmepumpenanlagen hat das Wirtschaftsministerium eine spezielle Broschüre herausgegeben.

2 Marktentwicklung

Im Jahr 2000 lag der Bestand in Deutschland bei ca. 60.000 Elektro-Wärmepumpen-Heizanlagen. Durch den enormen, europaweit zu beobachtenden Anstieg des Wärmepumpenabsatzes in den letzten Jahren, (siehe Abbildung 2), ist dieser Bestand auf über 300.000 angestiegen. Im Jahr 2007 wurden in Deutschland in über 30% der neu gebauten Ein- und Zweifamilienhäuser Wärmepumpen installiert.



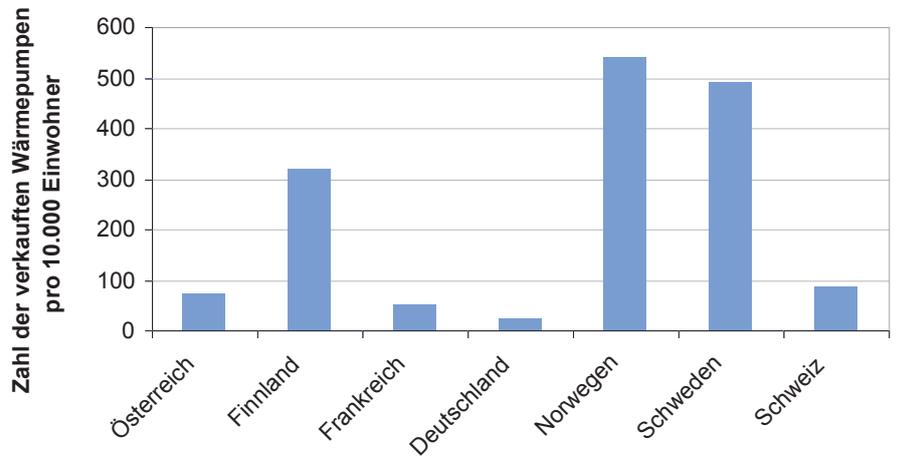
02 MARKTENTWICKLUNG

Aus den Abbildungen 2 und 3 geht auch deutlich hervor, dass der Trend zur Außenluft als Wärmequelle geht. Im Jahr 2008 war der Anteil der neu installierten Wärmepumpenheizsysteme mit der Wärmequelle Außenluft nahezu gleich groß wie der Anteil der Systeme mit Erdreichnutzung. Hauptursache hierfür dürften die geringeren Anschaffungskosten für die Systeme mit Außenluft sein.

Marktpotenzial

Trotz der enormen aus Abbildung 2 hervorgehenden Zuwächse ist das Marktpotenzial immer noch erheblich. Darauf deutet ein europäischer Vergleich hin, (siehe Abbildung 4), bei dem die Wärmepumpenverkäufe pro 10.000 Einwohner in verschiedenen Ländern im Zeitraum 2005 bis 2008 einander gegenüber gestellt sind. Mitentscheidend für die künftige Entwicklung ist das Verhältnis von Strompreis zu Öl- bzw. Gaspreis. Bei steigendem Ölpreis sinkt diese Verhältniszahl, was den Anreiz zum Kauf von Wärmepumpen erhöht. Dies zeigt auch die Entwicklung von 2005 bis 2008. In diesem Zeitraum sind die Öl- und Gaspreise stärker angestiegen als die Strompreise.

Abbildung 4:
Wärmepumpenverkäufe
pro 10.000 Einwohner im
Zeitraum 2005 bis 2008 in
7 europäischen Ländern
[European Heat Pump
Association EHPA, Brüssel]



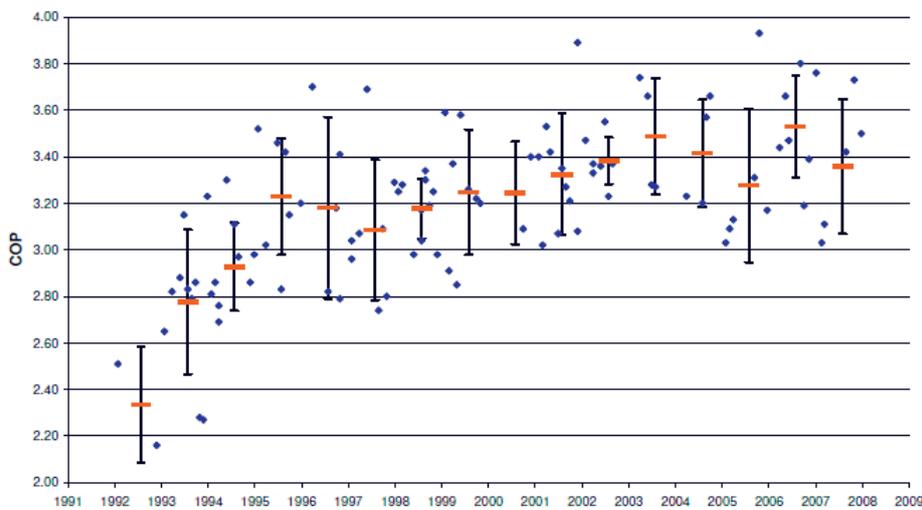
3 Entwicklungstrends bei Wärmepumpen

In der Schweiz werden seit 1993 im Wärmepumpentestzentrum (seit 2005 in Buchs, zuvor in Töss) Wärmepumpen der verschiedenen Hersteller unter Normbedingungen geprüft. Hierzu wurden im Jahresbericht 2008 [6] Daten von über 300 Klein-Wärmepumpen im Leistungsbereich bis 60 kW Wärmeleistung der Kategorien Luft/Wasser bzw. Sole/Wasser veröffentlicht. Anhand dieser Daten werden die Entwicklungstrends hier kurzgefasst wiedergegeben.

Leistungszahlen (COP)

Bei den Luft/Wasser-Wärmepumpen haben sich die Leistungszahlen (Maß für die Energieeffizienz) im Zeitraum 1993 bis 2004 kontinuierlich verbessert. Im Mittel liegen die Leistungszahlen (siehe Kapitel 4.5) bei den Prüfbedingungen A2/W35/dT10 bei ca. 3,4. Die besten geprüften Aggregate erreichen Leistungszahlen von 3,9. In Abbildung 5 sind auszugsweise die Daten der geprüften Luft/Wasser-Wärmepumpen dargestellt. Nach Einschätzung der schweizerischen Prüfstelle wäre technologisch eine weitere Steigerung der Leistungszahlen möglich. Die meisten Hersteller würden jedoch in den letzten Jahren verstärkt bezüglich der Kosten optimieren und weniger hinsichtlich der maximal möglichen Energieeffizienz. Eine ähnliche Entwicklung zeichnete sich bei den Sole/Wasser-Wärmepumpen ab. Die Mittelwerte der Leistungszahlen bei den Prüfbedingungen B0/W35/dT10 stagnieren seit dem Jahr 2000 zwischen 4,3 und 4,5. Die besten Prüflinge erreichen Leistungszahlen von 5,1.

Leistungszahl bei Luft-Wasser-WP bei A2 / W35 dT10



Die Leistungszahl (COP) ist, wie bereits erwähnt, ein Energieeffizienzkennwert bei einem bestimmten Betriebspunkt. Da sich aber sowohl die Wärmequellen-temperatur als auch die Vorlauftemperatur über das Jahr mehr oder weniger stark ändern, ergibt sich eine Jahresarbeitszahl, die man vereinfacht als mittleren COP über das Jahr bezeichnen kann, die häufig geringer ist, als der bei der oben genannten Prüfung festgestellte Wert. Um diese Unterschiede zwischen der Leistungszahl bei einem geprüften Betriebspunkt und der Jahresarbeitszahl zu verdeutlichen, sind in Kapitel 4.5 die unterschiedlichen Definitionen erläutert. Um zudem die real erreichbare Energieeffizienz angeben zu können, enthält Kapitel 8 die zusammengefassten Ergebnisse aus aktuell durchgeführten Feldtests, bei denen u. a. die Jahresarbeitszahlen an bestehenden Heizanlagen über definierte Zeiträume messtechnisch ermittelt wurden.

Unabhängige Testergebnisse aus der Schweiz

03 ENTWICKLUNGSTRENDS BEI WÄRMEPUMPEN

Abbildung 5: Leistungszahlen von allen im Zeitraum 1993 bis 2008 im Wärmepumpentestzentrum (CH) geprüften Luft/Wasser-Wärmepumpen [6]. Die angegebenen Leistungszahlen beziehen sich alle auf eine wasserseitige Temperaturdifferenz von 10 Kelvin (dT10)

Abtauverfahren

Bei den Luft/Wasser-Wärmepumpen wird verstärkt die Kreislaufumkehr als Abtauverfahren eingesetzt. Die auch heute von manchen Herstellern bevorzugte Heißgasabtauung, die früher der Prozessumkehr unter Energieeffizienz-Gesichtspunkten deutlich unterlegen war, wurde so weiterentwickelt, dass nahezu beide Verfahren als fast gleichwertig angesehen werden können.

Schallemissionen

Seit 2001 konnte der Schalleistungspegel bei den Luft/Wasser-Wärmepumpen insbesondere durch lufttechnische Maßnahmen (verbesserte Luftführung, Ventilatoren, Schalldämmung) im Mittel um 5 dB(A) gesenkt werden, während bei den Sole/Wasser-Wärmepumpen eine Reduzierung um nahezu 10 dB(A) durch die Einführung der Scrollverdichter möglich war. Aktuelle Hubkolbenverdichter sind bezüglich der Schallemissionen nicht schlechter als Scrollverdichter.

Kältemittel

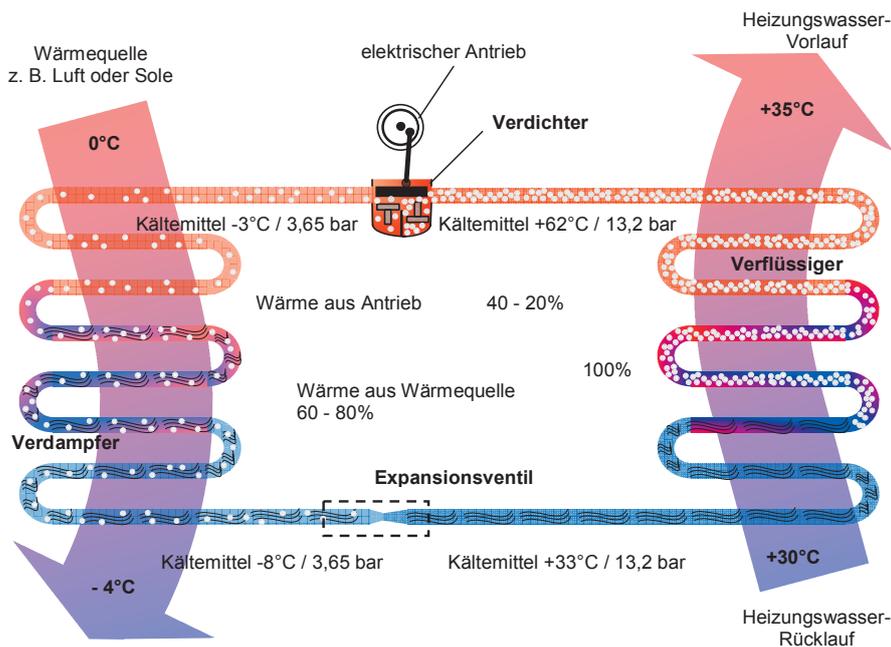
Bei den eingesetzten Kältemitteln in den geprüften Wärmepumpen geht die Tendenz zu R407c. Nach Einschätzung der schweizerischen Prüfstelle konnte sich trotz bester Effizienz das Kältemittel R290 (Propan) aufgrund der vorherrschenden Sicherheitsbedenken¹ am Markt nicht durchsetzen. Als weitere seit dem Jahr 2000 eingesetzten Kältemittel werden R134a, R404a und R417a genannt. Zu den Eigenschaften der Kältemittel befinden sich im Anhang A5 weitere Informationen.

¹Nach Einschätzung des Autors dieser Broschüre bestehen die Sicherheitsbedenken bei innen aufgestellten Wärmepumpen aufgrund der Brennbarkeit des Kältemittels.

4 Allgemeine Grundlagen der Wärmepumpentechnik

4.1 Wie arbeitet eine Wärmepumpe?

Das Grundprinzip der Wärmepumpe kann anhand der Arbeitsweise eines Kühlschranks erklärt werden. Dort wird dem Kühlgut über den Verdampfer Wärme entzogen und über den Verflüssiger an der Rückseite des Gerätes in den Raum abgegeben. Bei der Wärmepumpe entzieht der Verdampfer die Wärme aus der Umwelt (Wasser, Erdreich, Außenluft) und führt sie über den Verflüssiger dem Heizsystem (Fußbodenheizung, Radiatoren) zu.



Der Kreisprozess, siehe Abbildung 6, erfolgt nach einfachen physikalischen Gesetzmäßigkeiten. Das Arbeitsmittel, eine schon bei niedriger Temperatur siedende Flüssigkeit (auch als Kältemittel bezeichnet), zirkuliert in einem Kreislauf und wird nacheinander verdampft, verdichtet, verflüssigt und entspannt. Im Verdampfer befindet sich das Kältemittel bei niedrigem Druck. Die Umgebungstemperatur des Verdampfers ist höher als die dem Druck entsprechende Siedetemperatur des Arbeitsmittels. Diese Temperaturdifferenz bewirkt eine Wärmeübertragung von der Umgebung auf das Kältemittel, wobei das Kältemittel siedet und verdampft. Die dazu erforderliche Wärme wird der Wärmequelle (Wasser, Erdreich, Außenluft) entzogen. Das nun dampfförmige Kältemittel wird vom Verdichter aus dem Verdampfer abgesaugt und verdichtet. Bei der Verdichtung steigt der Druck des Dampfes und dessen Temperatur. Vom Verdichter aus gelangt der Kältemitteldampf in den Verflüssiger, der vom Heizwasser umspült wird. Die Temperatur dieses Wasserstromes ist niedriger als die Verflüssigungstemperatur des Kältemittels, so dass der Dampf gekühlt und dabei wieder verflüssigt wird. Die im Verdampfer aufgenommene Energie (Wärme), zuzüglich der durch das Verdichten zugeführten Energie (elektrischer Strom), wird im Verflüssiger freigesetzt und an den kälteren Heizwasserstrom abgegeben. Nach dem Verflüssigen wird das Kältemittel über ein Expansions-

4.1 WIE ARBEITET EINE WÄRMEPUMPE?

Der bekannte Vergleich mit dem Kühlschrank

Abbildung 6: Prinzip der Wärmepumpe mit den wichtigsten Drücken und Temperaturen eines Kältemittelkreislaufs (Quelle: RWE AG, Essen)

04 ALLGEMEINE GRUNDLAGEN DER WÄRME-PUMPEN-TECHNIK

Wärmeaufnahme aus der Umwelt

organ in den Verdampfer zurückgeführt. Das Kältemittel wird von dem hohen Druck im Verflüssiger auf den niedrigen Druck im Verdampfer entspannt (expandiert). Beim Eintritt in den Verdampfer sind der Anfangsdruck und die Anfangstemperatur wieder erreicht. Der Kreislauf ist geschlossen und beginnt von neuem.

4.2 BETRIEBSWEISEN VON WÄRME- PUMPENHEIZAN- LAGEN

4.2 Betriebsweisen von Wärmepumpenheizanlagen

Wärmepumpen für die Raumheizung können, je nach den Randbedingungen des Einsatzortes, in unterschiedlicher Art und Weise betrieben werden. Grundsätzlich unterscheidet man folgende Betriebsweisen:

Monovalenter Betrieb

Die Wärmepumpe dient als alleiniger Wärmeerzeuger. Dies kommt hauptsächlich bei Wärmepumpenanlagen mit Grundwassernutzung oder mit Erdwärmesonden zum Tragen.

Bei Außenluft als Wärmequelle ist die bivalentparallele bzw. monoenergetische Betriebsweise zu empfehlen.

Bivalent paralleler/monoenergetischer Betrieb

Wenn die Wärmepumpe die Heizlast nicht mehr alleine decken kann, geht der zweite Wärmeerzeuger in Betrieb. Die Außentemperatur, ab der die Wärmepumpe den Energiebedarf nicht mehr alleine decken kann, wird Bivalenttemperatur genannt. Die Wärmepumpe bleibt parallel zum zweiten Wärmeerzeuger in Betrieb, auch am kältesten Wintertag. Im Fall der monoenergetischen Betriebsweise handelt es sich beim zweiten Wärmeerzeuger um einen Elektroheizstab oder -durchlauferhitzer. Diese Betriebsweise ist besonders für Wärmepumpenanlagen mit Außenluft empfehlenswert, da sich durch kleinere Wärmepumpenaggregate die Anlagenkosten reduzieren. Abbildung 7 zeigt, dass bereits bei einem Dimensionierungsfaktor von 60% der Wärmepumpenanteil an der Jahresheizarbeit ca. 90% beträgt. Bei Anlagen mit Erdwärmesonden können i. d. R. diese kostensenkenden Effekte nicht genutzt werden, da der jährliche Energieentzug der Sonden bzw. die Laufzeit der Wärmepumpe begrenzt werden muss, siehe Hinweise Kapitel 4.3.2. Für Wärmepumpen in Verbindung mit Erdwärmesonden wird daher eine monovalente Auslegung und Betriebsweise empfohlen.

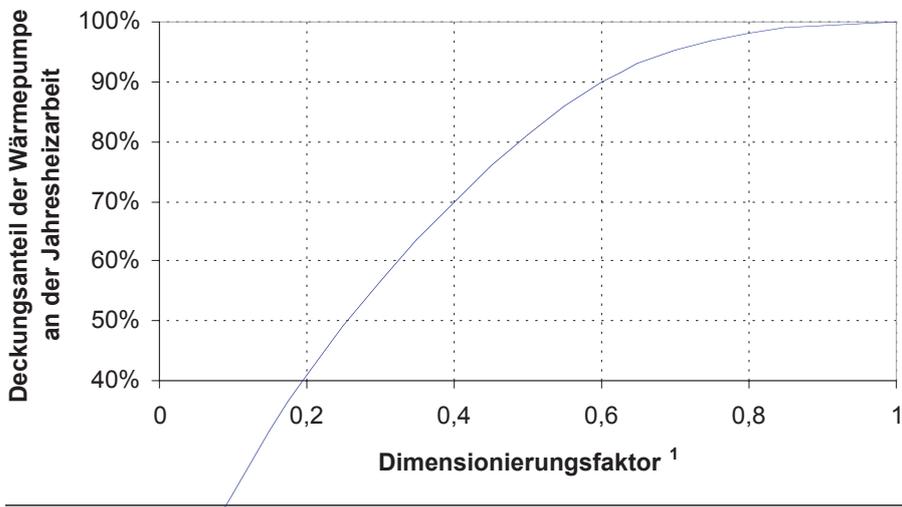


Abbildung 7:
Deckungsanteil der Wärmepumpe an der Jahresheizarbeit in Abhängigkeit von der Dimensionierung der Wärmepumpe bei bivalent-paralleler Betriebsweise für eine Auslegungstemperatur -12°C .

¹Dimensionierungsfaktor =
Wärmepumpenheizleistung Φ_{HWP} (Auslegungspunkt) / Gebäudeheizlast Φ_{GEB}
Beispiel: $\Phi_{\text{HWP}} = 4 \text{ kW}$; $\Phi_{\text{GEB}} = 8 \text{ kW}$
 \Rightarrow Dimensionierungsfaktor = $\Phi_{\text{HWP}} / \Phi_{\text{GEB}} = 4/8 = 0,5 \Rightarrow$ WP-Anteil $\approx 80 \%$

Eine Elektrozusatzheizung kann dennoch sinnvoll sein, um bei extremen Spitzenlastsituationen z. B. bei der Bauaustrocknung die Sondenanlage zu entlasten. Zudem kann der Heizstab genutzt werden, wenn die Wärmepumpe eine Betriebsstörung haben sollte. Die Freigabe und Deaktivierung der Elektrozusatzheizung sollte von Hand durch den Bauherrn erfolgen.

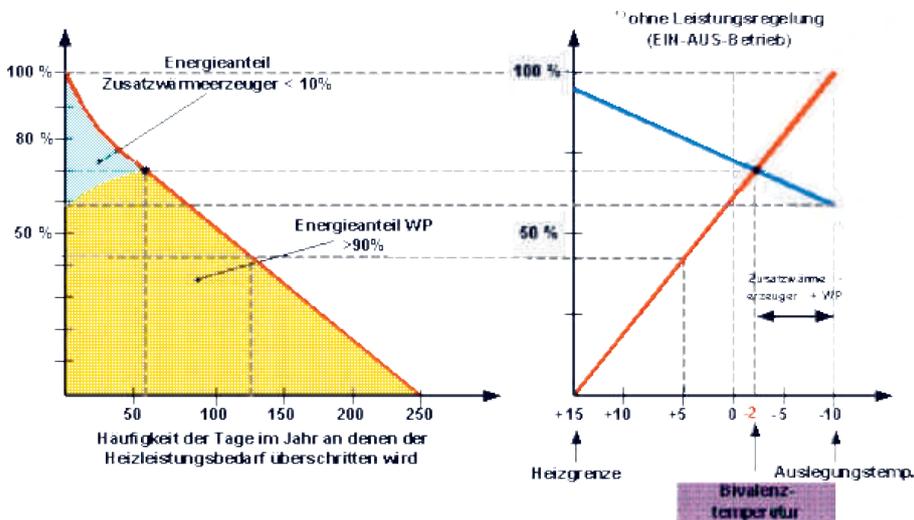


Abbildung 8:
Prinzipdarstellung der Energieanteile bei der bivalent parallelen Betriebsweise am Beispiel einer unregulierten Außenluft-Wärmepumpe (Dimensionierungsfaktor 70%).

Die Betriebsarten bivalent/alternativ bzw. bivalent/teilparallel sind nur noch für die Altbausanierung relevant

Da der Deckungsanteil der Wärmepumpe wesentlich geringer ist als bei den zuvor beschriebenen Betriebsarten, sind die nachfolgend genannten Betriebsarten weniger bedeutsam.

Bivalent alternativer Betrieb

Außer der Wärmepumpe steht noch ein zweiter Wärmeerzeuger z.B. mit Gas, Öl oder Biomasse als Energieträger zur Verfügung. Dieser geht in Betrieb, wenn die Wärmepumpe die Heizlast nicht mehr alleine decken kann. Diesen Betriebspunkt bezeichnet man auch als Bivalenzpunkt und die zugehörige Außentemperatur als Bivalenztemperatur. Die Wärmepumpe schaltet aus. Diese Betriebsweise eignet sich für die Altbausanierung, wenn hohe Vorlauftemperaturen benötigt werden und dadurch die Rücklauftemperatur auf über 55°C ansteigen kann. Der Deckungsgrad der Wärmepumpe am Gesamtheizwärmebedarf ist dabei mit (50 bis 70%) deutlich geringer als bei bivalent paralleler Betriebsweise.

Bivalent teilparalleler Betrieb

Der zweite Wärmeerzeuger geht in Betrieb, wenn die Wärmepumpe die Heizlast nicht mehr alleine decken kann. Diese bleibt parallel dazu in Betrieb, bis eine bestimmte Einsatzgrenze (z. B. ab einer Außentemperatur kleiner -5°C, abhängig von der Heizkennlinie bzw. der Soll-Vorlauftemperatur) unterschritten wird. Dann schaltet die Wärmepumpe aus.

4.3 WÄRMEQUELLEN ALLGEMEIN

4.3 Wärmequellen allgemein

Für den wirtschaftlich sinnvollen Einsatz der Wärmepumpe spielt die Wärmequelle eine wesentliche Rolle. Die optimale Wärmequelle würde ihre Wärme ganzjährig bei konstantem Temperaturniveau bei ($\geq 10^\circ\text{C}$) zur Verfügung stellen und wäre ortsunabhängig und kostengünstig zu erschließen. Die tatsächlich verfügbaren Wärmequellen

- Außenluft (direkt)
- Erdreich (als Erdwärmesonden oder als Flächenkollektor)
- Wasser (Grundwasser, Oberflächenwasser)

können der optimalen Wärmequelle immer nur zum Teil gerecht werden. Die wichtigsten technischen Eigenschaften der Wärmequellen sind in der Tabelle 1 (Kapitel 4.3.1) zusammengestellt. Weiterhin steht als Wärmequelle auch die Nutzung von Abwärme zur Verfügung. Im einfachsten Fall wird die Abwärme der Abluft einer Anlage zur kontrollierten Wohnungslüftung entzogen und mittels einer Wärmepumpe auf die Zuluft übertragen. Dieses System wird vorzugsweise in sogenannten Passivhäusern eingesetzt (siehe auch Kapitel 10.2). Weitere Beispiele für die Nutzung von Abwärme sind sowohl im kommunalen und gewerblichen bzw. industriellen Bereich zu finden als auch bei raumluft-technischen Anlagen für Schwimmhallen.

4.3.1 Besondere Hinweise zur Wärmequelle Außenluft

Betriebsverhalten

Bei der Wärmequelle Außenluft ist die Änderung der Wärmequellentemperatur über das Jahr am größten. Daraus ergeben sich besondere Betriebsbedingungen für die Wärmepumpe, die in Kapitel 5 beschrieben sind. Weiterhin muss der Aufstellort so gewählt werden, dass die abgekühlte Außenluft nicht wieder vom Luftansaugkanal angesogen wird (Luftkurzschluss). Daher ist eine Außenaufstellung in einer Senke oder ein allseitig geschlossener Sichtschutz zu vermeiden. Bei einer Innenaufstellung (im Heizraum) sollten die Luftansaugung und der Luftauslass über Eck geführt werden.

Abtauung/Kondensat

Die Wärmepumpe entzieht der Außenluft Wärme, indem diese abgekühlt wird. Die Außenluft besteht im Wesentlichen aus trockener Luft und Wasser in Form von Wasserdampf. Wird am Verdampfer der Wärmepumpe die Taupunkttemperatur der feuchten Luft (Oberflächentemperatur, bei der Wasserdampf kondensiert) unterschritten, scheidet Wasser (Kondensat) aus der Luft aus. Dieses Wasser muss über den Kondensatablauf der Wärmepumpe abgeleitet werden. Bei einer Außenaufstellung der Wärmepumpe ist auf eine frostfreie Ableitung bzw. Versickerung des Kondensats zu achten. Mit abnehmender Außentemperatur, ab ca. 7°C, kann das Kondensat zur Eisbildung am Verdampfer führen, wenn die Verdampfungstemperatur des Kältemittels unter 0°C absinkt. Da mit zunehmender Eisbildung die Luftströmung am Verdampfer behindert wird und dies zum weiteren Absinken der Temperatur führt sowie die Energieeffizienz verringert, muss der Eisansatz regelmäßig abgetaut werden. Dies erfolgt automatisch, häufig durch einen Differenzdruckschalter, der auf den Druckabfall der durch den Verdampfer strömenden Außenluft reagiert. Das abgetaute Eis fließt ebenfalls durch den Kondensatablauf ab.

Zur Abtauung wird bei den meisten Wärmepumpenherstellern das Verfahren der Prozessumkehr (Verdampfer wird zum Verflüssiger) angewendet. Dabei wird dem Heizungssystem Wärme entzogen. Der Wärmeentzug aus dem Heizungssystem muss daher gewährleistet sein (z. B. durch Pufferspeicher). Beim neuerdings seltener eingesetzten System mit Heißgasabtauung, wird hingegen nur die Verdichter-Antriebsenergie verwendet. In beiden Fällen dauert der Abtauvorgang nur wenige Minuten. Die Energie für das Abtauen reduziert die Energieeffizienz der Wärmepumpe. Bei der Überprüfung von Leistungszahlen (COP) bzw. von Arbeitszahlen (siehe Kapitel 4.5) im Rahmen von Prüfstandsmessungen oder von Feldtests muss dieser Umstand berücksichtigt werden.

4.3.1 BESONDERE HINWEISE ZUR WÄRMEQUELLE AUSSEN- LUFT

04 ALLGEMEINE GRUNDLAGEN DER WÄRME-PUMPEN- TECHNIK

Bei Außentemperaturen ca. < 7°C kommt es zu Eisbildung am Verdampfer der Wärmepumpe. Das Eis muss regelmäßig abgetaut werden.



Tabelle 1: Wichtige technische Eigenschaften der Wärmequellen

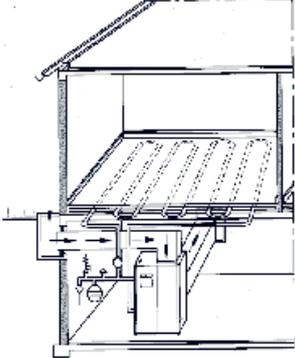
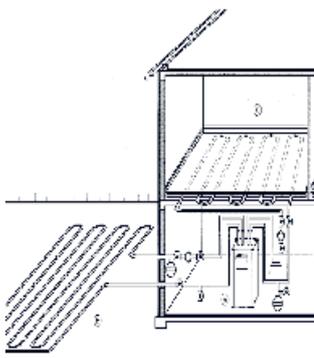
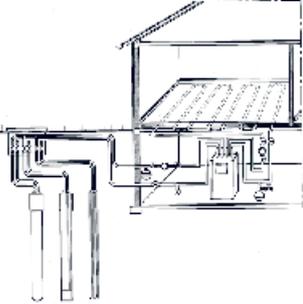
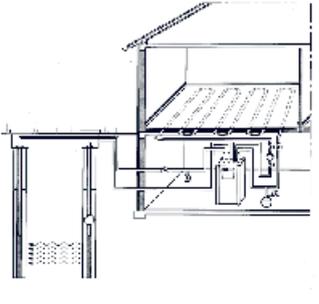
Wärmequelle	 <p style="text-align: center;">Außenluft, direkt</p>	 <p style="text-align: center;">Erdreich mit Flächenkollektor</p>
Art der Erschließung, Wärmeträgermedium	Außenluft wird mit Hilfe eines Ventilators über den Verdampfer gesaugt. Dabei wird ihr die erforderliche Wärme entzogen und auf das Kältemittel übertragen. Die abgekühlte Luft wird danach wieder ins Freie gefördert. Ausführungen: <u>Innenaufstellung:</u> komplette Wärmepumpe im Haus <u>Außenaufstellung:</u> komplette Wärmepumpe im Freien <u>Splitaufstellung:</u> Verdampfer im Freien Verdichter im Haus	Soledurchflossene, horizontale Rohrschlangen aus Kunststoff (PE) in ca. 1,2 bis 1,5 m Tiefe im Erdreich verlegt. Bei der aufgenommenen Wärme handelt es sich im Wesentlichen um gespeicherte Sonnenenergie und aus Luft und Regen zugeführte Energie. Der Wärmestrom, der aus der Erde von unten zuströmt, ist kleiner als 1 W/m ² . Daher dürfen die Kollektorfelder nicht überbaut oder versiegelt werden. <u>Variante:</u> Das Kältemittel der Wärmepumpe zirkuliert direkt im Erdkollektor => Direktverdampfer Weitere Varianten sind insbesondere bei kleinen Grundstücken: Grabenkollektoren, Erdwärmekörbe und thermoaktive erdreichberührte Bauteile (z. B. Fundamente)
Temperaturniveau, Temperaturverlauf	Entsprechend dem Verlauf der Außentemperatur. Mittelwert während der Heizperiode ca. + 6 °C. Jahresmittelwert ca. +12 °C. Einsatzgrenze der WP beachten (von -20 °C bis +40 °C; herstellerabhängig). Aus Energieeffizienzgründen ist Einsatz in kalten Regionen nicht empfehlenswert	Die Erdreichtemperatur ist im Wesentlichen abhängig von der Wärmeentzugsleistung. Die kältesten Temperaturen stellen sich zeitverzögert im Februar ein, je nach Auslegung, ca. 0 °C (Sole). Ab März beginnt die Regeneration. Die mittlere Solevorlauftemperatur während der Heizperiode liegt bei ca. +4 °C
Typische Wärmeentzugsleistungen (bei Auslegungstemperatur)	pro 1000 m ³ /h Außenluft ca. 3 bis 4 kW	pro m ² Flächenkollektor: Min. 10 W/m ² trockener Boden Max. 40 W/m ² feuchter Boden
Typische Arbeitszahlen β _B , siehe Anhang A6, aus Feldtestergebnissen für Neubauten (Fraunhofer ISE, siehe Kapitel 8)	2,9	3,5
Besondere Hinweise für Planung und Betrieb	Luftkanäle bei Innenaufstellung über Eck (Vermeidung von Kurzschlüssen). Blechkanäle wärmedämmen (Schwitzwasser). Besser Spiralschläuche verwenden. Zweiter Wärmeerzeuger (Elektrozusatzheizung oder Kessel) immer erforderlich. Für Kondensatablauf sorgen (durch Abtaueinrichtung). Bei Außenaufstellung frostfreier Kondensatablauf oder Versickerung ermöglichen Bei Außenaufstellung (Verflüssiger außen) geeignete Wärmedämmung gemäß EnEV für die Heizwasserleitungen anbringen. Im Schutzrohr verlegen Betriebsgeräusche im Freien beachten (Einhaltung der Anforderungen von TA Lärm)	Für Flächenkollektor: Geeignetes Frostschutzmittel bis -20 °C einsetzen. Verlegtiefe ca. 20 cm unter der Frostgrenze. Verlegabstand zwischen den Rohrleitungen min. 50 cm. Rohrlänge pro Kreis max. 100 m bei DN 32. Keine unzugänglichen Rohrverbindungen im Erdreich. Gute Entlüftung beachten. Alle Kreise gleiche Länge. Soleverteiler/-Sammler am besten in Verteilerschacht außerhalb des Hauses. Soleleitung im Haus gegen Schwitzwasser dämmen. VDI 4640 [12.1] berücksichtigen Für alle Arten von Erdwärmekollektoren: Leitfaden zur Nutzung von Erdwärme mit Erdwärmekollektoren [2] beachten

Tabelle 1: Wichtige technische Eigenschaften der Wärmequellen (Fortsetzung)

<p>Wärmequelle</p>	 <p>Erdreich (verschiedene Erdwärmesonden)</p>	 <p>Grundwasser</p>
<p>Art der Erschließung, Wärmeträgermedium</p>	<p>Soledurchflossene vertikale Erdsonden als Rohr-im-Rohr-System oder Doppel-U-Rohr</p> <p>Sonden mit bis zu 150 m Tiefe (siehe auch Hinweise in Kapitel 4.3.2)</p> <p>Die Bohrlöcher (mit Einbringung der Sonde und Dichtigkeitsprüfung) werden von speziell ausgestatteten Bohrfirmen hergestellt.</p> <p>Nur Bohrfirmen mit Gütesiegel empfohlen</p> <p>Varianten: In Grundwasserschutzgebieten (Zone III) kommen häufig andere Wärmeträger (CO₂, Wasser, usw.) zum Einsatz, siehe Hinweise in Kapitel 4.3.2.</p>	<p>Über eine Tauchpumpe wird aus dem Förderbrunnen (Bohrtiefe bis ca. 15m) Grundwasser entnommen über den Verdampfer der Wärmepumpe geleitet und abgekühlt. Über den Schluckbrunnen wird es wieder zurückgeführt.</p>
<p>Temperaturniveau, Temperaturverlauf</p>	<p>Die Soletemperatur ist im Wesentlichen abhängig von der spezifischen Entzugsarbeit (siehe unten).</p> <p>Die kältesten Temperaturen stellen sich zeitverzögert im Februar ein, je nach Auslegung ca. +3 °C. Ab März beginnt die Regeneration. Die mittlere Solevorlauftemperatur während der Heizperiode liegt bei ca. +7 °C.</p>	<p>Ganzjährig ca. 7 bis 12 °C</p>
<p>Typische spezifische Wärmeentzugsleistungen (bei Auslegungstemperatur)</p>	<p>Min. 20 W/m Max. 80 W/m (bei starkem Grundwasserfluss) Richtwert 45 W/m</p>	<p>Pro 1 m³/h Grundwasser ca. 5 – 6 kW Volumenstrom = 50 % vom Maximalwert</p>
<p>Typische Arbeitszahlen β_b, siehe Anhang A6, aus Feldtestergebnissen für Neubauten (Fraunhofer ISE, siehe Kapitel 8)</p>	<p>3,8</p>	<p>3,5</p>
<p>Besondere Hinweise für Planung und Betrieb</p>	<p>Die erforderliche Bohrtiefe und die Anzahl der Sonden wird von der Bohrfirma anhand der Vorgaben des Heizungsinstallateurs (Heizenergiebedarf, Heizleistung WP, Entzugsleistung WP) und der zu erwartenden geologischen, thermischen und klimatischen Gegebenheiten ermittelt. Sondenabstand mindestens 10 m</p> <p>Sonstige Hinweise zu Solesystem siehe Flächenkollektor</p> <p>Sonden- und Wärmepumpenanlage auf max. 2400 Betriebsstunden bzw. 100 kWh/m (spezifische Entzugsarbeit) jährlich auslegen. Aus Gründen der Energieeffizienz und der Nachhaltigkeit wird eine Auslegung auf 60 – 80 kWh/m empfohlen.</p> <p>Anzeige bei unterer Wasserbehörde bzw. Regierungspräsidium Freiburg erforderlich</p> <p>VDI 4640 [12.1] berücksichtigen</p>	<p>Der Abstand zwischen Förder- und Schluckbrunnen sollte mindestens 10 m betragen (Vermeidung von Kurzschlüssen).</p> <p>Auf korrekte Bemessung der Förderpumpe achten (Überdimensionierung vermeiden oder ggf. geregelte Förderpumpe einsetzen falls WP-Regler dies unterstützt). Temperaturabsenkung ca. 3 Kelvin</p> <p>Zu- und Ableitung des Grundwassers frostsicher mit Gefälle zum Brunnen. Die Ergiebigkeit und Wasserqualität der Brunnen sind im Vorfeld durch Pumpversuche zu ermitteln. Je nach Wasserqualität ist eine Systemtrennung mit einem zusätzlichen Wärmetauscher vorzusehen, um den Verdampfer der Wärmepumpe vor Verschmutzung und/oder Korrosion zu schützen. Der Zwischenkreis muss ggf. mit Glykol (-5 °C) abgesichert werden.</p> <p>Genehmigungsanfrage bei unterer Wasserbehörde</p> <p>VDI 4640 [12.1] berücksichtigen.</p>



Wärme aus Luft und Boden



Baden-Württemberg

WIRTSCHAFTSMINISTERIUM

Schallbelästigungen der Nachbarschaft durch Außenluftwärmepumpen können unter Beachtung der Hinweise der Wärmepumpenhersteller in den Planungsunterlagen zuverlässig vermieden werden

Schallemissionen

Die Verdichter von Wärmepumpen erzeugen eine bestimmte Schalleistung. Bei Luft/Wasser-Wärmepumpen kommt die Schalleistung des Ventilators hinzu. Da die Luft/Wasser-Wärmepumpen über die Luftansaug- bzw. Ausblaskanäle mit der Umgebung in Verbindung stehen, können die Schallemissionen bei ungünstigen Verhältnissen auch bei Nachbargebäuden zu Belästigungen führen. Die Hersteller geben in ihren technischen Unterlagen die Schalleistungspegel an und zeigen auf, mit welchen Schalldruckpegeln unter den gegebenen Bedingungen in einem bestimmten Abstand vom Aufstellort der Wärmepumpe zu rechnen ist. Damit kann überprüft werden, ob die nach TA-Lärm zulässigen Schalldruckpegel (insbesondere nachts) am Nachbarhaus unterschritten werden. Falls nicht, sind zusätzliche Maßnahmen erforderlich (z. B. Wechsel Aufstellungsort, Schalldämpfer, schalldämpfende Kanalauskleidungen usw.) oder sind Wärmepumpensysteme mit geringeren Schalleistungspegeln zu verwenden. Auch innerhalb des Gebäudes können Wärmepumpen zu erhöhten Schalldruckpegeln führen, was dann häufig auf Körperschallübertragung zurückzuführen ist. Sehr umfangreiche Informationen zur Vermeidung und zur Beseitigung von Schallproblemen bietet die Fachinformation „Lärmreduktion bei Luft/Wasser-Wärmepumpenanlagen“ des Bundesamtes für Energie (CH). Generell wird empfohlen zur subjektiven Bewertung, evtl. gemeinsam mit dem Nachbarn, vergleichbare Anlagen „anzuhören“.

4.3.2 BESONDERE HINWEISE ZU ERD- WÄRMESONDEN- ANLAGEN

Bis 100 m Anzeige bei unterer Wasserbehörde (Landratsamt oder Umweltamt). Ab 100 m oder bei Grundstücksüberschreitung bzw. schwierigen Verhältnissen: Anzeige zusätzlich bei der Bergbehörde im Regierungspräsidium Freiburg. Alle Bohrungen sind anzeigepflichtig beim Regierungspräsidium Freiburg (im Nachgang durch die Bohrfirma).

4.3.2 Besondere Hinweise zu Erdwärmesondenanlagen

Grundwasserschutz

Erdwärmesondenanlagen sind oberflächennahe geothermische Nutzungssysteme mit Bohrtiefen von maximal 400 m. In der Regel sind die einzelnen Bohrungen aber weniger als 150 m tief, so dass standardisierte Bohrverfahren und Sondenmaterialien zum Einsatz kommen. Bei Sonden von über 150 m Tiefe ist entweder ein spezielles Sondenmaterial oder ein spezielles Einbringverfahren erforderlich, damit der zulässige Nennüberdruck der Sonde nicht überschritten wird. Durch den Eingriff in den Untergrund, der zu einer potentiellen Gefährdung des Grundwassers führen kann, ist eine Bohrung anzeige- bzw. genehmigungspflichtig. Es sind sowohl wasserrechtliche als auch bergrechtliche Vorschriften zu beachten. Die Rechtsgrundlagen und praktischen Empfehlungen zur Errichtung von Erdwärmesonden in Baden-Württemberg sind in einem Leitfaden des Umweltministeriums zusammengefasst, der derzeit überarbeitet wird. In der noch aktuellen Fassung aus dem Jahr 2005, wird darauf hingewiesen, dass nur spezialisierte Bohrfirmen zu beauftragen sind, die Träger des Internationalen Gütesiegels für Erdwärmesonden sind (siehe Anhang A4) oder eine vergleichbare Qualifikation nachweisen können. Zusätzliche wichtige Hinweise können der Informationsschrift „Wärme ist unter uns“ [1] des Wirtschaftsministeriums von Baden-Württemberg entnommen werden. Zudem soll bereits bei der Planung die VDI 4640 [12.1] berücksichtigt werden, die 2010 als überarbeitete Version im Grunddruck erscheint.

Erdwärmesonden werden aus Frostschutzgründen in den meisten Fällen mit einem Wasser-Glykol-Gemisch befüllt. Während sich Glykol (im Falle einer Leckage) im Untergrund auch in größeren Tiefen abbaut, ist das für die in geringem Maße beigemengten Additive (u. a. für den Korrosionsschutz) nicht bewiesen. In Wasserschutzgebieten der Zonen III, vorausgesetzt eine Bohrung wird unter den sonstigen Gesichtspunkten genehmigt, können daher nur Erdwärmesonden mit Wärmeträgerflüssigkeiten, die absolut nicht wassergefähr-

dend sind, genehmigt werden. Hier haben sich insbesondere die CO₂-Sonden oder wasserbefüllten Sonden bewährt.

Energie-Effizienz und Frostschutz

Eine korrekt geplante und installierte Erdwärmesonde ist Voraussetzung für den energieeffizienten Betrieb der Wärmepumpenheizung mit einer hohen Jahresarbeitszahl (siehe Kapitel 4.5). Dies äußert sich dadurch, dass die Temperatur des in der Sonde zirkulierenden Mediums beim Austritt aus dem Wärmepumpenverdampfer möglichst hoch ($\geq 0^\circ\text{C}$) ist. Dies soll auch nach vielen Betriebsjahren jeweils zum Ende der Heizperiode (Februar/März) der Fall sein. Die Sonden Temperaturen sind in dieser Jahreszeit am tiefsten. Je geringer die Entzugsleistung bzw. die spezifische Entzugsarbeit der Wärmepumpe pro Meter Sondenlänge ist, desto höher steigt die Temperatur der Wärmeträgerflüssigkeit und nähert sich der Temperatur des ungestörten Erdreichs an (ca. 10°C). Ist die Sondenlänge aber zu kurz, bzw. der Energieentzug zu groß, kann sich sogar die Temperatur des aus der Erdwärmesondenanlage zurückkommenden Wärmeträgermediums auf unter 0°C abkühlen. Beim Betrieb der Anlage im Frostbereich kann sich um die Sonde herum ein Frostkörper bilden, was ggf. zu einer Rissbildung in der Ringraumverfüllung führt. Hierdurch kann auch die Abdichtung zu Grundwasser führenden Ebenen und damit der Grundwasserschutz beeinträchtigt werden. Zudem verschlechtern sich die Wärmeübertragungseigenschaften, was den Prozess des Frostens verstärken kann und evtl. eine zumindest vorübergehende Außerbetriebnahme der Wärmepumpe erfordert.

Eine Vergrößerung der Bohrlänge bedeutet aber auch erhöhte Anschaffungskosten für die Erdwärmesonde. Hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit hat sich eine Dimensionierung mit einer spezifischen Entzugsleistung von maximal 45 W/m – vorausgesetzt, die geologischen Randbedingungen lassen dies zu – bzw. eine jährliche spezifische Entzugsarbeit von maximal 100 kWh/m für die hier betrachteten Kleinanlagen als sinnvoll erwiesen. Unter diesen Bedingungen ist ein monovalenter Betrieb (ohne elektrische Zusatzheizung) möglich. Für eine optimale energieeffiziente und nachhaltige Betriebsweise wird eine Auslegung auf $60 \dots 80 \text{ kWh/m}$ empfohlen. Bei Anlagen mit solarer Warmwasserbereitung oder/und sommerlicher Kühlung sind durch die schnellere thermische Regeneration des Sondenumfelds höhere Entzugswerte möglich.

Für eine ausgewogene Balance zwischen Energieeffizienz und Anschaffungskosten der Erdwärmesonde ist daher eine gute Planung Voraussetzung. Ein qualifiziertes Bohrunternehmen kann aufgrund seiner Erfahrungen in der Regel gute Vorhersagen über die benötigte Anzahl und Länge der Sondenbohrungen und damit ein zuverlässiges Angebot erstellen. Es benötigt dazu vom Heizungsinstallateur die Angaben zum Standort, die Heizlast, die technischen Daten der geplanten Wärmepumpe und den Heizenergiebedarf für Raumheizung und Warmwasser. Bei unklaren geologischen Verhältnissen oder vom Standard abweichenden Erdwärmesondenanlagen wird das Bohrunternehmen ein spezialisiertes Planungsbüro für die Dimensionierung des Sondenfeldes hinzuziehen.

Nur langfristig hohe Wärmeträgertemperaturen von $>0^\circ\text{C}$ sind Basis für eine hohe Energieeffizienz. Daher darf an der Erdwärmesonde nicht gespart werden.

Wasserbefüllte Erdwärmesonden sind bezüglich der Energieeffizienz und wegen des Grundwasserschutzes eine interessante Alternative. Aber Vorsicht: Frostschutz muss gewährleistet sein

Planung von wasserbefüllten Erdwärmesondenanlagen anhand von Simulationsprogrammen

Eine weitere Steigerung der Energieeffizienz wäre durch den Einsatz von ausschließlich mit Wasser befüllten Erdwärmesonden möglich. Voraussetzung für den Betrieb mit Wasser ist, dass die Austrittstemperatur des Wassers aus dem Verdampfer immer deutlich $> 0^{\circ}\text{C}$ sein muss, um einen Frostschaden (Aufrieren des Verdampfers) zu verhindern. Die meisten Wärmepumpenhersteller übernehmen nur Gewährleistung, wenn sichergestellt ist, dass die Austrittstemperatur $> +5^{\circ}\text{C}$ ist. Dies kann durch einen Sicherheitsthermostat erreicht werden. Einzelne Wärmepumpenhersteller lassen eine Mindesttemperatur von $+2^{\circ}\text{C}$ zu. Wenn die eingestellte Temperatur unterschritten wird, schaltet die Wärmepumpe aus und, falls nicht verriegelt, die elektrische Zusatzheizung ein. Als zusätzliche Sicherheitsfunktion gegen das Einfrieren kann zudem der wasserseitig installierte Strömungswächter bei Unterschreitung des eingestellten Mindestdurchflusses die Wärmepumpe abschalten. Die Schwierigkeit ist, eine mit Wasser zu befüllende Sondenanlage so zu planen, dass diese auch bei langjährigem Betrieb die vorgegebene Grenztemperatur nicht unterschreitet. Je nach den Randbedingungen, die der Planung zugrunde gelegt werden, ergibt sich dabei eine um das 1,3 bis 2,5-fach größere Gesamtsondenlänge als bei einer sonst gleichen aber mit sole-/wasserbefüllten Anlage, die den oben angegebenen Richtwerten für den Energieentzug entspricht. Auch das angenommene Nutzerverhalten und der daraus resultierende Energieentzug hat dabei einen großen Einfluss auf die Sondendimensionierung. Falls die Sonde für eine Standardnutzung dimensioniert wurde und später ein erhöhter Energiekonsum (z. B. durch erhöhte Raumtemperaturen oder erhöhten Warmwasserverbrauch) zu verzeichnen ist, kann dies dazu führen, dass die Wärmepumpe abschaltet und die Heizleistung über die elektrische Zusatzheizung ergänzt wird, wodurch sich die Energieeffizienz erheblich verschlechtert. Falls der Hauseigentümer die Installation einer mit Wasser befüllten Erdwärmesonde wünscht, sollte ein geeignetes und erfahrenes Planungsbüro mit den erforderlichen geologischen Kenntnissen zur Planung herangezogen werden.

Für die Sondenplanung werden häufig die Softwarepakete EED oder EWS (siehe Kapitel 11) angewendet. In der Abbildung 9 ist der mit dem Programm EED simulierte Verlauf der mittleren Mediumstemperatur (Mittelwert der Wassertemperaturen vor und nach dem Verdampfer) anhand eines Beispiels dargestellt. Es werden gemäß VDI 4640 [12.1] zwei Lastfälle unterschieden. Zum einen erfolgt die Simulation mit einer mittleren monatlichen Belastung (durch Wärmeentzug), zum anderen durch angenommene Zeiten mit Spitzenbelastung (mehrere kalte Tage nacheinander). Im vorliegenden Fall sollte im langjährigen Betrieb sichergestellt werden, dass auch bei Spitzenlast eine mittlere Mediumstemperatur von $+5^{\circ}\text{C}$ nicht unterschritten wird. Hierfür würde ein Sondenanlagenfeld mit zwei Bohrungen á 150 m benötigt. Würde man stattdessen nur eine Sondenanlage mit 210 Gesamtbohrmetern errichten, säne gemäß Simulationsberechnung die mittlere Mediumstemperatur bei Spitzenbelastung auf $+1,5^{\circ}\text{C}$ ab. Es müsste daher mit der Zuschaltung der elektrischen Zusatzheizung gerechnet werden. Wie hoch der Anteil der Elektrodirektheizung dabei werden würde, lässt sich mit dem Simulationsprogramm nicht vorausberechnen. Zum Vergleich würde eine sole-/wasserbefüllte Anlage, die nach den oben genannten Richtwerten für monovalenten Betrieb geeignet wäre, eine Sondenanlage von 1 x 120 m benötigen. Unter diesen Bedingungen könnten Jahresarbeitszahlen (siehe Kapitel 4.5) von 3,5 bis 4 erwartet werden. Mit der wasserbefüllten Anlage und 300 m Gesamtsondenlänge ließe sich eine Arbeitszahl von ca. 5 erzielen. Die Mehrkosten für das größere Sondenfeld könnten trotz der erhöhten Energieeffizienz innerhalb der Lebensdauer der Anlage aber nicht refinanziert werden.

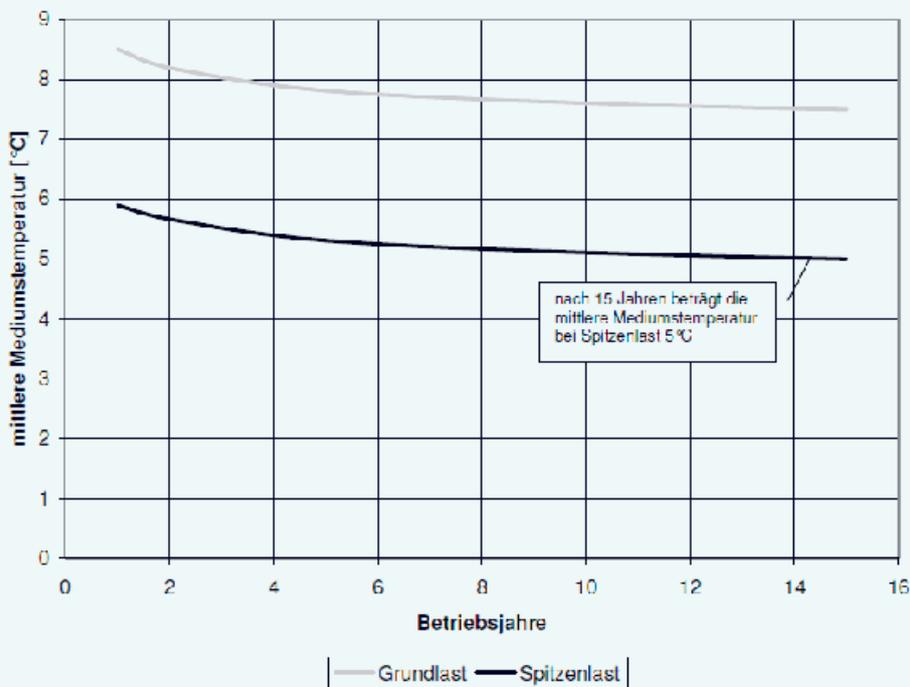


Abbildung 9:

Durch Simulation berechneter Verlauf der mittleren Temperatur des Wärmeträgermediums (Wasser) über 15 Betriebsjahre für 2 Sonden á 150 m.

Dargestellt sind jeweils die Mindesttemperaturen je Betriebsjahr für Grund- und Spitzenlastbetrieb.

Die geplante Entzugsarbeit beträgt ca. 12.000 kWh/a bei ca. 8 kW Gebäudeheizlast (Quelle: Systherma, Starzach-Fellendorf).

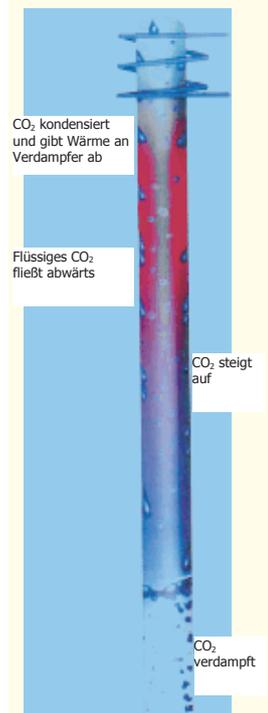
In der Schweiz bestehen schon längere Zeit Erfahrungen mit wasserbefüllten Erdwärmesondenanlagen. Nach Auskunft der FWS (Fördergesellschaft Wärmepumpen Schweiz) wird dort in den meisten Fällen die Gesamtsondenlänge um den Faktor 1,3 bis 1,4-fach größer gewählt als bei einer vergleichbaren sole-/wasserbefüllten Anlage. Es stehen bisher aber noch keine dokumentierten Nachweise über die Energieeffizienz (Jahresarbeitszahl) derart dimensionierter Systeme zur Verfügung.

Eine interessante Alternative für eine wasserbefüllte Erdwärmesonde ist die in Deutschland noch relativ wenig verbreitete mit Kohlendioxid (CO₂) befüllte Sonde, die sich aufgrund der Eigenschaften des Wärmeträgers, vor allem wegen der Ungiftigkeit, auch hervorragend bei hohen Anforderungen an den Grundwasserschutz (siehe oben) eignet. CO₂-befüllte Erdwärmesonden benötigen keine Hilfsenergie (keine Umwälzpumpe), da sie selbstzirkulierend sind. Sie wurden in Österreich entwickelt und arbeiten nach dem Heat-Pipe-Prinzip. Dabei fließt das flüssige CO₂ durch die Schwerkraft an der Rohrwand der Sonde hinunter. Der Flüssigkeitsfilm wird durch die Verdampfung immer dünner. Der CO₂-Dampf steigt im Zentrum der Sonde nach oben, wo es im Sondenkopf wieder kondensiert und der Kreislauf (Naturumlauf) von neuem beginnt. Im Sondenkopf wird dem CO₂ die Energie durch die Wärmepumpe, die mit einem handelsüblichen Kältemittel z. B. R410a betrieben wird, entzogen (siehe Abbildung 10). Diese Sondenbauart zusammen mit darauf abgestimmten Wärmepumpenaggregaten ist derzeit nur von einem Hersteller erhältlich.

Erdwärmesonden mit CO₂ als Wärmeträger sind eine interessante Alternative, insbesondere wenn hohe Anforderungen an den Grundwasserschutz bestehen.

Abbildung 10:

Prinzip der selbstzirkulierenden CO₂-Sonde (Quelle: Heliotherm, Österreich)



Nach bisherigen Erkenntnissen lässt sich eine um bis zu 0,5 Punkte höhere Jahresarbeitszahl verglichen mit einer gleichlangen sole-/wasserbefüllten Anlage erreichen. Die o. g. Richtwerte für den Wärmeentzug pro Meter Sondenlänge lassen sich auch bei CO₂-befüllten Erdwärmesonden anwenden. Frostschutzprobleme sind bei diesem System nicht vorhanden. Einzig bekannter Nachteil dieses Systems ist, dass eine Energieabgabe an das Erdreich (Kühlung, siehe Kapitel 6.4) mit CO₂-befüllten Erdwärmesonden nicht möglich ist, da der Naturumlauf nur bei Wärmeentzug funktioniert. Dies ist aber nur für Bauherren von Bedeutung, die eine Kühlfunktion beanspruchen möchten.

4.4 BEZEICHNUNG VON WÄRMEPUMPEN

4.4 Bezeichnung von Wärmepumpen

Abhängig von den Wärmeträgermedien auf der Wärmequellenseite (Verdampfer) und auf der Verflüssigerseite werden die Wärmepumpen gemäß Tabelle 2 bezeichnet.

Tabelle 2:
Bezeichnung von Wärmepumpen nach den verwendeten Wärmeträgern

Bezeichnung	Verdampfer	Verflüssiger	Beispiel für Kurzbezeichnung
Luft/Wasser-Wärmepumpe	Außenluft	Heizwasser	A2*/W35**
Wasser/Wasser-Wärmepumpe	Grundwasser	Heizwasser	W10/W35
Sole/Wasser-Wärmepumpe	Sole	Heizwasser	B0/W35
Luft/Luft-Wärmepumpe	Abluft/Fortluft	Zuluft	A20/A35

A = AIR (Luft); B = BRINE (Sole); W = WATER (Wasser)
 * Eintrittstemperatur in den Verdampfer (2°C)
 ** Austrittstemperatur aus dem Verflüssiger (35°C)

4.5 EFFIZIENZ-KENN- GRÖSSEN VON WÄRMEPUMPEN

4.5 Effizienz-Kenngrößen von Wärmepumpen

Vergleichbar mit den Wirkungs- und Nutzungsgraden von Heizkesseln gibt es auch bei Wärmepumpen Kenngrößen, die Auskunft über die Effizienz der Wärmepumpe geben.

Eine wichtige Kenngröße ist die Leistungszahl (COP = Coefficient of Performance). Sie gilt für einen bestimmten Betriebspunkt z. B. A2/W35, (siehe Tabelle 2).

$$\text{COP} = \frac{\text{Wärmeabgabe am Verflüssiger im Prüfzeitraum}}{\text{elektronische Energieaufnahme (Verdichter + Hilfsenergie) im Prüfzeitraum}}$$

Die Leistungszahlen (COP) von Heizungswärmepumpen werden von unabhängigen und akkreditierten Wärmepumpenprüfstellen wie z. B. das Wärmepumpentestzentrum Buchs/CH oder TWK Test- und Weiterbildungszentrum Wärmepumpen Karlsruhe messtechnisch nach Norm EN 14511 [8] ermittelt. Hierbei sind die elektrischen Leistungsaufnahmen der Heizungsumwälzpumpe und der quellenseitigen Förderpumpe (bei Wasser/Wasser- bzw. Sole/Wasser-Wärmepumpen) nur anteilig berücksichtigt, da diese sehr stark von den örtlichen Randbedingungen abhängig sind. Der Energiebedarf für das Abtauen bei Luft/Wasser-Wärmepumpen ist allerdings enthalten. Der COP ist ein Gütekriterium der Wärmepumpe. Je höher desto besser.

Allgemein gilt:

Je geringer der Temperaturunterschied zwischen Wärmequelle und Heizsystem, desto höher ist die Leistungszahl (COP).

Beispielhaft ist in Abbildung 11 die Abhängigkeit des COP von der Vorlauf-temperatur des Heizsystems und von der Eintrittstemperatur der Wärmequelle für eine bereits geprüfte Sole/Wasser-Wärmepumpe dargestellt.

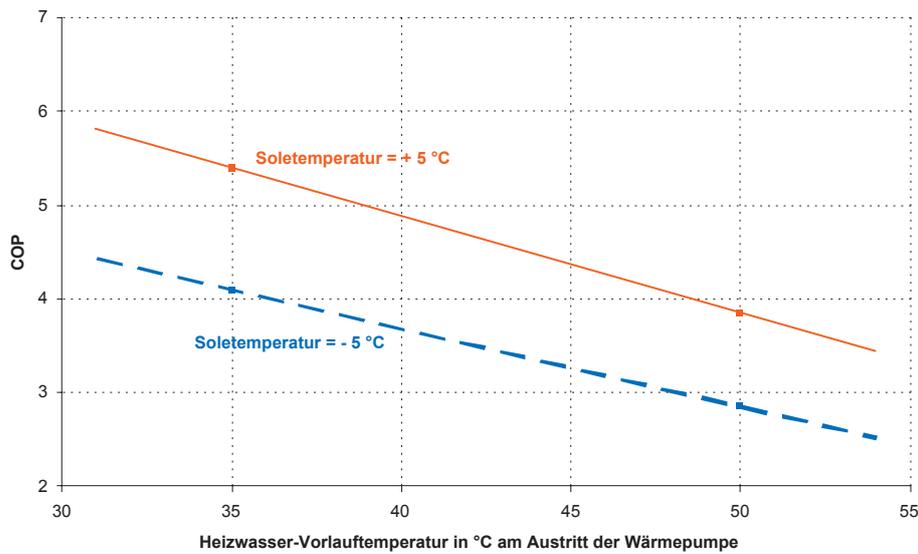


Abbildung 11:
COP in Abhängigkeit der
Wasservorlauf- und der
Wärmequellentemperatur

Wie bereits beschrieben, gibt die Leistungszahl (COP) nur Auskunft über die Effizienz der Wärmepumpe in einem bestimmten Betriebspunkt (z. B. A2/W35). Dies ist vergleichbar mit dem Wirkungsgrad eines Kessels.

Entscheidend für den wirtschaftlichen Betrieb einer Wärmepumpe ist jedoch eine Kenngröße, die aus dem Verhältnis der über das gesamte Jahr an das Heiznetz und an das Warmwasser abgegebenen Energie (in Form von Wärme) zur gesamten aufgenommenen elektrischen Energie (einschließlich Hilfs- bzw. Zusatzenergie) gebildet wird.

Diese Kenngröße wird als Jahresarbeitszahl β der Wärmepumpenheizung bezeichnet. Die Systemgrenzen zur Ermittlung der Arbeitszahl sind in Anhang A6 beschrieben. Als neue Kenngröße ist mit der Einführung der Energieeinsparverordnung seit Februar 2002 die Anlagenaufwandszahl e_p hinzugekommen. Der Zusammenhang zur Jahresarbeitszahl ist wie folgt:

$$e_p = f_p / \beta_C, \text{ mit } f_p = \text{Primärenergiefaktor} = 2,7 \text{ für Strom und } \beta_C \text{ nach Anhang A6.}$$

Eine gute Wärmepumpenanlage muss damit eine hohe Arbeitszahl und eine niedrige Anlagenaufwandszahl aufweisen. Bei messtechnischen Überprüfungen (siehe Feldtestergebnisse, Kapitel 8) wird i. d. R. auf die Jahresarbeitszahl β_B (siehe Anhang A6) zurückgegriffen, da die in β_C enthaltenen Wärmeverluste/Wärmegevinne mit den üblichen Energiezählern nicht separat messbar sind. Im einfachsten Fall wird nur die Arbeitszahl der Wärmepumpe β_A angegeben ($\beta_A > \beta_B > \beta_C$).

Viele Einflussgrößen wirken sich direkt auf die Jahresarbeitszahl, beziehungsweise auf die Anlagenaufwandszahl aus. Diese sind nachfolgend qualitativ zusammengestellt. Im Kapitel 7 „Einflussgrößen auf die Effizienz von Wärmepumpenanlagen“ sind die quantitativen Auswirkungen anhand von Beispielen verdeutlicht.

niedrige Vorlauf-temperatur
+
hohe Wärmequellen-temperatur
=
hohe Energie-Effizienz

Was beeinflusst die Jahresarbeitszahl

Einflussgrößen auf die Jahresarbeitszahl

Wirkung

- | | |
|--|----|
| • Niedrige Auslegungs-Vorlauftemperatur des Heizsystemes | ++ |
| • Niedrige Wärmequellentemperatur
(z. B. durch falsche Dimensionierung der Erdwärmesonde) | -- |
| • Wärmepumpe mit hohem COP (Gütesiegel) | ++ |
| • Trinkwassererwärmung ausschließlich über Elektroheizstab | -- |
| • Hoher Deckungsanteil der Elektrozusatzheizung am Heizenergieverbrauch (z. B. durch fehlerhafte Steuerung oder zu hohen Energieverbrauch) | -- |
| • Hoher Druckverlust im Fördersystem der Wärmequelle
(z. B. zu klein dimensionierte Leitungen im Solekreislauf) | - |
| • Speicher/Speichermassen zu klein dimensioniert (häufiges Takten) | - |

(++ starke Verbesserung; + Verbesserung der Arbeitszahl/Aufwandszahl)

(- - starke Verschlechterung; - Verschlechterung der Arbeitszahl/Aufwandszahl)

4.6 ENERGIE- UND UMWELTBILANZ VON WÄRMEPUMPEN

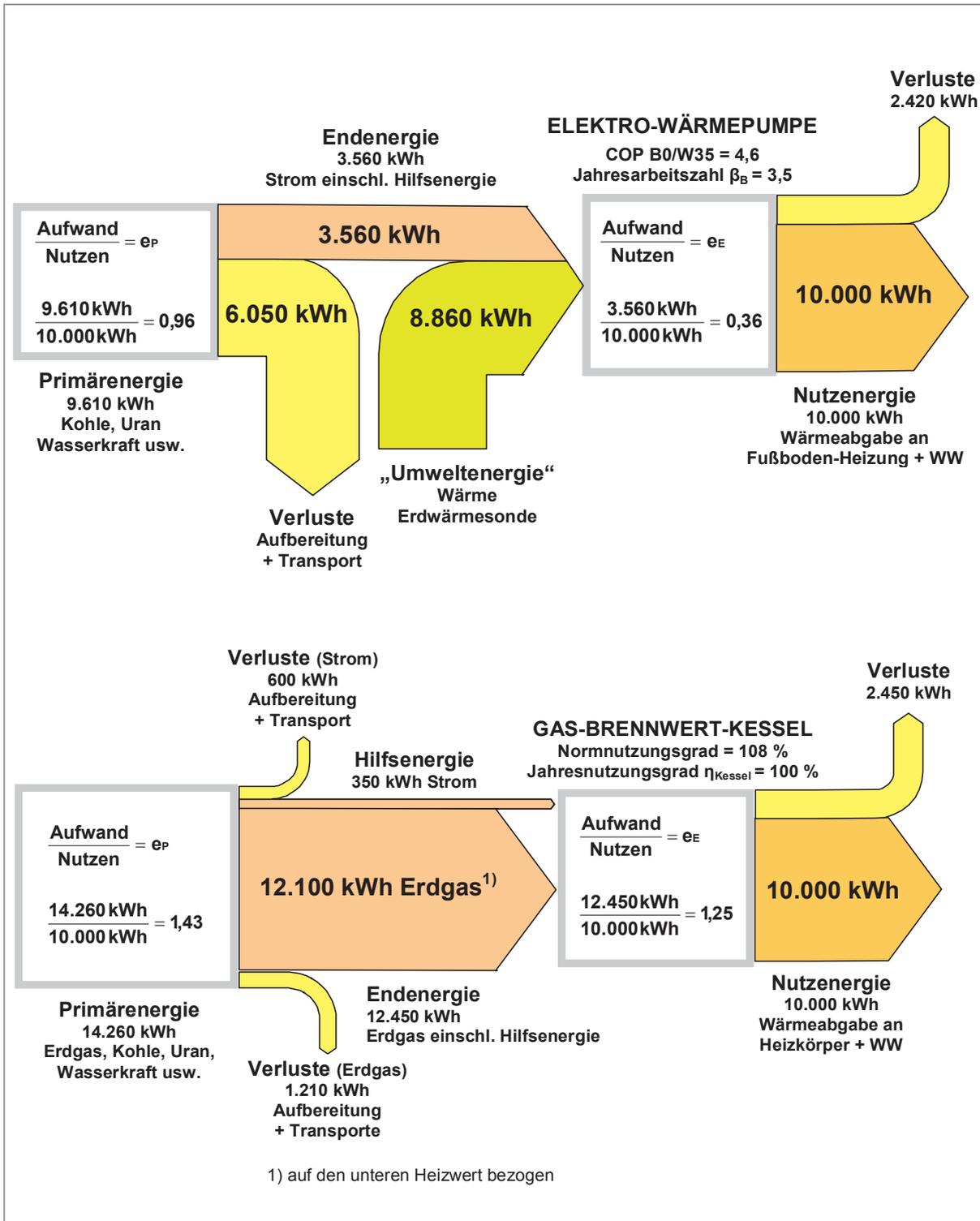
4.6 Energie- und Umweltbilanz von Wärmepumpen

Ob elektrisch betriebene Wärmepumpenheizanlagen unter Umweltgesichtspunkten besser abschneiden als moderne gas- oder ölbefeuerte Heizkesselanlagen, ist im Wesentlichen abhängig von der Jahresarbeitszahl β_c bzw. der Anlagenaufwandszahl e_p .

Die für die Umweltbewertung interessanten Kenngrößen sind der Primärenergiebedarf und die globalen CO₂-Emissionen (Erklärung siehe Glossar, Kapitel 13). Für den Nutzer interessant ist vor allem der Endenergiebedarf, weil sich an diesem seine Energiekosten bemessen. In der Abbildung 12 sind die genannten Kenngrößen einer konventionellen Anlage mit Gasbrennwertkessel denen einer Wärmepumpen-Heizanlage mit Erdwärmesonde gegenübergestellt, ausgehend von einem Jahres-Nutzenergiebedarf inkl. Warmwasser von 10.000 kWh/a für einen Neubau mit Fußbodenheizung. Die berechneten CO₂-Emissionen basieren auf den spezifischen Emissionswerten (CO₂-Emissionsfaktoren: Erdgas = 0,252 kg/kWh; Strom = 0,670 kg/kWh) in kg/kWh Endenergie, die anhand GEMIS 4.5 [9] ermittelt wurden und für einen bundesdurchschnittlichen Strombezug aus dem Niederspannungsnetz gelten. Würde der Strommix aus Baden-Württemberg herangezogen werden, ergäbe sich aufgrund des hohen Kernenergieanteils in der Stromerzeugung eine um den Faktor 2,5 bessere CO₂-Bilanz bei den strombetriebenen Wärmepumpenheizanlagen.

Die Grafiken dienen im Wesentlichen zur Verdeutlichung der Unterschiede des Energieflusses bei Wärmepumpenheizanlagen gegenüber fossil befeuerten Anlagen. Weitere Systemvergleiche z. B. mit Außenluftwärmepumpen oder pelletbefeuerten Heizanlagen sind in den Anhängen A2 und A3 enthalten.

Abbildung 12:
Gegenüberstellung der
Energie- und Umweltbilanz
einer konventionellen
Heizanlage mit Gasbrenn-
wertkessel und einer
Wärmepumpenheizung
mit Erdwärmesonde für
einen Nutzenergiebedarf
inkl. Warmwasser von
10.000 kWh/a



4.7 Was spricht für den Wärmepumpeneinsatz?

Neben den Umweltvorteilen von effizienten Wärmepumpenheizanlagen, insbesondere gegenüber fossilen Heizsystemen, gibt es besondere Randbedingungen, bei denen sich wirtschaftliche Vorteile beim Einsatz von Wärmepumpen ergeben. In diesen Fällen sollte immer ein Wirtschaftlichkeitsvergleich mit einer konventionellen Heizanlage gemäß Kapitel 9.3 durchgeführt werden.

Die oben genannten besonderen Randbedingungen sind gegeben, wenn

- eine vorhandene Elektrospeicherheizung (Nachtspeicheröfen) auf eine Warmwasser-Heizanlage umgerüstet werden soll oder eine Elektro-Zentral speicherheizanlage zu erneuern ist,
Vorteile einer Wärmepumpenanlage:
 - Es muss kein weiterer Energieträger erschlossen werden.
 - Es ist kein Schornstein erforderlich.

- bei einer bestehenden ölbefeuerten Heizanlage Kessel, Schornstein und Öltank erneuert werden müssten,
Vorteile einer Wärmepumpenanlage:
 - Der Öllageraum wird nicht mehr benötigt und steht für eine sonstige Nutzung zur Verfügung.
 - Die Sanierung des Schornsteins und der Tankanlage sind nicht erforderlich.

- für die Heizanlage im Neubau keine Gasanschluss-Möglichkeit besteht,
Vorteile einer Wärmepumpenanlage gegenüber einer Öl-Heizung:
 - Ein Raum für Öltanks ist nicht erforderlich.
 - Die Investitionen für die Tankanlage entfallen.
 - Es ist kein Schornstein erforderlich.

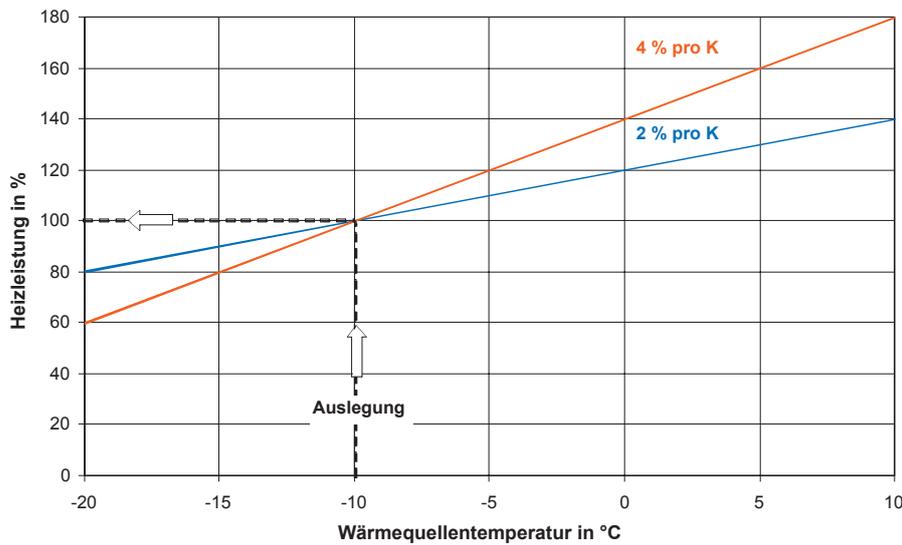
- für die Installation von Wärmepumpenanlagen Fördermittel in Form von Zuschüssen, Zulagen oder zinsvergünstigten Krediten zur Verfügung stehen, (siehe auch Anhang A7).

- ein spezieller und kostengünstiger Wärmepumpentarif vom Stromversorger angeboten wird.

5 Betriebsverhalten von Wärmepumpen

5.1 Einfluss der Wärmequellen- und der Vorlauftemperatur auf die Heizleistung

Im Vergleich zu einem Heizkessel, der bei einer bestimmten Brennerstufe eine nahezu konstante Heizleistung abgibt, ändert sich diese bei Wärmepumpen in erheblichem Maße mit der Wärmequellentemperatur und zwar um ca. 2 bis 4% pro Kelvin Temperaturänderung, (siehe Abbildung 13). Besonders stark hiervon betroffen sind Luft/Wasser-Wärmepumpen mit Außenluft als Wärmequelle.



5.1 EINFLUSS DER WÄRMEQUELLEN- UND DER VORLAUF-TEMPERATUR AUF DIE HEIZLEISTUNG

Abbildung 13: Änderung der Wärmepumpenheizleistung mit der Wärmequellentemperatur (Annahme: Bei -10°C Außentemperatur beträgt die Heizleistung 100%). Beispiel mit Luft als Wärmequelle.

Bei der Vorlauftemperatur ist der Einfluss mit 0,5 bis 2% pro Kelvin Temperaturänderung nur ca. halb so groß, siehe Abbildung 14.

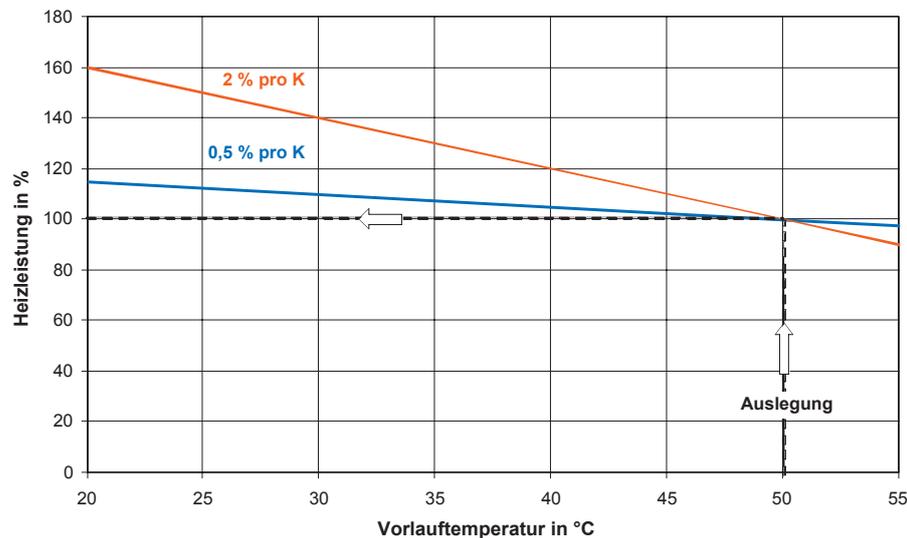


Abbildung 14: Änderung der Wärmepumpenheizleistung mit der Vorlauftemperatur des Heizsystems (Annahme: Bei 50°C Vorlauftemperatur beträgt die Heizleistung 100%).

05 BETRIEBSVERHALTEN VON WÄRMEPUMPEN

5.2 AUSWIRKUNG AUF DIE AUSLEGUNG VON WÄRMEPUMPEN-HEIZANLAGEN

Abbildung 15: Prinzipdarstellung der Leistungszunahme von Wärmepumpen ausgehend von der Auslegungstemperatur (z. B. -12 °C) bei verschiedenen Wärmequellen

Ebenso wie die Heizleistung der Wärmepumpe, ändert sich die am Verdampfer der Wärmequelle entzogene Wärmeleistung. Hingegen ist die aufgenommene elektrische Leistung des Verdichterantriebes nur geringfügigen Änderungen unterworfen.

5.2 Auswirkung auf die Auslegung von Wärmepumpen-Heizanlagen

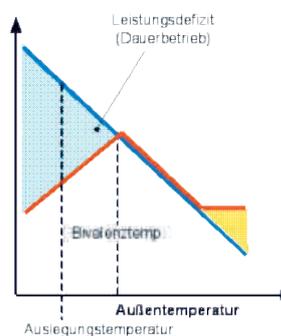
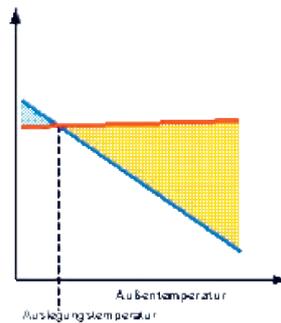
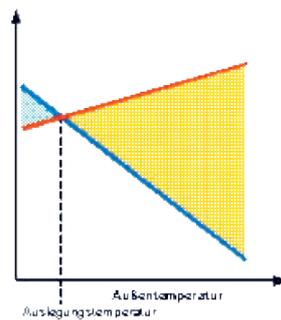
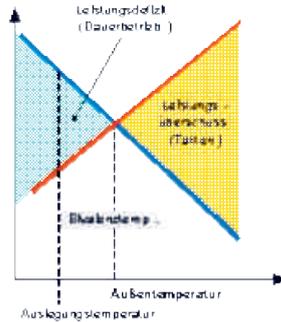


Abbildung 16: Prinzipdarstellung des Leistungsverhaltens bei einer Außenluft-Wärmepumpe mit geregeltm Verdichter

Das unter 5.1 beschriebene dynamische Verhalten von Wärmepumpen muss bei der Auslegung berücksichtigt werden. Im Auslegungspunkt der Heizanlage (z. B. -12 °C) sind die Wärmeleistungen am geringsten. Die mit steigender Außentemperatur in der Regel zunehmende Wärmequellentemperatur und die abnehmende Vorlauftemperatur können bei Luft/Wasser-Wärmepumpen insgesamt zu einem mehr als 2-fachen Anstieg der Heizleistung führen. Bei Wärmepumpen mit Erdwärmesonden variiert die Heizleistung aufgrund der relativ konstanten Wärmequellentemperatur nur geringfügig. Noch geringer ist der Einfluss bei Grundwasser-Wärmepumpen.

Da der Heizwasserdurchfluss über den Verflüssiger normalerweise konstant gehalten wird (siehe Kapitel 6.2), verändert sich der „Temperaturhub“ zwischen Vor- und Rücklauf der Wärmepumpe in gleichem Maße wie die Heizleistung. Dadurch liegt die von der Wärmepumpe bereitgestellte Vorlauftemperatur immer mehr oder weniger stark über der Sollvorlauftemperatur des Heiznetzes, da dessen Leistungsbedarf mit steigender Außentemperatur sinkt und somit ein der Wärmepumpe entgegengesetztes Verhalten aufweist, siehe Abbildung 17. Die überhöhte Vorlauftemperatur hat wiederum einen geringeren COP zur Folge.

Da bei den Außenluft-Wärmepumpen die beschriebenen Effekte am größten sind, kommen neuerdings verstärkt leistungsgeregelte Verdichter zum Einsatz. Hierbei wird zwischen Invertertechnologie und Digital-Scroll-Technologie unterschieden. Die Verdichterleistung und damit auch die Heizleistung sind bei diesen Systemen zwischen ca. 30% und 100% stetig regelbar. Hauptvorteil der Digital-Scroll-Technologie gegenüber der Invertertechnologie ist die gleich bleibende Verdichterdrehzahl und damit gleich bleibende Bedingungen im Kältemittelkreislauf, die wiederum für eine insgesamt höhere Effizienz und Langlebigkeit dieser Systeme sorgen sollen. Vergleichende Untersuchungen hierzu liegen bisher nicht vor.

Bei Wärmepumpenheizanlagen ohne Leistungsregelung erfolgt die Anpassung an die aktuelle Wärmeabnahme durch das Takten = EIN/AUS-Betrieb der Wärmepumpe und Speicherung der Überschusswärme in einem Pufferspeicher oder in den Speichermassen einer Fußbodenheizung. Sind die Speichermassen nicht ausreichend bemessen, kann dies, durch häufiges Takten, zu schnellerem Verschleiß und damit zur Verringerung der Lebensdauer der Wärmepumpe führen.

Bei Außenluft-Wärmepumpen muss zudem noch auf die Einsatzgrenzen geachtet werden. Die Hersteller geben an, bis zu welcher maximalen und minimalen Außenlufttemperatur die Wärmepumpe Energie aus der Luft entnehmen kann. Ein guter Einsatzbereich ist -20°C bis $+40^{\circ}\text{C}$. Hierbei sind keine Betriebseinschränkungen auch bei Trinkwassererwärmung oder Direktkühlung im Sommer zu erwarten. Bei manchen Herstellern muss ab einer bestimmten Außenlufttemperatur (z. B. $< -10^{\circ}\text{C}$) die Vorlauftemperatur reduziert werden.

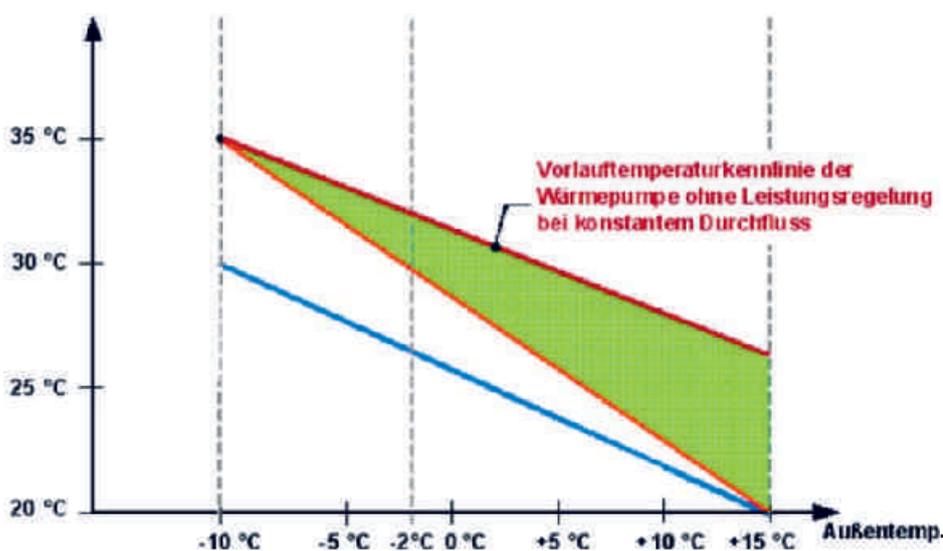


Abbildung 17:

Abbildung 17:
Betriebsverhalten von
Wärmepumpe und Heizsystem bezüglich der Vorlauftemperatur am Beispiel einer monovalent betriebenen Außenluft-Wärmepumpe (ungeregelt) mit Fußbodenheizung (FBH)

Die Hersteller von Sole/Wasser-Wärmepumpen geben oft eine untere Einsatzgrenze von -5°C (Sole-Eintritt) an, die aber bei korrekter Dimensionierung der Erdwärmesonden-Anlage ohnehin nicht annähernd erreicht werden sollte. Bei Wasser/Wasser-Wärmepumpen sollte eine Wassereintrittstemperatur von $+7^{\circ}\text{C}$ nicht unterschritten werden. Sind wärmequellenseitig geringere Wassertemperaturen möglich (z. B. wasserbefüllte Erdwärmesonde) muss sichergestellt werden, dass eine vom Wärmepumpenhersteller angegebene Mindestaustrittstemperatur (z. B. $+2^{\circ}\text{C}$) nicht unterschritten wird (Frostschutz für Verdampfer).

Wärme ist unter uns

🦁 Geothermie in Baden-Württemberg 🦁



Baden-Württemberg

WIRTSCHAFTSMINISTERIUM

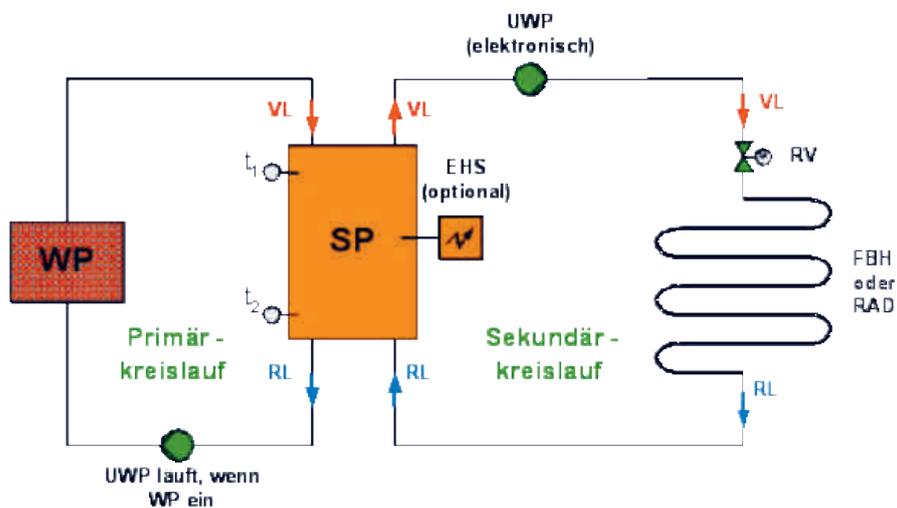
6 Hydraulische Einbindung von Wärmepumpen

6.1 Vorbemerkungen

Die nachfolgenden vereinfachten Schaubilder veranschaulichen die Zusammenhänge. Es sind nur die für das Verständnis wichtigen Komponenten der Heizkreisläufe (ohne Wärmequelle) dargestellt. Für die Planung von Anlagen mit allen erforderlichen Komponenten sind die Schemata der Wärmepumpenhersteller bzw. die DIN EN 15450 [11] heranzuziehen. Weitere Orientierung bietet die STASCH-Planungshilfe [7].

6.2 Grundlagen für den Heizbetrieb

Wärmepumpen haben einen geringen Heizwasserinhalt (im Verflüssiger) und sind vergleichbar mit Durchlauferhitzern. Sie benötigen daher einen annähernd konstanten Heizwasserdurchfluss. Da auf der Wärmeabnahmeseite je nach Lastfall variable Durchflüsse auftreten, z. B. weil Regelventile schließen, müssen der Erzeugerkreislauf (Wärmepumpe) und der Verbraucherkreislauf (Heizkreis) voneinander entkoppelt werden. Dies geschieht durch einen Bypass zwischen Erzeuger- und Verbraucherkreislauf, in den ein Pufferspeicher, als Schichtspeicher, eingebunden wird, (siehe Abbildung 18).



Legende:

WP = Wärmepumpe;

UWP = Umwälzpumpe;

EHS = Elektroheizstab;

FBH = Fußbodenheizung;

RV = Regelventil;

RAD = Radiatoren;

SP = Pufferspeicher;

VL = Vorlauf; RL = Rücklauf;

t_1 = Temperaturfühler zum Einschalten der WP;

t_2 = Temperaturfühler zum Ausschalten der WP

6.1 VORBEMERKUNGEN

6.2 GRUNDLAGEN FÜR DEN HEIZBETRIEB

Entkopplung der Heizwasserdurchflüsse (primär/ sekundär) durch parallel geschalteten Pufferspeicher

Abbildung 18: Hydraulik-Schema (Prinzip) für die Einbindung von Wärmepumpen mit einem Pufferspeicher als Parallelspeicher zur Entkopplung von Primär- und Sekundärkreislauf

06 HYDRAULISCHE EINBINDUNG VON WÄRMEPUMPEN

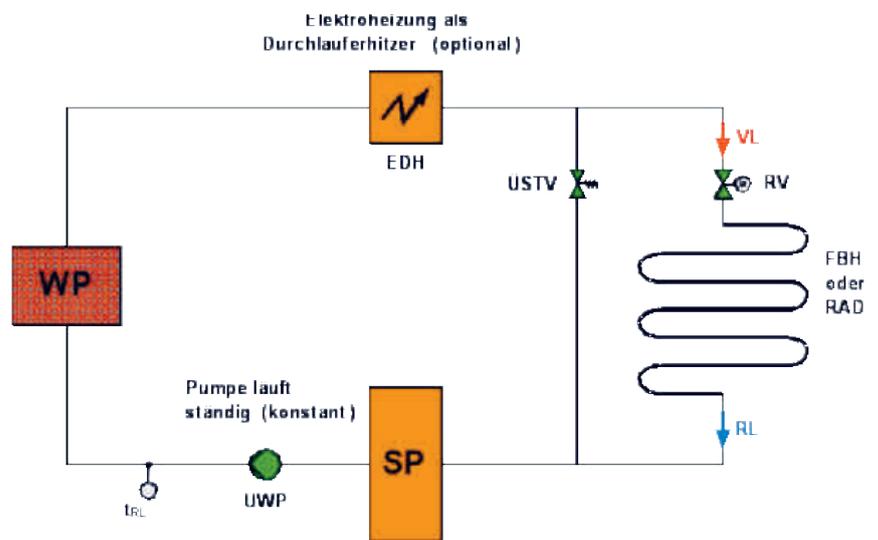
Falls beim System nach Abbildung 18 verschiedene Heizkreise, z. B. Fußbodenheizung und Radiatoren kombiniert werden sollen, müssen diese Heizkreise jeweils mit 3-Wege-Ventilen (Beimischregelung) ausgestattet werden, um die unterschiedlichen Vorlauftemperaturen einstellen zu können.

Der Pufferspeicher soll mindestens so groß dimensioniert sein, dass die Wärmepumpe bei Null-Last (ohne Wärmeabnahme) 10 Minuten läuft, bevor sie ausschaltet. Soll zudem die Energiemenge für Sperrzeiten (nicht relevant bei Fußbodenheizsystemen) bevorratet werden, ist das Volumen des Pufferspeichers, entsprechend der Dauer und Häufigkeiten der Sperrzeiten, zu vergrößern (siehe Kapitel 9.1.1). Durch die Regelung/Steuerung muss sichergestellt sein, dass der Speicher vor Beginn der Sperrzeit voll aufgeladen ist.

Entkopplung der Heizwasserdurchflüsse durch ein Überströmventil

Vielfach wird von den Wärmepumpenherstellern anstelle des parallel geschalteten Pufferspeichers ein in Reihe geschalteter Pufferspeicher empfohlen, der meist im Rücklauf der Wärmepumpe eingebaut ist, (siehe Abbildung 19). Die Entkopplung der Durchflüsse im Erzeuger- und Verbraucherkreislauf wird dann durch ein parallel zum Heizkreis platziertes Überströmventil realisiert. Diese Lösung funktioniert nur dann, wenn das Überströmventil ordnungsgemäß dimensioniert und eingestellt ist. Drehzahlgeregelte Umwälzpumpen können bei diesem System nicht eingesetzt werden. Zudem ist dieses System nicht einsetzbar für die Überbrückung von Sperrzeiten. Auch eine Kombination von zwei verschiedenen Heizsystemen mit unterschiedlichen Vorlauftemperaturen (z. B. Fußbodenheizung und Radiatoren) sind bei einem Aufbau mit in Reihe geschaltetem Pufferspeicher nicht sinnvoll.

Abbildung 19:
Hydraulik-Schema (Prinzip) für die Einbindung von Wärmepumpen mit einem Pufferspeicher in Reihe geschaltet in Kombination mit einem Überströmventil



Legende:

WP = Wärmepumpe;

UWP = Umwälzpumpe;

EDH = Elektrodurchlauferhitzer;

FBH = Fußbodenheizung;

RAD = Radiatoren;

SP = Pufferspeicher;

VL = Vorlauf;

RL = Rücklauf;

ÜSTV = Überströmventil;

RV = Regelventil;

t_{RL} = Temperaturfühler zum Ein- und Ausschalten der WP

Für den Einsatz im Neubau gibt es für die zuvor beschriebene Variante mit einem in Reihe geschalteten Pufferspeicher, insbesondere in der Kombination mit einer Fußbodenheizung (kleiner Speicherinhalt ausreichend), sehr kompakte Systemlösungen. Ein Beispiel hierfür ist aus den Abbildungen 20 und 21 ersichtlich, wo auf sehr beengtem Raum die Wärmepumpe, der Pufferspeicher, die Umwälzpumpe, der Durchlauferhitzer, das Umschaltventil für die Warmwasser-Bereitung und das Überströmventil untergebracht sind. Der Pufferspeicher ist in diesem Fall im Vorlauf der Wärmepumpe eingebunden.



Abbildung 20:
Beispiel für ein Kompakt-
gerät mit integriertem
Pufferspeicher (in Reihe
geschaltet im Vorlauf)

Legende:
7 = Verflüssiger der Wärmepumpe;
Pfeil nach oben = Vorlauf des Heizungswassers
der Wärmepumpe

Legende:
1 = Pufferspeicher
2 = Elektrodurchlauferhitzer
3 = Umwälzpumpe
4 = Überströmventil
5 = 3-Wege-Umschaltventil
6 = Rücklauftemperatur-Regelfühler

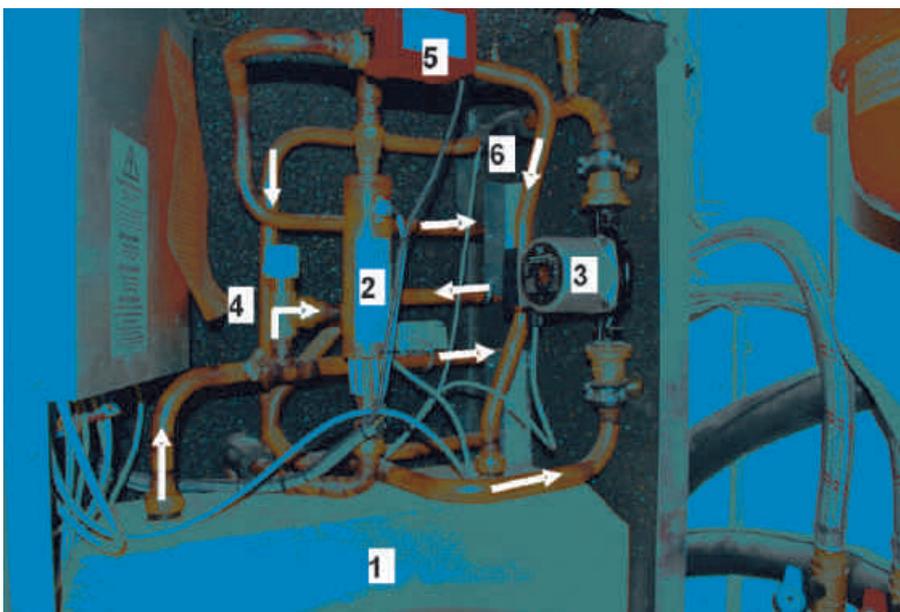


Abbildung 21:
Detail zu Abbildung 20
(Ansicht von der Rückseite
bei abgenommenen
Revisionsverkleidungen).

6.3 Grundlagen für die Trinkwassererwärmung

Bei der Trinkwassererwärmung (nachfolgend vereinfacht als WW-Erwärmung bezeichnet) im Zusammenhang mit Wärmepumpen sind mehrere Anforderungen zu erfüllen:

1. Energieeffiziente Wärmebereitstellung
2. Verminderung des Legionellenwachstums
3. Störungsfreier Betrieb
4. Kostengünstig in der Anschaffung
5. Geringer Platzbedarf (Aufstellungsfläche)

Energieeffiziente Wärmebereitstellung

Die Wärmebereitstellung für die WW-Erwärmung ist am energieeffizientesten, wenn sie entweder durch die Wärmepumpe mit einem möglichst hohen COP oder durch eine Solarthermische Anlage erfolgt. Der Anteil der elektrischen Direktheizung durch den Elektroheizstab bzw. durch einen Elektrodurchlauf-erhitzer sollte minimiert werden. Erfolgt die Wärmebereitstellung durch die Wärmepumpe, sollte die Elektrozusatzheizung erst zuschalten, wenn die Wärmepumpe ihre maximale Vorlauftemperatur erreicht hat und die gewünschte Speichertemperatur ($\geq 50^\circ\text{C}$, siehe 2.) noch nicht erreicht ist. Durch großzügig dimensionierte Wärmeaustauscher und einen korrekt eingestellten Heizwasserdurchfluss kann der Deckungsanteil der Wärmepumpe optimiert werden.

Verminderung des Legionellenwachstums

Das Legionellenwachstum kann durch die Einhaltung der Vorgaben, die im DVGW-Arbeitsblatt W551 [16] beschrieben sind, vermindert werden.

Bei Ein- und Zweifamilienhäusern gelten die Anforderungen für Kleinanlagen. Dabei muss die WW-Bereitung in der Lage sein, eine Betriebstemperatur von $\geq 60^\circ\text{C}$ zu erreichen. Eine Unterschreitung von 50°C soll aber in jedem Fall vermieden werden. Optimale Voraussetzungen sind gegeben, wenn das System in der Lage ist, das gesamte Speichervolumen auf $\geq 60^\circ\text{C}$ aufzuheizen. Da dies mit einer Wärmepumpe aufgrund der beschränkten Vorlauftemperaturen von 55°C bis max. 65°C (fabrikatsabhängig) nicht möglich ist, sollte vorzugsweise ein Elektroheizstab im WW-Speicher integriert werden, der eine Nachheizung auf Temperaturen $\geq 60^\circ\text{C}$ ermöglicht. Wird der Heizstab möglichst weit unten im Speicher angeordnet, ist es möglich, nahezu das gesamte Speichervolumen auf die erforderliche hohe Temperatur aufzuheizen (z. B. einmal pro Woche mit manueller Aktivierung durch den Betreiber).

Störungsfreier Betrieb

Ein störungsfreier Betrieb (Vermeidung von Hochdruckabschaltungen und Erreichung der gewünschten Speichertemperatur) bei der WW-Erwärmung mit der Wärmepumpe können durch großzügig dimensionierte Wärmetauscher und korrekten Heizwasserdurchfluss erreicht werden. Besonders bei zu groß dimensionierten Außenluftwärmepumpen in Verbindung mit hohen Außenlufttemperaturen kann die Heizleistung so groß werden, dass die installierten Wärmeaustauscherflächen nicht in der Lage sind, die Wärme bestimmungsgemäß zu übertragen, wodurch die Rücklauftemperatur zur Wärmepumpe stark ansteigen kann. Zur Übertragung von hohen Heizleistungen sind ggf. externe Wärmeübertrager (siehe System B in Tabelle 3) erforderlich.

Anschaffungskosten

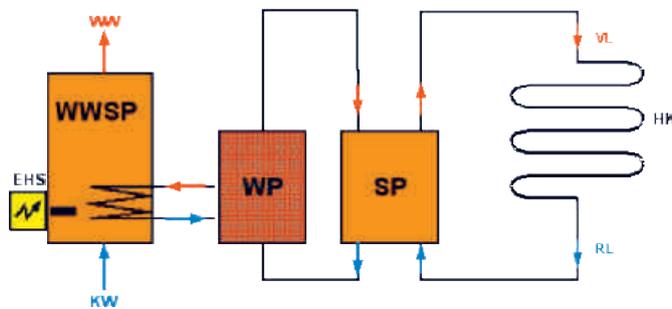
Die Systeme mit den geringsten Anschaffungskosten sind solche mit standardisierten und vielfach einsetzbaren Komponenten (hohe Stückzahlen), die mit möglichst geringem Installationsaufwand mit der Wärmepumpenheizanlage kombiniert werden können.

Geringer Platzbedarf (Aufstellungsfläche)

Da in der Regel das Platzangebot für die Aufstellung von Heizungsanlagen mit WW-Speichern begrenzt ist, sind Kompaktsysteme mit geringem Speichervolumen, teilweise integriert im Wärmepumpengehäuse, bei dieser Anforderung im Vorteil.

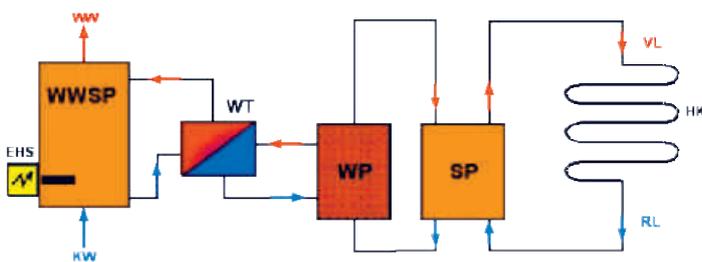
In der nachfolgenden Tabelle 3 sind die am häufigsten zum Einsatz kommenden Systeme zur WW-Erwärmung in Verbindung mit Wärmepumpenheizanlagen zusammengestellt.

Prinzipschemata für Systeme zur WW-Erwärmung mit Kurzbeschreibung



Kurzbeschreibung System A:

Erwärmung des Warmwassers über einen separaten WW-Speicher mit integriertem Wärmeaustauscher auf ca. 45 bis 50 °C durch die Wärmepumpe. Nachheizung auf ≥ 60 °C durch den Elektroheizstab möglich

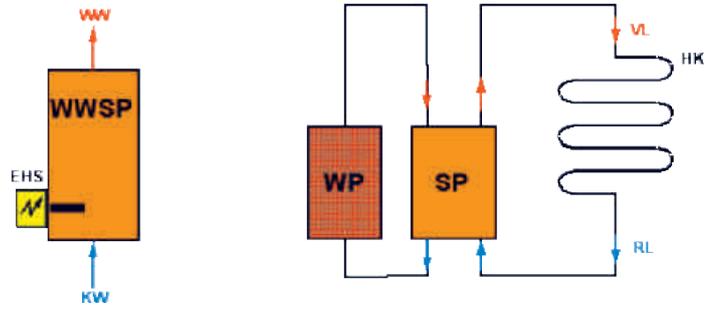


Kurzbeschreibung System B:

Erwärmung des Warmwassers über einen separaten WW-Speicher (Schichtspeicher) mit externem Wärmeaustauscher auf ca. 45 bis 50 °C durch die Wärmepumpe. Nachheizung auf ≥ 60 °C durch den Elektroheizstab möglich

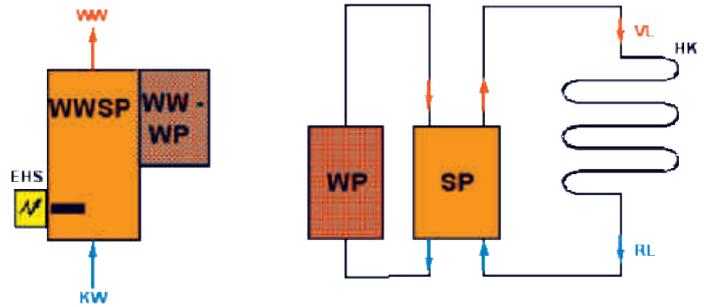
Tabelle 3:

Zusammenstellung der am häufigsten zum Einsatz kommenden Systeme zur WW-Erwärmung in Verbindung mit Wärmepumpenheizanlagen (stark vereinfachte Schemata ohne Wärmequelle, Pumpen, Regelkomponenten und Sicherheitsarmaturen)



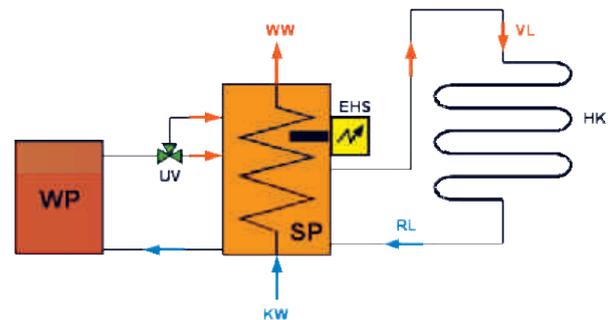
Kurzbeschreibung System C:

Separater Warmwasserspeicher, der elektrisch beheizt wird. Wärmepumpe ist nur für die Raumheizung zuständig (wegen der schlechten Energieeffizienz nicht zu empfehlen)



Kurzbeschreibung System D:

Erwärmung des Warmwassers über einen separaten WW-Speicher mit spezieller WW-Wärmepumpe (siehe Kapitel 10.1). Nachheizung auf $\geq 60^\circ\text{C}$ durch den Elektroheizstab möglich. Wärmepumpe (WP) ist nur für die Raumheizung zuständig



Kurzbeschreibung System E:

Erwärmung des Warmwassers über einen Kombispeicher (Pufferspeicher mit innen liegendem WW-Speicher oder Edelstahl-Wellrohr mit geringem Wasserinhalt). Über die Wärmepumpe kann das Warmwasser auf ca. 45 bis 50 °C erwärmt werden. Nachheizung auf $\geq 60^\circ\text{C}$ durch den Elektroheizstab im oberen Speicherbereich möglich. Nutzer muss für energieeffizienten Betrieb sein Zapfverhalten der Zapfleistung des Systems anpassen

Eine Solarthermische Anlage zur WW-Bereitung erhöht die Energieeffizienz

Die solarunterstützte Warmwasserbereitung ist natürlich die energieeffizienteste Möglichkeit und erhöht den Anteil der Nutzung von erneuerbarer Energie erheblich. Dennoch wird wegen der ohnehin bereits höheren Anschaffungskosten einer Wärmepumpenheizung in den meisten Fällen auf eine Solarthermische Anlage verzichtet. Die hydraulische Einbindung einer Solarthermischen Anlage kann prinzipiell mit jeder Variante (A bis E) kombiniert werden. Bei der Systemintegration ist aber darauf zu achten, dass die Wärmepumpe vor zu hohen Temperaturen geschützt wird und dass der Solarwärmetauscher ganz unten im Speicher installiert wird, ohne den Wärmepumpen-Wärmetauscher zu

verkleinern. Am einfachsten ist die hydraulische Einbindung bei dem System E mit Kombispeicher, womit auch eine Heizungsunterstützung (Solaranlage trägt zur Raumheizung bei) verbunden ist. Das Prinzipschema für die Einbindung einer Solarthermischen Anlage in ein System vom Typ E ist in Abbildung 22 dargestellt.

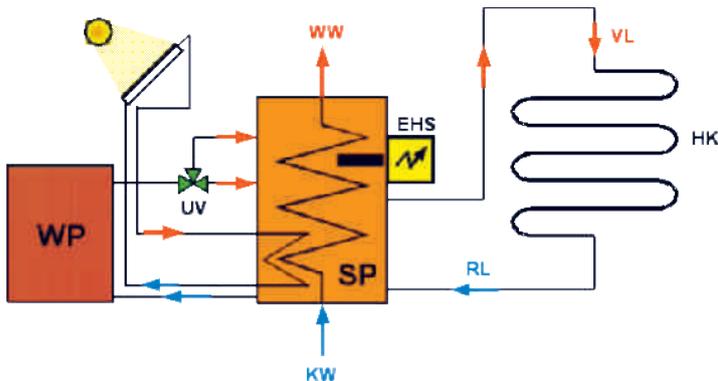


Abbildung 22:
Hydraulik-Schema (Prinzip)
für die Einbindung einer
Solarthermischen Anlage in
das System E (mit Kombi-
speicher)

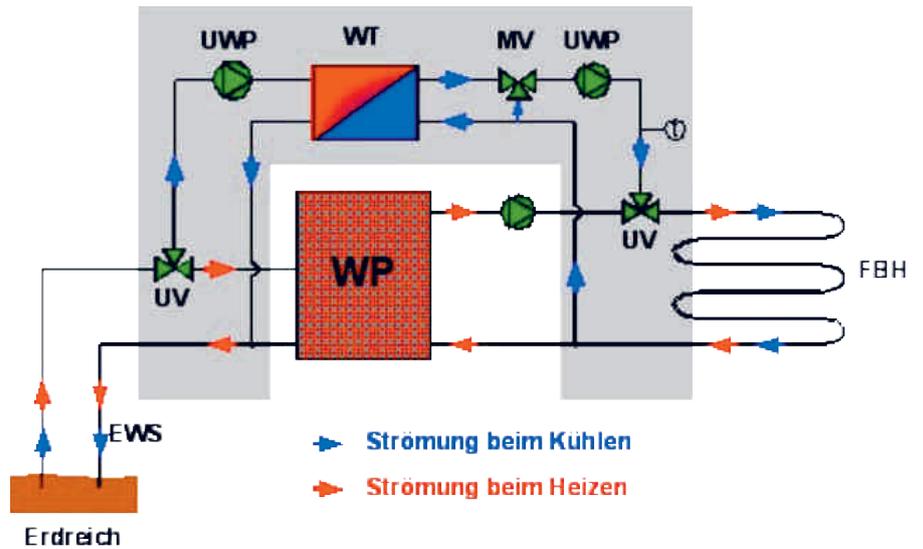
6.4 Grundlagen für den (passiven) Kühlbetrieb

Die Nachfrage nach Kühlung von Wohngebäuden ist aufgrund gewachsener Komfortansprüche steigend. Grundsätzlich kann mit jeder Wärmepumpe auch gekühlt werden. Dazu muss durch zusätzliche Wärmeaustauscher, Armaturen und Regelkreise im Sommerbetrieb eine Umschaltung in der Weise erfolgen, dass die Wärmepumpe die Wärme dem Wohnraum entzieht (Wohnraum wird zur Wärmequelle => Kühlung) und die aufgenommene Wärme an die Umgebung (z. B. Außenluft) abgibt. Diese Art der sommerlichen Kühlung über die Wärmepumpe würde einer aktiven Kühlung entsprechen und führt zu erhöhten Energiekosten, da der Verdichter zusätzliche elektrische Energie aufnimmt. Zudem sind erheblich höhere Anschaffungskosten für ein wesentlich komplexeres technisches System erforderlich. Im Folgenden wird daher nur die passive Kühlung betrachtet, bei der die sommerliche Raumkühlung ohne Betrieb der Wärmepumpe möglich ist. Die passive Kühlung ist prinzipiell bei allen Sole/Wasser- und Wasser/Wasser- Anlagen möglich, kommt aber am häufigsten bei solebefüllten Erdwärmesonden zum Einsatz. Die Wärmepumpenhersteller bieten hierzu fertige Ergänzungsbausätze einschließlich der zugehörigen Armaturen und Sensoren an, die auf den Wärmepumpenregler abgestimmt sind. Der prinzipielle Aufbau für eine passive Kühlung ist in Abbildung 23 mit Kennzeichnung der Zusatzbauteile dargestellt. Für eine kostengünstige Lösung können die vorhandenen Flächenheizungen (Fußbodenheizung oder Wandheizung) verwendet werden. Radiatoren sind hierfür nicht geeignet, da die übertragbare Kühlleistung aufgrund der geringen Fläche und bei Vermeidung von Schwitzwasserbildung auf gering ist. In Verbindung mit Fußbodenheizungen können durchschnittliche Kühlleistungen von 20 bis 40 W/m² (Bodenfläche) abhängig vom Bodenaufbau und vom Verlegeabstand der Heizungsrohre erreicht werden, ohne dass es zu Kondensatanfall kommt. Bei Teppich- und Parkettbodenbelägen ist das System weniger geeignet. Die Regelventile für die Einzelraumregelung müssen für die Realisierbarkeit des Kühlbetriebs umschaltbar sein, so dass die Ventile im Kühlfall bei steigender Raumtemperatur öffnen (im Heizbetrieb umgekehrt). Die Verrohrung einschließlich Armaturen der kaltwasserführenden Bauteile müssen mit geeigneter Wärmedämmung (dampfdiffusionsdicht) versehen und die Stöße verklebt werden, um Tauwasserbildung und Durchfeuchtung des Dämmmaterials zu vermeiden. Alternativ oder zusätzlich zur Fußboden-

6.4 GRUNDLAGEN FÜR DEN (PASSIVEN) KÜHLBETRIEB

oder Wandheizung kann die Kühlleistung auch über Gebläsekonvektoren in die Räume geleitet werden. Bei diesen Systemen muss auch der Vermeidung von Zugerscheinungen Beachtung geschenkt werden.

Abbildung 23:
Prinzipdarstellung des Hydraulikschemas für die passive Kühlung. Die zusätzlich benötigten Komponenten sind grau hinterlegt



Legende:
 WP = Wärmepumpe; WT = Wärmeaustauscher; MV = Mischventil;
 UV = Umschaltventil; EWS = Erdwärmesonde; UWP = Umwälzpumpe

Abbildung 24:
Bausatz für passive Kühlung mit 3-Wege-Mischer und Wärmeaustauscher mit dampfdiffusionsdichter Wärmedämmung



7 Einflussgrößen auf die Effizienz von Wärmepumpen-Heizanlagen

7.1 Vorbemerkungen

In Kapitel 4.5 „Effizienz-Kenngrößen von Wärmepumpen“ wurde die Auswirkung unterschiedlicher Einflussgrößen auf die Energieeffizienz bzw. auf die Jahresarbeitszahl qualitativ bewertet. Nachfolgend wird anhand eines Beispiels die Veränderung der gewichtigen Einflussgrößen und deren zahlenmäßige Auswirkung auf den elektrischen Energiebedarf durch Simulationsberechnungen ermittelt.

Die Daten der Referenzanlage sind in Tabelle 4 dargestellt, die der zugehörigen Berechnungsvarianten in Tabelle 5.

Berechnungsbeispiel	Werte	Einheit
Haustyp:	Wohnhaus, Neubau; 190 m ² ; 4 Pers.	-
Standort:	Ortenau	
Gebäudeheizlast nach DIN EN 12831:	5	kW
Jahres-Heizwärmebedarf nach EnEV:	7.600	kWh
Heizungsanlage:	Sole/Wasser-WP; 300 l Pufferspeicher; Fußbodenheizung (35/28 °C)	-
Erdwärmesonde:	1 x 80 m	
Heizleistung der WP (Auslegungspunkt):	4,8 (bei B0/W35)	kW
COP der Wärmepumpe:	4,6 (bei B0/W35)	-
El. Leistung der Soleförderpumpe:	150	W
El. Leistung der WP-Umwälzpumpe:	40	W
Jahres-Strombedarf für Hilfsenergie: ¹	686	kWh
Wärmeverluste Heizung ² :	570	kWh
Trinkwassererwärmung (WW):	Vorwärmung auf 45 °C (Deckungsanteil WP = 90 %; Rest Elektroheizstab)	-
Nutzenergiebedarf der WW-Bereitung:	2.400	kWh
Wärmeverluste der WW-Bereitung ² :	1.159	kWh
Jahresarbeitszahl β_B ³ :	3,3	-
Anlagenaufwandzahl e_p	0,96	-
Jahres-Endenergiebedarf (Strom) ⁴ ; ⁵ :	3.559	kWh

¹ ohne Strom für Elektrozusatzheizung
² Verluste für Speicherung, Verteilung, Übergabe nach [10]
³ siehe Definition im Anhang A6
⁴ einschl. Hilfsenergie und Elektrozusatzheizung für WW-Bereitung
⁵ Während der Bauaustrocknungsphase ist ein höherer Strombedarf zu erwarten.

7.1 VORBEMERKUNGEN

Tabelle 4:
Daten der Referenz-
Wärmepumpenheizanlage
(Erdwärmesondenanlage
mit WW-Bereitung über die
Wärmepumpe, siehe auch
Anhang A2)

Tabelle 5:
Berechnungsvarianten für
unterschiedliche Einfluss-
größen

Variante	Einflussgröße	Änderung
1	andere Wärmequelle	statt Erdwärmesonde => Außenluft (COP bei A2/W35 = 3,4)
2	Heizsystem mit höherer Vor- lauftemperatur	statt Fußbodenheizung => Radiatoren (55/45 °C)
3	Trinkwassererwärmung nicht über die Wärmepumpe	statt Vorwärmung mit Wärmepumpe => separat elektrisch (Elektroheizstab) (100 % elektrisch)
4	Wärmepumpe mit geringerer Effizienz	statt COP (B0/W35) = 4,6 => COP (B0/W35) = 4,0

7.2 GEGENÜBER- STELLUNG DER EINFLUSSGRÖSSEN

Rein elektrische
Trinkwassererwärmung ist
aufgrund der schlechten
Energieeffizienz nicht
akzeptabel!

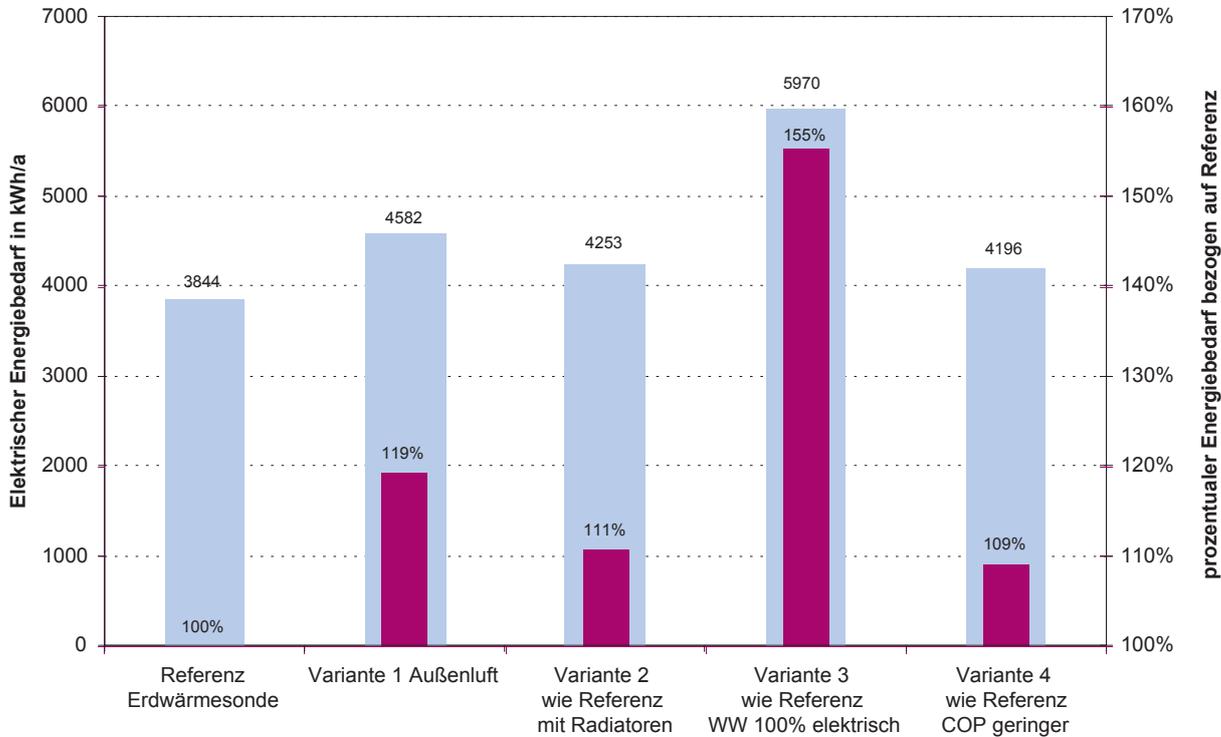
7.2 Gegenüberstellung der Einflussgrößen

Der Einfluss auf die Energieeffizienz der Wärmepumpenheizung (siehe Definition in Kapitel 4.5) für die gemäß Tabelle 5 untersuchten Varianten im Vergleich zur Referenzanlage geht aus Abbildung 25 hervor. Dort ist der berechnete elektrische Jahres-Energiebedarf dargestellt.

Die größte Veränderung des Energiebedarfs ergibt sich durch die Art und Weise der Trinkwassererwärmung (Variante 3). Der jährliche Strombezug und damit die Energiekosten erhöhen sich in diesem Beispiel gegenüber der Referenzanlage um 55%. Es wird daher eine Warmwasservorwärmung mit der Wärmepumpe auf ca. 45–50°C empfohlen. Der Einfluss reduziert sich mit abnehmendem Nutzenergiebedarf für das Warmwasser. Auch wegen der schlechten Energieeffizienz und der daraus resultierenden ungünstigen Umweltbilanz wird von der separaten elektrischen WW-Bereitung (Variante 3) abgeraten.

Der Unterschied zwischen den beiden Wärmequellen Erdreich und Außenluft (Variante 1) beträgt ca. 19%, während die höhere Vorlauftemperatur einer Radiatorenheizung (Variante 2) ca. 11% Mehrverbrauch gegenüber der Fußbodenheizung der Referenzanlage zur Folge hat. Ein schlechter COP (Variante 4) wirkt sich in vergleichbarer Größenordnung aus. Eine Variante mit zusätzlicher solarer WW-Erwärmung, die bezüglich der Energieeffizienz um ca. 10% besser abschneiden würde als die Referenzanlage, ist hier nicht dargestellt, da sie in der Praxis wegen der höheren Anschaffungskosten in den meisten Fällen nicht realisiert wird.

Abbildung 25:
Veränderung des elek-
trischen Energiebedarfs für
unterschiedliche bei der
Planung festgelegte
Ausführungen (Varianten)

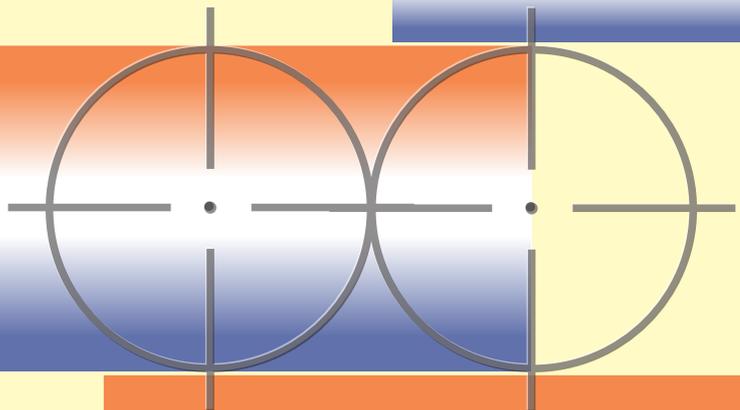


Auf der Basis der in Abbildung 25 dargestellten Ergebnisse lässt sich erkennen, dass die Festlegungen, die während der Planung getroffen werden, großen Einfluss auf den Energiebedarf und auf die Betriebskosten haben. Es ist daher nicht immer sinnvoll, sich für das System mit den geringsten Anschaffungskosten zu entscheiden. Zur Bewertung eignet sich eine Wirtschaftlichkeitsberechnung (siehe Anhänge A2 und A3), die den gesamten Lebenszyklus umfasst. Somit sollte keinesfalls an der Planung gespart werden, da dort die Weichen für die Gesamtwirtschaftlichkeit der Anlage gestellt werden.

Das System mit der separaten elektrischen WW-Bereitung (Variante 3) ist zwar einfach und bezüglich der Anschaffungskosten günstiger, aber energetisch als sehr schlecht zu bewerten.

Mittelgroße Wärmepumpenanlagen

Nutzung der Umweltwärme für Gebäude und Betriebe



Baden-Württemberg

WIRTSCHAFTSMINISTERIUM

Energie sparen durch Wärmepumpenanlagen

8 Feldtestergebnisse

Feldtests werden durchgeführt, um die Energieeffizienz von installierten Wärmepumpenanlagen über längere Zeiträume zu analysieren, zu bewerten und ggf. anschließend zu optimieren. Dabei wird die von der Wärmepumpenanlage abgegebene Wärmeenergie und die aufgenommene elektrische Energie gemessen. Anhand der Messwerte kann die Jahresarbeitszahl berechnet werden (siehe Anhang A6). Die Systemgrenzen für die Ermittlung der Jahresarbeitszahlen werden bei Feldtests zum Teil unterschiedlich festgelegt. Daher sind die Feldtestergebnisse, die von verschiedenen Instituten/Einrichtungen veröffentlicht werden, nicht immer direkt vergleichbar. Für den (künftigen) Betreiber einer Wärmepumpenanlage sind die Feldtestergebnisse sehr interessant, weil er daran erkennen kann, welche Jahresarbeitszahlen sich realistisch erzielen lassen. Damit kann der Betreiber bereits in der Planungsphase prüfen, ob die Energiekosten- und Wirtschaftlichkeitsberechnungen mit erzielbaren Jahresarbeitszahlen durchgeführt werden und später fortlaufend kontrollieren, ob seine installierte Wärmepumpenanlage die geplante Jahresarbeitszahl erreicht. Dazu müssen natürlich die erforderlichen Energiezähler installiert werden. Bei neueren Wärmepumpen liefern einige Hersteller bereits eine in die Wärmepumpe integrierte Erfassung der Jahresarbeitszahl, die am Wärmepumpenregelgerät abgelesen werden kann.

In Baden-Württemberg wurden in den vergangenen drei Jahren zwei umfangreiche Feldtests durchgeführt. Der erste Feldtest (2006–2008) wurde von der Lokalen Agenda 21 – Gruppe Energie in Lahr (LA 21) – erstellt und umfasste 33 im Ortenaukreis installierte Wärmepumpenanlagen. Das Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme in Freiburg (nachfolgend Fraunhofer ISE) führt im Zeitraum 2007–2010 einen Feldtest mit 110 neu installierten Anlagen an verschiedenen Standorten in Deutschland durch. Ein aktueller Stand bezüglich der Arbeitszahlen ist in Kapitel 8.1 zusammengestellt. Weitere detaillierte Informationen zum Betriebsverhalten der vom Fraunhofer ISE untersuchten Anlagen (Neubau) mit Erdwärmenutzung finden sich im Kapitel 8.2. Zusätzliche Berichte und Daten sind über die Internetseiten der genannten Einrichtungen erhältlich.

8.1 Erzielte Jahresarbeitszahlen von Luft/Wasser- und Sole/Wasser-Wärmepumpen

In der Tabelle 6 sind die Feldtestergebnisse vom Fraunhofer ISE bezüglich der Jahresarbeitszahlen zusammengefasst. Die Untersuchungen weisen eine erhebliche Bandbreite bei den ermittelten Arbeitszahlen auf, die deutlich macht, wie groß die Qualitätsunterschiede bei der Einbindung von Wärmepumpen in neue Heizungsanlagen sein können. Die wichtigsten Einflussgrößen (Vorlauftemperatur und Anteil Direktheizung), die zu einer guten oder schlechten Jahresarbeitszahl führen, wurden bereits in Kapitel 4.5 erörtert.

Die vom Fraunhofer ISE angegebenen mittleren Jahresarbeitszahlen sollten bei der Planung von neuen Wärmepumpensystemen als Mindestanforderung herangezogen werden. Die in DIN EN 15450 [11] definierten Mindestwerte (2,7 für Luft/Wasser-Wärmepumpen und 3,5 für Erdreich/Wasser-Wärmepumpen) werden aufgrund der vorgestellten Ergebnisse als zu niedrig erachtet. Höhere Zielwerte lassen sich anhand der Bandbreite abschätzen.

Um Effizienz und Arbeitszahl prüfen zu können müssen Energiezähler installiert sein.

8.1 ERZIELTE JAHRESARBEITSZAHLEN VON LUFT/WASSER- UND SOLE/WASSER-WÄRMEPUMPEN

Tabelle 6:
Zusammenfassung von
Feldtestergebnissen in
Bezug auf die Jahresarbeits-
zahlen

Nr.	Beschreibung	Fraunhofer ISE
1	Mittlere Jahresarbeitszahl aller Luft/Wasser-WP	2,9 ¹
1.1	Untersuchungszeitraum	07/07 -06/09
1.2	Anzahl Anlagen	max. 17 ²
1.3	Bandbreite (schlechteste/beste Anlage)	2,3 – 3,2 ¹
2	Mittlere Jahresarbeitszahl aller Sole/Wasser-WP	3,8 ¹
2.1	Untersuchungszeitraum	siehe oben
2.2	Anzahl Anlagen	max. 61 ²
2.3	Bandbreite (schlechteste/beste Anlage)	3,1 – 4,6 ¹

¹ Jahresarbeitszahl entsprechend *B* (siehe Anhang A6). Angaben für 2008. Nabezu alle Anlagen mit Fußbodenheizung, einzelne mit zusätzlichen Radiatoren, wenige Anlagen mit nur Radiatoren.

² Maximale Anzahl der gleichzeitig messtechnisch erfassten Anlagen (siehe Abbildungen 26 und 27)

Aus den Abbildungen 26 und 27 geht hervor, wie stark die Arbeitszahl jahreszeitlichen Schwankungen unterworfen ist. Bei den Luft/Wasser-Systemen sind die Arbeitszahlen in den kalten Wintermonaten Dezember bis Februar am geringsten, während bei den Sole/Wasser-Anlagen nur geringfügige Änderungen in der Heizperiode zu erkennen sind. Diese Anlagen weisen in den Sommermonaten die geringsten Arbeitszahlen auf. Da der Energieverbrauch für Heizung und Warmwasser in dieser Zeit sehr niedrig ist (siehe rote und blaue Balken) tragen diese geringen Arbeitszahlen nur wenig zur Jahresarbeitszahl bei.

Abbildung 26:
Verlauf der mittleren
Arbeitszahlen aller im Feld-
test der vom Fraunhofer ISE
untersuchten Heizanlagen
mit Sole/Wasser-Wärme-
pumpen (Quelle: Fraun-
hofer ISE). (Weitere Hin-
weise, siehe Abbildung 27)

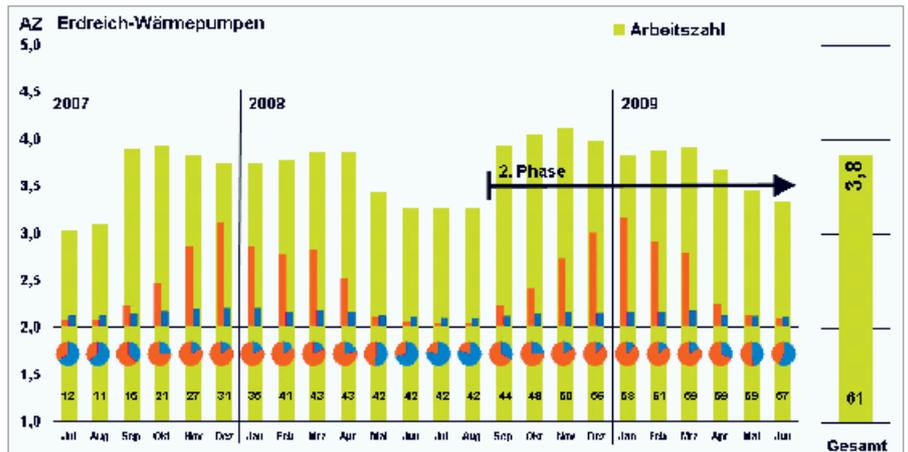
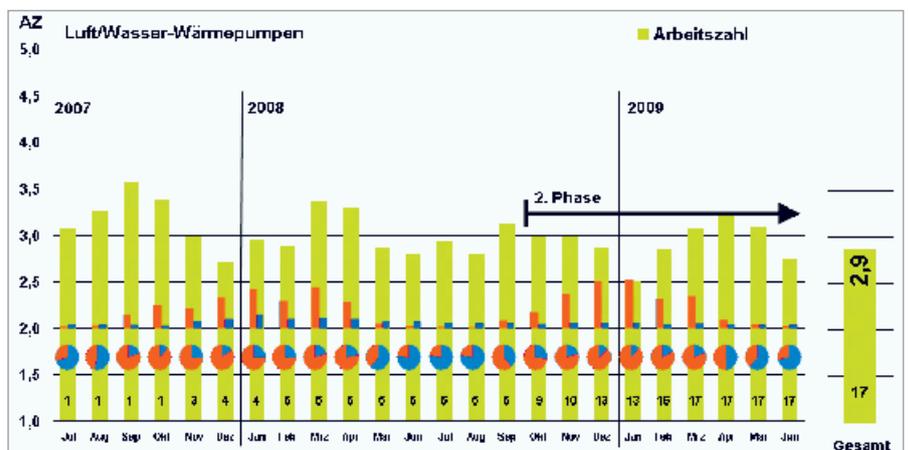


Abbildung 27:
Verlauf der mittleren
Arbeitszahlen aller im Feld-
test der vom Fraunhofer ISE
untersuchten Heizanlagen
mit Sole/Wasser-Wärme-
pumpen (Quelle: Fraun-
hofer ISE).



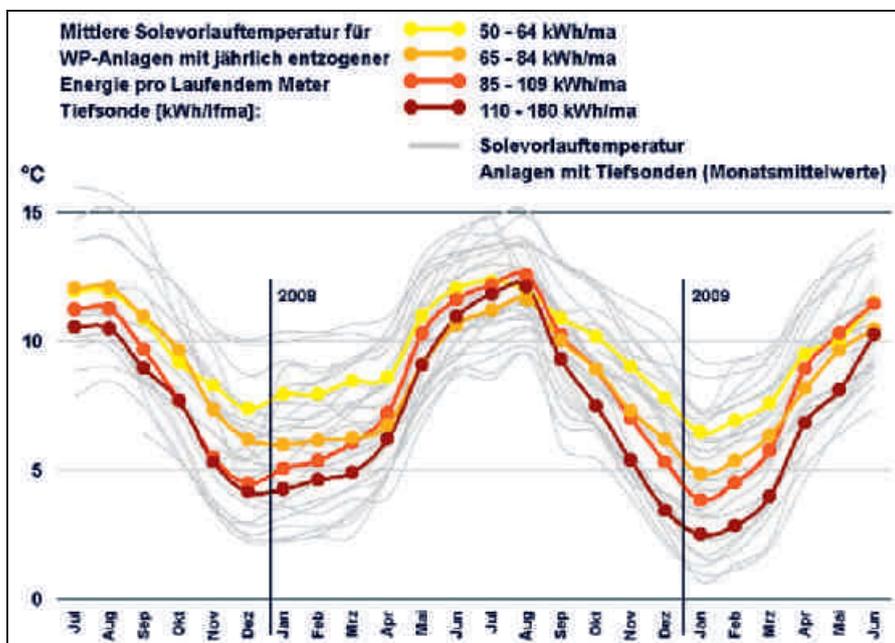
Ergänzende Hinweise:

Die roten Balken geben den Heizenergieverbrauch an, die blauen den Energieverbrauch für Warmwasser. Die kleinen Tortendiagramme geben pro Monat die Energieanteile für Raumheizung und Warmwasser an. Über die Ziffern in den grünen Balken wird die Anzahl der je Monat ausgewerteten Anlagen angegeben.

8.2 Betriebsverhalten von Anlagen mit Erdwärmennutzung

Die vom Fraunhofer ISE durchgeführten Feldtests liefern aufgrund der kontinuierlichen Aufzeichnung der wichtigsten Anlagendaten (z. B. Betriebstemperaturen) auch wertvolle Informationen dazu, welche Soletemperaturen sich abhängig von der spezifischen Entzugsarbeit erzielen lassen (siehe Abbildung 28) oder mit welchen Vorlauftemperaturen die Anlagen im Mittel betrieben werden (siehe Abbildung 29). Aus der Abbildung 28 geht hervor, dass die Sondenvorlauftemperatur (Eintritt in die Wärmepumpe) in den Wintermonaten sehr stark von der Belastung der Erdwärmesonden (Entzugsarbeit pro Meter Sondenlänge) abhängt. Mit der in Kapitel 4.3.2 angegebenen maximalen spezifischen Entzugsarbeit von 100 kWh/m kann, auf der Grundlage der dargestellten Temperaturverläufe davon ausgegangen werden, dass die Soletemperaturen in der Erdwärmesondenanlage nicht in den Minus-Bereich absinken. Auch im sehr kalten Winter 2008/2009, mit einer mittleren Außentemperatur im Januar 2009 von $< -2^{\circ}\text{C}$, sank die mittlere Sondenvorlauftemperatur in diesem Monat nicht unter $+3^{\circ}\text{C}$ ab.

In der Abbildung 29 ist die gewichtete Vorlauftemperatur dargestellt. Sie ergibt sich aus den Vorlauftemperaturen der Raumheizung und der Warmwasserbereitung gewichtet mit den jeweiligen Energieanteilen (vgl. Abbildung 27). Es ist deutlich erkennbar, dass mit dem Ansteigen dieser Vorlauftemperatur die Arbeitszahlen absinken. Dies kann durch das gleichzeitige Ansteigen der mittleren Solevorlauftemperatur nicht kompensiert werden. Zudem erkennt man eine über das Jahr nahezu gleich bleibende hohe Vorlauftemperatur im Heizkreis, was mit dem in Kapitel 5.2 erläuterten Betriebsverhalten zu erklären ist. Hier besteht noch ein deutliches Einsparpotential z. B. durch den Einsatz von leistungsgeregelten Verdichtern.



8.2 BETRIEBSVERHALTEN VON ANLAGEN MIT ERDWÄRMENUTZUNG

Abbildung 28: Verlauf der mittleren Solevorlauftemperaturen (Monatsmittelwerte der während der Wärmepumpenlaufzeit erfassten Vorlauftemperatur) aller im Feldtest der vom Fraunhofer ISE untersuchten Heizanlagen mit Sole/Wasser-Wärmepumpen. Differenzierung bezüglich der spezifischen Entzugsarbeit pro Meter Sondentiefe (Quelle: Fraunhofer ISE)

Zwei zusätzliche Grafiken (Abbildungen 30 und 31), die im Zusammenhang mit den genannten Feldtests vom Fraunhofer ISE erstellt wurden, sollen die Abhängigkeit der Jahresarbeitszahl von der Vorlauftemperatur verdeutlichen. Abbildung 30 zeigt die Jahresarbeitszahlen aller untersuchten Sole/Wasser-Anlagen in sortierter Reihenfolge. In dieser Abbildung sind auch die Jahresmittel-

werte der Systemtemperaturen der einzelnen Anlagen in Punktform dargestellt. Die Abbildung 31 zeigt für zwei ausgewählte Anlagen (Anlage 7 mit geringer Arbeitszahl und Anlage 72 mit hoher Arbeitszahl) die Verläufe der mittleren Heizkreisvorlauf- und Sondenvorlauftemperatur für die Monate des Jahres 2008.

Abbildung 29:
Arbeitszahlen in den Monaten des Jahres 2008 im Zusammenhang mit den Systemtemperaturen (Monatsmittelwerte der während der Wärmepumpenlaufzeit erfassten Temperaturen) aller im Feldtest der vom Fraunhofer ISE untersuchten Anlagen mit Sole/Wasser-Wärmepumpen (Quelle: Fraunhofer ISE)

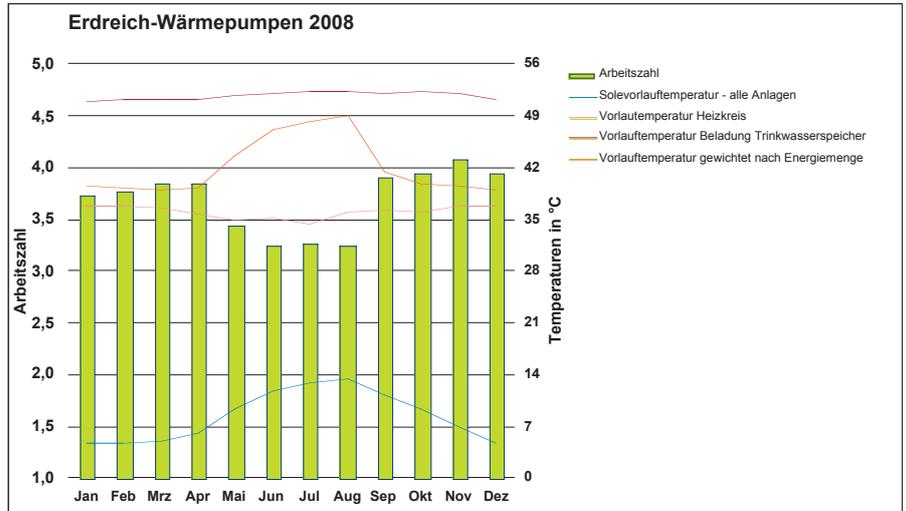


Abbildung 30:
Sortierte Darstellung der Jahresarbeitszahlen aller im Feldtest des vom Fraunhofer ISE untersuchten Anlagen mit Sole/ Wasser-Wärmepumpen (Quelle: Fraunhofer ISE)

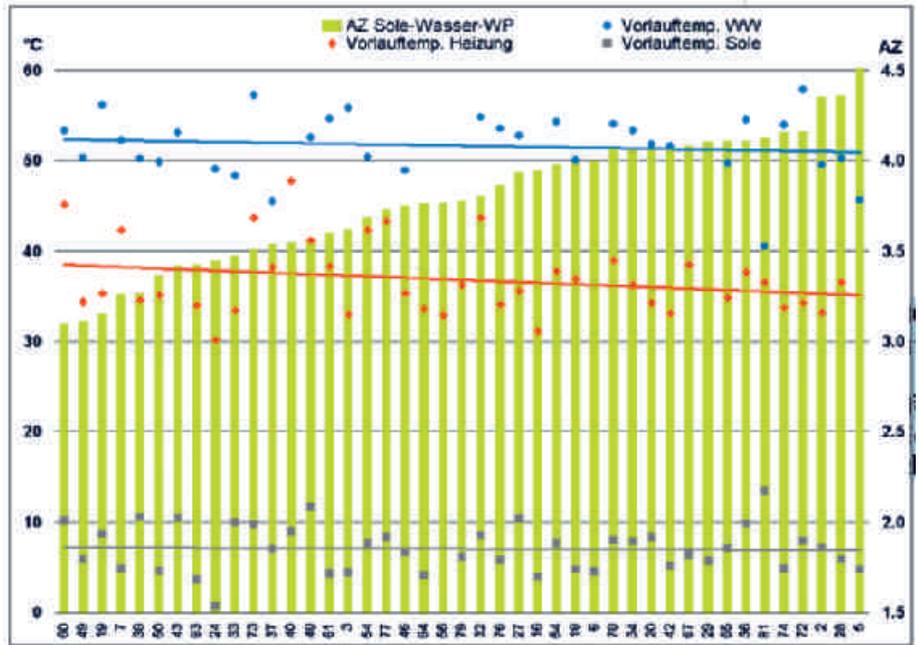
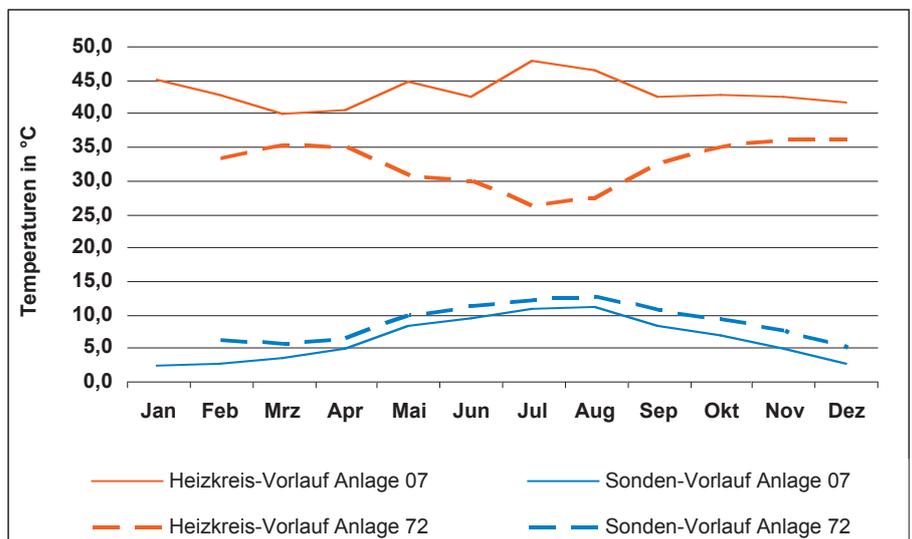


Abbildung 31:
Mittlere Heizkreisvorlauf und Sondenvorlauftemperaturen der Anlagen 07 und 72 (siehe Abbildung 30) im Jahr 2008 (Quelle: Fraunhofer ISE)



9 Planungshinweise für Alt- und Neubauten

9.1 Dimensionierung von Wärmepumpen-Heizanlagen bei monoenergetischer Betriebsweise

In den Kapiteln 9.1.1 und 9.1.2 wird für die nachfolgend aufgeführten Randbedingungen anhand von Beispielen die Dimensionierung von Wärmepumpenaggregaten aufgezeigt. Die Vorgehensweise bei der Planung einer vollständigen Wärmepumpenheizung wird in Kapitel 9.2 erläutert. Die Auswahl und Dimensionierung der Einzelkomponenten, unter Berücksichtigung der speziellen örtlichen Gegebenheiten, hat anhand von Herstellerunterlagen zu erfolgen und ist nicht Bestandteil dieser Infoschrift. Weiterführende Literatur hierzu ist im Kapitel 12 aufgelistet.

Randbedingungen für die Dimensionierungsbeispiele:

- Einfamilienhaus-Neubau mit 4 Personen
- Radiatorenheizung¹; Auslegungstemperaturpaarung = 55/45°C
- Auslegungstemperatur nach DIN EN 12831 = -10°C
- Gebäudeheizlast Φ_{Geb} nach DIN EN 12831 = 8 kW
(auch Abschätzung über Daten aus dem EnEV-Nachweis möglich => Hüllflächenverfahren)
- Jahres-Energiebedarf EH+WW nach EnEV (Heizung + WW) = 16.800 kWh/a
- Sperrzeiten 3 x 1,5 h

9.1.1 Beispiel für Wärmequelle Außenluft

Es soll eine Wärmepumpenheizung mit der Wärmequelle Außenluft anhand der unter 9.1 beschriebenen Randbedingungen dimensioniert werden. Die WW-Bereitung soll über die Wärmepumpe erfolgen.

Auslegung der Wärmepumpe

Gemäß Kapitel 4.2, Abbildung 7 soll die Heizleistung einer Außenluft-Wärmepumpe Φ_{HWP} bei der Auslegungstemperatur ca. 60 bis 70% der Gesamtheizlast betragen.

Zuerst ist daher die Gesamtheizlast Φ_{HGes} in diesem Falle für die Auslegungstemperatur von -10°C zu bestimmen. Sie ergibt sich aus der Gebäudeheizlast Φ_{Geb} und den Zuschlägen für Sperrzeiten $\Delta\Phi_{\text{SP}}$ und Warmwasserbereitung $\Delta\Phi_{\text{WW}}$

Gewählt:

$$\Phi_{\text{HWP}} = \Phi_{\text{HGes}} \cdot 0,6$$

mit

$$\Phi_{\text{HGes}} = \Phi_{\text{Geb}} + \Phi_{\text{SP}} + \Phi_{\text{ww}}$$

Der Zuschlag für die Sperrzeiten $\Delta\Phi_{\text{SP}}$ ergibt sich aus der Anzahl n_{SP} und der Dauer der Sperrzeiten t_{SP} :

$$\Delta\Phi_{\text{SP}} = \Phi_{\text{Geb}} \cdot \left(\frac{24}{24 - n_{\text{SP}} \cdot t_{\text{SP}}} - 1 \right) = 8\text{kW} \cdot \left(\frac{24}{24 - 3 - 1,5} - 1 \right) = 1,85 \text{ kW}$$

9.1 DIMENSIONIERUNG VON WÄRME- PUMPEN- HEIZANLAGEN BEI MONO- ENERGETISCHER BETRIEBSWEISE

¹ Anmerkung:

Es wurde hier im Beispiel eine Radiatorenheizung gewählt, weil die Planung hierfür komplizierter ist als bei einer Fußbodenheizung. Energetisch sinnvoller wäre natürlich Fußbodenheizung!

9.1.1 BEISPIEL FÜR WÄRMEQUELLE AUSSENLUFT

Sind die tatsächlichen Sperrzeiten wesentlich geringer als die vertraglich geregelten, so ist der Zuschlag entsprechend zu reduzieren (Nachfrage beim zuständigen EVU).

Der Zuschlag für die Warmwasserbereitung Φ_{ww} kann entfallen, wenn der Speicher den gesamten Tagesbedarf bevorratet und die Vorwärmung durch die Wärmepumpe somit nur während der Nacht erfolgt.

Im vorliegenden Beispiel wird ein Warmwasserspeicher mit 300 Liter Wassereinhalten gewählt. Damit ist der Tagesbedarf des 4-Personen Haushaltes gedeckt. Eine Vorwärmung am Tag ist nicht erforderlich, so dass der Zuschlag für Warmwasserbereitung entfällt; $\Phi_{\text{ww}} = 0 \text{ kW}$.

Soll dagegen die Vorwärmung auch während des normalen Heizbetriebes wirksam sein, wird ein Zuschlag nach Tabelle 7 empfohlen.

Tabelle 7:
 Richtwerte für Warmwasserverbrauch und empfohlener Zuschlag auf die Gebäudeheizlast bei einer Warmwasservorwärmung auf 45°C (mit der Wärmepumpe) während des normalen Heizbetriebes

Nutzungsart	Warmwasserbedarf in Liter/Tag und Person mit 45 °C	Nutzwärme in kWh/Jahr und Person	Empfohlener Zuschlag in kW/Person
MFH, geringer Bedarf	15	220	0,05
MFH, mittlerer Bedarf	30	440	0,10
MFH, großer Bedarf	45	660	0,15
EFH, geringer Bedarf	30	440	0,10
EFH, mittlerer Bedarf	50	730	0,18
EFH, großer Bedarf	70	1.040	0,25
Nach EnEV pauschal	-	12,5 kWh/(a m ²)	-

$$\Phi_{\text{HGes}} = \frac{8 \text{ kW} + 1,85 \text{ kW} + 4 \text{ P} \cdot 0,0 \text{ kW}}{\text{P}} = 9,9 \text{ kW}$$

Die erforderliche Heizleistung der Wärmepumpe H_{WP} bei -10 °C beträgt somit:

$$\Phi_{\text{HWP}} = \Phi_{\text{HGes}} \cdot 0,6 = 9,9 \text{ kW} \cdot 0,6 = 5,9 \text{ kW}$$

Mit dieser Angabe ist anhand von Herstellerkennlinien, im Beispiel für den Betriebspunkt A-10/W45, eine Wärmepumpe auszuwählen, die mindestens diese Leistung erbringt bzw. der nächst größere Typ (Abstufung ca. 2-3 kW). In diesem Fall wird eine Luft/Wasser-Wärmepumpe mit 6,5 kW bei A-10/W55 ausgewählt. Die Bivalenztemperatur (siehe Kapitel 4.2) beträgt bei dieser Wärmepumpe ca. -3°C (sollte zwischen -2°C und -5°C liegen).

Der COP in diesem Betriebspunkt beträgt 2,0. Damit ergibt sich die elektrische Leistungsaufnahme der Wärmepumpe einschließlich Hilfsenergie „P_{EL}“ und die Wärmeentzugsleistung (am Verdampfer) Φ_{VWP} zu

$$P_{\text{EL}} = \frac{\Phi_{\text{HWP}}}{\text{COP}} = \frac{6,5 \text{ kW}}{2,0} = 3,25 \text{ kW} \text{ bzw. Daten aus den Herstellerunterlagen}$$

und

$$\Phi_{\text{HWP}} = \Phi_{\text{HWP}} - P_{\text{EL}} = 6,5 \text{ kW} - 3,25 \text{ kW} = 3,25 \text{ kW}$$

Mit einer Zusatzheizung z. B. in Form eines Elektroheizstabes mit 6 kW, der im Pufferspeicher eingebaut wird (siehe Abbildung 18) kann die Gesamtheizlast von 9,9 kW bei -10°C problemlos gedeckt werden.

Auslegung des Fördervolumenstromes der Heizungsumwälzpumpen

Der Fördervolumenstrom der Heizungsumwälzpumpe im Erzeugerkreislauf (siehe Abbildung 18) bestimmt sich nach der Heizungsumwälzpumpe im Heizkreis (sekundär). Der von der Wärmepumpe geförderte Volumenstrom muss mindestens so groß sein, wie der Volumenstrom des Heizkreises bzw. der Heizkreise.

$$q_{V, UP_WP} \geq q_{V, UP_HK}$$

$$\text{mit } q_{V, UP_HK} \geq \frac{\Phi_{GEB}}{1,163 (t_{VL} - t_{RL})} = \frac{8}{1,163 \cdot (55 - 45)} \geq 0,69 \text{ m}^3/\text{h}$$

(Der Faktor 1,163 ergibt sich aus der Dichte und der spezifischen Wärmekapazität von Wasser).

Auslegung des Wärmetauschers für die Trinkwassererwärmung

Der Wärmeaustauscher für die Vorwärmung durch die Wärmepumpe muss so ausgelegt sein, dass die maximale Heizleistung der Wärmepumpe ΦH_{WPmax} (bei +20°C Außentemperatur und ca. 55°C Vorlauftemperatur) übertragen werden kann.

Aus Herstellerkennlinien erhält man z. B. $\Phi H_{WPmax} = 12 \text{ kW}$. Es ist zu prüfen, ob der Wärmepumpenhersteller einen WW-Speicher mit innen liegendem Wärmeaustauscher anbieten kann, der diese Leistung bei einer Temperaturdifferenz von max. 10 Kelvin übertragen kann. Ansonsten ist auf ein System mit externem Wärmetauscher oder Kombispeicher auszuweichen, (siehe Kapitel 6.3).

Auslegung des Pufferspeichers (ohne Berücksichtigung von Sperrzeiten)

Auf Basis der Hinweise von Kapitel 6.2, ist das Pufferspeichervolumen bei unregelmäßigem Wärmepumpenbetrieb so zu wählen, dass sich ohne Wärmeabnahme eine Laufzeit der Wärmepumpe von mindestens 10 Minuten ergibt. Dafür wird für die Berechnung die Heizleistung ΦH_{WP} der Wärmepumpe beim Betriebspunkt A7/W35 (mittlerer Betriebspunkt in der Heizperiode) herangezogen (im Beispiel 8,3 kW). Damit ergibt sich folgendes Mindest-Speichervolumen V_{PU}

$$V_{PU} \geq \frac{\Phi_{HWP} \cdot 10}{1,163 (t_{VL} - t_{RL}) \cdot 60} = \frac{8,3 \cdot 10}{1,163 \cdot 10 \cdot 60} = 0,12 \text{ m}^3 = 120 \text{ Liter}$$

Auslegung des Pufferspeichers mit Berücksichtigung von Sperrzeiten

Aufgrund des Einsatzes von Radiatoren (gegenüber Fußbodenheizung geringfügige Speichermasse) wird die Erhöhung des Pufferspeichervolumens empfohlen. Da nach einer Sperrzeit mindestens eine gleich lange Betriebsfreigabe erfolgt, ist es ausreichend, statt der Gesamtsperrezeit von 3 x 1,5 h nur eine Sperrzeit von 1,5 h bei der Dimensionierung zu berücksichtigen. Die Speichereigenschaften des Gebäudes können über den Korrekturfaktor f berücksichtigt werden. Damit ergibt sich folgendes Speichervolumen V_{PU} (V_{PU} = effektives Speichervolumen zwischen Ein- und Ausschaltfühler):

$$V_{PU} \geq \frac{\Phi_{GEB} \cdot t_{SP} \cdot f}{1,163 (t_{VL} - t_{RL})} = \frac{8 \cdot 1,5 \cdot 0,5}{1,163 \cdot (55 - 45)} = 0,5 \text{ m}^3 = 500 \text{ Liter}$$

Empfohlene Korrekturfaktoren für Gebäudeträgheit (langsame Auskühlung):

- Für Häuser in Massivbauweise $f = 0,50$
- Für Häuser in Leichtbauweise $f = 0,75$

Sind die tatsächlichen Sperrzeiten dauerhaft wesentlich geringer als die vertrag-

9.1.2
BEISPIEL FÜR
WÄRMEQUELLE
ERDREICH
(ERDWÄRMESONDE)

lich geregelt, so kann das Speichervolumen entsprechend reduziert werden (Nachfrage beim zuständigen EVU).

9.1.2 Beispiel für Wärmequelle Erdreich (Erdwärmesonde)

Es soll eine Wärmepumpenheizanlage mit der Wärmequelle Erdreich (sole-/wasserbefüllte Erdwärmesonde) anhand der unter 9.1 beschriebenen Randbedingungen dimensioniert werden. Die WW-Bereitung soll über die Wärmepumpe erfolgen. Kühlung ist nicht vorgesehen.

Auslegung der Wärmepumpe

Wie bereits in Kapitel 4.2 beschrieben, soll die Heizleistung der Wärmepumpe Φ_{HWP} bei der Auslegungstemperatur der Gesamtheizlast entsprechen.

Die Gesamtheizlast H_{Ges} wurde im Beispiel mit 9,9 kW für die Auslegungstemperatur von -10°C ermittelt.

Hiermit ist nun anhand von Herstellerkennlinien (Leistungsdiagrammen) eine Sole/Wasser-Wärmepumpe auszuwählen, die bei der Auslegungstemperatur von -10°C eine Heizleistung von ca. 10 kW hat.

Es wird empfohlen, die Wärmepumpe für eine Soletemperatur von 0°C auszuwählen. Der Auslegungs-Betriebspunkt für das Beispiel ist somit B0/W55 (55°C wegen der Radiatoren).

Die ausgewählte Wärmepumpe hat bei diesen Bedingungen eine Heizleistung von 9 kW. Der COP beträgt 2,7.

Damit ergibt sich die elektrische Leistungsaufnahme der Wärmepumpe einschließlich Hilfsenergie „ P_{EL} “ und die Wärmeentzugsleistung (am Verdampfer) „ Φ_{VWP} “ zu:

$$P_{\text{EL}} = \frac{\Phi_{\text{HWP}}}{\text{COP}} = \frac{9 \text{ kW}}{2,7} = 3,3 \text{ kW}$$

und

$$\Phi_{\text{VWP}} = \Phi_{\text{HWP}} - P_{\text{EL}} = 9 \text{ kW} - 3,3 \text{ kW} = 5,7 \text{ kW} = 5.700 \text{ W}$$

Für die elektrische Zusatzheizung gilt die gleiche Aussage wie unter Kapitel 9.1.1 beschrieben.

Mit der Wärmeentzugsleistung (am Verdampfer) „ Φ_{VWP} “ lässt sich die erforderliche Sondentiefe abschätzen. Setzt man für das Beispiel eine spezifische Entzugsleistung ϕ_{Sonde} von 45 W pro m Sondenlänge an (empfohlener Richtwert für Vorplanung), ergibt sich die Sondenlänge zu:

$$L_{\text{SONDE}} = \frac{\Phi_{\text{HWP}}}{\phi_{\text{Sonde}}} = \frac{5.700}{45} = 127 \text{ m}$$

Es ist noch zu kontrollieren, ob die zulässige jährliche spezifische Entzugsarbeit von 100 kWh pro Sondenmeter (bei max. 2.400 Betriebsstunden pro Jahr, siehe Kapitel 4.3.2) nicht überschritten wird. Für die Bewertung sollte von einer Arbeitszahl von $\beta = 4,0$ ausgegangen werden. Mit dem Jahresenergiebedarf für Heizung und Warmwasser E_{H+WW} (im Beispiel von 16.800 kWh/a) und der genannten Arbeitszahl ergibt sich die jährliche spezifische Entzugsarbeit E_{VWP} zu:

$$E_{WP} = E_{H+WW} - \frac{E_{H+WW}}{\hat{\alpha}} = 16.800 - \frac{16.800}{4} = 12.600 \text{ kWh/a}$$

Diese Energiemenge wird voraussichtlich pro Jahr der Erdwärmesonde entzogen. Die Sondenlänge muss danach mindestens:

$$L_{\text{SONDE}} \geq iY \frac{E_{VWP}}{100} = \frac{12.600}{100} = 126 \text{ m} \quad \text{betragen.}$$

Die Laufzeit t_{WP} der Wärmepumpe pro Jahr beträgt dabei ca.:

$$t_{WP} = \frac{E_{H+WW}}{\Phi_{HWP}} = \frac{16.800}{9} = 1.866 \text{ h/a}$$

Die Laufzeit ist somit kleiner als die max. zulässigen 2.400 h/a.

Die endgültige Sondenlänge und gegebenenfalls die Aufteilung auf mehrere Sonden werden bei der Planung durch das Bohrunternehmen festgelegt.

Auslegung des Fördervolumenstroms der Solepumpe

Die Solepumpe ist meist bereits Bestandteil der Wärmepumpe. Anhand der Pumpenkennlinie und der gering zu haltenden Druckverluste des Solekreislaufs kann der Betriebspunkt der Pumpe und somit deren Fördermenge bestimmt werden.

Bei der ermittelten Fördermenge soll die Abkühlung der Sole im Verdampfer nicht mehr als 5 K und nicht weniger als 3 K betragen. Die Prüfung dieser Bedingung ist für den Betriebspunkt B10/W35 durchzuführen, da hier die Heizleistung und damit die Wärmeentzugsleistung des Verdampfers am größten ist.

Die Verdampferleistung Φ_{WP} beträgt für diesen Fall 10 kW. Damit muss die Solepumpe mindestens folgende Fördermenge $q_{V,SOLE}$ erbringen:

$$q_{V,SOLE} \geq \frac{\Phi_{WP}}{1,06 \cdot 5} = \frac{10}{1,06 \cdot 5} = 1,9 \text{ m}^3/\text{h}$$

(Der Faktor 1,06 ergibt sich aus der Dichte und der spezifischen Wärmekapazität von Antifrogen N für eine Einfriergrenze von -20°C , entsprechend einer Konzentration von 35%, und für eine Soletemperatur von 0°C).

Diese Mindestfördermenge sollte jedoch nicht zu stark überschritten werden, um zu hohe Druckverluste und eine zu hohe elektrische Leistungsaufnahme der Umwälzpumpe zu vermeiden. Sinnvoll ist die Anpassung über einstellbare Drehzahlstufen. Die Druckverlustberechnung ist anhand der Druckverlusttabellen (Angaben in Pa /m) der Wärmepumpenhersteller vorzunehmen. Bei der Rohrleitungslänge ist zu berücksichtigen, dass die Bohrtiefe einer Sonde

mit 2 zu multiplizieren ist (Vor- und Rücklauf). Es sollte zudem darauf geachtet werden, dass eine turbulente Strömung in der Sonde vorherrscht. Bei mehreren Sonden sollten die Anbindeleitungen (zwischen Verteiler und Sondenanschlussstück) gleich lang sein. Für den Verteileranschluss empfiehlt sich das Tichelmann-Prinzip. Auf Einregelungsorgane mit Durchflussanzeige sollte dennoch nicht verzichtet werden.

Die Auslegung der Heizungsumwälzpumpen und des Pufferspeichers ist identisch wie im Beispiel Außenluft (Kapitel 9.1.1).

Bei der Dimensionierung des Wärmeaustauschers für die Trinkwasservorwärmung ist die Vorgehensweise analog zum Beispiel Außenluft durchzuführen. Die maximale Wärmepumpenheizleistung ist für den Betriebspunkt B10/W45 zu ermitteln.

9.2 PLANUNGSABLAUF FÜR ALT- UND NEUBAU

9.2 Planungsablauf für Alt- und Neubau

Die Planungsphase beginnt sinnvollerweise mit einer Vorplanung. Diese dient dem Bauherren zur Entscheidungsfindung für oder gegen den Einbau einer Wärmepumpe. Dem Bauherren sollte in dieser Phase klar aufgezeigt werden, welche Vorteile sich durch eine Wärmepumpenanlage in seinem Anwendungsfall ergeben und was er hierfür, im Vergleich zu einer konventionellen Heiztechnik, an Mehrinvestitionen zu tragen hat. Die wichtigsten Arbeitsschritte der Vorplanungsphase sind in der Tabelle 8 zusammengestellt.

Wer an der Planung spart
verschenkt Effizienz und
Geld!

Wenn die Entscheidung zugunsten der Wärmepumpe ausfällt, ist eine Feinplanung anzuschließen. Die wichtigsten Inhalte dieser Planungsphase gehen aus Tabelle 9 hervor. Zusätzlich zu den hier angegebenen Empfehlungen ist die DIN EN 15450 [11] und bei Wärmeentzug aus dem Erdreich bzw. dem Grundwasser die VDI 4640 [12.1] zu berücksichtigen.

Tabelle 8: Wichtigste Arbeitsschritte der Vorplanungsphase

Nr.	Bearbeitungsschritt	relevant für		Durchführung		Hinweise
		Alt- bau	Neu- bau	erfor- der- lich	alterna- tiv	
1	Prüfung, ob Randbedingungen für WP-Einsatz positiv	X	X	X		siehe Kapitel 4.7
2	Prüfung, ob Grundvoraussetzungen für den Wärmepumpeneinsatz und ggfs Erdwärmesonden erfüllt werden können	X	X	X		Heizsystem/ Wärmequelle geeignet
3	Überschlägige Berechnung der Gebäudeheizlast anhand EnEV-Nachweis (Neubau) oder überschlägig (Altbau): - durchschnittlicher Heizölverbrauch pro Jahr (in Liter) dividiert durch Faktor 250 - durchschnittlicher Gasverbrauch pro Jahr (in kWh) dividiert durch Faktor 2.250 Ergebnis in kW	X	X	X		Daten und Pläne vom Bauherren anfordern
4	Ermittlung des Jahresheizwärmebedarfs anhand EnEV-Nachweis (für Neubau) oder Energiediagnose (Altbau): - Gebäudeheizlast in kW (siehe Ziffer 3) multipliziert mit 1.800 Stunden pro Jahr Ergebnis in kWh/a	X	X		X	
5	Ermittlung des Energiebedarfs für die Trinkwassererwärmung	X	X		X	EnEV oder Richtwerte abhängig von Personenzahl siehe Kapitel 9
6	Grobdimensionierung der wichtigsten Komponenten (WP, TWE, Puffer, Wärmequelle, Nachheizung) und Erstellung eines vereinfachten Hydraulikschemas	X	X	X		Verwendung von Herstellerunterlagen und siehe Kapitel 9
7	Berechnung der Kosten (Energie-, Kapital- und Instandhaltungskosten) für die Wärmepumpe im Vergleich zur konventionellen bzw. alten Anlage anhand von Kostenschätzungen z. B. mit Kostenrechner BWP, siehe Kapitel 9.3	X	X		X	siehe Anhang A2/A3; Stromtarife erfragen; Förderung?
8	Berechnung des End- und Primärenergiebedarfs und der CO _{2aq} -Emissionen für die Wärmepumpe im Vergleich zur konventionellen bzw. alten Anlage z. B. mit Kostenrechner (siehe Ziffer 7)	X	X		X	siehe Anhang A2/A3
9	Erstellung Angebot einschließlich Kosten für Planung, Inbetriebnahme, Instandhaltung	X	X	X		
10	Entscheidung des Bauherren für oder gegen die Wärmepumpe	X	X	X		Beratungsgespräch

Tabelle 9: Wichtigste Arbeitsschritte der Feinplanungsphase

Nr.	Bearbeitungsschritt	relevant für		Durchführung		Hinweise
		Alt- bau	Neu- bau	erfor- der- lich	alterna- tiv	
1	Anzeige bei der zuständigen Behörde bei erdgekoppelten Anlagen	X	X	X		siehe Kapitel 4.3.2
2	Anzeige bzw. Anfrage beim zuständigen EVU	X	X	X		
3	Gegebenenfalls Förderanträge stellen, z. B. beim Bund, Land, zuständiges EVU	X	X	X		siehe Anhang A7
4	Festlegung der Anlagenkonfiguration	X	X	X		siehe Kapitel 6
5	Heizlastberechnung (pro Raum) nach DIN EN 12831	X	X	X		
6	Prüfung der Heizflächenauslegung (Bezug zur Heizlast)	X		X		Aufnahme der vorhandenen Heizflächen
7	Auslegungstemperaturen Fußbodenheizung $\leq 35/30$ °C	X	X	X		
8	Auslegungstemperaturen Heizkörper $\leq 55/45$ °C	X		X		im Neubau keine Heizkörper
9	Hydraulischer Abgleich (rechnerisch) (ggf. Austausch von Ventilen im Altbau)	X	X	X		
10	Dimensionierung und Auswahl der Wärmepumpenanlage	X	X	X		siehe Kapitel 9
10.1	Wärmepumpe - Fabrikat, Typ - Heizleistung, elektrische Leistungsaufnahme - Verdampferleistung - Solemischung - Durchfluss Verdampfer/Verflüssiger - Druckabfall Verdampfer/Verflüssiger - COP (Gütesiegel)	X	X	X		für Leistungsdaten siehe Kennlinien von Herstellern (Messwerte nach DIN EN 14511)
10.2	Wärmequelle - Geometrie (Anzahl Sonden, Bauart, Länge, Durchmesser, Abstand) - Soleinhalt, Befüllung, Entlüftung - Durchfluss - Druckabfall - Einholung Festpreisangebot	X	X	X		Dimensionierung durch Sondenhersteller (Bohrunternehmen)
10.3	Solepumpe, Heizungsumwälzpumpe - Fabrikat, Typ - Förderhöhe, Fördermenge - Einregulierung	X	X	X		siehe Kapitel 9
10.4	Pufferspeicher, Trinkwasserspeicher - Fabrikat, Typ, Speicherinhalt - hydraulische Einbindung (Abstimmung mit Regelkonzept des Wärmepumpenherstellers) - elektrische Nachheizung	X	X	X		siehe Kapitel 9 für Trinkwasserspeicher siehe auch DIN 4708. Wichtig ist Aufheizdauer und Zapfleistung in Liter bei 45 °C
10.5	Wärmezähler, Stromunterzähler für Elektro-zusatzheizung, Temperaturfühler	X	X		X	zur Bewertung/Überwachung der Anlage

9.3 Wirtschaftlichkeit von Wärmepumpenanlagen

9.3 WIRTSCHAFTLICH- KEIT VON WÄRME- PUMPENANLAGEN

Wärmepumpenheizanlagen haben häufig gegenüber konventionellen gas- oder ölbefeuerten Heizanlagen keine oder nur geringe betriebswirtschaftliche Vorteile. Dies sollte jedoch nicht dazu führen, keinen Wirtschaftlichkeitsvergleich durchzuführen. Für den Bauherren ist es wichtig, zu wissen, um wie viel seine jährlichen Gesamtkosten sich von denen einer konventionellen Anlage unterscheiden. Zeigt man zudem die Vorteile der Wärmepumpe bei den Energiekosten, den CO₂-Emissionen, beim Primärenergiebedarf und gegebenenfalls die Fördermöglichkeiten auf, sind viele Bauherren dazu bereit, in einem gewissen Rahmen zusätzlich zu investieren.

Um hinsichtlich der Investitionen mit konventionellen Heizanlagen gleichziehen, werden beim Bau einer Wärmepumpenanlage teilweise Wärmepumpen ohne Gütesiegel und mit niedrigen Leistungszahlen (COP, siehe Kapitel 4.5) eingesetzt oder es wird auf wichtige Anlagenkomponenten, wie z. B. den Pufferspeicher, verzichtet. Falls im Bereich der Trinkwassererwärmung die Vorwärmung durch die Wärmepumpe aus Kostengründen entfällt, führt das zu einer schlechten Energieeffizienz der Wärmepumpenheizanlage (siehe Kapitel 7.2) und kann damit den Umweltvorteil der Wärmepumpe unter Umständen zunichte machen. Im schlimmsten Fall wird an der Erdwärmesondenanlage gespart, was außer der schlechten Energieeffizienz auch erhebliche Schäden (z.B. Grundwasser- oder Frostschaden, siehe Kapitel 4.3.2) zur Folge haben kann. Für einen wirtschaftlichen und effizienten Betrieb einer Wärmepumpenanlage ist es wichtig, dass die Auslegung und die Planung sorgfältig erfolgen.

In den Anhängen A2 und A3 ist ein Formular zur Durchführung der Wirtschaftlichkeitsberechnung in Anlehnung an die VDI 2067, Blatt 1 [12.3], abgedruckt. Weiterhin wird in diesem Zusammenhang auf den Kostenrechner der Internetseite des Bundesverbands Wärmepumpe (BWP) e. V., Berlin verwiesen (Link: www.waermewechsel.de/kostenrechner.html).

9.4 Welche Komponenten und Leistungen sollte ein Angebot enthalten?

Nachfolgend wird am Beispiel einer Wärmepumpenheizanlage mit Erdwärmesonde aufgezeigt, was bei der Angebotseinholung zu berücksichtigen ist, um vergleichbare Angebote zu erhalten und um die Schnittstellen und den Leistungsumfang frühzeitig zu klären.

Allgemeine Hinweise:

Der Anbieter soll ein ganzheitliches Angebot erstellen, das alle Leistungen umfasst, die für die Erstellung einer neuen, funktionstüchtigen Wärmepumpenheizanlage erforderlich sind. Er tritt somit dem Bauherren gegenüber quasi als Generalunternehmer auf, mit dem Vorteil, dass der Bauherr nur einen Vertragspartner und Ansprechpartner hat. Der Bauherr sollte ein Festpreisangebot einfordern. Vertragsgrundlage ist die VOB.

Wesentliche Inhalte des Angebotes:

- **Allgemeine Beschreibung des Projektes (wovon geht das Angebot aus)**
 - Standort
 - Gebäudetyp, Wohnfläche
 - Art der Beheizung (Fußbodenheizung oder Heizkörper)
 - Auslegungstemperaturen der Heizflächen
 - Gebäudeheizlast
 - Heizenergiebedarf für Raumheizung
 - Heizenergiebedarf für Warmwasser
 - Nutzung (wie viele Personen, Wohneinheiten)
 - Nutzerverhalten (sparsam, mittel, anspruchsvoll)
 - EVU-Sperrzeiten
 - Hinweise zur Verfügbarkeit der Wärmequelle
 - Betriebsweise der Wärmepumpe (monoenergetisch oder monovalent)

- **Wärmeerzeuger (Wärmepumpe)**
 - Wärmepumpengütesiegel
 - Wärmepumpentyp (Sole/Wasser)
 - Kältemittel
 - Leistungsziffer (COP) für Sole/Wasser bei B0/W35
 - Elektrische Leistungsaufnahme
 - Heizleistung bei Auslegungstemperatur (prozentualer Anteil an der Gebäudeheizlast)
 - Schwingungsentkoppelte Aufstellung (geschleifte, flexible Anschlussleitungen an die Wärmepumpe und Schwingungsdämpfer zur Vermeidung von Körperschallübertragung)
 - Wärmepumpenregelung auch für Trinkwassererwärmung, falls nicht separat

- **Wärmequelle (für Erdwärmesonde)**
 - Spezifische Entzugsleistung (W/m) und spezifische Entzugsarbeit (kWh/m)
 - voraussichtliche Bohrtiefe und Anzahl Bohrlöcher
 - Sondentyp, Material, Durchmesser
 - Bohrfirma, Gütesiegel der Firma
 - Bohren, Abdichten, Verfüllen, Protokollieren
 - Dichtigkeitsprüfung
 - Rüstkosten, Baustellenreinigung, An- und Abfahrt, Baustellenzugänglichkeit mit Bohrfahrzeug, Bohrmaterialentsorgung

- Wasser- und Strombedarf für Bohrung
- Dokumentation/Protokollierung (Schichten) und Weiterleitung an Regierungspräsidium Freiburg
- **Soleverteilung**
 - Grabarbeiten
 - Verbindungsleitungen von Sonden zu Verteiler, Abgleich
 - Außenliegender Verteiler
 - Mauerwerksdurchführung/Abdichtung
 - Verbindungsleitungen vom Verteiler zur Wärmepumpe
 - Wärmedämmung, dampfdiffusionsdicht
 - Füllen mit Frostschutzmittel, Druckprobe
 - Absperrorgane
 - Ausdehnungsgefäß
 - Solepumpe
 - Temperaturfühler Vorlauf/Rücklauf
- **Pufferspeicher (Inhalt, Material, Dämmung, Anschluss, Schichtung, Elektrozusatzheizung, Temperaturfühler)**
- **Mischer bei mehreren Heizkreisen**
- **Verrohrung, Verteiler, Wärmedämmung (Heizung und Warmwasser)**
- **Umwälzpumpen und evtl. Zirkulationspumpe**
- **Armaturen (Absperreinrichtungen, Sicherheitseinrichtungen, Entleerung, Entlüftung)**
- **Ausdehnungsgefäß heizungsseitig**
- **Raumtemperaturregelung (Einzelraum/Referenzraum) und Kommunikation (Bus)**
- **Kühlfunktion (passiv) bei Fußbodenheizung ja/nein**
 - Wärmepumpenregler muss dafür geeignet sein
 - Sicherheitsfunktion gegen Schwitzwasserbildung
 - Verwendung geeigneter Raumthermostate und Stellantriebe mit Doppelfunktion (Heizen/Kühlen)
 - Verwendung geeigneter Wärmedämmung (diffusionsdicht) und ordnungsgemäße Verklebung der Stöße und Dämmung aller kaltwasserführenden Rohre, Verteiler, Armaturen usw.
 - Kompaktstation für passive Kühlung (Wärmeaustauscher, Mischer, Pumpe, Armaturen, Sensoren)
 - Estrich und Fußbodenbelag geeignet für Heizen/Kühlen
- **Elektroinstallation und Elektroanschluss**
- **Warmwasserbereitung (Speichergröße, Material, Dämmung, Wärmeaustauscher intern/extern, Elektrozusatzheizung, Zirkulation)**
- **Demontage und Entsorgung der Altanlage (Sanierung)**

- Inbetriebnahme, Aufheizprogramm Estrich, Dichtigkeitsprüfung, Einregulierung, Einweisung
- Energiezähler (Wärmemengenzähler zentral, Unterzähler Elektrozusatzheizung, Warmwasserzähler zentral)
- Dienstleistungen
 - Genehmigung/Bohranzeige durchführen (EVU, Landratsamt)
 - Fördergelder beantragen
- Planungsleistungen
 - Heizlastberechnung raumweise nach DIN EN 12831
 - Dimensionierung der Heizkreise
 - Dimensionierung der Komponenten, Rohrnetzberechnung, hydraulischer Abgleich
 - Dokumentation
- Wartung
- Ergänzende Hinweise
 - Betriebsweise
 - Heizstab
 - Bautrocknung
 - Fußbodenheizung (Oberflächentemperatur)
 - Passive Kühlung (Oberflächentemperatur, erreichbare Raumtemperatur, Behaglichkeit, Hinweise Estrich und Bodenbelag)

10 Weitere Anwendungsgebiete von Wärmepumpen

10.1 Warmwasser-Wärmepumpen

Als Warmwasser-Wärmepumpen werden Luft/Wasser-Wärmepumpen bezeichnet, die ihre Wärme ausschließlich an einen Warmwasserspeicher abgeben. Sie entziehen der Umgebungsluft des Aufstellungsraumes die Wärme und geben diese auf einem höheren Niveau an das Trinkwasser im Speicher ab. Dabei gibt es verschiedene Arten der Anordnung der Wärmepumpe und der Aufbauten der Wärmeübertrager. Die am häufigsten eingesetzten Systeme sind in Abbildung 32 dargestellt. Die Abbildungen 32a und 32b zeigen die Wärmepumpe in einer Baueinheit mit dem Speicher, als sogenannte Kompaktausführung. Das System in Abbildung 32b verfügt über einen zusätzlichen Wärmeaustauscher für den Anschluss an einen Heizkessel oder an andere Wärmeerzeuger. Abbildung 32c zeigt die Wärmepumpe und den Warmwasserspeicher in getrennter Ausführung.

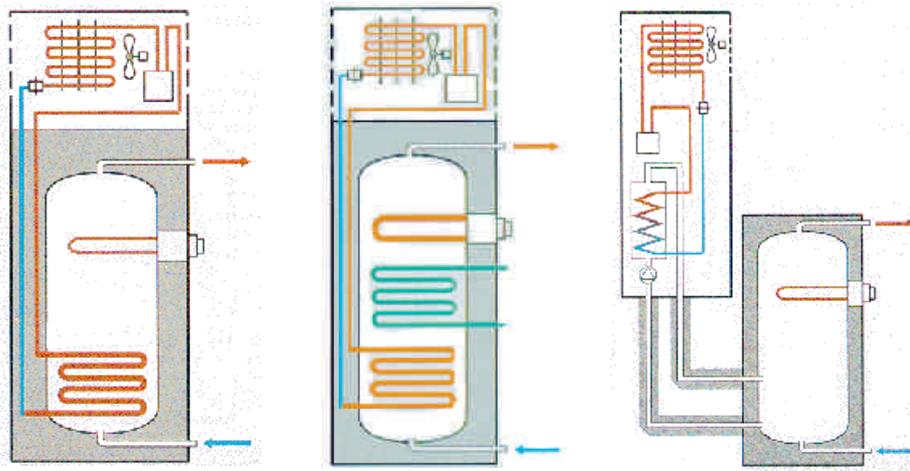


Abbildung 32a:
Kompaktanlage mit Elektro-
nachheizung

Abbildung 32b:
Kompaktanlage mit
Nachheizung durch Zusatz-
wärmeerzeuger (z. B. Kessel,
Heizstab, Solaranlage)

Abbildung 32c:
Wärmepumpe und Speicher
getrennt mit Elektronach-
heizung

Warmwasser-Wärmepumpen sind in der Regel für einen Arbeitsbereich zwischen 5°C und 35°C Lufttemperatur ausgelegt. Im Allgemeinen gilt, dass höhere Wassertemperaturen zu erreichen sind, wenn auch die Lufttemperaturen höher sind. Da die gewünschten Warmwassertemperaturen zwischen 45°C und 60°C liegen, muss bei einem Warmwasser-Spitzenbedarf nachgeheizt werden. Dies erfolgt, wie in den Abbildungen 32a+c dargestellt, über einen Elektroheizstab oder, wie in Abbildung 32b, mit einem zusätzlichen Wärmeaustauscher.

Die Effizienz der Anlage verbessert sich durch eine höhere Raumtemperatur im Aufstellungsraum bzw. durch eine niedrig eingestellte Warmwasser-Solltemperatur. Die Aufstellung der Wärmepumpe sollte aber in unbeheizten Räumen erfolgen, z. B. in Keller- oder Heizräumen. Mögliche Abwärmequellen (z.B. Gefrierschrank oder Raumabluft) erhöhen die Effizienz. Erfolgt die Aufstellung in beheizten Räumen erhöht sich der Energieverbrauch der Raumheizung. Dies

10.1 WARMWASSER- WÄRMEPUMPEN

Abbildung 32a-c:
Die häufigsten Systeme
von Warmwasser-Wärme-
pumpen
(Quelle: Fachgemeinschaft
für effiziente Energieanwen-
dung HEA e.V., Berlin)

10.2
KONTROLLIERTE
WOHNUNGS-
LÜFTUNG

ist auch der Fall in der Nachbarschaft von beheizten Räume, wenn die Trennwände schlecht wärmegeämmt sind oder Türen offen stehen. Bei der Aufstellung im Heizraum erhöhen sich die Wärmeverluste der Rohrleitungen und Speicher. Die Raumtemperaturabsenkung ist abhängig von der Speichermasse der Raumumschließungsflächen. Die Kühlleistungen der Warmwasser-Wärmepumpen sind mit einigen 100 W vergleichsweise gering. Bei Gebäuden mit massiven Wänden reduziert sich daher die Raumtemperatur während der Laufzeit der Wärmepumpe nur geringfügig um ca. 1–2 K. Einen dauerhaft gekühlten Aufstellraum darf man daher nicht erwarten.

Der elektrische Anschluss der Warmwasser-Wärmepumpe erfolgt über eine gewöhnliche Steckdose (230 V). Für den Betrieb muss beachtet werden, dass die Wärmepumpe die Umgebungsluft des Aufstellungsraumes abkühlt, was abhängig von der Raumluftfeuchte zu mehr oder weniger Kondenswasserbildung an der Verdampferoberfläche der Wärmepumpe führt. Das Kondensat tropft in eine Auffangwanne und sollte fachgerecht abgeführt werden.

10.2 Kontrollierte Wohnungslüftung

Ein weiteres Anwendungsgebiet der Wärmepumpe ist der Einsatz in Verbindung mit der kontrollierten Wohnungslüftung. Im einfachsten Fall, bei dem die Wohnungslüftung als Abluftsystem (Zuluft über Wanddurchlässe) ausgeführt ist, entzieht eine Kleinwärmepumpe der Abluft vor dem Austritt aus dem Gebäude die Wärme und stellt diese auf höherem Temperaturniveau der Warmwasser-Bereitung und der Gebäudeheizung zur Verfügung. Die verfügbare Entzugsleistung ist abhängig vom Abluftvolumenstrom und der Abkühlung der Abluft. Zur Vermeidung einer schlechten Energieeffizienz muss die Abkühlung soweit begrenzt werden, dass es nicht zur Vereisung des Verdampfers kommt, was eine zyklische Abtauung mit erhöhtem Energieaufwand zur Folge hätte. Insofern liegt die verfügbare Heizleistung bei ca. 10 W/m² beheizter Wohnfläche, wenn man von einem typischen Mindestluftwechsel von ca. 0,4 h⁻¹ bezogen auf das beheizte Gebäudevolumen ausgeht. Um einen vernünftigen Deckungsanteil (> 90%) am Heizwärmebedarf zu erreichen, sollte dieser unterhalb 40 kWh/m² im Jahr betragen. Dieses System eignet sich damit besonders für hoch wärmegeämmt Neubauten als Alternative zu einer Außenluftwärmepumpe oder einer Wärmepumpe mit Wärmeentzug aus dem Erdreich. Es kann auch bei der Altbausanierung zum Einsatz kommen, dann aber, aus ökologischen Gründen, nur in Verbindung mit einer nichtelektrischen Zusatzheizung (z.B. Gaskessel).

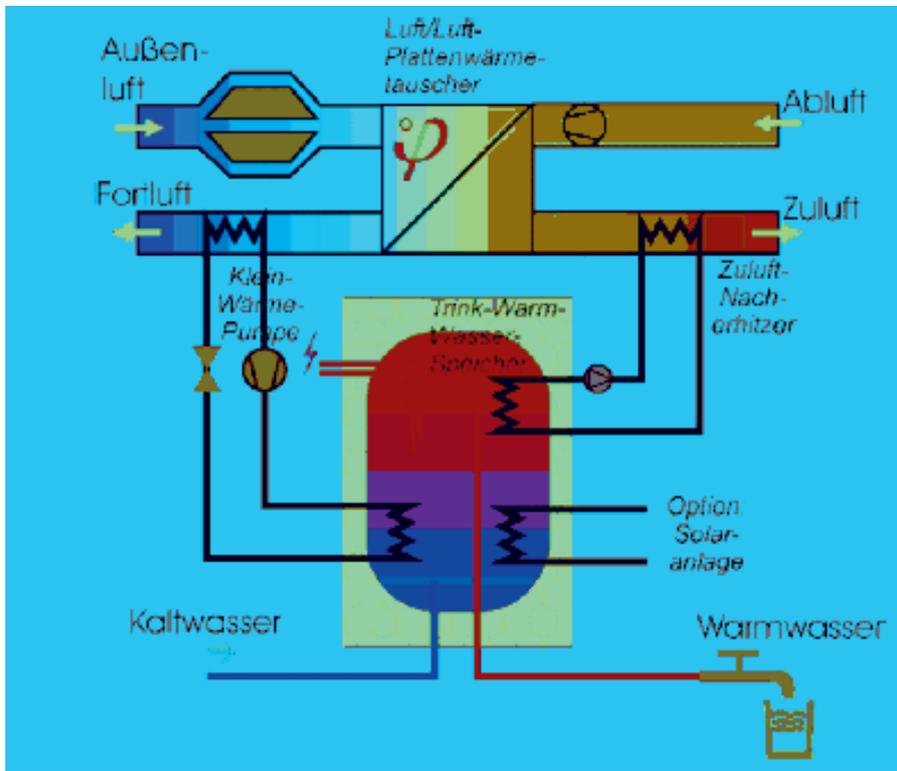


Abbildung 33:
Prinzipdarstellung eines
Kompaktgerätes mit
integrierter Luft/Wasser-
Wärmepumpe in
Verbindung mit einem
Zu- und Abluftgerät für
Passivhäuser
(Quelle: Passivhaus Institut,
Darmstadt)

10
WEITERE
ANWENDUNGS-
GEBIETE VON
WÄRMEPUMPEN

Da in Passivhäusern häufig auf ein konventionelles Heizsystem (Heizkörper, Fußbodenheizung) verzichtet wird und die kontrollierte Wohnlüftung mit Zu- und Abluft ein unverzichtbarer Bestandteil für das behagliche Wohnen ist, kommen dort beispielsweise Kompaktgeräte zum Einsatz, wie schematisch in Abbildung 33 dargestellt. Diese Geräte dienen gleichermaßen zur Raumheizung, zur Warmwasserbereitung und zur kontrollierten Wohnungslüftung. Die integrierte Luft/Luft-Wärmepumpe entzieht die Wärme aus der Fortluft und führt sie einem Wasser-Speichersystem zu. Im Speichersystem wird die Energie für das Warmwasser und an kalten Tagen für die Nacherwärmung der Zuluft bevorratet. Der Nachheizbedarf für die Zuluft kann durch hocheffiziente Wärmerückgewinner, wenn möglich ergänzt mit einer Außenluftansaugung über Erdreichwärmetauscher, minimiert werden. Die Energieeffizienz (Arbeitszahl) der Wärmepumpe ist eher bescheiden, da die Abluft durch den vorgeschalteten Wärmerückgewinner stärker abgekühlt wird als bei der reinen Abluft-Wärmepumpe (siehe oben) und zudem bei niedrigen Außentemperaturen die Zuluft auf hohe Temperaturen zu erwärmen ist, um einen nennenswerten Heizeffekt (Raumheizung über die Zuluft) zu erreichen. Von den angesprochenen Systemen gibt es eine Vielzahl von technischen Varianten, die hier aber nicht näher erörtert werden.

11 Software Übersicht

Planung, Optimierung und Simulation von Wärmepumpenheizanlagen

Simulationssoftware WP-OPT

WPsoft GbR

Dr. Stephan Weinmeister & Partner

Achtbeeteweg 10

01189 Dresden

Tel. 03 51 / 4 24 67 12

Fax 0 35 28 / 4 24 67 13

Email: info@wp-opt.de

Homepage: www.wp-opt.de

Planung, Optimierung und Simulation von Erdwärmesondenanlagen

Simulationssoftware EED (Earth Energy Designer)

BLOCON SWEDEN

Iliongränden 159, S-224 72 Lund, Sweden

Fax: +46.46 13 62 64

Email: info@blocon.se

Homepage: www.blocon.se

Software: www.buildingphysics.com

Simulationssoftware EWS (Erdwärmesondenprogramm)

Huber Energietechnik AG

Jupiterstrasse 26

CH - 8032 Zürich

Tel.: +44.2 27 79 78

Fax: +44.2 27 79 79

Email: mail@hetag.ch

Homepage: www.hetag.ch

10 Literatur

- [01] Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg: Wärme ist unter uns. April 2008. Referat 42 „Erneuerbare Energien und rationelle Energieanwendung“. www.wm.baden-wuerttemberg.de
- [02] Umweltministerium Baden-Württemberg: Leitfaden zur Nutzung von Erdwärme mit Erdwärmekollektoren. Ausgabe 2008. www.um.baden-wuerttemberg.de
- [03] Reichelt, J. (Hrsg.): Wärmepumpen. Stand der Technik. C.F. Müller Verlag, 2008. ISBN 978-3-7880-7843-0
- [04] Flade, F. in Zusammenarbeit mit dem Bundesverband WärmePumpe e.v.: Arbeitsordner Wärmepumpe. Marketing + Wirtschaft Verlagsgesellschaft Flade & Partner mbH. Ausgabe 2008/2009. ISBN 978-3-922804-46-8
- [05] Tholen, M. und Walker-Hertkorn, S.: Arbeitshilfen Geothermie. Grundlagen für oberflächennahe Erdwärmesondenbohrungen. WVGW Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH. 2008. ISBN 978-3-89554-167-4
- [06] Eschmann, M. Interstaatliche Hochschule für Technik NTB: Schlussbericht: Monitoring von Klein-Wärmepumpen mittels Normprüfungen 2008. www.ntb.ch
- [07] Bundesamt für Energie (Schweiz): Standardschaltungen für Kleinwärmepumpenanlagen. Teil 1: STASCH-Planungshilfen. Schlussbericht Dezember 2002. Forschungsprogramm Umgebungs- und Abwärme, Wärme-Kraft-Kopplung (UAW). www.bfe.admin.ch/dokumentation/energieforschung
- [08] Interstaatliche Hochschule für Technik Buchs, Wärmepumpen-Testzentrum: D-A-C-H Prüfreglement. Prüfung von Luft/Wasser-Wärmepumpen. Begriffe, Prüfbedingungen und Prüfverfahren basierend auf EN 14511-1 bis 4. Erweiterte Anforderungen zur Erlangung des internationalen Gütesiegels für Wärmepumpen. Version 1.1, August 2007. www.wpz.ch
- [09] Öko-Institut e.V.: Gesamt-Emissions-Modell integrierter Systeme Version 4.5 (GEMIS). Darmstadt, 2009. www.oeko.de
- [10] DIN V 4701 – 10 (Vornorm): Energetische Bewertung heiz- und raumluftechnischer Anlagen – Teil 10: Heizung, Trinkwassererwärmung, Lüftung. August 2003.
- [11] DIN EN 15450: Heizungsanlagen in Gebäuden – Planung von Heizungsanlagen mit Wärmepumpen. Dezember 2007.
- [12.1] Verein Deutscher Ingenieure VDI: VDI-Richtlinie 4640: Thermische Nutzung des Untergrundes. Blatt 1: Grundlagen, Genehmigungen, Umweltaspekte. Entwurf Juni 2008. Blatt 2: Erdgekoppelte Wärmepumpenanlagen. September 2001.
- [12.2] VDI-Richtlinie 4650, Blatt 1: Kurzverfahren zur Berechnung der Jahresarbeitszahl von Wärmepumpenanlagen. Elektrowärmepumpen zur Raumheizung und zur Warmwasserbereitung. März 2009. (Alte Ausgabe vom Januar 2003 nur für Raumheizung).
- [12.3] VDI-Richtlinie 2067: Blatt 1: Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen – Grundlagen und Kostenberechnung September 2000.
- [13] Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung – EnEV) vom 24. Juli 2007 – seit dem 1. Oktober 2007 in Kraft
- [14] Bundesgesetzblatt Jahrgang 2009 Teil I Nr. 23, ausgegeben zu Bonn 30.04.2009: Verordnung zur Änderung der Energieeinsparverordnung.
- [15] Sawillon, M., Klimaschutz- und Energieagentur KEA, Karlsruhe: Ergebnisse der Evaluierung von 150 bestehenden Erdwärmesonden-Wärmepumpenanlagen. Präsentation bei der Geotherm, Offenburg, März 2009. www.kea-bw.de
- [16] DVGW Arbeitsblatt W551: Trinkwassererwärmungs- und Trinkwasserleitungsanlagen; Technische Maßnahmen zur Verminderung des Legionellenwachstums; Planung, Errichtung, Betrieb und Sanierung von Trinkwasser-Installationen. April 2004

13 Glossar

Endenergiebedarf/ Endenergieverbrauch	Durch die Umwandlung von Primärenergie entsteht Endenergie (z. B. Strom, Erdgas, Heizöl). Sie ist die Energie, die an die Endverbrauchsstelle angeliefert wird. Der Endenergiebedarf ist der berechnete jährliche Verbrauch in Kilowattstunden pro Jahr (kWh/a). Der Endenergieverbrauch ist der gemessene bzw. abgerechnete Verbrauch in kWh/a. Beispiele sind Strom, Erdgas und Heizöl.
CO ₂ -Emissionen	In der Betrachtungsweise nach GEMIS [9] werden, zusätzlich zu den lokalen Emissionen, auch die der vorgelagerten Transport- und Prozessketten berücksichtigt. Die CO ₂ -Emissionen enthalten neben den CO ₂ -Emissionen noch weitere direkte Treibhausgase (z. B. Methan).
COP	Die Kenngröße COP (Coefficient of Performance) oder Leistungszahl wird auf speziellen Prüfständen nach der Norm DIN EN 14511 [8] bei definierten Prüfbedingungen (z. B. B0/W35) bestimmt. Sie beinhaltet auch (teilweise nur anteilig) die elektrische Leistungsaufnahme der Hilfsaggregate, die zum Lieferumfang der Wärmepumpe gehören. Der COP ist ein Gütekriterium der Wärmepumpe. Je höher desto besser.
Heizlast	Die Heizlast entspricht z. B. dem Norm-Gebäudewärmebedarf nach DIN EN 12831, Ausgabe 2003 (nationaler Anhang 2008) und wird in kW angegeben. Die Heizlast kann im Rahmen der Vorplanung auch anhand von überschlägigen Berechnungen ermittelt werden, z. B. anhand der Hüllflächen.
Jahresarbeitszahl β	Diese wird aus dem Verhältnis der über das gesamte Jahr an das Heiznetz und an das Warmwasser abgegebenen Energie (in Form von Wärme) zur gesamten aufgenommenen elektrischen Energie (einschließlich Hilfs- bzw. Zusatzenergie) gebildet. Diese Kenngröße ist vergleichbar mit dem Jahresnutzungsgrad einer Heizanlage. Siehe auch Systemgrenzen und Definitionen in Kapitel 4.5
Nutzenergie	Die Nutzenergie entspricht der Energie, die genutzt wird. Beispiele sind Raumwärme und warmes Wasser.
Primärenergiebedarf	Der Primärenergiebedarf entspricht der Summe aus dem Endenergiebedarf und dem Energiebedarf für die Umwandlungs- und Transportverluste zur Bereitstellung der Endenergie. Beispiele für Primärenergieträger sind Erdöl und Kohle.
Primärenergiefaktor f_p	Der Primärenergiefaktor dient zur Berechnung des Primärenergiebedarfs durch Multiplikation mit dem Endenergieverbrauch. Die Primärenergiefaktoren sind Bestandteil des EnEV – Verfahrens [13].
Anlagenaufwandszahl e_p	Die Anlagenaufwandszahl eines Energiesystems (z. B. Wärmepumpenheizanlage mit Trinkwassererwärmung) beschreibt das Verhältnis von der notwendigen Primärenergie zur Nutzenergie (Wärme für Raumheizung und Warmwasser).
EnEV	Energieeinsparverordnung; seit Februar 2002 gültige Verordnung über den energiesparenden Wärmeschutz und die energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden. Die EnEV soll den Primärenergieeinsatz für die Raumheizung und die Trinkwassererwärmung begrenzen. Hierfür werden sowohl baulicher Wärmeschutz als auch die eingesetzte Anlagentechnik bewertet [13], [14].

14 Anhang

- A1 Steckbriefe von ausgeführten Wärmepumpenanlagen
- A2 Energie- und Wirtschaftlichkeitsanalyse Neubau
- A3 Energie- und Wirtschaftlichkeitsanalyse Sanierung
- A4 Internationale Gütesiegel für Wärmepumpen
- A5 Übersicht Kältemittel
- A6 Systemgrenzen für die Effizienzbewertung von Wärmepumpenanlagen
- A7 Staatliche und sonstige Förderungsmöglichkeiten
- A8 Energie- und Wärmegesetz: Anforderungen an Wärmepumpen
- A9 Informations- und Beratungsstellen in Baden-Württemberg
- A10 Regionale Energieagenturen in Baden-Württemberg

A 1
STECKBRIEFE VON
AUSGEFÜHRTEN
WÄRMEPUMPEN-
ANLAGEN

Luft/Wasser-Wärmepumpenanlage in Buchenbach (Quelle: Fraunhofer ISE)

Gebäude:

Einfamilienhaus, 4 Personen
Erstbezug Mai 2008
211 m² beheizte Fläche
Norm-Heizlast: 12,9 kW

Wärmequellen:

Außenluft und Abluft

Heizungs-Wärmepumpe:

Typ: Luft/Wasser
Fabrikat: Stiebel Eltron WPL 18 cool
Betriebsart: monoenergetisch
Heizleistung/COP nach DIN EN 14511:
– Betriebspunkt (A2/W35): 11,3 kW; COP 3,7
– Betriebspunkt (A-7/W35): 9,6 kW; COP 3,2
Elektrische Leistung Ventilator: ca. 140 W

Heizungssystem:

Fußbodenheizung mit max. 32°C Vorlauftemperatur

Warmwasserbereitung:

über Warmwasserwärmepumpe (Abluft)



Verbrauchsdaten/Kennwerte (Oktober 08 – September 09):

Jahresstromverbräuche (beide Wärmepumpen einschließlich Hilfsenergie): 6.850 kWh/a

Erzeugte thermische Energie (Raumheizung und Trinkwassererwärmung): 22.678 kWh/a

Mittlere Jahresstromkosten: keine Angabe (geschätzt ca. 950,- EUR/a für einen Wärmepumpentarif mit 13 Cent/kWh Arbeitspreis und 60,- EUR/a Grundpreis). Damit ergeben sich:

- Heizenergiekosten (Raumheizung und Trinkwassererwärmung) pro m² beheizte Fläche: 4,5 EUR/(m²a)
- Heizenergiekosten (Raumheizung und Trinkwassererwärmung) pro kWh therm. Energie: 4,2 Cent/kWh

Jahresarbeitszahl (beide Wärmepumpen, inkl. Elektrozusatzheizung): $\beta_B = 3,31$

Gebäude:

Einfamilienhaus, 2 Personen
Erstbezug 2006
190 m² beheizte Fläche
Norm-Heizlast: keine Angabe

Wärmequelle:

2 Erdwärmesonden (Gesamtsondenlänge 144 m)

Wärmepumpe:

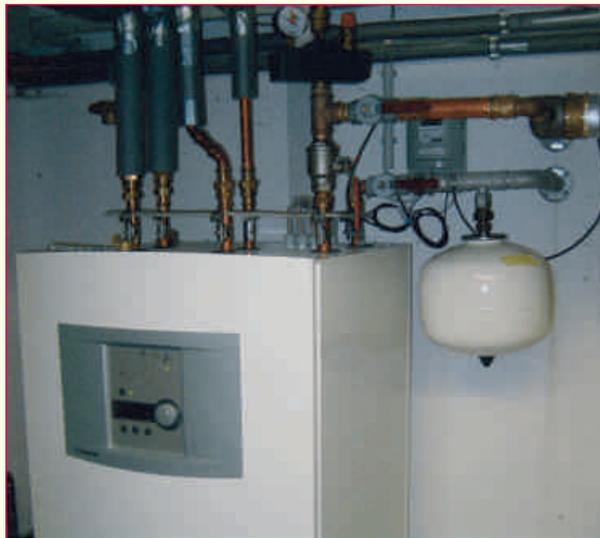
Typ: Sole/Wasser
Fabrikat: Junkers TE 90-1
Betriebsart: monoenergetisch
Heizleistung/COP (nach DIN EN 255):
– Betriebspunkt (B0/W35): 9,1 kW; COP 4,3
– Betriebspunkt (B0/W50): 8,4 kW; COP 3,0
Elektrische Leistungsaufnahme:
– Solepumpe: ca. 170 W

Heizungssystem:

Fußbodenheizung mit max. 35 °C Vorlauftemperatur
Pufferspeicher mit 300 l Inhalt

Warmwasserbereitung:

über Wärmepumpe
Trinkwasserspeicher mit 290 l Inhalt



Verbrauchsdaten/Kennwerte 2008:

Jahresstromverbräuche (Wärmepumpe einschließlich Hilfsenergie): 5.360 kWh/a

Erzeugte thermische Energie (Raumheizung und Trinkwassererwärmung): 21.249 kWh/a

Mittlere Jahresstromkosten: keine Angabe (geschätzt ca. 750,- EUR/a für einen Wärmepumpentarif mit 13 Cent/kWh Arbeitspreis und 60,- EUR/a Grundpreis). Damit ergeben sich:

- Heizenergiekosten (Raumheizung und Trinkwassererwärmung) pro m² beheizte Fläche: 4,0 EUR/(m²a)
- Heizenergiekosten (Raumheizung und Trinkwassererwärmung) pro kWh therm. Energie: 3,5 Cent/kWh

Jahresarbeitszahl (inkl. Elektrozusatzheizung und Solepumpe): $\beta_B = 3,96$

Erdwärmesondenanlage in Neuffen (Quelle: Fraunhofer ISE)

Gebäude:

Einfamilienhaus, 5 Personen
Erstbezug 25.09.2006
150 m² beheizte Fläche
Norm-Heizlast: 7,5 kW

Wärmequelle:

Erdwärmesonde (Gesamtsondenlänge 130 m)

Wärmepumpe:

Typ: Sole/Wasser
Fabrikat: Buderus TE-75-1
Betriebsart: monoenergetisch
Heizleistung/COP (nach DIN EN 255):
– Betriebspunkt (B0/W35): 7,3 kW; COP 4,1
– Betriebspunkt (B0/W50): 7,0 kW; COP 3,0
Elektrische Leistungsaufnahme:
– Solepumpe: ca. 150 W

Heizungssystem:

Fußbodenheizung mit max. 38°C Vorlauftemperatur

Warmwasserbereitung:

über Wärmepumpe



Verbrauchsdaten/Kennwerte 2008:

Jahresstromverbräuche (Wärmepumpe einschließlich Hilfsenergie): 2.383 kWh/a

Erzeugte thermische Energie (Raumheizung und Trinkwassererwärmung): 9.790 kWh/a

Mittlere Jahresstromkosten: keine Angabe (geschätzt ca. 370,- EUR/a für einen Wärmepumpentarif mit 13 Cent/kWh Arbeitspreis und 60,- EUR/a Grundpreis). Damit ergeben sich:

– Heizenergiekosten (Raumheizung und Trinkwassererwärmung) pro m² beheizte Fläche: 2,5 EUR/(m²a)

– Heizenergiekosten (Raumheizung und Trinkwassererwärmung) pro kWh therm. Energie: 3,8 Cent/kWh

Jahresarbeitszahl (inkl. Elektrozusatzheizung und Solepumpe): $\beta_s = 4,11$

Gebäude:

Einfamilienhaus, 4 Personen
Erstbezug Nov. 2006
292 m² beheizte Fläche
Norm-Heizlast: 10,8 kW

Wärmequelle:

Soleflachkollektor (100m² Fläche)
Energiezaun (siehe Bilder)

Heizungs-Wärmepumpe:

Typ: Sole/Wasser
Fabrikat: Hautec HCS-PN-48A
Betriebsart: monoenergetisch
Heizleistung/COP (nach DIN EN 255):
- Betriebspunkt (B0/W35): 11,2 kW; COP 4,6
- Betriebspunkt (B0/W50): 10,6 kW; COP 3,0

Elektrische Leistungsaufnahme:

- Solepumpe: ca. 185 W

Heizungssystem:

Fußbodenheizung mit max. 35°C Vorlauftemperatur

Warmwasserbereitung:

über Warmwasserwärmepumpe (Wärmequelle: Heizkreis-Rücklauf)



Verbrauchsdaten/Kennwerte 2008:

Jahresstromverbräuche (beide Wärmepumpen einschließlich Hilfsenergie): 3.367 kWh/a

Erzeugte thermische Energie (Raumheizung und Trinkwassererwärmung): 13.257 kWh/a

Mittlere Jahresstromkosten: keine Angabe (geschätzt ca. 500,- EUR/a für einen Wärmepumpentarif mit 13 Cent/kWh Arbeitspreis und 60,- EUR/a Grundpreis). Damit ergeben sich:

- Heizenergiekosten (Raumheizung und Trinkwassererwärmung) pro m² beheizte Fläche: 1,7 EUR/(m²a)

- Heizenergiekosten (Raumheizung und Trinkwassererwärmung) pro kWh therm. Energie: 3,8 Cent/kWh

Jahresarbeitszahl (beide Wärmepumpen, inkl. Elektrozusatzheizung und Solepumpe): $\beta_B = 3,94$

Luft/Wasser-Wärmepumpenanlage in Herxheim (Quelle: privat)

Gebäude:

Einfamilienhaus, 3 Personen
Baujahr 1983
130 m² beheizte Fläche
Norm-Heizlast: nicht bekannt

Wärmequellen:

Außenluft und Raumluft (Warmwasser-WP)

Heizungs-Wärmepumpe:

Neue Wärmepumpe seit 2005 ¹
Typ: Außenluft
Fabrikat: Alpha-InnoTec LWC 80M-1
Betriebsart: monoenergetisch
Heizleistung/COP nach DIN EN 255:
– Betriebspunkt (A2/W35): 8,1 kW; COP 3,2
Elektrische Leistung Verdichter: 2,53 kW

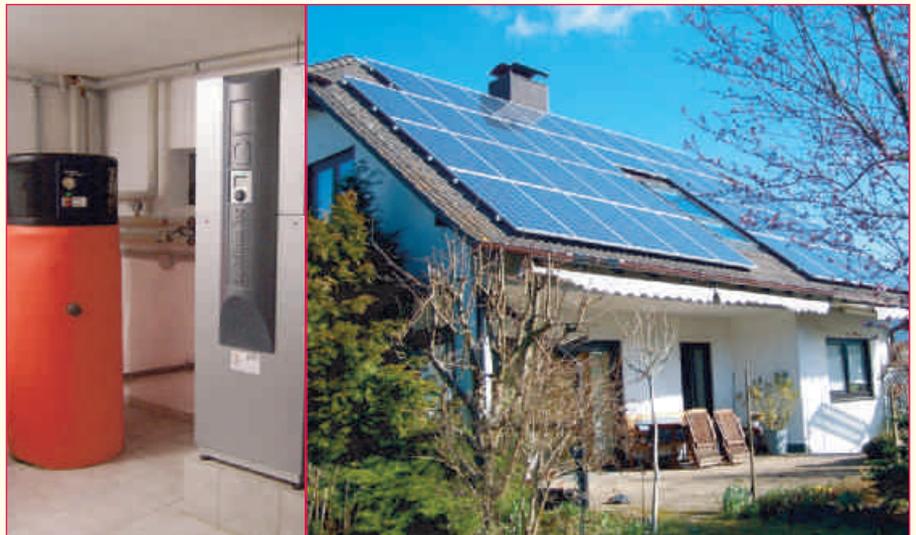
¹ Die Erneuerung der Heizungs-Wärmepumpe kostete 2005 insgesamt ca. 10.000,- EUR

Heizungssystem:

Fußbodenheizung und Gebläsekonvektoren mit max. 35°C Vorlauftemperatur

Warmwasserbereitung:

über Warmwasserwärmepumpe (Raumluft Heizraum) Baujahr 1983



Verbrauchsdaten/Kennwerte (Durchschnittswerte über 3 Jahre):

Jahresstromverbräuche (beide Wärmepumpen einschließlich Hilfsenergie): 6.150 kWh/a
Erzeugte thermische Energie (Raumheizung und Trinkwassererwärmung): ca. 18.000 kWh/a

Mittlere Jahresstromkosten: ca. 1.000,- EUR/a (Raumheizung und Trinkwassererwärmung). Damit ergeben sich:

- Heizenergiekosten (Raumheizung und Trinkwassererwärmung) pro m² beheizte Fläche: 7,7 EUR/(m²a)
- Heizenergiekosten (Raumheizung und Trinkwassererwärmung) pro kWh therm. Energie: 5,6 Cent/kWh

Jahresarbeitszahl (beide Wärmepumpen, inkl. Elektrozusatzheizung): $\beta_B = 2,93$

Gebäude:

Zweifamilienhaus
Baujahr 1969
243 m² beheizte Fläche
Norm-Heizlast: 15,6 kW

Wärmequellen:

Außenluft

Heizungs-Wärmepumpe:

Neue Wärmepumpe seit 2008 ¹
Typ: Außenluft
Fabrikat: Stiebel Eltron WPL 23E
Betriebsart: monoenergetisch
Heizleistung/COP nach DIN EN 14511:
- Betriebspunkt (A2/W35): 14,8 kW; COP 3,5
- Betriebspunkt (A-7/W35): 13,0 kW; COP 3,1
Elektrische Leistung Verdichter: 4,2 kW

¹ Die Erneuerung der Heizungsanlage inkl. Solarthermischer Anlage mit Heizungsunterstützung kostete 2008 insgesamt ca. 38.000,- EUR. Der frühere Ölverbrauch lag bei durchschnittlich 3.900 Liter pro Jahr.

Heizungssystem:

Radiatorenheizung mit max. 50°C Vorlauftemperatur

Warmwasserbereitung:

über Wärmepumpe und Solarthermische Anlage



Verbrauchsdaten/Kennwerte (Oktober 2008 bis Juni 2009):

Stromverbrauch (Wärmepumpe einschließlich Hilfsenergie): 12.944 kWh/a

Erzeugte thermische Energie (Raumheizung und Trinkwassererwärmung): 33.133 kWh/a

Stromkosten: ca. 1.830,- EUR (Raumheizung und Trinkwassererwärmung). Damit ergibt sich:

- Heizenergiekosten (Raumheizung und Trinkwassererwärmung) pro kWh therm. Energie: 5,5 Cent/kWh

Jahresarbeitszahl (beide Wärmepumpen, inkl. Elektrozusatzheizung): $\beta_B = 2,56$ ²

² Stromverbrauch der Umwälzpumpen für Heizung und Warmwasser mit enthalten

Erdwärmesondenanlage in Bietigheim-Bissingen (Quelle: KEA, Karlsruhe)

Gebäude:

Einfamilienhaus
Baujahr 1970
150 m² beheizte Fläche
Norm-Heizlast: 9 kW

Wärmequelle:

Erdwärmesonde (Gesamtsondenlänge 160 m)

Heizungs-Wärmepumpe:

Neue Wärmepumpe seit 2005¹
Typ: Sole/Wasser
Fabrikat: Tecalor TTF 10
Betriebsart: monoenergetisch
Heizleistung/COP (nach DIN EN 14511):
– Betriebspunkt (B0/W35): 9,9 kW; COP 4,5

Elektrische Leistungsaufnahme:

– Verdichter: 2,2 kW

¹Die Erneuerung der Heizungs-Wärmepumpe inkl. Erdwärmesonde kostete 2005 insgesamt ca. 14.000,- EUR (teilweise Eigenleistung durch Bauberr)

Heizungssystem:

Fußbodenheizung mit max. 35°C Vorlauftemperatur

Warmwasserbereitung:

über Wärmepumpe und Solarthermische Anlage (10 m²)



Verbrauchsdaten/Kennwerte (Durchschnittswerte über 3 Jahre):

Jahresstromverbräuche (Wärmepumpe einschließlich Hilfsenergie): ca. 2.000 kWh/a

Erzeugte thermische Energie (Raumheizung und Trinkwassererwärmung): ca. 8.800 kWh/a

Mittlere Jahresstromkosten ca. 480,- EUR/a. Damit ergeben sich:

- Heizenergiekosten (Raumheizung und Trinkwassererwärmung) pro m² beheizte Fläche: 3,2 EUR/(m²a)
- Heizenergiekosten (Raumheizung und Trinkwassererwärmung) pro kWh therm. Energie: 5,5 Cent/kWh

Jahresarbeitszahl (inkl. Elektrozusatzheizung und Solepumpe): $\beta_B = 4,4$

Eingangsdaten (alle Kosten und Preise inkl. Mehrwertsteuer, Preis- und Kostenstand 2009)			
Gebäudetyp	EFH	Energiebezugsfläche in m ² :	190
Standort:	Freiburg	Gebäudeheizlast in kW:	5
		Personenbelegung:	4
Betrachtungszeitraum:	20	Energiepreise:	-
Kalkulatorischer Zinssatz in %:	5	Gaspreis bezogen auf Heizwert in €/kWh:	0,075
Teuerungsrate Energie in %:	3	Gasgrundpreis in €/a:	145
Teuerungsrate Sonstiges in %:	0	Heizölpreis bezogen auf Heizwert in €/kWh:	0,070
Annuitätsfaktor:	0,080	Pelletpreis in €/kWh	0,045
Mittelwertfaktor Energie:	1,281	Strompreis für Wärmepumpe in €/kWh:	0,130
Mittelwertfaktor Sonstiges:	1,000	Stromgrundpreis für Wärmepumpe in €/a:	60
Mehrwertsteuersatz in %:	19	Mischpreis für Haushaltsstrom in €/kWh:	0,22
CO ₂ -Emissionsfaktoren aus Gemis 4.5:	-	Primärenergiefaktoren (EnEV):	-
Heizöl EL in kg/kWh (Endenergie)	0,321	Heizöl EL in kWh/kWh (Endenergie)	1,10
Erdgas in kg/kWh (Endenergie)	0,252	Erdgas in kWh/kWh (Endenergie)	1,10
Holz-Pellets in kg/kWh (Endenergie)	0,031	Holz-Pellets in kg/kWh (Endenergie)	0,20
Strom in kg/kWh (Endenergie)	0,670	Strom in kWh/kWh (Endenergie)	2,70

A 2
ENERGIE- UND
WIRTSCHAFTLICH-
KEITSANALYSE
NEUBAU

A Energieanalyse - Ergebnisse aus DIN V 4701-10				Varianten ¹⁾			
lfd.Nr.	Bezeichnung	Einheit	Referenz WP mit EWS	A Luft-WP	B Gas-BW + Solar	C Öl-BW + Solar	D Pellet
A 1	Daten Raumheizung (RH)						
A 1.1	Heizwärmebedarf	kWh/a	7.600	7.600	7.600	7.600	7.600
A 1.2	Wärmeverluste für Speicherung, Verteilung, Übergabe	kWh/a	570	570	608	608	1.349
A 1.3	Deckungsgrad der Wärmepumpe bzw. des Wärmeerzeugers Nr.1	-	1,00	0,95	1,00	1,00	1,00
A 1.4	Aufwandszahl des Wärmeerzeugers Nr.1 berechnet nach VDI 4650-1 (Wärmepumpe) bzw. DIN 4701-10	-	0,21	0,26	0,99	1,04	1,19
A 1.5	Hilfsenergiebedarf	kWh/a	635	422	396	396	619
A 2	Daten Warmwasserbereitung (WW)						
A 2.1	Wärmebedarf	kWh/a	2.400	2.400	2.400	2.400	2.400
A 2.2	Wärmeverluste für Speicherung, Verteilung, Übergabe	kWh/a	1.159	1.159	1.159	1.159	1.159
A 2.3	Deckungsgrad der Wärmepumpe bzw. des Wärmeerzeugers Nr.1	-	0,90	0,90	0,40	0,40	1,00
A 2.4	Aufwandszahl des Wärmeerzeugers Nr.1 nach DIN V 4701-10	-	0,25	0,28	1,12	1,14	1,26
A 2.5	Hilfsenergiebedarf	kWh/a	51	0	84	84	0
A 3	Daten Heizungsanlage (RH + WW)						
A 3.1	Nutzwärmebedarf	kWh/a	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000
A 3.2	Hilfsenergiebedarf (bei Kesselanlagen Haushaltstrom)	kWh/a	686	422	480	480	619
A 3.3	Endenergiebedarf (Strom bzw. Gas bzw. Öl bzw. Holz-Pellets) ohne Hilfsenergie	kWh/a	2.873	3.679	9.720	10.159	15.133
A 3.4	Jahresarbeitszahl β_B (siehe Anhang A6)	-	3,30	2,86	-	-	-
A 3.5	Primärenergiebedarf	kWh/a	9.608	11.073	11.761	12.244	4.699
A 3.6	Anlagenaufwandszahl e_p	-	0,96	1,11	1,18	1,22	0,47
A 3.7	CO ₂ -Emissionen	kg/a	2.384	2.748	2.775	3.579	889

Referenz: Sole-/Wasser-WP mit Erdwärmesonde; Fußbodenheizung 35/28°C; Pufferspeicher 300 L; WW-Speicher 300 L mit elektr. Nachheizung

¹⁾ A wie Referenz, aber WP-Anlage mit Außenluft

B Gasbrennwertkessel; Radiatorenheizung 55/45°C; Solaranlage für WW (60% Deckungsgrad), WW-Speicher 300 L, Nachheizung über Kessel

C wie B, aber mit Ölbrennwertkessel

D wie B aber mit Pelletkessel und Pufferspeicher

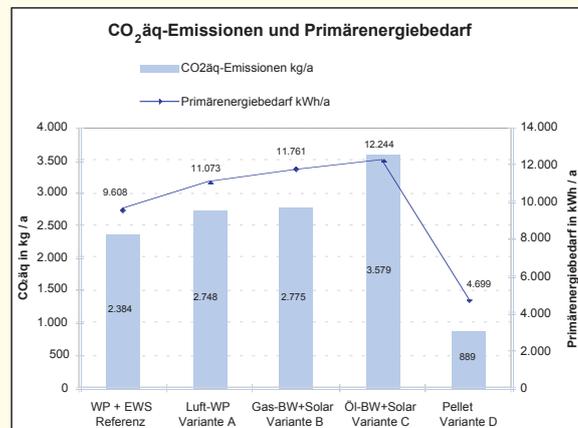
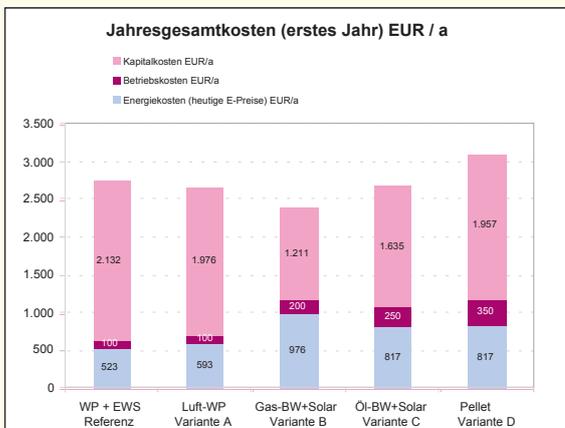
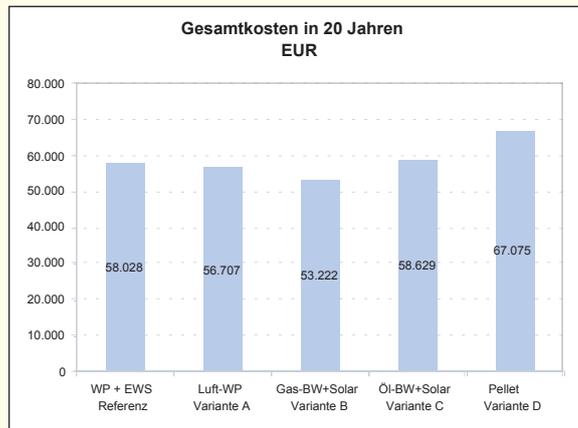
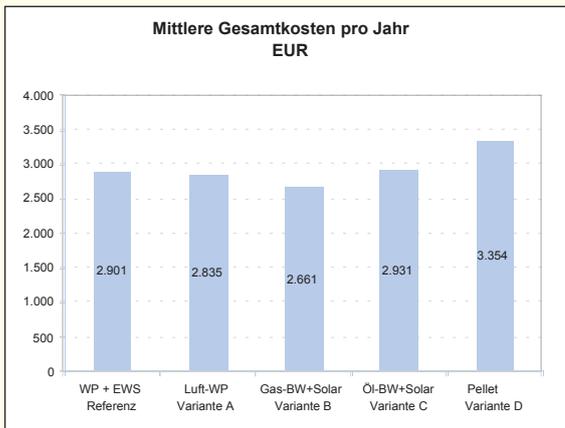
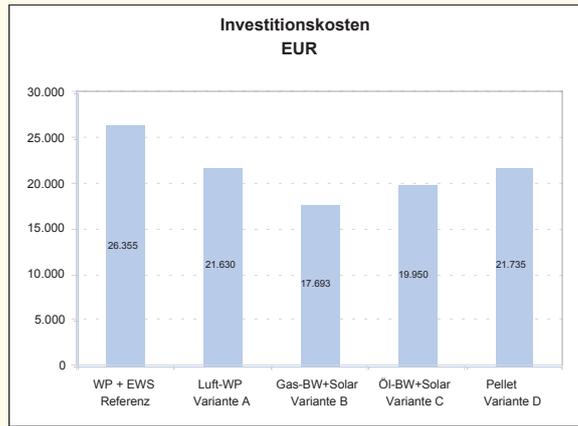
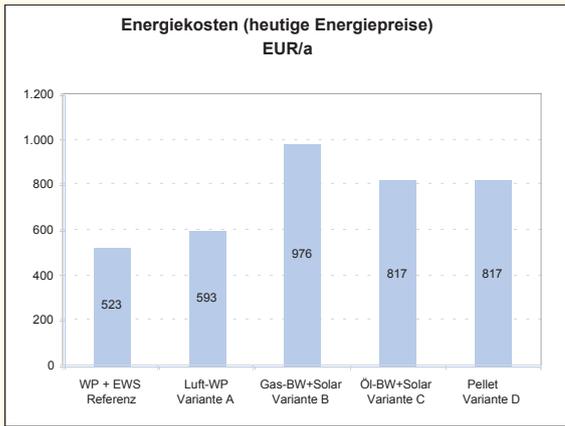
B Wirtschaftlichkeitsanalyse in Anlehnung an VDI 2067-1					Varianten ¹⁾			
lfd.Nr.	Bezeichnung	Einheit		Referenz WP mit EWS	A Luft-WP	B Gas-BW + Solar	C Öl-BW + Solar	D Pellet
B 1	Investitionen	Instandhaltungssatz						
B 1.1	Wärmeerzeugung mit Zubehör	€	2,0%	8.200	9.300	3.100	5.500	9.500
B 1.2	WW-Bereitung, Pufferspeicher	€	2,0%	2.800	2.800	2.200	2.200	2.800
B 1.3	Wärmeverteilung (FBH, Heizkörper, Rohre)	€	1,0%	6.000	6.000	3.500	3.500	3.500
B 1.4	Elektr.+hydr. Anschlüsse, Wärmedämmung	€	1,0%	600	600	300	300	600
B 1.5	Wärmequellenanlage	€	1,0%	7.500	1.900	0	0	0
B 1.6	Solarkollektoranlage (mit Zubehör)	€	2,0%	0	0	4.000	4.000	0
B 1.7	Schornstein	€	0,0%	0	0	1.500	1.600	2.100
B 1.8	Tank/Gasanschl./Schnecke/Lagerraum	€	1,0%	0	0	2.250	1.900	2.200
B 1.9	Planung (ca. 5%)	€	0,0%	1.255	1.030	843	950	1.035
B 1.10	Fördermittel (nicht berücksichtigt)	€	0,0%	0	0	0	0	0
B 1.11	Gesamtsumme (B1)	€	-	26.355	21.630	17.693	19.950	21.735
B 2	Kapitalgebundene Kosten pro Jahr einschließlich Instandhaltung	Nutzungsdauer in a						
B 2.1	Wärmeerzeugung mit Zubehör	€/a	20	822	932	311	551	952
B 2.2	WW-Bereitung, Pufferspeicher	€/a	20	281	281	221	221	281
B 2.3	Wärmeverteilung (FBH, Heizkörper, Rohre)	€/a	20	541	541	316	316	316
B 2.4	Elektr. + hydr. Anschl., Wärmedämmung	€/a	20	54	54	27	27	54
B 2.5	Wärmequellenanlage	€/a	50	333	84	0	0	0
B 2.6	Solarkollektoranlage (mit Zubehör)	€/a	50	0	0	218	218	0
B 2.7	Schornstein	€/a	50	0	0	52	55	72
B 2.8	Tank/Gasanschl./Schnecke/Lagerraum	€/a	20	0	0	0	171	199
B 2.9	Planung	€/a	20	101	83	68	76	83
B 2.10	Fördermittel	€/a	20	0	0	0	0	0
B 2.11	Gesamtsumme (B2)	€/a	-	2.132	1.976	1.211	1.635	1.957
B 3	Verbrauchsgebundene Kosten (Energiebezug)							
B 3.1	Arbeit	€/a	-	463	533	831	817	817
B 3.2	Grundkosten	€/a	-	60	60	145	0	0
B 3.3	Gesamtsumme (B3)	€/a	-	523	593	976	817	817
B 4	Betriebsgebundene Kosten							
B 4.1	Wartung	€/a	-	100	100	160	170	230
B 4.2	Schornsteinfegermeister	€/a	-	0	0	40	80	120
B 4.3	Gesamtsumme (B4)	€/a	-	100	100	200	250	350
B 5	Zusammenfassung							
B 5.1	Gesamtkosten in 20 Jahren	€	-	58.028	56.707	53.222	58.629	67.075
B 5.2	Mittlere Gesamtkosten pro Jahr	€/a	-	2.901	2.835	2.661	2.931	3.354
B 5.3	mittl. flächenbezogene Gesamtkosten pro Jahr	€/m ² a	-	15,3	14,9	14,0	15,4	17,7
B 5.4	wie B. 5.3 jedoch ohne kapitalgebundene Kosten	€/m ² a	-	4,1	4,5	7,6	6,8	7,4
B 5.5	Mittlerer Vollkosten-Wärmepreis	Cent/kWh	-	29,0	28,4	26,6	29,3	33,5

Referenz: Sole-/Wasser-WP mit Erdwärmesonde; Fußbodenheizung 35/28°C; Pufferspeicher 300 L; WW-Speicher 300 L mit elektr. Nachheizung

- ¹⁾ **A** wie Referenz, aber WP-Anlage mit Außenluft
B Gasbrennwertkessel; Radiatorenheizung 55/45°C; Solaranlage für WW (60% Deckungsgrad), WW-Speicher 300 L, Nachheizung über Kesse
C wie B, aber mit Ölbrennwertkessel
D wie B aber mit Pelletkessel und Pufferspeicher

Grafische Darstellung der Ergebnisse der Energie- und Wirtschaftlichkeitsanalysen für den Neubau

A 2 ENERGIE- UND WIRTSCHAFTLICH- KEITSANALYSE NEUBAU



Energie- und Wirtschaftlichkeitsanalyse von Heizsystemen für die Sanierung

Eingangsdaten (alle Kosten und Preise inkl. Mehrwertsteuer, Preis- und Kostenstand 2009)			
Gebäudetyp	EFH	Energiebezugsfläche in m ² :	148
Standort:	Freiburg	Gebäudeheizlast in kW:	7
		Personenbelegung:	4
Betrachtungszeitraum:	20	Energiepreise:	-
Kalkulatorischer Zinssatz in %:	5	Gaspreis bezogen auf Heizwert in €/kWh:	-
Teuerungsrate Energie in %:	3	Gasgrundpreis in €/a:	-
Teuerungsrate Sonstiges in %:	0	Heizölpreis bezogen auf Heizwert in €/kWh:	0,070
Annuitätsfaktor:	0,080	Pelletpreis in €/kWh	0,045
Mittelwertfaktor Energie:	1,281	Strompreis für Wärmepumpe in €/kWh:	0,130
Mittelwertfaktor Sonstiges:	1,000	Stromgrundpreis für Wärmepumpe in €/a:	60
Mehrwertsteuersatz in %:	19	Mischpreis für Haushaltsstrom in €/kWh:	0,22
CO ₂ -Emissionsfaktoren aus Gemis 4.5:	-	Primärenergiefaktoren (EnEV):	-
Heizöl EL in kg/kWh (Endenergie)	0,321	Heizöl EL in kWh/kWh (Endenergie)	1,10
Erdgas in kg/kWh (Endenergie)	-	Erdgas in kWh/kWh (Endenergie)	-
Holz-Pellets in kg/kWh (Endenergie)	0,031	Holz-Pellets in kg/kWh (Endenergie)	0,20
Strom in kg/kWh (Endenergie)	0,670	Strom in kWh/kWh (Endenergie)	2,70

A Energieanalyse - Ergebnisse aus DIN V 4701-10				Varianten ¹⁾			
lfd.Nr.	Bezeichnung	Einheit	Istzustand Öl-NT	A WP mit EWS	B Luft-WP	C Öl-BW + Solar	D Pellet
A 1	Daten Raumheizung (RH)						
A 1.1	Heizwärmebedarf	kWh/a	10.200	10.200	10.200	10.200	10.200
A 1.2	Wärmeverluste für Speicherung, Verteilung, Übergabe	kWh/a	1.066	1.214	1.214	1.066	1.797
A 1.3	Deckungsgrad der Wärmepumpe bzw. des Wärmeerzeugers Nr.1	-	1,00	1,00	0,95	1,00	1,00
A 1.4	Aufwandszahl des Wärmeerzeugers Nr.1 berechnet nach VDI 4650-1 (Wärmepumpen) bzw. DIN 4701-10	-	1,13	0,21	0,28	1,05	1,19
A 1.5	Hilfsenergiebedarf	kWh/a	446	868	527	561	821
A 2	Daten Warmwasserbereitung (WW)						
A 2.1	Wärmebedarf	kWh/a	2.100	2.100	2.100	2.100	2.100
A 2.2	Wärmeverluste für Speicherung, Verteilung, Übergabe	kWh/a	1.021	1.021	1.021	1.021	1.021
A 2.3	Deckungsgrad der Wärmepumpe bzw. des Wärmeerzeugers Nr.1	-	1,00	0,90	0,90	0,40	1,00
A 2.4	Aufwandszahl des Wärmeerzeugers Nr.1 nach DIN V 4701-10	-	1,19	0,25	0,28	1,15	1,26
A 2.5	Hilfsenergiebedarf	kWh/a	36	40	0	76	0
A 3	Daten Heizungsanlage (RH + WW)						
A 3.1	Nutzwärmebedarf	kWh/a	12.300	12.300	12.300	12.300	12.300
A 3.2	Hilfsenergiebedarf (Haushaltsstrom bei Kesselanlagen)	kWh/a	482	908	527	637	821
A 3.3	Endenergiebedarf (Strom bzw. Gas bzw. Öl bzw. Holz-Pellets) ohne Hilfsenergie	kWh/a	16.445	3.413	4.723	13.265	18.209
A 3.4	Jahresarbeitszahl β_B (siehe Anhang A6)	-	-	3,36	2,77	-	-
A 3.5	Primärenergiebedarf	kWh/a	18.988	10.496	13.464	15.601	5.120
A 3.6	Anlagenaufwandszahl e_p	-	1,54	0,85	1,09	1,27	0,42
A 3.7	CO ₂ -Emissionen	kg/a	5.594	2.896	3.518	4.679	1.121

Istzustand: Öl-Niedertemperatur-Heizkessel; Radiatorenheizung 55/45°C; Pufferspeicher 300 L; WW-Speicher 300 L Nachheizung über Kessel

- ¹⁾ **A** Sole-/Wasser-WP mit Erdwärmesonde; Radiatorenheizung 55/45°C; Pufferspeicher 300 L; WW-Speicher 300 L mit elektr. Nachheizung
- B** wie A, aber WP-Anlage mit Außenluft
- C** wie Istzustand aber Ölbrennwertkessel + Solaranlage für WW (60% Deckungsgrad), WW-Speicher 300 L, Nachheizung über Kessel
- D** wie C aber mit Pelletkessel und Pufferspeicher ohne Solaranlage

Hinweis: Es handelt sich in diesem Beispiel um einen bereits gut wärme gedämmten Altbau. Daher auch die niedrigen Systemtemperaturen (55/45 °C). Erdgas ist in diesem Beispiel nicht verfügbar

B Wirtschaftlichkeitsanalyse nach [VDI 2067]					Varianten ¹⁾			
lfd.Nr.	Bezeichnung	Einheit		Istzustand Öl-NT	A WP mit EWS	B Luft-WP	C Öl-BW + Solar	D Pellet
B 1	Investitionen	Instandhaltungssatz						
B 1.1	Wärmeerzeugung (mit Zubehör)	€	2,0%	-	8.200	9.300	5.500	9.500
B 1.2	WW-Bereitung, Pufferspeicher	€	2,0%	-	2.800	2.800	2.200	2.800
B 1.3	Wärmeverteilung (Rohre, Armaturen)	€	1,0%	-	1.300	1.300	1.100	1.300
B 1.4	Elektr.+hydr. Anschlüsse, Wärmedämmung	€	1,0%	-	600	600	300	600
B 1.5	Wärmequelle	€	1,0%	-	8.600	1.900	0	0
B 1.6	Solkollektoranlage (mit Zubehör)	€	2,0%	-	0	0	4.000	0
B 1.7	Schornsteinsanierung	€	0,0%	-	0	0	1.200	0
B 1.8	Tank/Gasanschl./Schnecke/Lagerraum	€	1,0%	-	0	0	0	2.200
B 1.9	Planung (ca. 5%)	€	0,0%	-	1.075	795	715	820
B 1.10	Fördermittel (nicht berücksichtigt)	€	0,0%	-	0	0	0	0
B 1.11	Gesamtsumme (B1)	€	-	0	22.575	16.695	15.015	17.220
B 2	Kapitalgebundene Kosten pro Jahr einschließlich Instandhaltung	Nutzungsdauer in a						
B 2.1	Wärmeerzeugung (mit Zubehör)	€/a	20	-	822	932	551	952
B 2.2	WW-Bereitung, Pufferspeicher	€/a	20	-	281	281	221	281
B 2.3	Wärmeverteilung (Rohre, Armaturen)	€/a	20	-	117	117	99	117
B 2.4	Elektr.+hydr. Anschlüsse, Wärmedämmung	€/a	20	-	54	54	27	54
B 2.5	Wärmequelle	€/a	50	-	382	0	0	0
B 2.6	Solkollektoranlage (mit Zubehör)	€/a	50	-	0	0	218	0
B 2.7	Schornsteinsanierung	€/a	50	-	0	0	41	0
B 2.8	Tank/Gasanschl./Schnecke/Lagerraum	€/a	20	-	0	0	0	199
B 2.9	Planung	€/a	20	-	86	64	57	66
B 2.10	Fördermittel	€/a	20	-	0	0	0	0
B 2.11	Gesamtsumme (B2)	€/a	-	180	1.742	1.448	1.214	1.669
B 3	Verbrauchsgebundene Kosten (Energiebezug)							
B 3.1	Arbeit	€/a	-	1.257	562	683	1.069	1.000
B 3.2	Grundkosten	€/a	-	0	60	60	0	0
B 3.3	Gesamtsumme (B3)	€/a	-	1.257	622	743	1.069	1.000
B 4	Betriebsgebundene Kosten							
B 4.1	Wartung	€/a	-	170	100	100	170	230
B 4.2	Schornsteinfegermeister	€/a	-	80	0	0	80	120
B 4.3	Gesamtsumme (B4)	€/a	-	250	100	100	250	350
B 5	Zusammenfassung							
B 5.1	Gesamtkosten in 20 Jahren	€	-	-	52.774	49.988	56.670	66.000
B 5.2	Mittlere Gesamt- kosten pro Jahr	€/a	-	-	2.639	2.499	2.833	3.300
B 5.3	mittl. flächenbezogene Gesamtkosten pro Jahr	€/m ² a	-	-	17,8	16,9	19,1	22,3
B 5.4	wie B. 5.3 jedoch ohne kapitalgebundene Kosten	€/m ² a	-	-	6,1	7,1	10,9	11,0
B 5.5	Mittlerer Vollkosten- Wärmepreis	Cent/kWh	-	-	21,5	20,3	23,0	26,8

Istzustand: Öl-Niedertemperatur-Heizkessel; Radiatorenheizung 55/45°C; Pufferspeicher 300 L; WW-Speicher 300 L Nachheizung über Kessel

¹⁾ A Sole-/Wasser-WP mit Erdwärmesonde; Radiatorenheizung 55/45°C; Pufferspeicher 300 L; WW-Speicher 300 L mit elektr. Nachheizung

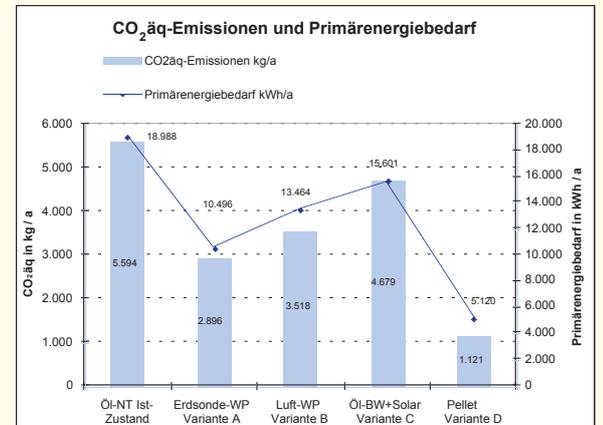
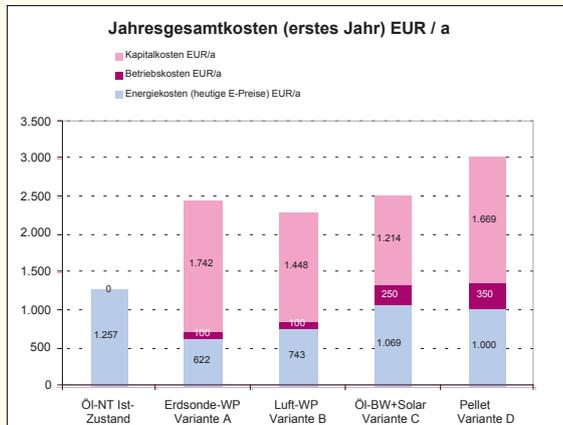
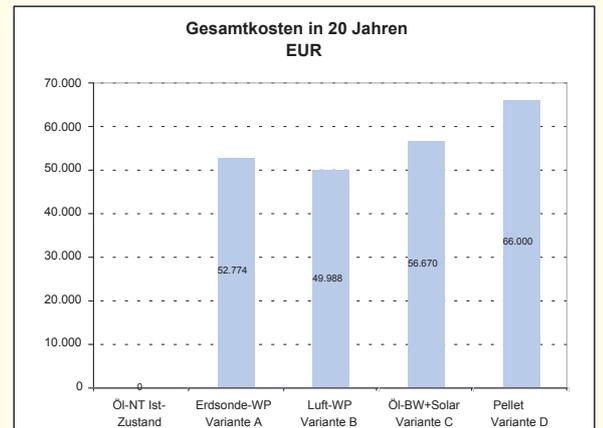
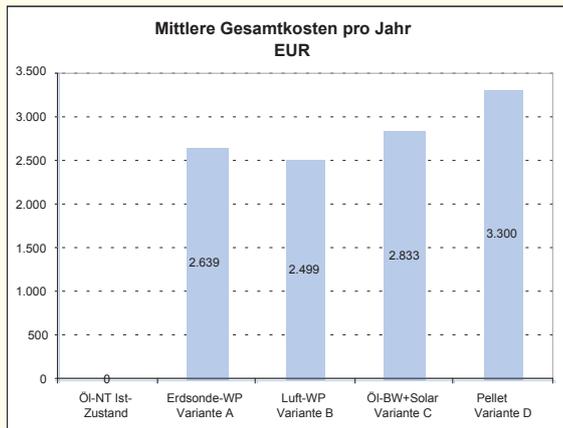
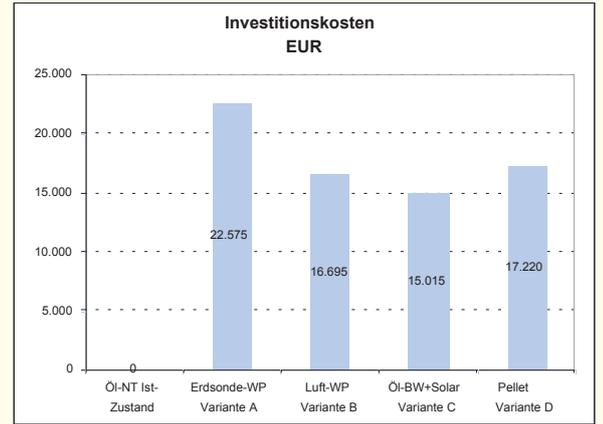
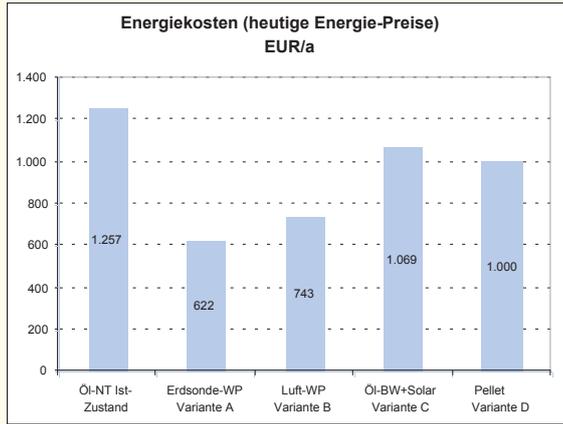
B wie A, aber WP-Anlage mit Außenluft

C wie Istzustand aber Ölbrennwertkessel + Solaranlage für WW (60% Deckungsgrad), WW-Speicher 300 L, Nachheizung über Kessel

D wie C aber mit Pelletkessel und Pufferspeicher ohne Solaranlage

A 3
ENERGIE- UND
WIRTSCHAFTLICH-
KEITSANALYSE
NEUBAU

A 3 ENERGIE- UND WIRTSCHAFTLICHKEITSANALYSE NEUBAU



Anforderungskriterien für das internationale Wärmepumpen Gütesiegel Geprüfte Qualität

- Seriengerät gemäß Anforderungen des Prüfzentrums Buchs
- Gemessene Leistungen nach EN 14511
- Minimaler, gemessener COP für :
 - Luft-Wasser: 3,0 bei A2/W35
 - Sole-Wasser: 4,0 bei B0/W35
 - Wasser-Wasser: 4,5 bei W10/W35
- Elektrische Sicherheitsprüfung (CE/SEV)
- Gemessene Schallemissionen (gemäß Prüfreglement Buchs)
- Einhaltung der EW-Anschlussbedingungen
- Mindestanforderungen bei Planungsunterlagen
- Vollständige Einbau- und Bedienungsanleitung
- Flächendeckendes Kundendienstnetz
- 2 jährige Vollgarantie/10-jährige Ersatzteilverhaltung

Internationales Gütesiegel für Erdwärmesonden-Bohrfirmen

Mit dem Gütesiegel für Erdwärmesonden-Bohrfirmen soll ein hohes Qualitätsniveau bei der Erstellung und Nutzung von Erdwärmesondenanlagen erreicht und auch für die Zukunft gewährleistet werden.

Bohrfirmen, welche Träger des Gütesiegels sind, garantieren:

- einen hohen Kundennutzen und optimale Beratung der Bauherrschaft
- eine umweltschonende Erstellung der Anlage
- dass die Bohrungen nach dem neuesten Stand der Technik abgeteuft werden
- den Einsatz von technisch hochwertigem Sondenmaterial
- eine größtmögliche Sicherheit auf der Baustelle



A 4
INTERNATIONALE
GÜTESIEGEL FÜR
WÄRMEPUMPEN

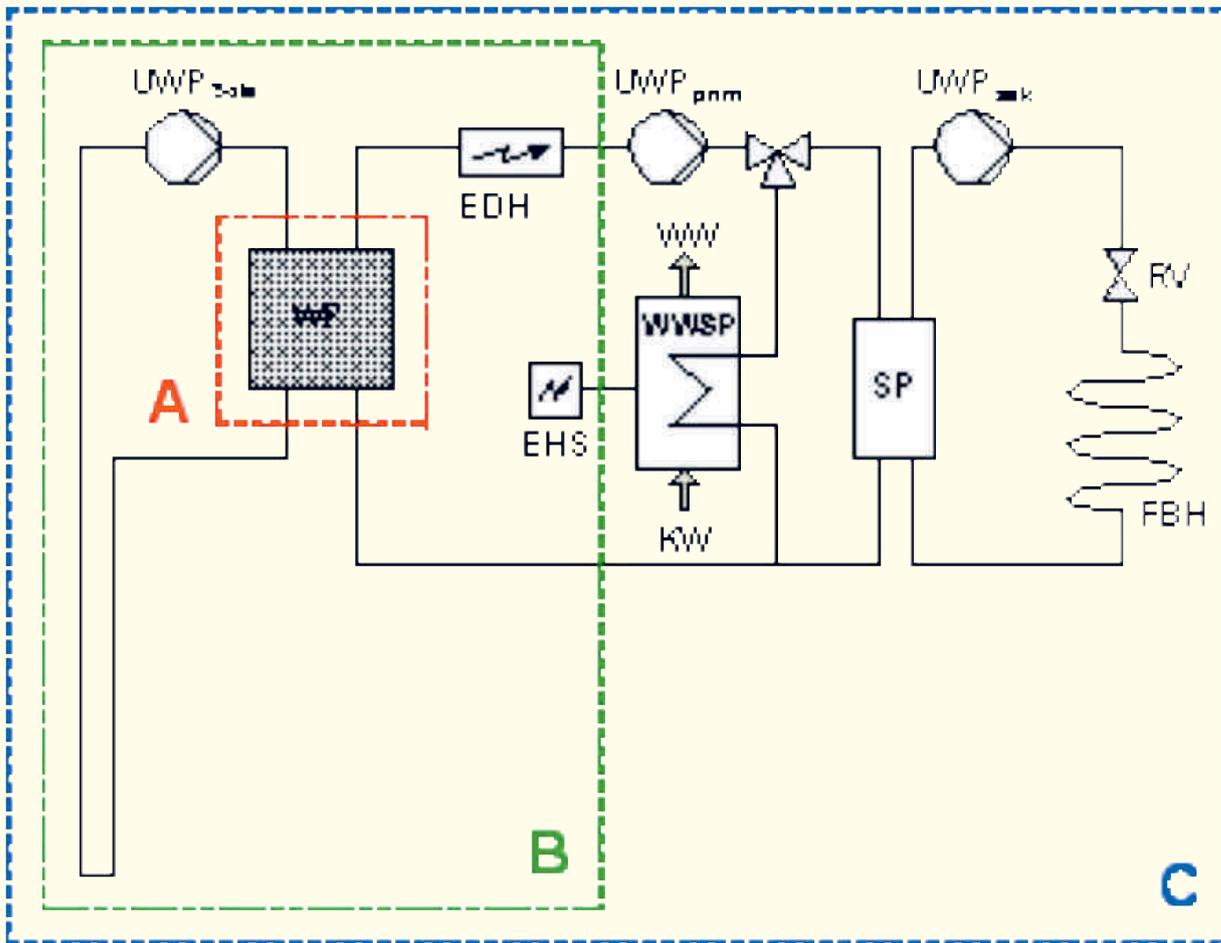
Früher standen die technischen Eigenschaften bei der Wahl eines Kältemittels im Vordergrund. Dies hat sich jedoch mit der Zeit geändert als das ozonabbauende Potential dieser Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW) und ihr Einfluss auf die Erwärmung der Atmosphäre (Treibhauseffekt) erkannt wurden. Dadurch hat sich der Einsatz von verschiedenen Kältemitteln gewandelt.

Bewertung von Kältemitteln:

- ODP-Wert (Ozone Depletion Potential)
Bewertung der ozonschädigenden Wirkung eines Kältemittels (Referenz: R11 mit ODP-Wert von 1)
- GWP-Wert (Global Warming Potential)
Treibhauspotential bezogen auf CO₂ in einem Zeitraum von 100 Jahren

Frühere Kältemittel				Heutige Kältemittel			
Bezeichnung	ODP	GWP	Bemerkung	Bezeichnung	ODP	GWP	Bemerkung
R11	1	4.000	Verbot in Neuanlagen	R134a	0	1.300	Ersatz für R22 und R12
R12	1	8.500	Verbot in Neuanlagen	R143a	0	4.400	flüssig, für Mischungen
R502	0,23	5.591	Verbot in Neuanlagen	R32	0	580	flüssig, für Mischungen
R22	0,055	1.700	Verbot in Neuanlagen	R125	0	3.200	flüssig, für Mischungen
				R290 (Propan)	0	3	Ersatz für R22 und R502
				R404a	0	3.700	Mischung aus R143a/R125/ R134a als Ersatz für R502
				R407c	0	1.650	Ersatz für R22 und R502
				R410a	0	1.730	Mischung aus R32/R125
				R717 (Ammoniak)	0	0	umweltneutral, toxisch, korrosiv
				R718 (Wasser)	0	0	umweltverträglich
				R744 (Kohlendioxid)	0	1	umweltverträglich, hoher Druck erforderlich

Überwiegend werden heute die Kältemittel R290 und R407c eingesetzt, mit steigender Tendenz beim R407c. Wird Propan als Kältemittel verwendet, muss der Aufstellraum der Wärmepumpe ab einer Kältemittelmenge von 1 kg belüftet werden (üblicherweise mit Zusatzlüfter). Ebenfalls an Bedeutung nimmt CO₂ als Kältemittel zu. Relativ neu sind Mischungen wie R404a und R410a.



A 6
SYSTEMGRENZEN
FÜR DIE
EFFIZIENZ-
BEWERTUNG VON
WÄRMEPUMPEN-
ANLAGEN

Legende:

- UWP Umwälzpumpe
- WP Wärmepumpe
- WWSP Warmwasser-Speicher
- SP Pufferspeicher
- WW Warmwasser
- KW Kaltwasser
- EDH Elektrodurchlauferhitzer
- EHS Elektroheizstab
- RV Regelventil
- FBH Fußbodenheizung

A Systemgrenze für Jahresarbeitszahl bzw. Aufwandszahl gemäß VDI 4650-1 (Ausgabe 2003 [12.2])

B Systemgrenze zur Ermittlung der Jahresarbeitszahl im Feldtest des Fraunhofer ISE (für Raumheizung und Trinkwassererwärmung)

C Systemgrenze zur Ermittlung der Anlagenaufwandszahl e_p für das Gesamtsystem einschließlich Hilfsenergie und Wärmeverluste bzw. Wärmegutschriften nach EnEV

zu A:

$$\beta_A = \frac{\text{Wärmeabgabe am Verflüssiger für Raumheizung}^1 \text{ [kW h/a]}}{\text{Energieaufnahme der WP [kW h/a]}}$$

zu B:

$$\beta_B = \frac{\text{Wärmeabgabe (Verflüssiger EDH EHS für Raumheizung und WW}^2 \text{ [kW h/a]}}{\text{Energieaufnahme (WP EDH EHS UW P}_{\text{Sole}}) \text{ in kW h/a}}$$

zu C:

$$\beta_C = \frac{\text{Nutzwärmeabgabe für Raumheizung und WW}^3 \text{ [kW h/a]}}{\text{Energieaufnahme (WP EDH EHS UW P}_{\text{Sole}} \text{ UW P}_{\text{pm}} \text{ UW P}_{\text{sek}}) \text{ [kW h/a]}}$$

$$e_p = \frac{\text{Primärenergieaufwand}}{\text{Nutzenergie}} = \frac{f_p}{\beta_C}$$

Die Arbeitszahl β_B ist durch die Messung der elektrischen Strom- und Wärmeverbräuche bestimmbar. Hingegen sind die Kennzahlen β_C und e_p (Anlagenaufwandszahl) nur rechnerisch bestimmbare Größen, z.B. auf Basis des EnEV-Nachweises, da die Wärmeverluste der Speicher, Rohrleitungen usw. vor Ort mit den üblichen Messverfahren nicht separat erfasst werden können. Die Arbeitszahl β_A kann in Einzelfällen (separate Trinkwassererwärmung und monovalente Betriebsweise) durch die Messung der o.g. Verbräuche bestimmt werden (siehe auch Fußnote¹).

¹ Nach VDI 4650-1 (Ausgabe 2003-1) handelt es sich um die Nutzenergie bzw. Nutzwärme für Raumheizung. Bei Sole/Wasser-Wärmepumpen und Wasser/Wasser-Wärmepumpen ist die Hilfsenergie für die Umwälzpumpe (quellenseitig) nur anteilig enthalten. Bei Anlagen mit separater Trinkwassererwärmung kann diese Arbeitszahl näherungsweise überprüft werden, wenn nur die Energieaufnahme (Stromzähler) der Wärmepumpe für die Raumheizung (ohne elektrische Zusatzheizung) und die Wärmeabgabe (Wärmezähler) dieser Wärmepumpe zur Berechnung der Arbeitszahl herangezogen wird. Im Gegensatz zur genannten VDI-Richtlinie sind bei der Messung am Wärmezähler die Wärmeverluste für die Speicher, Rohrleitungen usw. mit enthalten und die dafür erforderliche Energieaufnahme der Wärmepumpe beinhaltet auch die Hilfsenergie für die quellenseitige Umwälzpumpe.

² Die Wärmeverluste für Speicher, Rohrleitungen usw. sind in der Wärmeabgabe mit enthalten.

³ Nutzwärmebedarf gemäß rechnerischem Nachweis nach EnEV.

Die Bundesregierung fördert im Rahmen des Marktanzreizprogramms „Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien“ den Einbau von Solarkollektoranlagen, Anlagen zur Verfeuerung fester Biomasse und – sofern die jeweiligen Mindest-Jahresarbeitszahlen nachgewiesen werden – Wärmepumpenanlagen durch Zuschüsse.

Für Wärmepumpenanlagen werden die folgenden Zuschüsse gewährt (Stand: Nov. 2009):

Förderfähige Maßnahme	Gebäudebestand	Neubau (Bauantrag/Bauanzeige gestellt vor dem 1.1.2009)	Neubau (Bauantrag/Bauanzeige gestellt nach dem 31.12.2008)	Regenerativer Kombinationsbonus	Effizienzbonus für Wärmepumpen in Gebäuden mit hohem Dämmstandard (Stufe 1 +2)
Basisförderung: Luft/Wasser-Wärmepumpe JAZ >= 3,3 (Bestand) JAZ >= 3,5 (Neubau) JAZ = Jahresarbeitszahl	10 €/m² Wohn- oder Nutzfläche, max. 1.500 €/WE bis 2 WE. Ab 3 WE und bei Nichtwohngebäuden 10% der Investitionskosten.	5 €/m² Wohn- oder Nutzfläche, max. 850 € je Wohneinheit bis 2 WE. Ab 3 WE und bei Nichtwohngebäuden 10% der Investitionskosten	3,75 €/m² Wohn- oder Nutzfläche, max. 637,50 € je Wohneinheit bis 2 WE. Ab 3 WE und bei Nichtwohngebäuden 7,5% der Investitionskosten	750 € bei gleichzeitigem Einbau einer Solar Kollektoranlage	Bei Gebäuden der Stufe 1: 0,5 x Basisförderung Bei Gebäuden der Stufe 2: 1 x Basisförderung
Basisförderung: Wasser/Wasser- oder Sole/Wasser-Wärmepumpe JAZ >= 3,7 (Bestand) JAZ >= 4,0 (Neubau)	20 €/m² Wohn- oder Nutzfläche, max. 3.000 €/WE bis 2 WE. Ab 3 WE und bei Nichtwohngebäuden 15% der Investitionskosten.	10 €/m² Wohn- oder Nutzfläche, max. 2.000 €/WE bis 2 WE. Ab 3 WE und bei Nichtwohngebäuden 10 % der Investitionskosten	7,50 €/m² Wohn- oder Nutzfläche, max. 1.500 €/WE bis 2 WE. Ab 3 WE und bei Nichtwohngebäuden 7,5% der Investitionskosten	750 € bei gleichzeitigem Einbau einer Solar Kollektoranlage	Bei Gebäuden der Stufe 1: 0,5 x Basisförderung Bei Gebäuden der Stufe 2: 1 x Basisförderung
Für besonders effiziente Umwälzpumpen (Effizienzklasse A) wird zusätzlich ein Bonus von 200 € je Heizungsanlage gewährt.					

A 7
 STAATLICHE FÖRDERUNGSMÖGLICHKEITEN

Die verschiedenen Boni können nur teilweise miteinander kombiniert werden.

Wird bei Wärmepumpenanlagen in Neubauten eine Jahresarbeitszahl von mindestens 4,7 und im Gebäudebestand eine Jahresarbeitszahl von mindestens 4,5 nachgewiesen, so erhöhen sich die Fördersätze und Fördergrenzen um 50% (Innovationsförderung).

Aktuelle Informationen und die Förderanträge zum Marktanzreizprogramm erhalten Sie beim Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA), 65760 Eschborn, Tel.: 0 61 96/908-625, Telefax: 0 61 96/908-800, Internet: www.bafa.de

Das Land Baden-Württemberg fördert im Programm „Wohnen mit Zukunft: Erneuerbare Energien“ sowohl bei Neubauten als auch im Bestand u. a. auch den Einbau von effizienten Wärmepumpen in Wohngebäuden mit bis zu drei Wohneinheiten durch zinsverbilligte Darlehen. Die Darlehensanträge sind vor Beginn der Maßnahme bei der Hausbank zu stellen. Eine Kombination mit den BAFA-Zuschüssen ist möglich, unter Umständen auch mit den KfW-Darlehenprogrammen.

Ausführliche Informationen zum Programm finden Sie unter www.l-bank.de/wohnenmitzukunft

Im Rahmen des KfW-Programms „Energieeffizient Sanieren“ können bei der Erneuerung der Heizung Wärmepumpenanlagen mitgefördert werden, wenn die Wärmepumpe in Ergänzung zum Einbau eines Brennwertkessels oder in Ergänzung von Anlagen zur Versorgung mit Wärme aus Kraft-Wärme-Kopplung (Nah- und Fernwärme, Blockheizkraftwerk, Brennstoffzellen) erfolgt. Es besteht die Wahlmöglichkeit zwischen einem Zuschuss von 5% der förderfähigen Investitionskosten oder einem zinsverbilligten Darlehen. Zuschussanträge sind direkt an die KfW, Niederlassung Berlin, zu richten; das Darlehen ist über die Hausbank zu beantragen. Eine Kombination mit den BAFA-Zuschüssen ist nicht möglich, es sei denn, das Gebäude erreicht Effizienzhausniveau.

Ausführliche Informationen zum Förderprogramm finden Sie im Internet unter www.kfw-foerderbank.de

Gesetz zur Förderung Erneuerbarer Energien im Wärmebereich

Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz – EEWärmeG des Bundes

Erneuerbare Energie mit Wärmepumpen in Neubauten

- Erneuerbare Energie im Sinne dieses Gesetzes ist die der Luft, dem Erdreich oder dem Wasser entnommene (Umwelt-)Wärme mit Ausnahme von Abwärme.
- Eigentümer von Gebäuden, die neu errichtet werden, haben die Pflicht bei Nutzung von Umweltwärme, den Wärmeenergiebedarf zu mindestens 50% aus den Anlagen zur Nutzung dieser Energie zu decken.
- Bei Nutzung durch eine elektrisch angetriebene Wärmepumpe (WP), gilt diese nur dann als Erfüllung der Pflicht, wenn die nutzbare Wärmemenge mindestens mit einer Jahresarbeitszahl von
 - 3,5 bei Luft/Wasser- und Luft/Luft-WP
 - 4,0 bei allen anderen Wärmepumpenbereitgestellt wird und die WP über einen Wärmemengen- und Stromzähler verfügt, deren Messwerte die Berechnung der Jahresarbeitszahl der WP ermöglichen. Das gilt nicht für Sole/Wasser- und Wasser/Wasser-WP, wenn die Vorlauftemperatur der Heizungsanlage nachweislich bis zu 35°C beträgt.
- Abweichend hiervon gelten folgende Jahresarbeitszahlen, wenn die Warmwasserbereitung des Gebäudes durch die WP oder zu einem wesentlichen Anteil durch andere Erneuerbare Energien erfolgt:
 - 3,3 bei Luft/Wasser- und Luft/Luft-WP
 - 3,8 bei allen anderen Wärmepumpen
- Die Jahresarbeitszahl wird nach den anerkannten Regeln der Technik berechnet. Darin gehen ein:
 - die Leistungszahl der WP, mit dem Pumpstrombedarf für die Erschließung der Wärmequelle, mit der Auslegungs-Vorlauftemperatur und
 - bei Luft/Luft-WP mit der Auslegungs-Zulauftemperatur für die jeweilige Heizungsanlage
 - bei Sole/Wasser-WP mit der Soleeintritts-Temperatur
 - bei Wasser/Wasser-WP mit der primärseitigen Wassereintritts-Temperatur
 - bei Luft/Wasser- und Luft/Luft-WP zusätzlich die Klimaregion
- Sofern Umweltwärme durch mit fossilen Brennstoffen angetriebene WP genutzt wird, gilt diese Nutzung nur dann als Erfüllung der Pflicht, wenn die nutzbare Wärmemenge mindestens mit der Jahresarbeitszahl von 1,2 bereitgestellt wird und die WP über einen Wärmemengen- und Brennstoffzähler verfügt.
- Sofern Abluft durch WP genutzt wird, gelten ebenfalls obige Vorgaben.

Gesetz zur Nutzung erneuerbarer Wärmeenergie in Baden-Württemberg Erneuerbare-Wärme-Gesetz-EWärmeG

Erneuerbare Energie mit Wärmepumpen im Bestand (nur Wohngebäude)

- Eigentümer von bestehenden Wohngebäuden in Baden-Württemberg müssen ab 01.01.2010 bei einer Heizungsmodernisierung mindestens 10% der Wärme aus erneuerbaren Energien erzeugen.
- Die Nutzung von Umweltwärme einschließlich Abwärme durch Wärmepumpen wird als Nutzung erneuerbarer Energien anerkannt, wenn
 - bei elektrisch angetriebenen Wärmepumpen in Wohngebäuden eine Jahresarbeitszahl von 3,5
 - bei mit Brennstoff betriebenen Wärmepumpen eine Jahresarbeitszahl von 1,3 erreicht wird.
- Soweit nicht der gesamte Wärmebedarf des Gebäudes durch eine elektrisch angetriebene Wärmepumpe gedeckt wird, gilt in der Berechnung nur der Anteil der erzeugten Wärme als erneuerbare Energie, der mit einer Jahresarbeitszahl über 3,0 hinaus bereitgestellt wird.
- Die Ermittlung der Jahresarbeitszahl richtet sich nach den Vorschriften der VDI 4650:2003-01.
- Die Pflicht zur Deckung von mind. 10% des jährlichen Wärmebedarfs durch erneuerbare Energien gilt als erfüllt, wenn bei Wohngebäuden mit nicht mehr als zwei Wohnungen zur Deckung des gesamten Wärmebedarfs eine Wärmepumpe im oben genannten Sinne genutzt wird.
- Für die Erfüllung der Pflicht können die oben angeführten Wärmepumpen sowohl zur Erzeugung von Raumwärme als auch zur Bereitung von Warmwasser zum Einsatz kommen.
- Weitere Informationen und Vorlagen zur Nachweisführung:
www.um.baden-wuerttemberg.de

Informations- und Beratungsstellen in Baden-Württemberg (Auswahl)

Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg – Informationszentrum Energie
Theodor-Heuss-Straße 4, 70174 Stuttgart
Tel.: 0711 / 123-2526 / Fax: 0711 / 123-2377
www.wm.baden-wuerttemberg.de

KEA – Klimaschutz- und Energieagentur Baden-Württemberg GmbH
Kaiserstr. 94-a, 76133 Karlsruhe
Tel.: 0721 / 98471-0 / Fax: 021 / 98471-20
www.kea-bw.de
Info@kea-bw.de

Zukunft Altbau (angesiedelt bei der KEA)
Tel.: 08000 12 3333 (gebührenfrei)
www.zukunftaltbau.de

Fachverband Sanitär-Heizung-Klima Baden-Württemberg
Viehhofstraße 11, 70188 Stuttgart
Tel.: 0711 / 483091 / Fax: 0711 / 46106060
info@fvshkbw.de
www.fvshkbw.de

Fachverband Elektro- und Informationstechnik Baden-Württemberg
Voltastraße 12, 70376 Stuttgart
Tel.: 0711 / 95590666 / Fax: 0711 / 551875
info@fv-eit-bw.de
www.fv-eit-bw.de

STZ-EURO Steinbeis-Transferzentrum Energie-, Umwelt- und Reinraumtechnik
Badstraße 24a, 77652 Offenburg
Tel.: 0781 / 78-352 / Fax: 0781 / 78-353
info@stz-euro.de
www.stz-euro.de

IEGB – Landesarbeitskreis Innovative Energienutzung in Gebäuden und Betrieben
Herr Harter
Zietenstraße 67, 76185 Karlsruhe
Tel.: 0721 / 553617 / Fax: 0721 / 5165 767
harter.ka@t-online.de

TWK – Test- und Weiterbildungszentrum Wärmepumpen und Kältetechnik GmbH
Floridastraße 1, 76149 Karlsruhe
Tel.: 0721 / 97317-0 / Fax: 0721 / 97317-11
mailto@twk-karlsruhe.de
www.twk-karlsruhe.de

Energiegemeinschaft e.V. der EnBW
Schelmenwasenstraße 15, 70567 Stuttgart
Tel.: 0711 / 289-81404 / Fax: 0711 / 289-81221
eg@enbw.com
www.enbw-eg.de

Weitere Informationsquellen:
Förder- und Geschäftsbanken, Energieversorger, Kammern, Verbände...

A 9
INFORMATIONSD-
UND BERATUNGS-
STELLEN IN BADEN-
WÜRTTEMBERG
(AUSWAHL)

Energieagenturen in Baden-Württemberg
(nach Postleitzahlen geordnet)

Klimaschutzagentur Mannheim gGmbH
D 2, 5-8, 68159 Mannheim
Tel.: 0621 / 862 484-10 / Fax: -19
www.klima-ma.de
info@klima-ma.de

**KliBa Klimaschutz- und Energieberatungsagen-
tur Heidelberg-Nachbargemeinden gGmbH**
Umweltpark, Wieblinger Weg 21,
69123 Heidelberg
Tel.: 06221 - 6038-08 / Fax: -13
www.kliba-heidelberg.de
info@kliba-heidelberg.de

EBZ Energieberatungszentrum Stuttgart e.V.
Gutenbergstr. 76, 70176 Stuttgart
Tel.: 0711 - 6156555-0 / Fax: -11
www.ebz-stuttgart.de
info@ebz-stuttgart.de

Energieagentur Kreis Böblingen gGmbH
Landratsamt, Parkstraße 16, 71034 Böblingen
Tel.: 07031 - 663-2040 / Fax: -2050
www.ea-bb.de
info@ea-bb.de

Energieagentur Rems-Murr-Kreis gGmbH
Gewerbestraße 11, 71332 Waiblingen
Tel.: 07151 975173-0
www.ea-rm.de
info@ea-rm.de

Ludwigsburger Energieagentur LEA e.V.
Rheinlandstraße 10, 71636 Ludwigsburg
Tel.: 07141 - 24 22-235 / Fax: -632
www.lea-lb.de
info@lea-lb.de

**Agentur für Klimaschutz Kreis Tübingen
gGmbH**
Handwerkerpark 1, 72070 Tübingen
Tel.: 07071 - 7936-938 / Fax: -338
www.agentur-fuer-klimaschutz.de
info@agentur-fuer-klimaschutz.de

Energieagentur Zollernalbkreis gGmbH
Bleuelwiesen 12/1, 72348 Albstadt
Tel.: 07431 - 13 42 - 777 / Fax: -779
www.energieagentur-zollernalb.de
energieagentur@zollernalbkreis.de

**Energieagentur Sigmaringen – Niederlassung
der EA Ravensburg**

In der Au 14, 72488 Sigmaringen
Tel.: 07571 / 68 21 33 / Fax: -35
www.energieagentur-sig.de
info@energieagentur-sig.de

Energieagentur Landkreis Esslingen gGmbH

Plochingen Straße 14 (Alte Seegrasspinnerei),
72622 Nürtingen
Tel.: 07022 / 213-400 / Fax: -402
www.energieagentur-landkreis-esslingen.de
info@energieagentur-landkreis-esslingen.de

KlimaschutzAgentur Reutlingen gGmbH

Lindachstraße 37, 72764 Reutlingen
Tel.: 07121 / 14325-71 / Fax: -72
www.klimaschutzagentur-rt.de
info@klimaschutzagentur-rt.de

Energieagentur Landkreis Göppingen gGmbH

Carl-Hermann-Gaiser-Straße 41, 73033 Göppingen
Tel.: 07161 / 2027700
energieagentur@landkreis-goepingen.de

Energiekompetenz OSTALB e.V.

Dr. Schneider-Straße 56, 73560 Böbingen
07173 / 1855-16 / Fax: -17
www.energiekompetenzostalb.de
info@energiekompetenzostalb.de

Energieagentur Landkreis Schwäbisch Hall

im Energie-Zentrum Wolpertshausen,
Haller Straße 29/1, 74549 Wolpertshausen
07904 / 94136-40 / Fax -41
www.energie-zentrum.com
info@energie-zentrum.com

**Energieagentur Neckar-Odenwald-Kreis
GmbH**

Scheffelstraße, 74821 Mosbach
Tel.: 06261 / 84-1386 / Fax: -4755
info@eanok.de
www.eanok.de

Umwelt- und Energieagentur Kreis Karlsruhe

Pforzheimer Straße 80-84, 75015 Bretten
Tel.: 7252 / 913-270 / Fax: -170
www.energieagentur-kreiska.de
info@energieagentur-kreiska.de

A 10
REGIONALE
ENERGIE-
AGENTUREN
IN BADEN-
WÜRTTEMBERG

Energieberatungszentrum Pforzheim
Sandweg 22, 75179 Pforzheim
Tel.: 0700/32 90 32 90
www.ebz-pforzheim.de
info@ebz-pforzheim.de

**KEK – Karlsruher Energie- und Klimaschutz-
agentur gGmbH**
Hebelstraße 15, 76133 Karlsruhe
Tel.: 0721/48 08 80
www.kek-karlsruhe.de
info@kek-karlsruhe.de

Ortenauer Energieagentur GmbH
Wasserstraße 17, 77652 Offenburg
Tel.: 0781/924619-11, Fax: -20
www.ortenauer-energieagentur.de
info@ortenauer-energieagentur.de

Energieagentur Schwarzwald-Baar-Kreis GbR
(Niederlassung der EA Tuttlingen)
Humboldtstraße 11, 78166 Donaueschingen
Tel.: 0771/89659-64, Fax: -65
www.ea-vs.de
info@ea-tut.de

Energieagentur Landkreis Tuttlingen gGmbH
Moltkestraße 7, 78532 Tuttlingen
Tel.: 07461/910-13 50 / Fax: -1342
www.ea-tut.de
info@ea-tut.de

Energieagentur Landkreis Rottweil GbR
(Niederlassung der EA Tuttlingen)
Steinhauserstraße 18, 78628 Rottweil
Tel.: 0741/48005-89, Fax: -92
www.ea-rw.de
info@ea-tut.de

Energieagentur Regio Freiburg GmbH
Gesellschaft zur Förderung von Energiesystemen
und solaren Energien
solar info center, 79072 Freiburg
Tel.: 0761/79177-10 / Fax: -19
www.energieagentur-freiburg.de
info@energieagentur-freiburg.de

Energieagentur Dreiländereck-Hochrhein
Marie-Curie-Straße 8, 79539 Lörrach
Tel.: 07621/55 00-154 / Fax: -155
www.eadh.de
info@eadh.de

**Energieagentur Bodenseekreis – Niederlassung
der EA Ravensburg**

Lindauer Straße 11, 88046 Friedrichshafen
Tel.: 07541 / 289951-0 / Fax: -99
www.energieagentur-bodenseekreis.de
info@energieagentur-bodenseekreis.de

Energieagentur Ravensburg gGmbH

Zeppelinstraße 16, 88212 Ravensburg
Tel.: 0751 / 76 47-070 / Fax: -079
www.energieagentur-ravensburg.de
info@energieagentur-ravensburg.de

**Energieagentur Biberach – Niederlassung der
EA Ravensburg**

im Haus des Handwerks, Ehinger-Tor-Platz 8,
88400 Biberach
Tel.: 07351 / 37 23 74
www.energieagentur-biberach.de
info@energieagentur-biberach.de

Regionale Energieagentur Ulm gGmbH

(Landkreise Alb-Donau, Heidenheim, Ulm,
Neu-Ulm)
Olgastr. 95, 89073 Ulm
Tel.: 0731 / 173-271, Fax: -275
www.regionale-energieagentur-ulm.de
info@regionale-energieagentur-ulm.de

Energieagentur Main-Tauber-Kreis

i_Park Tauberfranken 8, 97922 Lauda-Königshofen
Tel.: 09343-614640
www.ea-main-tauber-kreis.de
info@ea-main-tauber-kreis.de

Anmerkung:

In den noch fehlenden Landkreisen gibt es
diesbezüglich jeweils bereits Überlegungen bzw.
Vorbereitungen.

A 10
REGIONALE
ENERGIE-
AGENTUREN
IN BADEN-
WÜRTTEMBERG

0 m 9,3 °C

- 50 m 11,6 °C

Mittlere Untergrundtemperaturen
in Baden-Württemberg
0-300 Meter über dem Meer

Ab 20 Meter Tiefe wirken sich jahres-
zeitliche Temperaturschwankungen
nicht mehr aus.

- 100 m 13,8 °C

- 150 m 16,1 °C

- 200 m 18,4 °C

- 250 m 20,7 °C

Eine Wärmepumpe ist ein Gerät, das Wärme von einem niedrigen Temperaturniveau unter Aufwand von Arbeit auf ein höheres Temperaturniveau transportiert.

Wasser, Erde und Luft speichern Sonnenwärme, die man mittels einer Wärmepumpe nutzbar machen kann. Sie pumpt diese Umweltwärme auf ein Temperaturniveau, das vollkommen genügt, um Ihr Haus zu beheizen und zur Warmwasserbereitung zu nutzen. Sogar bei starker Kälte, kann die Wärmepumpe aus Erde, Wasser oder Luft noch so viel Wärme, wie zum Heizen benötigt wird. Diese Broschüre soll dazu beitragen, damit dies mit möglichst hoher Effizienz geschieht.