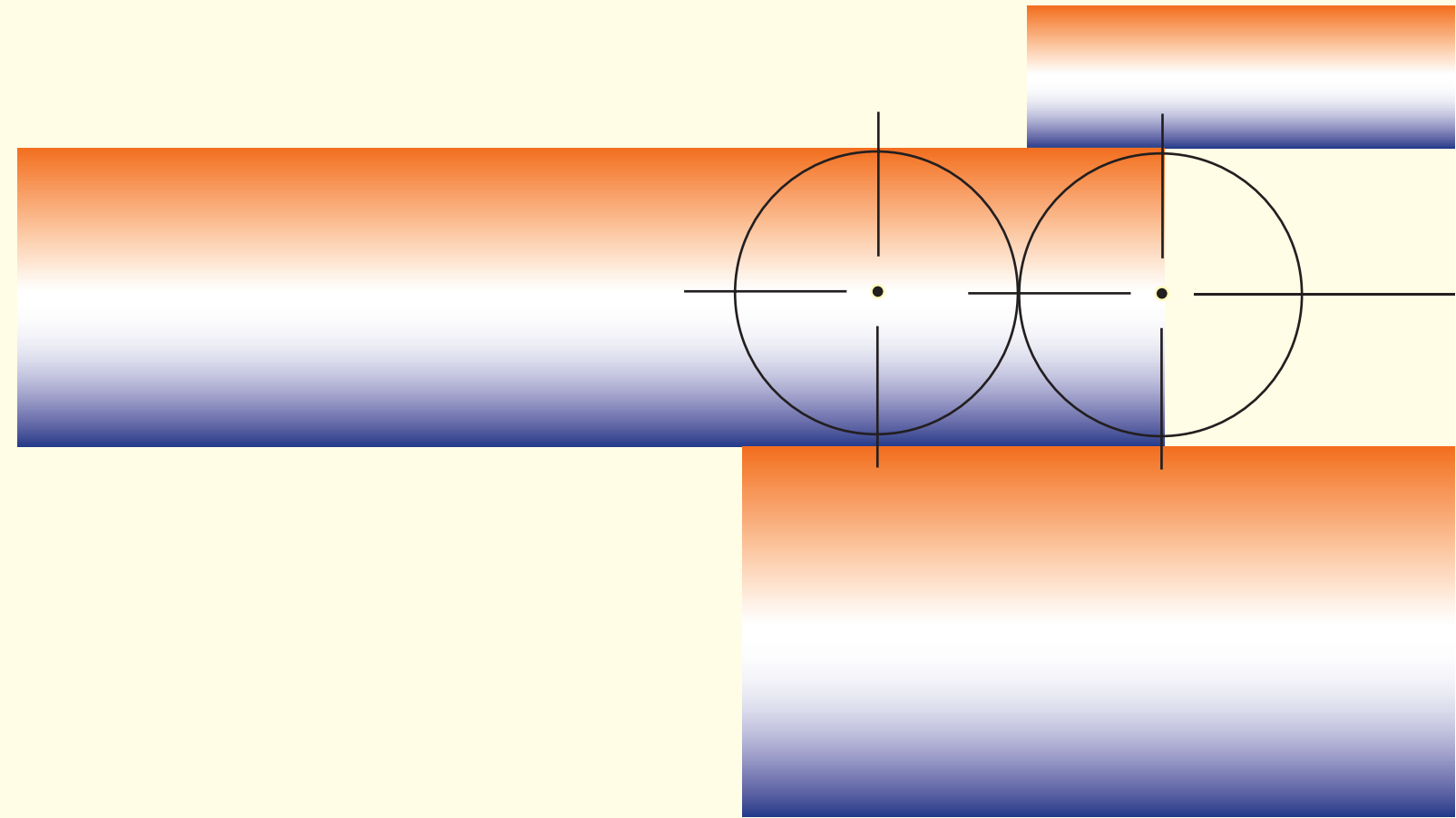


# Mittelgroße Wärmepumpenanlagen

Nutzung der Umweltwärme  
für Gebäude und Betriebe



**HERAUSGEBER:**

Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg

Theodor-Heuss-Str. 4

70174 Stuttgart

Telefon: (07 11) 123-0

Telefax: (07 11) 123-2377

Internet: [www.wm.baden-wuerttemberg.de](http://www.wm.baden-wuerttemberg.de)

E-Mail: [poststelle@wm.bwl.de](mailto:poststelle@wm.bwl.de)

**KONTAKT, IDEE, KONZEPTION UND REDAKTION:**

Wirtschaftsministerium

Referat 44 „Lebenswissenschaften, erneuerbare Energien und rationelle Energieanwendung“

**KONZEPTION UND INHALTLICHE BEARBEITUNG:**

ZSW Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg, Stuttgart

Dr. Jürgen Rheinländer

Pfeil & Koch ingenieurgesellschaft, Stuttgart

Dipl.-Ing. Holger Koch

Dipl.-Ing. Markus Pfeil

Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg, Stuttgart

Dipl.-Ing. Dieter Bouse

3. überarbeitete Auflage März 2005

**GESTALTUNG DER TITELSEITE:**

Wolfgang Frank, Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg

**TEXT- UND LAYOUTGESTALTUNG:**

ID-Kommunikation, Mannheim

**SATZ UND DRUCK:**

Karl Weinbrenner & Söhne GmbH & Co.

Druckerei und Verlag, Leinfelden-Echterdingen

Die Broschüre entstand in enger Zusammenarbeit und Abstimmung mit der Landesarbeitsgruppe „Mittelgroße Solarthermie- und Wärmepumpenanlagen“, Stuttgart.

Rechtsanwalt Jürgen Meyer (Obmann), Dipl.-Ing. Gunther Claus, Industrieverband Technische Gebäudeausrüstung Baden-Württemberg e. V., Stuttgart; Dr.-Ing. Martin Sawillion, Klimaschutz- und Energieagentur Baden-Württemberg GmbH, Karlsruhe; Michael Kleine Hermelink, Dipl.-Ing. (FH) Michael Pfau, Verband der Gas- und Wasserwerke Baden-Württemberg e. V., Stuttgart; Dr. Bernhard Schneider, Dipl.-Ing. Hermann Ensle, Verband der Elektrizitätswirtschaft Baden-Württemberg e. V., Stuttgart; Walter Weik, Udo Rössing, L-Bank Baden-Württemberg, Stuttgart; Dipl.-Ing. Klaus Harter, Landesarbeitskreis „Innovative Energienutzung in Gebäuden“, Karlsruhe; Dr. Lutz Wentlandt, Landesverband Freier Immobilien- und Wohnungsunternehmen Baden-Württemberg e. V., Stuttgart; Wolfram Mutschler, vbm Verband baden-württembergischer Wohnungsunternehmen e. V., Stuttgart; Dipl.-Ing. Dieter Bouse, Dipl.-Ing. Harald Höflich, Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg, Stuttgart.

Vorwort .....	3
Einleitung .....	5
Energieverbrauch in Deutschland .....	6
Zielgruppe/Motivation .....	6
Wärmepumpen-Marktanalyse .....	7
Wie arbeitet eine Wärmepumpe .....	8
Energetischer Vergleich: Elektro-Wärmepumpenanlage und Gas-Brennwert-Kessel .....	8
Wärmepumpen-Betriebsweisen .....	9
Niedertemperaturwärmequellen für Wärmepumpen .....	10
Auswirkung von Wärmequellen- und Heizungsvorlauftemperatur auf die Leistungszahl .....	12
Kältemittel für Wärmepumpen .....	13
Wärmepumpenanlage und thermische Solaranlagen .....	14
Gas-Absorptionswärmepumpe .....	15
Heizen und Kühlen mit einer Wärmepumpe .....	15
Randbedingungen für Energieeinsatz, Ökonomie und Ökologie .....	17
Bewertung ausgewählter geplanter Projekte .....	17
Der Weg zur Realisierung .....	22
Erfahrungen mit Projekten aus der Praxis .....	24
Quellennachweis .....	27
Anhang .....	28



## Vorwort



Immer mehr öffentliche, gewerbliche und private Investoren setzen auf die Nutzung von Umweltwärme aus der Luft, dem Erdreich und aus dem Wasser. Dafür gibt es gute Gründe. Der geringe Leistungsbedarfsanteil für die elektrische Antriebsenergie bewirkt hohe Strom-Einsparpotenziale bei Verbrauch und Kosten. Mitttelgroße Wärmepumpenanlagen nutzen nämlich über ihre gesamte Lebensdauer bis zu dreiviertel Sonnenwärme für Heizung, Trinkwasser, Prozesswärmeerzeugung sowie zur Kühlung. Sie stellen einen wichtigen Beitrag zum Klimaschutz und zur Ressourcenschonung in unserem Land dar.

Der Bund und das Land Baden-Württemberg fördern in einigen Programmen durch Zuschüsse bzw. zinsverbilligte Darlehen den Einsatz von Wärmepumpen in Gebäuden und Betrieben. Ebenfalls fördern zahlreiche Energielieferer und einige Kommunen die Nutzung der Wärmepumpe.

Neben der finanziellen Förderung ist auch die Vermittlung des Wissens um die technischen Rahmenbedingungen an alle diejenigen notwendig, die Wärmepumpenanlagen planen und installieren möchten.

Einen ganz besonderen Dank möchte ich dem Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg und der Pfeil & Koch ingenieurgesellschaft in Stuttgart für die wissenschaftliche Bearbeitung der Informationsschrift aussprechen.

Der Landesarbeitsgruppe „Mitttelgroße Solarthermie- und Wärmepumpenanlagen“ unter der Federführung des Industrieverbandes Technische Gebäudeausrüstung Baden-Württemberg möchte ich für die kompetente und fachliche Begleitung bei der Erstellung der Informationsschrift danken.

Ich hoffe, dass die vorliegende Informationsschrift ihren Beitrag zur verstärkten Anwendung der Wärmepumpentechnologie in Baden-Württemberg leisten wird und wünsche den Lesern eine informative und anregende Lektüre.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Ernst Pfister'.

Ernst Pfister, MdL  
Wirtschaftsminister und  
stellvertretender Ministerpräsident  
des Landes Baden-Württemberg



## Einleitung

Ohne Energie kann unsere hochtechnisierte Welt nicht bestehen. Die Vorkommen fossiler Energieträger wie Kohle, Öl und Gas sind endlich, und bei ihrer Verbrennung werden je nach Brennstoff unterschiedliche Mengen umweltbelastender Schadstoffe freigesetzt.

Eine in die Zukunft weisende Wärme- und Energieversorgung geht sparsam mit fossilen Energieträgern um oder vermeidet sie, wo immer es geht. Allgemeines Ziel muss es sein, solche Versorgungssysteme zu realisieren.

Ziel dieser Broschüre ist es, die Wärmepumpe als eine Technologie vorzustellen, mit der ökologisch und ökonomisch sinnvolle Wärmeversorgungsanlagen gebaut und betrieben werden können.

Neben der technischen Beschreibung der Wärmepumpe werden unterschiedliche Niedertemperatur-Wärmequellen dargestellt und bewertet. Weiterhin gibt die Infoschrift auch Empfehlungen für eine optimale Anbindung an das Gebäude-Heizsystem.

Verschiedene in der Praxis ausgeführte Anlagen sowie geplante Anlagen werden vorgestellt und energetisch, ökologisch und wirtschaftlich bilanziert. Ein Fragenkatalog soll Hilfestellung bei der Entscheidung für eine Wärmepumpe geben und bei der Planung unterstützen.

Was spricht für den Bau einer Wärmepumpenanlage:

1. Mit einer Wärmepumpe nutze ich ganzjährig erneuerbare Energie in Form von Umweltwärme aus der Luft, dem Erdreich, aus Gewässern oder dem Grundwasser, d.h. gespeicherte Sonnenenergie.
2. Jede Kilowattstunde genutzte Umweltwärme ist mindestens eine vermiedene Kilowattstunde konventionell erzeugter Wärme aus Öl, Gas oder aus Strom. Man vermindert also mit einer Wärmepumpenanlage direkt den Endenergieverbrauch und somit CO<sub>2</sub>-Emissionen.
3. Die Umwelt stellt keine Rechnung: Eine Kilowattstunde Wärme z.B. aus dem Erdreich ist kostenlos und verringert somit erheblich die Jahresenergiekosten.
4. Mit dem Einsatz einer Elektrowärmepumpe kann die Energieversorgung des Gebäudes auf **einen** leitungsgebundenen Energieträger (Strom) reduziert werden.
5. Mit der Nutzung von großen Anteilen an Umweltwärme verringert sich der Einfluss von Energiepreisänderungen auf die Jahreskosten der Wärmeversorgung.

# Energieverbrauch in Deutschland

Von der Primärenergie zur Nutzenergie:

Bis fossile und nukleare Energieträger genutzt werden können, geht ein Teil ihrer Energie verloren (Abb. 1).

Primärenergie muss umgewandelt und zum Verbraucher transportiert werden. Auf diesem Weg geht rund ein Drittel der anfänglichen Primärenergie als Umwandlungsverluste und Leitungsverluste verloren. Was bleibt, ist die Endenergie, die zur Verfügung steht. Allerdings geht auch davon mehr als ein Drittel beim Verbraucher verloren. Nur das letzte Drittel ist Nutzenergie. Die verschiedenen Nutzungsformen umfassen Wärme, Kraft, Licht sowie Information und Kommunikation.

## Begriffskunde:

- **Primärenergie:**  
Die in der Natur vorkommenden Energierohstoffe wie Kohle, Erdöl und Erdgas
- **Endenergie:**  
Die vom Verbraucher eingesetzten Energien, z. B. Strom, Erdgas oder Heizöl

Abb. 1: Energieflussbild

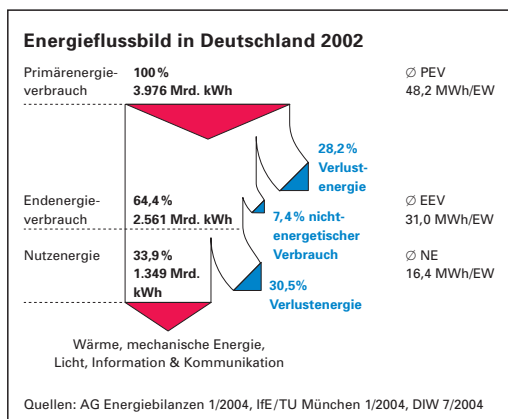
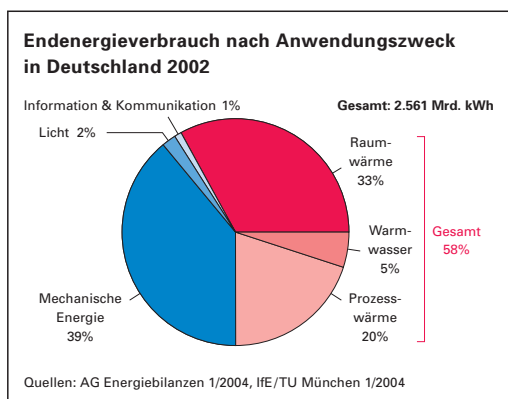


Abb. 2: Energieverbrauch nach Anwendungszweck



- **Nutzenergie:**  
Die nach der Umwandlung vom Verbraucher eingesetzten Energieformen wie Heizwärme, mechanische Arbeit, Licht etc.

Wer verbraucht Energie wofür und wo kann man mit der Wärmepumpe einen wesentlichen Beitrag zur Energieeinsparung leisten?

Knapp 60% des jährlichen Gesamtenergieverbrauchs in Deutschland wird für Wärme verbraucht. Davon wird mehr als die Hälfte auf niedrigem Temperaturniveau für die Raumwärme genutzt. Der Rest ist Warmwasser und Prozesswärme (Abb. 2).

In allen drei Energiesektoren kann mit der Wärmepumpe, also durch die Nutzung von Umweltwärme, ein großer Teil der Endenergie bereitgestellt werden. Der Verbrauch fossiler und nuklearer Energieträger sowie deren Emission wird verringert.

## Zielgruppe/Motivation

Für wen sind mittelgroße Wärmepumpenanlagen in der hier vorgestellten Größe von 20–200 kW thermischer Leistung interessant?

Was sind die Vorteile für die Nutzer?

Wärmepumpenanlagen eignen sich prinzipiell für die Beheizung aller Arten von Gebäuden: Verwaltungsgebäude, Hotels, Pensionen, Krankenhäuser, Schulen, Industriegebäude und Mehrfamilienhäuser im Alt- und Neubau.

Da neben der Investition in die Wärmepumpe noch die Investition in die Erschließung einer Niedertemperatur-Wärmequelle getätigt werden muss sowie Mehrkosten für ein Niedertemperaturheizflächensystem zu berücksichtigen sind, liegen die Gesamtinvestitionen bei einer Wärmepumpenanlage meist höher als bei einer vergleichbaren Wärmeversorgungsanlage mit Öl/Gas-Kessel.

Durch den wesentlich geringeren Endenergieverbrauch ergeben sich im allgemeinen geringere Jahresenergiekosten.

Das heißt, eine Wärmepumpenanlage ist neben den o.g. Vorteilen aus ökonomischer Sicht besonders interessant, wenn eine Niedertemperatur-Wärmequelle bereits vorhanden ist oder günstig erschlossen werden kann.

Beispiele für einen günstigen Wärmepumpeneinsatz:

1. In einem Industriebetrieb werden Produktionsmaschinen ganzjährig gekühlt. Die Abwärme aus dem Prozess wird meist in einem Kühlbecken gesammelt. Mit Hilfe einer Wärmepumpe kann das Gebäude mit dieser Abwärme beheizt werden.
2. In einem Krankenhaus oder einem Industriebetrieb wird gleichzeitig Wärme und Kälte benötigt (z.B. zur Klimatisierung). Eine Wärmepumpe nutzt die dem Kältekreislauf entzogene Wärme als Niedertemperatur-Quelle und „hebt“ sie auf ein höheres Temperaturniveau.
3. Doppelnutzung von Erdwärmesonden: Ein Bürogebäude wird mit einer Wärmepumpe beheizt. Erdwärmesonden dienen als Wärmequelle. Im Sommer hat das Gebäude einen Kühlbedarf. Die Erdwärmesonden liefern im Sommer Kälte, z.B. an Kühldecken und halten das Gebäude auf angenehmen Temperaturen.
4. Ein geplantes Büro- oder Wohngebäude muss wegen schlechter Baugrundverhältnisse auf Betonpfählen gegründet werden. Durch Einbringen von Kunststoffrohren werden diese Pfähle zu sogenannten „Energiepfählen“ (siehe auch Niedertemperatur-Wärmequellen), mit denen die Wärmepumpe dem Erdreich Wärme entziehen kann.
5. Ein Hotel mit Tiefgarage entsteht. In die Bodenplatte der Tiefgarage werden Kunststoffrohre eingelegt. Sie liefern Wärme für die Wärmepumpe.
6. Eine weitere Möglichkeit für ein Hotel könnte auch die Nutzung der Abwärme aus den Hotelabwässern sein. Diese lässt sich mittels Wärmeübertragungsrohr im Abwasserkanal realisieren.

## Wärmepumpen-Marktanalyse

Eine Statistik zu Heiz-Wärmepumpen: Im Vergleich zur Schweiz ist Deutschland, was die Zahl der Wärmepumpenanlagen im Bestand pro

Einwohner im Jahr 2003 angeht, noch ein „Entwicklungsland“. Je 10.000 Haushaltskunden gibt es in Deutschland nur 20, in der Schweiz dagegen 250 installierte Wärmepumpen.

Gründe für den Vorsprung der Schweiz sind u.a. eine vorteilhafte Förderpolitik und der hohe Anteil an CO<sub>2</sub>-neutralem Strom aus Wasserkraft und Kernenergie.

Aber auch in Deutschland sind bereits insgesamt rund 76.000 Wärmepumpen im Einsatz, und die Marktentwicklung verkaufter Elektro-Wärmepumpenanlagen zeigt deutlich nach oben (Abb. 3). Im Jahr 2005 wird mit rund 12.000 neuen Anlagen gerechnet. Der Trend bei Niedertemperatur-Wärmequellen für neu installierte Wärmepumpenanlagen in Deutschland geht eindeutig zur Erdwärmennutzung, (Abb. 4). Die Erdwärme hat mit 64 % deutlich den größten Anteil, gefolgt von der Luft mit 24 % und Wasser mit 12 %. Das große Potenzial der günstigen Industrieabwärme wird bisher kaum genutzt.

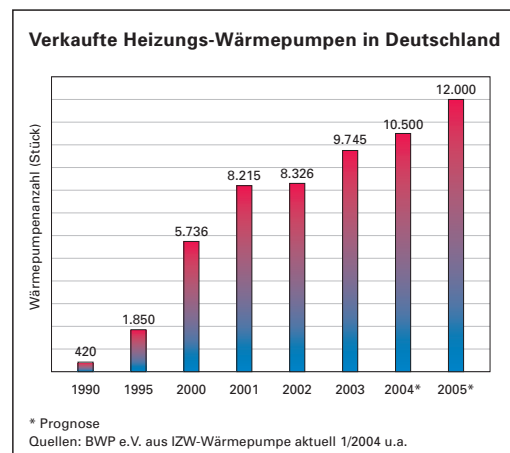


Abb. 3: Verkauf von Heizungs-wärmepumpen

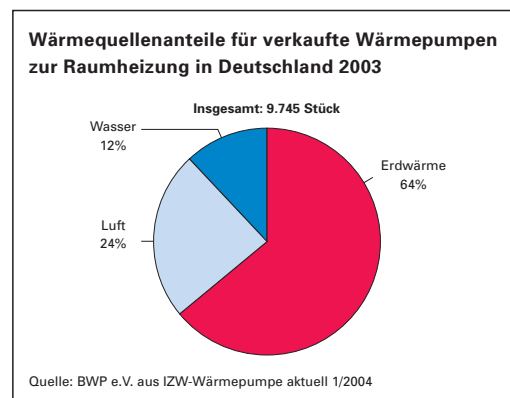


Abb. 4: Wärmequellen-anteile zur Raumheizung

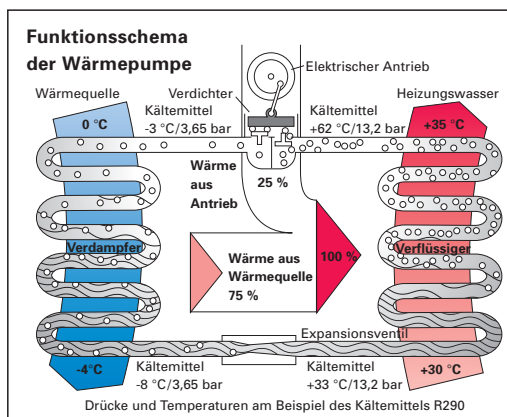
## Wie arbeitet eine Wärmepumpe

Jeder Haushalt besitzt eine Wärmepumpenanlage, den Kühlschrank. Er entzieht im Innenraum den Lebensmitteln Wärme und gibt diese an seiner Außenseite an den Raum ab.

Das Arbeitsprinzip der Wärmepumpe ist genau gleich, mit dem einzigen Unterschied, dass der Nutzen des Kühlschranks die produzierte Kälte ist. Bei der Wärmepumpe liegt hingegen der Nutzen meistens bei der produzierten Wärme. Es kommt also eigentlich nur darauf an, aus welchem Blickwinkel man den Prozess betrachtet. Eine Wärmepumpe eignet sich aber nicht nur zur Wärmeversorgung, sie kann auch gleichzeitig Wärme und Kälte liefern (sog. Wärme-Kälte-Kopplung).

Mit der Wärmepumpe wird Umweltwärme, die auf einem niedrigen Temperaturniveau vorhanden ist, durch einen thermodynamischen Kreisprozess nutzbar gemacht. Technisch geschieht dies, indem ein Kältemittel durch Verdampfen Wärme bei niedrigen Temperaturen aufnimmt, verdichtet wird und durch anschließendes Verflüssigen diese Wärme bei höheren Temperaturen wieder abgibt. Ein einfaches Funktionsschema (Abb. 5) verdeutlicht den Prozess.

Abb. 5:  
Funktionsschema  
Wärmepumpe



Die Hauptkomponenten einer Wärmepumpe sind Verdampfer, Verflüssiger, Expansionsventil und Verdichter. In den Verdampfer strömt flüssiges Kältemittel, das bei niedrigem Druck unter Wärmeaufnahme verdampft. Die Verdampfung erfolgt bei einer Temperatur, die unter der Temperatur der Niedertemperaturwärmequelle liegt. Der Kältemitteldampf wird vom Verdichter angesaugt und unter Zuführung hochwertiger mechanischer Antriebsenergie komprimiert. Druck und Temperatur

des gasförmigen Kältemittels steigen bei diesem Vorgang an. Der unter hohem Druck in den Verflüssiger einströmende Kältemitteldampf verflüssigt sich unter Wärmeabgabe und liefert so die Nutzwärme an das Heizungssystem. Noch immer unter hohem Druck stehend, wird das flüssige Kältemittel im Expansionsventil entspannt und dem Verdampfer zugeleitet. Der Wärmepumpenkreislauf ist damit geschlossen.

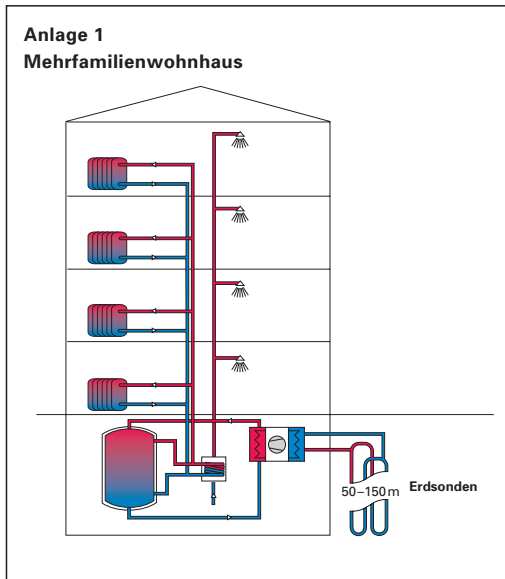
Die **Leistungszahl** beschreibt das Verhältnis der Wärmepumpenheizleistung in Bezug zur eingesetzten Antriebsleistung. Eine Leistungszahl von 5 bedeutet also, dass das Fünffache der eingesetzten elektrischen Energie als Wärmeleistung abgegeben wird. Die Leistungszahl ist ein Wert, der in einem stationären Betriebszustand bei normierten Einsatzbedingungen gemessen wird. Hinweis: In der Leistungszahl COP nach der Norm EN 255 werden neben der Antriebsleistung zusätzlich die elektrische Leistung der Hilfsaggregate berücksichtigt. Die **Jahresarbeitszahl** ist ein Messwert, der an einer kompletten Wärmepumpenanlage über einen Zeitraum von einem Jahr ermittelt wird. Sie drückt das Verhältnis von abgegebener Nutzwärme zu eingesetzter Antriebsenergie einschließlich Hilfsenergien (z.B. Strom für Solepumpenbetrieb) aus.

## Energetischer Vergleich: Elektro-Wärmepumpenanlage und Gas-Brennwert-Kessel

Für ein Mehrfamilienhaus mit Niedrigenergiebaustandard (Neubau oder sanierter Altbau) werden eine Wärmepumpenanlage und eine konventionelle Wärmeversorgung mit Gas-Brennwert-Kessel verglichen. Das Gebäude mit 20 Wohneinheiten, einer durchschnittlichen Wohnungsgröße von  $80\text{ m}^2$  und  $1.600\text{ m}^2$  Gesamtwohnfläche hat einen Jahreswärmebedarf von 120 MWh. Mit einem spezifischen Jahresheizwärmebedarf von  $54\text{ kWh/m}^2\cdot\text{a}$  wird die Energieeinsparverordnung EnEV2002 erfüllt.

Die Wärmepumpenanlage besteht, wie in Abb. 6 dargestellt, aus einer elektrisch angetriebenen Kompressions-Wärmepumpe, 10 senkrechten, ca. 100 m tiefen Erdwärmesonden als Niedertemperatur-Wärmequelle und einem Pufferspeicher mit Heizungswasser.

**Abb. 6:**  
Mehrfamilienhaus mit Wärmepumpenanlage



Die konventionelle Anlage besteht im Wesentlichen aus dem Gas-Brennwert-Kessel. Die Wärme wird in beiden Fällen über Niedertemperatur-Heizflächen an die Wohnräume übertragen. Für eine Brennwertnutzung sind Heizflächenauslegungstemperaturen von 60/40 °C oder 55/45 °C (Vorlauf/Rücklauf) ausreichend. Für einen sinnvollen Wärmepumpenbetrieb werden die Heizflächen auf niedrigere Temperaturen (45/35 °C oder 40/30 °C) ausgelegt. Realisiert werden können diese Temperaturen mit größer dimensionierten Heizkörpern oder mit Fußboden- oder Wandflächenheizungen. Die Mehrinvestitionen solcher Systeme liegen bei 5–20 %. Die Wärmepumpenanlage liefert die Wärme für die Raumheizung und die Trinkwassererwärmung.

Die Energieflussbilder (Abb. 7 und 8) der beiden Anlagen zeigen die wesentlichen Unterschiede zwischen elektrischer Wärmepumpenanlage und Gas-Brennwert-Kessel. Während der Gas-Brennwert-Kessel zur Erzeugung von 100 Teilen Nutzwärme 109 Teile Primärenergie benötigt, liefert die Wärmepumpe unter Nutzung von 75 Teilen Erdreichwärme und 25 Teilen Endenergie (Strom) die gleiche Nutzwärme. Da Strom primärenergetisch höher als Erdgas zu bewerten ist, sind die tatsächlichen Unterschiede in der Primärenergiebilanz geringer. Auf die Primärenergie bezogen müssen bei der Wärmepumpe 71 Teile und beim Gas-Brennwert-Kessel 109 Teile aufgewendet werden. Die Primärenergieeinsparung beträgt beachtliche 35 %.

## Wärmepumpen-Betriebsweisen

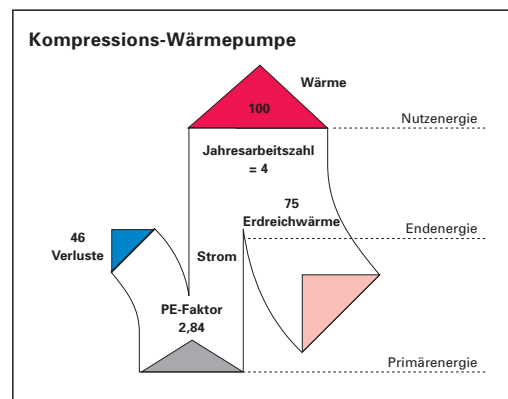
Man unterscheidet zwischen den folgenden Betriebsweisen:

**Monovalent:** Die Wärmepumpe ist der alleinige Wärmeerzeuger und liefert den gesamten Wärmebedarf für Heizung und Trinkwassererwärmung.

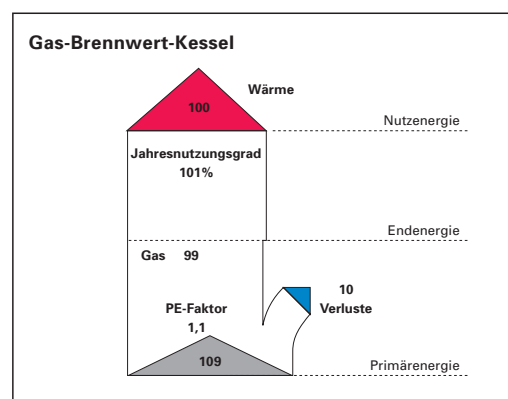
**Bivalent:** Diese Betriebsweise zeichnet sich dadurch aus, dass zur Wärmeerzeugung neben der Wärmepumpe noch ein oder mehrere weitere Wärmeerzeuger zur Verfügung stehen. Nutzen diese den gleichen Energieträger wie die Wärmepumpe, so bezeichnet man diese Betriebsweise monoenergetisch.

Es lassen sich zwei bivalente Betriebsweisen unterscheiden:

- **Bivalent-alternativ:** Das heißt, entweder arbeitet die Wärmepumpe oder der zusätzliche Wärmeerzeuger.
- **Bivalent-parallel:** Das heißt, die Wärmepumpe arbeitet während der gesamten Heizperiode. Unterschreitet die Außentemperatur eine bestimmte Grenze, so wird ein zusätzlicher Wärmeerzeuger eingeschaltet.



**Abb. 7:**  
Energiefluss bei der Kompressions-Wärmepumpe



**Abb. 8:**  
Energiefluss beim Gas-Brennwert-Kessel

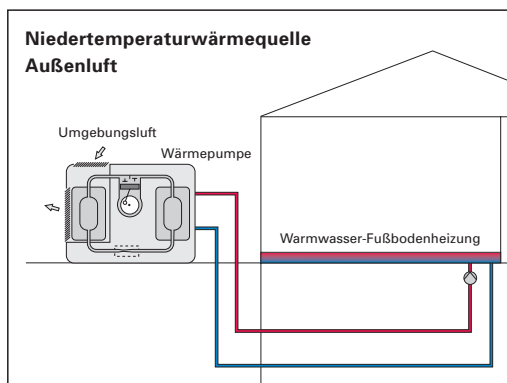
## Niedertemperaturwärmequellen für Wärmepumpen

Als Wärmequelle für die Wärmepumpe kommen Außenluft, Erdreich, Grundwasser oder industrielle Abwärme in Frage. Grundsätzlich gilt: Je höher das Temperaturniveau der Wärmequelle ist, um so effizienter arbeitet die Wärmepumpe.

### WÄRMEQUELLE LUFT

Die Außenluft (Abb. 9) ist eine einfach zu erschließende Wärmequelle. Luftwärmetauscher entziehen der durchströmenden Außenluft Wärme. Beton-Massivabsorber nutzen neben der Luft auch Solarwärme und können aufgrund ihrer Masse über kurze Perioden Wärme speichern. Diese Wärmequellen besitzen jedoch den Nachteil, dass gerade zu Zeiten mit hohem Heizenergiebedarf, also bei niedrigen Außentemperaturen, auch die Wärmequelle ein niedriges Temperaturniveau besitzt. Dies hat zur Folge, dass die beschriebenen Anlagen geringere Jahresarbeitszahlen erzielen. Ein ganzjähriger monovalenter Anlagenbetrieb ist mit der Wärmequelle Luft im Allgemeinen nicht möglich. Zum Beispiel wird die Luft-Wasser-Wärmepumpe in bestehenden Gebäuden als Ergänzung zur vorhandenen Brennstoffheizung in bivalenter Betriebsweise oder monoenergetisch eingesetzt.

Abb. 9: Außenluft



### WÄRMEQUELLE ERDREICH

Die Abb. 10 zeigt deutlich, dass ab einer Tiefe von 10 m im Boden fast keine jahreszeitlichen Temperaturänderungen mehr gemessen werden. Auch in den kältesten Perioden wie z.B. im Februar liegt die Temperatur bei 8–10 °C. Aus diesem Grund stellt das Erdreich eine sehr günstige Wärmequelle für die Wärmepumpe dar.

Die Erschließung kann auf unterschiedliche Weise erfolgen.

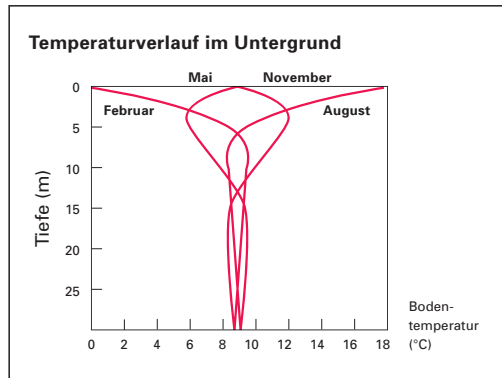
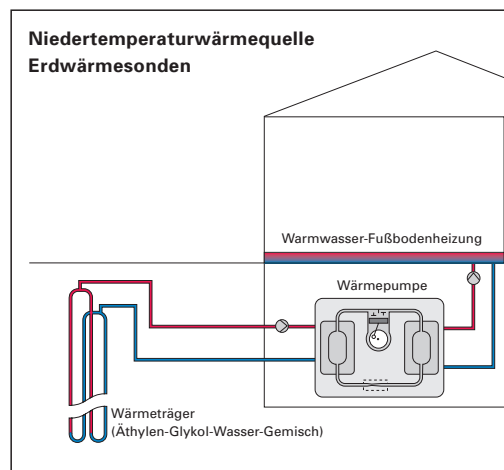


Abb. 10: Temperaturverteilung im Untergrund

Erdwärmesonden (Abb. 11) sind eine besonders in der Schweiz seit langem verbreitete Technik. Hierbei werden senkrechte Bohrungen zum Teil bis in 150 m Tiefe niedergebracht. Nach dem Einführen von Kunststoffrohren, die als Wärmeübertrager dienen, werden die Bohrungen mit einer Zement-Bentonit-Suspension dauerplastisch verpresst. Dadurch wird ein guter Wärmeübergang vom Erdreich zu den Sonden erreicht. Auch werden eventuell vorhandene unterschiedliche Grundwasserstockwerke gegeneinander abgedichtet. Aufgrund der Tiefe und der jahreszeitlichen Konstanz der Wärmequellentemperatur werden mit solchen Anlagen hohe Jahresarbeitszahlen erreicht. Bei normalen hydrogeologischen Bedingungen können mittlere Wärmeentzugsleistungen von 50–100 W/m Sondenlänge erreicht werden. Erdwärmesonden benötigen eine wasserrechtliche Genehmigung; ab einer Tiefe von 100 m ist zusätzlich eine Anzeige nach dem Bundesberggesetz erforderlich. Das Genehmigungsverfahren wird derzeit vereinfacht.

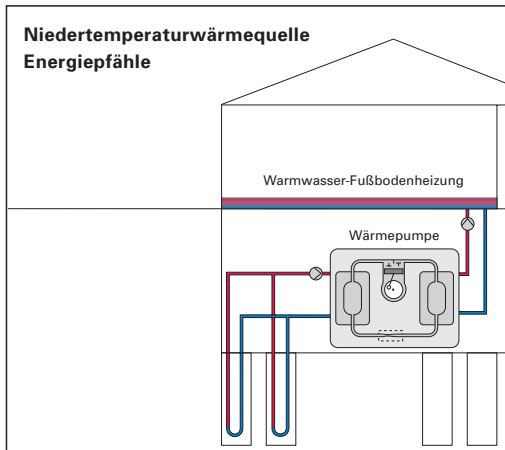
Abb. 11: Erdwärmesonden



Eine Variante von Erdwärmesonden sind sogenannte „Energiepfähle“ (Abb. 12). Bei dieser Technik handelt es sich um Gründungspfähle aus Beton,

die bei schlechten Baugrundverhältnissen zur Bauwerksgründung eingesetzt werden müssen. Werden diese Pfähle mit Wärmetauscherrohren ausgerüstet, so entstehen mit geringem Mehraufwand Erdreichwärmetauscher.

**Abb. 12:**  
Energiepfähle



### 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.

Dieses Gütesiegel gibt es bisher nur in der Schweiz. Es wird auch in Deutschland im Laufe des nächsten Jahres eingeführt. Die Einhaltung obliegt einer strengen Überwachung. Es werden auf der Baustelle unangemeldet Stichproben gemacht. Das Gütesiegel „Erdwärmesonden-Bohrfirmen“ wird zu einer Vereinfachung im Genehmigungsverfahren führen.

### REGENERATION VON ERDWÄRMESONDEN

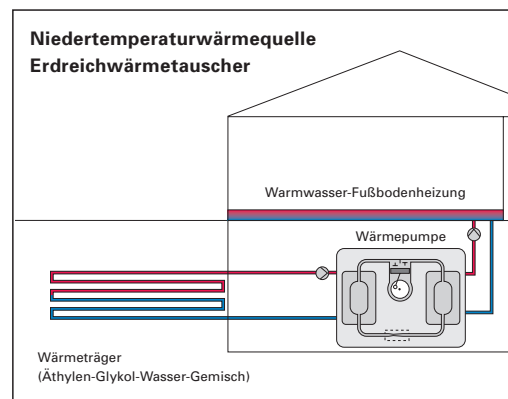
Die Wärmepumpe entzieht dem Erdreich Wärme über die Erdwärmesonden. Dabei kühlt sich die Umgebung der Sonde im Laufe der Heizperiode ab. Arbeitet die Wärmepumpe im Sommer oder in der Übergangszeit nicht, so regeneriert sich das Erdreich wieder. Der Wärmeausgleich entsteht unter anderem durch die Solarstrahlung, die auf die Erdoberfläche auftrifft, durch versickerndes Regenwasser oder durch Grundwasserströmungen.

Diese natürliche Regeneration des Erdreichs kann durch den Eintrag von Wärme über die Erdwärmesonden auch beschleunigt werden. Große thermische Solaranlagen produzieren

z.B. häufig im Sommer Überschüsse, die ins Erdreich eingeleitet werden können. Neben der Schonung der Solaranlage vor Überhitzung wird in einigen Fällen durch die Temperaturerhöhung des Erdreichs zusätzlich eine Verbesserung der Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe bewirkt. Im optimalen Fall können die Erdwärmesonden kleiner dimensioniert und Investitionen gespart werden. Eine vom Bundesamt für Energiewirtschaft der Schweiz in Auftrag gegebene Studie hat sich intensiv mit diesem Thema befasst.

Eine belastbare Kosten/Nutzen-Betrachtung muss aber im Einzelfall vom Planer der Anlage mit Hilfe von dynamischen Simulationen durchgeführt werden.

Oberflächennahe Erdreichwärmetauscher (Abb. 13) können als horizontales Kunststoffrohrschlangensystem in einer Tiefe von 1 bis 1,5 m unter der Erdoberfläche verlegt werden.



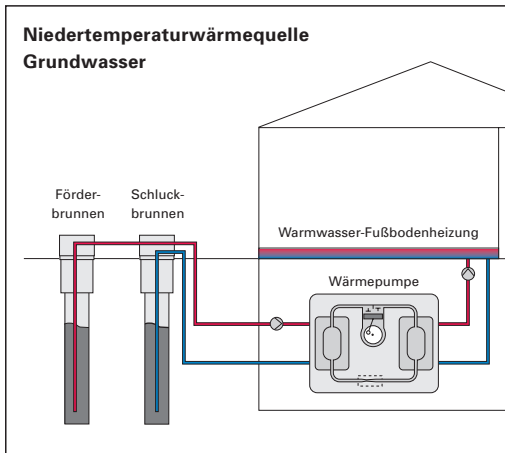
**Abb. 13:**  
Erdreichwärmetauscher

Stehen beim Neubau eines Gebäudes ohnehin große Erdbewegungen an und ist als nutzbare Grundstücksfläche etwa die 1- bis 2-fache Wohnfläche vorhanden, kann ein solches System zum Einsatz kommen. Der Einfluss jahreszeitlicher Temperaturschwankungen ist in dieser Tiefe jedoch sehr deutlich. Im Februar liegt die Bodentemperatur 1 m unter der Erdoberfläche nur knapp über 0 °C. Der Wärmeentzug aus dem Erdboden geschieht über eine in den Rohrschlangen zirkulierende, frostsichere Sole, deren Temperatur unterhalb der Bodentemperatur liegen muss, damit ein Wärmestrom aus dem Boden in die Wärmeträgerflüssigkeit fließt und so für die Wärmepumpe nutzbar wird. Eine monovalente Betriebsweise ist mit dieser Wärmequelle möglich, allerdings liegen die Jahresarbeitszahlen unterhalb denen der zuvor dargestellten Lösungen.

**WÄRMEQUELLE GRUNDWASSER**

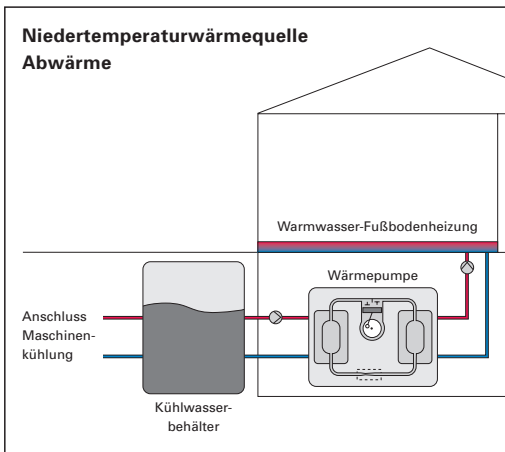
Grundwasser (Abb. 14) ist aufgrund des relativ konstanten und hohen Temperaturniveaus von 8 bis 12 °C eine sehr gute ganzjährige Niedertem-

**Abb. 14:**  
Grundwasser



peraturwärmequelle. Voraussetzung für die Nutzung ist, dass am Standort Grundwasser in nicht allzu großer Tiefe (4-10 m) vorhanden ist und dass aus wasserrechtlicher Sicht eine Nutzung erlaubt ist. Über einen Förderbrunnen und einen Schluckbrunnen, die mit ausreichendem Abstand voneinander niedergebracht werden, kann das Grundwasser direkt der Wärmepumpe zugeleitet werden.

**Abb. 15:**  
Abwärme



**INDUSTRIELLE ABWÄRME**

Eine interessante Wärmequelle für den Einsatz von Wärmepumpen stellt die Nutzung industrieller Abwärme dar (Abb. 15).

Häufig sind in industriellen Prozessen nicht genutzte Wärmepotenziale mit ganzjährig konstanten Temperaturen vorhanden. Mit einer Wärmepumpe können diese Wärmequellen z.B. für eine innerbetriebliche Wärmeerzeugung nutzbar gemacht werden.

Es besteht aber auch die Möglichkeit, dass ein Industriebetrieb eine solche Wärmequelle für die Versorgung von anderen Objekten bereitstellt. Die Bandbreite möglicher Varianten ist sehr groß und muss im Einzelfall untersucht werden.

**Auswirkung von Wärmequellen- und Heizungsvorlauftemperatur auf die Leistungszahl**

Neben der Wärmequellentemperatur beeinflusst auch die Vorlauftemperatur des Heizungssystems die Effizienz der Wärmepumpe.

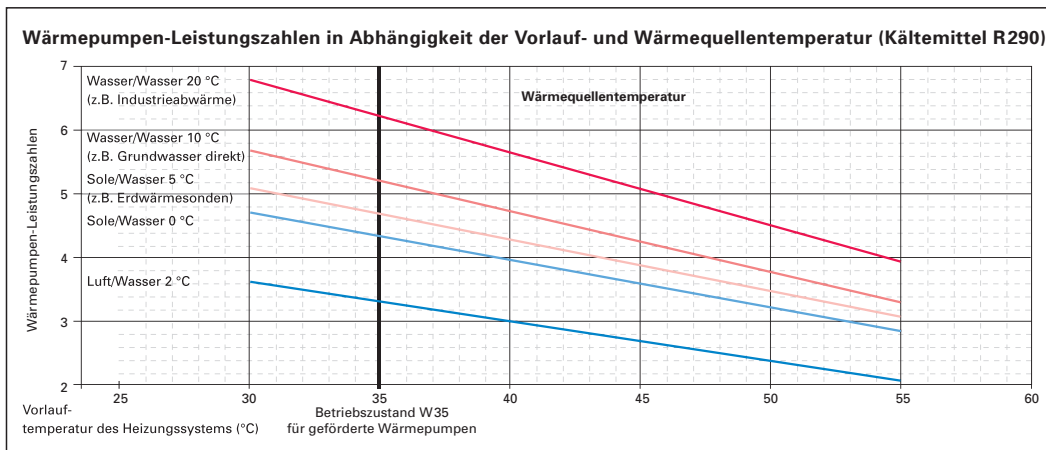
Allgemein gilt:

Je höher das Temperaturniveau der Wärmequelle und je niedriger die Vorlauftemperatur der Heizung, d.h. je kleiner der Temperaturhub zwischen Quelle und Nutzttemperatur, den die Wärmepumpe überwinden muss, desto höher ist die Leistungszahl und damit die Effizienz der Wärmepumpe.

Abb. 16 zeigt exemplarisch für eine Wärmepumpe mit dem Kältemittel R290 den linearisierten Verlauf der Leistungszahlen für verschiedene Wärmequellentemperaturen in Abhängigkeit der Vorlauftemperatur des Heizungssystems.

Es wird deutlich, dass ein Niedertemperatur-Heizsystem (Fußboden-, Wandflächenheizung usw.) die Effizienz der Wärmepumpenanlage begünstigt.

**Abb. 16:**  
Wärmepumpen-Leistungszahlen



## Kältemittel für Wärmepumpen

Durch den Einsatz eines bei niedrigen Temperaturen verdampfenden Kältemittels wird der Wärmetransport von der Wärmequelle zur Wärmenutzungsanlage erst möglich.

In der Vergangenheit wurden Kältemittel eingesetzt, die gute technische Eigenschaften besitzen. Da Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW) aber ein sehr hohes ozonabbauendes Potenzial aufweisen, wurden die Kältemittel R11, R12, R502 ab 1995 und das Kältemittel R22 ab 2000 für Neuanlagen verboten.

Die derzeit am häufigsten eingesetzten Kältemittel sind R134a, R407c und R290. R134a und R407c sind chlorfreie FCKWs ohne ozonschädigendes Potenzial. Sie besitzen jedoch bei Eintritt in die Atmosphäre ein Treibhauspotenzial.

Natürliche Kältemittel wie Ammoniak, Kohlendioxid, Propan und Wasser erleben in unterschiedlichen Anwendungsbereichen der Kälte- und Wärmepumpentechnik eine Renaissance. Sie sind für die klima- und ozonschädigenden chlorierten Fluor-Kohlenwasserstoffe sowie die fluorierten Kohlenwasserstoffe eine interessante Alternative.

## NATÜRLICHE KÄLTEMITTEL IM ÜBERLICK

### Kohlendioxid

Die ökologischen Vorteile des Kohlendioxids sprechen für sich. Allerdings macht die hohe Drucklage des Kältemittels den Einsatz speziell ausgelegter Anlagenkomponenten wie Verdichter und Wärmeübertrager notwendig. Andererseits erlaubt die sehr hohe volumetrische Kälteleistung einen sehr geringen Volumenstrom, kleine Rohrquerschnitte und somit eine kompakte Bauweise.

### Ammoniak

Ammoniak ist seit Jahrzehnten ein häufig verwendetes Kältemittel, vor allem in der Industrie und für große Leistungen. Es ist nicht ozonschichtschädigend und hat kein Treibhauspotenzial. Aber es ist toxisch und brennbar. Um Menschen und Kühlgut nicht zu gefährden, kann der Verdampfer häufig nicht direkt an das Kühlgut geführt werden. Der Wärmetransport erfolgt dann über den Sekundärkreislauf.

### Propan

In industriellen Kälteanlagen ist Propan ein seit Jahren eingesetztes Kältemittel. Als Ersatz für R502 und R22 findet Propan in der Wärmepumpentechnik breite Anwendung. Propan schädigt nicht die Ozonschicht und besitzt ein sehr geringes Treibhauspotenzial. Jedoch macht die leichte Entflammbarkeit des Propanes zusätzliche sicherheitstechnische Vorkehrungen erforderlich.

**Wasser**

Das Kältemittel Wasser ist für Kühltemperaturen oberhalb des Gefrierpunktes einsetzbar. Da Kältemittel und Kälte­träger nicht getrennt werden müssen, entfallen die üblichen Wärmeübertrager. Die Folge: Man erreicht eine höhere energetische Effizienz auch bei kleinen Temperaturdifferenzen zwischen Verdampfungstemperatur und gewünschter Kälte­trä­gertemperatur. Obwohl die Wasser-Kompressionsanlagen eine sehr neue Entwicklung darstellen, sind schon einige Anlagen mit Erfolg im Einsatz.

Zur ökologischen Bewertung von Kältemitteln werden die folgenden Bewertungsgrößen verwendet:

**ODP-Wert (Ozone Depletion Potential):**  
Wert zur Bewertung des ozonschädigenden Potenzials von Kältemitteln. Als Referenzgröße dient R11 mit dem ODP-Wert 1.

**GWP-Wert (Global Warming Potential):**  
Der GWP-Wert gibt das Treibhauspotenzial eines Kältemittels bezogen auf CO<sub>2</sub> mit einem Zeithorizont von 100 Jahren an.

Eine Übersicht der Kältemittel enthält die Tabelle 1.

## Wärmepumpenanlage und thermische Solaranlagen

Wärmepumpen und Solaranlagen ergänzen sich hervorragend bei der Wärmeversorgung von Wohngebäuden. Die Solaranlage übernimmt in den Sommermonaten fast vollständig die Trinkwassererwärmung.

Die Wärmepumpe arbeitet in dieser Zeit kaum. In den Übergangszeiten und im Winter liefert die Wärmepumpe den größten Teil der Wärme und wird an sonnigen Tagen durch die Kollektoren unterstützt. Mit dieser Anlagenkombination wird die Nutzung erneuerbarer Energien sehr effizient gesteigert.

**Tabelle 1: Übersicht Kältemittel**

Kältemittel	GWP-Wert	ODP-Wert	Bemerkung
R11	4.000	1	Verwendung in Neuanlagen verboten
R12	8.500	1	Verwendung in Neuanlagen verboten
R502	5.591	0,33	Verwendung in Neuanlagen verboten
R22	1.700	0,055	Verwendung in Neuanlagen verboten
derzeit verwendete Kältemittel			
R134a	1.300	0	Ersatzstoff für R12 und R502
R407c	1.526	0	Ersatzstoff für R12 und R502
R290 (Propan)	3	0	Ersatz von R12 und R502, leicht entflammbar
alternative Kältemittel			
R718 (Wasser)	0	0	Umweltverträglich
R717 (Ammoniak)	0	0	Brennbar, umweltneutral, korrosiv, toxisch
R744 (Kohlendioxid)	1	0	Umweltverträglich nicht brennbar, nicht toxisch, hohe Drücke erforderlich
R1270 (Propen)	3	0	Brennbar, nicht toxisch

Quelle: BINE Information

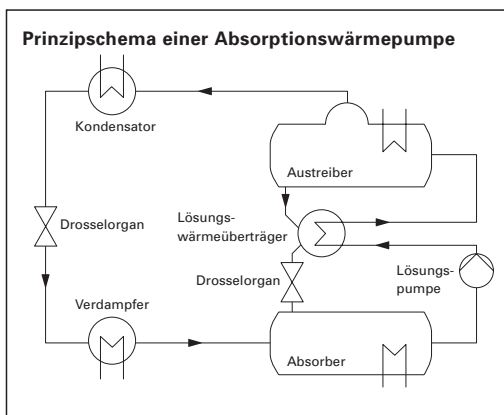
## Gas-Absorptions- wärmepumpe

Eine Alternative zu elektrischen Kompressionswärmepumpen (EKWP) sind Gas-Absorptionswärmepumpen (GAWP).

Die Funktionsweisen von Absorptions- und Kompressionswärmepumpen sind bis auf den Verdichter identisch. Der mechanisch angetriebene Verdichter einer Kompressionswärmepumpe wird durch einen thermischen Verdichter ersetzt, der einen Lösungsmittelkreislauf beinhaltet. Zusätzlich zum Kältemittel wird ein Lösungsmittel gebraucht, das in der Lage ist, das Kältemittel zu absorbieren. Der Lösungsmittelkreislauf wird aus dem Absorber, der Lösungsmittelpumpe, dem Austreiber und dem Lösungsmittelventil gebildet.

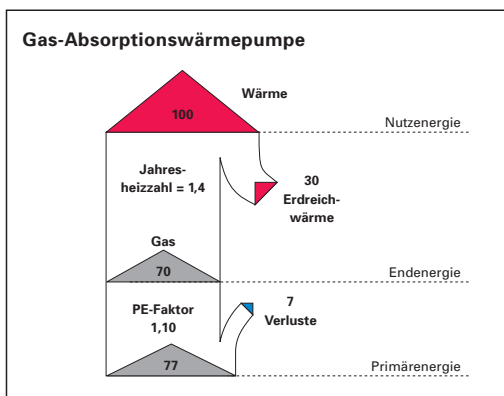
Abb. 17 zeigt das Prinzipschema einer Absorptionswärmepumpe.

**Abb. 17:**  
Prinzipschema  
Absorptions-  
wärmepumpe



Als Arbeitsstoffpaare können Ammoniak/Wasser und Wasser/Lithium-Bromid eingesetzt werden. Das Energieflussbild in Abb. 18 zeigt, dass 100 Teile Nutzwärme mit 70 Teilen Endenergie (z.B. Gas) erzeugt werden.

**Abb. 18:**  
Gas-  
Absorptions-  
wärmepumpe



Das heißt, die Energiebilanz einer Gas-Absorptionswärmepumpe (GAWP) ist mit der einer elektrischen Kompressionswärmepumpe (EKWP) vergleichbar.

### Vorteile:

Die GAWP kann in Kombination mit einem Gas-Brennwert-Spitzenkessel mit dem gleichen Energieträger Erdgas betrieben werden. Da bei der GAWP mehr Endenergie eingesetzt wird als bei der EKWP, kann die Niedertemperaturwärmequelle kleiner ausfallen (z. B. weniger Erdwärmesonden).

Die Verfügbarkeit von Absorptionswärmepumpen kleiner Leistungen unter  $100 \text{ kW}_{\text{th}}$  ist derzeit noch gering.

## Heizen und Kühlen mit einer Wärmepumpe

Üblicherweise werden in Deutschland die meisten Wärmepumpenanlagen zur Beheizung der Gebäude und zur Trinkwassererwärmung eingesetzt. Für die Kühlung des Gebäudes wird dann gegebenenfalls ein Kälteaggregat installiert. Die Möglichkeit, beide Funktionen - Heizen und Kühlen - wechselseitig in einem Gerät auszuführen, ist in Deutschland noch wenig bekannt. In den USA dagegen haben sich Wärmepumpen, die sowohl als Wärmeerzeuger als auch als Kälteaggregat arbeiten können, etabliert und eine entsprechend weite Verbreitung gefunden.

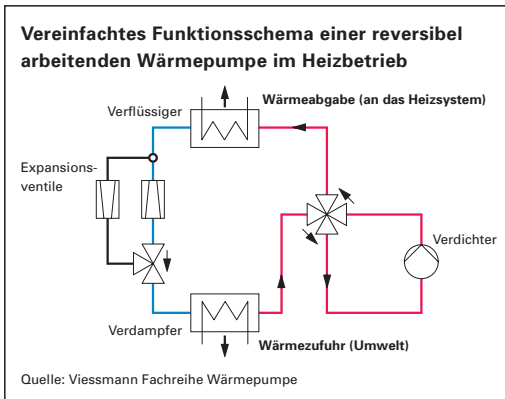
Es kann zwischen zwei Methoden der Kühlung unterschieden werden:

### Umkehrbarer Betrieb

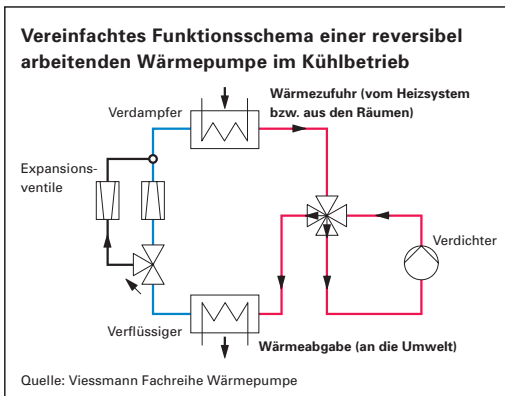
Die Funktionsweise der Wärmepumpe wird umgekehrt, so dass sie wie ein Kühlschrankschrank arbeitet. Diese Kühlung wird auch als „reversibler“ Betrieb der Wärmepumpe bezeichnet.

Dieser lässt sich mit dem Einbau eines 4-Wege-Ventils und eines zweiten Expansionsventils im Kältemittelkreislauf verwirklichen. Die Umschaltung der Fließrichtung kann automatisch für die gesamte Anlage über dieses 4-Wege-Ventil erfolgen. Durch den Einbau des Ventils kann der Verdichter, unabhängig von der jeweiligen Funktion (Heizen oder Kühlen), seine ursprüngliche Förderrichtung immer beibehalten (Abb. 19 und 20).

**Abb. 19:** Vereinfachtes Funktionsschema einer reversibel arbeitenden Wärmepumpe im Heizbetrieb



**Abb. 20:** Vereinfachtes Funktionsschema einer reversibel arbeitenden Wärmepumpe im Kühlbetrieb

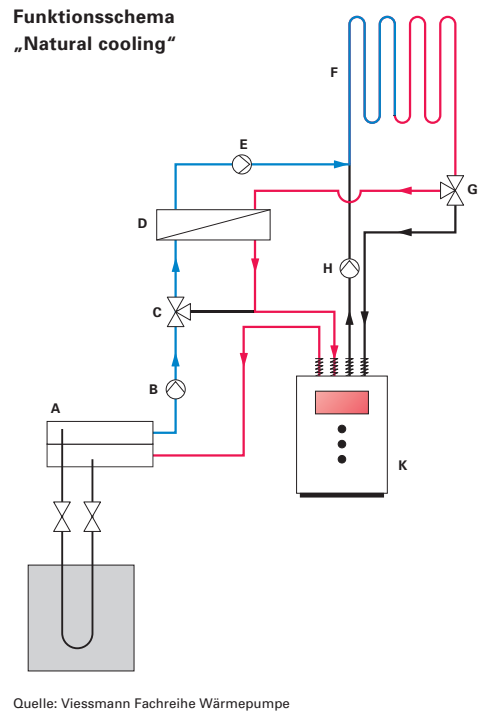


**Direkte Kühlung**

Im Sommer sind die Temperaturen im Inneren der Gebäude in der Regel höher als im Erdreich oder im Grundwasser. Deshalb nehmen die Soleflüssigkeit bzw. das Grundwasser die Wärme über einen Wärmeübertrager aus dem Heizkreis auf und führen sie nach außen ab.

Bei dieser als „Natural cooling“ bezeichneten Funktion schaltet die Regelung lediglich die Primärpumpe (B) ein (der Verdichter der Wärmepumpe bleibt ausgeschaltet), öffnet die 3-Wege-Umschaltventile (C und G) jeweils zum Wärmetauscher (D) und setzt die Sekundärkreis-Umwälzpumpe (E) in Betrieb. So kann das relativ warme Wasser aus der Kühlfläche (F) (Fußbodenheizung, Kühldecke, thermisch aktiviertes Bauteil) im Wärmeübertrager (D) die Wärme an die Sole des Primärkreises abgeben. Den angeschlossenen Räumen wird so Wärme entzogen (Abb. 21).

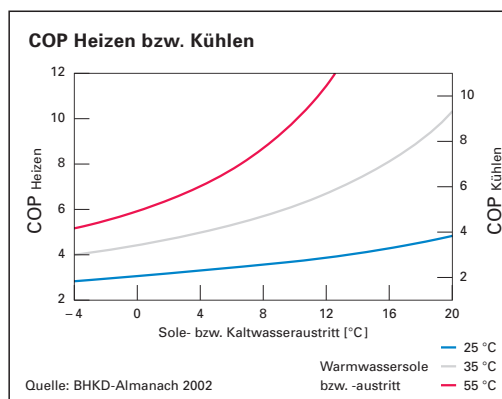
Dadurch ist „Natural cooling“ eine besonders energiesparende und kostengünstige Methode der Gebäudekühlung, da nur ein geringer Stromverbrauch für die Umwälzpumpe zur Erschließung der „Kühlquelle“ Erdreich bzw. Grundwasser benötigt wird. Grundsätzlich ist diese Kühlfunktion in ihrer Leistungsfähigkeit aber nicht mit Klimaanlagen oder Kaltwassersätzen zu vergleichen.



**Abb. 21:** Funktionsschema „Natural cooling“

**COP (Coefficient of Performance)**

Im Kühlfall reicht die Temperatur im Erdreich meist zur direkten Kühlung über Flächenkühlsysteme aus. Bei niedrigen Systemtemperaturen ist der Betrieb mit einer umschaltbaren Wärmepumpe erforderlich. Die Heizleistung von reversibel arbeitenden Kompressions-Wärmepumpen ist immer etwas größer als die Kühlleistung. Im Heizbetrieb wird die Energieaufnahme für den Antrieb im Verdichter in Wärme umgewandelt und zum Heizen genutzt. Im Kühlbetrieb entsteht diese Wärme ebenfalls, da auch bei dieser Betriebsweise der Verdichter arbeiten muss. Diese zwangsläufig anfallende Wärme verringert aber in der Bilanz die theoretisch mögliche Kühlleistung. Die erreichbaren COPs im Kühlbetrieb sind bei reversibel arbeitenden Wärmepumpen deshalb etwas geringer als im Heizbetrieb (siehe Abb. 22).



**Abb. 22:** COP Heizen bzw. Kühlen

Der COP der Wärmepumpe ist grundsätzlich abhängig von der Systemtemperatur. In der Tabelle 2 sind die typischen Vor- und Rücklauftemperaturen von Raumklimaanlagen und Heiz-/Kühlsystemen aufgeführt:

**Tabelle 2:** Vor- und Rücklauftemperaturen von Raumklimaanlagen und Heiz-/Kühlsystemen

	Kühlen	Heizen
Luftklimaanlagen/ Radiatorheizung	6 / 12 °C	55 / 45 °C
Kühl-/Heizdecken	16 / 19 °C	35 / 32 °C
Betonkern- temperierung	19 / 21 °C	25 / 23 °C

## Randbedingungen für Energieeinsatz, Ökonomie und Ökologie

Für die folgende Bewertung der Wärmepumpentechnik hinsichtlich Energieeinsatz, Primärenergie, Kohlendioxid CO<sub>2</sub> und Wirtschaftlichkeit wird als Referenzsystem die Gas-Brennwert-Technik herangezogen. Der Nutzungsgrad des Kessels liegt bei 101–104 % (bezogen auf den Heizwert Hu). Der Jahresnutzungsgrad der Gesamtanlage einschließlich Leitungs- und Speicherverlusten wird mit 90 % angesetzt.

Die folgenden Randbedingungen gelten gleichermaßen für Wärmepumpen- und Gas-Brennwert-Technik:

Die Jahreskosten der Anlage setzen sich zusammen aus Kapitalkosten, Kosten für Wartung und Instandhaltung und Energiekosten.

Investitionen haben als Grundlage Hersteller-Listenpreise oder Angebote aus Ausschreibungen. Sie werden als Brutto-Preise (inkl. MwSt.) angegeben. Die Berechnung der Kapitalkosten erfolgt auf der Grundlage der Annuitätenmethode unter Berücksichtigung der Nutzungsdauer der Komponenten und des Zinssatzes.

Die Nutzungsdauer wird in Anlehnung an die VDI-Richtlinie 2067 ermittelt.

Beim verwendeten Zinssatz wird unterschieden zwischen:

- konventionellen Komponenten:  
Zinssatz 6 %
- Komponenten, die einer innovativen Energieversorgungsanlage zur Nutzung erneuerbarer Energien zugeordnet werden können und daher förderfähig sind:  
Zinssatz 4 % (zinsgünstiges Darlehen)

Kosten für Wartung und Instandsetzung der Anlage werden pauschal als fester Prozentsatz der Investitionssumme angesetzt:

- Wartung 1 %
- Instandsetzung 1,5 %

Die angenommenen Energiepreise zur Ermittlung der Energiekosten (Verbrauchskosten) sind:

- Erdgas 45 €/MWh
- Wärmepumpenstrom 120 €/MWh

Hinweis: Diverse EVU fördern den Einsatz von Wärmepumpenanlagen durch Gewährung eines Rabattes.

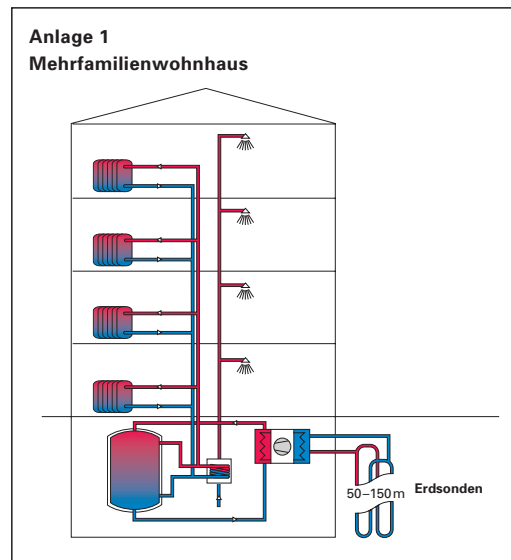
Bei der Berechnung der eingesetzten Primärenergie und der Kohlendioxid-Emissionen aus der genutzten Endenergie werden die vorangegangenen energierelevanten Umwandlungsprozesse und Transportverluste mitberücksichtigt:

Für die Wandlung von elektrischem Strom wird ein mittlerer Kraftwerkswirkungsgrad der Bundesrepublik mit 35 % angenommen.

Der CO<sub>2</sub>-Ausstoß liegt bundesweit bei ca. 630 g/kWh<sub>el</sub>. Bei der Verbrennung von Gas wird ein Nutzungsgrad von 90 % und CO<sub>2</sub>-Emissionen von 230 g/kWh<sub>Gas</sub> angesetzt.

## Bewertung ausgewählter geplanter Projekte

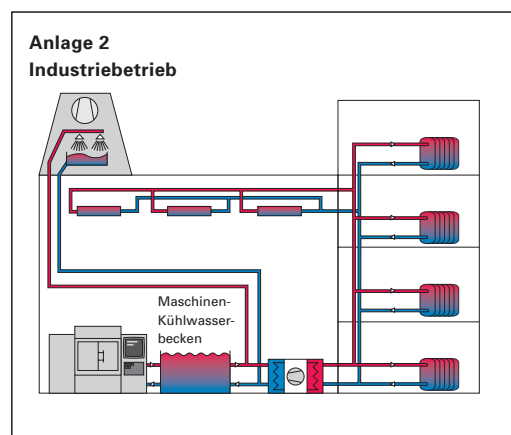
Die folgenden Tabellen 3 und 4 zeigen eine Auswahl geplanter Projekte mit unterschiedlicher Nutzung der Wärmepumpenanlage. Die beschriebenen Anlagen werden hinsichtlich Energieeinsatz, Primärenergie und Kohlendioxid CO<sub>2</sub> sowie Wirtschaftlichkeit bewertet.

**SCHLTSCHEMA  
DER WÄRMEPUMPENANLAGE**

**BESCHREIBUNG**

- Mehrfamilienhaus – sanierter Altbau – mit 1600 m<sup>2</sup> beheizter Wohnfläche
- Zentrale Wärmepumpenanlage mit 80 kW<sub>el</sub> Kompressionswärmepumpe
- Niedertemperaturwärmequelle:  
1.000 m Erdwärmesonden
- Niedertemperatur-Heizsystem

**ENERGIE**
**Gebäudeenergiebedarf:**
**Wärme**  
128 MWh

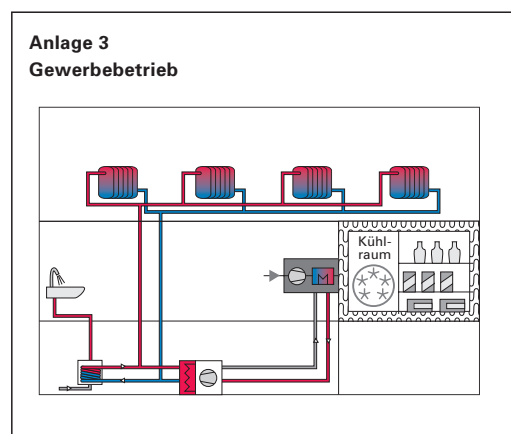
**Kälte**  
–

**Jahresarbeitszahl**  
3,8


- Industriebetrieb mit zu beheizenden Büro- und Produktionsräumen
- Zentrale Wärmepumpenanlage mit 110 kW<sub>el</sub> Kompressionswärmepumpe
- Niedertemperaturwärmequelle:  
Maschinenkühlwasser,  
Temperaturniveau ca. 20 °C
- Niedertemperatur-Heizsystem

**Gebäudeenergiebedarf:**
**Wärme**  
180 MWh

**Kälte**  
–

**Jahresarbeitszahl**  
5,0


- Gewerbebetrieb mit gleichzeitigem Kälte- und Wärmebedarf (Wärme-Kälte-Kopplung)
- Zentrale Wärmepumpenanlage mit 84 kW<sub>el</sub> Kompressionswärmepumpe
- Niedertemperaturwärmequelle:  
Kaltwassersatz mit 6–12 °C
- Niedertemperatur-Heizsystem

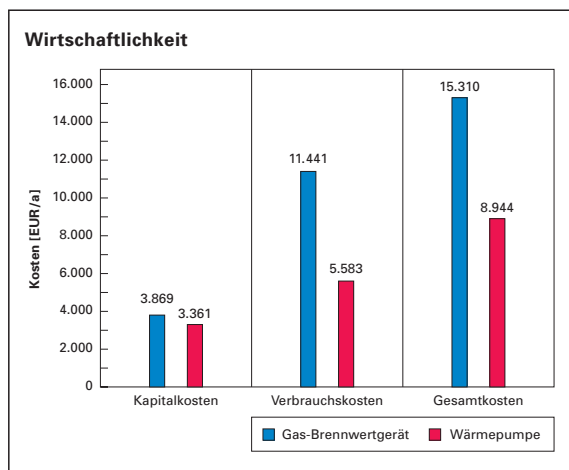
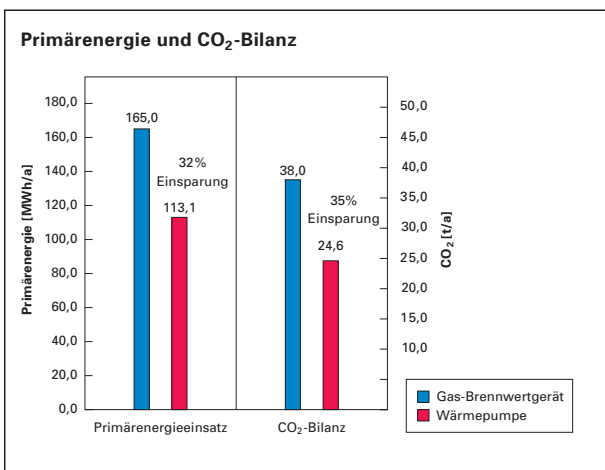
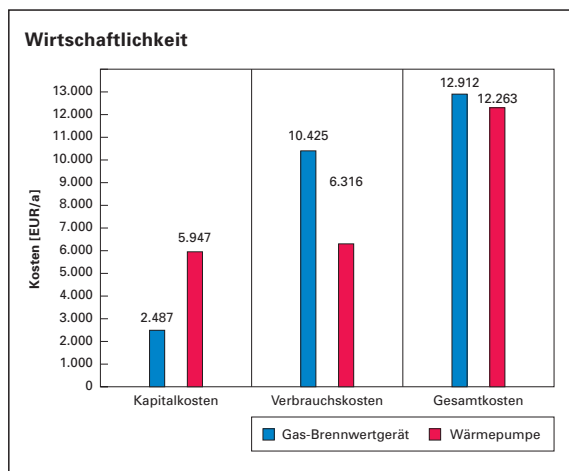
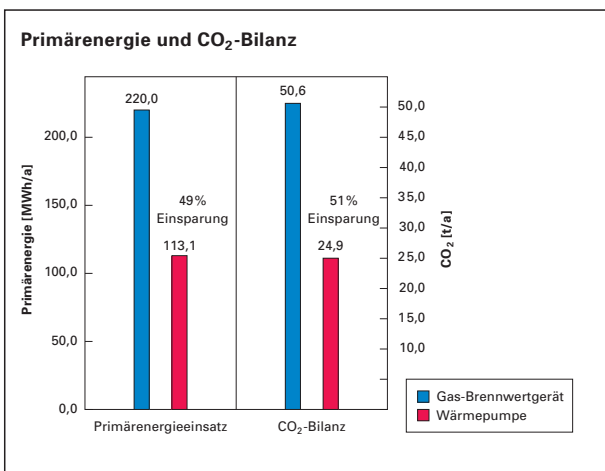
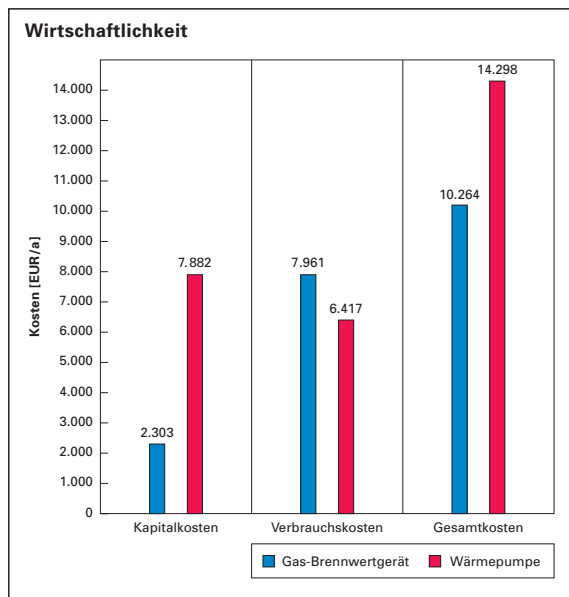
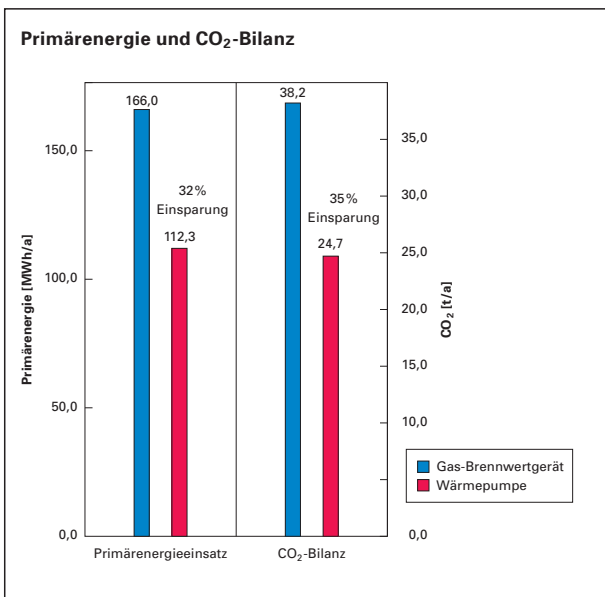
**Gebäudeenergiebedarf:**
**Wärme**  
45 MWh

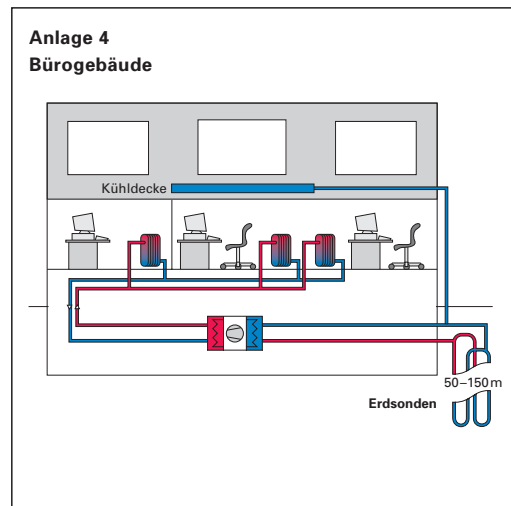
**Kälte**  
110 MWh

**Jahresarbeitszahl**  
3,8

PRIMÄRENERGIE UND CO<sub>2</sub>

WIRTSCHAFTLICHKEIT

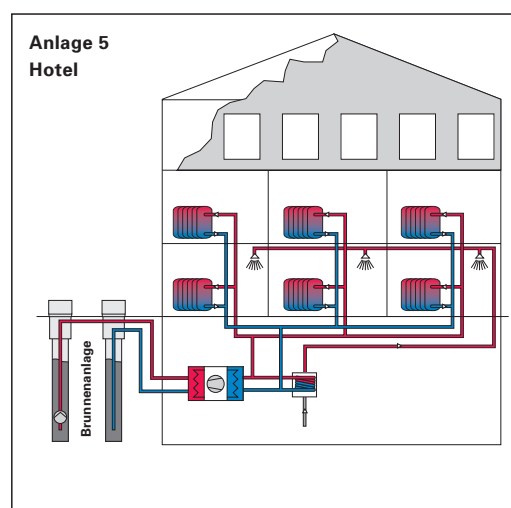


**SCHLTSCHEMA  
DER WÄRMEPUMPENANLAGE**

**BESCHREIBUNG**

- Bürogebäude - Neubau nach NEH-Standard, EnEV-Nachweis - beheizte Nutzfläche 8.300 m<sup>2</sup>
- Zentrale Wärmepumpenanlage, Heizung über Wärmepumpe, Kühlung direkt über Erdsonden
- Niedertemperaturwärmequelle: 1.900 m Erdsonden
- 8.300 m<sup>2</sup> Niedertemperaturheizflächen

**ENERGIE**
**Gebäudeenergiebedarf:**
**Wärme**  
187 MWh

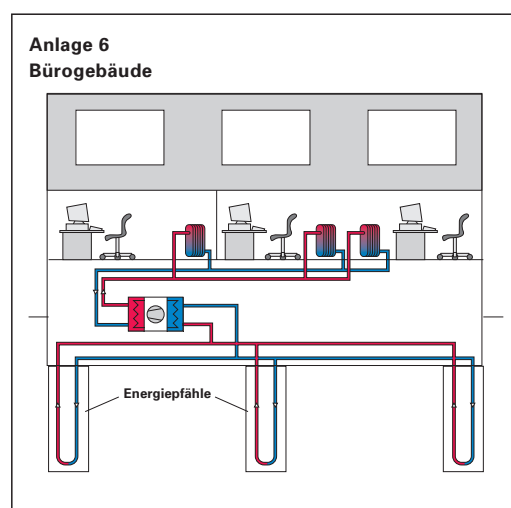
**Kälte**  
249 MWh

**Jahresarbeitszahl**  
4,0


- Hotel - Neubau nach NEH-Standard, 25 % unter WSVO '95 - mit 4.000 m<sup>2</sup> beheizter Wohnfläche
- Zentrale Wärmepumpenanlage mit 184 kW<sub>el</sub> Kompressionswärmepumpe
- Niedertemperaturwärmequelle: Grundwasserbrunnen
- Niedertemperatur-Heizsystem

**Gebäudeenergiebedarf:**
**Wärme**  
240 MWh

**Kälte**  
-

**Jahresarbeitszahl**  
4,1


- Bürogebäude - Neubau nach NEH-Standard, 25 % unter WSVO'95 - mit 3.000 m<sup>2</sup> beheizter Nutzfläche
- Zentrale Wärmepumpenanlage mit 100 kW<sub>el</sub> Kompressionswärmepumpe
- Niedertemperaturwärmequelle: 5.000 m<sup>2</sup> Wärmetauscherrohre in Gründungspfählen
- Niedertemperatur-Heizsystem

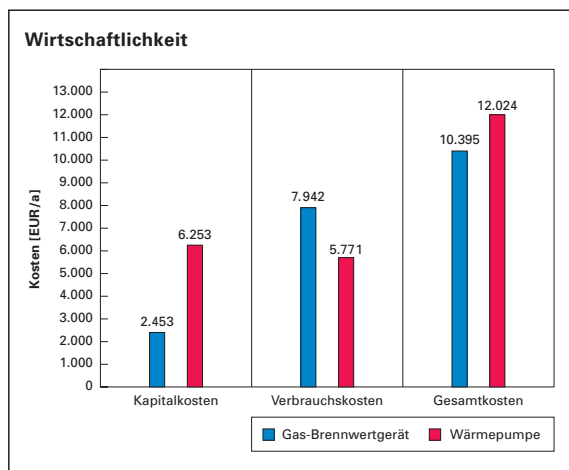
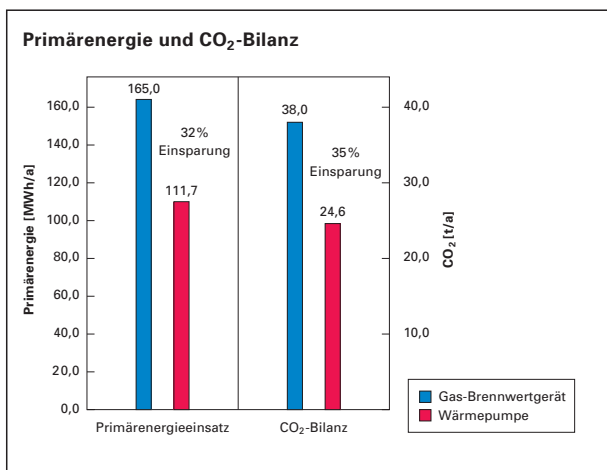
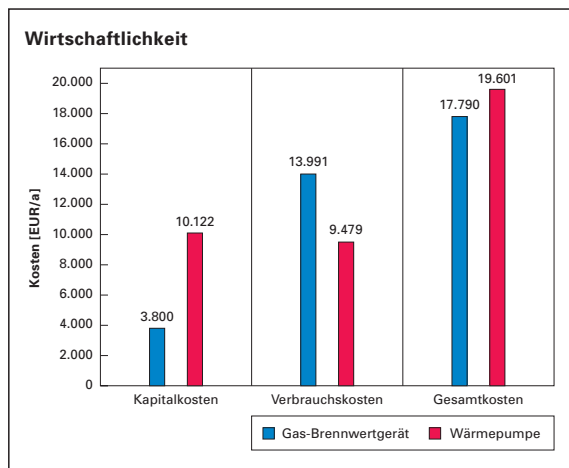
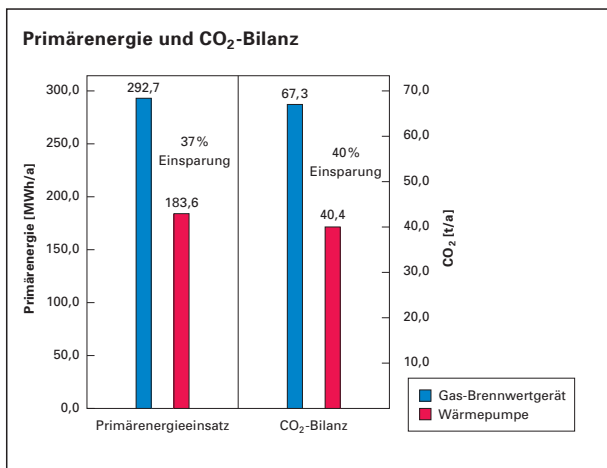
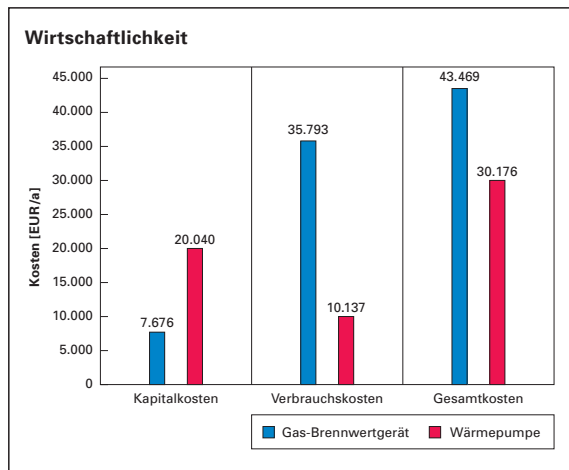
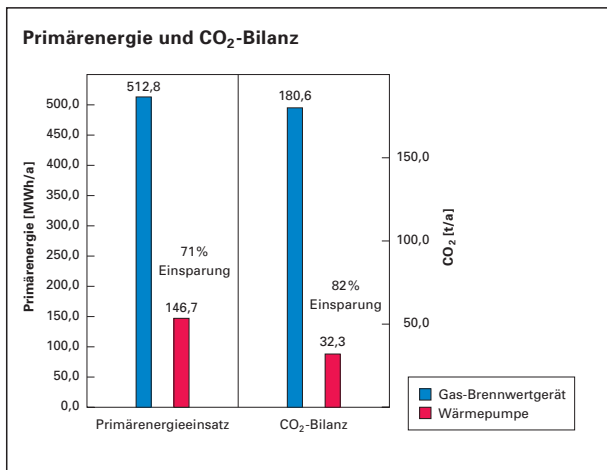
**Gebäudeenergiebedarf:**
**Wärme**  
135 MWh

**Kälte**  
-

**Jahresarbeitszahl**  
3,8

PRIMÄRENERGIE UND CO<sub>2</sub>

WIRTSCHAFTLICHKEIT



## Der Weg zur Realisierung

### PLANUNG

Sie möchten auf die Umweltwärme – gespeicherte Sonnenenergie – als Energieträger der Zukunft setzen?

Mit einigen einfachen Fragen, die Sie selbst beantworten können, ist leicht herauszufinden, ob eine Wärmepumpe für Ihr Objekt überhaupt in Frage kommt. Tut sie das, so sollte möglichst früh ein Fachmann eingeschaltet werden. Er ermittelt die Grundlagen und kann sehr schnell beurteilen, welche Technik in Ihrem individuellen Fall sinnvoll ist.

#### Fragen:

- Hat Ihr Gebäude/Objekt/Betrieb einen gleichzeitigen Wärme- und Kältebedarf?
- Steht für Ihr Objekt eine leicht zu erschließende kostengünstige Wärmequelle (z. B. Industrieabwärme, Grundwasser, Oberflächenwasser) zur Verfügung?
- Ist oder wird Ihr Objekt/Gebäude mit einem Niedertemperatur-Heizflächensystem ausgeführt?

Wenn Sie eine dieser Fragen mit Ja beantworten können, ist meist schon die Hauptvoraussetzung für eine Wärmepumpenanlage erfüllt.

Ausreichende Räume, die für die Installation der Wärmepumpe in Frage kommen, sind in den meisten Fällen vorhanden. Eine Wärmepumpe benötigt kaum mehr Platz als ein konventioneller Wärmeerzeuger mit Gas. Im Vergleich zu einer Ölheizung entfällt der Öl-Vorratsraum.

Auslegungsrichtlinien für Wärmepumpenanlagen lassen sich eigentlich nur im Ein- und Zweifamilienhausbereich angeben. Für größere Objekte sollte auf alle Fälle von einem Fachmann zunächst eine Grobdimensionierung der Wärmepumpenanlage durchgeführt werden.

Mit diesen Vorplanungsergebnissen können belastbare Aussagen über die zu erwartende Jahresarbeitszahl und das Energieeinsparpotential gemacht werden. Zusammen mit einer Investitionsschätzung für die Anlagentechnik ist so eine Wirtschaftlichkeitsberechnung möglich.

Wer in eine Wärmepumpenanlage investiert, kann finanzielle Förderungen von Bund, Land und/oder Energieversorgern in Anspruch nehmen. Einen Überblick über die aktuellen Förderprogramme enthalten die Broschüren des Informationszentrums Energie im Wirtschaftsministerium.

### CONTRACTING

Für den Fall, dass Sie die Wärmepumpenanlage nicht selbst finanzieren möchten, bietet sich das Energie-Contracting an. Ein Betreiber investiert dabei in die Anlage und liefert die Wärme und evtl. auch die Kälte zu vertraglich vereinbarten Preisen über einen festgelegten Zeitraum. Danach kann die Anlage auf den Betreiber übergehen.

Voraussetzung, dass die Wärmepumpenanlage im Betrieb auch die vorausberechnete Jahresarbeitszahl erreicht, ist selbstverständlich eine sorgfältige Planung. Wie bei allen Bauleistungen ist ebenso entscheidend, dass die Ausführung von erfahrenen Unternehmen entsprechend der Planung umgesetzt wird. Bei großen Anlagen sollte daher auf einen bauüberwachenden Ingenieur nicht verzichtet werden.

Dieser kann vor Abnahme der Bauleistungen mit entsprechenden Messgeräten Funktions- und Leistungsfähigkeit der Anlage überprüfen.

Die Leistungsfähigkeit und die Wirtschaftlichkeit der Wärmepumpenanlage sind eng mit der finanziellen Förderung durch Bund, Länder, Energieversorger usw. verknüpft. Das Wärmepumpen-Gütesiegel D-A-CH fordert die Einhaltung von Leistungszahlen (COP), abhängig von der Niedertemperatur-Wärmequelle. Die aktuellen Zahlen für den Betriebszustand W35 (d. h. Nutzwärme des Heizwassers 35 °C) können der Tabelle 5 entnommen werden. Die Bezeichnung der Wärmequelle besteht aus einer Abkürzung für den Wärmeträger (A=Luft, B=Sole, W=Wasser) und einer Temperaturangabe.

**Tabelle 5:** Mindestjahresarbeitszahlen von elektrischen Wärmepumpenheizanlagen

Wärmequelle	COP
Luft/Wasser A 2	3,0
Luft/Luft A 20	
Sole/Wasser B 0	4,0
Wasser/Wasser W 10	4,5

## GENEHMIGUNGSVERFAHREN

Bei der Planung von Niedertemperatur-Wärmequellen für Wärmepumpen, insbesondere bei der Nutzung von Grundwasser und bei der Niederbringung von Erdwärmesonden, ist in den meisten Fällen eine bau- und wasserrechtliche Genehmigung erforderlich.

Das aktuelle Genehmigungsverfahren wurde ganz wesentlich vereinfacht und beschleunigt. Infos und Hilfestellung geben:

- das jeweils zuständige Landratsamt
- der Leitfaden zur Nutzung von Erdwärme mit Erdsonden des Umweltministeriums Baden-Württemberg, AP: Herr Pasler
- das Merkblatt „Wasserrechtliche Anforderungen an geothermische Anlagen“ vom Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Raumordnung, Land Brandenburg
- die VDI-Richtlinie 4640 „Thermische Nutzung des Untergrundes, Erdgekoppelte Wärmepumpenanlagen“

## STAATLICHE FÖRDERUNG UND INFORMATIONSTELLEN IN BADEN-WÜRTTEMBERG

Die Bundesregierung und das Land Baden-Württemberg fördern durch verbilligte Darlehen und Zuschüsse die rationelle Energienutzung und den Einsatz erneuerbarer Energiequellen. Gefördert werden bestimmte energiesparende Investitionen durch zinsgünstige Kredite oder Zuschüsse. Was gefördert werden kann, ist im Einzelnen den Förderrichtlinien zu entnehmen.

Ebenfalls vom Land Baden-Württemberg bzw. der Bundesregierung werden Energieberatungen und Energie-Kurzberatungen gefördert. Sowohl das RKW Baden-Württemberg (Rationalisierungs- und Innovationszentrum der Deutschen Wirtschaft e.V.), wie auch das Wirtschaftsministerium, geben hierüber Auskünfte.

Das Informationszentrum Energie des Wirtschaftsministeriums hat entsprechendes Informationsmaterial über mögliche Finanzhilfen zur Energieeinsparung und zum Einsatz erneuerbarer Energien aufbereitet und hilft darüber hinaus in allen Fragen der rationellen Energieanwendung und der erneuerbaren Energienutzung.

Weiter stehen die Berater bei den Förderstellen, Banken, Kammern, Verbänden, Energielieferanten u. a. zur Verfügung. Eine Auswahl von Informationsstellen in Baden-Württemberg sind im Anhang 1 aufgelistet (Seite 28). Beispielhaft zu nennen sind:

### ZSW

Zentrum für Sonnenenergie und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg, Stuttgart und Ulm  
Internet: [www.zsw-bw.de](http://www.zsw-bw.de)

### FIZ

Fachinformationszentrum Karlsruhe  
Projektgruppe Energie und Umwelt  
Internet: [www.fiz-informatonsdienste.de](http://www.fiz-informatonsdienste.de)

### WPZ

Wärmepumpentestzentrum an der interstaatlichen Hochschule für Technik Buchs/Ostschweiz  
Internet: [www.ntb.ch](http://www.ntb.ch)

### BWP

Bundesverband WärmePumpe (BWP) e.V., München  
Internet: [www.waermepumpe-bwp.de](http://www.waermepumpe-bwp.de)

Das Informationszentrum Karlsruhe sammelt und veröffentlicht alles rund um die Wärmepumpe.

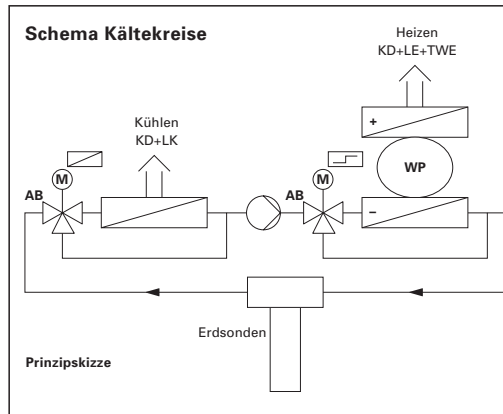
Das Internationale Wärmepumpen Gütesiegel D-A-CH wurde gemeinsam vom Bundesverband WärmePumpe (BWP) e.V. in Deutschland sowie von den Organisationen in Österreich und in der Schweiz entwickelt, um die Qualität von Wärmepumpen zu sichern. Bei der Bewertung der Geräte werden Anforderungen u. a. an Leistung, Technik, Sicherheit, Dokumentation, Kundendienst und Garantie gestellt.

## Erfahrungen mit Projekten aus der Praxis

### Büro- und Verwaltungsgebäude

- Das Gebäude in Filderstadt-Bernhausen beherbergt in den ersten vier Geschossen Büros und im 4. Obergeschoss ein Fitnesscenter. Das Gebäude wurde im September 2003 bezogen. Die Hauptnutzfläche beträgt 2.500 m<sup>2</sup>, die Bruttogeschossfläche 3.000 m<sup>2</sup> (Bild 2a).

**Bild 2a:**  
Büro- und Verwaltungsgebäude (Quelle: S + E Klima Sonder-technik)



**Bild 2b:**  
Schema Kältekreise (Quelle: S + E Klima Sonder-technik)

**Bild 2c:**  
Erdsonden-einbau (Quelle: S + E Klima Sonder-technik)



- Die monovalent betriebene Sole/Wasser-Wärmepumpe hat eine Heizleistung von 120 kW. Es wurden zwei getrennte Kältekreise mit einem zweistufigen, elektrisch angetriebenen Kompressor eingebaut (siehe Bild 2b). Als Wärmequelle bzw. Wärmesenke dient das Erdreich. Über eine Erdsondenanlage mit 15 Sonden und einer Länge von je 100 m wird dem Untergrund Wärme entzogen bzw. zugeführt (Bild 2c).
- Die temperierten Deckenflächen geben die Wärme- bzw. Kälteenergie nahezu zu 50 % durch Strahlung und 50 % durch Konvektion ab. Um ein häufiges Takten der Wärmepumpe zu vermeiden, wurde ein 800-l-Pufferspeicher eingebaut.
- Der große Warmwasserbedarf des Fitnessstudios wird über zwei 1.000-l-Trinkwassererwärmer gedeckt. Die Speicher werden zum einen über die Solaranlage und zum anderen über die Wärmepumpe beheizt.

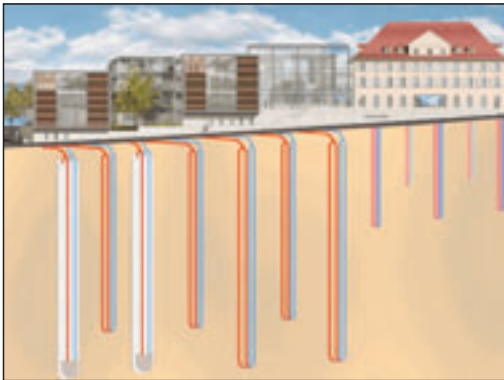
### Sparkasse Donaueschingen

- Bei der Sparkassenzentrale in der Stadtmitte Donaueschingens wird eine Wärmepumpe im Winter zur Heizungsunterstützung eingesetzt. Im Sommer findet eine monovalente, direkte Kühlung über das Erdsondenfeld statt (Bild 3).
- Die Abfuhr von Kühllasten im Sommer erwärmt das Erdreich. Es findet so eine Regeneration des Sondenfeldes statt. Im folgenden Winter ist dies von Vorteil, da die Wärmepumpe auf ein „erwärmtes“ Erdreich zugreifen kann.
- Fünf Klimaanlagen werden im Sommer über das Erdsondenfeld gekühlt. Diese gewährleisten, dass bei 32 °C Außentemperatur angenehm gekühlte Luft mit 22 °C zur Verfügung steht.

- Die installierte Anlage der Sparkasse weist folgende technischen Parameter auf:

Gebohrte Erdsondenmeter:	5.670 m
Anzahl Erdsonden:	56 Stk.
Wärmeträgerfluid:	Wasser
Kälteleistung:	275 kW
Kälteenergie pro Jahr:	150 MWh
Heizleistung Wärmepumpe:	110 kW
Heizenergie pro Jahr über WP:	225 MWh
Thermoaktive Decken zum Kühlen und Heizen:	3.500 m <sup>2</sup>
gekühltes Luftvolumen RLT-Anlagen:	40.000 m <sup>3</sup> /h

**Bild 3:**  
Gebäude  
Sparkassen-  
zentrale  
Donau-  
eschingen  
(Quelle:  
Systherma)



- Durch diese Anlage kann im Vergleich zu einer konventionellen Beheizung des Gebäudes über Erdgas sowie einer konventionellen Kälteversorgung über eine Kältemaschine der CO<sub>2</sub>-Ausstoß um rund 35 Tonnen pro Jahr reduziert werden (gesamtökologisch im Vergleich zu einem Kraftwerksmix 75 % Kohle, 25 % Kernenergie).

#### Wohnbau Bücklestraße Konstanz

- Der traditionsreiche Spar- und Bauverein Konstanz eG realisierte in der Bücklestraße in Konstanz ein zukunftsweisendes Wohnbauprojekt im Niedrigstenergie- bzw. 3-Liter-Standard (Bild 4a).



**Bild 4a:**  
Wohnbau  
Bücklestraße  
Konstanz  
(Quelle: PKi)

- 40 Wohneinheiten, mit einer Wohnfläche von insgesamt 4.000 m<sup>2</sup>, aufgeteilt auf fünf Baukörper, besitzen einen überdurchschnittlichen Wärmeschutz und werden über eine gemeinsame Technikzentrale mit Wärme aus Solarenergie, Erdwärme und Gas versorgt (Bild 4b).



**Bild 4b:**  
Sonnen-  
kollektoren  
(Quelle: PKi)

- Die Erdwärmesondenanlage hat eine Tiefe von bis zu 160 m und weist eine Gesamtlänge von 750 m auf. Die Wärmepumpe besitzt eine thermische Leistung von 40 kW. Um Spitzenlasten abzudecken, wird ein Gaskessel mit 130 kW nachgeschaltet (Bild 4c).

**Bild 4c:**  
Erdsonden-  
bohrung  
(Quelle: PKi)



- Die Wärmepumpe, die 120 m<sup>2</sup> großen Fassadenkollektoren und der Gas-Spitzenkessel beladen einen 6 m<sup>3</sup> großen Pufferspeicher, an den die Fußbodenheizung und die einzelnen Trinkwasserstationen der Wohneinheiten angeschlossen sind.
- Für die kontrollierte Be- und Entlüftung der Wohneinheiten sorgt in jedem Gebäude ein zentrales Lüftungsgerät mit Wärmerückgewinnung. Die Außenluft wird über ein Erdreich-Register vorkonditioniert.

**Bild 4d:**  
Wärmepumpe  
(Quelle: PKi)



- Die Sole/Wasser-Wärmepumpe wird seit Frühjahr 2004 messtechnisch erfasst und arbeitete im Zeitraum 3/04 bis 2/05 mit einer Arbeitszahl von 4,6 (Bild 4d).  
Die Investition für die Wärmepumpe lag bei 12.000 €, die für die Erdsonden bei 50.000 €.

## Seniorenwohnanlage

- Für die Landeshauptstadt Stuttgart – Eigenbetrieb Leben & Wohnen – wurde 1997/1998 in Stuttgart-Rohr eine Seniorenanlage mit 71 Wohneinheiten und einer Wohnfläche von 3.660 m<sup>2</sup> erstellt (Bild 5). Die Anlage wurde von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) gefördert und wurde aus Mitteln der Rudolf-Schmid- und Hermann-Schmid-Stiftung finanziert. Die Landesentwicklungsgesellschaft Baden-Württemberg mbH (LEG) hat das Projekt als Baubetreuer für die Landeshauptstadt Stuttgart realisiert.



**Bild 5:**  
Senioren-  
wohnanlage

- Die Beheizung des Gebäudes erfolgt über Fußbodenheizung. In den Bädern sind zusätzlich Heizkörper installiert.
- 185 m<sup>2</sup> Solarkollektoren und eine Elektro-Wärmepumpe mit einer thermischen Leistung von 175 kW liefern die Wärme in zwei 5.000-l-Pufferspeicher. In der kalten Jahreszeit erfolgt eine Nachheizung über Elektro-Feststoffspeicher.
- Die Wärmepumpe entzieht dem Erdreich über 28 vertikale Erdwärmesonden mit einer Tiefe von je 100 m Umweltwärme und „pumpt“ sie auf ein nutzbares Temperaturniveau von 50 °C.
- Die Anlage wird seit Inbetriebnahme im April 1998 vermessen. Die Arbeitszahlen von Oktober '98 bis März '99 lagen bei ca. 3.

## Quellennachweis

1. W. Hässig: Regeneration von Erdsonden, Forschungsprogramm Umgebungs- und Abwärme, Wärme-Kraft-Kopplung (UAW), Bundesamt für Energiewirtschaft, Schweiz 1998
2. H. Kruse: Heizen mit Wärmepumpen, Fachinformationszentrum Karlsruhe, 1997
3. T. Hackensellner: Wärmepumpen, VDI/GET, Düsseldorf, 1996
4. Wärmepumpeninstallation, RWE Energie, Essen, 1998
5. Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen 1/2004
6. fFE/TU München 1/2004
7. DIW 7/2004
8. BWP e.V. aus IZW-Wärmepumpe aktuell 1/2004
9. Aktualisierung der Basisdaten für den Primärenergiebedarf und die Treibhausgasemissionen im Gebäudesektor zur ganzheitlichen Bewertung verschiedener Heizungssysteme, Endbericht, IZW e.V., Karlsruhe, 1999
10. Übersicht über Kältemittel/Börner, Claus, BINE Information
11. Leitfaden zur Nutzung von Erdwärme mit Erdsonden, Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg, Stuttgart 3/2005, Kontakt: Udo Pasler
12. Merkblatt „Wasserrechtliche Anforderungen an geothermische Anlagen“ vom Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Raumordnung, Land Brandenburg
13. VDI-Richtlinie 4640, Blatt 2 „Thermische Nutzung des Untergrundes, Erdgekoppelte Wärmepumpenanlagen“
14. Viessmann, Fachreihe Wärmepumpe, Allendorf (Eder), 2004
15. PKi Pfeil und Koch ingenieure, Stuttgart, 2002/2003
16. S + E Klima Sondertechnik, Stuttgart, 2003
17. BHKD, Almanach 2002
18. Systherma, Erdwärmesysteme, Starzach-Fellendorf, 2002

## Anhang 1

## Informations- und Beratungsstellen in Baden-Württemberg

Benennung	Ansprechpartner		
	Name	Telefon/Fax	E-Mail/Internet
Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg Theodor-Heuss-Str. 4, 70174 Stuttgart	Herr Bouse Herr Höflich	T 0711/123-2522 0711/123-2667 F 0711/123-2377	dieter.bouse@wm.bwl.de harald.hoeflich@wm.bwl.de www.wm.baden-wuerttemberg.de
Industrieverband Technische Gebäudeausrüstung Baden-Württemberg e.V., Burgenlandstr. 44 d, 70469 Stuttgart	Herr Meyer	T 0711/1353150 F 0711/814049	verband@itga-bw.de www.itga-bw.de
Verband der Elektrizitätswirtschaft Baden-Württemberg e.V. Stöckachstr. 48, 70190 Stuttgart	Herr Dr. Schneider	T 0711/267089 F 0711/267087	info@vdew-bw.de www.vdew-bw.de
Verband der Gas- und Wasserwerke Baden-Württemberg e.V. Stöckachstr. 48, 70190 Stuttgart	Frau Müller Herr Pfau	T 0711/2622980 F 0711/2624175	vgw-dvgw-bw@t-online.de www.dvgw.de
Verband für Energiehandel Südwest-Mitte e.V. Tullastr. 18, 68161 Mannheim	Herr Funke	T 0621/411095 F 0621/415222	info@veh-ev.de www.veh-ev.de
Großabnehmerverband Energie Baden-Württemberg e.V. Breitlingstr. 35, 70184 Stuttgart	Herr Rudolf	T 0711/23725-0 F 0711/23725-99	gav@gav-energie.de www.gav-energie.de
Klimaschutz- und Energieagentur Baden-Württemberg GmbH, Griesbachstr. 10, 76185 Karlsruhe	Herr Dr. Sawillion	T 0721/98471-0 F 0721/98471-20	info@kea-bw.de www.kea-bw.de
Landesverband der Baden-Württembergischen Industrie e.V. Zeppelinstr. 42-44, 73760 Ostfildern	Herr Bechinka	T 0711/4510316-12 F 0711/4510316-9	bechinka@lvi.de www.lvi.de
RKW Baden-Württemberg GmbH Königstr. 49, 70173 Stuttgart	Herr Sieger	T 0711/22998-0,-33 F 0711/22998-10	info@rkw-bw.de www.rkw-bw.de
Baden-Württembergischer Industrie- und Handelskammertag <i>Federführung für Fachthema Energie in BW</i> IHK Karlsruhe, Lammstr. 13-17, 76133 Karlsruhe	Frau Jeromin	T 0721/174-174 F 0721/174-144	linda.jeromin@karlsruhe.ihk.de www.karlsruhe.ihk.de
Ingenieurkammer Baden-Württemberg Zeller Str. 26, 70180 Stuttgart	Herr Volz	T 0711/64971-0 M 0172/7122904 F 0711/64971-55	ingkbw@ingenieure.de volz@fitlicht.de www.ingenieure.de
L-Bank - Wirtschaftsförderung Friedrichstr. 24, 70174 Stuttgart	Herr Rössing	T 0711/122-2642 F 0711/122-2515	info@l-bank.de www.l-bank.de
Landesverband Freier Immobilien- und Wohnungsunternehmen Baden-Württemberg e.V., Kronenstr. 51, 70174 Stuttgart	Herr Dr. Wentlandt	T 0711/8709973 F 0711/8709974	info@lfw-bw.de www.lfw-bw.de
Verband baden-württembergischer Wohnungsunternehmen e.V., Herdweg 52, 70174 Stuttgart	Herr Prof. Mutschler	T 0711/16345-0 F 0711/16345-45	info@vbw-online.de www.vbw-online.de
Verband Beratender Ingenieure VBI e.V., <i>Landesverband Baden-Württemberg</i> , Kanalstr. 1-4, 78532 Tuttlingen	Herr Dr. Ebner	T 0781/9138-0 F 0781/9138-38	buero.dr.ebner@t-online.de www.vbi.de
Fachinformationszentrum Karlsruhe, Hermann-von-Helmholtzplatz 1, 76344 Eggenstein-Leopoldshafen	Herr Dr. Lehmann	T 07247/808-355 F 07247/808-134	axel.lehmann@fiz-karlsruhe.de www.fiz-informationsdienst.de
Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg, Heßbrühlstr. 21 c, 70569 Stuttgart	Herr Dr. Rheinländer	T 0711/7870-235 F 0711/7870-200	info@zsw-bw.de www.zsw.de
Universität Stuttgart, IKE Lehrstuhl für Heiz- und Raumlufttechnik, Pfaffenwaldring 35/6a, 70569 Stuttgart	Herr Claus	T 0711/685-2090 F 0711/685-2096	gunther.claus@po.uni-stuttgart.de www.po.uni-stuttgart.de
Pfeil & Koch ingenieurgesellschaft Marienstr. 37, 70178 Stuttgart	Herr Pfeil Herr Koch	T 0711/674474-0 F 0711/674474-10	energie@pk-i.de www.pk-i.de

Weitere Informationsstellen: Förderbanken, Banken, Energielieferanten, Kammern, Verbände, Innungen, Kommunen, Energieagenturen u. a.