

# Umweltwärme effizient nutzen

Heizen  
mit  
Elektro-Wärmepumpen

Leitfaden  
für Bauherren  
und Architekten



Bundesamt für Konjunkturfragen

### **Herausgeber**

Bundesamt für Konjunkturfragen  
und INFOENERGIE

### **Autoren**

Arthur Huber, dipl. Masch. Ing. ETH,  
Basler & Hofmann, Zürich  
Huber Energietechnik, Jupiterstrasse 36  
8000 Zürich

Herbert Mösch, Energieing. NDS/HTL,  
Gerhard Wyttenbach, Masch. Ing. HTL,  
Pius Hüsler, Energieing. NDS/HTL,  
INFOENERGIE, Brugg

### **Schlussredaktion**

Margrit de Lainsecq, Oerlikon Journalisten

### **Projektbegleitung**

Dr. Charles Filleux, PACER-Programmleitung

### **Grafik**

Creadrom, Theo Klingele, Luzern

### **Layout und drucktechnische Realisation**

Education Design Sepp Steibli, Bern

Copyright© Bundesamt für Konjunkturfragen  
3003 Bern, Januar 1996.  
Auszugsweiser Nachdruck mit Quellenangabe er-  
laubt. Zu beziehen bei der Eidg. Drucksachen- und  
Materialzentrale, 3000 Bern (Best.-Nr. 724.260 d)

Form. 724.260 d 2.96 5000 U30238

# Inhaltsübersicht

---

|          |  |                       |
|----------|--|-----------------------|
| <b>1</b> | <b>Die Umwelt als Energiespenderin</b>                         | <b>5</b>              |
| 1.1      | «Aus eins mach drei»   | 5                     |
| 1.2      | Das Innenleben der Wärmepumpe                                  | 6                     |
| 1.3      | Wie kann die Effizienz einer Wärmepumpe umschrieben werden?    | 8                     |
| <b>2</b> | <b>Die Wärmepumpenheizung</b>                                  | <b>9</b>              |
| 2.1      | Die Wärmequellen   | 9                     |
| 2.2      | Die Leistungsregulierung der Wärmepumpe                        | 10                    |
| 2.3      | Die Wärmeverteilung  | 10                    |
| <b>3</b> | <b>Arbeitsmittel und Umweltbelastung</b>                       | <b>11</b>             |
| <b>4</b> | <b>Welche Systeme sind verbreitet?</b>                         | <b>13</b>             |
| 4.1      | Luft-Wasser-Wärmepumpen im monovalenten und bivalenten Betrieb | 13                    |
| 4.2      | Warmwasseraufbereitung mit Wärmepumpen                         | 18                    |
| 4.3      | Sole-Wasser-Wärmepumpensysteme                                 | 19                    |
| 4.4      | Wasser-Wasser-Wärmepumpensysteme                               | 21                    |
| <b>5</b> | <b>Vorgehens- und Planungshinweise</b>                         | <b>23</b>             |
| 5.1      | Die Checkliste für die Bauherrschaft                           | 23                    |
| 5.2      | Das Abnahmeprotokoll   | 24                    |
| <b>6</b> | <b>Wieviele kosten Wärmepumpenheizungen?</b>                   | <b>25</b>             |
| 6.1      | Investitionskosten: Beispiel neues Einfamilienhaus (EFH)       | 25                    |
| 6.2      | Investitionskosten: Beispiel Sanierung Mehrfamilienhaus        | 27                    |
| 6.3      | Die Wirtschaftlichkeit   | 29                    |
| <b>7</b> | <b>Glossar</b>   | <b>31</b>             |
| <b>8</b> | <b>Literaturhinweise</b>                                       | <b>35</b>             |
| <b>9</b> | <b>Kontaktadressen</b>   | <b>37</b>             |
|          | <b>Checklisten</b>   | <b>Umschlag 3 + 4</b> |

---



# 1 Die Umwelt als Energiespenderin

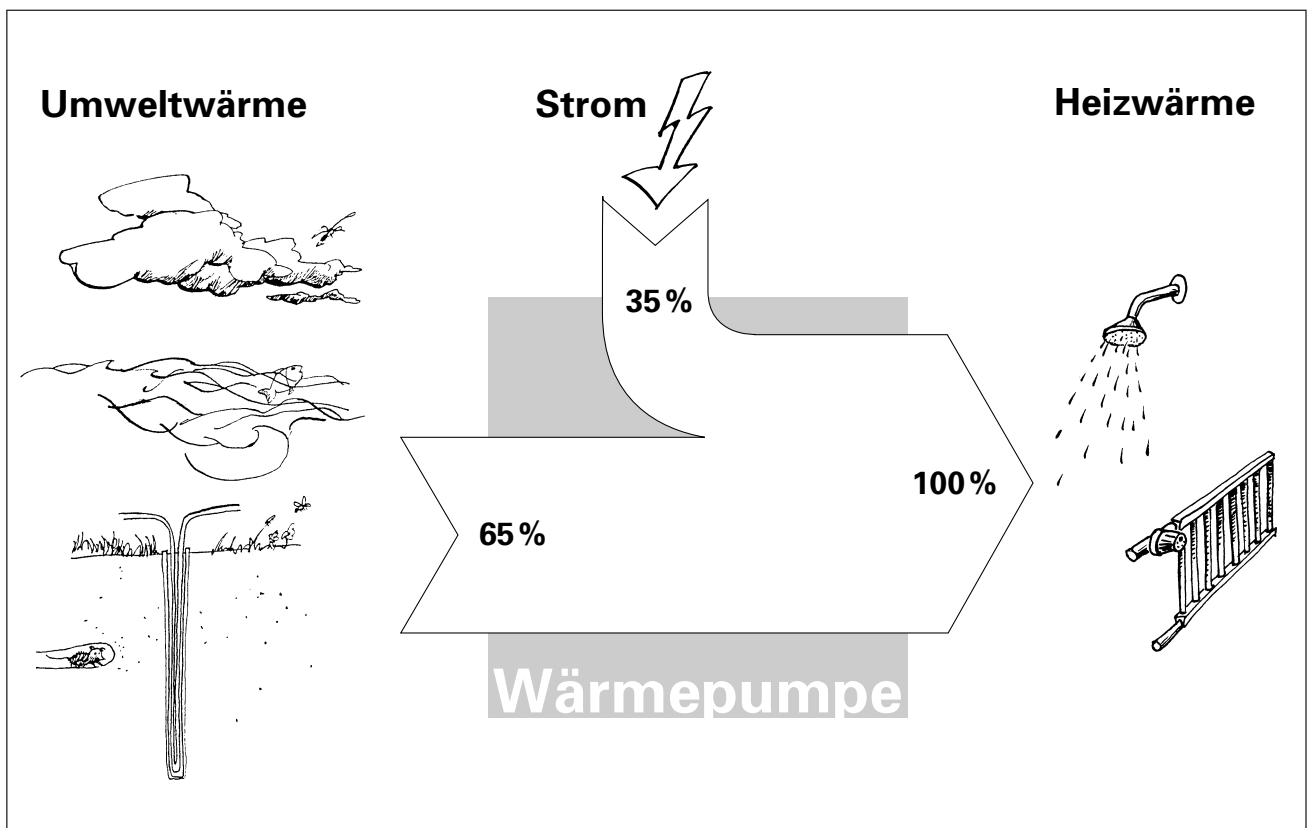
Die Sonne sendet unablässig riesige Energiemengen zur Erde, die Luft, Erdreich und Wasser erwärmen. Diese in Form von Wärme gespeicherte Sonnenenergie steht in fast unbegrenzten Mengen und das ganze Jahr hindurch zur Verfügung. Die drei Wärmequellen unterscheiden sich allerdings durch ihre verschieden hohen Jahresmitteltemperaturen und mehr oder weniger starke saisonale Temperaturschwankungen.

## 1.1 «Aus eins mach drei»

Der Wirkungsgrad von Heizsystemen, die mit Erdöl oder Erdgas betrieben werden, liegt immer unter 100 Prozent; die als Heizwärme nutzbare Energie ist kleiner als der Energieinhalt der Brennstoffe. Um 100 Prozent Raumwärme zu erzeugen, werden in der Regel etwa 120 Prozent Brennstoffe benötigt.

Bei Wärmepumpenanlagen ist das Verhältnis zwischen eingesetzter und nutzbarer Energie vorteilhafter: Aus einem Drittel Antriebsenergie in Form von elektrischem Strom werden 100 Prozent Raumwärme. Die zwei fehlenden Drittel bezieht die Wärmepumpe in Form von Umweltwärme von der Umgebung. Nicht berücksichtigt sind hier allerdings die Verluste, die bei der Stromerzeugung anfallen.

Energiefluss der Wärmepumpe

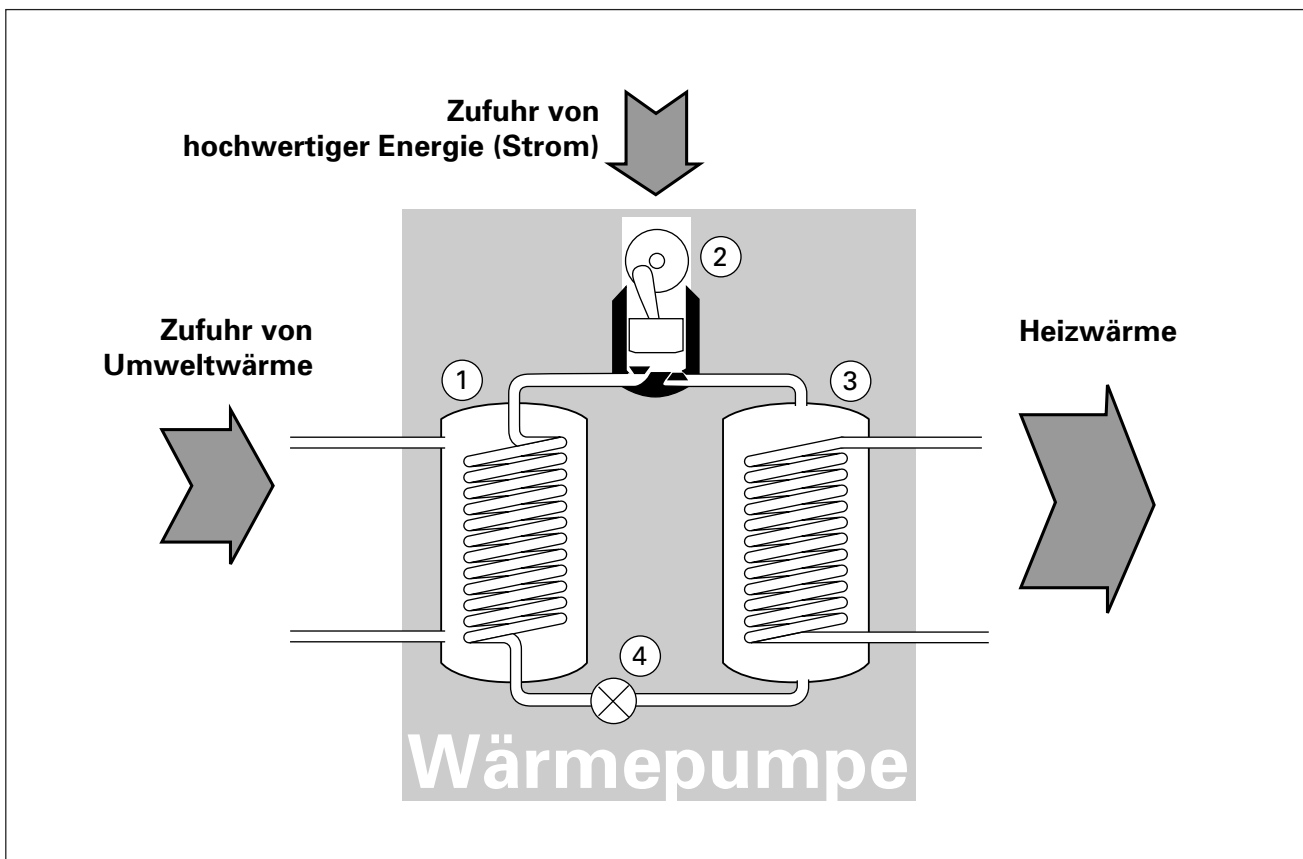


## 1.2 Das Innenleben der Wärmepumpe

Auch in kühler Winterluft steckt noch Energie, die aber, bevor sich damit heizen lässt, auf eine höhere Temperatur gebracht werden muss. Genau diese Aufgabe erfüllt die Wärmepumpe. Dazu sind ein Verdampfer [1], ein Verdichter (Kompressor [2]) und ein Verflüssiger (Kondensator [3]) notwendig. Als Transportmittel für die Wärme dient ein Arbeitsmittel, das in einem geschlossenen System zirkuliert und die Eigenschaft hat, bereits bei tiefen Temperaturen in einen dampfförmigen Zustand überzugehen.

Die Umweltwärme – in unserem Beispiel 2 °C kühle Luft – bringt das Arbeitsmittel im Verdampfer bei niedriger Temperatur zum Sieden. Das nun dampf- oder gasförmige Arbeitsmittel wird im Verdichter komprimiert und dadurch erhitzt. Für diesen Verdichtungsprozess ist Antriebsenergie, meistens elektrischer Strom, notwendig. Mit diesem Vorgang vergleichbar ist das Aufpumpen von Velopneus, nur dass hier Muskelkraft als Antriebsenergie dient: Die Luft wird komprimiert, die Pumpe wird warm. Im Verflüssiger wird die Wärme dann – dank Verdichtungsprozess jetzt auf einem Temperaturniveau von 40 bis 50 °C – an den Heizwasserkreislauf abgegeben. Dabei geht das Arbeitsmittel wieder in den flüssigen Zustand über, wird durch ein Expansionsventil [4] entspannt, und der Kreislauf beginnt von neuem. Der Vorgang wird deshalb als thermodynamischer Kreisprozess bezeichnet.

Kreisprozess der Wärmepumpe



Das Herzstück der Wärmepumpe ist der Verdichter. Im Leistungsbereich für Ein- und Mehrfamilienhäuser werden häufig hermetische Hubkolbenverdichter eingesetzt, die sich durch ihre kompakte Bauart, geringe Schallemissionen, die einfache Montage und einen günstigen Preis auszeichnen. In der Praxis hat sich dieser Verdichtertyp gut bewährt. Einziger Nachteil: Tritt ein Defekt auf, muss der ganze Verdichter ausgewechselt werden.



*Hermetischer Hubkolbenverdichter*

### 1.3 Wie kann die Effizienz einer Wärmepumpe umschrieben werden?

Die Leistungszahl gibt Auskunft darüber, wie effizient eine Wärmepumpe arbeitet. Sie ist abhängig von der Temperatur der Wärmequelle sowie der Differenz zwischen dieser und der Vorlauftemperatur des Heizwasserkreislaufs. Je höher und konstanter die Wärmequellentemperatur und je tiefer die notwendige Abgabetemperatur ist, desto besser ist die Leistungszahl. Aus diesem Grund eignen sich Fussbodenheizungen und grossflächige Heizkörper, die Vorlauftemperaturen von unter 45 °C erfordern, besonders gut für die Kombination mit einer Wärmepumpe.

**Leistungszahlen COP von 2 gelten als schlecht, solche von 4 als sehr gut.**

Zu beachten ist, dass die Wärmequellentemperatur in der Regel variiert und die Leistungszahl COP (Coefficient of performance) deshalb nur über den momentanen Betriebszustand Auskunft gibt. Wird die Leistungszahl zur Beurteilung und zum Vergleich verschiedener Wärmepumpensysteme herangezogen, müssen zuerst die Betriebsbedingungen definiert werden (beispielsweise Quellentemperatur: 2 °C, Abgabetemperatur: 35 °C). Beim Prüfen von Wärmepumpen nach Euronorm EN 255 ist die Leistungszahl ein wichtiger Kennwert. In der

*Wärmepumpe auf dem Prüfstand im Testzentrum Töss*



Schweiz erfolgt diese Prüfung der neu auf den Markt kommenden Geräte durch unabhängige Fachleute im Wärmepumpentestzentrum Töss bei Winterthur, das durch die Fördergemeinschaft Wärmepumpen Schweiz (FWS) betrieben wird (Adresse siehe Anhang).

Wer eine Wärmepumpe auswählt, will nicht nur über die momentane Leistung, sondern auch über das Betriebsverhalten während der ganzen Heizperiode Bescheid wissen. Diese Information vermittelt die Jahresarbeitszahl (JAZ): Sie gibt Auskunft über das Verhältnis zwischen der gesamten jährlich zugeführten Antriebsenergie und der jährlichen Wärmeabgabe, wobei auch der Verbrauch der Hilfsaggregate (z.B. Abtauung) mitberücksichtigt wird. Eine sorgfältige Planung und exakte Dimensionierung der Anlage garantiert eine hohe Jahresarbeitszahl und damit tiefe Stromkosten. Zur Ermittlung der JAZ muss die Wärmepumpenanlage mit entsprechenden Messinstrumenten ausgerüstet sein. Angaben über die JAZ verschiedener WP-Systeme finden Sie unter Kapitel 4.

#### **Empfehlung:**

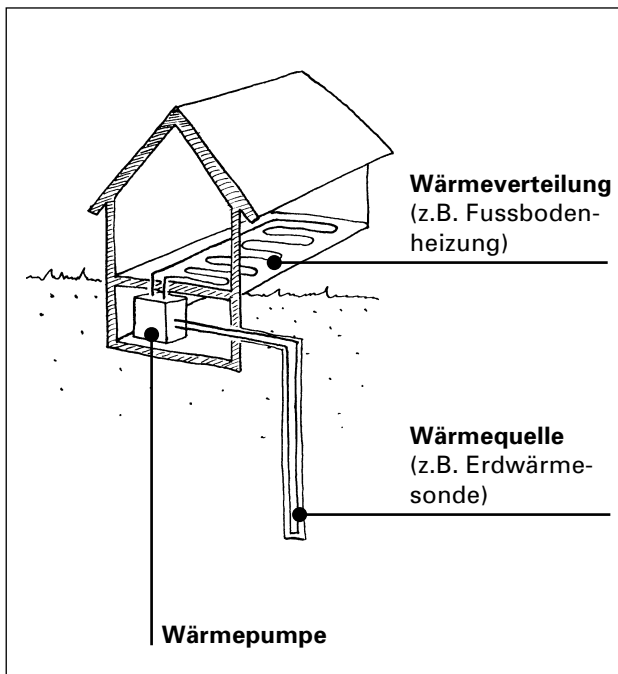
**Nur geprüfte Wärmepumpen einsetzen! Vom Installateur oder Wärmepumpenlieferanten für das gewählte Produkt Prüfnachweis mit Angabe der Leistungszahl verlangen. Im periodisch erscheinenden Mitteilungsblatt des Wärmepumpentest- und Ausbildungszentrums Winterthur-Töss (WPZ-Bulletin) sind die Leistungszahlen der geprüften WP-Typen ebenfalls aufgeführt.**



## 2 Die Wärmepumpenheizung

Zur Wärmepumpenheizung gehören:

- eine Wärmequelle,
- eine Wärmepumpe,
- die Wärmeverteilung,
- und manchmal übernimmt die Wärmepumpe auch die Warmwasseraufbereitung.



Die Wärmepumpenheizung

### 2.1 Die Wärmequellen

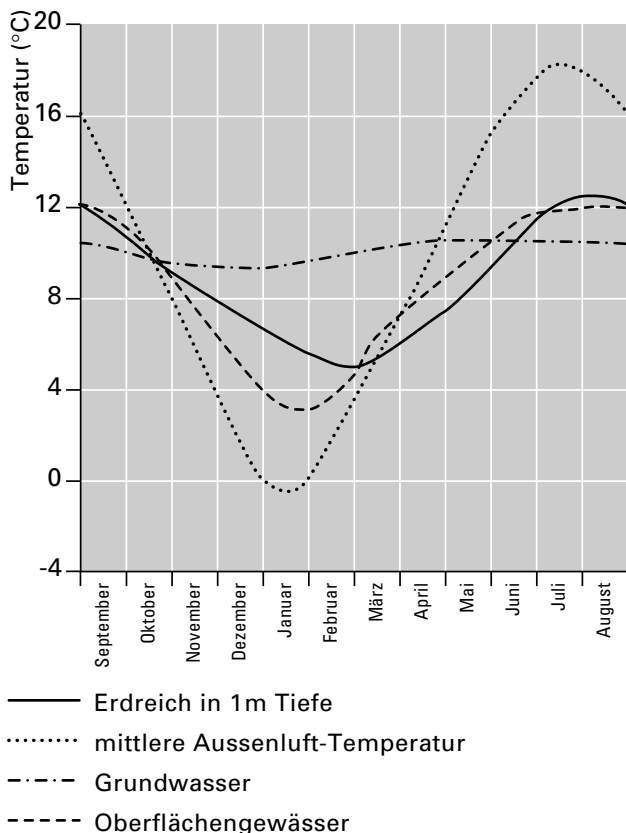
Folgende Wärmequellen werden durch Wärmepumpen genutzt:

- Grundwasser oder Oberflächenwasser,
- das Erdreich,
- Aussenluft,
- Abwärme aus industriellen oder gewerblichen Prozessen.

Aussenluft lässt sich fast überall einfach und problemlos als Wärmequelle nutzen. Grundwasser oder Oberflächenwasser dagegen sind nicht überall vorhanden; ihr Einsatz ist ausserdem bewilligungspflichtig und oft mit Auflagen verknüpft. Die im Erdreich gespeicherte Wärme lässt sich mit Erdwärmesonden (untiefe Geothermie) nutzen. Erdkollektoren – etwa einen Meter unter der Erdoberfläche verlegte Rohrschlangen – werden in der Schweiz nur noch selten realisiert.

Da die Effizienz von Wärmepumpenanlagen wesentlich davon abhängt, wie hoch und wie konstant die Temperatur der Wärmequelle ist, kommt der Wahl dieser Quelle grosse Bedeutung zu. Aussenluft weist im jahreszeitlichen Verlauf stark variierende Temperaturen auf; beim Erdreich und beim Wasser sind diese Schwankungen wesentlich geringer.

Unterschiede bestehen auch bei der spezifischen Wärmekapazität der verschiedenen Quellen. So können aus 1 m<sup>3</sup> Wasser, das um 5 °C abgekühlt wird, 5.8 kWh Wärme gewonnen werden, was dem Energieinhalt von 6 dl Heizöl entspricht. Um die selbe Wärmemenge aus Aussenluft zu gewinnen, müssen 3500 m<sup>3</sup> Luft – das entspricht dem Volumen von zwei Turnhallen – um 5 °C abgekühlt werden!



Der jahreszeitliche Temperaturverlauf verschiedener Wärmequellen

Der Einsatz von Wärmepumpensystemen, die nicht auf die zur Verfügung stehende Wärmequelle abgestimmt sind, hat negative Auswirkungen auf Betriebssicherheit, Leistung und Wärmeertrag der Anlage.

## 2.2 Die Leistungsregulierung der Wärmepumpe

Bei kleinen Wärmepumpen erfolgt die Leistungsregulierung durch Ein-Aus-Betrieb. Grössere Leistungen lassen sich durch die Kombination mehrerer kleiner Wärmepumpen-Aggregate erreichen –, dann erfolgt die Leistungsregulierung durch Zu- und Abschalten einzelner Aggregate –, oder es wird eine mehrzylindrige Grossanlage eingesetzt; die Anpassung der Leistung an den Bedarf erfolgt

durch Zu- und Abschalten einzelner Zylinder. Die Kombination mehrerer kleiner Aggregate macht beispielsweise in einer Wohnsiedlung Sinn, wenn nicht zum vornherein feststeht, wieviele Häuser an das Wärmepumpenheizsystem angeschlossen werden. Neuere Regelungskonzepte nutzen die Möglichkeit der Drehzahlsteuerung des Wärmepumpenkompressors. Damit lässt sich die Leistung jederzeit optimal auf den momentanen Bedarf ausrichten. Solche Systeme werden heute auch bereits für kleine Leistungsbereiche angeboten.

### Der Speicher

Damit das öffentliche Elektrizitätsnetz nicht übermässig beansprucht wird und an den Wärmepumpen kein Schaden entsteht, muss bei Systemen, die im Ein-Aus-Betrieb arbeiten, zu häufiges Einschalten vermieden werden. Dies geschieht durch den Einsatz technischer Speicher (Pufferspeicher), auf die nur in Ausnahmefällen verzichtet werden kann. Es handelt sich dabei um kleine Wasserspeicher, die mit der zeitweise vorhandenen Überschusswärme aufgeheizt werden.

Wärmespeicher sind grösser als technische Speicher und werden zur Überbrückung betrieblich bedingter Unterbrüche eingesetzt (Sperrzeiten von Elektrizitätswerken). Genügt in der Praxis meist ein technischer Speicher, so ermöglicht ein Wärmespeicher die Kombination mit anderen Wärmeerzeugern, zum Beispiel mit Sonnenkollektoren.

## 2.3 Die Wärmeverteilung

Niedertemperatur-Wärmeverteilungssysteme bieten sich für die Kombination mit Wärmepumpen an. Sie sollten so dimensioniert sein, dass die benötigte Heizungsvorlauftemperatur bei einer Aussenlufttemperatur von  $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$  zwischen  $35\text{ }^{\circ}\text{C}$  und  $45\text{ }^{\circ}\text{C}$  liegt. Dies ist mit einer Fussbodenheizung problemlos und bei gut gedämmten Gebäuden auch mit grossflächigen Heizkörpern möglich. Bei älteren Wärmeverteilungssystemen, die Heizungsvorlauftemperaturen von über  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$  erfordern, muss von Fall zu Fall abgeklärt werden, ob der Einsatz einer Wärmepumpe möglich und sinnvoll ist.

## 3 Arbeitsmittel und Umweltbelastung

Als Trägermedium, das die Wärme sozusagen vom tiefen Temperaturniveau der Wärmequelle auf eine höhere Temperaturstufe «transportiert», erfüllt das Arbeitsmittel in der Wärmepumpentechnik eine zentrale Aufgabe. Bereits vor rund 20 Jahren wurde entdeckt, dass die Fluor-Chlor-Kohlenwasserstoffe (FCKW) eine Reaktion auslösen, die zur Zerstörung der Ozonschicht führt. Die FCKW-haltigen Arbeitsmittel tragen ebenfalls einen bedeutenden Teil zum Treibhauseffekt bei.

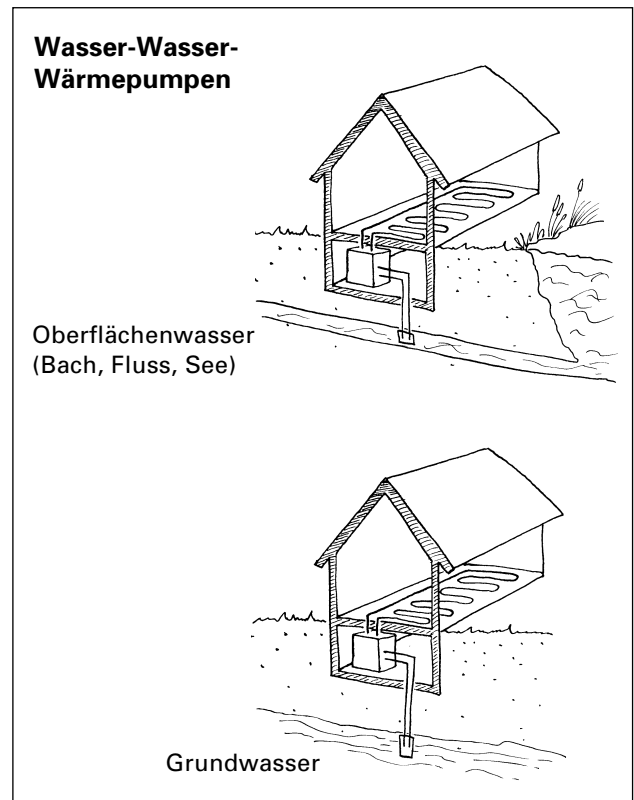
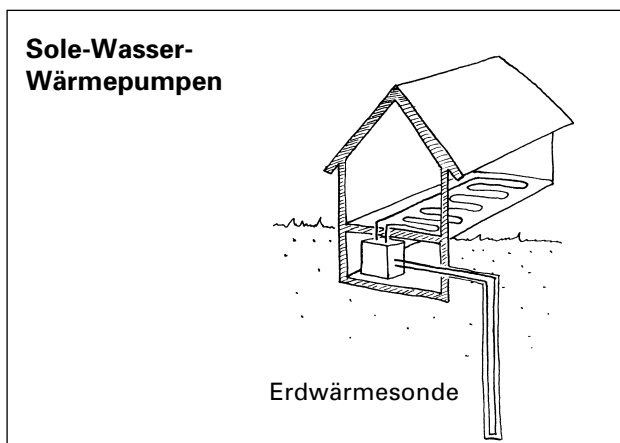
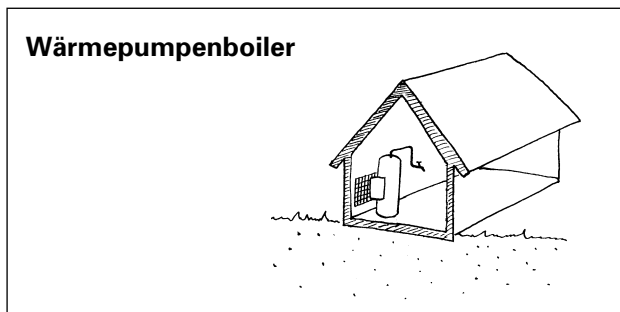
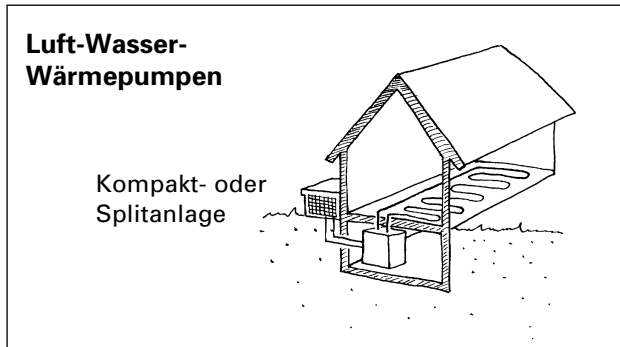
Umgang und Zulassung von Arbeitsmitteln werden durch die Verordnung über umweltgefährdende Stoffe geregelt, die vom Bundesrat im August 1991 in Kraft gesetzt wurde. Neben der Umweltverträglichkeit ist bei der Wahl des Arbeitsmittels auch die Heizungsvorlauftemperatur relevant; je nach Abgabetemperatur eignen sich unterschiedliche Arbeitsmittel. R12 und R502, zwei vollhalogenierte FCKW, die in der Wärmepumpentechnik weit verbreitet waren, sind seit dem 1. Januar 1994 in Neuanlagen verboten. Die chemische Industrie ist weltweit daran, Ersatzstoffe zu entwickeln und möglichst schnell auf den Markt zu bringen. Als Ersatzstoffe werden hauptsächlich Fluor-Kohlenwasserstoffe (FKW) wie zum Beispiel R134a und auch Kohlenwasserstoffe wie Isobutan (R600a) und Propan (R290) eingesetzt. R134a weist ähnliche physikalische Eigenschaften wie R12 auf und steht zur Zeit als Ersatzstoff im Vordergrund.

Untersuchungen im Auftrag des Bundesamtes für Energiewirtschaft haben gezeigt, dass ein Austausch des Arbeitsmittels bei bestehenden Anlagen möglich ist. Bei kleinen Anlagen kommt ein solcher Austausch allerdings aus Kostengründen kaum in Frage.

Als Übergangslösung wird heute oft R22 verwendet, ein teilhalogenierter FCKW, der ein relativ geringes Ozonzerstörungspotential, aber immer noch ein beachtliches Treibhauspotential besitzt, mit 45 bis 50 °C aber deutlich niedrigere Heizungsvorlauftemperaturen als R12 und R134a erreicht. In der Schweiz wird dieses Arbeitsmittel ab dem Jahr 2003 für Neuanlagen nicht mehr zugelassen. Neben den bis jetzt genannten synthetischen existieren auch natürliche Arbeitsmittel wie die bereits erwähnten Isobutan und Propan, aber auch Ammoniak: Sie haben den Vorteil, dass sie die Ozonschicht nicht gefährden und nicht treibhauswirksam sind. Ausserdem sind die Langzeiteffekte bei ihrem Einsatz gut bekannt. Diese Arbeitsstoffe werden jedoch bei Wärmepumpensystemen für den Wohnbereich erst vereinzelt eingesetzt, weshalb hier nicht näher darauf eingegangen wird. Ergänzende Informationen können beim Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) in Bern eingeholt werden (Adresse siehe Anhang).



## 4 Welche Systeme sind verbreitet?



### 4.1 Luft-Wasser-Wärmepumpen im monovalenten und bivalenten Betrieb

66 Prozent aller in der Schweiz installierten Wärmepumpensysteme nutzen als Wärmequelle die Aussenluft. Sie ist überall vorhanden und einfacher zu erschliessen als andere Arten von Umweltwärme; ausserdem braucht man, um sie zu nutzen, keine Bewilligung. Dagegen ist beim zuständigen Elektrizitätswerk eine Bewilligung für den Anschluss der Wärmepumpe einzuholen, was jedoch auch für alle anderen Anlagentypen gilt.

Luft-Wasser-Wärmepumpensysteme – «Wasser» steht für den Heizwasserkreislauf – kommen insbesondere auch bei Heizungssanierungen oft zum Einsatz. Sie zeichnen sich durch vergleichsweise tiefe Investitionskosten aus, während die Betriebskosten eher höher sind als bei anderen Wärmepumpenanlagen.

Folgende Punkte sind beim Einbau einer Luft-Wasser-Wärmepumpe zu berücksichtigen:

1. Wenn der Wärmebedarf am grössten ist, weist die Aussenluft die tiefsten Temperaturen auf – das hat einen negativen Einfluss auf die Effizienz der Anlage.
2. Der Aussenluft wird in der Wärmepumpe Wärme entzogen, kühle Luft wird dadurch noch kälter. Aus diesem Grund kann es bereits bei 6 °C Aussenlufttemperatur zu Eisansatz beim Verdampfer kommen, was eine Abtauvorrichtung notwendig macht. Für das anfallende Kondensat muss ein Ablauf vorgesehen werden.
3. Damit die grossen, benötigten Luftmengen keine Geräuschprobleme verursachen, müssen die Kanalquerschnitte der Zu- und Abluftkanäle genügend gross gewählt und allenfalls Schalldämmelemente eingebaut werden.
4. Systemwahl und Aufstellungsart (Innen- oder Aussenaufstellung des Verdampfers) haben Auswirkungen auf den Platzbedarf der Anlage.

### Der monovalente Betrieb

Deckt eine Wärmepumpenanlage den gesamten Heizenergiebedarf eines Hauses, spricht man von einem **monovalenten**, deckt sie nur einen Teil, von einem **bivalenten** Betrieb. Sofern ein Nieder-temperatur-Wärmeverteilsystem vorgesehen ist, lässt sich die Luft-Wasser-Wärmepumpe bei gut gedämmten Neubauten in der Regel als alleiniger Wärmeerzeuger einsetzen.

Indem die angesaugte Aussenluft vor der Zuführung zur Wärmepumpe durch ein Schotterbett oder erdverlegte Rohre geleitet und auf diese Weise vorgewärmt wird, lässt sich die Effizienz monovalenter Anlagen markant verbessern.

Weil der CO<sub>2</sub>-neutrale Energieträger Holz als umweltfreundlich gilt, und ein Cheminéeofen viel zur Gemütlichkeit beitragen kann, wird die Kombination von Wärmepumpe und Holzofen immer beliebter. Der meist lokale Cheminée- oder Zimmerofen

erlaubt es allerdings nicht, während der kältesten Jahreszeit, wenn die Luft-Wasser-Wärmepumpe schlechte Leistungszahlen aufweist, ganz auf Holz umzustellen; da die Wärme, in der Regel, nicht in alle Räume verteilt werden kann. Der Holzofen unterstützt die Wärmepumpe. Üblicherweise wird diese Variante in der Praxis ebenfalls als monovalent bezeichnet.

Vom ökologischen Standpunkt her weniger sinnvoll ist die Kombination mit einer elektrischen Zusatzheizung (Heizstab), die als «monoenergetischer» Betrieb bezeichnet wird. Wer nicht auf die Zusatzheizung verzichten kann, sollte darauf achten, dass diese nicht automatisch zuschaltet, sondern bewusst von Hand in Betrieb genommen werden muss. Der monoenergetische Betrieb zeichnet sich durch niedrige Investitionskosten aus, führt aber während der kältesten Tage im Jahr zu einer zusätzlichen Belastung des elektrischen Netzes und zu einer schlechteren Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe.

### Der bivalente Betrieb

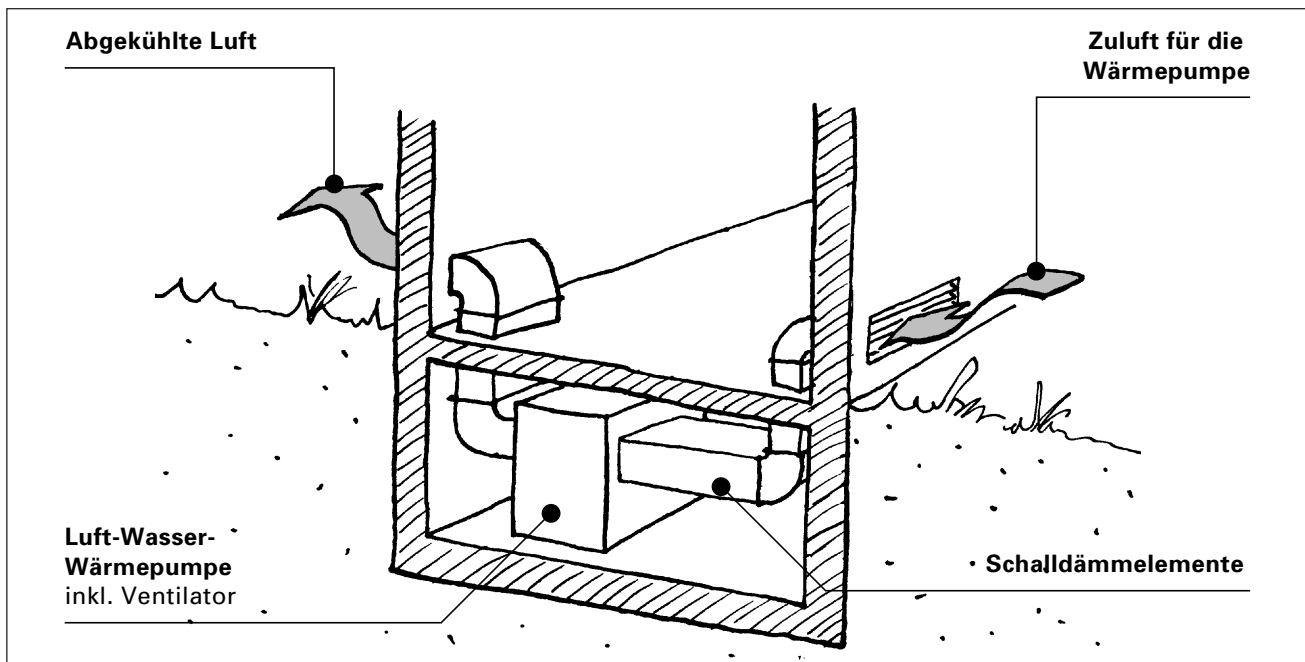
Bei Sanierungen von Heizungsanlagen wird die benötigte Heizungsvorlauf-temperatur zum entscheidenden Kriterium: Ist diese höher als 50 °C (bei älteren Anlagen), ist ein monovalenter Betrieb der Wärmepumpe nicht möglich. Beim bivalenten Betrieb unterstützt ein zweiter Wärmeerzeuger – oft ein bestehender Öl- oder Gaskessel – die Wärmepumpe. Ab einer bestimmten, als Umschalt- oder Bivalenzpunkt bezeichneten Temperatur wird der zweite Wärmeerzeuger unterstützend zugeschaltet oder ganz auf diesen umgestellt. Damit das energetische Optimum erreicht wird, sollte der Bivalenzpunkt zwischen +3 °C und –5 °C liegen. Die Wärmepumpe deckt bei der bivalenten Betriebsweise zwischen 50 und 80 Prozent des gesamten Heizbedarfs.

### Kompaktanlagen

Wenn Verdampfer und Wärmepumpe als Einheit angeordnet sind, spricht man von einer **Kompaktanlage**. Sie steht in der Regel im Heizungsraum und wird über einen Zuluftkanal mit Aussenluft versorgt. Nach dem Wärmeentzug im Verdampfer wird die abgekühlte Luft über einen Fortluftkanal wieder ins Freie geführt. Kompaktanlagen lassen sich beim Hersteller anschlussfertig zusammen-

bauen und mit dem Arbeitsmittel füllen. Vor Ort gilt es dann noch, dem Anschluss der Leitungen die nötige Beachtung zu schenken und bei der Aufstellung Körperschallprobleme auszuschliessen, indem zwischen Betonboden oder -wand und Anlage die nötige Dämmung vorgesehen wird. Wichtig

ist bei dieser Bauweise auch die geschickte Anordnung von Zuluft- und Abluftkanälen, beziehungsweise Ansaug- und Ausblasöffnung: Die bereits abgekühlte Luft darf nicht wieder angesaugt werden! Schalldämmelemente im Fortluftkanal verhindern störende Geräusche im Haus.



Schnitt durch Heizungskeller mit Kompaktanlage

### Aussenaufstellung

Bei Aussenaufstellung der Wärmepumpenanlage sind keine Zu- und Fortluftkanäle nötig. Der Anschluss an den Heizwasserkreislauf erfolgt durch zwei wärmegegedämmte Rohre für den Vor- respektive Rücklauf. Für die Aufstellung eignet sich ein Ort mit ungehindertem Luftzufluss in Hausnähe, aber nicht unmittelbar neben den Fenstern der Wohn- und Schlafräume (allfällige Schallimmissionen). Der Schallpegel der Geräte lässt sich den technischen Daten entnehmen.



Wärmepumpe Luft/Wasser für Aussenaufstellung

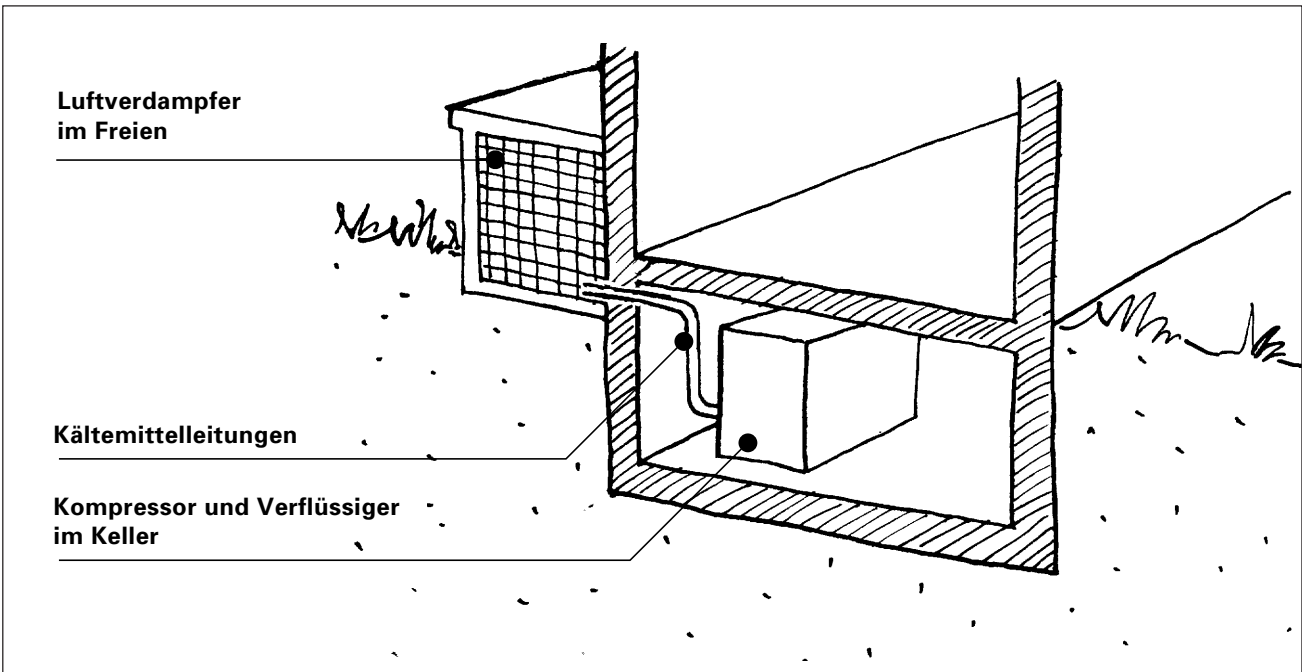




Aussenverdampfer

### Splitanlagen

Bei **Splitanlagen** steht der Verdampfer separat ausserhalb des Gebäudes. Dabei zirkuliert nicht Luft und nicht Heizwasser, sondern das Arbeitsmittel zwischen Haus und Aussenanlage – aufwendige und teure bauliche Massnahmen fallen auf diese Weise weg. Dafür muss die Wärmepumpe von einem Spezialisten vor Ort montiert werden: er verbindet den aussenstehenden Verdampfer mit dem im Haus untergebrachten Verdichter durch eine Arbeitsmittelleitung und füllt das Mittel, von dem bei dieser Variante eine grössere Menge notwendig ist, sorgfältig ein. Als Standort für den Verdampfer eignet sich zur Vermeidung von allfälligen Geräuschbelästigungen ebenfalls ein Platz in Hausnähe, aber genügend weit von Fenstern zu Wohn- und Schlafzimmern entfernt.



Splitanlage



### Die Kleinwärmepumpe

Die Kleinwärmepumpe zeichnet sich durch ihren bescheidenen Platzbedarf, ihren günstigen Preis und die einfache Installation aus: ein normaler 230-Volt-Anschluss genügt für das steckerfertig gelieferte Aggregat. Bedingt durch ihre kleine Heizleistung von rund 4 kW eignet sie sich als Ergänzung zu einer bestehenden Heizung. In einem gut gedämmten Haus mit einem Heizleistungsbedarf von rund 8 kW kann sie bis zu 70 Prozent des gesamten Heizenergieverbrauchs decken.



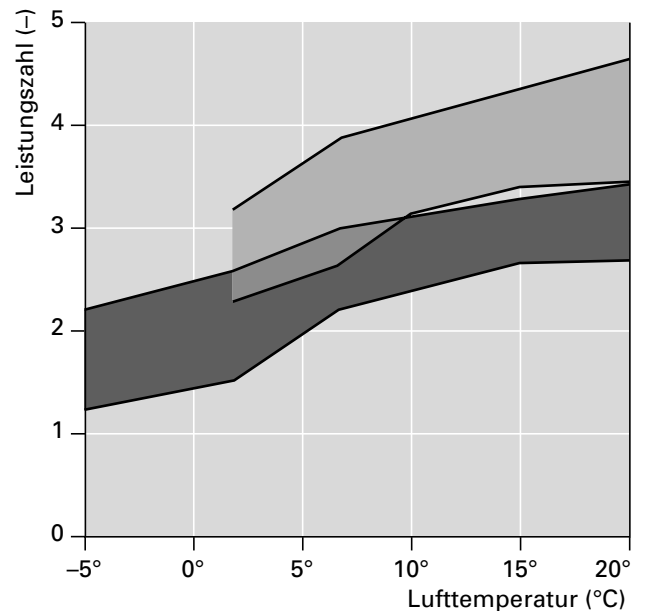
Kleinwärmepumpe

Die nachfolgende Tabelle und das Diagramm zeigen, welche Leistungs- und Jahresarbeitszahlen mit monovalenten respektive bivalenten Luft-Wasser-Wärmepumpensystemen erreichbar sind.

| Bauart                   | Leistungszahl* (COP) | Jahresarbeitszahl (JAZ) |
|--------------------------|----------------------|-------------------------|
| Luft-Wasser (monovalent) | 2.5–2.9              | 2.0–2.5                 |
| Luft-Wasser (bivalent)   | 3.1–4.1              | 2.5–3.5                 |

\* bezogen auf eine Vorlauftemperatur von 35 °C und eine Aussenlufttemperatur von 2 bis 10 °C  
Quelle: Testzentrum Töss

### Luft-Wasser-Wärmepumpen



Streubereich verschiedener Wärmepumpenfabrikate

■ Vorlauftemperatur 35 °C

■ Vorlauftemperatur 50 °C

Quelle: Testzentrum Töss

### Leistungszahlen

## 4.2 Warmwasseraufbereitung mit Wärmepumpen

Neben dem Raumwärmebedarf lässt sich mit einer Wärmepumpenanlage grundsätzlich auch der Warmwasserbedarf decken – zumindest teilweise: Die Wärmepumpe heizt den Boiler auf etwa 40 °C vor, dann wird elektrisch nachgeheizt. In Einfamilienhäusern mit ihrem verhältnismässig kleinen Wärmebedarf erfolgt allerdings die Warmwasseraufbereitung oft separat, damit die Wärmepumpe ausserhalb der Heizsaison abgestellt werden kann. Hier kann, ebenso wie in konventionell beheizten Häusern, ein Wärmepumpenboiler eingesetzt werden. Das Gerät, auch Stromsparboiler genannt, nutzt als Wärmequelle ebenfalls Aussenluft und spart auf diese Weise etwa die Hälfte des Stroms, den ein herkömmlicher Elektroboiler verbraucht. Da es sich um ein Kompaktgerät handelt, verursachen Aufstellung und Montage wenig Schwierigkeiten. Wichtig ist, dass für das anfallende Kondensat eine Ablaufmöglichkeit besteht, und dass der Boiler in einen ungeheizten, gegenüber geheizten Räumen gut wärmegeämmten Raum zu stehen kommt – sonst «klaut» die integrierte Wärmepumpe Heizenergie. Wie der Elektroboiler wird der Wärmepumpenboiler zu Niedertarif-Zeiten aufgeheizt; seine Leistungszahl liegt zwischen 2,5 und 2.8 (Luft 15 °C, Wasser 50 °C), die Jahresarbeitszahl zwischen 1.5 und 2.0.



Wärmepumpenboiler

### 4.3 Sole-Wasser-Wärmepumpensysteme

«Sole» bezeichnet hier nicht die primäre Wärmequelle, das Erdreich, sondern das Wasser-Glykol-Gemisch, das im geschlossenen Kreislauf zwischen Wärmequelle und Verdampfer zirkuliert. Der Glykol-Anteil ermöglicht es, auch Wärmequellen-temperaturen von unter 0 °C zu nutzen.

Unter den Systemen, die das Energiepotential des Erdreichs nutzen, genießt die Erdwärmesondenanlage – nach der Luft-Wasser-Wärmepumpe das am meisten verbreitete Wärmepumpensystem – die grösste Popularität. Es lässt sich fast überall realisieren; Einschränkungen bestehen in Wasserschutz- und Grundwasserzonen sowie in Gebieten mit trockenem Kies- oder Sand-Untergrund.

#### Die Bewilligung

Erdwärmesonden und Erdregister sind in den meisten Kantonen bewilligungspflichtig. Auskünfte sind, unter Angabe des geplanten Anlagenstandortes, beim kantonalen Gewässerschutzamt einzuholen. Einige Kantone verlangen zur Beurteilung in «kritischen Zonen» ein einfaches geologisches Gutachten. Für den Anschluss der Wärmepumpe ist beim zuständigen Elektrizitätswerk eine Bewilligung einzuholen.

#### Bestimmung der Sondenlänge

Bei Sole-Wasser-Anlagen ist die richtige Auslegung der Erdwärmesonden von zentraler Bedeutung: Nur wenn diese genügend gross dimensioniert werden, besteht die Gewähr, dass die geothermische Quelle nicht übernutzt wird und sich die Erdtemperaturen rund um die Sonden nach dem winterlichen Wärmeentzug im Sommer wieder regenerieren können. Pro Meter Sonde lassen sich dem Erdreich etwa 55 Watt Leistung entziehen. Stammen ein Drittel der Leistung aus der Steckdose und zwei Drittel aus dem Boden, sind pro Kilowatt Heizleistung also 12 Meter Sonden nötig. Bei ganzjährigem Wärmebezug müssen die Erdwärmesonden grosszügiger dimensioniert werden, weil dann die mögliche spezifische Entzugsleistung tiefer ist. Ein Meter Sonde kostet etwa 70 Franken (Preisstand 1995). Aufgerechnet auf ein Einfamilienhaus mit 10 kW Heizleistung ergibt das zwei Sonden à 60 Meter für rund 8400 Franken.



*Dank moderner Bohrtechnik stellt die Installation von Erdsonden kein Problem dar.*

#### Energiepfähle

Als spezielle Form der Erdwärmesonde kommt der Energiepfahl dann in Betracht, wenn für die Fundation des Gebäudes eine Pfahlgründung nötig ist: Ein Teil der Pfähle wird hier als Erdwärmesonden ausgebildet. Diese werden in gleicher Weise in das Wärmepumpensystem eingebunden wie herkömmliche Sonden.

#### Erdkollektoren

Erdkollektoren oder Erdregister nutzen nicht geothermische Wärme, sondern die in den oberen Erdschichten gespeicherte Umgebungswärme. Weil 0.8 bis 1.5 Meter unter dem Boden – tiefer hinunter reichen die horizontal angelegten Kollektoren

toren nicht – Sonneneinstrahlung, Regen und Ausenluftenflüsse die Temperatur bestimmen, werden bei diesen Anlagen die klimatischen Verhältnisse, die Bodenbeschaffenheit und die jährliche Betriebszeit zu entscheidenden Kriterien. Die grosse für die Kollektoren notwendige Bodenfläche (die Kollektorfläche muss zwei- bis dreimal grösser sein, als die zu beheizende Fläche), der damit verbundene, hohe finanzielle Aufwand und die eher niedrigen Jahresarbeitszahlen sind Gründe dafür, weshalb Erdkollektoren heute nur noch selten realisiert werden.

### Offene Systeme

Neben Anlagen, in denen ein Wasser-Glykol-Gemisch im geschlossenen Kreislauf durch eine kleine Förderpumpe von der Sonde zur Wärmepumpe und wieder zurückbefördert wird, existieren auch sogenannte offene Systeme: Hier dient reines Wasser als Wärmeträgermedium. Es wird mittels einer Tauchpumpe von dem mit lockerem Geröll angefüllten Bohrloch der Wärmepumpe zugeführt und nach dem Wärmeentzug «im freien Fall» wieder ins Bohrloch zurückgeleitet. Weil hier reines Wasser ohne Frostschutzmittel verwendet wird, darf die Temperatur nie unter 0 °C sinken, was Bohrungen von 400 Metern Tiefe bedingt. Aufgrund der dadurch verursachten hohen Kosten eignet sich dieses System nur für Anlagen ab 100 kW Leistung. Bei richtiger Planung und Ausführung lassen sich damit Jahresarbeitszahlen von etwa 3.5 erreichen.

### Erdsonden mit reinem Wasser

Vereinzelt werden auch geschlossene Systeme mit reinem Wasser betrieben. Wie bei offenen Systemen muss hier die Vereisungsgefahr durch tiefere Sonden gebannt werden: Das Resultat sind – bei richtiger Auslegung – bessere Leistungszahlen, aber auch höhere Investitionskosten.

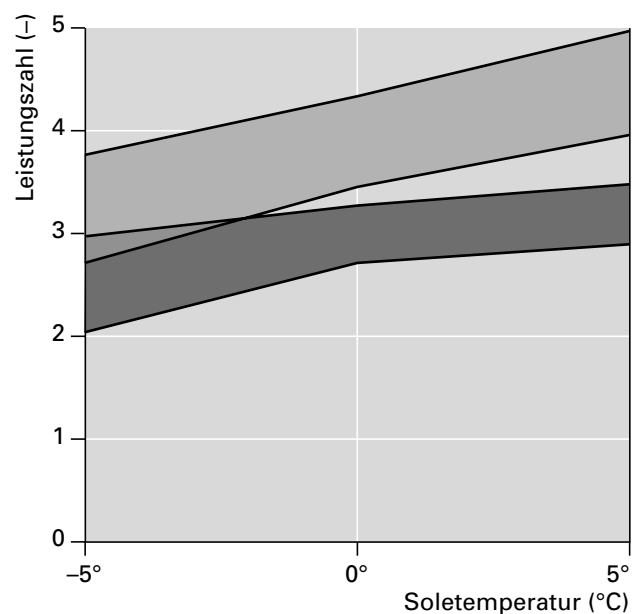
### Die Effizienz

Die nachfolgende Tabelle und das Diagramm zeigen, welche Leistungs- und Jahresarbeitszahlen mit Sole-Wasser-Wärmepumpensystemen erreichbar sind.

| Bauart                   | Leistungszahl* (COP) | Jahresarbeitszahl (JAZ) |
|--------------------------|----------------------|-------------------------|
| Sole-Wasser (monovalent) | 3.8–4.3              | 3.0–3.5                 |

\* bezogen auf eine Vorlauftemperatur von 35 °C und eine Wärmequellentemperatur (Sole) von 0 bis 5 °C  
Quelle: Testzentrum Töss

### Sole-Wasser-Wärmepumpen



Streubereich verschiedener Wärmepumpenfabrikate

■ Vorlauftemperatur 35 °C

■ Vorlauftemperatur 50 °C

Quelle: Testzentrum Töss

### Leistungszahlen

## 4.4 Wasser-Wasser-Wärmepumpensysteme

Wasser-Wasser-Wärmepumpensysteme können nur dort realisiert werden, wo Grundwasser, ein geeigneter See, Fluss oder Bach vorhanden sind. Darüber, ob eine Nutzung erlaubt ist, wieviel Wasser allenfalls entnommen und wie stark dieses abgekühlt werden darf, gibt das kantonale Gewässerschutzamt Auskunft.

Wasser-Wasser-Wärmepumpensysteme zeichnen sich durch hohe Jahresarbeitszahlen von 3.5 bis 4.0 aus. Trotzdem lohnt sich die energetische Nutzung von Oberflächenwasser oder Grundwasser in der Regel nur bei einem grossen Wärmebedarf, weil das Bewilligungsverfahren, die baulichen Massnahmen für die Wasserentnahme und Rückführung sowie der Unterhalt relativ aufwendig sind.

Bei sogenannten **direkten Systemen** überträgt ein Wärmetauscher das Energiepotential des genutzten Gewässers direkt auf den Arbeitsmittelkreislauf der Wärmepumpe.

Bei **indirekten Systemen** dagegen wird ein weiterer Kreislauf «zwischengeschaltet»: Die nutzbare Wärme des Oberflächengewässers oder Grundwassers wird – ähnlich wie bei geothermischen Anlagen – zuerst auf einen geschlossenen Wasserkreislauf und erst dann auf den Arbeitsmittelkreislauf übertragen. Mit direkten Systemen lassen sich in der Regel höhere Jahresarbeitszahlen erreichen. Dem steht als Nachteil das Risiko einer Verschmutzung von Umwälzpumpe und Wärmetauscher gegenüber. Auch kann beim direkten System nicht ausgeschlossen werden, dass bei einem Defekt am Wärmetauscher Arbeitsmittel in das genutzte Gewässer gelangt. Welches System im Einzelfall zugelassen wird, muss bei den zuständigen kantonalen Stellen abgeklärt werden.

### Oberflächengewässer

Bei der direkten Nutzung eines Oberflächengewässers gelangt das Bach-, Fluss- oder Seewasser von der Fassung zum Wärmetauscher, wird dort abgekühlt und anschliessend wieder in das Gewässer zurückgeleitet.

Die erforderliche Durchflusswassermenge pro Kilowatt benötigte Heizleistung hängt von der ausnutzbaren Temperaturdifferenz der Wärmequelle ab. Theoretisch ist die Abkühlung der Wärmequelle durch den Gefrierpunkt begrenzt; in der Praxis gilt die Bestimmung des zuständigen Gewässerschutzamtes, die angibt, wie stark das genutzte Wasser maximal abgekühlt werden darf. Bei einer mittleren nutzbaren Temperaturdifferenz von 2 °C müssen pro Kilowatt Heizleistung pro Stunde 310 Liter Wasser zur Verfügung stehen.

### Grundwassernutzung

Dank hohen, ausgeglichenen Jahrestemperaturen von 8 bis 10 °C eignet sich Grundwasser besonders gut als Wärmequelle für grössere Wärmepumpenanlagen. Bei direkten Systemen wird das gefasste Grundwasser einem Wärmetauscher zugeführt und nach dem Energieentzug in der Regel in ein Oberflächengewässer geleitet. Handelt es sich dagegen um einen Grundwasserspeicher von geringer Mächtigkeit oder darf das geförderte Wasser aufgrund seiner chemischen Zusammensetzung nicht direkt in ein Oberflächengewässer gelangen, muss es durch eine zweite Bohrung (Reinjektionsbohrung) wieder der wasserführenden Bodenschicht zugeführt werden. Bei einer mittleren nutzbaren Temperaturdifferenz von 4.5 °C muss hier pro Kilowatt Heizleistung eine Wassermenge von 150 Litern pro Stunde zur Verfügung stehen.

### Bewilligungen

Wer Grundwasser oder Oberflächengewässer nutzen will, muss beim kantonalen Gewässerschutzamt ein Gesuch einreichen. Für kleinere Bäche werden kaum Bewilligungen erteilt, aber auch die Grundwassernutzung ist in vielen Kantonen stark eingeschränkt.

### Kalte Fernwärme

Seewasser, gereinigte Abwässer aus Kläranlagen oder Wasserquellen in Tunnels (zum Beispiel im Furka-Tunnel) eignen sich trotz ihrer relativ tiefen, dafür aber meist konstanten Temperatur gut für die energetische Nutzung mittels Wärmepumpen. Wird dieses Wasser über Fernwärmenetze verteilt, spricht man von «kalter Fernwärme».

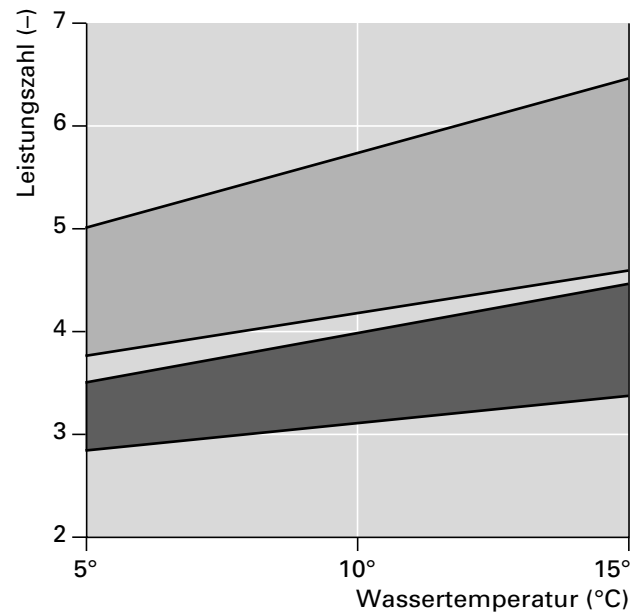
### Leistungszahl und Jahresarbeitszahl

Die nachfolgende Tabelle und das Diagramm zeigen, welche Leistungs- und Jahresarbeitszahlen mit Wasser-Wasser-Wärmepumpensystemen erreichbar sind.

| Bauart                     | Leistungszahl* (COP) | Jahresarbeitszahl (JAZ) |
|----------------------------|----------------------|-------------------------|
| Wasser-Wasser (monovalent) | 4.0–4.8              | 3.5–4.0                 |

\* bezogen auf eine Vorlauftemperatur von 35 °C und eine Wärmequellentemperatur von 2 bis 10 °C  
Quelle: Testzentrum Töss

### Wasser-Wasser-Wärmepumpen



Streubereich verschiedener Wärmepumpenfabrikate

■ Vorlauftemperatur 35 °C

■ Vorlauftemperatur 50 °C

Quelle: Testzentrum Töss

*Leistungszahlen*



## 5 Vorgehens- und Planungshinweise

Wer eine neue Heizanlage plant und die Möglichkeit hat, mit Erdgas oder Fernwärme zu heizen, wird diesen Varianten den Vorzug geben. Ausserhalb von Fernwärme- oder Gasversorgungsgebieten bietet sich die Wärmepumpenanlage als umweltfreundliche und auch wirtschaftliche Option an.

Voraussetzung für den zufriedenstellenden Betrieb der Anlage ist eine seriöse Planung. Weil diese an den Fachmann höhere Anforderungen stellt als die Auslegung einer konventionellen Heizung, ist die Wahl des richtigen Partners für die Bauherrschaft zentral:

Hat der Planer Erfahrung in der Auslegung von Wärmepumpensystemen?

Kann der Installateur Referenzanlagen vorweisen?

Zögern Sie nicht, danach zu fragen und sich bei Anlagebesitzern direkt nach ihren Erfahrungen mit der Wärmepumpenheizung zu erkundigen. Vor der Auftragsvergabe lohnt sich auch ein Gang zur regionalen Energieberatungsstelle, die firmenunabhängige Beratung anbietet.

Handelt es sich um eine Heizungssanierung, sollten vor der Planung noch alle benötigten Angaben betreffend Aussentemperaturverlauf sowie Vor- und Rücklauftemperaturen der bestehenden Heizung beschafft werden. Eine lückenlose Datenreihe erhält, wer diese Temperaturen während einer Heizsaison täglich notiert.

**Dabei ist darauf zu achten**, dass die Aussentemperaturen nicht auf der Sonnenseite erhoben werden und dass sich die Heizung beim Ablesen der Temperatur im Normalbetrieb befindet, was während der Nachtabsenkung oder kurz nach dem Umschalten auf den Tagesbetrieb am frühen Morgen nicht der Fall ist. Sofern für Vor- und Rücklauf keine Temperaturanzeigen vorhanden sind, lohnt es sich, solche zu installieren (verursacht nur geringe Kosten).

### 5.1 Die Checkliste für die Bauherrschaft

Allgemeingültige Vorgehensregeln gibt es bei der Planung von Wärmepumpenanlagen kaum – jede Lösung muss individuell auf die örtliche Situation abgestimmt werden. Hingegen gibt es eine Reihe von Fragen, die in jedem Fall abzuklären sind. Sie schaffen Klarheit darüber, welche Art von Anlage am ehesten den eigenen Bedürfnissen entspricht. Diese Fragen sind hier in Checklisten für Neuanlagen und Heizungssanierungen zusammengefasst.

Die Checklisten befinden sich, zum einfacheren Arbeiten oder als Kopiervorlagen, auf der rückseitigen Umschlagklappe

## 5.2 Das Abnahmeprotokoll

Vereinbaren Sie mit dem Installateur und allenfalls dem Planer der Anlage für den Zeitpunkt nach der Installation einen Abnahmetermin, und verlangen Sie ein detailliertes Abnahmeprotokoll sowie eine sorgfältige Instruktion und Einführung in die Bedienung der Anlage. Die Schemata in der Bedienungsanleitung sollten mit der realisierten Anlage übereinstimmen. Sofern es sich um einen Neubau handelt, lassen Sie sich vom Installateur bestätigen, dass die ganze Anlage hydraulisch abgeglichen wurde.

Wer eine periodische Energiebuchhaltung führt, kann überprüfen, ob sich das Wärmepumpensystem innerhalb der vereinbarten Leistungsgrenzen bewegt. Unregelmässigkeiten können frühzeitig erkannt und behoben werden. Zur einfachen Energiebuchhaltung gehören, jeweils mit Datum und Uhrzeit der Ablesung versehen, Angaben über:

- Wärmeproduktion
- Stromverbrauch
- Betriebsstunden der Wärmepumpe
- Vor- und Rücklauftemperaturen der Heizung
- Aussentemperatur.



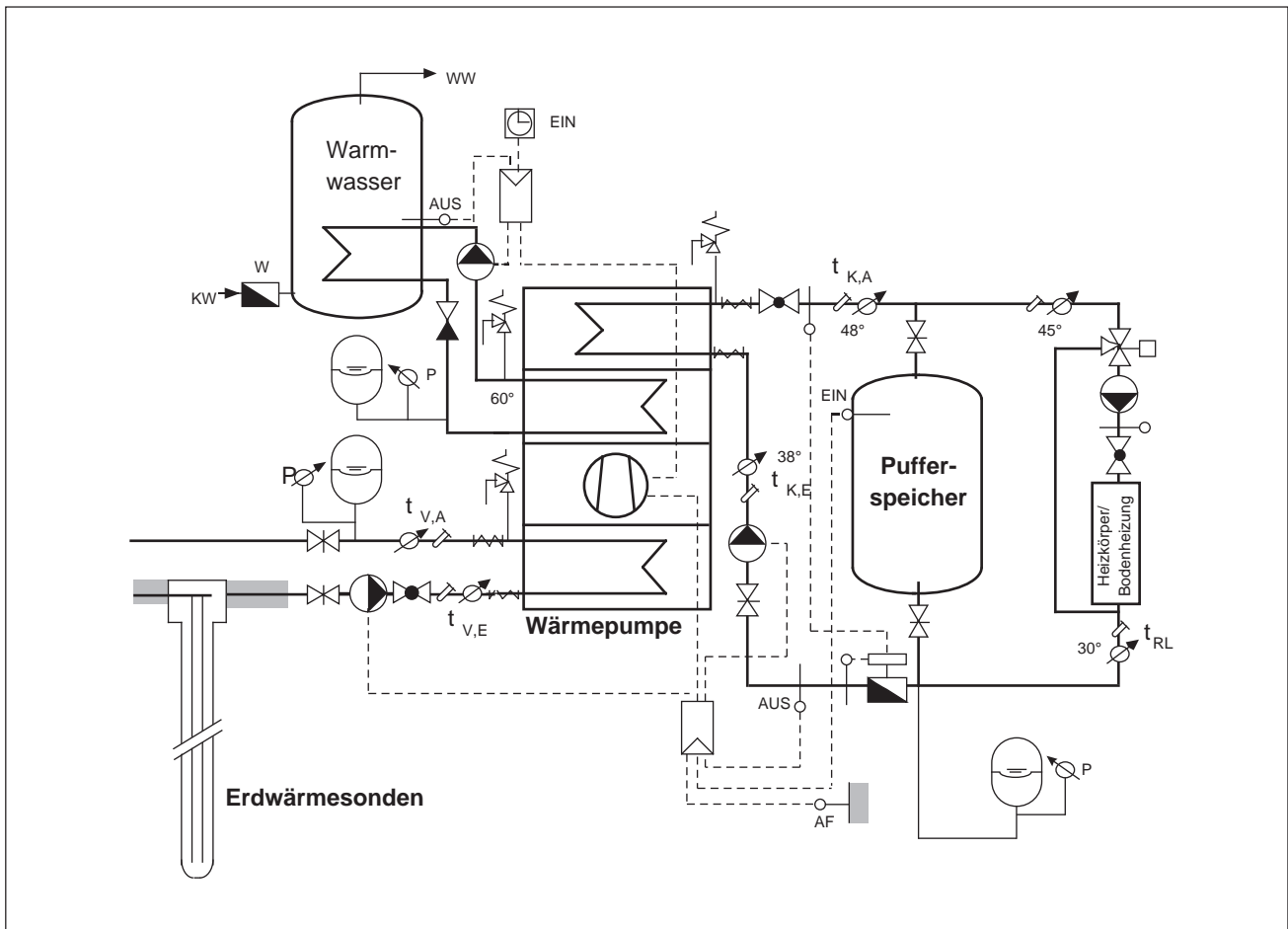
## 6 Wieviel kosten Wärmepumpenheizungen?

Während sich die Betriebskosten ziemlich genau vorausberechnen lassen (Kapitel 6.3), variieren die Investitionskosten für Wärmepumpensysteme je nach gewählter Wärmequelle, Anlagengrösse und Standort. Wir zeigen anhand von zwei realisierten Beispielen auf, in welchem Rahmen sich die Preise bewegen. Die Kosten für Wärmeverteilung und Wärmeabgabe liegen in gleicher Höhe wie bei konventionellen Heizungen und sind deshalb nicht aufgeführt.

### 6.1 Investitionskosten: Beispiel neues Einfamilienhaus (EFH)

#### Objektdaten

|  |   |                                   |
|--|---|-----------------------------------|
| Gebäudetyp                                     | Freistehendes EFH   |                                   |
| Baujahr  | 1994  |                                   |
| Energiebezugsfläche                            | 160 m <sup>2</sup>  |                                   |
| Heizleistungsbedarf bei –8 °C Aussentemperatur | 8 kW  |                                   |
| Wärmebedarf                                    |   |                                   |
| – Heizung                                      | 13 800 kWh pro Jahr   |                                   |
| – Warmwasser                                   | 3300 kWh pro Jahr   |                                   |
| Energiekennzahl Wärme                          | 385 MJ pro m <sup>2</sup> und Jahr                              |                                   |
| <b>Anlagentyp</b>                              |   | <b>Sole-Wasser-WP, monovalent</b> |
| Nutzung der Wärmequelle durch                  | Erdwärmesonden  |                                   |
| Warmwasseraufbereitung                         | ganzjährig durch Wärmepumpe                                     |                                   |
| Wärmeabgabesystem                              | Fussbodenheizung und Niedertemperaturradiatoren                 |                                   |
| Maximale Vorlauftemperatur                     | 45 °C   |                                   |
| Heizleistung WP bei                            | Heizungsvorlauftemperatur 45 °C und Wärmequellentemperatur 0 °C | 9 kW                              |
| Leistungszahl WP bei                           | Heizungsvorlauftemperatur 45 °C und Wärmequellentemperatur 0 °C | 3.5                               |
| Länge Erdwärmesonden                           | 105 m   |                                   |



Analogschema:  
Sole-Wasser-Wärmepumpe monovalent

**Investitionskosten**  
(Preise 1995, inklusive Mehrwertsteuer)

|  |            |
|--|------------|
| Wärmepumpe                                 | 12 000 Fr. |
| Regelung, Steuerung                        | 3000 Fr.   |
| Erdwärmesonden<br>(Fr. 70.- pro Laufmeter) | 7400 Fr.   |
| Speicher                                   | 3500 Fr.   |
| Warmwasserboiler                           | 4000 Fr.   |
| Honorare, Dienstleistungen                 | 2000 Fr.   |
| Sanitär                                    | 1000 Fr.   |
| Elektriker                                 | 1000 Fr.   |
| Messeinrichtungen                          | 1500 Fr.   |

**Total Investitionskosten 35 400 Fr.**

## 6.2 Investitionskosten: Beispiel Sanierung Mehrfamilienhaus

### Objektdaten

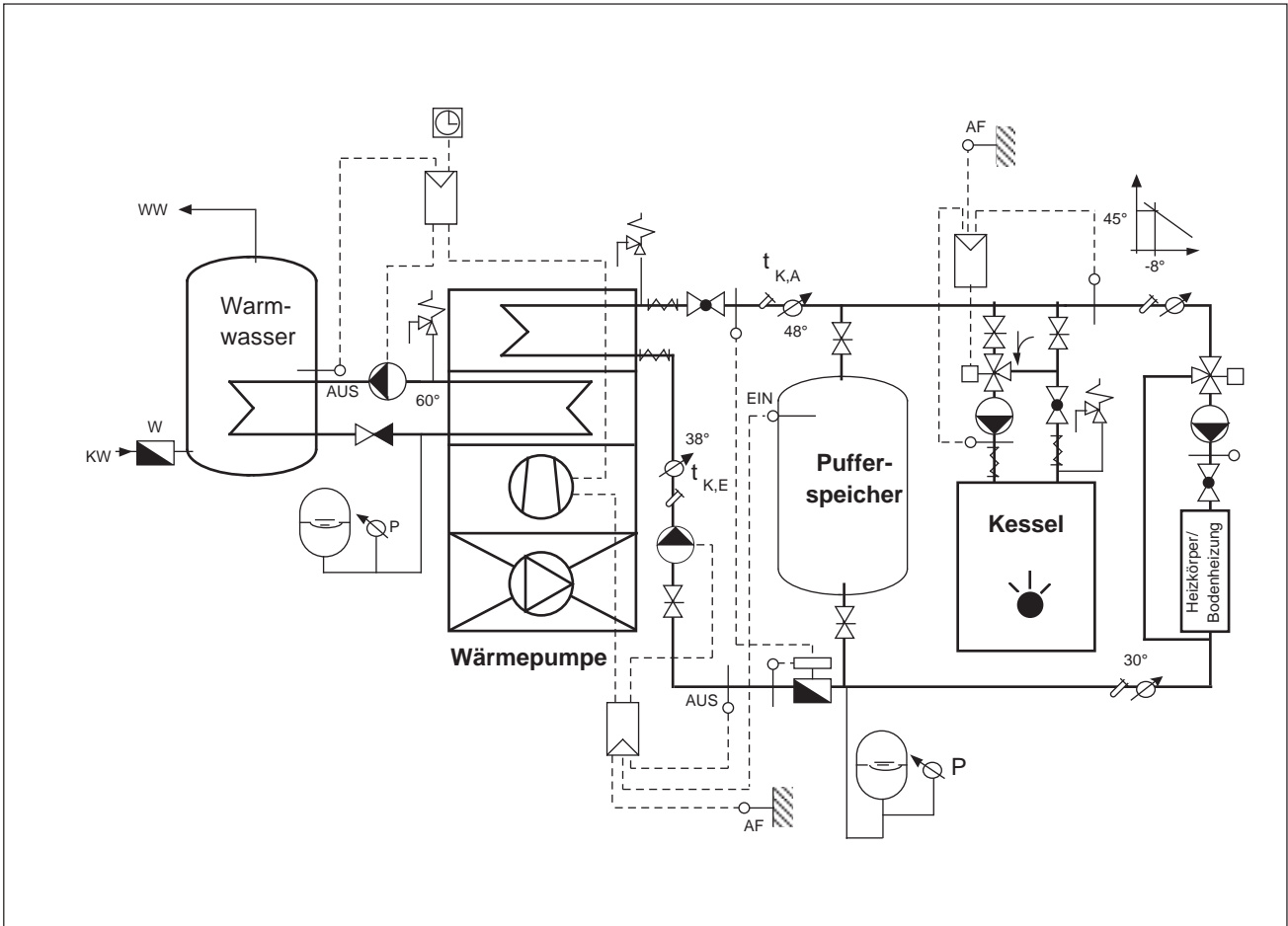
|  |   |
|--|---|
| Gebäude  | Mehrfamilienhaus mit 6 Wohnungen  |
| Baujahr  | 1960  |
| Energiebezugsfläche                            | 720 m <sup>2</sup>  |
| Heizleistungsbedarf bei –8 °C Aussentemperatur | 43 kW   |
| Wärmebedarf Heizung und Warmwasser             | 110 000 kWh pro Jahr  |
| Energiekennzahl Wärme                          | 550 MJ pro m <sup>2</sup> und Jahr<br>(SIA 380/1, gute Werte Sanierung) |

### Anlagentyp

#### Luft/Wasser-WP, bivalent, mit bestehendem Ölkessel

|                            |                             |
|----------------------------|-----------------------------|
| Warmwasseraufbereitung     | ganzjährig durch Wärmepumpe |
| Wärmeabgabesystem          | Radiatorenheizung           |
| Maximale Vorlauftemperatur | 70 °C                       |

|                      |  |       |
|----------------------|--|-------|
| Heizleistung WP bei  | Heizungsvorlauftemperatur 45 °C<br>und Aussenlufttemperatur 2 °C | 20 kW |
| Leistungszahl WP bei | Heizungsvorlauftemperatur 45 °C<br>und Aussenlufttemperatur 2 °C | 2.7   |



Analogschema:  
Luft-Wasser-Wärmepumpe bivalent

**Investitionskosten**

(Preise 1995, inklusive Mehrwertsteuer)

|                            |            |
|----------------------------|------------|
| Wärmepumpe                 | 25 000 Fr. |
| Regelung, Steuerung        | 3500 Fr.   |
| Speicher                   | 6000 Fr.   |
| Wassererwärmer             | 6000 Fr.   |
| Honorare, Dienstleistungen | 4000 Fr.   |
| Sanitär                    | 2000 Fr.   |
| Elektriker                 | 1500 Fr.   |
| Baumeister                 | 2500 Fr.   |

**Total Investitionskosten 50 500 Fr.**

**Investitionskosten pro Wohnung 8417 Fr.**

### 6.3 Die Wirtschaftlichkeit

Wer sich bei einem Neubau für eine monovalent betriebene Luft-Wasser-Wärmepumpe entscheidet, braucht keinen Kamin, keinen Tank und weniger Platz im Heizkeller. Alles in allem sind die Investitionskosten deshalb nicht höher als bei der Installation einer konventionellen Heizanlage. Die Unterhaltskosten sind in der Regel sogar geringer, weil der Brennerservice und die periodische Tankrevision wegfallen und kein Kaminfeger vorbeikommen muss.

Neben den Investitionskosten entscheiden die Betriebskosten über die Wirtschaftlichkeit einer Heizungsanlage. Derzeit kostet eine Kilowattstunde Heizöl rund 3.5 Rappen, eine Kilowattstunde Strom 15 Rappen. Um gleiche Energiekosten wie eine Ölheizung aufzuweisen, muss ein Wärmepumpensystem demnach mit einer Jahresarbeitszahl von 4 betrieben werden. Da die Mehrzahl der Wärmepumpensysteme diesen Wert nicht erreichen, sind ihre Betriebskosten verglichen mit konventionellen Anlagen in der Regel höher. Einzelne Elektrizitätswerke schaffen einen Ausgleich, indem sie für Wärmepumpenbetreiber günstigere Stromtarife anbieten.

#### Kalkulatorische Energiepreiszuschläge

Um ein Energiesystem umfassend zu beurteilen, müssen auch die Umweltkosten miteinbezogen werden, die in den heute gängigen Wirtschaftlichkeitsberechnungen keinen Eingang finden. Sobald sich dies ändert, verbessert sich die Konkurrenzfähigkeit von Systemen, die erneuerbare Energien wie Umweltwärme nutzen und dadurch wertvolle Ressourcen schonen.

Das Amt für Bundesbauten und einzelne private Investoren beziehen die Umweltkosten bereits heute – in Form von sogenannten kalkulatorischen Energiepreiszuschlägen – in ihre Wirtschaftlichkeitsberechnungen ein. **Die im Rahmen einer umfassenden Studie errechneten Zuschläge betragen 1994 für Elektrizität 5.5, für Heizöl 6 und für Erdgas 4 Rappen pro Kilowattstunde.** Der Einbezug dieser umweltrelevanten Kosten hat zur Folge, dass zumindest Luft-Wasser-Wärmepumpensysteme auch bezüglich Betriebskosten mit konventionellen Systemen konkurrieren können. Dazu ein Beispiel:

#### Betriebskostenvergleich zwischen Ölkessel und Wärmepumpe

|  |                     |
|--|---------------------|
| Jahresarbeitszahl Wärmepumpe   | 3.5                 |
| Wirkungsgrad Ölkessel  | 0.9                 |
| Nutzwärmebedarf  | 20 000 kWh pro Jahr |
| Betriebskosten ohne Berücksichtigung des kalkulatorischen Energiepreiszuschlags: |                     |
| Öl (22 000 kWh à 3.5 Rp./kWh)  | 770 Fr.             |
| WP-Strom (6000 kWh à 15 Rp./kWh)   | 900 Fr.             |
| Betriebskosten mit Berücksichtigung des kalkulatorischen Energiepreiszuschlags:  |                     |
| Öl (22 000 kWh à 9.5 Rp./kWh)  | 2 000 Fr.           |
| WP-Strom (6000 kWh à 20.5 Rp./kWh)   | 1 200 Fr.           |

Für vertiefte Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen verweisen wir auf die RAVEL-Publikation «Praktischer Leitfaden für Wirtschaftlichkeitsberechnungen» (erhältlich bei der EDMZ, 3003 Bern; Bestellnummer 724.397.42.01d). Im weiteren ist eine Reihe von PACER-Publikationen zu diesem Thema erhältlich (siehe Literaturhinweise).



## 7 Glossar

### A

#### **Absorptionswärmepumpe:**

Bauart mit thermischer Verdichtung (im Gegensatz zur mechanischen Verdichtung der üblichen Kompressionswärmepumpe). Erste serienmässig hergestellte Absorptionswärmepumpen für Heizzwecke kommen voraussichtlich 1996 auf den Markt.

#### **Arbeitsmittel (=Kältemittel):**

Wärmeträgermedium der Wärmepumpe.

### B

#### **Betriebsoptimierung, Erfolgskontrolle:**

Die Zeitspanne von etwa 2 Jahren zwischen der eigentlichen Abnahme (Übergabe der Anlage an die Bauherrschaft) und der Garantieabnahme sollte zur B. und E. genutzt werden. Die E. vor Ablauf der Garantiefrist garantiert dem Betreiber eine einwandfrei arbeitende Anlage. Da B. und E. heute noch nicht verbindlich geregelt sind, müssen diese von der Bauherrschaft ausdrücklich verlangt und entsprechend honoriert werden.

#### **Bivalenter Wärmepumpenbetrieb:**

Neben der Wärmepumpe ist noch ein zweiter Wärmeerzeuger zur Spitzenlastabdeckung bei tiefen Aussentemperaturen vorhanden (meist ein konventioneller Kessel).

### C

#### **Carterheizung:**

Beheizung des Arbeitsmittels während der Stillstandszeiten einer Kompressionswärmepumpe. Verhindert das Eindringen von Öl ins Arbeitsmittel.

#### **COP (Coefficient of performance):**

Verhältnis der Heizleistung zur elektrischen Leistung. Dieser Wert wird in den technischen Unterlagen angegeben. Nicht verwechseln mit der Jahresarbeitszahl (JAZ).

### E

#### **Elektrische Leistung:**

Errechnet sich aus der elektrischen Spannung mal Stromstärke und wird normalerweise in Kilowatt [kW] angegeben.

#### **Elektrowärmepumpe:**

Siehe Wärmepumpe.

#### **Elektrowiderstandsheizung:**

Ein Widerstandsdraht, der von elektrischem Strom durchflossen wird, erhitzt sich. Nach diesem Prinzip arbeitet die E., wobei zwei Bauarten unterschieden werden: 1. Zentralspeicher mit Wasser oder Keramik als Speichermasse. 2. Dezentrale Einzelspeicher oder Direktheizgeräte für die einzelnen Räume. Gemäss Energienutzungsbeschluss sind Neuanlagen seit dem 1.5.91 bewilligungspflichtig.

#### **Energiekennzahl Wärme:**

Wärmebedarf für Heizung und Warmwasser pro Jahr und Quadratmeter Wohnfläche. Angabe in Megajoule pro Quadratmeter und Jahr [MJ/m<sup>2</sup>/a]. (Weitere Angaben siehe SIA 380/1.)

#### **Energieträger:**

Stoffliche Erscheinungsform der Energie. Während **Primärenergieträger** in der Natur vorkommen (z.B. Holz, Kohle, Rohöl, Erdgas, Wasser, Uran), entstehen **Sekundärenergieträger** (z.B. Heizöl, Benzin, Elektrizität) durch Umwandlung aus Primärenergie. Bei diesem Prozess fallen Umwandlungsverluste an. Diejenige Energie, die dem Verbraucher unmittelbar zur Verfügung steht, wird als **Endenergie** bezeichnet: es sind einerseits Primärenergieträger, die keine Umwandlung benötigen (z.B. Holz, Kohle, Erdgas), und andererseits Sekundärenergieträger. **Nutzenergie** ist Energie in gebrauchsfertiger Form (z.B. Wärme, Antriebskraft, Licht).

#### **Erfolgskontrolle:**

Siehe Betriebsoptimierung.

#### **Expansionsventil:**

Reduziert den Druck des Kältemittels zwischen Kondensator und Verdampfer.

### F

**Fossile Energieträger:** Kohle, Erdöl, Erdgas.

### G

#### **Graue Energie:**

Energie, die in die Herstellung eines Produktes fließt und normalerweise nicht in Energiestatistiken erscheint.

### J

#### **Jahresarbeitszahl (JAZ):**

Ein Jahresdurchschnittswert, der bei Wärmepumpensystemen das Verhältnis zwischen abgegebener Heizwärme [in kWh] und zugeführter, kosten-

pflichtiger Energie [in kWh] bezeichnet. Die JAZ gibt Auskunft über die Effizienz von Systemen; als gut gelten Werte zwischen 3.5 und 4. In der Jahresarbeitszahl sind der Energiebedarf der Wärmequellenpumpen und der Umwälzpumpe, der Carterheizung und der Abtauvorrichtung enthalten. Nicht berücksichtigt sind die Energieverluste des Wärmeverteilsystems.

## K

### **Kilowatt [kW]:**

Siehe elektrische Leistung.

### **Kilowattstunde (kWh):**

Siehe Stromverbrauch.

### **Kompressionswärmepumpe:**

Heute am meisten verbreitete Bauart mit mechanischer Verdichtung (im Gegensatz zur Absorptionswärmepumpe).

### **Kondensator (=Verflüssiger):**

Hier wechselt das Arbeitsmittel unter Wärmeabgabe vom gasförmigen in den flüssigen Zustand.

## L

### **Leistungszahl:**

Ein Momentanwert, der bei Wärmepumpensystemen das Verhältnis zwischen Leistungsabgabe [in kW] und Leistungsaufnahme [in kW] bezeichnet. Gute Leistungszahlen liegen zwischen 3.5 und 4.5. In der Leistungszahl nicht enthalten sind die Verluste von Umwälzpumpen, Speicher, Abtauvorrichtung und Carterheizung.

### **Luft-Wasser-Wärmepumpe:**

Bauart mit Aussenluft als Wärmequelle und Wasser als Wärmeträger des Wärmeabgabesystems.

### **L2/W35:**

Gebräuchliche Abkürzung für Luft-Wasser-Wärmepumpen im Betriebszustand von 2 °C Lufttemperatur und 35 °C Wassertemperatur des Wärmeabgabesystems.

## M

### **Megajoule [MJ]:**

Siehe Stromverbrauch.

### **Monovalenter Betrieb:**

Der gesamte Wärmebedarf wird mit der Wärmepumpenanlage gedeckt (kein zweiter Wärmeerzeuger notwendig).

## S

### **Scroll-Verdichter:**

Verdichterbauart, die speziell für kleine Wärmepumpen mit gesteuerter Drehzahl geeignet ist.

### **Sole-Wasser-Wärmepumpe:**

Bauart mit «Sole» (meist ein Glykol-Wasser-Gemisch) als Wärmeträger der Wärmequelle (z.B. Erdwärmesonden, Erdregister) und Wasser als Wärmeträger des Wärmeabgabesystems.

### **SO/W35:**

Gebräuchliche Abkürzung für Sole-Wasser-Wärmepumpen im Betriebszustand von 0 °C Soletemperatur und 35 °C Wassertemperatur des Wärmeabgabesystems. Dieser Betriebszustand wird in der Regel bei Erdwärmesonden als Auslegungspunkt gewählt.

### **Stromverbrauch:**

Wird meistens in Kilowattstunden [kWh] gemessen. Auch der Heizölverbrauch lässt sich in kWh umrechnen: 1 Liter Heizöl = 10 kWh. Häufig anzutreffen ist auch die Messeinheit Megajoule (1 kWh = 3,6 MJ).

## T

### **Thermoleasingvertrag (Contracting):**

Bei einem Thermoleasingvertrag erstellt und betreibt ein Unternehmer die Heizanlage, der Hausbesitzer verpflichtet sich zur Abnahme der Wärme zu einem festgesetzten Preis pro Wärmeinheit [kWh].

## V

### **Verdampfer:**

Teil der Wärmepumpe. Hier wechselt das Arbeitsmittel unter Wärmeaufnahme vom flüssigen in den gasförmigen Zustand.

## W

### **Wärmeabgabe:**

Abgabe der Wärme an den beheizten Raum durch Heizkörper, Fussbodenheizung usw. Je grösser die Wärmeabgabefläche, desto tiefer die notwendige Heizsystemtemperatur. Für effiziente Anlagen ist eine möglichst tiefe Heizsystemtemperatur (Niedertemperaturheizung) bei möglichst geringer Trägheit anzustreben.

### **Wärmeerzeugung:**

Erzeugung von Heizwärme in einem Heizkessel, einer Wärmepumpe, etc.



**Wärmepumpe (WP):**

Mit Hilfe hochwertiger Energie (meist Elektrizität) wird thermische Energie von einem tiefen auf ein höheres Temperaturniveau gebracht und lässt sich so beispielsweise zum Heizen nutzen. Weitaus am häufigsten werden Kompressionswärmepumpen mit einem Elektromotor als Antrieb eingesetzt. Absorptionswärmepumpen sind in der Schweiz noch wenig verbreitet.

**Wärmepumpenboiler:**

Einheit aus Wärmepumpe und Wassererwärmer («Boiler») zur Erwärmung von Trinkwasser. Durch den Einsatz der Wärmepumpe werden im Vergleich zu einem konventionellen Elektro-Wassererwärmer 50 bis 70 Prozent Strom eingespart.

**Wärmepumpensystem  
(Wärmepumpenheizung):**

Wärmepumpenanlage inklusive Wärmequelle und Verteilsystem (Fussbodenheizung, Heizkörper).

**Wärmeträger:**

Medium zum Wärmetransport; meistens Wasser, Luft oder ein Wasser-Glykol-Gemisch.

**Warmwasser:**

Erwärmtes Trinkwasser.

**Wasser-Wasser-Wärmepumpe:**

Bauart mit Wasser als Wärmequelle (z.B. Oberflächenwasser, Grundwasser) und Wasser als Wärmeträger des Wärmeabgabesystems.

**W10/W35:**

Gebräuchliche Abkürzung für Wasser-Wasser-Wärmepumpen im Betriebszustand von 10 °C Wärmequellentemperatur und von 35 °C Wassertemperatur des Wärmeabgabesystems.



## 8 Literaturhinweise

Eidg. Verkehrs- und  
Energiewirtschaftsdepartement [1993]:  
**Die Wärmepumpen-Heizung**  
Nutzt erneuerbare Umweltenergie – sicher, sauber, effizient  
Aktionsgruppe Regenerierbare Energien;  
EDMZ 805.067 d/f/i.

T. Baumgartner, H. Gabathuler, H. Mayer,  
G. Szokody [1993]:  
**Wärmepumpen. Planung, Bau und Betrieb  
von Elektrowärmepumpen-Anlagen**  
Impulsprogramm RAVEL; EDMZ 724.356 d.

H. Gabathuler [1993]:  
**Elektrizität und Wärme.  
Grundlagen und Zusammenhänge**  
Impulsprogramm RAVEL; EDMZ 724.357 d.

H. Gabathuler et al. [1991]:  
**Elektrizität im Wärmesektor.  
Wärme-Kraftkopplung, Wärmepumpen,  
Wärmerückgewinnung und Abwärmee-  
nutzung**  
Impulsprogramm RAVEL; EDMZ 724.354 d

Arbeitsgemeinschaft Wärmepumpen (AWP)  
[1987]:  
**Wärmepumpenrichtlinien Nr. 10.**

Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft  
(BUWAL) [1994]:  
**Wassergefährdende Flüssigkeiten**  
Wegleitung für die Wärmenutzung mit geschlos-  
senen Erdwärmesonden

J. Pikali, R. Spalinger [1994]:  
**Wärmepumpen.  
Marktführer Schweiz**  
Informationsstelle für Elektrizitätsanwendung  
(INFEL), Zürich

INFOSOLAR [1981]:  
**Wärmepumpen**  
INFOENERGIE, Brugg.

Bundesamt für Konjunkturfragen, Bern [1992]:  
**RAVEL zahlt sich aus**  
Praktischer Leitfaden für Wirtschaftlichkeits-  
berechnungen  
Impulsprogramm RAVEL, EDMZ 724.397.42.01

PACER [1994]:  
**Externe Kosten von Luftverschmutzung  
und staatlichen Leistungen im Wärme-  
bereich**  
EDMZ, Bestell-Nr. 724.270.1 d

PACER [1994]:  
**Externe Kosten der fossilen Ressourcen-  
nutzung im Wärmebereich**  
EDMZ, Bestell-Nr. 724.270.3 d

PACER [1994]:  
**Externe Kosten und kalkulatorische  
Energiepreiszuschläge für den Strom- und  
Wärmebereich in der Schweiz**  
Zusammenfassung  
EDMZ, Bestell-Nr. 724.270.7 d

Eine Gesamtübersicht über die PACER- und  
RAVEL-Publikationen entnehmen Sie bitte der  
Zeitschrift IMPULS. Sie ist kostenlos zu beziehen  
bei:  
Eidg. Drucksachen- und Materialzentrale (EDMZ)  
3000 Bern  
Buchbestellungen per Fax: 031/992 00 23



## 9 Kontaktadressen

INFOENERGIE Mittelland  
Postfach 310  
5200 Brugg  
Tel.: 056/441 60 80  
Fax: 056/441 20 15

INFOENERGIE Nordostschweiz  
c/o FAT  
8356 Tänikon  
Tel.: 052/62 34 85  
Fax: 052/62 34 89

INFOENERGIE Beratungszentrale Zentralschweiz  
Georg Furler, Architekt SIA  
Weissenbrunnstrasse 41  
8903 Birmensdorf  
Tel.: 01/737 14 45  
Fax: 01/737 03 17

Informationsstelle Wärmepumpen Schweiz (FWS)  
Steinerstrasse 37  
Postfach 298  
3000 Bern 16  
Tel.: 031/352 41 13  
Fax: 031/352 42 06

Fördergemeinschaft  
Wärmepumpen Schweiz  
Lagerstrasse 1  
8021 Zürich  
Tel.: 01/291 01 02  
Fax: 01/291 09 03

Arbeitsgemeinschaft Wärmepumpen AWP  
Konradstrasse 9  
Postfach 7190  
8023 Zürich  
Tel.: 01/271 90 90

Fördergemeinschaft Wärmepumpen  
Test- und Ausbildungszentrum Töss  
Auwiesenstrasse 47  
8406 Winterthur  
Tel.: 052/202 34 53  
Fax: 052/203 51 16

INFEL  
Informationsstelle für Elektrizitätsanwendungen  
Lagerstrasse 1  
8021 Zürich  
Tel.: 01/291 01 02  
Fax: 01/291 09 03

BUWAL  
Abteilung Stoffe und Bodenschutz  
Sektion Umweltgefährdende Produkte  
Hallwylstrasse 4  
3003 Bern  
Tel.: 031/322 93 11  
Fax: 031/352 12 10