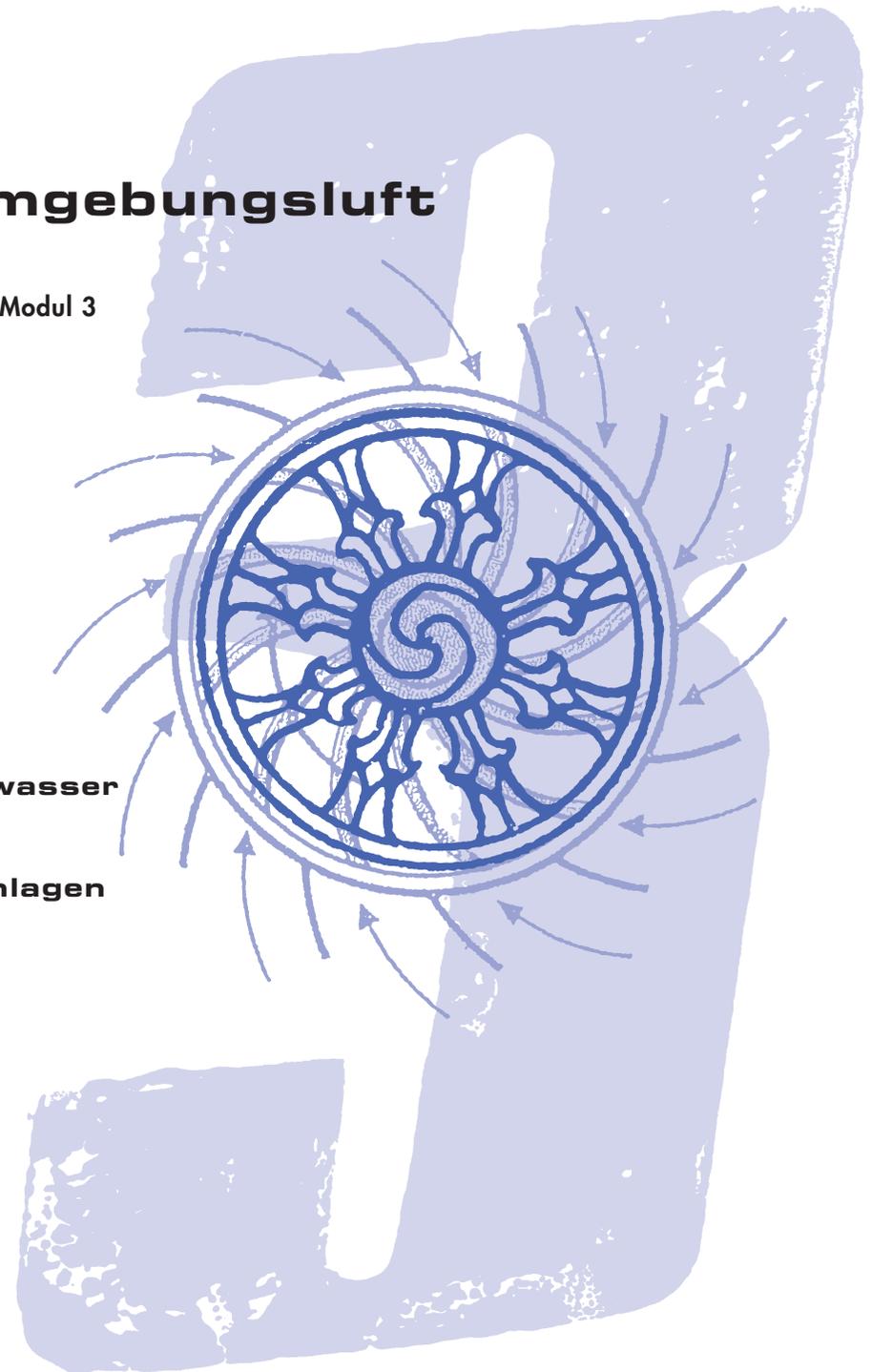


# Wärme aus Erde, Wasser, Umgebungsluft (Wärmepumpen)

Energie im Unterricht, Module für Maschinenbau-, Elektro- und Informatikberufe: Modul 3

- 1 Einführung: Worum geht es ?
- 2 Lernziele
- 3 Vorschläge für den Unterricht
- 4 Fachinformation
  - Arbeitsweise einer Wärmepumpe
  - Betriebsarten von Wärmepumpenanlagen
  - Wärmepumpensysteme für Heizung und Warmwasser
  - Wärmequellen
  - Planung und Realisierung von Wärmepumpenanlagen
- 5 Aufgaben, Lösungsvorschläge
- 6 Weiterführende Literatur
- 7 Bild- und Textnachweis
- 8 Vorlagen



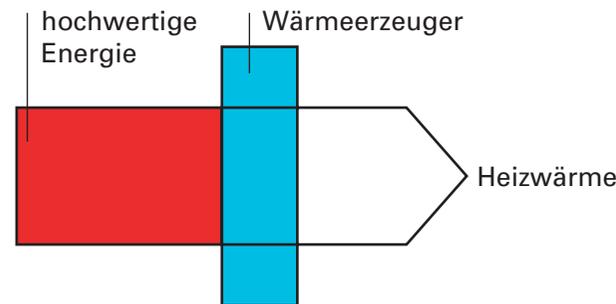
# 1 Einführung: Worum geht es ?

## Elektrische Energie effizient nutzen

Die Wärmepumpe ist ein seit über 100 Jahren bekanntes Heizsystem. Es erlaubt, Umwelt- und Abwärmequellen für Heizzwecke auf höherer Temperatur nutzbar zu machen.

Mit Hilfe der Wärmepumpe kann man der Umgebungsluft, dem Wasser oder dem Erdreich Wärme entziehen und sie einer Heizanlage, zum Beispiel in einem Haus, einem Schwimmbad oder einer Warmwasserversorgung zuführen.

## Konventionelle Elektroheizung



## Wärmepumpenheizung

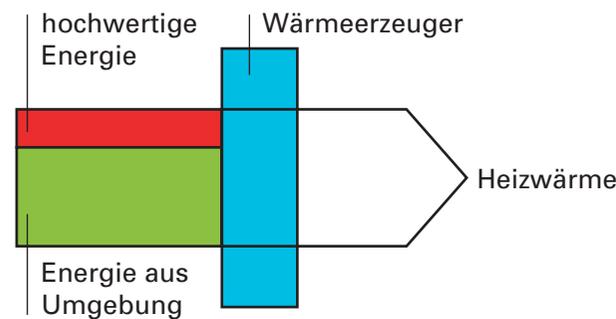


Abb. 1: Vergleich Elektroheizung – Wärmepumpenheizung

Die elektrische Wärmepumpe belastet die Luft am Aufstellungsort nicht mit Schadstoffen. Die Art der Stromproduktion ist jedoch bei der Gesamtbetrachtung zu berücksichtigen. Gute Anlagen mit einem Verhältnis der eingespeisten elektrischen zur abgegebenen Heizenergie von über 3 gelten als umweltfreundlich.

## Wer plant und erstellt Wärmepumpenanlagen?

An der Planung und dem Bau solcher Anlagen sind je nach Komplexität die verschiedensten Berufe beteiligt.

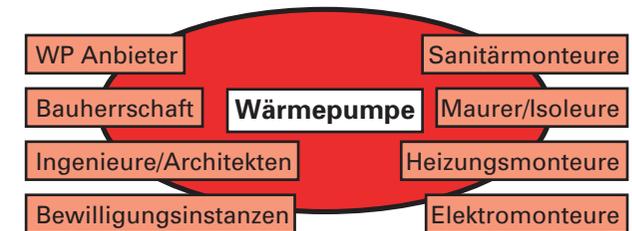


Abb. 2: Beteiligte an Planung und Bau von Wärmepumpenanlagen

## Bewilligung

Praktisch alle Wärmequellen brauchen für die Nutzung mit einer Wärmepumpe eine Bewilligung der zuständigen kantonalen Behörden. Mit der Bewilligung können weitere technische Bedingungen verbunden sein.

## 2 Lernziele

### Die Lernenden ...

- können die Funktionsweise einer Wärmepumpe erklären
- kennen die Vorteile und die zu klärenden Faktoren einer Wärmepumpe

### Beispiele von Antworten:

- Die Wärmepumpe bringt Wärmeenergie von niedriger Temperatur auf eine höhere Temperatur unter Einsatz von hochwertiger Energie.
- Nutz- und Heizenergie werden mit rund einem Drittel Antriebsenergie erzeugt, indem die Wärmepumpe der Umgebung Wärme entzieht, diese auf eine höhere Temperatur bringt und an das Heizsystem abgibt.
- Sie arbeitet nach dem Prinzip des Kältschranks (entzieht auf einer Seite Wärme, gibt sie auf der anderen ab).

#### Vorteile:

- Nutzt Umwelt- oder Abwärme und erzielt damit einen guten Wirkungsgrad der Elektrizitätsnutzung.
- Verursacht am Betriebsort im Gegensatz zu fossilen Energieträgern eine sehr geringe Umweltbelastung.
- Reduziert die zu transportierende Ölmenge und dadurch die entsprechenden Risiken.

#### Zu klärende Faktoren:

- Welche Wärmequellen können am vorgesehenen Standort genutzt werden?
- Ist die Nutzung der Energiequellen bewilligungspflichtig?
- Welche WP-Anlagenart liefert die beste Arbeitszahl und die günstigsten Betriebskosten?
- Welche baulichen Konsequenzen sind zu erwarten?

- kennen die Anwendungsmöglichkeiten und Grenzen des Wärmepumpeneinsatzes
- erläutern die Verfügbarkeit und Nutzungsmöglichkeit von Wärmequellen
- kennen die Begriffe Arbeitszahl und Leistungsziffer und die Haupteinflussgrössen

Die Einsatzmöglichkeit ist abhängig von den Temperaturniveaus der verfügbaren Wärmequelle und der Wärmeabgabe. Sie wird hauptsächlich mit Niedertemperatur-Heizungen und für die Warmwasserversorgung eingesetzt.

Mögliche Wärmequellen sind:

- Aussenluft, Erdreich, Grundwasser, Oberflächenwasser, Abwasser / Abluft.
- Nutzung z.T. durch zeitliche/örtliche Verfügbarkeit und Temperaturgang eingeschränkt.

**Arbeitszahl** (Jahresarbeitszahl)  $\beta$

Verhältnis der von der Wärmepumpe produzierten Wärmeenergie zur Summe aller zugeführten, kostenpflichtigen Energien.

**Leistungsziffer**  $\varepsilon$  oder Leistungszahl  $\varepsilon$  (Momentanwert)

Die Leistungsziffer gibt an, wievielfach die erzeugte Wärmeleistung grösser ist als die zugeführte Antriebsleistung des Verdichters (Kompressors).

**Coefficient of Performance** COP (Momentanwert)

Gemäss Europäischer Norm EN 255 wird anstelle der Leistungszahl gemäss obiger Definition der COP definiert. Dabei wird neben der Verdichterleistung auch die Leistungsaufnahme von Wärmequellen-Pumpen bzw. -Ventilatoren berücksichtigt.

### **Einflussgrößen**

Den bedeutendsten Einfluss auf Leistungs- und Arbeitszahlen haben die Temperaturen von Wärmequelle und Wärmeabgabe (Heizwasser): je kleiner die Temperaturdifferenz zwischen Quelle und Nutztemperatur, umso besser die Effizienz. Natürlich hat auch die technische Güte der Anlage und der Komponenten (technische Wirkungsgrade) einen Einfluss. Grössere Anlagen sind meist effizienter als kleine.

### 3 Vorschläge für den Unterricht

#### Besichtigungen

- Das Wärmepumpen-Testzentrum Töss in Winterthur kann besucht werden (Adresse Kapitel 6).
- Besichtigung einer grösseren oder mit anderen interessanten Komponenten (z.B. Wärme-Kraft-Kopplung) kombinierten Wärmepumpen-Anlage. Auskunft: Informationsstelle für Wärmepumpen (Adresse Kapitel 6), Bauamt der Gemeinde, evtl. kantonale Energiefachstelle.
- An vielen Schulen sind Wärmepumpen-Demonstrationsmodelle vorhanden (funktionsfähige Kleinst-WP mit Thermometern etc.). Dokumentation dazu beziehen!

#### Versuche, Aufgaben

Zum besseren Verständnis der Wirkungsweise der WP sind folgende Versuche, Überlegungen und Messungen denkbar (evtl. auch als Aufgabe, vgl. Kapitel 5).

- Velopumpe: Beim Pumpen wird der vorderste Teil der Pumpe und der Schlauch heiss (also nicht etwa der Schaft, wo Reibung auftritt). Weshalb?
- Kisag-Rahmbläser: Nach intensivem Blasen wird die Patrone kalt, vor allem wenn sie leer ist. Weshalb?
- Wir wickeln etwas Gaze oder Watte um den vordersten Teil eines Thermometers und lesen die Temperatur trocken sowie nach Befeuchten ab (durch leichtes Bewegen des Thermometers fördern wir den Verdunstungsprozess). Woher rührt die Differenz?

- Wir sehen uns einen Kühlschranks oder Tiefkühler von hinten und innen an und benennen die Komponenten: Verdichter (Kompressor, in schwarzer Metall-Kapsel), Verdampfer (innen, Thermostatfühler evtl. daran/darunter mit Schraube fixiert), Verflüssiger (Gitter/Röhrchen oder Metallfläche an Rückseite), Expansionsventil (Kapillarrohr, sieht wie ein aufgerollter Draht aus), Steuerung («Regler», Einstellknopf, ist meist noch ein mechanischer Thermostat).
- Nach Möglichkeit oder als Aufgabe Temperaturen von Heizkörpern (oben/unten), Fussbodenheizung (Oberfläche an verschiedenen Stellen), Warmwasser sowie Wärmequellen (See-, Flusswasser, Erdreich in verschiedener Tiefe) mit Sekundenthermometer messen. Eine geordnete Zusammenstellung für Wärmequellen und Nutztemperaturen machen. Einfluss auf die Leistungszahl?

## 4 Fachinformation

### Repetition

(vgl. auch Aufgaben, Kapitel 5)

- Der Siedepunkt einer Flüssigkeit ist vom umgebenden Druck abhängig. So kann man z.B. Wasser mittels einer Wasserstrahlpumpe (Unterdruck) weit unter 100°C zum Sieden bringen.
- Zum Verdampfen einer Flüssigkeit muss Wärme zugeführt werden (Wasser auf dem Herd einkochen, Verdunstungs«kälte» des feuchten Thermometers), beim Kondensieren des Dampfes wird umgekehrt Wärme frei (Kondensator von Dampfturbinen muss gekühlt werden bzw. Wärme muss abgeführt werden).
- Erzwingt man die Aggregatzustandsänderung durch Über- bzw. Unterdruck, so kann die Wärmeabgabe bzw. -aufnahme bei unterschiedlichen Temperaturen erfolgen.

Diese Eigenschaften der Flüssigkeiten/Dämpfe werden bei der Wärmepumpe, bzw. der Kältemaschine ausgenutzt.

#### 4.1 Arbeitsweise einer Wärmepumpe

In der Wärmepumpe zirkuliert ein so genanntes Arbeitsmittel (auch: Kältemittel, siehe unten), das die Wärme transportiert.

- 1 Verdampfer: Die Quellenwärme (aus Luft, Wasser, Erde usw.) wird zum Verdampfer geführt, z.B. mittels Sole (Wasser/Frostschutz) von einer Erdsonde oder direkt aus der Luft. Die Wärme wird auf das "unterkühlte" Arbeitsmittel (Unterdruck nach dem Expansionsventil) übertragen und damit dessen Verdampfung bewirkt.
- 2 Verdichter: Der im Verdampfer produzierte Arbeitsmitteldampf wird vom Verdichter angesaugt, auf hohen Druck und dadurch auf höhere Temperatur gebracht und in den Verflüssiger gepresst.
- 3 Verflüssiger: Dem Verflüssiger wird das Wärmeverteilmedium (Heizungsrücklaufwasser) zugeführt. An den Rohrwandungen desselben kondensiert (verflüssigt sich) der Arbeitsmitteldampf und erwärmt dadurch das Heizungswasser. Verdampfer und Verflüssiger sind Wärmeaustauscher.
- 4 Expansionsventil: Das nun flüssige Arbeitsmittel gelangt über das Expansionsventil wieder zum Verdampfer. Das Expansionsventil dient zum Abbau des im Verdichter erzeugten Überdruckes, wobei das Arbeitsmittel sich abkühlt.

Die Breite der gerasterten Pfeile entspricht den Wärmemengen, die einerseits aus der Umwelt stammen und andererseits vom Verdichterantrieb herrühren.

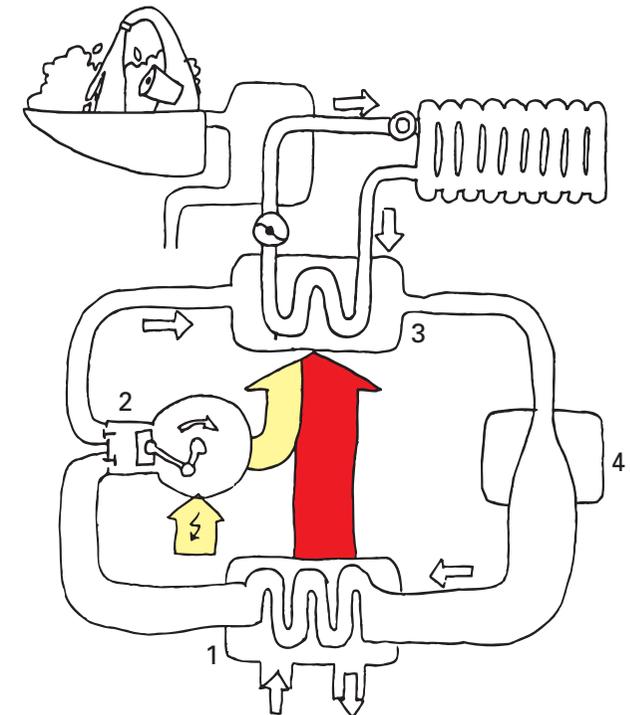


Abb. 3: Arbeitsweise einer Wärmepumpe

### Leistungszahl $\varepsilon$ , Arbeitszahl $\beta$ , COP

Als Leistungszahl  $\varepsilon$  (oder Leistungsziffer) wird der Momentanwert des Verhältnisses der produzierten Heizleistung zur elektrischen Leistung (Verdichterantrieb) bezeichnet. Also:

$$\varepsilon = P_{\text{heiz}} [\text{kW}] / P_{\text{el}} [\text{kW}]$$

Die **Leistungszahl**  $\varepsilon$  im engen Sinne versteht sich als Verhältnis der reinen Verdichter-Antriebsleistung zur

Verflüssiger-Wärmeabgabe, d.h. ohne Hilfsenergie. Die europäische Norm EN 255 definiert anstelle der Leistungszahl  $\varepsilon$  den **COP** (Coefficient of Performance). Dabei wird neben der Verdichterleistung auch die Leistungsaufnahme von Abtaueinrichtungen und von Wärmequellen-Pumpen bzw. -Ventilatoren berücksichtigt. Der COP ist somit tiefer als  $\varepsilon$ , aber realitätsnäher.

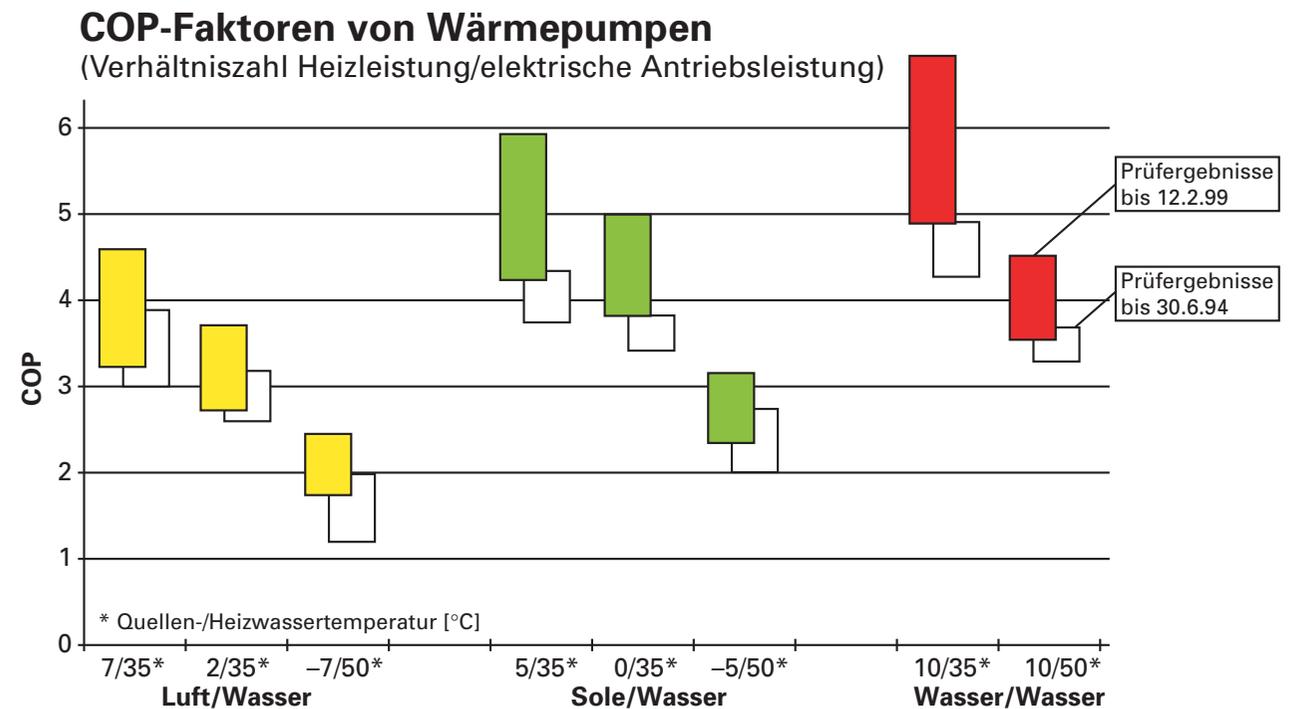


Abb. 4: COP-Faktoren (Prüfergebnisse)

Die **Arbeitszahl**  $\beta$  bezeichnet das gleiche Verhältnis, aber als Energiewerte über 1 Jahr Betriebsdauer (Energieertrag / Energieaufwand inkl. Hilfsenergie).

Also:

$$\beta = W_{\text{heiz}} [\text{kWh}] \text{ pro Jahr} / W_{\text{el}} [\text{kWh}] \text{ pro Jahr.}$$

Beispiel:

Wärmepumpe zur Beheizung eines Einfamilienhauses (EFH)

- Von der WP abgegebene Heizenergie  
= 16'000 kWh pro Jahr
- Stromverbrauch der WP (inkl. Nebenverbraucher)  
= 4'000 kWh pro Jahr
- Jahres-Arbeitszahl  $\beta = 16'000 / 4'000 = 4,0$

### Einflüsse auf COP und Arbeitszahl

Beide Effizienz-Kennwerte sind einerseits abhängig von der technischen Güte (Wirkungsgrade) der Anlagekomponenten, andererseits aber von den Temperaturverhältnissen. Je höher die zu liefernde Heiztemperatur  $T_1$  im Vergleich zu der Wärmequellentemperatur  $T_0$ , desto mehr Antriebsleistung braucht es. Dieser Zusammenhang lässt sich als so genannter Carnot-Wirkungsgrad  $\epsilon_c$  mit einer Formel ausdrücken (der Wärmepumpen-Prozess ist thermodynamisch ein Carnot-Prozess):

$$\epsilon_c = \frac{T_1}{T_1 - T_0}$$

Dabei sind die Temperaturen in Kelvin einzusetzen ( $0^\circ\text{C} = 273 \text{ K}$ ).

Beispiel:

Mit einer guten Wärmequelle von  $T_0 = 10^\circ\text{C}$  (z.B. Grundwasser) und mit einer besonders «niedertemperaturig» ausgelegten Fussbodenheizung mit  $T_1 = 30^\circ\text{C}$  ergibt sich ein theoretisches  $\epsilon_c$  (technischer Wirkungsgrad zu 100% angenommen) von:

$$\epsilon_c = 303 / (303 - 283) = 15,15$$

Praktisch sind so hohe Leistungszahlen nicht erreichbar. Für den Fall einer kleinen Heiz-Wärmepumpe (6 kW) ist ein technischer Wirkungsgrad von etwa 45% erreichbar, womit ein  $\epsilon_c$  von 6,82 resultiert, was ein extrem guter Wert ist. In der Praxis sind Werte von  $T_0 = 5^\circ\text{C}$ ,  $T_1 = 35^\circ\text{C}$  realistischer, was ein immer noch sehr gutes  $\epsilon_c$  von 4,62 ergibt. Vgl. dazu die Zusammenstellung von Prüfergebnissen des Wärmepumpen-Testzentrums Töss in Abb. 4 sowie auch die Temperaturabhängigkeit der Heizleistung in Abb. 15.

### Arbeitsmittel

Als Arbeitsmittel für den Kreislauf der Wärmepumpe werden Stoffe verwendet, die bei Zimmertemperatur und bei normalem Druck gasförmig sind, durch Druckerhöhung (Verdichten) leicht verflüssigt und durch Entspannen wieder verdampft werden können. Die früher verwendeten FCKW-Kältemittel enthalten Chlor, welches bei Entweichen einen Abbau der Ozon-Schutzschicht der Stratosphäre bewirkt. Noch bis 1.1.2002 waren gewisse wenig Chlor enthaltende Arbeitsmittel (HFCKW) zugelassen, z.B. das für Wärmepumpen früher meist eingesetzte R22.

Den heutigen Vorschriften entsprechen folgende Kategorien von Arbeitsmitteln: HFKW (fluorierte, aber chlorfreie Kohlenwasserstoffe), z.B. R 134a, R 407A/B/C, R507. Einige können anstelle gewisser FCKW eingefüllt werden («drop-in»). HFKW sind im Vergleich zu FCKW eher heikel in der Handhabung und Einstellung und weisen ein hohes Treibhauspotenzial auf.

#### So genannte **natürliche Arbeitsmittel**

Zu diesen Arbeitsmitteln ohne Ozonabbau- und Treibhauspotenzial gehören u.a. Kohlenwasserstoffe, z.B. Propan/Butan-Gasgemische. Sie werden vor allem in Kleinaggregaten eingesetzt (Kühlschränke etc.). Wegen der Brennbarkeit sind sie für grössere Leistungen nur unter besonderen Bedingungen (Explosionsschutz ...) einsetzbar. Bereits gibt es Propan-Wärmepumpen für Aussenaufstellung. Ammoniak (R717, chemisch:  $\text{NH}_3$ ) ist giftig, weshalb dieses sonst sehr gute Arbeitsmittel nur in grossen, meist eingekapselten Anlagen, z.B. in der Lebensmittelindustrie, eingesetzt wird. Weitere, heute aus technischen Gründen noch wenig verwendete natürliche Arbeitsmittel sind Kohlendioxid (R744, chemisch:  $\text{CO}_2$ ), Luft, Wasser.

## 4.2 Betriebsarten von Wärmepumpenanlagen

Man unterscheidet folgende Betriebsarten von Wärmepumpenanlagen:

### **Monovalenter Betrieb**

Beim monovalenten Betrieb ist die Wärmepumpe der einzige Wärmeerzeuger. Dies bedingt eine für die volle Leistung dimensionierte Wärmepumpe und damit eine grosse und teure Anlage. Die maximal mögliche Heizungsvorlauftemperatur ist durch die maximale zulässige Verflüssigungstemperatur der Wärmepumpe gegeben und liegt je nach Arbeitsmittel bei etwa 50 bis 65°C.

### **Bivalent paralleler Betrieb**

Bivalent heisst zweiwertig: Die Wärmepumpe wird durch einen zusätzlichen Wärmeerzeuger unterstützt, der an kalten Tagen die Wärmeerzeugung ergänzt oder erweitert. «Parallel» bedeutet, dass unterhalb des Bivalenzpunktes, wo die Wärmepumpen-Leistung allein nicht mehr ausreicht, beide Wärmeerzeuger parallel arbeiten. Der Bivalenzpunkt wird in der Wärmepumpen-Steuerung meist zwischen +2 und +7°C eingestellt. In Niedrigenergie-Einfamilienhäusern kann eine Luft/Wasser-Wärmepumpe mit einem Holzofen oder evtl. einer elektrischen Zusatzheizung zur Spitzendeckung eingesetzt werden.

### **Bivalent alternativer Betrieb**

Beim alternativen Betrieb wird der Wärmebedarf bei kleiner und mittlerer Heizlast von der Wärmepumpe übernommen. Unterhalb des Bivalenzpunktes wird die Wärmepumpe ausgeschaltet, und die zusätzliche Energiequelle übernimmt voll die Speisung des Heiznetzes.

### 4.3 Wärmepumpensysteme für Heizung und Warmwasser

Stellvertretend für alle beschriebenen Systeme ist das Prinzipschema einer Wasser/Wasser-Wärmepumpenanlage in Abb. 5 dargestellt. Dazu ist im Kapitel 5 eine Aufgabe vorgeschlagen. In den weiteren System-Prinzipschemata ist nur noch der Wärmequellen-Teil abgebildet.

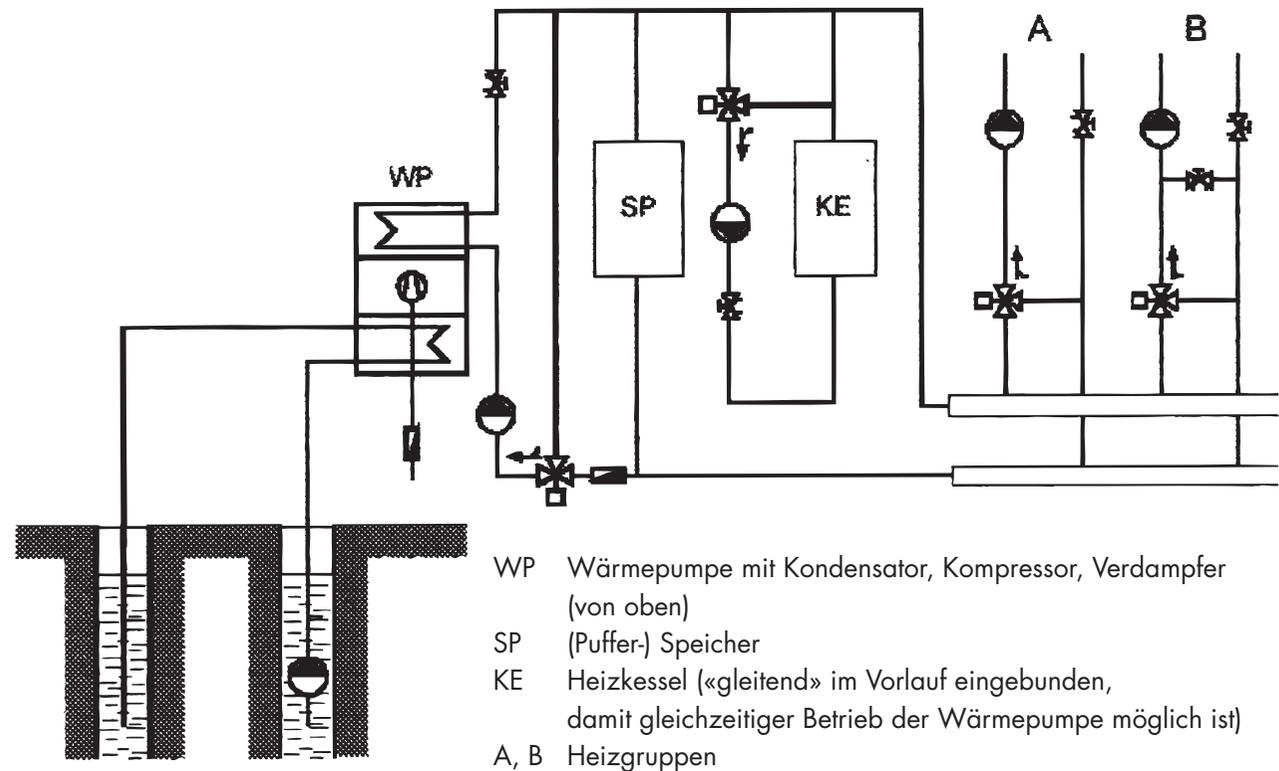


Abb. 5: Prinzipschema einer bivalenten Wasser/Wasser-Wärmepumpe

### Wasser/Wasser- und Sole/Wasser-Wärmepumpe (Abb. 6)

Das erste Wort bezeichnet das Medium, aus dem der Verdampfer die Wärme zuführt (Wärmequelle); das zweite das Medium, an welches der Verflüssiger die Wärme abgibt. Wenn die Wärmequellen-Temperatur unter 0°C sinken kann, muss dem Wasser Frostschutzflüssigkeit beigegeben werden, man spricht dann von Sole.

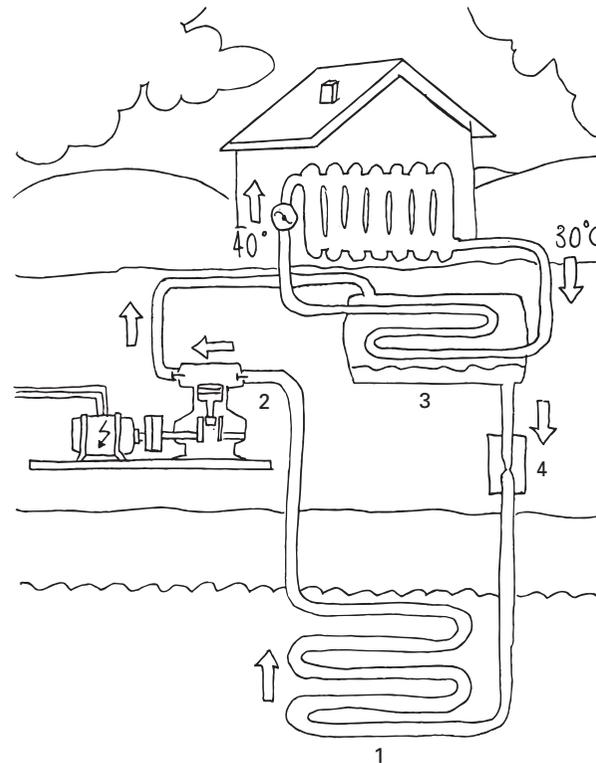


Abb. 6: Schema einer Wasser/Wasser-Wärmepumpe

- 1 Verdampfer (Wärmeaufnahme). Wärmequelle bei dieser Abbildung ist Wasser. In der Praxis kann der Verdampfer kaum direkt im Wasser platziert werden, sondern ein Sole- oder Wasserkreislauf transportiert die «Wärme» (ca. 0 bis 10°C) zum Verdampfer, wozu eine Umwälzpumpe benötigt wird.
- 2 Verdichter mit Elektromotor als Antrieb
- 3 Verflüssiger (Wärmeabgabe). Wärmeverteilmedium: Heizungswasser. Das Heizungsrücklaufwasser tritt in dieser Abbildung mit einer Temperatur von 30°C in den Verflüssiger, wird in diesem um 10°C erwärmt und fließt mit einer Temperatur von 40°C im Heizungsvorlauf zum Heizkörper. Dieser gibt die Wärme an den Raum ab. Dadurch kühlt sich das Heizungswasser wieder auf 30°C ab. Eine Umwälzpumpe hält diesen Kreislauf aufrecht. Anstelle von Heizkörpern werden oft Fussbodenheizungen eingesetzt, womit tiefere Vorlauftemperaturen möglich sind.
- 4 Expansionsventil



### Luft/Luft-Wärmepumpe (Abb. 8)

Kleine Luft/Luft-Wärmepumpen werden von manchen Projektierenden als Wärmerückgewinnungs-Aggregate für die kontrollierte Wohnungslüftung vorgesehen, wobei die Wärmepumpe anstelle eines Luft-Luft-Wärmeaustauschers verwendet wird. Damit kann mehr Heizleistung als mit dem Wärmeaustauscher geliefert werden, wobei jedoch der Stromverbrauch im Verhältnis zum erzielten Wärmegegewinn bei einer Wärmepumpe viel höher ist (z.B. 1 zu 4, mit Wärmeaustauscher und Ventilator 1 zu 20).

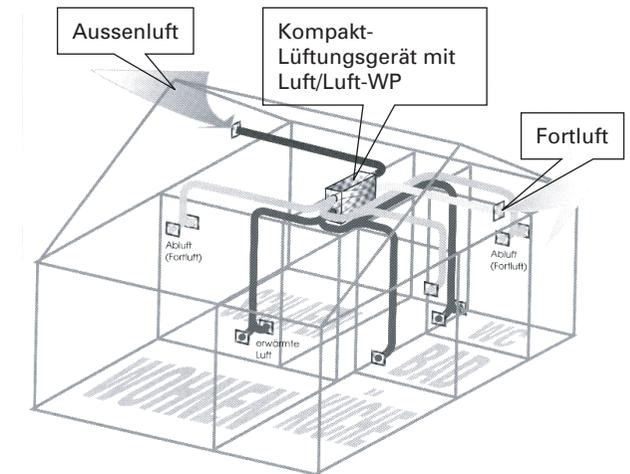


Abb. 8: Kontrollierte Wohnungslüftung mit Wärmerückgewinnung durch eine kleine Luft/Luft-Wärmepumpe

## 4.4 Wärmequellen

Temperatur und Beschaffenheit der Wärmequelle sind für die Auslegung und damit für die Wirtschaftlichkeit jeder Wärmepumpe von entscheidender Bedeutung. Eine Einteilung der Wärmequellen ist grundsätzlich nach deren Herkunft und nach deren Aggregatzustand (fest, flüssig, gasförmig) möglich.

### Eigenschaften von Wasser und Luft als Wärmequelle

Die physikalischen Eigenschaften sprechen eindeutig für flüssige Wärmequellen. Der Wärmegewinn aus 1 m<sup>3</sup> Wasser, das um 5 K abgekühlt wird, beträgt beispielsweise 5,8 kWh. Für einen gleich grossen Wärmegewinn müssen vergleichsweise rund 3500 m<sup>3</sup> Luft um 5 K abgekühlt werden.

### Zusammenhang zwischen der Leistungszahl $\epsilon$ und der Quellen- und Heizungstemperatur (Abb. 9, vgl. dazu 4.1, Carnot-Leistungszahl, und Abb. 4, COP-Faktoren)

$\epsilon_{\min.}$  In der kältesten Jahreszeit weisen auch die Wärmequellen tiefe Temperaturen auf. In dieser Zeit muss aber am stärksten geheizt werden, was hohe Heizwassertemperaturen erfordert. Die Temperaturdifferenz zwischen der Wärmequelle und dem Heizwasser ist gross und somit die Leistungszahl  $\epsilon$  klein.

$\epsilon_{\max.}$  Gerade das Gegenteil ist hier der Fall. Die hohe Leistungszahl nützt leider nicht viel, weil nur wenig Wärme benötigt wird und zudem einstufige Wärmepumpen viel zu viel Leistung abgeben und daher nur sehr kurze Laufzeiten erreichen.

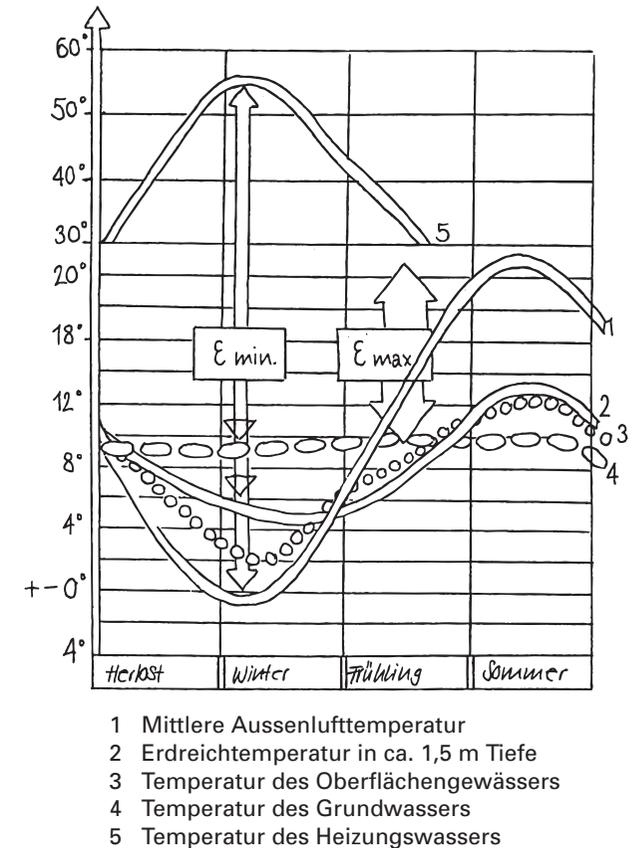


Abb. 9: Leistungszahl in Abhängigkeit der Quellentemperatur

Um Wärmepumpen nicht für die Spitzenleistung bei grosser Kälte (und tiefer Leistungszahl) auslegen zu müssen, werden vor allem grössere Anlagen mit einer zweiten Energiequelle für diese Spitzenlast ergänzt, meist mit einem Öl-Heizkessel. Man spricht dann von einer bivalenten (zweiwertigen) Anlage, siehe Kapitel 4.2.

### Aussenluft (Abb. 10)

Aussenluft als Wärmequelle hat den grossen Vorteil, dass sie überall verfügbar ist und zur Nutzung keine Bewilligung braucht. Die Anlage ist kompakt und übersichtlich. Eine schleichende Verschmutzung der Umwelt durch Sole oder Arbeitsmittel ist nicht zu befürchten.

Sie hat jedoch auch Nachteile:

- Die Gegenläufigkeit von Wärmequellentemperatur und Heizsystemtemperatur ist extrem, d.h.  $\epsilon_{\min.}$  wird sehr tief. Oft werden diese Anlagen daher bivalent, d.h. mit einer Zusatzheizung, gebaut (vgl. 4.2).
- Vereisung des Verdampfers unterhalb ca. 5 bis 7°C Aussentemperatur (Arbeitsmittel <0°C) macht eine periodische Abtauung notwendig.
- Geräuschprobleme infolge der grossen umzuwälzenden Luftmengen.

Aspekte der Anwendung:

Ausserordentlich wichtig sind sorgfältige schalltechnische Abklärungen, auch für Anlagen mit Innenaufstellung. Die Lärmschutzverordnung und örtliche Vorschriften sind unbedingt zu beachten. Nötigenfalls ist ein Akustiker beizuziehen. Es gibt Typen für Innen- und Aussenaufstellung sowie Splitanlagen (nur Verdampfer aussen). Bei bivalenten Anlagen muss die Steuerung (Umschaltung auf Zusatzheizung) sorgfältig geplant werden.

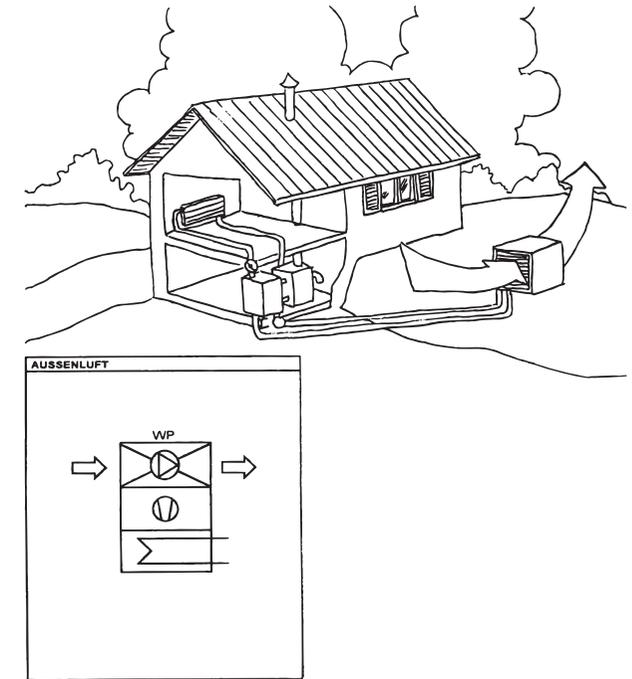


Abb. 10: Bildliche und technische Darstellung einer bivalenten Anlage mit Aussenluft

### Grundwasser (Abb. 11)

Als Grundwasser bezeichnet man alle unter der Erdoberfläche vorkommenden Gewässer. Es zirkuliert in porösem Gestein (Schotter, Sand) und gilt aus folgenden Gründen als gute Wärmequelle:

- Relativ hohes, konstantes Temperaturniveau
- Sauberes Medium

Grundwasser, welches nicht durch Infiltration eines Oberflächengewässers beeinflusst wird, weist in der Regel eine mittlere Temperatur von 9 – 11°C auf und ist damit wärmer als das Jahresmittel der Aussentemperatur. Für die Nutzung von Grundwasser muss eine behördliche Genehmigungen eingeholt werden, da die Gefahr der Verschmutzung des Gewässers bestehen kann.

Aspekte der Anwendung:

Aufwändige Anlagen (evtl. Sicherheitsmassnahmen wegen Verschmutzungsgefahr), daher vorzugsweise für grosse Gebäudekomplexe. Bewilligung bzw. Konzession erforderlich.

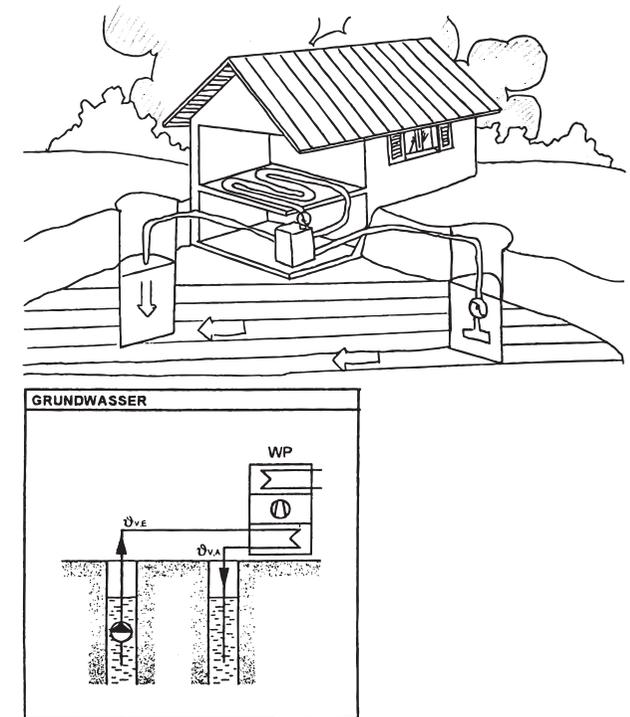


Abb. 11: Bildliche und technische Darstellung einer Grundwasseranlage

### Oberflächenwasser (Abb. 12)

Die Oberflächengewässer (Fluss- und Bachwasser, Seewasser) unterliegen in der Regel grösseren Temperaturschwankungen und können daher für einen monovalenten Betrieb problematisch werden (Gefahr von Eisbildung am Verdampfer).

Der Wärmeentzug aus Oberflächenwasser ist auf zwei Arten möglich:

- Register im Fließgewässer; es fließt eine grosse Wassermenge durch das Wärmeaustausch-Register und daher ist die Abkühlung klein.
- Das Wasser wird in einem Filterbrunnen gesammelt (evtl Seewasser direkt gefasst) und zum Wärmeaustauscher gepumpt.

Aspekte der Anwendung:

Benötigt grosse Wassermengen, da die Vorschriften nur eine kleine Abkühlung erlauben. Bewilligung und Sicherheitsmassnahmen wie bei Grundwasser.

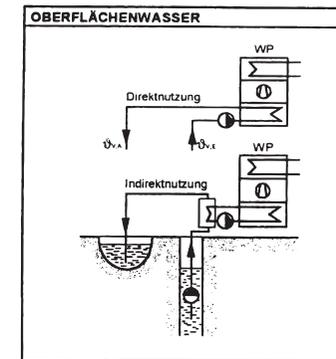
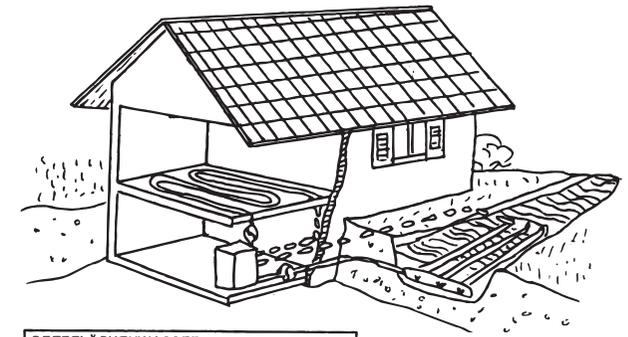


Abb. 12: Bildliche und technische Darstellung einer Oberflächenwasseranlage

### Erdwärme

Bei kleineren Anlagen kann der Verdampfer in Form von Kunststoffschläuchen direkt ins Erdreich verlegt werden. Die Wärme wird dabei dem Erdreich entnommen. Die Wärme des Erdreichs bis etwa 2m Tiefe liefert vorwiegend die Sonne. Die Wärmekapazität des Erdreichs hängt von dessen Beschaffenheit und Wassergehalt ab.

Die Nutzung kann auf zwei Arten erfolgen:

- Horizontal mit Erdregister
- Vertikal mit Erdwärmesonden bzw. Tiefbohrungen

### Anlage mit Erdregister (Abb. 13)

Erdregister sind sozusagen als «Sonnenkollektoren» zu qualifizieren, die die Wärmespeicherkapazität des Erdreichs nutzen. Der Flächenbedarf für die Verlegung der Register kann bis zum Dreifachen der beheizten Wohnfläche betragen. Bodenbeschaffenheit und Witterung sind dabei bezüglich Wärmeentzug massgebend. Bei stetigem Energieentzug sinkt die Erdreichtemperatur relativ stark. Falls die Erdkollektorfläche nicht genügend gross gemacht werden kann, ist die Kombination mit einer Entlastungseinrichtung sinnvoll (z.B. unverglaster Solarabsorber, Dachregister).

Aspekte der Anwendung:

Wegen Flächenbedarf des Erdregisters nur für Kleinanlagen geeignet.

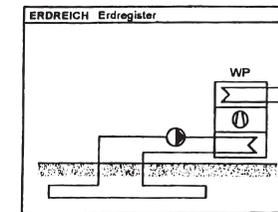
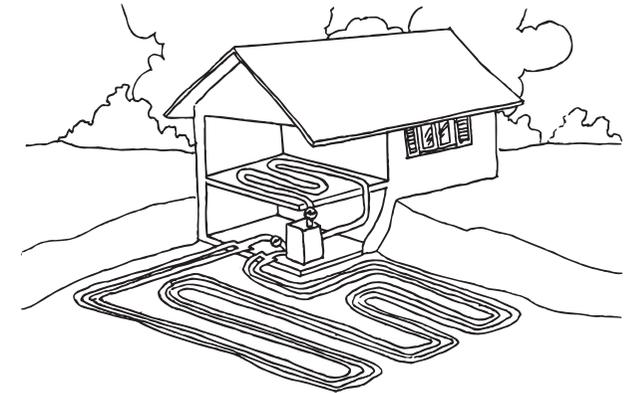


Abb. 13: Bildliche und technische Darstellung einer Anlage mit Erdregister

### Anlage mit Erdwärmesonde (Abb. 14)

Bei Erdwärmesonden werden Kunststoffrohre in senkrechten Tiefbohrungen versenkt. Meist werden mehrere Bohrungen (am selben Standort) benötigt, um mit tragbarer Bohrtiefe (50-200 m) genügend Wärmeleistung zu erhalten. Durch die Auskühlung des Erdreichs entsteht eine Art «Temperaturtrichter», der von der spezifischen Sondenleistung (oberste Grenze 50 W/m) abhängt. Intensive Entnahme bedeutet steilen Trichterungsverlauf und tiefe Sondentemperatur. In den Betriebspausen erholt sich das Erdreich in der Sondenumgebung wieder. Dies ist zwingend notwendig, weil der geringe Wärmenachfluss aus dem Erdinnern nicht ausreicht, um die Dimensionierungsbedingungen aufrecht zu halten.

Aspekte der Anwendung:

Aufwändiger als Erdregister, aber bei richtiger Auslegung günstigerer Temperaturverlauf. Für kleine und mittlere Anlagen (bei grossen Leistungen müssen die Bohrungen in grösseren horizontalen Abständen abgeteuft werden).

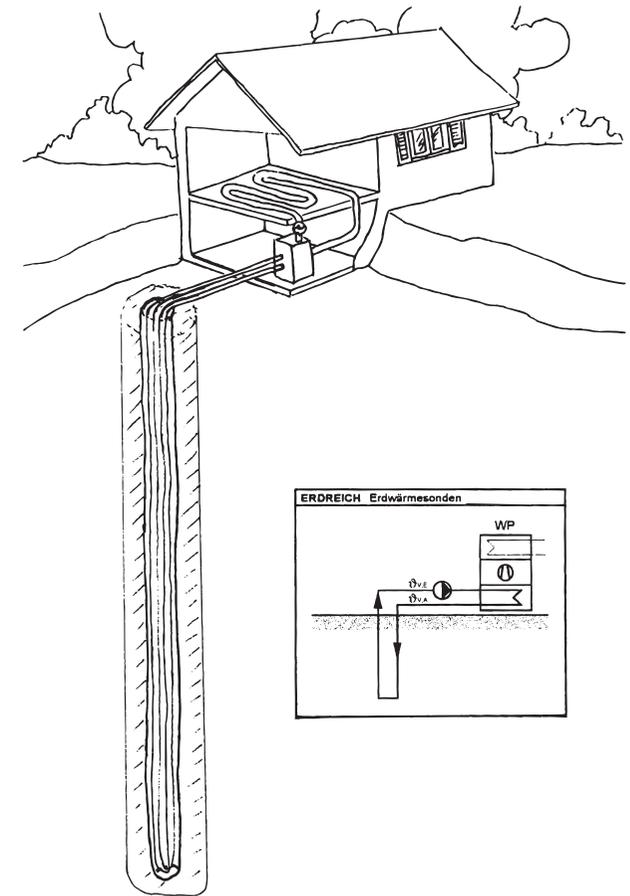


Abb. 14: Bildliche und technische Darstellung einer Anlage mit Erdwärmesonde

### Tiefbohrungen

Mit Tiefbohrungen (500 bis 1000 m) kann geothermische Wärme höherer Temperatur gewonnen werden. Das so erwärmte Wasser kann, je nach Temperaturniveau, direkt genutzt oder durch eine Wärmepumpe auf ein nutzbares Temperaturniveau angehoben werden. Wegen der hohen Erschliessungskosten ist eine wirtschaftlich vertretbare Nutzung nur mit grossen Anlagen und Arbeitszahlen über 4 sowie Zuschüssen an die Bohrung möglich. Am interessantesten sind Bohrungen, die kostenlos von anderen Prospektionen (Wasser, Erdgas ...) übernommen werden können.

Aspekte der Anwendung:

Grosse und sehr grosse Anlagen, d.h. es sind Fernwärmenetze erforderlich. Das Risiko von zu wenig ergiebigen Bohrungen muss durch Subventionen oder versicherungstechnisch abgesichert werden.

### Abwärme

Abwärme kann aus Gewerbe- oder Industriebetrieben zur Verfügung stehen. Da Abwärmeeinfall und Wärmebedarf oft nicht übereinstimmen, ist eine genaue Analyse erforderlich. Dabei entscheidet sich, ob das Problem mit einem Speicher (Kälte- und/oder wärmeseitig) gelöst werden kann. Eine sinnvolle Speicherbewirtschaftung erlaubt eine optimale Nutzung im Teillastbereich und kann zudem zur Leistungsspitzenbegrenzung benutzt werden (ergibt finanzielle Vorteile). Eine besonders interessante Form der Abwärmenutzung wird oft bei kontrollierter Wohnungslüftung angewandt: die Fortluft nach der Wärmerückgewinnung kann mit einer Klein-Wärmepumpe noch weiter abgekühlt werden, um damit einen Warmwasserspeicher aufzuheizen.

#### «Kalte Fernwärme»

Abwärme aus Abwasserreinigungsanlagen ARA (ganzjährig über 10°C) oder aus Industrieanlagen (meist höhere Temperatur als ARA, aber oft nicht rund um die Uhr verfügbar) eignet sich als Wärmequelle für Wärmepumpen. Mit so genannter «kalter Fernwärme» kann die Abwärme zu den meist etwas entfernt liegenden Wärmepumpenanlagen gebracht werden. Wegen der tiefen Temperaturen können kostengünstige unisolierte Leitungen eingesetzt werden; und evtl. kann sogar auf die Rückleitung verzichtet werden (offener Kreislauf, das von den Wärmepumpen abgekühlte Wasser wird in ein geeignetes Gewässer eingeleitet).

## 4.5 Planung und Realisierung von Wärmepumpenanlagen

### Wo kommt eine Wärmepumpe in Frage?

An erster Stelle steht die Abklärung der Wärmequelle: Art, Leistung/Ergiebigkeit, Bewilligung. Bei Neuanlagen sind Kleinst-Wärmepumpen in Kombination mit kontrollierter Wohnungslüftung fast immer möglich, vorzugsweise zur Warmwassererwärmung bzw. -vorwärmung.

### Wie ist die Wärmepumpenleistung zu bestimmen?

Die Heizleistung von WP wird in Datenblättern mit Zusatzangaben zu den massgebenden Temperaturen deklariert. Dabei bedeutet z.B.:

A	10	Aussenlufttemperatur	10°C
B	0	Soletemperatur	0°C
W	10	Wassertemperatur	10°C
W	35	Heizwassertemperatur	35°C
W	50	Heizwassertemperatur	50°C

Beispiel:

Luft/Wasser-Wärmepumpen	Heizleistung [kW]
A 10/W 35	7,8
A 7/W 35	7,3
A 2/W 35	5,3
A -7/W 35	4,1
A 7/W 50	7,0
A 2/W 50	5,1
A -7/W 50	4,2

Die Temperaturen von Wärmequelle und Wärmeabgabe sind – wie das Beispiel zeigt – nicht nur für die Leistungszahl massgebend (vgl. 4.1), sondern auch für die tatsächlich lieferbare Heizleistung (siehe Abb. 15). Zur Bestimmung der WP-Leistung sind also genaue Kenntnisse der Wärmequelle wie auch der Wärmeabgabe nötig.

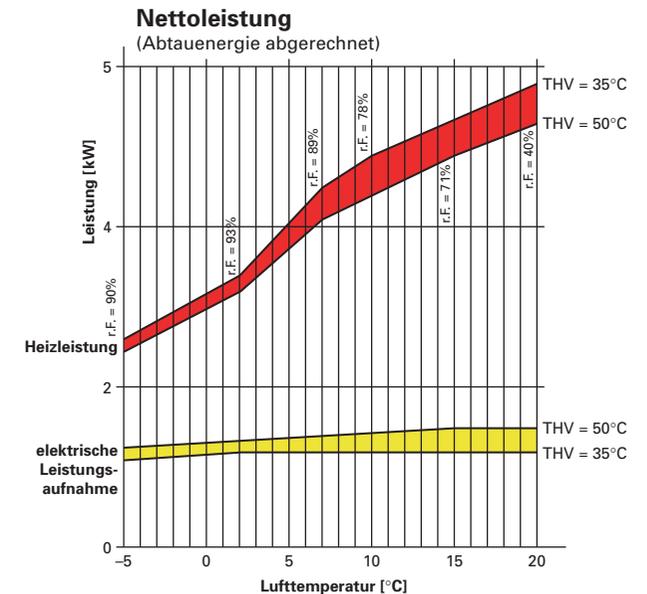


Abb. 15: Heizleistung einer Luft/Wasser-Wärmepumpe in Abhängigkeit von der Aussenlufttemperatur (Einfluss der Abtauung zwischen 2 und 7 Grad beachten!)  
THV = Temperatur Heizungsverlauf

### **Heizkörper oder Fussbodenheizung?**

Mit Fussbodenheizungen lassen sich tiefere Heizwassertemperaturen erreichen als mit Heizkörpern (welche dann sehr gross würden). In Altbauten mit bestehenden Heizkörpern muss man somit tiefere Leistungszahlen und eine grössere WP-Leistung in Kauf nehmen, wobei oftmals eine bivalente Anlage (mit evtl. schon vorhandener Zusatzheizung) einen Ausweg bietet. Aber auch Fussbodenheizungen sollen bei WP-Anlagen für möglichst tiefe Heizwassertemperaturen, z.B. 30°C bei -8°C Aussentemperatur, ausgelegt werden, was eine dichtere Verlegung der Rohre und damit etwas höhere Kosten bedeutet.

### **Warmwasserversorgung einbeziehen?**

Noch immer gibt es Anbieter von WP-Anlagen, welche im Standardangebot einen Elektroboiler neben die WP stellen. Dies ist wenig sinnvoll, da so ein interessanter (und bei Niedrigenergiehäusern gross) Teil der WP-Nutzung «verschenkt» wird. Die Wassererwärmung mit der WP ist problemlos und mit guter Leistungszahl möglich, erfordert jedoch eine kompetente Planung (z.B. ist die Leistung einer einstufigen WP im Sommer sehr hoch und muss von einem entsprechend dimensionierten Wärmeaustauscher abgenommen werden). In manchen Fällen sind auch separate, kompakte WP-Wassererwärmer (WP-Boiler) oder eine Kombination mit der kontrollierten Wohnungslüftung sinnvoll.

### **Messfühler bzw. Zähler zur Leistungsmessung einbauen**

Die gemessenen Arbeitszahlen von Wärmepumpenanlagen gleichen Typs sind immer noch recht unterschiedlich, was vor allem auf unterschiedliche Qualität bei Planung und Ausführung zurückzuführen ist. Um die versprochenen oder garantierten Arbeitszahlen kontrollieren zu können, sollen einfache Mess- bzw. Zähl-Einrichtungen schon von Anfang an eingeplant werden. Nebst Thermometern zur Überwachung der Vor- und Rücklauf- sowie Speichertemperaturen (die normalerweise zur Anlage gehören) sind dies ein separater Stromzähler, ein Wärmehändler (erfasst Volumenstrom, Vor- und Rücklauf- temperatur heizungsseitig) sowie Betriebsstunden- und Einschaltimpuls-Zähler, was zusammen ca. 2'500 Franken kostet. Ein späterer Einbau käme allerdings viel teurer. Werden die Zähler monatlich abgelesen, so hat man eine gute Datenbasis zur Ermittlung der Leistungs- und Arbeitszahlen und des Verhaltens der Anlage.

### **Leistungsgarantie von Energie 2000 und Gütesiegel D-A-CH verlangen**

Um technisch meist nicht so bewanderten Bauherrn eine bessere Sicherheit für die Qualität von WP-Anlagen zu geben, wurde von Energie 2000 eine Leistungsgarantie entwickelt. Auf dem Formular bestätigt der Anlagenbauer gewisse Qualitätsmerkmale der erstellten Anlage. Sollten später Zweifel aufkommen, hilft die Leistungsgarantie (und das Ablesergebnis der Zähler) bei der Beurteilung. Für eine weitere Qualitätsgarantie (bezüglich der gelieferten Apparate) bürgt das Gütesiegel D-A-CH, welches von der Fördergemeinschaft Wärmepumpen Schweiz (FWS) gemeinsam mit den deutschen (D) und österreichischen (A) Organisationen entwickelt wurde.

## 5 Aufgaben, Lösungsvorschläge

### Lernauftrag 1

Füllen Sie heisses Wasser von ca. 80°C in einen Labor-Glaskolben, durch den ein Thermometer und ein Glasrohr führt, und verschliessen Sie den Glaskolben. Saugen Sie mit einer Wasserstrahlpumpe oder einer Handpumpe die Luft aus dem Glaskolben.

Beobachten und erklären Sie den Vorgang.

### Lernauftrag 2

Sie erwärmen Wasser in einem offenen Becherglas. Sobald das Wasser kocht, messen Sie die Temperatur und beobachten den Siedevorgang.

Erklären Sie den Vorgang.

### Lernauftrag 3

Pumpen Sie ein Velorad mit einer Pumpe auf.

Beobachten und erklären Sie den Vorgang.

### Lernauftrag 4

Untersuchen Sie das Prinzipschema einer Wärmepumpenanlage (Abb. 5) und überlegen Sie sich die verschiedenen Betriebssituationen bezüglich der nötigen Steuerungselemente. Erstellen Sie eine Liste der Steuerfunktionen und zeichnen Sie entsprechende Symbole und Verbindungen in das Schema.

### Lösung 1

Das Wasser im Glaskolben beginnt zu sieden. Die Temperatur des Wassers sinkt rasch ab.

Erklärung:

Beim Abpumpen der Luft entsteht Unterdruck im Glaskolben. Bei Unterdruck sinkt die Siedetemperatur (siehe Einführung). Die Verdampfungsenergie wird, da sie ja nicht von aussen zugeführt wird, der Flüssigkeit entzogen.

### Lösung 2

Die Siedetemperatur des Wassers beträgt 100°C. Trotz stetigem Erwärmen steigt die Temperatur nicht weiter an.

Erklärung:

Die zugeführte Wärmeenergie wird zum Verdampfen des Wasser gebraucht.

### Lösung 3

Die Velopumpe wird heiss, und zwar am heissesten zuunsterst, wo der Kolben keine Reibung verursachen kann.

Erklärung:

Beim Zusammenpressen (Komprimieren) erhitzt sich die Luft. Die Kompressionswärme wird an Pumpenkopf und Schlauch abgegeben.

## 6 Weiterführende Literatur

### **Unterlagen aus den Impulsprogrammen des ehem. Bundesamtes für Konjunkturfragen**

- Umweltwärme effizient nutzen, Impulsprogramm PACER, 1992
- Impulsprogramm RAVEL, CD-ROM V3, 1997, enthält verschiedene Fachpublikationen zu Wärmepumpen, insbesondere «Wärmepumpen».
- RAVEL Industrie-Handbuch, Impulsprogramm RAVEL, 1999
- Kompetent antworten auf Energiefragen, Impulsprogramm RAVEL, 1994
- Strom rationell nutzen, Impulsprogramm RAVEL, 1992, vdf-Verlag

### **Dokumentation zu Wärmepumpen-Demonstrationsmodell**

(an vielen Schulen sind solche Funktionsmodelle vorhanden)

### **Informationsstelle über Wärmepumpen der Förderungsgesellschaft Wärmepumpen Schweiz (FWS)**

Postfach 298, 3000 Bern, Tel. 031 352 41 13,  
Fax 031 352 42 06, E-Mail wp@mkr.ch

- Die Wärmepumpe im Minergie-Haus, FWS, 2000

### **Wärmepumpen-Testzentrum Töss**

Auwiesenstr. 47, 8406 Winterthur,  
Tel. 052 202 34 53  
(Besichtigungen möglich)

### **Zeitschrift Sonnen Energie Solaire, der Schweizerischen Vereinigung für Sonnenenergie (SSES)**

Belpstrasse 69, 3007 Bern, Tel. 031 371 80 00  
(Veröffentlicht laufend Artikel auch für Wärmepumpen)

### **Kantonale und regionale Energieberatungsstellen**

siehe Internet-Adressen

### **Internet-Adressen**

- [www.fws.ch](http://www.fws.ch)
- [www.wpz.ch](http://www.wpz.ch)
- [www.waermepumpe.ch](http://www.waermepumpe.ch)
- [www.infel.ch](http://www.infel.ch)
- [www.nok.ch](http://www.nok.ch)
- [www.infoeneeergie.ch](http://www.infoeneeergie.ch)

### **Grundlehrmittel «Energie – Schlüsselgrösse unserer Zeit»**

- Schülerband
- Handbuch für Lehrkräfte  
1997/1999, Sauerländer-Verlag,  
Bezug über:  
Walter Gille, Zürichbergstrasse 46 a,  
8006 Zürich, Tel. 01 251 49 55

## 7 Bild- und Textnachweis

Die Handzeichnungen sind vom Autor P. Hänni aus eigenen Vorlagen übernommen, die Ideen dazu sowie einzelne Textpassagen stammen aus folgenden Quellen:

- RAVEL Impulsprogramm CD, V3, 1997 (Bezug SIA, Postfach, 8039 Zürich)
- Unterrichtswerk Wärmepumpe, INFEL, Zürich, 1992
- RAVEL Handbuch Strom rationell nutzen, ISBN 3-7281-1830-3, 1992
- Kompetent antworten auf Energiefragen, ehemals Bundesamt für Konjunkturfragen, 1994
- RAVEL Industriehandbuch, ISBN 3-905233-20-7, 1993
- Fachkunde Elektrotechnik, Europa Lehrmittel, ISBN 3-8085-3431-1, 1996
- Fachzeitschrift UMWELTPRAXIS Nr. 21, Kanton Zürich, Oktober 1999
- Zeitschrift Strom – Panorama, Schweizerische Elektrizitätswerke, Oktober 1999
- Informationsblätter Zürcher Energie-Praxis Nr. 2, AWEL, Energiefachstelle Kanton Zürich, 1995

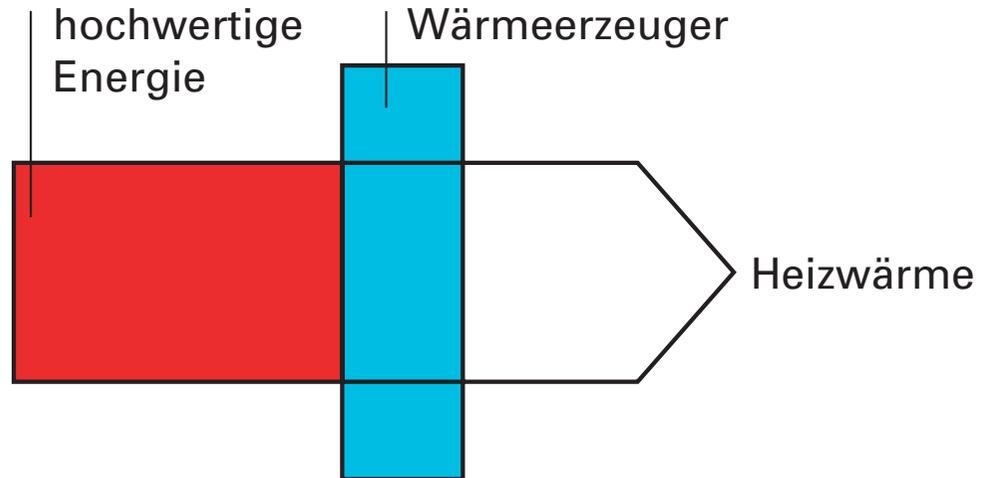
Die Überarbeitung und Ergänzung des Manuskripts von Peter Hänni besorgte Jürg Nipkow.

Folgende Abbildungen wurden direkt übernommen:

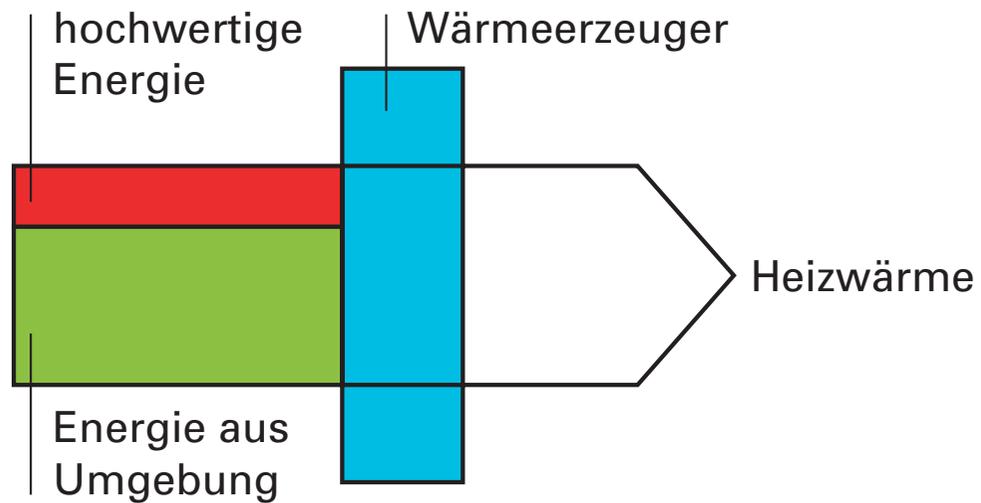
- Abb. 4 Quelle: Zürcher Energie-Praxis , AWEL, Zürich
- Abb. 5 Quelle: Heft «Wärmepumpen», RAVEL, ehemals Bundesamt für Konjunkturfragen, Bern
- Abb. 8 Quelle: Prospekt Hegner AG, Galgenen
- Abb. 15 Quelle: Dokumentation Saurer Thermodynamik, Arbon

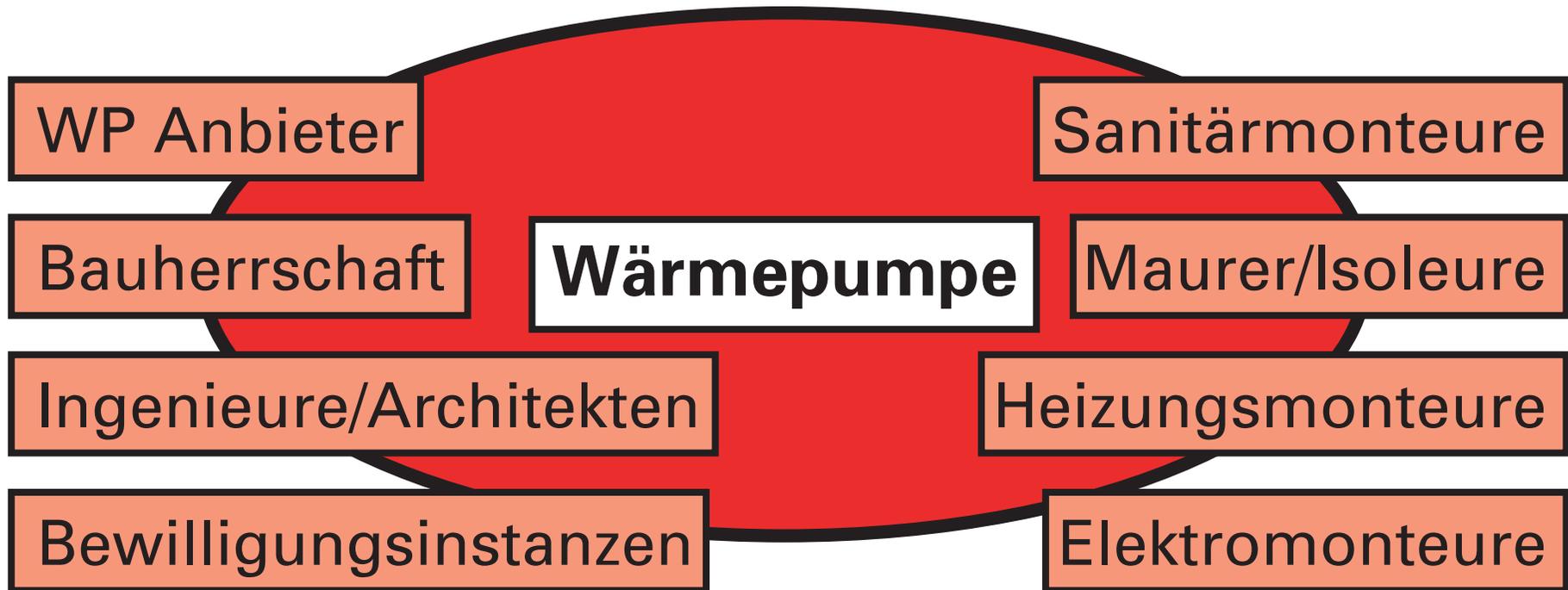
8 Vorlagen

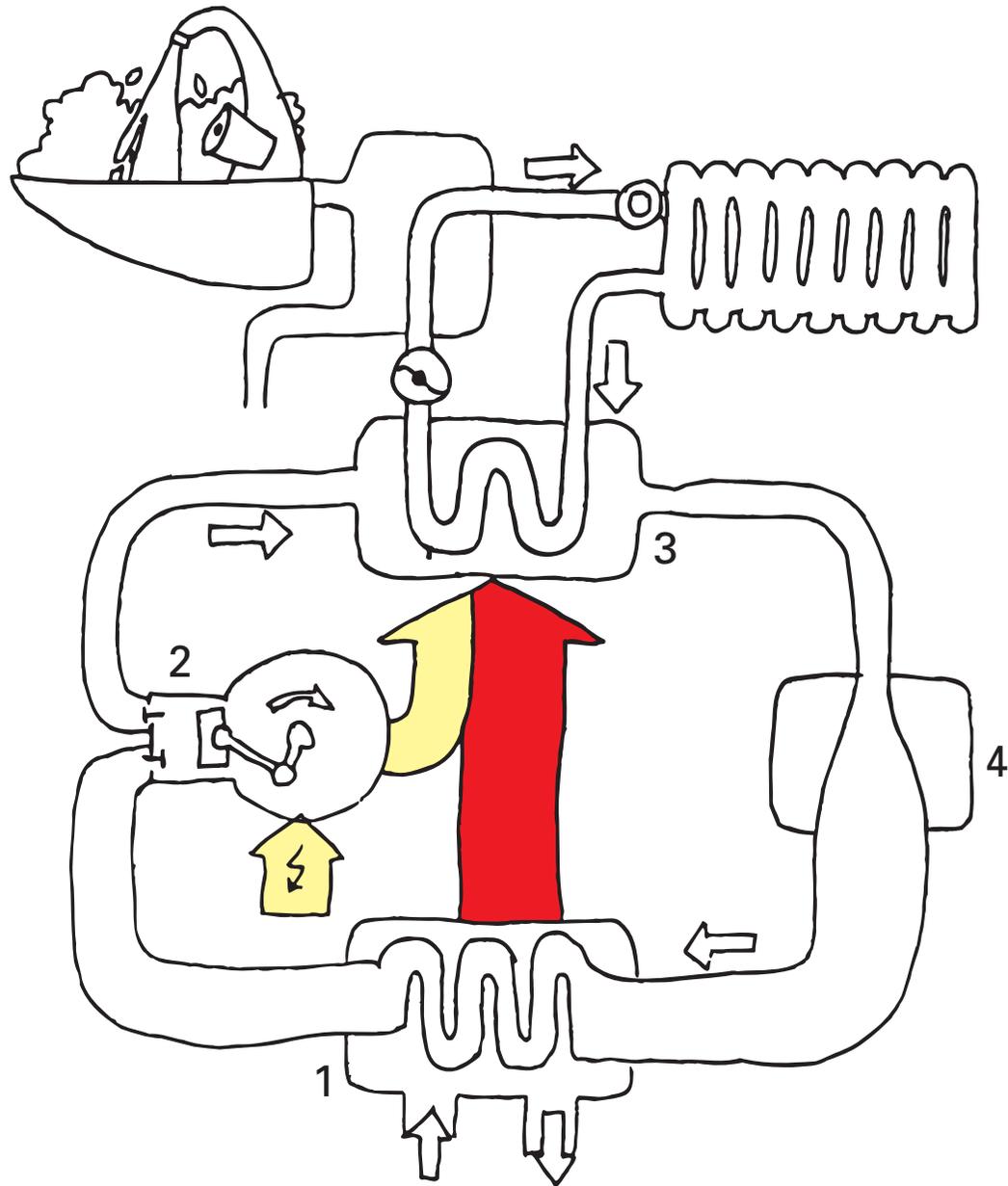
### Konventionelle Elektroheizung



### Wärmepumpenheizung

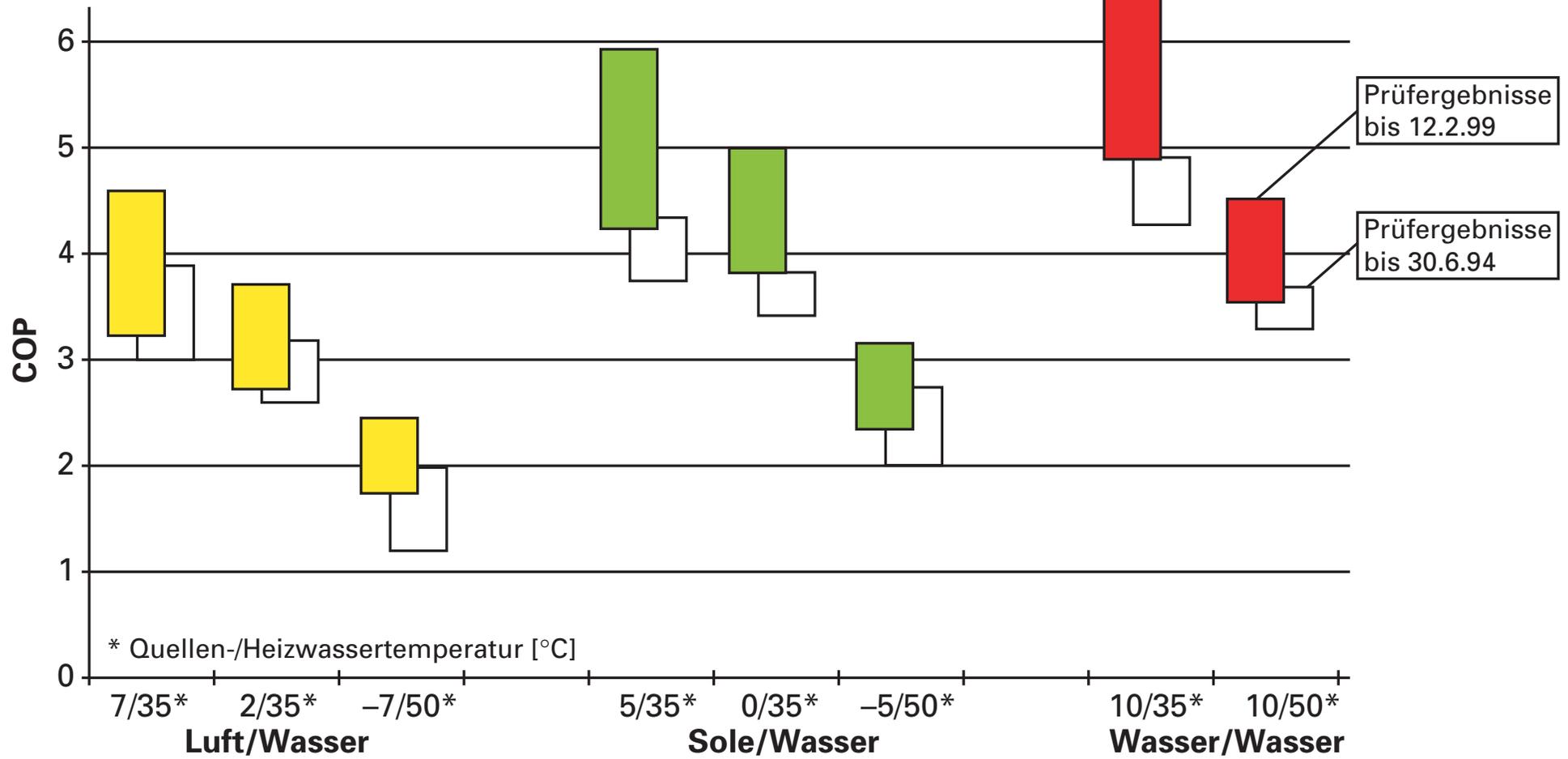


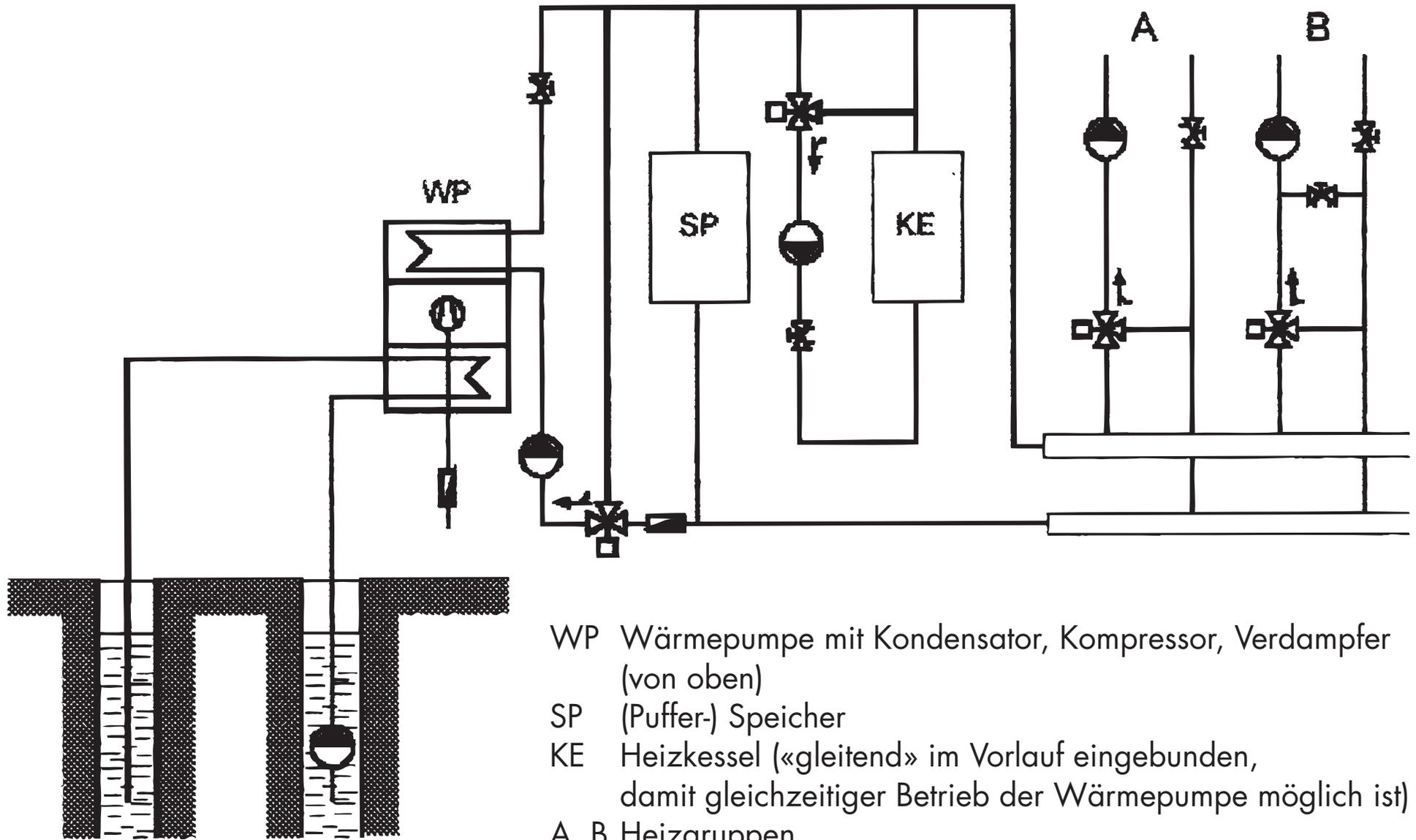




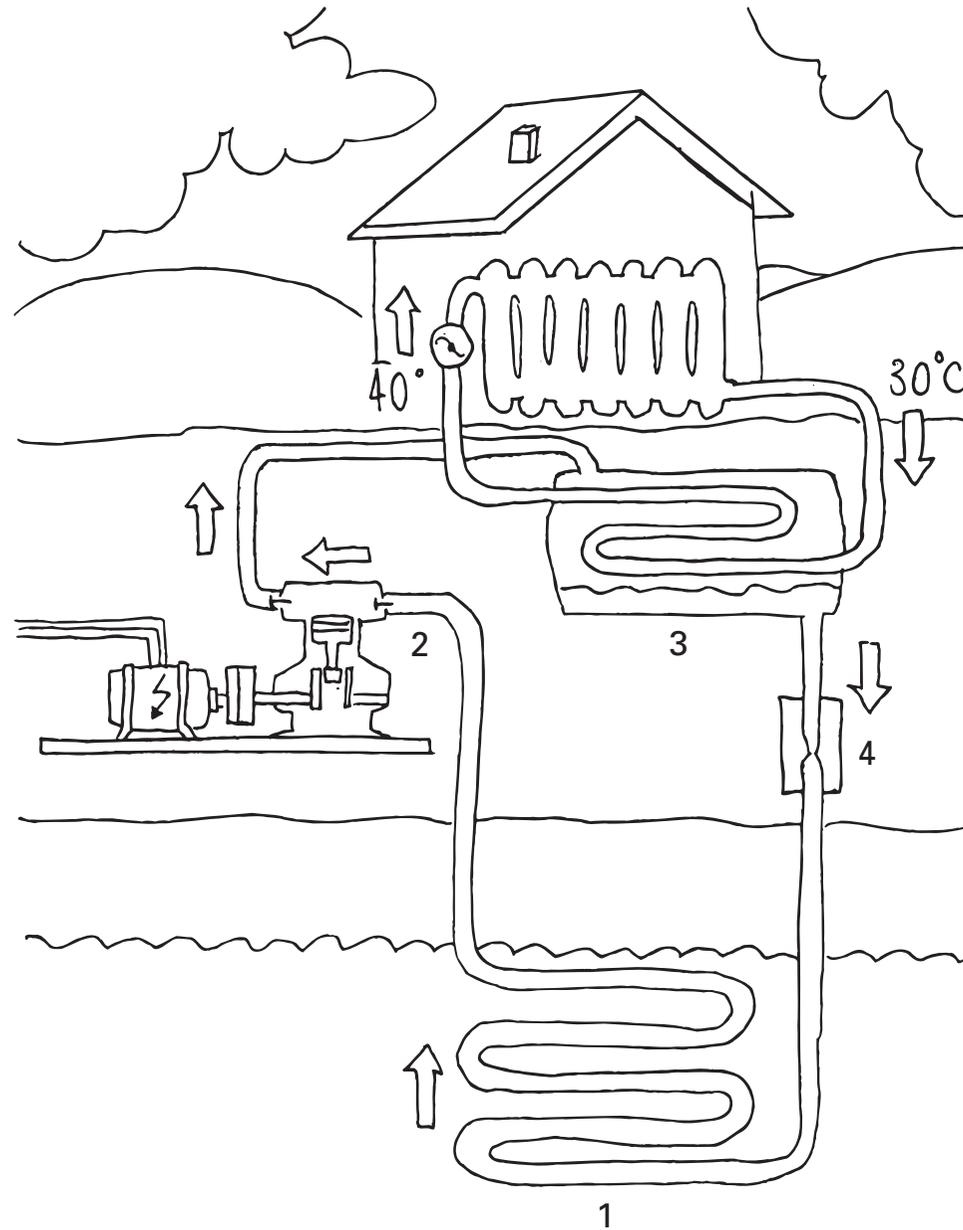
# COP-Faktoren von Wärmepumpen

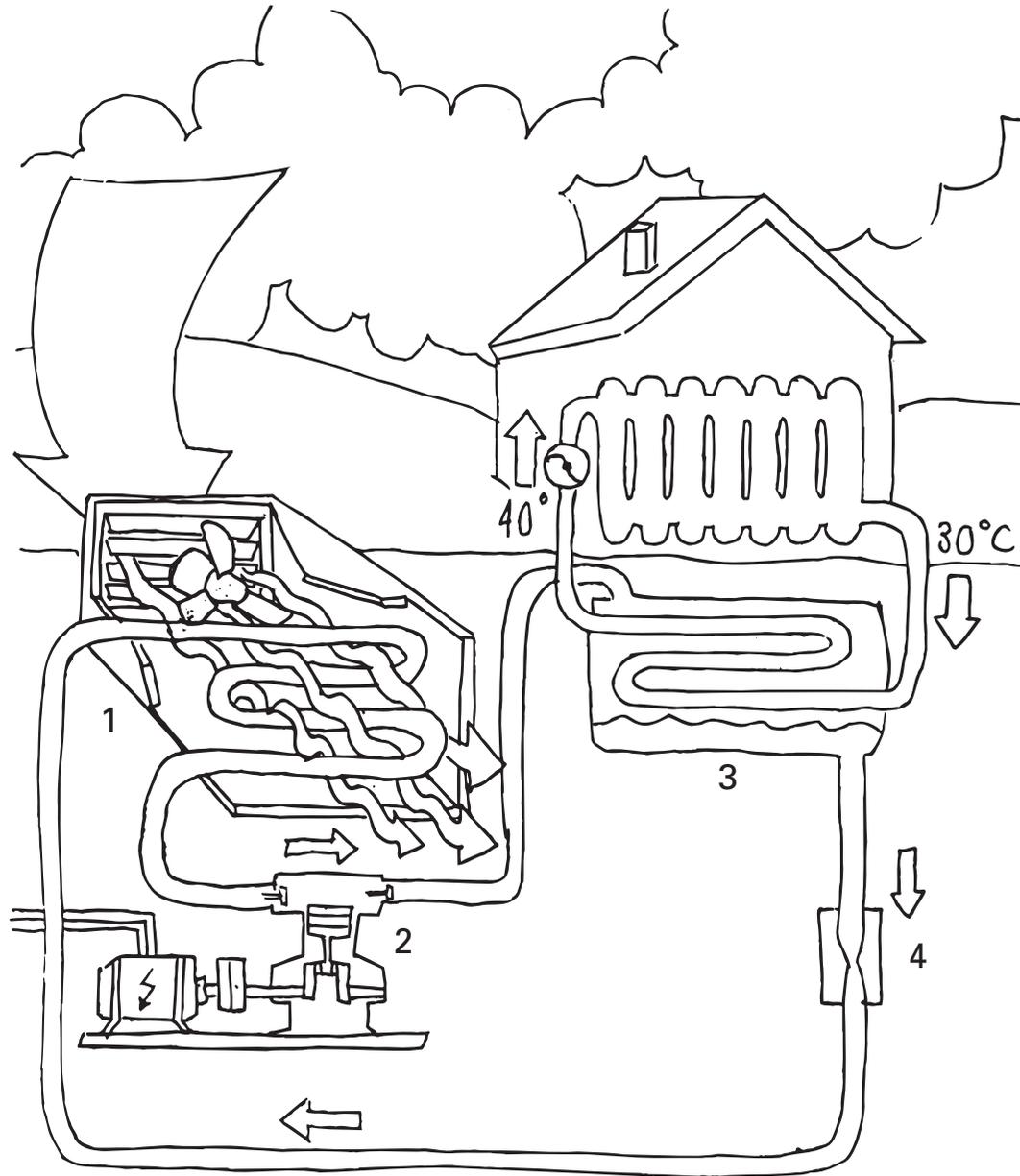
(Verhältniszahl Heizleistung/elektrische Antriebsleistung)

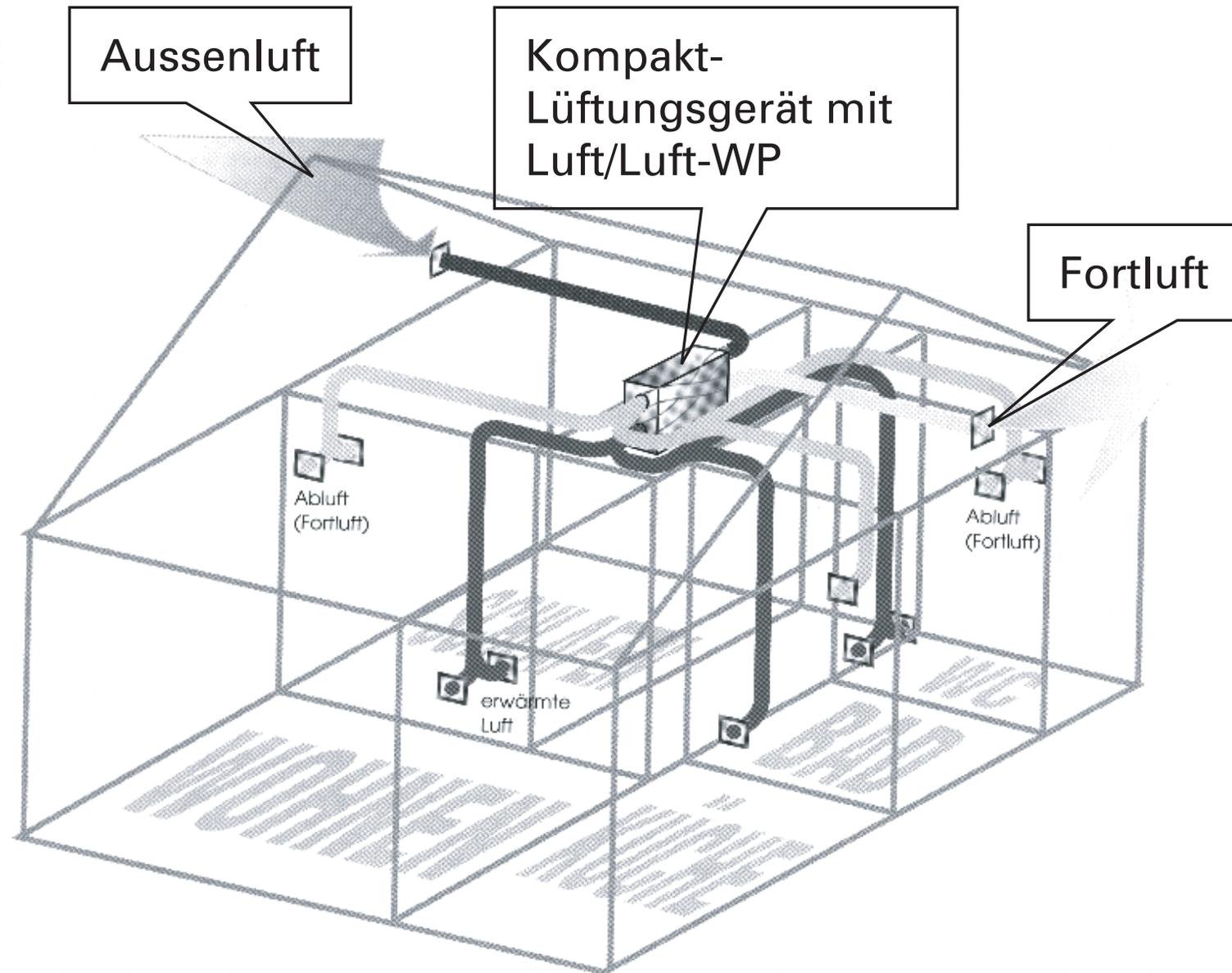


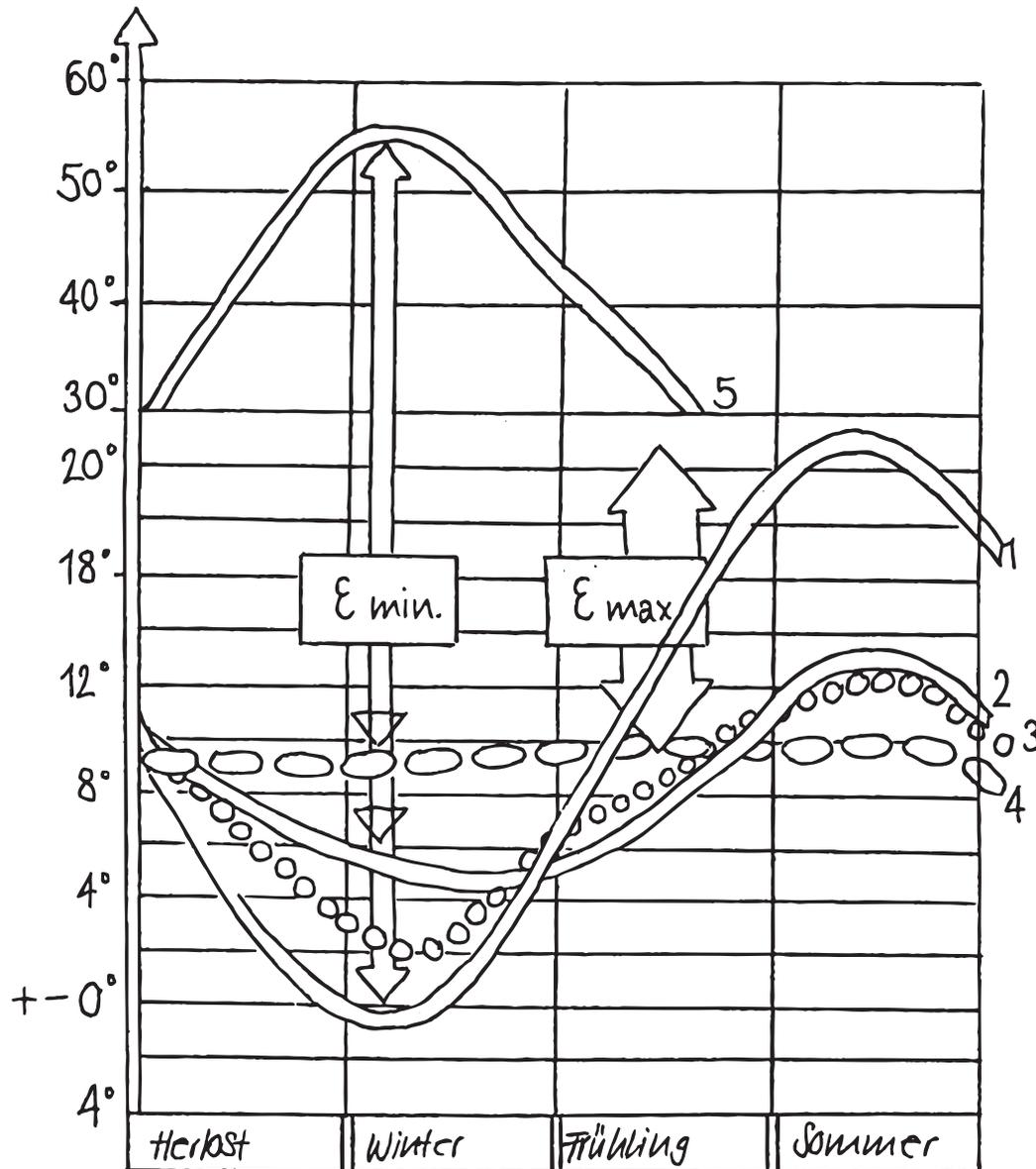


- WP Wärmepumpe mit Kondensator, Kompressor, Verdampfer (von oben)
- SP (Puffer-) Speicher
- KE Heizkessel («gleitend» im Vorlauf eingebunden, damit gleichzeitiger Betrieb der Wärmepumpe möglich ist)
- A, B Heizgruppen

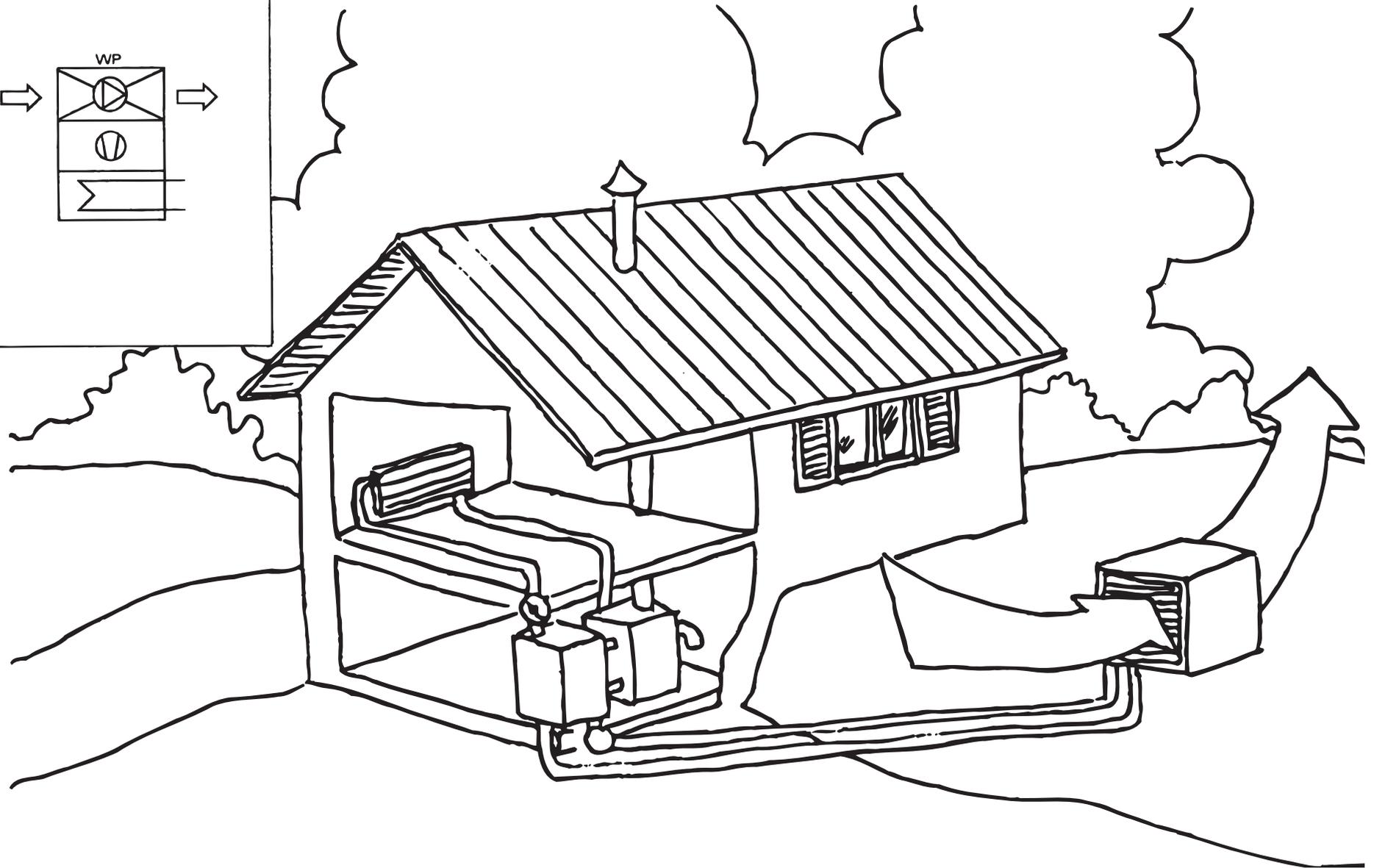
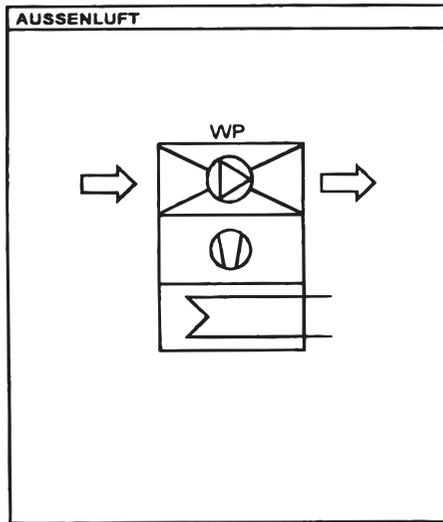


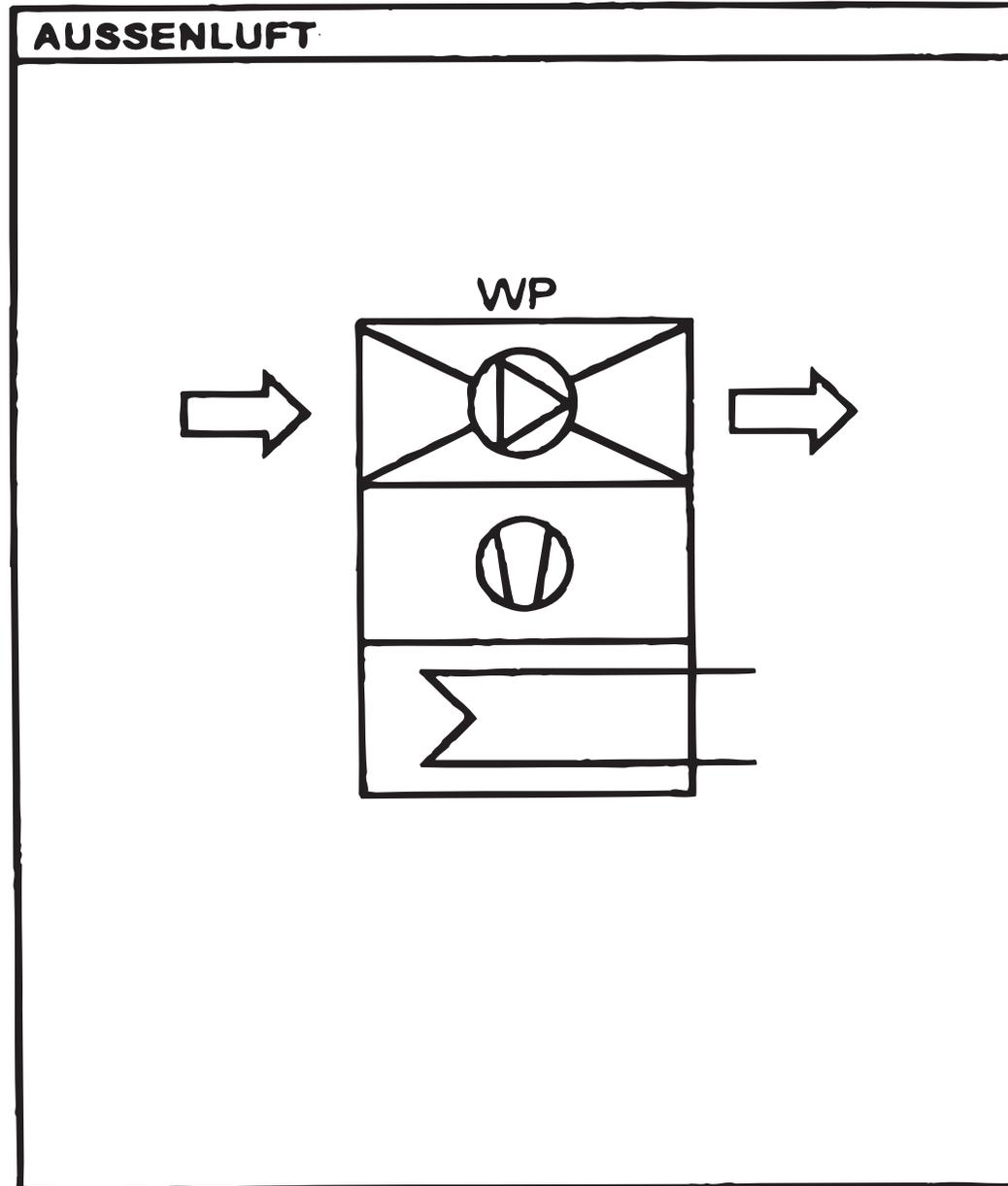


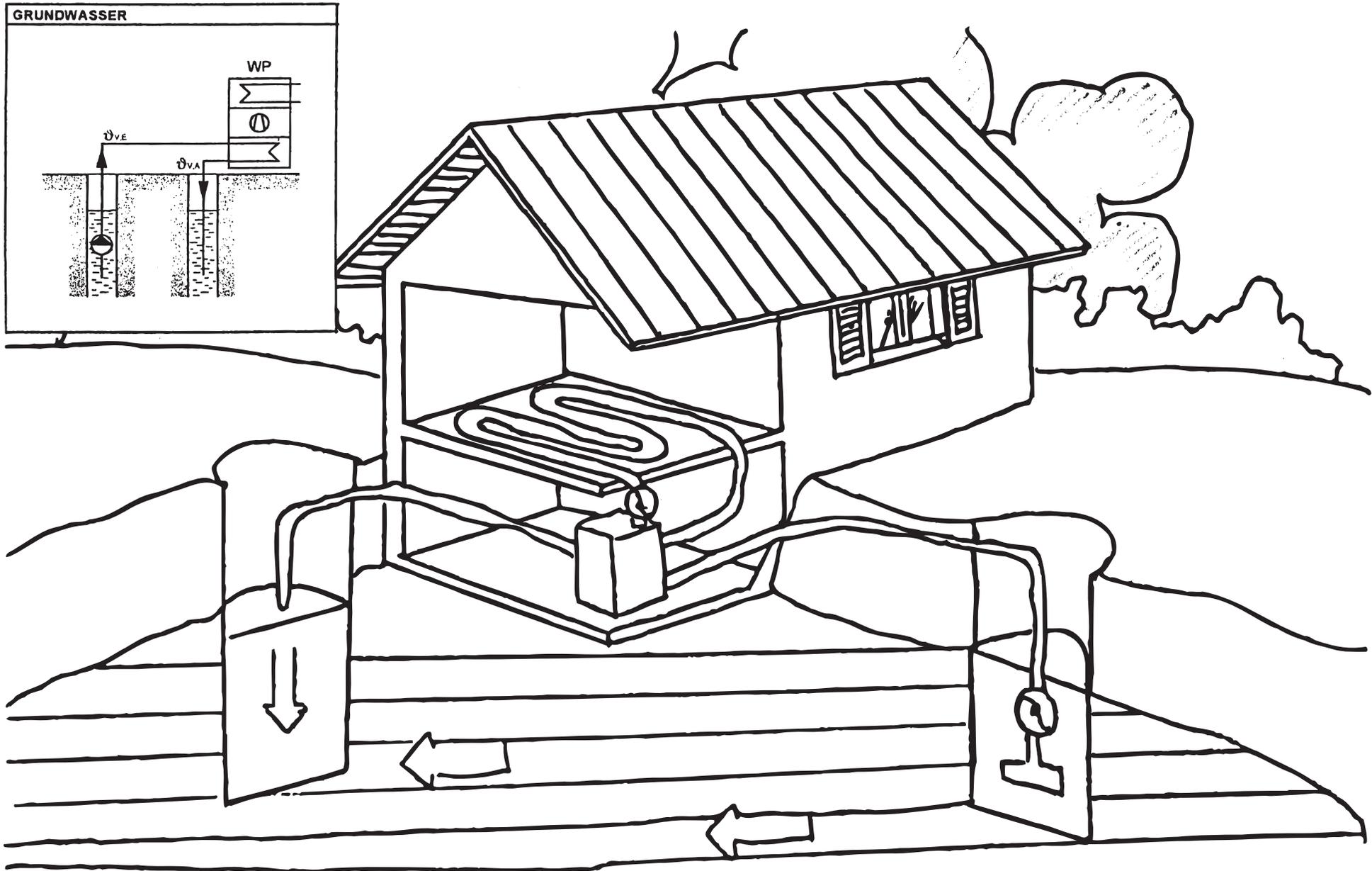


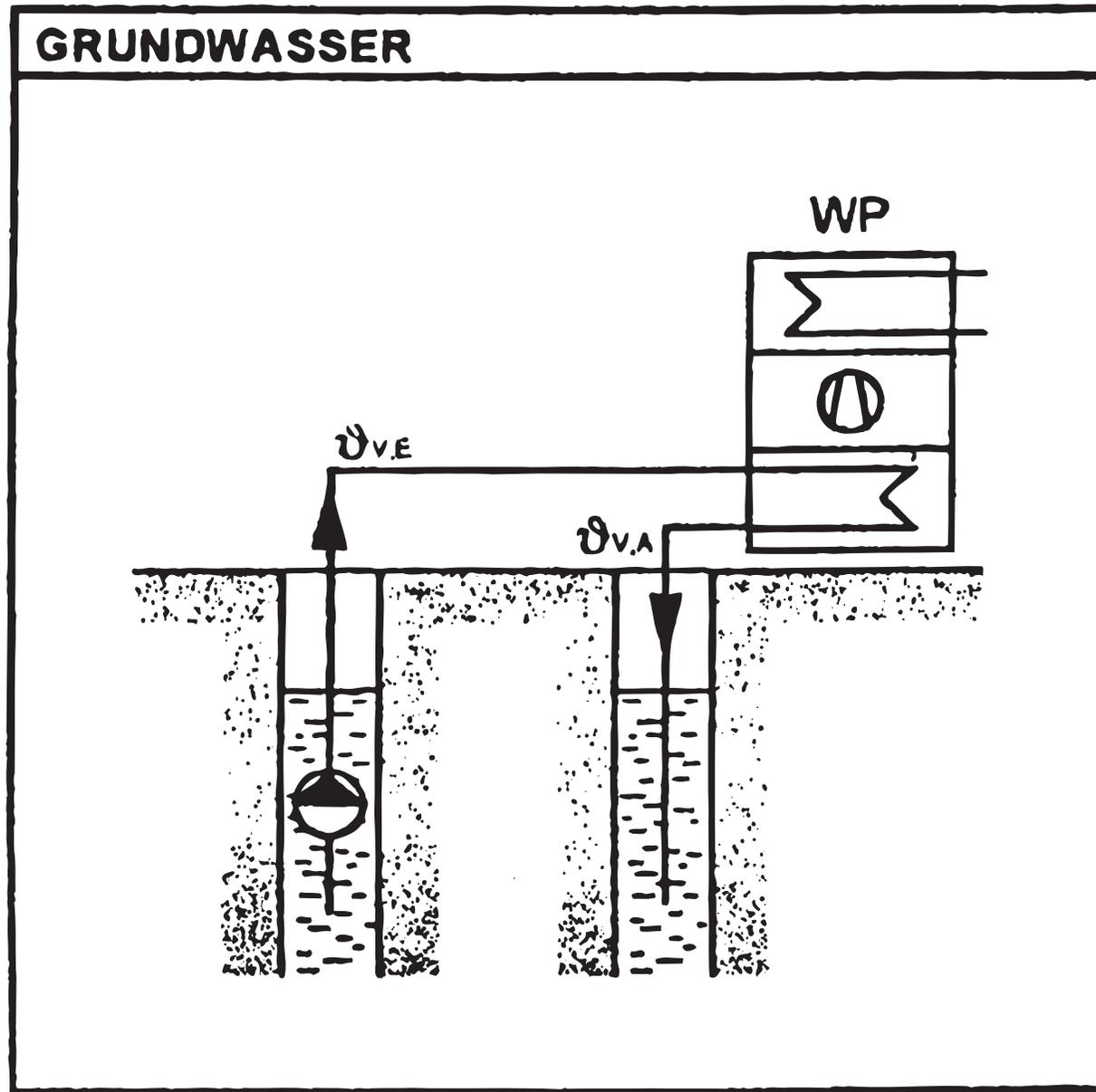


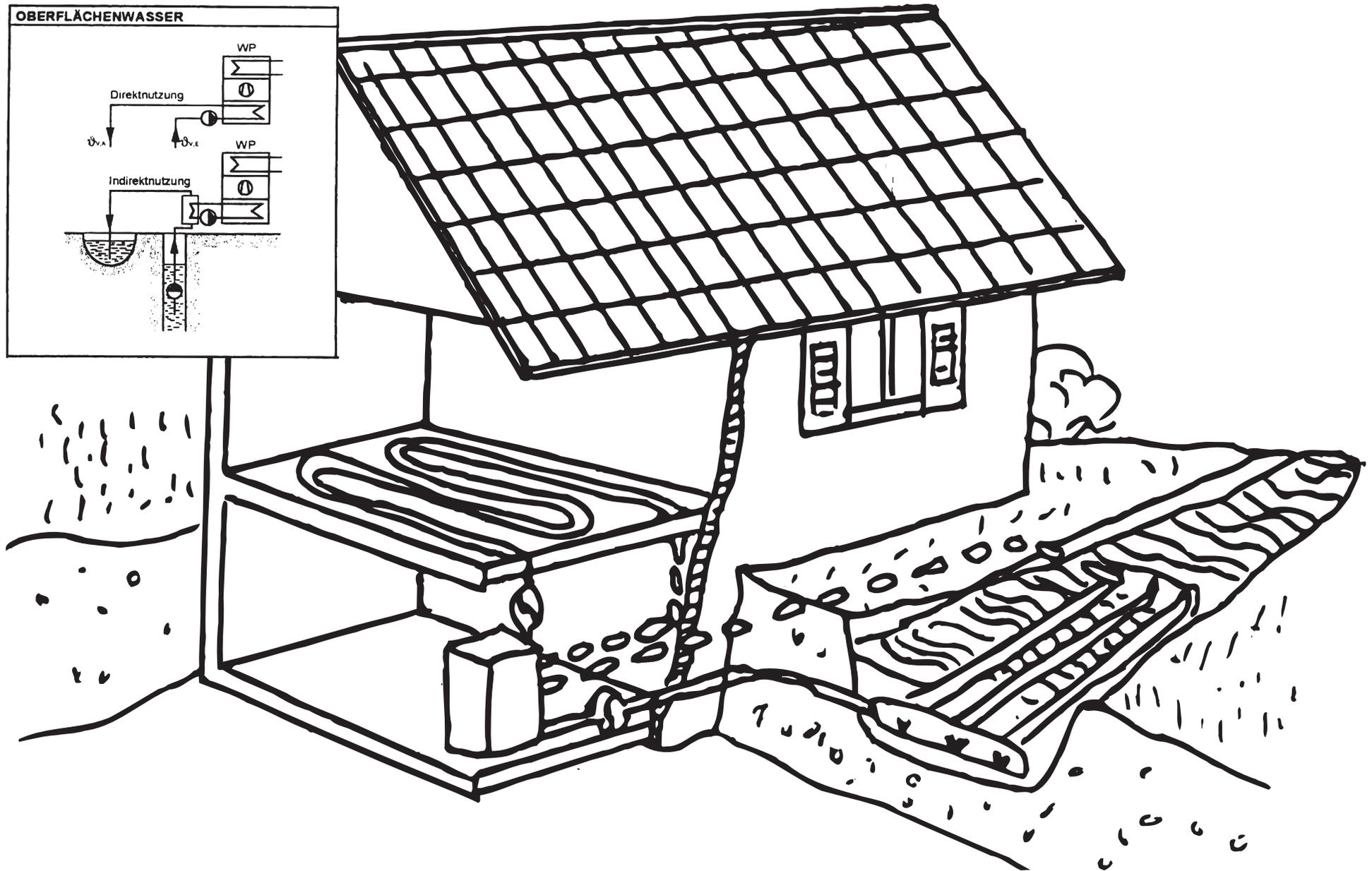
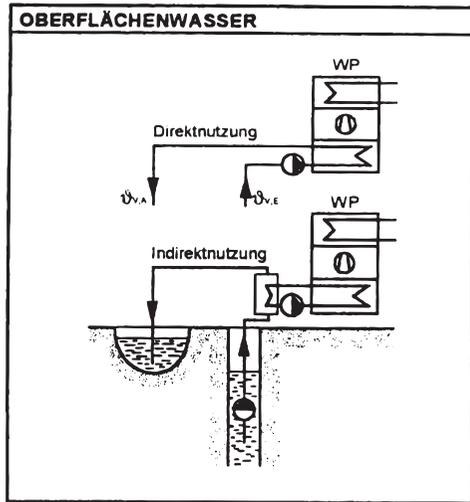
- 1 Mittlere Aussenlufttemperatur
- 2 Erdreichtemperatur in ca. 1,5 m Tiefe
- 3 Temperatur des Oberflächengewässers
- 4 Temperatur des Grundwassers
- 5 Temperatur des Heizungswassers

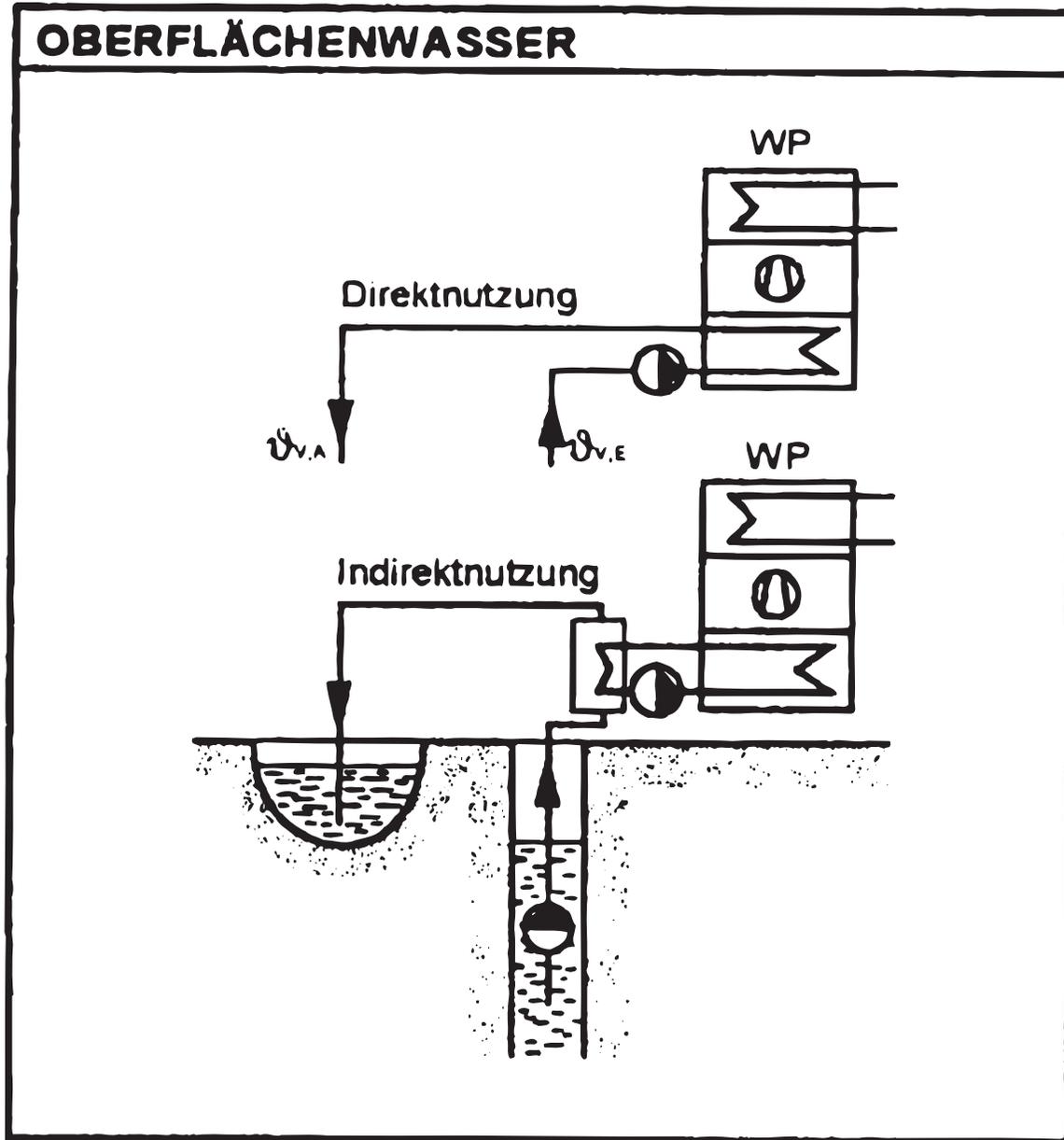


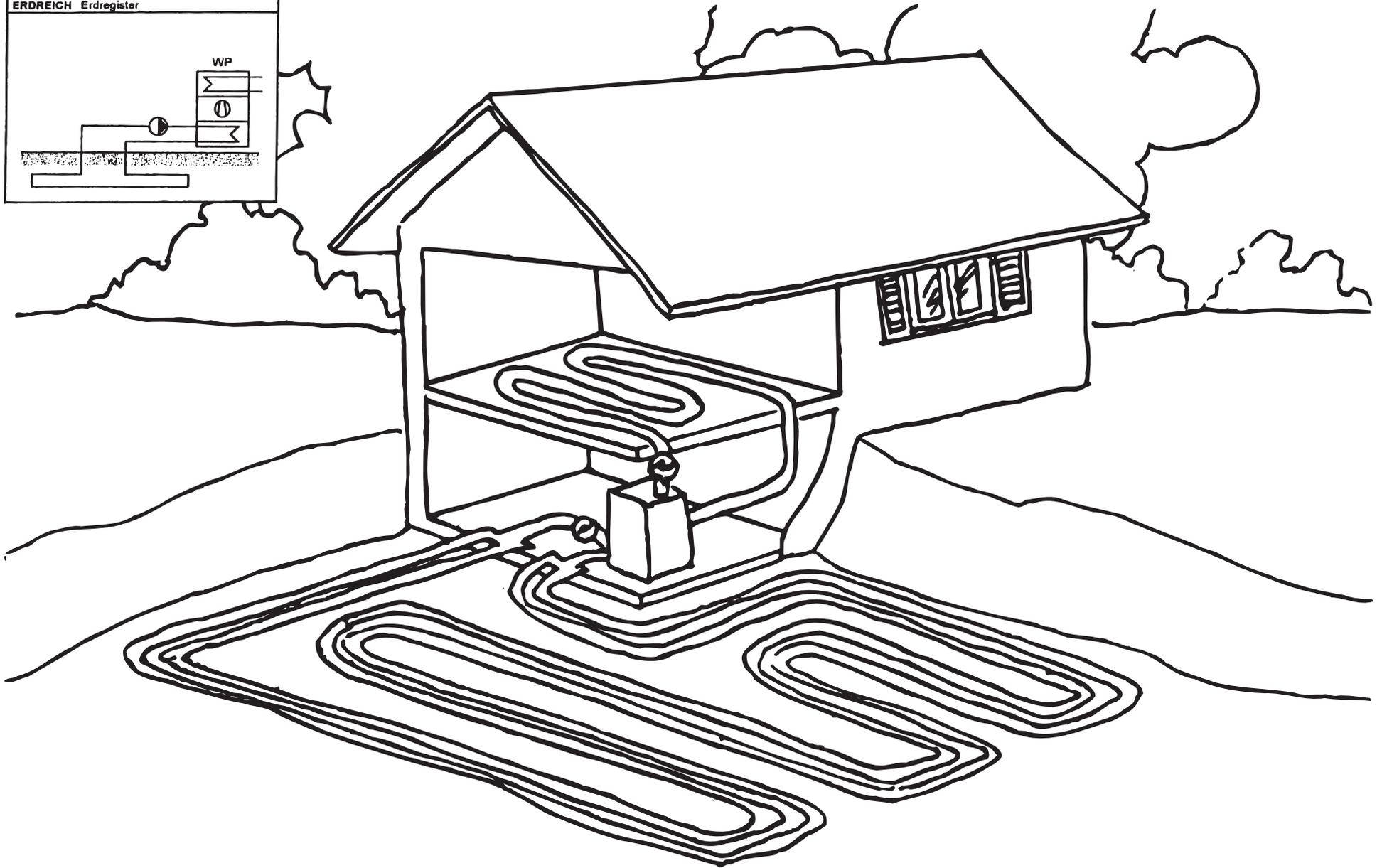
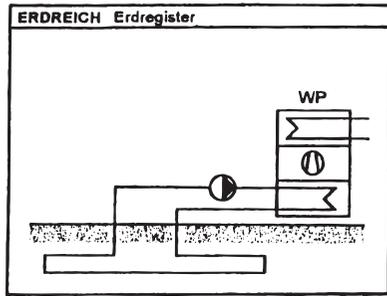


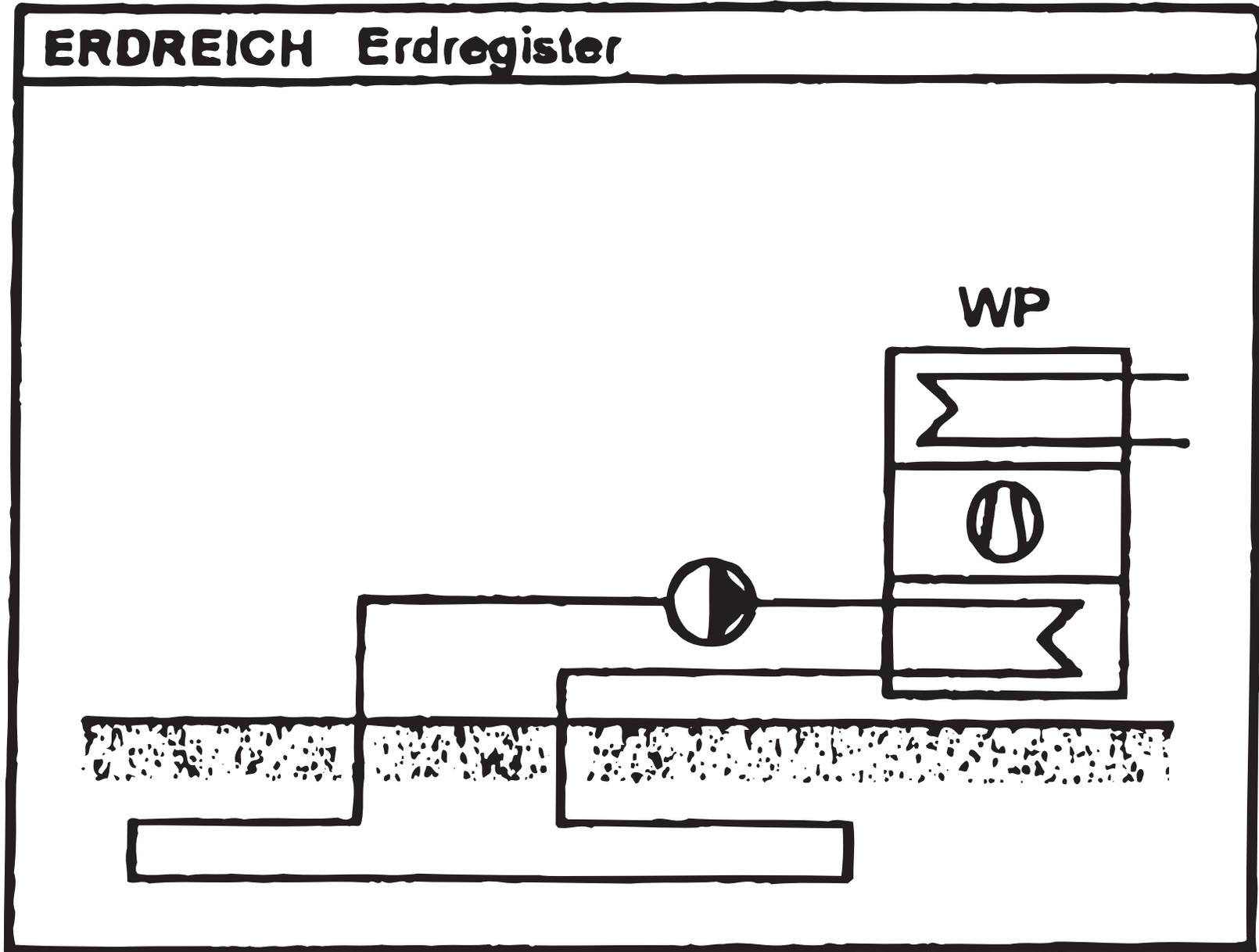


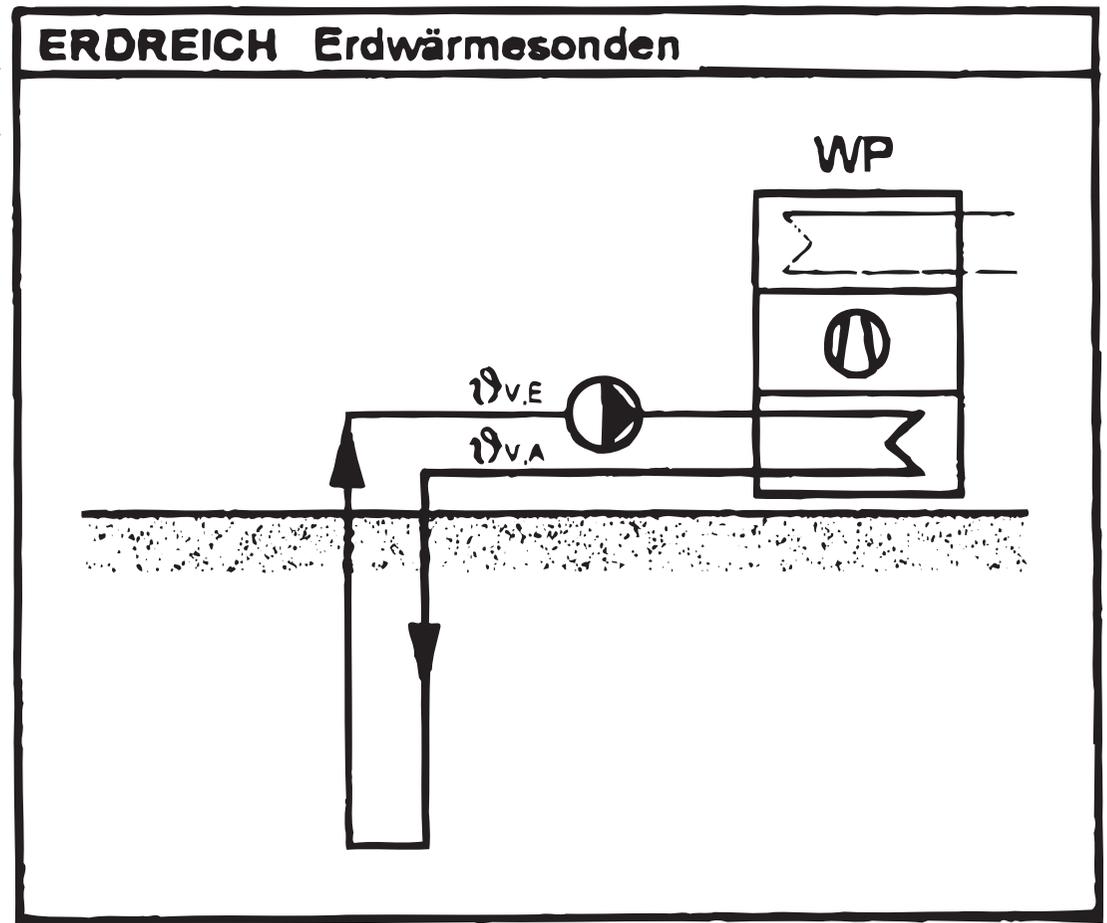
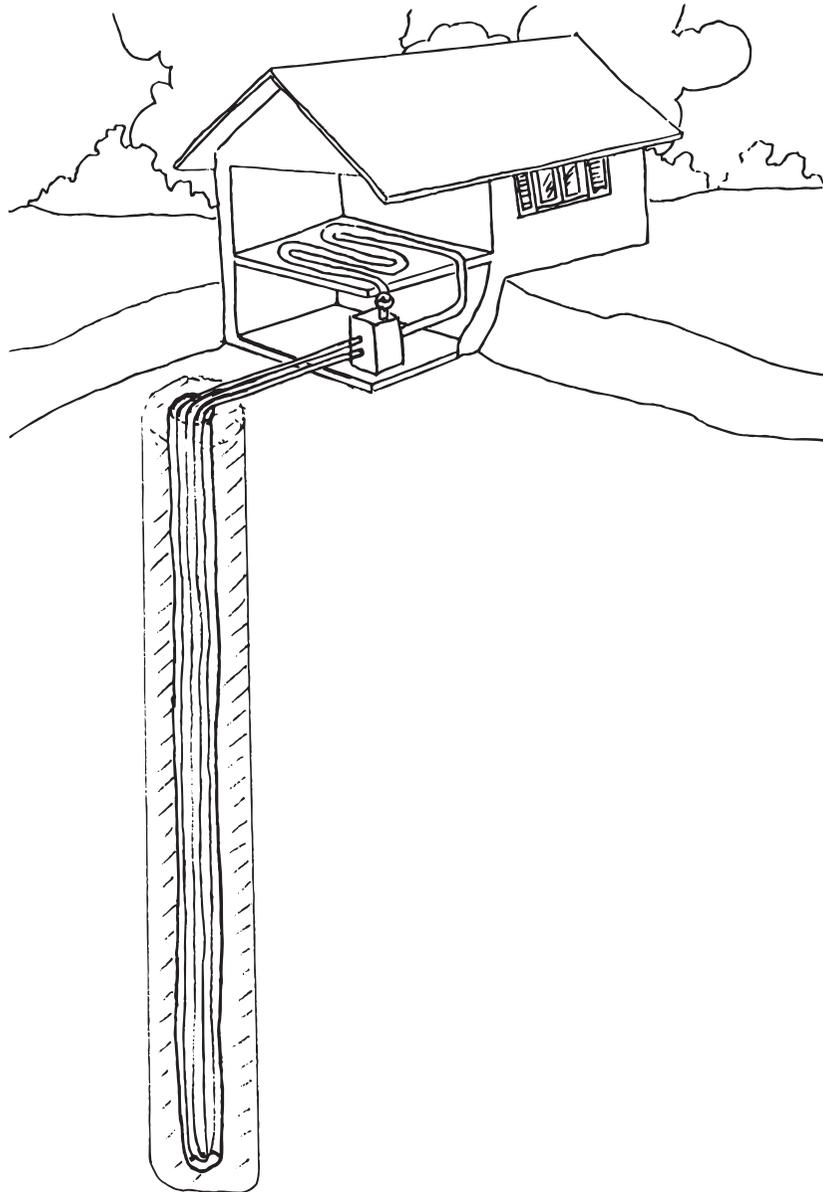












## Nettoleistung (Abtauenergie abgerechnet)

