

# WÄRMEPUMPEN + ERDWÄRME

## Geologisch-hydrogeologische Voraussetzungen und Möglichkeiten für eine konstante Wärmenutzung aus der Tiefe

von Dr. sc. nat. Mark Eberhard, Dipl. Geologe ETH/SIA, Energieberater NDS  
 EBERHARD & Partner AG, Geologie · Energie · Umwelt, Schachenallee 29, 5000 Aarau

### 1. Wärmepumpen mit Erdwärme

Es gibt heute zwei Wärmepumpenanlagen, welche die Erdwärme zur Beheizung von Gebäuden benützen. Es sind dies die *Wasser-Wasser-Anlage*, bei welcher in einem offenen Kreislauf 10-12 grädiges Grundwasser angesaugt, abgekühlt und wieder dem Boden zurückgegeben wird und die *Sole-Wasser-Anlage* (Erdwärmesonde), bei welcher in einem geschlossenen Kreislauf ein Wärmeträgermedium (Wasser oder ein Wasser-Frostschutz-Gemisch) im Umlauf gehalten wird. Das in der Tiefe erwärmte Medium wird dabei mittels einer Förderpumpe zur Wärmepumpe gebracht, dort abgekühlt und wieder der Tiefe zugeführt. Abgesehen von der Erdwärmeförderung sind beide Wärmepumpenanlagen identisch (Bild 1).

### 2. Wärmepotential Erde

Die Temperaturen im Erdmittelpunkt, in rund 6'400 km Tiefe, liegen um 6 - 7'000°C (Bild 2). Diese hohen Temperaturen entstehen durch ständig ablaufende radioaktive Zerfallsprozesse. Die so entstandene Wärme wird durch Wärmeleitung, -strahlung und Materialbewegung (Konvektion) in Richtung Erdoberfläche transportiert

und dort in die Atmosphäre und anschliessend in den Weltraum abgestrahlt. Von der ursprünglich im Erdinnern erzeugten Wärme kommt jedoch nur ein Bruchteil an der Erdoberfläche an.

### 3. Geothermischer Gradient

Betrachtet man den Wärmeverlauf in umgekehrter Reihenfolge, das heisst von der Erdoberfläche zurück zum Erdinnern, so lässt sich generell aussagen, dass pro 33 m Tiefenzunahme rund 1°C Wärmezunahme registriert werden kann (Geothermischer Gradient / Bild 3). Die kontinuierliche Wärmezunahme mit der Tiefe trifft jedoch nicht überall zu, so ist sie an Schwächezonen in der Erdkruste, wo der Wärmefluss vom Erdinnern grösser ist, höher und in tieferen Regionen des Erdinnern, kleiner. Ebenfalls zu beachten sind die obersten 12 m Boden, indem bis in diese Tiefe die atmosphärischen Klimabedingungen einen Einfluss auf die Bodentemperaturen haben. Erst ab 12 m kann mit konstanten Temperaturen von ca. 10°C (abhängig vom Bodensubstrat, geographischer Höhenlage, Wassergehalt) gerechnet werden. Am tiefsten Punkt einer 100 m tiefen Bohrung ergäbe sich im Schweizer Mittelland somit eine Temperatur von rund 13°C ( $88 \text{ m} \div 33 \text{ m} = 2.7 \text{ C} \Rightarrow 10 \text{ C} +$

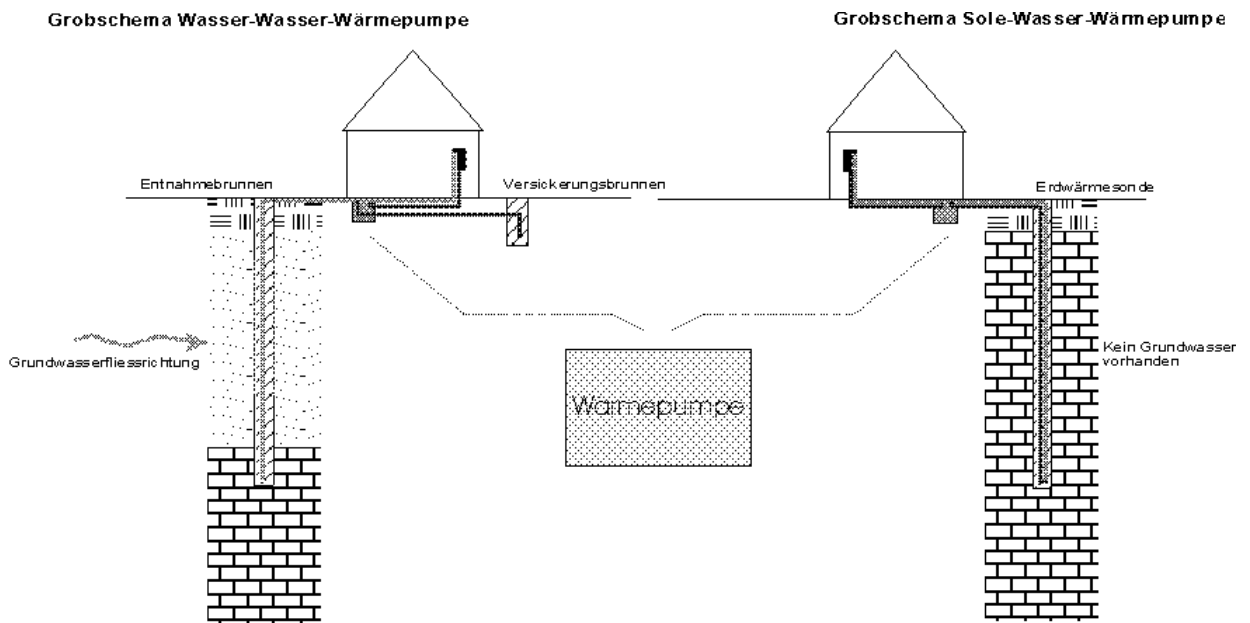


Bild 1: Übersicht der Erdwärmennutzung durch Wärmepumpen

EBERHARD & Partner AG, Aarau

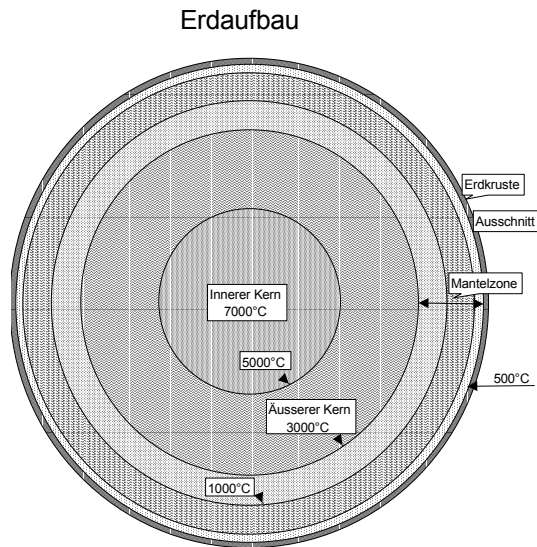


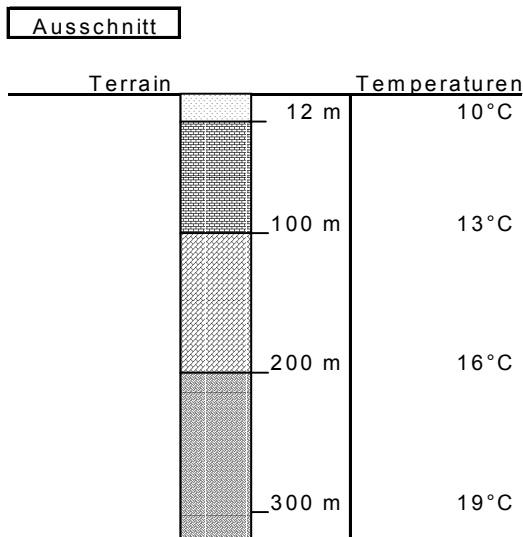
Bild 2: Wärmepotential der Erde

2.7°C = 12.7°C).

#### 4. Wärmeentzugsleistung

##### 4.1 Sole-Wasser-Wärmepumpe (Erdwärmesonde / direkte Wärmeübertragung durch das Gestein)

Bei dieser Erdwärmennutzung bestimmt der Wärmebedarf die Bohrtiefe. Aufgrund des geothermischen Gradienten (höhere Temperaturen mit zunehmender Tiefe) sollte wenn immer möglich eine tiefe anstatt zwei weniger tiefe Bohrungen realisiert werden. Dies ist jedoch nur da möglich, wo keine öffentlich oder privat genutzten und durch das Bohren gefährdeten Aquifere tangiert



##### Geothermischer Gradient

Pro 33 m Tiefenzunahme kann je 1°C Wärmezunahme registriert werden

Bild 3: Geothermischer Gradient

werden.

Je nach dem Gestein, aus welchem sich der Untergrund aufbaut und dessen Feuchtigkeitsgehalt, ergeben sich unterschiedliche Wärmeleitfähigkeiten und dem-

entsprechend unterschiedliche Wärmeflüsse, respektive Wärmeentzugsleistungen (Wärmeleitfähigkeit x Temperaturgradient = Wärmefluss). Durchschnittliche spezifische Wärmeentzugsleistungen in Fest- und Lockergesteinen schwanken von 20 bis 100 Watt pro Laufmeter (Durchschnitt 50 W/m). Die vorher erwähnte 100 m tiefe Bohrung ergäbe somit eine Leistung von 5'000 Watt respektive 5 kW. Der totale Wärmeenergieentzug kann bei kontinuierlicher Förderung stark absinken, da ein zeitlicher Verzug zwischen dem Wärmebedarf und dem Wärmenachschub entsteht. Ein zeitweiser Unterbruch des Wärmeentzugs ist somit notwendig (Im Normalfall durch Ein- und Ausschaltzyklen der Heizanlage gewährleistet).

##### 4.2 Wasser-Wasser-Wärmepumpe

(Wärmeübertragung durch Grundwasser)

In Bereichen wo dem Erdreich Grundwasser entzogen werden kann, lässt sich dieses direkt abkühlen. Normalerweise wird das Grundwasser um rund 4°C abgekühlt. Mit 1 m<sup>3</sup> / Std Wasserförderung ergibt sich eine Wärmeentzugsleistung von ca. 4.6 kW. Verglichen mit der Sole-Wasser-Wärmepumpe entspräche dies, bei einer spezifischen Wärmeentzugsleistung von 50 W/m, einer Bohrtiefe von 92 m.

Zur Erreichung der im vorherigen Abschnitt erwähnten Leistung von 5 kW müssten somit 1.1 m<sup>3</sup> / Std Grundwasser gefördert werden. Da durch die Wasserbewegung auch bei kontinuierlichem Wärmeentzug die Temperaturen nicht absinken (ständiger Wärmenachfluss durch das Grundwasser), kann über das Jahr gesehen dem Wärmeträgermedium mehr Wärmeenergie entzogen werden als bei der ersten Anlage. Je nach dem Wärmebedarf kann der Wasserdurchfluss variiert werden.

#### 5. Wahl der Anlage

Grundsätzlich kann die Wasser-Wasser-Anlage (W/W-WP) dort realisiert werden wo Grundwasser und die Sole-Wasser-Anlage (S/W-WP) dort wo kein Grundwasser vorhanden ist. Bis zur definitiven Realisierung der Anlage sind jedoch noch diverse Abklärungen geologisch-hydrogeologischer und gewässerschutztechnischer Art vorzunehmen sowie die Bewilligungen von Kanton und Gemeinde einzuholen. Aufgrund der höheren Anfangsinvestitionen, vorwiegend bedingt durch die höheren Kosten der Wärmeerzeugung und die zusätzlichen Kosten des Pumpversuches sowie der Erstellung des Versickerungsbunnens, werden die Wasser-Wasser-Anlagen heute hauptsächlich für Mehrfamilienhäuser realisiert. Bei idealen Bedingungen wie unmittelbar unter dem Terrain (2 - 10 m UKT) vorliegendes Grundwasser oder ein Verbund mehrerer Einfamilienhäuser untereinander, ist diese Anlage auch für Einfamilienhäuser ab einer bestimmten Grösse z.B. ab 10 - 12 kW Wärmebedarf sehr interessant (Kapitel 9). Grundsätzlich sollte bei Vorliegen von Grundwasser die Realisierung einer solchen Anlage geprüft werden.

Grundwasser vorhanden	→ W/W-WP möglich*
Kein Grundwasser vorhanden	→ S/W-WP möglich*

\* unter Beachtung der Gewässerschutzzonen

## 6. Wärmetechnische Situation bei Grundwasserentnahme und Erdsonden

### 6.1 Wasser-Wasser-Anlage

Bei der Wasser-Wasser-Anlage sind die Grundwasser-temperaturen gegeben.

Bedingt durch die auch bei grösseren Fördermengen konstanten Wassertemperaturen von 10 - 12°C, können unabhängig von den Aussentemperaturen sehr hohe Leistungszahlen erreicht werden. Bei einem genügend grossen Wasserreservoir im Untergrund ist es in Absprache mit den kantonalen Behörden und ausreichender Pumpen- respektive Anlagengrösse jederzeit möglich, die Förderrate zu erhöhen und so ein bei der ursprünglichen Planung noch nicht einkalkuliertes, zusätzliches Gebäude zu beheizen oder einen Neuzuzüger an die Anlage anzuschliessen.

### 6.2 Sole-Wasser-Anlage (Erdwärmesonde)

Um möglichst hohe Vorlauftemperaturen im Primärkreislauf zu erhalten, muss man bei der Sole-Wasser-Anlage möglichst tief bohren (geothermischer Tiefengradient) und falls möglich auf das Frostschutzmittel verzichten (schlechtere Wärmeübertragung, geringere Rohrreibungsverluste).

Bei richtiger Dimensionierung resultieren auch bei dieser Anlage hohe Leistungszahlen.

## 7. Unterhalt

### 7.1 Wasser-Wasser-Anlage

Für die Realisierung einer solchen Anlage weist das Grundwasser in den meisten Fällen günstige chemische Eigenschaften auf. In einzelnen Fällen kann es jedoch auch vorkommen, dass es zu aggressiv ist (Korrosionsgefahr) oder zuviel Eisen und Mangan enthält, so dass durch Bakterieneinfluss (Eisenbakterien) schon nach kurzer Zeit der Entnahme- und der Rückgabeburten verstopfen können. Im Gegensatz dazu sollte ein hoher Sandgehalt im Grundwasser (Abnutzung der Wärmepumpenanlage) durch vorgängige Entsandung des Entnahmebrunnens kein Problem darstellen.

### 7.2 Sole-Wasser-Anlage (Erdwärmesonde)

Wenn einmal in Betrieb, ist sie sehr unterhaltsarm. Voraussetzung für eine solche Anlage ist allerdings eine minutiöse Planung, das heisst, dass man den benötigten Wärmebedarf genau abklärt und unter Beachtung der Wärmeleitfähigkeit der erwarteten Gesteine, die Bohrtiefe festlegt. Eine zu kurz bemessene Erdsonde kann nicht einfach verlängert werden!

## 8. Rechtliche Aspekte

Nehmen wir an, Sie besitzen ein Grundstück, auf welchem Sie ein Haus, ausgestattet mit einer Wasser-Wasser- oder einer Sole-Wasser-Wärmepumpenanlage, bauen möchten. Wie schon erläutert, müssen Sie zuerst abklären, ob überhaupt und wenn ja, welche der beiden Anlagen auf ihrem Grundstück realisierbar ist. Falls Grundwasser vorhanden ist, kann prinzipiell eine Wasser-Wasser-Anlage realisiert werden. Da die Wärme öffentlicher Gewässer (z.B. Grundwasser) jedoch Eigentum des Staates ist, muss bei Kanton und Gemeinde zuerst eine Bewilligung eingeholt werden. Falls kein Grundwasser vorhanden ist, kann prinzipiell eine Sole-Wasser-Anlage realisiert werden. Rechtlich verhält es sich so, dass die Eigentumsgrenze Ihres Grundstückes sich bis in die Tiefe von 2 - 3 unterirdischen Stockwerken erstreckt und Sie somit bis in diese Tiefe keine Bewilligung einholen müssen. Der Boden,

welcher sich tiefer als 3 Stockwerke unter Ihrem Grundstück befindet, ist eine herrenlose Sache, seine thermische Nutzung ist jedoch der Staatshoheit unterstellt (Art. 713 ZGB). Folglich muss auch hier eine Bewilligung bei Kanton und Gemeinde eingeholt werden. Der einzuhaltende Grenzabstand bis zum Nachbargrundstück wird von der entsprechenden Gemeinde geregelt.

## 9. Investitionen / Kosten

### 9.1 Wasser-Wasser-Anlage: Anfangsinvestitionen

Die Anfangsinvestitionen einer Wasser-Wasser-Anlage (Wärmeerzeugung und -verteilung / 25 m tiefer Entnahmebrunnen) belaufen sich inklusive Installation total auf ca.:

Wärmeleistungsbedarf 12 kW

	Neubau	Sanierung
Anlage total in Fr.	45'000.--	35'000.--

Neubau = inklusive Wärmeverteilung  
Sanierung = mit bestehender Wärmeverteilung

Für einen 25 m tiefen Entnahmebrunnen und daran angehängter Wärmepumpe (12 kW Wärmeleistung) ergeben sich somit Gesamtinvestitionen von rund 45'000.-- Fr. bei einem Neubau respektive 35'000.-- Fr. bei einer Sanierung.

Von diesen Anfangsinvestitionen können allfällige Subventionen wie z.B. aus dem Investitionsprogramm Energie 2000 des Bundes (Ersatz bestehender Wärmeerzeuger durch erneuerbare Energien oder elektrizitätswerkspezifische respektive kantonale Zuschüsse) abgezogen werden.

Betriebskosten:

Je nach Anlagengrösse, Wärmepumpentyp (Marke) und Strompreis resultieren unterschiedliche Betriebskosten. Bei einer Anlage von 12 kW Wärmeleistung ergeben sich durchschnittliche Betriebskosten von rund 800.-- Fr. pro Jahr.

### 9.2 Sole-Wasser-Anlage (Erdwärmesonde)

Anfangsinvestitionen:

Bei der Sole-Wasser-Anlage belaufen sich die Anfangsinvestitionen inklusive Installation total auf ca. (Annahme: 100 m tiefe Bohrung im Gewässerschutzbereich A):

Wärmebedarf 6 kW

	Neubau	Sanierung
Anlage total in Fr.	38'000.--	30'000.--

Neubau = inklusive Wärmeverteilung  
Sanierung = mit bestehender Wärmeverteilung

Für eine 100 m tiefe Bohrung und daran angehängter Wärmepumpe (6 kW Wärmeleistung) ergeben sich somit Gesamtinvestitionen von 38'000.-- Fr. bei einem Neubau respektive 30'000.-- Fr. bei einer Sanierung. Wie bei der Wasser-Wasser-Anlage können allfällige Subventionen von diesen Beträgen abgezogen werden.

Betriebskosten:

Je nach Anlagengrösse, Wärmepumpentyp (Marke) und Strompreis resultieren unterschiedliche Betriebskosten. Bei einer Anlage von **6 kW** Wärmeleistung ergeben sich durchschnittliche Betriebskosten von rund **700.-- Fr.** pro Jahr.

Bei den Anfangsinvestitionen der Wasser-Wasser-Anlage ist zu beachten, dass gerade bei Neubauten die Möglichkeit besteht, mit einer Bohrung mehrere Bezüger respektive Häuser zu versorgen. Die Anfangsinvestitionen können so aufgeteilt respektive reduziert werden. Diese Aufteilung ist bei der Sole-Wasser-Anlage aufgrund der steigenden Bohrkosten mit zunehmendem Energiebedarf nicht möglich. Eine weitere Optimierung sowohl der Wasser-Wasser- wie auch der Sole-Wasser-Wärmepumpen-Anlage besteht bei entsprechender Wahl des Kältemittels z.B. Propan, welches Vorlauftemperaturen bis 65 °C ermöglicht in der zusätzlichen Aufbereitung des Brauchwarmwassers. Bei der Wasser-Wasser-Anlage muss dafür die Grundwasser-

förderrate erhöht, bei der Sole-Wasser-Anlage tiefer gebohrt werden.

Die hier aufgeführten Preisangaben entsprechen Durchschnittswerten und können in der Praxis somit nach unten und oben variieren.

## 10. Abschliessende Betrachtungen / Eckdaten

Abschliessend werden die wichtigsten Eckdaten einer Wasser-Wasser-Anlage mit 12 kW Wärmebedarf bzw. einer Sole-Wasser-Anlage mit 6 kW Wärmebedarf zusammengestellt (Tabelle 1).

Wasser-Wasser-Wärmepumpe 12 kW		Sole-Wasser-Wärmepumpe 6 kW	
<b>Voraussetzungen</b>	Grundwasser	<b>Voraussetzungen</b>	Kein Grundwasser
	Entnahme-, Rückgabeburgen		Eine oder zwei Tiefbohrungen
<b>Wasserbedarf</b>	30 l/min	<b>Bohrtiefe</b>	90 m
<b>Unterhalt</b>	Periodische Kontrollen Filter	<b>Unterhalt</b>	Kontrolle Wasserinhalt Sonden
<b>Lebensdauer</b>	20 Jahre	<b>Lebensdauer</b>	20 Jahre
<b>Investitionen Neubau</b>	45'000.-- Fr.	<b>Investitionen Neubau</b>	38'000.-- Fr.
<b>Betriebskosten</b>	800.-- Fr.	<b>Betriebskosten</b>	700.-- Fr.
<b>Vorteile</b>	Hohe Leistungszahlen	<b>Vorteile</b>	Hohe Leistungszahlen
	Niedere Betriebskosten		Niedere Betriebskosten
	Mehrere Häuser anschliessbar		
<b>Nachteile</b>	Hohe Erstinvestitionen	<b>Nachteile</b>	Für jedes Haus eigene Sonde

Tabelle 1: Wichtigste Eckdaten der Wasser-Wasser- und der Sole-Wasser-Wärmepumpen

## Weitere Informationen

Die kantonalen Energiefachstellen sowie die INFOENERGIE-Beratungszentralen erteilen Ihnen gerne weitere Auskünfte und bieten weiterführendes Informationsmaterial zu den Themen dieser Broschüre an. Dort erhalten Sie auch eine Liste der öffentlichen Energieberatungsstellen und Energieberater.

### Adressliste

Eine Liste der öffentlichen Energieberatungsstellen erhalten Sie bei:

INFOENERGIE Beratungszentrale Nordwestschweiz  
AG, BE, BL, BS, SO, VS, (D), FR (D)  
Schachenallee 29  
5000 Aarau  
Tel. 062/834 03 03; Fax 062/834 03 23  
Internet: <http://www.infoenergie.ch/>  
E-Mail: [beratung@infoenergie.ch](mailto:beratung@infoenergie.ch)

INFOENERGIE Beratungszentrale Ostschweiz  
AI, AR, GR, GL, SH, SG, TG, ZH  
c/o FAT  
8356 Tänikon  
Tel. 052/368 34 85; Fax 052/368 34 89  
Internet: <http://www.infoenergie.ch/>  
E-Mail: [taenikon@infoenergie.ch](mailto:taenikon@infoenergie.ch)

INFOENERGIE Beratungszentrale Zentralschweiz

LU, NW, OW, SZ, UR, ZG  
Weissenbrunnenstrasse 41  
8903 Birmenstorf  
Tel. 01/737 14 45; Fax 01/737 03 17

## Impressum

Redaktion: EBERHARD & Partner AG,  
INFOENERGIE Aarau

Herausgeber: INFOENERGIE Beratungszentralen

© EBERHARD & Partner AG, INFOENERGIE  
1999

Aarau, 21. Juli 2001