



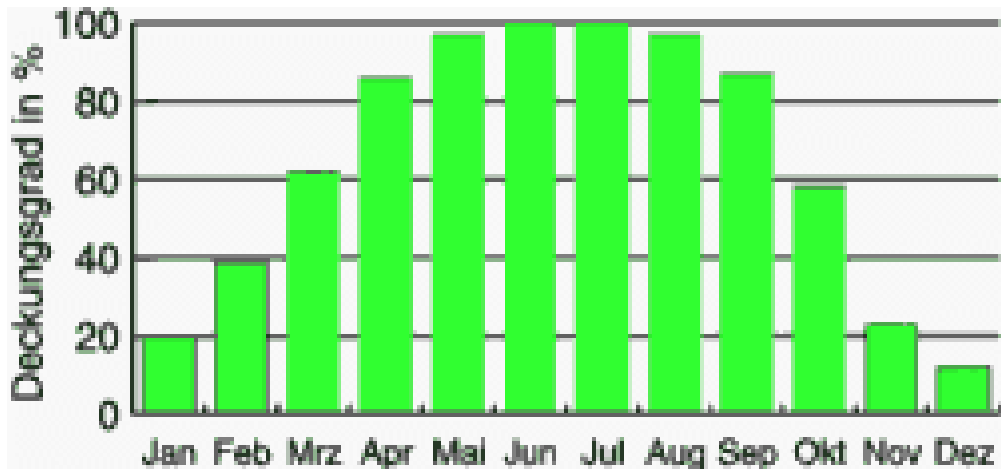
# Grundwissen und Fakten zur Anwendung von Solarthermie und Geothermie im häuslichen Bereich

## I. Solarthermie

### Physikalische Randbedingungen in Deutschland

- Sonneneinstrahlung Deutschland ca.  $1000 \text{ kWh/m}^2 = 100 \text{ l Öl}$ .
- Im Jahresmittel jedoch nur  $100 \text{ kWh/m}^2$  - geringe Energiedichte
- jährliche Sonneneinstrahlung BRD beträgt das 80-fache des jährlichen Primärenergieverbrauchs
- Solarstrahlung besteht aus direkter und diffuser Strahlung
- Solarthermie nutzt die direkte Sonneneinstrahlung

### Einsatz von Solarkollektoren zur Brauchwasserbereitung



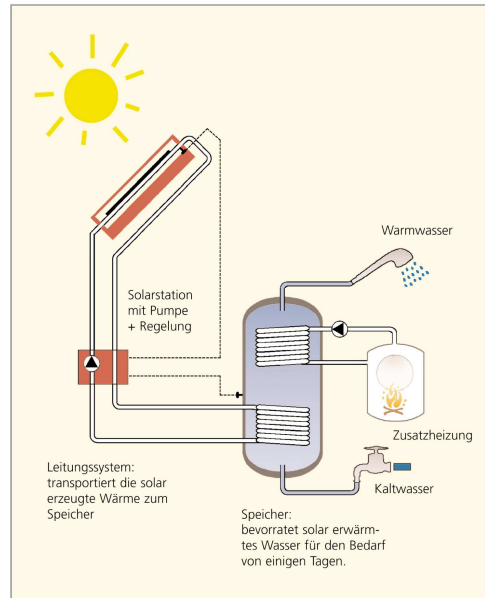
Deckungsraten ganzjährig bis zu 50 – 65 %

Deckungsraten im Sommer bis zu 100 %

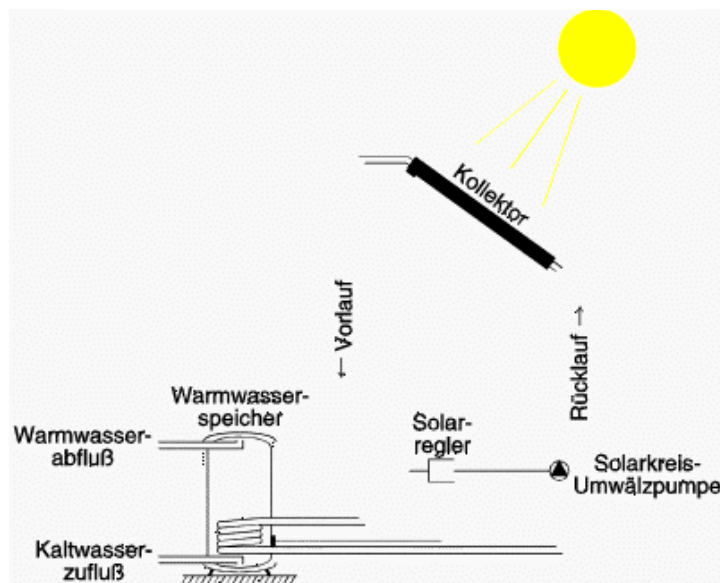


# Funktionsschema einer Solaranlage zur Brauchwasserbereitung

Brauchwasseranlage



Quelle: Schüle/Uthel/Neumann: Thermische Solaranlagen, 1997





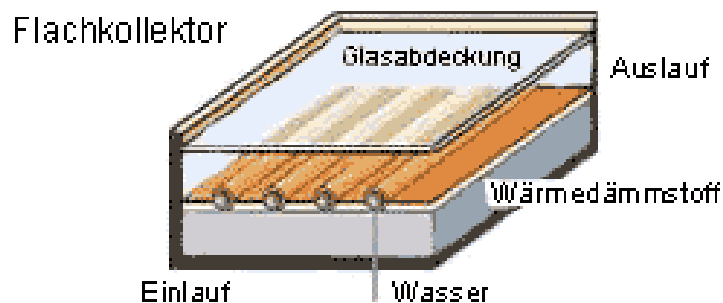
## Arten von Kollektoren

- Flachkollektoren
- Vakuum-Flachkollektoren
- Vakuum-Röhrenkollektoren
- Einfache Absorber (Schwimmbadwassererwärmung)

## Möglichkeiten der Errichtung

- Indachmontage (praktiziert meistens im Neubau)
- Aufdachmontage
- Freiaufstellung (im Gelände oder bei Flachdach)

## Aufbau Flachkollektoren



**Absorber:** (lat.: Aufnehmer) Der wichtigste Teil des Kollektors nimmt die einfallende Sonnenstrahlung über eine Trägerflüssigkeit (Wasser + Frostschutzmittel) auf. Diese wird erwärmt und zirkuliert zwischen [Kollektor](#) und [Speicher](#). Ein hoher [Wirkungsgrad](#) wird durch die Verwendung schwarzer Absorber oder, noch besser, durch selektive Beschichtung erreicht.



## Aufbau von hocheffizienten Absorbern

- schwarz wegen hohem Absorptionsgrad (Der Absorptionsgrad gibt an, wieviel der einfallenden **kurzwellig** Sonnenstrahlung aufgenommen und **nicht** reflektiert wird)
- selektive Beschichtung wegen niedrigem Emissionsgrad (da sich der Absorber dabei erwärmt und eine höhere Temperatur als die Umgebung erreicht, gibt er allerdings einen großen Teil der aufgenommenen Sonnenenergie in Form von **langwelliger** Wärmestrahlung wieder ab. Dieser Anteil wird durch den **Emissionsgrad** angegeben)
- bei üblichen Beschichtungen Absorptionsgrade von 90 %

## Beschichtungen von Absorbern

- Solarlacke, die mechanisch (streichen, spritzen) auf den Absorber aufgebracht werden können, sind nicht oder nur wenig selektiv, da sie über einen hohen Emissionsgrad verfügen
- Bei Schwarzchrom, Schwarznickel und mit Nickel pigmentiertem Aluminiumoxid handelt es sich um galvanisch aufgebraute selektive Schichten
- Relativ neu ist eine Titan-Nitrid-Oxid-Schicht, die in einem Vakuum-Verfahren aufgedampft wird. Sie zeichnet sich nicht nur durch einen sehr niedrigen Emissionsgrad aus, sondern auch durch ein emissionsfreies, weniger energieaufwendiges Produktionsverfahren

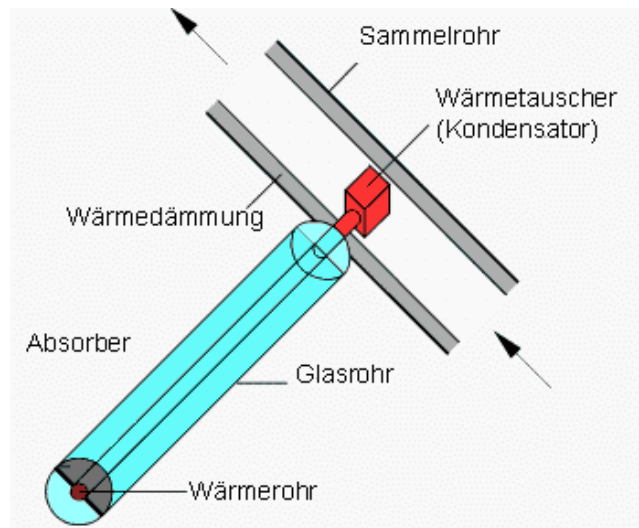
## Transparente Abdeckung

Als transparente Abdeckung kommt meistens eisenarmes Solarsicherheitsglas zum Einsatz, das sich durch einen hohen Transmissionsgrad für den kurzwelligen Spektralbereich auszeichnet. Gleichzeitig gelangt nur wenig der Wärmeabstrahlung vom Absorber durch die Glasabdeckung hindurch (Treibhauseffekt)

Außerdem verhindert die transparente Abdeckung den Wärmeentzug vom Absorber durch vorbeistreichende kältere Luft (Konvektion). Gemeinsam mit dem Gehäuse schließlich schützt sie den Absorber vor Witterungseinflüssen. Typische Gehäusematerialien sind Aluminium und verzinktes Stahlblech, manchmal wird auch glasfaserverstärkter Kunststoff verarbeitet.



## Der Vakuum-Röhrenkollektor



Beim **Vakuurröhrenkollektor** werden druckfeste Glasröhren eingesetzt. Sie besitzen im luftleeren Raum einen selektiv beschichteten Absorber, der entweder direkt durchströmt wird, oder die Wärme nach dem „Heat Pipe“ Prinzip weitergibt. Innerhalb der Glasröhre befindet sich ein Wärmerohr mit einer leicht siedenden Flüssigkeit (meist Alkohol). Diese wird vom Absorber verdampft und gibt anschließend seine Wärme durch Kondensation an den Solarkreis ab. Das Kondensat fließt wieder zum Absorber zurück und der Kreislauf beginnt von neuem. Bei Vakuurröhrenkollektoren bleibt das Vakuum dauerhaft bestehen. Mit ihnen können Temperaturdifferenzen bis über 100 °C gegenüber der Umgebung erreicht werden. Dadurch sind sie auch im Winter für die Brauchwasserbereitung und Heizungsunterstützung einsetzbar.

Damit der beschriebene Verdampfungs- und Kondensierungsprozess ablaufen kann, müssen die Röhren mit einer Mindestneigung von der Horizontalen aufgebaut sein. Man unterscheidet zwei Arten von Kollektoranbindung an den Solarkreislauf. Entweder ragt der Wärmetauscher in die das Sammelrohr hinein ("nasse Anbindung") oder er ist wärme leitend mit dem Sammelrohr verbunden ("trockene" Anbindung). Die "trockene" Anbindung ermöglicht den Austausch einzelner Röhren ohne ein Entleeren des gesamten Solarkreises.



## Vor- und Nachteile von Vakuumkollektoren zu Flachkollektoren

Vorteile: Temperaturdifferenz  $>70^{\circ}$  (Absorber-Ausentemperatur)  
Wirkungsgrad 15 % höher dadurch geeignet für  
Heizungsunterstützung im Winter

Temperaturdifferenz  $>40^{\circ}$  (Absorber-Ausentemperatur)  
Wirkungsgrad 5 % höher

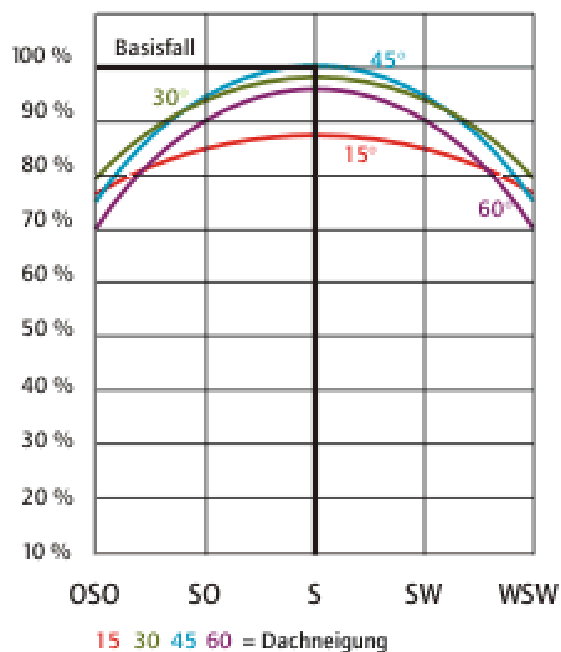
Nachteil: Kostenintensiv

## Bautechnische Einbindung Solaranlagen

- optimal  $45^{\circ}$  Dachneigung und exakte Südausrichtung
- Kollektoren in  $0^{\circ}$  -  $50^{\circ}$ -Ausrichtung und Ausrichtung SW oder SO erreichen noch 90 % der maximalen Solarausbeute
- eine nicht optimale Ausrichtung kann durch eine geringfügig größere Kollektorfläche kompensiert werden
- Bei Röhrenkollektoren kann der Absorber in den Röhren in die exakte Richtung gedreht werden

### Einfluss von Neigungswinkel und Ausrichtung

Ertrag in % zum Basisfall (Süd,  $45^{\circ}$  Dachneigung=100 %)



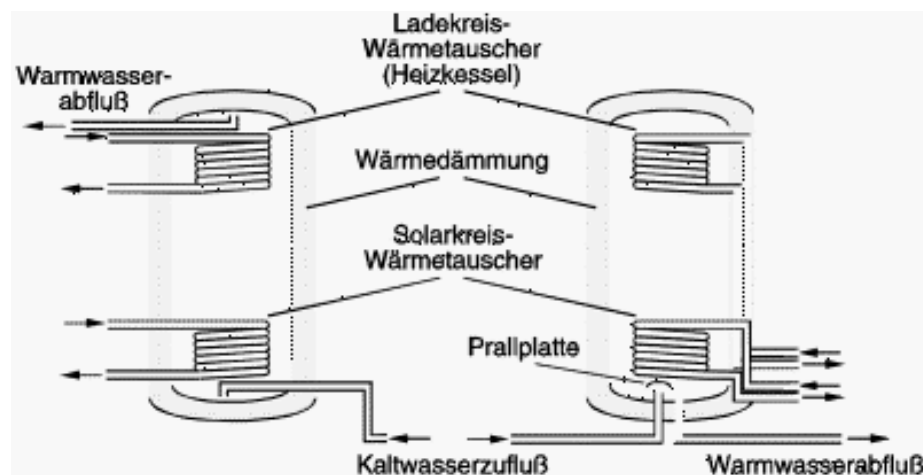


## Dimensionierung von Solaranlagen für Warmwasser

- Flachkollektoren 1,2-1,6 m<sup>2</sup> je Person (Abhängig vom Wasserbedarf)
- Vakuum-Röhrenkollektoren 1,0 m<sup>2</sup> je Person (Abhängig vom Wasserbedarf)
- Speichervolumen (Pufferung) 75 bis 100 Liter je Person

### Was ist zu beachten bei der Wahl und Dimensionierung des Warmwasserspeichers ?

- Volumen 1,5 – 2-fache des tägl. Warmwasserbedarfs (80-100 l/Person)
- Schichtenspeichertechnik (schlanke, zylindrische Form)
- Zusatzerwärmung sollte im oberen Speicherbereich angeordnet sein
- Anordnung Wärmetauscher Solarkreislauf im unteren kälteren Bereich des Speichers (Wirkungsgrad erhöhend)
- Mindestens 10 cm lückenlose Dämmung
- Anschlüsse sollten im unteren Bodenbereich (Kaltzone) angeordnet sein (geringere Wärmeverluste)





## Welche Installationsmerkmale sind noch zu beachten ?

- Kurze Leitungslängen wegen Verluste
- Durchmesser 15-18 mm
- Dämmung muss UV-und witterungsbeständig sein
- Pumpen mit 40 -80 Watt – zur Sicherstellung Durchfluss 30-50 l/h\*m<sup>2</sup> Kollektor
- Pumpe im Rücklauf als Übertemperaturschutz
- Absperrschieber vor und hinter Pumpe (wichtig bei Pumpenauswechslung)
- Betriebsdruck 3-4 bar – ausreichend großes Ausdehnungsgefäß
- Rückschlagventil im Rücklauf als Schwerkraftbremse
- Entlüftungsventil an höchster Stelle im Solarkreislauf
- Regelung mittels Temperaturdifferenzregler

## Energetische Amortisation von Solaranlagen

- Flachkollektor ca. 2,7 Jahre
- Vakuum-Röhren-Kollektor ca. 4 Jahre
- Photovoltaikanlagen ca. 7 Jahre



## Kosten und Einsparungen einer Solaranlage nur für Warmwasserbereitung

Beispiel: 4-Personenhaushalt Kollektoranlage zur  
Warmwassererzeugung

6 m<sup>2</sup> Flachkollektor incl. Pufferung 400 l, Regelung und Montage  
ca. 4000 – 5000 € (Warmwasserbereitung)

Zu erwartende Einsparung bei 60 % Deckungsrate und Energieertrag von 2000 – 2500 kWh Energieertrag entsprechend 200 l – 250 l Öl .

## Kosten und Einsparung einer Solaranlage für Warmwasserbereitung + Heizungsunterstützung

Beispiel: 4-Personenhaushalt Kollektoranlage zur  
Warmwassererzeugung + Heizungsunterstützung

6 m<sup>2</sup> Flachkollektor + 1m<sup>2</sup> Flachkollektor pro 10 m<sup>2</sup> Wohnfläche  
**oder** 15% der beheizten Wohnfläche (ohne wenig beheizte Räume)  
als Kollektorfläche für WW-Bereitung und Heizungsunterstützung  
incl. 750 – 1000 l Pufferspeicher, Regelung und Montage ca. 7000-  
9000 €. Zu erwartende Einsparung bei 20-40 % Deckungsrate ca.  
300 -500 kWh pro m<sup>2</sup> Kollektorfläche und Jahr entsprechend  
30-50 l Öl

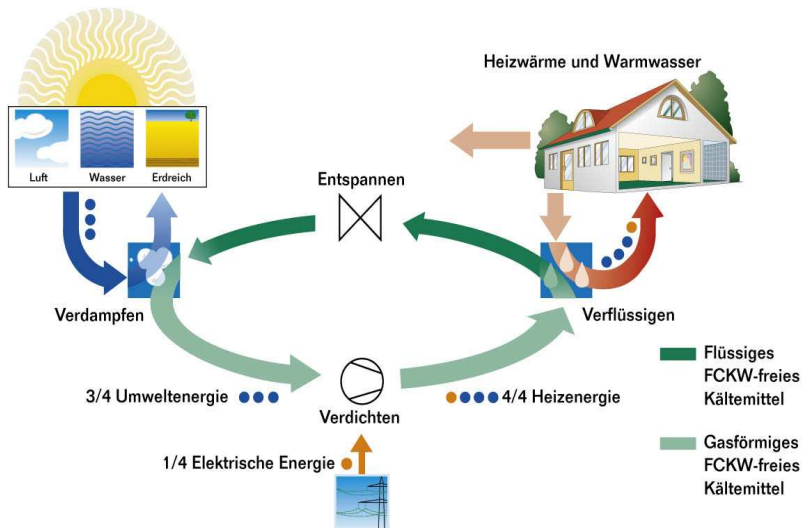
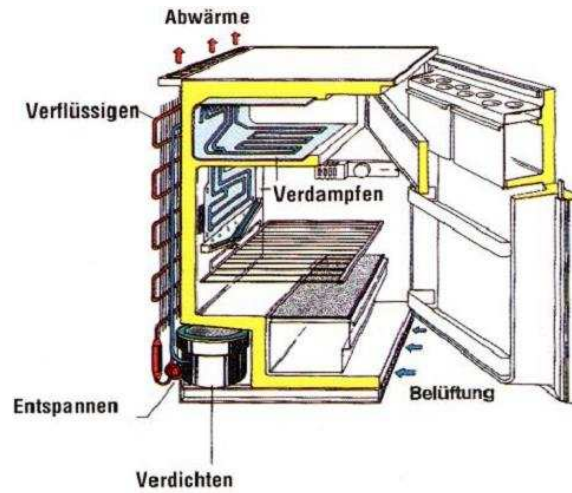
Entsprechend bei 150 m<sup>2</sup> Wohnfläche und 4-Personenhaushalt  
= 6+15 m<sup>2</sup> Kollektorfläche 6000 – 11000 kWh = 600 – 1100 l Öl



## II. Geothermie

### Grundsätzliches zur Wärmepumpentechnik

Bekannte Technik anders genutzt





## Betriebsarten

- n **Monovalenter Betrieb**  
Bei dieser Betriebsart deckt die Wärmepumpe den Wärmebedarf des Gebäudes das ganze Jahr über zu 100 %.
- n **Bivalenter Betrieb**  
Die Wärmepumpe deckt zum größten Teil den Wärmebedarf allein ab. Bei tiefen Außentemperaturen arbeiten Wärmepumpe und ein zweiter Wärmeerzeuger (z.B. eine vorhandene Ölheizung) gemeinsam.
- n **Monoenergetischer Betrieb**  
An wenigen Tagen im Jahr ergänzt ein elektrischer Heizstab bei tiefen Außentemperaturen die Wärmepumpe.  
Beide Wärmeerzeuger werden mit einer Energieform ( Strom ) betrieben – monoenergetisch

## Wärmequellen – Luft – Wasser- Erdreich

- n Projektierung  
Wärmepumpe nicht als Einzelkomponente betrachten, sondern Wärmepumpenheizungsanlage immer als Einheit betrachten.  
Wärmequelle - Wärmepumpe - Wärmenutzung
- n Beachte  
Jedes Grad Temperaturerhöhung auf der Wärmenutzungsseite verschlechtert die Jahresarbeitszahl um 2,0 – 2,5 %

## Grundgleichung der Wärmelehre

$$Q = m * c ( T_2 - T_1 )$$

- n Erkenntnis  
Je kleiner die Temperaturdifferenz zwischen Wärmequelle und Wärmenutzung, desto weniger Arbeit muss die Wärmepumpe leisten.
- n Schlussfolgerung  
Flächenheizsysteme bevorzugen, um durch geringere Vorlauftemperaturen die Arbeitszahl zu verbessern.



## Auswahl und Dimensionierung von Wärmepumpen

### n Ermittlung des Gebäude-Wärmebedarfs

- Die genaue Berechnung des maximalen stündlichen Wärmebedarfs erfolgt nach landespezifischen Normen (z.B. DIN V 4701 bzw. EN 12831).
- Eine überschlägige Ermittlung des Wärmebedarfs ist über die zu beheizende Wohnfläche A (m<sup>2</sup>) möglich:

30 W/m <sup>2</sup>	Niedrigstenergiehaus
50 W/m <sup>2</sup>	nach Wärmeschutzverordnung 95 bzw. Mindestdämmstandard EnEV
80 W/m <sup>2</sup>	bei normaler Wärmedämmung des Hauses (ab ca. 1980)
120 W/m <sup>2</sup>	bei älterem Mauerwerk ohne besondere Wärmedämmung.

- Überschlägige Ermittlung aus dem bisherigen Energieverbrauch

$$Q_N = \frac{\text{Ölverbrauch}[l/a]}{250[l/a kW]} [kW]$$

$$Q_N = \frac{\text{Erdgasverbrauch} [m^3/a]}{250[m^3/a kW]} [kW]$$

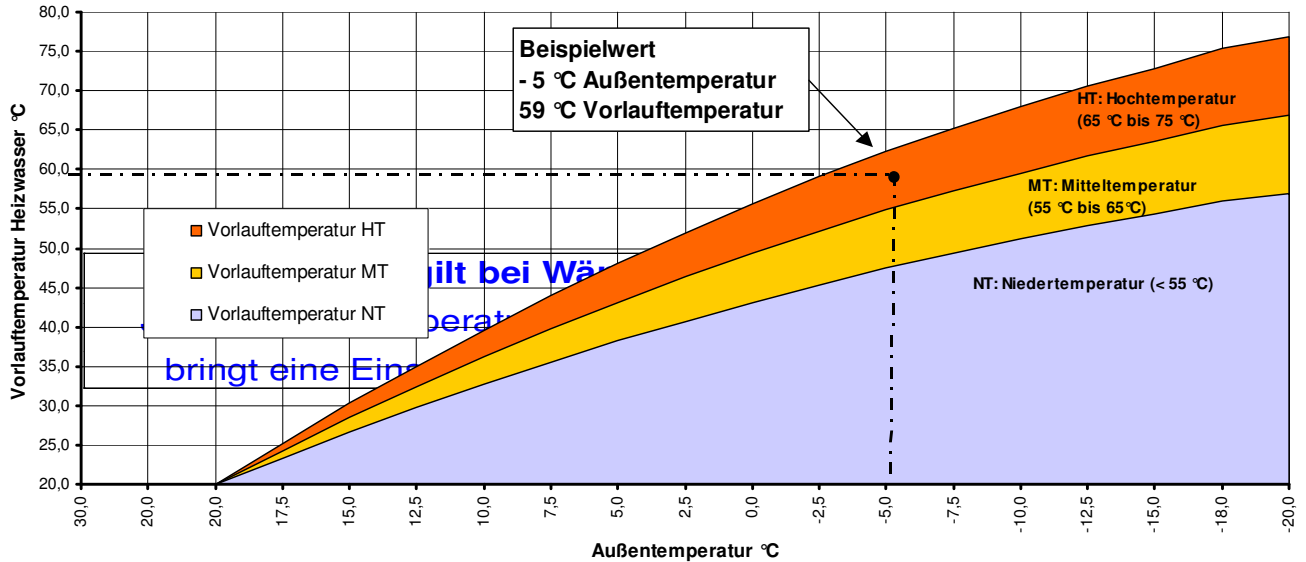
### Bestimmung der benötigten Vorlauftemperatur

- Auslegung der Heizflächen nach Wärmebedarfsberechnung und Wärmebedarf der Einzelräume

<b>Gussradiatoren</b>										
Bauhöhe	mm	980			580			430	280	
Bautiefe	mm	70	160	220	110	160	220	160	220	250
Wärmeleistung je Glied in W, bei mittlerer Wassertemperatur T <sub>m</sub>	50 °C	45	83	106	37	51	66	38	50	37
	60 °C	67	120	153	54	74	97	55	71	55
	70 °C	90	162	206	74	99	129	75	96	74
	80 °C	111	204	260	92	126	162	93	122	92
<b>Stahlradiatoren</b>										
Bauhöhe	mm	1000			600			450	300	
Bautiefe	mm	110	160	220	110	160	220	160	220	250
Wärmeleistung je Glied in W, bei mittlerer Wassertemperatur T <sub>m</sub>	50 °C	50	64	84	30	41	52	30	41	32
	60 °C	71	95	120	42	58	75	44	58	45
	70 °C	96	127	162	56	77	102	59	77	61
	80 °C	122	157	204	73	99	128	74	99	77



## Bestimmung der benötigten Vorlauftemperatur Experimentelle Ermittlung



### Sperrzeiten von EVU

n Zusätzlicher Leistungsbedarf  
q Sperrzeiten der EVU

$$f = \frac{24h}{\text{Freigabedauer}} = \frac{24h}{24h - \text{Sperrdauer}}$$

Sperrdauer (gesamt)	Dimensionierungsfaktor
2 h	1,1
4 h	1,2
6 h	1,3

q Warmwasser-Erwärmung

Bei normalen Komfortansprüchen muss mit einem Spitzenwarmwasserbedarf von 80-100 Litern pro Person und Tag, bezogen auf 45°C Warmwassertemperatur gerechnet werden. In diesem Fall ist die Heizleistung mit 0,2 kW pro Person zu berücksichtigen.

Bei monoenergetischen Anlagen kann die Warmwasserbereitung im Auslegungspunkt über einen Heizstab im Warmwasserspeicher erfolgen).

q Schwimmbeckenwasser-Erwärmung

Der Wärmebedarf für eine Schwimmbeckenwasser-Erwärmung im Freibad hängt stark von den Nutzungsgewohnheiten ab.

Er kann - größenordnungsmäßig - dem Wärmebedarf eines Wohnhauses entsprechen und ist in solchen Fällen gesondert zu berechnen



## Beispiel für eine Wärmebedarfsberechnung und Wärmepumpenauslegung

Wohnfläche	150 m <sup>2</sup>		
spez. Wärmebedarf	50 W/m <sup>2</sup>		
<b>Wärmebedarf Heizen</b>			<b>7,5 kW</b>
Personen	5		
spez. Wärmebedarf WW	200 W/Person		
<b>Wärmebedarf Warmwasser</b>			<b>1 kW</b>
<b>Gesamtwärmebedarf</b>			<b>8,5 kW</b>
<b>Max. Sperrzeit pro Tag</b>	<b>6 h</b>		<b>1,3</b>
<b>Notwendige Wärmeleistung der Wärmepumpe</b>			<b>11,1 kW</b>

### Oberflächennahe Geothermie (Erdwärmekollektor)

Nutzung nur Oberflächenwärme aus Sonne und Niederschlägen

- energetisch: hohe Leistungszahl ( z.B. 4,3 – 4,6 bei B 0° / W 35° )

**Beachten:** Aufteilung des Solekollektors auf mehrere Kreise mit jeweils gleichen Rohrleitungslängen ( empfohlen 100 m, da im Handel Bunde mit 100 m erhältlich sind; Druckverluste )

Verteiler und Sammler außerhalb des Gebäudes  
( ansonsten mehrere Mauerdurchbrüche notwendig, dampfdicht isolieren.)

PE Rohr 32 x 3 mm oder 32 x 2 mm (Kosten ca. 0,6 € pro Meter)

Kollektor mit 25 % Frostschutzmittel füllen (ergibt Frostsicherheit bis -14 0 C beim Flachkollektor, Frostschutzmittel ist biologisch abbaubar)

Verlegetiefe 1,2 – 1,5 m im Erdreich

Verlegeabstand 0,7 – 0,8 m



## Mittlere spezifische Entzugsleistung verschiedener Böden

Bodenqualität	Spez. Wärmeentzugsleistung
trockener, sandiger Boden	10-15 W/m <sup>2</sup>
feuchter, sandiger Boden	15-20 W/m <sup>2</sup>
trockener, lehmiger Boden	20-25 W/m <sup>2</sup>
feuchter, lehmiger Boden	25-30 W/m <sup>2</sup>
grundwasserführender Boden	30-35 W/m <sup>2</sup>

### Auslegungsbedingungen einer Erdkollektoranlage

- Kiesböden sind schlecht für den Wärmeentzug (besser prüfen, ob es nicht Grundwasser gibt!)
- Ideal sind feuchte, lehmige Böden
- Die benötigte Fläche hängt von der Heizleistung der Wärmepumpe ab
- Heizleistung minus elektrische Antriebsleistung ist die Kälteleistung
- Kälteleistung geteilt durch spez. Wärmeentzugsleistung ergibt die benötigte Fläche
- Fläche geteilt durch den Verlegeabstand ergibt die benötigte Gesamtrohrlänge
- Gesamtrohrlänge geteilt durch 100 ergibt die Kreise, ggf. auf volle 100 m auf- oder abrunden (in der Regel handelsübliche Rollenlängen)
- Alle Kreise gleich lang
- Frostschutzmittel sind in ihrem Einsatz unproblematisch
- Kleintiere, die den Kollektor zerstören könnten, kommen in der erforderlichen Verlegetiefe nicht mehr vor
- Die Bepflanzung über dem Kollektor kann normal erfolgen



## Wärmequelle Grundwasser - Grundwasserwärmepumpe

### Zu berücksichtigen

- Grundwasserfließrichtung
- Wasseranalyse
- Temperatur des Grundwassers 7-12 °C (Üblicherweise gegeben bei einer Brunntiefe von mind. 8-10m)
- Kein Oberflächenwasser verwenden, da Wassertemperatur, Wasserqualität und der Anteil an organischen Stoffen jahreszeitlichen Schwankungen unterliegt.
- Absetzbare Stoffe führen zu einer Verschlammung der Wärmequellenanlage.
- Luftdichter Abschluß der Brunnenköpfe
- Normen- und Richtlinien
  - VDI-4640 Blatt 1 und 2
  - Brunnenbau nach DVGW W120  
(Beauftragung eines zertifizierten Brunnenbauunternehmens)

### Erschließungsaufwand

- Genehmigungsverfahren  
(untere Wasserbehörde)
- Förder- u. Schluckbrunnen
- Rohrleitungssystem
- Brunnenpumpe
- Erdarbeiten
- Baumaßnahmen



## Grundwasserwärmepumpe

Wärmequelle mit hohem Temperaturniveau ( 8 – 12° C ) daher geringe Temperaturdifferenz zur Wärmenutzung ( auf Fußbodenheizung orientieren ).

Energetisch: hohe Leistungszahl ( z.B. 5,4 – 5,8 bei W 10° / W 35° )

Zu beachten: \* 2 Brunnen notwendig  
- Saugbrunnen  
- Schluckbrunnen

\* Abstand beider Brunnen 10 – 15 m in Fließrichtung  
( thermischer Kurzschluß)

\* Wasserqualität , Analyse !

\* Genehmigungspflichtig bei unterer Wasserbehörde  
(Landratsamt)

\* Filter kleiner 1mm

**Bauherr ist für Wassergenehmigung und Analyse verantwortlich,  
nicht der Installateur.**

### Nachteile Wärmequelle Grundwasser

Brunnenalterung: Förder- und Schluckleistung kann mit der Zeit zurückgehen

Versandung: Sand und Ton werden aus dem Grundwasserleiter ausgeschwemmt und verstopfen den Förderbrunnen

Korrosion: bei nicht korrosionsbeständigen Werkstoffen der Brunnenenteile

Versinterung: Bildung von Carbonaten und deren Ablagerungen in der Kiesschüttung und den Filterrohrschlitzen

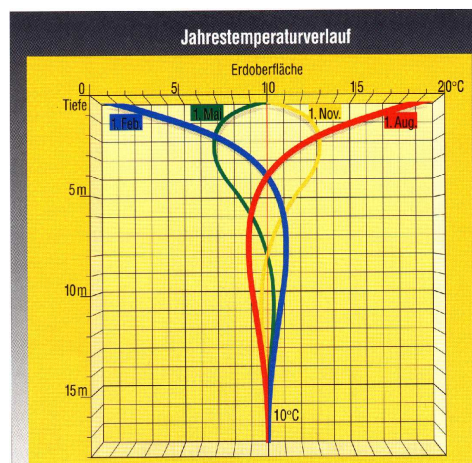


**Verockerung:** Ablagerung von unlöslichen Eisen- und Manganverbindungen. Macht sich durch Rückgang der Leistung im Schluckbrunnen bemerkbar. Ursache liegt jedoch in der vorgeschalteten Brunnenanlage. Ursache chemische und biologische Vorgänge.

**Grundwassersenkung:** durch Straßenbau, Flußverlegung, Kanalisationsbau

### Wärmequelle Erdreich - Erdsonde

- Wärmeaustauschersystem ( meist Doppel – U – Rohrsystemsystem) als Tiefenbohrung bis 99 m tief ins Erdreich gebracht
- Entzugsleistung ca. 55 W/m Sondenlänge
- genaue Dimensionierung hängt von den geologischen und hydrogeologischen Verhältnissen ab
- Sonden nur von Fachfirmen niederbringen lassen
- Erdtemperatur ab 15 m Tiefe ca. 10° C
- Sondenabstand mindestens 5 m
- Sonden quer zur Grundwasserfließrichtung
- Solekonzentration wie Flachkollektor
- Genehmigung durch untere Wasserbehörde bis 100 m Tiefe





## Gesamtsystemkosten Erdwärme

Wohnfläche	bis 124m <sup>2</sup>		bis 145 m <sup>2</sup>		bis 195 m <sup>2</sup>	
	LA 9PS	SI 9CS	LA 11AS	SI 11CS	LA 12PS	SI 14CS
<b>Investitionskosten mit</b>						
Wärmepumpe mit WPM	6.701 €	5.498 €	8.072 €	6.055 €	8.656 €	6.557 €
Elektr. Verb.-leitung	110 €		110 €		110 €	
Pufferspeicher	495 €	495 €	495 €	495 €	495 €	495 €
Heizstab 6kW	275 €		275 €		275 €	
Warmwasserspeicher	1.398 €	1.398 €	1.726 €	1.726 €	1.726 €	1.726 €
Tauchheizkörper	265 €		265 €		265 €	
Kompaktverteiler	325 €	325 €	325 €	325 €	325 €	325 €
Solepaket		761 €		761 €		761 €
<b>Inbetriebnahme</b>	320 €	320 €	320 €	320 €	320 €	320 €
<b>Wärmequelle</b>						
Erdwärmekollektor		2.820 €		3.380 €		4.000 €
Erdwärmesonde		6.550 €		7.800 €		8.850 €
<b>Elektro</b>	820 €	770 €	820 €	770 €	820 €	770 €
<b>Hydraulische Anbindung</b>	1.050 €	1.050 €	1.050 €	1.050 €	1.050 €	1.050 €
<b>Gesamtkosten</b>	<b>11.759 €</b>		<b>13.458 €</b>		<b>14.042 €</b>	
<b>Flachkollektor</b>		<b>13.437 €</b>		<b>14.882 €</b>		<b>16.004 €</b>
<b>Erdwärmesonde</b>		<b>17.167 €</b>		<b>19.302 €</b>		<b>20.854 €</b>
<b>Energiekosten</b>	<b>335 €</b>	<b>279 €</b>	<b>392 €</b>	<b>326 €</b>	<b>527 €</b>	<b>439 €</b>

### Bohrkosten für Erdwärmesonden

12 kW                      ca. 7000 – 9000 Euro

pro 1 kW                    ca. 840 Euro



## GEMIS-Ergebnisse zu Umwelteffekten und Kosten der Wärmebereitstellung

Option	SO <sub>2</sub> -Äqui- valent [g/kWh]	CO <sub>2</sub> -Äqui- valent [g/kWh]	KEA nicht- erneuerbar [kWh/kWh]	Kosten		
				Kapital [€/kWh]	Betrieb [€/kWh]	gesamt [€/kWh]
Heizöl-NT-Heiz	0,753	372,0	1,35	6,5	3,3	9,8
Endgas-NT-Heiz	0,182	297,5	1,37	5,4	3,9	9,3
Endgas-Brennwert-Heiz	0,157	254,1	1,17	7,8	3,3	11,2
Elektro-Heiz	0,957	951,5	2,97	8,0	6,5	14,5
Elektro-WP-Luft	0,379	228,4	0,89	15,2	2,0	17,2
Elektro-WP-Endrech	0,327	196,9	0,77	17,8	1,6	19,4
Nahwärme Gas-BHKW	-0,134	-154,2	0,56	4,0	2,5	6,5
Fernwärme Kohle-HKW	0,269	205,1	0,62	3,8	-2,1	1,7
Biogas-BHKW-Klein	0,867	-404,3	-0,98	2,3	2,5	4,8
Holz-Pellets-Heiz	0,838	90,5	0,28	6,5	3,8	10,2

Systemgrenzen: Gesamter Lebenszyklus inkl. Transporte + Materialvorleistung, ohne Entsorgung; Gutschrift für Strom bei KWK-Systemen auf Basis Steinkohle-Kraftwerk; bei Elektro-Heizsystemen Strom aus Kraftwerksmix; Kosten mit einem Kapitalzinssatz von 4% (real) über die Lebensdauer berechnet.

Die Kosten haben mit den am Markt verlangten Preisen nichts zu tun.