

# 10 Flache Geothermie (bis 100 m Tiefe)

## 10.1 Sondenbauformen

Bei (fast) allen Sonden handelt es sich um *geschlossene Systeme*, bei denen Vor- und Rücklauf in einem Bohrloch untergebracht werden. Die wichtigsten Bauformen sind in Abbildung 10.1 skizziert. Links oben ist ein U-förmig gebogenes Rohr dargestellt, das in das Bohrloch eingeführt wird. Oben daneben ist die Doppel-U-Sonde abgebildet, bei der zwei U-Sonden typischerweise am Sondenkopf miteinander verbunden werden. Diese Bauform dürfte die in Deutschland am meisten verbreitete sein.

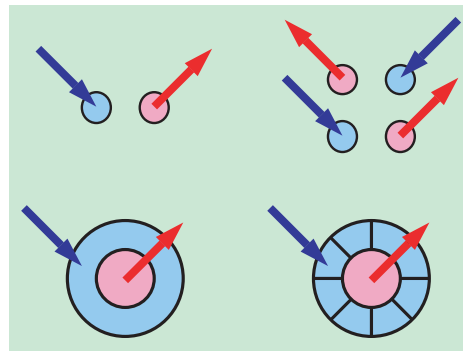


Abb. 10.1: Bauformen von Erdsonden

Im unteren Teil des Bildes sind Koaxialsonden dargestellt, die nach dem Rohr-in-Rohr-Prinzip aufgebaut sind. Die rechts dargestellte Bauform sorgt mit Abstandhaltern sowohl für mehr Stabilität als auch für eine dauerhafte Zentrierung des Innenrohres.

Eine spezielle Bauform von Koaxialsonden besteht darin, dass der Außenraum der Sonde zum Gestein offen ist und mit einer sehr gut wasserdurchlässigen Schicht, z. B. Kies, als mechanischem Stabilisator gefüllt ist. Derartige „offene“ Sonden sind ein „Mittelding“ zwischen Brunnen und Sonde und können z. B. nicht mit Frostschutzmittel betrieben werden, haben insbesondere bei trockenem und porösem Gestein Wasserverluste und können nicht in jedem Fall gewährleisten, dass keine Verunreinigungen in das Grundwasser eingetragen oder dass verschiedene Grundwasserstockwerke nicht miteinander verbunden werden. Zu bedenken ist auch die Gefahr der *Versandung* des Außenraums dieser Sondenbauform.

Der große Vorteil offener Koaxialsonden besteht darin, dass sich das Innenrohr dämmen lässt und daher keine nennenswerte Wärmeübertragung zwischen Vor- und Rücklauf auftritt.

Koaxialsonden haben einen größeren Rohrdurchmesser als U-Sonden. Bei gleichen Volumenströmen sind die Strömungsgeschwindigkeiten und daher die Wärmeübergangskoeffizienten geringer. Für Flüssigkeiten ist dies jedoch meist belanglos, weil der innere Wärmeübergangswiderstand immer noch klein gegenüber der Wirkung von Wärmeübergangswiderständen auf der Außenseite ist. Im Falle von Direktverdampfern (z. B. bei Wärmepumpen mit  $\text{NH}_3$  als Arbeitsmittel) können mit Koaxialsonden Flüssigkeitsrückschläge besser als mit U-Sonden vermieden werden.

## 10 Flache Geothermie (bis 100 m Teufe)

Koaxialsonden haben darüber hinaus den Vorteil, dass das Außenrohr z. B. aus Stahl gefertigt werden kann, so dass sich die Sonde z. B. mit einer Ramme ohne Bohrarbeiten einschlagen lässt. In das Stahlrohr wird dann einfach ein PE-Rohr als Innenrohr eingehängt und mit einer Spezialdurchführung am Sondenkopf befestigt. Beim heutigen Stand der Technik können so Sonden bis zu einer Sondenlänge von ca. 30 m ohne größere Probleme in dafür geeignete Böden eingeschlagen werden. Dies kann auch schräg geschehen, so dass schirmförmige Sondenanordnungen praktisch von einer Stelle ausgehend platzsparend gebaut werden können. Der große Nachteil von Koaxialsonden ist die starke Kopplung zwischen Vor- und Rücklauf. Außen eingespeistes, erwärmtes Kühlwasser gibt seine Wärme nach außen an das Gestein, aber auch nach innen an den kalten Rücklauf ab.

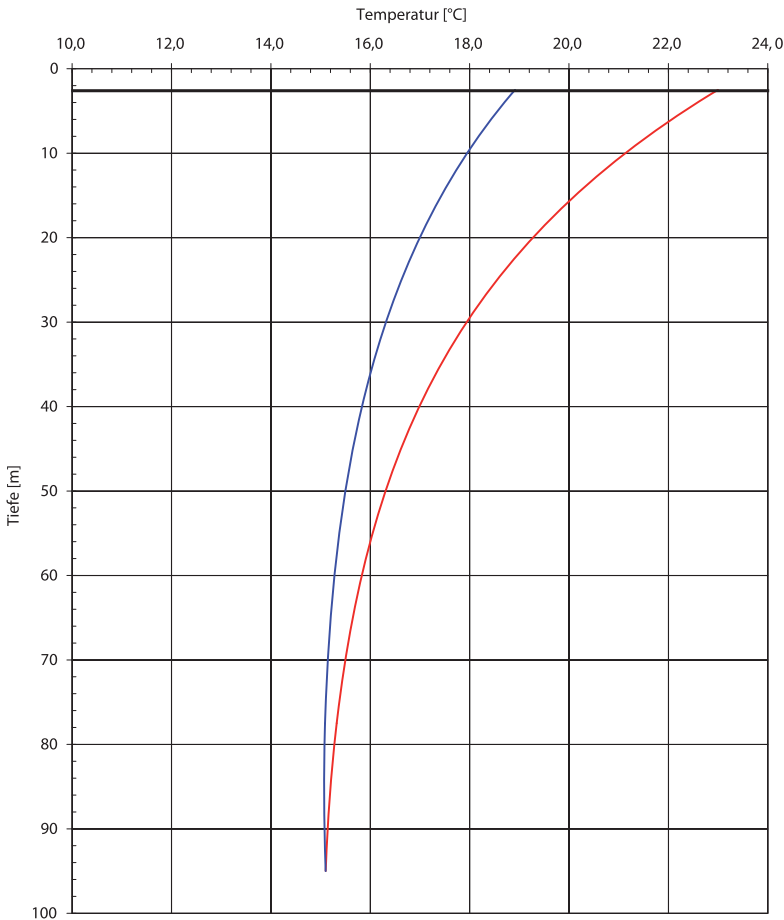


Abb. 10.2: Wechselwirkung zwischen Vor- und Rücklauf bei einer Koaxialsonde

Abbildung 10.2 demonstriert für das Beispiel einer freien Kühlung, dass dieser Effekt gravierende Konsequenzen haben kann: Das Gestein hat eine (mittlere) Temperatur von 11,5 °C. Zur

Überwindung des äußeren Wärmeübergangswiderstands wird eine Temperaturdifferenz von 3 K benötigt. Für die Sonde wirksam ist daher eine Temperatur von 14,5 °C, die am Sondenfuß auch fast erreicht wird. Der 14,5 °C „kalte“ Rücklauf wird durch den Vorlauf allerdings bis zum Sondenkopf wieder bis auf fast 19 °C aufgeheizt, so dass nur diese 19 °C als Kühlwassertemperatur zur Verfügung stehen. Die möglicherweise erhoffte Kühlwassertemperatur von 11,5 °C (Gestein) liegt daher bei 14,5 °C unter Berücksichtigung des Wärmeübergangswiderstands und dann tatsächlich bei 19 °C, wenn zusätzlich noch die Kopplung zwischen Vor- und Rücklauf beachtet wird. Das Balkendiagramm (Abbildung 10.3) visualisiert die Größenordnungen dieses Beispiels.

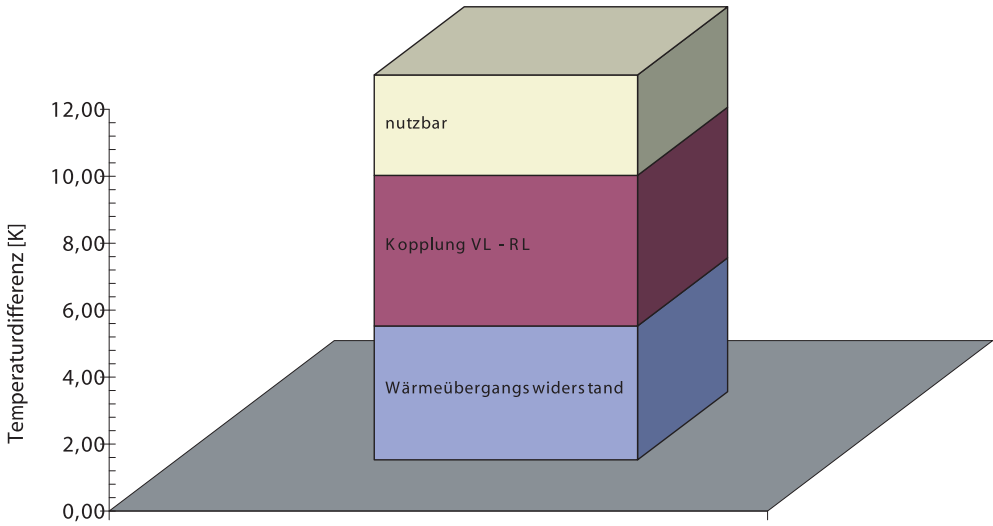


Abb. 10.3: An einer Erdwärmesonde wirksame Temperaturdifferenzen (Beispiel)

Abschätzen lässt sich die Wechselwirkung mit der Formel für den Wärmestrom zwischen zwei parallelen Rohren mit dem Radius  $r$  und dem Mittenabstand  $d$

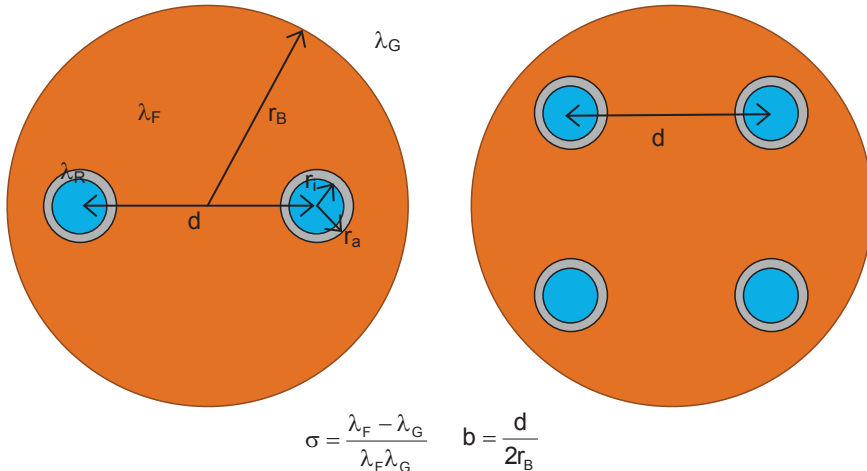
$$\dot{Q}_H = S_H \cdot \lambda \cdot \Delta\vartheta$$

$$S_H = \frac{2\pi}{\operatorname{arccosh}\left(\frac{d^2}{2r^2} - 1\right)} \quad (10.1)$$

(VDI-Wärmeatlas) und der halben Spreizung als mittlerer Temperaturdifferenz zwischen Vor- und Rücklauf. Z. B. ergibt sich für ein Rohr mit einem Außendurchmesser von 32 mm bei einer Spreizung von 5 K, einer Wärmeleitfähigkeit von 2 W/m K und einem Mittenabstand der Rohre von 64 mm ein Wärmestrom von rund 12 W/m, mit dem der Vorlauf den Rücklauf wieder aufheizt (im oben betrachteten Kühlfall). Dies ist als ein Verlustwärmestrom zu werten, der die Leistung der Sonde entsprechend mindert. Zur Sicherheit sei darauf hingewiesen, dass diese Formel nur zur schnellen Abschätzung geeignet ist und man für Projektierungszwecke besser mit den im Folgenden angegebenen Wärmeleitwiderständen rechnet.

## 10 Fläche Geothermie (bis 100 m Teufe)

Der *thermische Widerstand* des Bohrlochs besteht aus dem inneren Wärmeübergangskoeffizienten  $h_i$  der Wärmeträgerflüssigkeit im Rohr, dem Widerstand der Rohrwand  $R_R$ , dem Widerstand des Füllmaterials  $R_F$  und dem Widerstand  $R_{WW}$ , der der Wechselwirkung zwischen den Rohren zugeordnet werden kann, und einem Übergangswiderstand  $R_a$  zwischen Bohrloch und umgebendem Gestein. Für den letzten Widerstand gibt es zwar Erfahrungsformeln, besser ist jedoch eine Messung, mindestens jedoch eine Finite-Elemente-Rechnung, weil die in der Praxis erreichte Wärmeleistung sehr sensibel von ihm abhängt.



**Abb. 10.4:** Bezeichnungen für die Berechnung des Wärmeübergangswiderstandes des Bohrlochs

Die Wärmeleistung ist dann mit den Bezeichnungen in Abbildung 10.4

$$\dot{Q}_H = \frac{\Delta\vartheta}{R_B}$$

wobei sich der Widerstand  $R_B$  des Bohrlochs aus den oben genannten Einzelwiderständen zusammensetzt:

$$R_i = \frac{1}{2\pi \cdot r \cdot h_i} \quad (10.2)$$

$$R_R = \frac{\ln\left(\frac{r_a}{r_i}\right)}{2\pi \cdot \lambda_R} \quad (10.3)$$

Für einfache U-Sonden:

$$R_F = \frac{\ln\left(\frac{r_B}{r_a}\right) + \ln\left(\frac{r_B}{d}\right) + \sigma \cdot \ln\left(\frac{r_B^4}{r_B^4 - \left(\frac{d}{2}\right)^4}\right)}{4\pi \cdot \lambda_F} \quad (10.4a)$$