

CO₂-Erdwärmerohr als Monosonde aus Sicht des Grundwasserschutzes

Dirk Gebhardt^{1*}, Stephan Peters²

¹ BRUGG Rohrsysteme GmbH, Produktmanager GECO₂, 31515 Wunstorf, Deutschland
dirk.gebhardt@brugg.de

² BRUGG Rohrsysteme GmbH, Geschäftsführer, 31515 Wunstorf, Deutschland
stephan.peters@brugg.de

* Korrespondenzautor

Abstrakt:

Die Nutzung des Untergrunds durch Wärmeentzug mittels einer Tiefensonde stellt zwar einerseits einen bedeutenden ökologischen Nutzen dar, birgt jedoch auch Risiken, insbesondere für eine der kostbarsten natürlichen Ressourcen, dem Grundwasser.

Die derzeit verbreitet genutzten Doppel-U-Rohr-Sonden aus Kunststoff mit Nennweite 4 x 32 mm in Verbindung mit additivierten Sole-Gemischen der Grundwassergefährdungsklasse 1 stellen aus Sicht der genehmigenden unteren Wasserbehörden ein solches Risiko dar.

Vermeidbar sind diese Risiken durch den Einsatz einer CO₂-Erdwärmesonde, bestehend aus einem einzigen Edelstahl-Wellrohr mit einem Durchmesser von 55 mm. Es bietet gegenüber der Doppel-U-Rohr-Sonde einige Vorteile im Bezug auf den Schutz des Grundwassers: ein nicht wassergefährdender Wärmeträger, ein stabiles metallisches Monorohr, einen geringen thermischen Bohrlochwiderstand durch das dünnwandige Material und das besonders effiziente 2-Phasenfluid sowie eine sichere Hinterfüllung der Monosonde.

Einleitung:

Aus Sicht des Klimaschutzes und in Anbetracht der knapper werden Energieressourcen ist die Erdwärmennutzung ein unverzichtbarer Bestandteil der zukünftigen Energieversorgung.

Anders als alle anderen regenerativen Energien ist die Erwärme überall vorhanden und zu allen Zeiten, sowohl witterungs- als auch jahreszeitlich unabhängig nutzbar. Dies spart aufwendig Energiespeicher- und Transportwege. Besonders wichtig sind den Verbrauchern auch die Unabhängigkeit von Erzeugung und der Transport von Energie aus Spannungsgebieten. Nicht zuletzt kann der Verbraucher bis zu 8 % seiner Wärme kostenlos aus der Erde gewinnen, wobei bei sorgfältiger Auslegung des Entzugsystems eine Regeneration des Erdreichs über Jahrzehnte sicher gestellt ist.

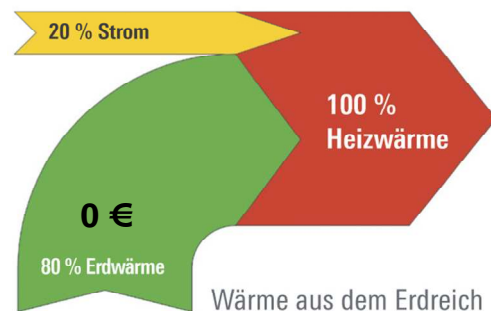


Abb. 1: Erdwärmennutzung zum Heizen

Andererseits ist das Grundwasser eine besonders schützenswerte Ressource, deren Benutzung über das WHG streng geregelt wird und das eine Benutzung des Grundwassers auch dann als gegeben sieht, wenn Maßnahmen ergriffen werden, die geeignet sind, dauernd oder in einem nicht unerheblichen Ausmaß schädliche Veränderungen der physikalischen, chemischen oder biologischen Beschaffenheit des Wassers herbeizuführen.

Die Genehmigung und Überwachung dieser Maßnahmen liegen bei den Unteren Wasserbehörden der Kreise und diese können in Wasserschutzgebieten bestimmte Handlungen verbieten oder für beschränkt zulässig erklären. Dazu erlassen sie eigenständige, auf die örtlichen Gegebenheiten zugeschnittene Wasserschutzgebietsverordnungen.

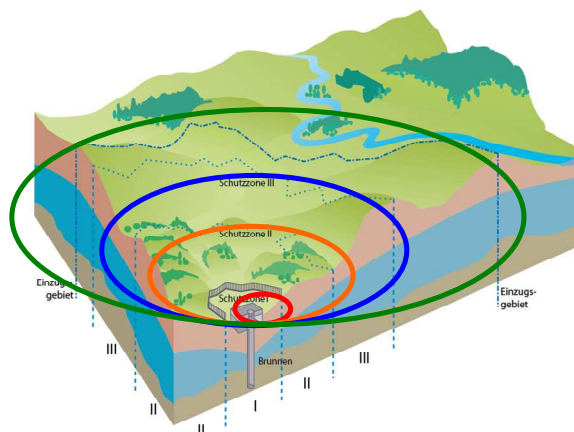


Abb. 2: Schutzflächen in Niedersachsen /1/

Abb. 3: Flächenbedarf von Schutz-zonen und Einzugs-gebieten um Trinkwasserbrunnen

Zum Beispiel haben 12 % der Landesfläche Niedersachsens den Status eines Trinkwasserschutzgebietes. Zuzüglich aller anderen Flächen unter besonderem Schutz (Heilquellen-, und Vorranggebiete für die Trinkwassergewinnung (LROP)) stehen somit 38 % der Landesfläche unter Schutz.

Durch die Erdwärmenutzung entstehen für das Grundwasser Risiken sowohl bei der Errichtung als auch beim Betrieb der Anlagen.

Durch Spülzusätze oder sonstige Verunreinigungen, z. B. Hydrauliköl, entstehen schon bei der Errichtung einer Erdwärmeanlage Risiken, so dass bereits das Bohren an sich genehmigungspflichtig ist.

Beim Bohren können Trinkwasserleiter durchbohrt werden oder mehrere Trinkwasserstockwerke miteinander verbunden werden, was man durch eine sorgfältige Hinterfüllung der Sonden mit Bentonit-Zement-Suspensionen bei der Errichtung der Anlagen zu unterbinden versucht.

Durch einen zu hohen Wärmeentzug besteht die Gefahr einer Auskühlung des Untergrunds und des darin fließenden Grundwassers.

Durch Leckagen der Sonden entstehen die größten Gefahren für das Grundwasser. Dabei treten nicht nur die Glykolanteile (WGK 1) der wässrigen Solemischungen aus, sondern auch die darin enthaltenen, z. T. gefährlicheren Additive (bis WGK 2).

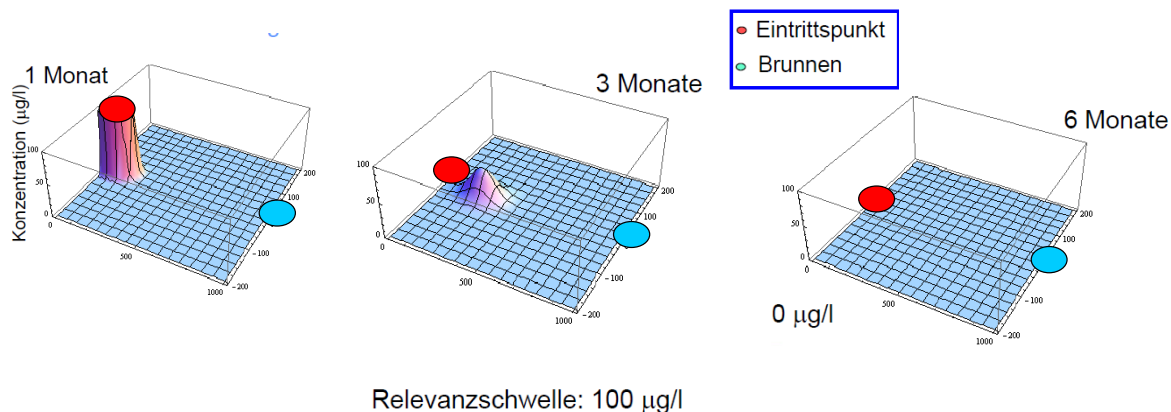
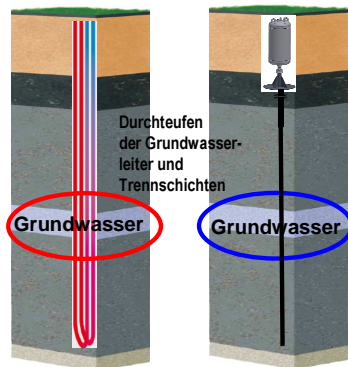


Abb. 4: Zeitlicher Verlauf der Ausbreitung und des Abbaus von Glykol aus einer Leckage /2/

Zwar ist etwa 6 Monate nach einer Leckage an einer Solesonde praktisch keine Verunreinigung im Erdreich mehr feststellbar, aber zwischenzeitlich entstehen ungewünschte Abbauprodukte, so dass man ständig nach festeren Materialien für PE-Sonden sucht, oder regional auch den Einsatz von reinem Wasser in den Sonden fordert.

Obwohl horizontal eingebaute Erdkollektoren oder Energiekörbe einen großen Abstand von den Trinkwasserleitern im Untergrund haben, sind auch sie in den Fokus der Unteren Wasserbehörden geraten.



Aber hauptverantwortlich für eine potenzielle Gefährdung des Grundwassers sind die vertikalen Erdsonden, welche einen oder mehrere Grundwasserleiter durchstoßen.

Somit ist eine innovative Alternative zu Solesonden mit einem nicht wassergefährdenden Wärmeträger, dem 2-Phasen-Fluid CO_2 , und ebenso stabilen wie effizienten Edelstahlwellrohr-Sonden, ausgeführt als Erdwärmerohr oder Thermosyphon, aus Sicht des Grundwasserschutzes eine willkommene Alternative in Wasserschutzgebieten, aber auch in Zonen in denen ein vorbeugender Grundwasserschutz besteht.

Abb. 5: Durchteufen von Grundwasserleitern und Trennschichten

Wärmeträger Sole (WGK 1) – CO_2

Solen der Wassergefährdungsklasse 1 (WGK 1)

Die zumeist verwendeten Sole-Wärmeträger sind wässrige Lösungen mit etwa 30 % Anteil eines Frostschutzmittels, hauptsächlich Ethylenglykol. Selbst verdünnt wird nach der gängigen Mischungsformel die Sole der Wassergefährdungsklasse 1 zugeordnet. Tritt sie aufgrund einer Leckage ins Erdreich aus, baut sie sich entsprechend Abb. 7 ab, dabei entstehen zwischenzeitlich Säuren, die im Erdreich ungern gesehen werden. Zum Schluss entsteht interessanterweise CO_2 (Kohlendioxid), was einem zu dem Gedanken anregt, warum nicht gleich CO_2 zu verwenden.

| Produktname | Hersteller | Stoff | WGK |
|-------------------------|------------|-------------------------|-----|
| Havoline AFC | Arteco | Ethylenglykol | 1 |
| Havoline XLC | Arteco | Ethylenglykol | 1 |
| Antifrogen N | Clariant | Ethylenglykol | 1 |
| Antifrogen L | Clariant | Propylenglykol | 1 |
| Leckanzeige Clariant | Clariant | Ethylenglykol | 1 |
| Dowcal 10 | DOW | Ethylenglykol | 1 |
| Dowcal 20 | DOW | Propylenglykol | 1 |
| Tyforop | Tyforop | Ethylenglykol | 1 |
| Tyforop L | Tyforop | Propylenglykol | 1 |
| Calciumchlorid-Kühlsole | Tyforop | Calciumchlorid (34 %ig) | 1 |

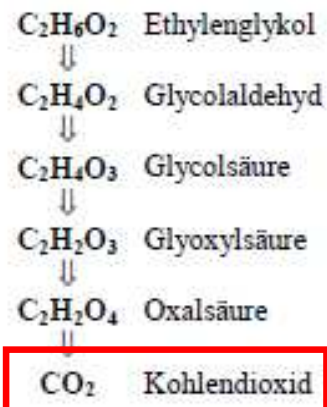


Abb. 6; Meist verwendete Wärmeträger (Solen)

Abb. 7: Abbauprozess von Ethylenglykol /3/

Noch problematischer als die Solen an sich sind allerdings deren Antikorrosionsinhibitoren, eine Vielzahl von Kationen und Anionen, die teilweise sogar in WGK 2 eingeordnet werden.

Somit bringt die Verwendung der Solen auf Ethylenglykolbasis eine Gefährdung des Grundwassers mit sich. Die Verwendung von reinem Wasser in Sonden, wie sie von einigen Kreisen verlangt werden, bergen durch das Fehlen dieses Korrosionsschutzes wiederum Gefahren für den Wärmetauscher der Wärmepumpe.

CO2 (Kohlendioxid)

Im Gegensatz dazu bietet der Wärmeträger CO₂ Vorteile, nicht nur aus wasserrechtlicher Hinsicht.

Der natürlich, auch in großen Mengen im Erdreich, vorkommende Wärmeträger CO₂ ist nicht toxisch und nicht brennbar (auch verwendet als Feuerlöschgas) und vor allem nicht wassergefährdend und somit besonders geeignet als Wärmeträger für geothermische Anlagen. Dies bestätigt auch der TÜV in seiner Einordnung des Stoffs CO₂.

Das 2-Phasen-Fluid CO₂ hat besonders gute thermodynamische Eigenschaften und einen sehr hohen Wärmeübergangskoeffizienten α_i ca. 2,500 W/mK innerhalb der Sonde

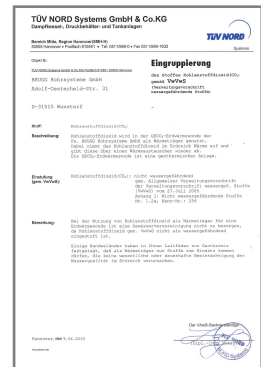
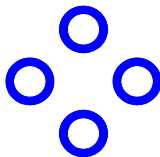


Abb. 8: Eingruppierung des Wärmeträgers für Geothermie CO₂ (Kohlendioxid)

PE-Sonde – Edelstahlwellrohr

Die unterschiedlichen Wärmeträger bedingen auch unterschiedliche Sondenbauformen.

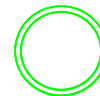
Material:
PE 100 bzw. PE-Xa
Bauform:
Doppel-U-Rohr



Abmessungen:
32 x 2,9 mm,
Oberfläche: 0,4 m²/m



Material:
1,4404 bzw. 1,4571
Bauform:
Mono-Rohr



Abmessungen:
48 x 55 mm, 0,6 mm
Oberfläche: 0,235 m²/m

Abb.9: Vergleich von PE-Sonden (meist als Doppel-U-Rohr-Sonde) und CO₂-Edelstahl-Wellrohr-Sonden

Solesonden transportieren durch Temperaturänderung Wärme, CO₂-Sonden durch Phasenwechsel. Während dabei die Sole durch die Sonden gepumpt werden muss, arbeiten CO₂-Sonden als Thermo-siphon oder Schwerkraftsonden selbsttätig ohne Pumpe oder zusätzlichen Energieverbrauch.

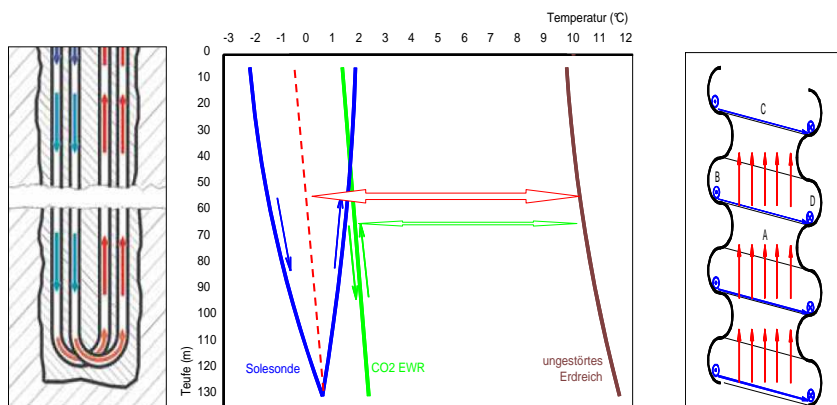


Abb. 10: Sole-Pumpsonde und CO₂-Schwerkraftsonde. $\Delta t_{m \text{ Sole}}$ ca. 1,5 K größer als $\Delta t_{m \text{ CO}_2}$

Die unterschiedlichen Wärmeträger erlauben eine um ca. 1,5 K kleinere Temperaturdifferenz zwischen dem ungestörten Erdreich und dem CO₂ als bei der Sole, so dass die Effizienz der Wärmeübertragung insgesamt steigt. Das macht sich auch positiv bei der Leistungszahl COP der Wärmepumpe bemerkbar.

Beide Sonden sind flexibel, wickelbar, und somit in einem Stück, vorkonfektioniert, auf der Baustelle anlieferbar, eine wesentliche Forderung der genehmigenden Behörden zur Sicherung der Qualität.

Die PE-Sonden gibt es auch mit größerem Rohrdurchmesser von 40 mm, nicht primär um die Wärmeübertragung zu verbessern, sondern um die Druckverluste beim umpumpen der zähflüssigen Sole zu reduzieren. Sonden größeren Durchmessers kommen üblicherweise ab etwa 150 m Bohrtiefe zum Einsatz. Im Gegensatz dazu ist das Edelstahl-Wellrohr mit einem Außendurchmesser von 55 mm als Monorohr bis zu 200 m Tiefe einsetzbar, ohne die Flutgrenze zu erreichen. Die Begrenzung beruht vielmehr darauf, dass bei dieser Tiefe der Druck im CO₂ mit etwa 52 bar dem zulässigen Druck des Wellrohrs nahe kommt.

Im Übrigen sind die Handhabung der Sonden vergleichbar, beide sind ausreichend flexibel um wickelbar zu bleiben, so dass sie sich in Ringen der geforderten Länge ausliefern lassen um vor Ort verbaut zu werden.



Abb. 11: HD-PE-Sonde 32 x 2,9 im Ring



Abb. 12: Edelstahl-Wellrohr-Sonde im Ring

PE-Sonde

Obwohl es zunächst den Anschein hat, dass sich die PE-Sonden ohne Probleme biegen lassen, ist wohl auch allgemein bekannt, dass HD-PE-Material wenig Plastizität und Elastizität aufweist und bei niedrigen Außentemperaturen bei der Verarbeitung sehr widerspenstig werden kann.



Dabei entstehen leicht Mikrorisse im Material, die bei Druckbeanspruchung schnell zu massiven Rissen führen. Auch die Formteile einer Sonde, wie die Umlenkungen am Fußende oder die Zusammenführungen beider Stränge können bei der Herstellung an kritischen Stellen Fehler aufweisen, die sich später erst unter Druckbeaufschlagung zeigen.

Abb. 13: Risse in Biegungen oder Formteilen der PE-Sonden nach Druckbeaufschlagung /4/

Die Beanspruchung der Sonden beim Einbau ist ebenfalls nicht gering. Neben dem hohen Eigengewicht der Sonden, die das Rohrmaterial beanspruchen, sind auch scharfkantige Bohrlöcher für Schä-

den verantwortlich, dazu kommt noch die Druckbeanspruchung durch den Gebirgsdruck im Inneren der Bohrung bereits vor, aber hauptsächlich nach der Hinterfüllung.

Daher sind durch die Behörden auch Druckprüfungen der Sonden vor Inbetriebnahme vorgeschrieben. Sind die Sonden zu dem Zeitpunkt schon hinterfüllt, lassen sich defekte Sonden nicht mehr ausbauen, die Bohrungen müssen aufgegeben werden.

CO₂-Sonde

Die CO₂-Erdwärmerohr-Sonde besteht im Gegensatz zu den Solesonden aus Metall mit einer hohen Festigkeit und Elastizität. Dies ist schon dadurch bedingt, dass diese Sonde aufgrund der Verwendung von CO₂ als Wärmeträger Drücke von bis zu 55 bar aushalten muss.

Trotz des sehr dünnwandigen Edelstahlrohrs mit nur 0,6 mm Wandstärke besitzt die Sonde durch die besondere Formgebung eine hohe Festigkeit. Die wendelförmige Wellung wirkt dabei ähnlich wie Rippen zur Erhöhung der Beulfestigkeit. Außerdem sind sie der Grund für die Flexibilität und Wickelbarkeit des Rohrs.

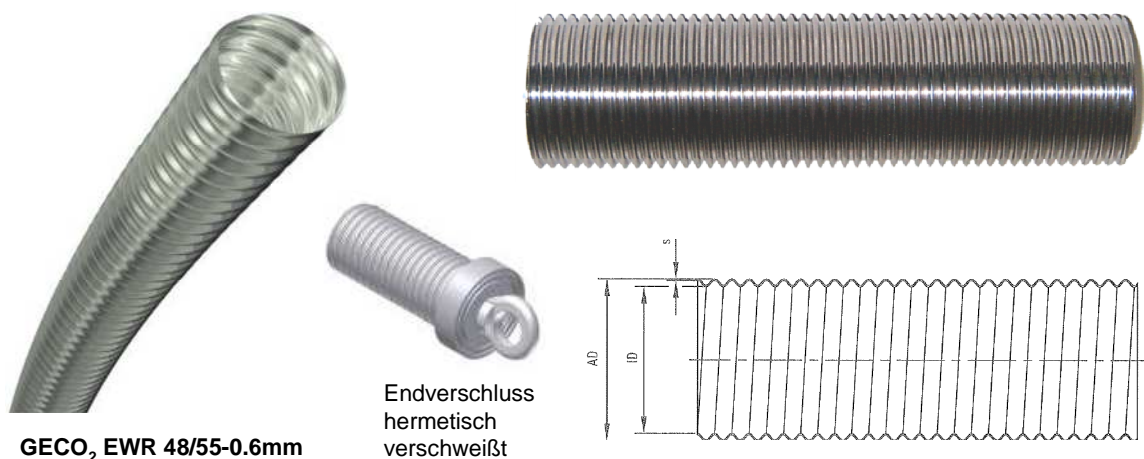


Abb. 14: Stabiles Edelstahl-Wellrohr (wendelgewellt) als Erdwärmerohr für den Wärmeträger CO₂

Seine Ausführung als Monorohr, im Gegensatz zu dem aus vier Einzelrohren bestehenden Doppel-U-Rohr, hat Vorteile bei der Einbringung und Hinterfüllung.

Sie wirken sich direkt beim sogenannten Thermischen Bohrlochwiderstand aus, der sich als Summe aller Widerstände der einzelnen Schichten, angefangen vom umgebenden Erdreich, über die Hinterfüllung und dem Sondenmaterial bis hin zum Wärmeträger ergibt.

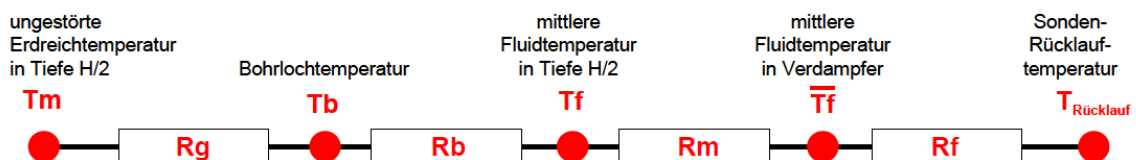
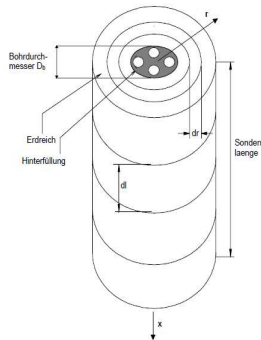


Abb. 15: Kette der Temperaturen und Widerstände einer Solesonde im Erdreich /5/

Es gibt eine Menge von Programmen, mit denen sich das Verhalten von Sonden, hauptsächlich die gebräuchlichen Duplex- oder Doppel-U-Rohr-Sonden, simulieren lassen.

Für eines dieser Programme haben Sanner und Hellström die von Hellström entwickelten Gleichungen zur Bestimmung des Bohrlochwiderstandes R_b verwendet.



Dabei wurde zunächst die Bohrung eingeteilt in Ringsegmente, welche sich jeweils mit den Stoffdaten und geometrischen Daten beschreiben lassen.

Für diese Segmente wurde die Summe aller thermischen Widerstände in einer Gleichung dargestellt.

Ein deutlicher Einflussfaktor ist dabei die Gestaltung der Sonde an sich. So sind die Form als Doppel-U-Rohr und seine geometrischen Daten wesentlich komplexer zu berechnen als eine Koaxialsonde oder, wie in diesem Fall, eine als Erdwärmerohr dienende Monosonde.

Abb. 16: Segmentmodell /5/

Der Bohrlochwiderstand für eine Doppel-U-Rohr-Sonde wird von Hellström /5/ mit Gleichung [1] beschrieben.

$$R_b = \frac{1}{8 \cdot \pi \cdot \lambda_{Fill}} \cdot \left[\beta + \ln\left(\frac{r_1}{r_o}\right) + \ln\left(\frac{r_1}{Bu}\right) + \sigma \cdot \ln\left(\frac{r_1^4}{r_1^4 - \frac{Bu^4}{16}}\right) - \frac{\frac{r_o^2}{Bu^2} \left[1 - \sigma \cdot \frac{\frac{1}{4} Bu^4}{\left(r_1^4 - \frac{Bu^4}{16}\right)} \right]^2}{\left\{ \frac{1+\beta}{1-\beta} + \frac{r_o^2}{Bu^2} \left[1 + \sigma \cdot \frac{Bu^4 \cdot r_1^4}{\left(r_1^4 - \frac{Bu^4}{16}\right)^2} \right] \right\}} \right] \quad [1]$$

Dazu im Gegensatz ist die Beschreibung der sehr viel einfacheren Geometrie des Erdwärmerohrs als Monosonde mit Gleichung [2] durch Hellström /5/ viel weniger aufwändig.

$$R_b = \left[\frac{1}{2 \cdot \pi \cdot r_o \cdot \alpha_o} + \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_s} \cdot \ln\left(\frac{r_s}{r_o}\right) + \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_{Fill}} \cdot \ln\left(\frac{r_1}{r_s}\right) \right] \quad [2]$$

Sanner hat damit unter Annahme einer Wärmepumpen-Heizleistung von 10 kW und einer Wärmeleitfähigkeit des Gesteins von $\lambda = 2,5$ W/mK die Bohrlochwiderstände und die darüber definierte Hellström-Effizienz berechnet und dargestellt.

Es zeigt sich, dass herkömmliche Sonden einen etwa doppelt so hohen Bohrlochwiderstand haben.

Die Hellström-Effizienz von CO₂ Sonden liegt bei etwa 0,7, die bei Solesonde nur bei etwa 0,6.

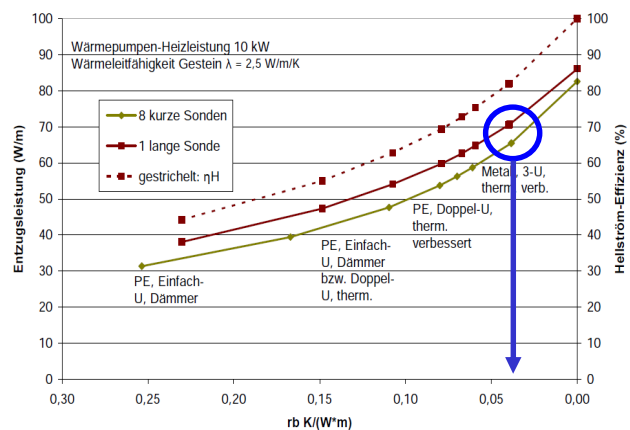


Abb. 17: Bohrlochwiderstand und Hellström-Effizienz von Sole- und CO₂-Sonden /6/

Zu beachten ist dabei, dass die Wärmetauscheroberfläche des Wellrohrs mit $0,235 \text{ m}^2/\text{m}$ nur etwa 59 % gegenüber der Duplex-Sonde mit $0,4 \text{ m}^2/\text{m}$ aufweist. Dafür ist die Wandstärke des Wellrohrs mit 0,6 mm gegenüber 2,9 mm der Duplex-Sonde nur etwa 20 % so stark. Auch der Wärmeübergangswert des verdampfenden CO_2 ist mit etwa $\alpha_i = 2.500 \text{ W/mK}$ im Vergleich zur Sole mit etwa $\alpha_i = 1.500 \text{ W/mK}$ um ca. 60% höher. Das alles führt zu einem etwa doppelt so großen k-Wert des CO_2 -Erdwärmerohrs. Aus Messungen wurden Werte von 17 W/mK für CO_2 - und nur 9 W/mK für Sole-Sonden ermittelt.

Damit steht fest, dass die als CO_2 -Erdwärmerohr oder -Thermosyphon arbeitende Edelstahl-Wellrohr-Sonde das effektivste Erdwärmeentzugssystem ist.

Seine Handhabung ist trotz der Tatsache, dass es ein großes Zusatzgewicht erfordert, um die Sonde in die nasse Bohrung einzubringen, sehr einfach. BRUGG hat hier einige Erfahrungen mit dem Umgang mit Trommeln, aber auch Eigenentwicklungen für eine Abrollvorrichtung, die den Transport der Sonde als Ring deutlich vereinfacht.



Abb. 18: Gelenkige Gewichte

Abb. 19: Trommeleinbringung

Abb. 20: Abrollvorrichtung

Die Bohrverfahren sind mit denen der Solesonde weitgehend identisch, wobei jedoch auf Schrägbohrverfahren verzichtet wird, da diese sich im oberen Bereich erheblich gegenseitig beeinflussen und das Erdreich überbelasten. Die Behörden sehen diese teilweise nur als 1 Bohrung an. Das beweist sich dann auch in bekannt gewordenen Unterdimensionierungen der Erdsonden von Wärmepumpen im Feld.

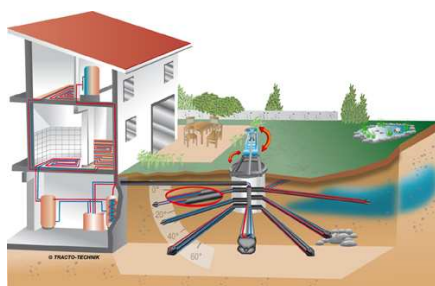


Abb. 21: Sternförmiges Schrägbohrsondenfeld

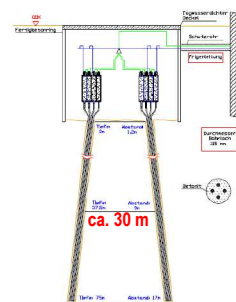


Abb. 22; Schrägbohrung aus 1 Schacht

Für die Bohrung selbst ist der im Verhältnis zu Doppel-U-Rohr-Sonden kleine Durchmesser des CO_2 -Edelstahlwellrohrs interessant.

In vielen Bundesländern wird eine 30 mm starke Schicht Hinterfüllung zwischen der Sonde und der Bohrlochwand vorgeschrieben. Das macht man, um die schlechte Positionierbarkeit von PE-Sonden im Bohrloch zu kompensieren und den Versuch zu machen, sicher zu stellen, dass die Hinterfüllung alle Grundwasserstockwerke gegeneinander absperrt. Trotz dieser Vorschrift ist man sich darüber im Klaren, dass die mit nur einem kleinen Gewicht eingebaute, teilweise von oben in die Bohrung gestopfte Sonde eher einem Korkenzieher im Bohrloch gleicht und die Hinterfüllung und Abdichtung der

Grundwasserstockwerke nur unzulänglich gelingt. Daran ändern auch nichts die Abstandshalter für Doppel-U-Rohr-Sonden, die nicht nur die Rohre in sich auf Abstand halten sollen, sondern auch eine Zentrierung in der Bohrung sicher stellen sollen. Sie verschieben sich beim Einbau oder fallen ab und blockieren den Einbau, so dass die meisten Bohrbetriebe auf ihren Einsatz verzichten.

Die mit einem schweren Gewicht in die Bohrung eingelassene Edelstahl-Wellrohr-Sonde hängt hingegen gestreckt und senkrecht in der Bohrung und lässt sich dort zentrieren.

Bohrt man vorschriftsmäßig mit dem durch die Hinterfüllung vorgegebenen Durchmesser, erkennt man, dass die nur 55 mm der Edelstahl-Wellrohr-Sonde mit einer 120 mm-Bohrung auskommt, für Doppel-U-Rohr-Sonden 32 mm sind bereits 188 mm, für die größere Variante mit 40 mm schon 198 mm notwendig. Das erhöht nicht nur den Kraftaufwand beim Bohren an sich, sondern auch die Menge der einzusetzenden Hinterfüllung und nicht zuletzt die Menge Bohrgut die entsorgt werden muss.

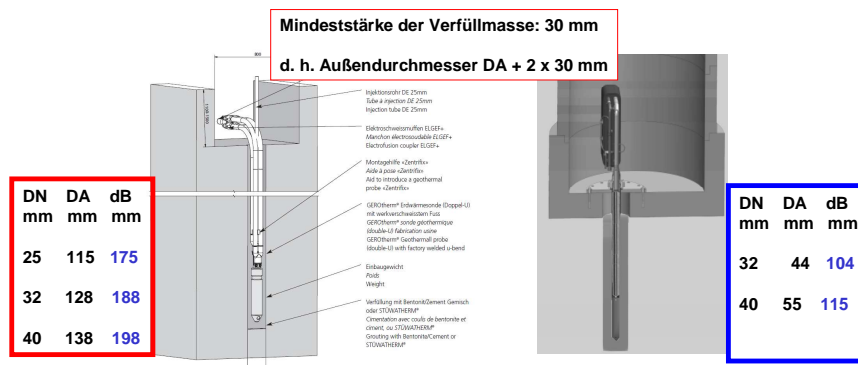


Abb. 23: Vergleich der Bohrdurchmesser der Doppel-U-Rohr-Sonden mit den Edelstahl-Wellrohr-Sonden

Setzen sich die CO₂-Erdwärmerohre am Markt durch, können die Mehrkosten für das Hochdruck-Edelstahlrohr-Sondensystem mit Wärmetauscherkopf zumindest teilweise durch die aus den oben beschriebenen Gründen geringeren Bohrkosten wieder aufgefangen werden.

Zusammenfassung

Die Wärme aus der Erde ist ein unverzichtbarer Bestandteil der künftigen Energieversorgung, sie ist überall und immer verfügbar, regenerativ und kostenlos.

Der Schutz des Grundwassers ist bei dem steigenden Bedarf an sauberem Trinkwasser ein vorrangiges Ziel.

Die Behörden müssen beides berücksichtigen, wenn Sie geothermische Anlagen zulassen sollen, insbesondere in Trinkwasserschutzgebieten und deren vorgelagerten Einzugsgebieten, die mit steigender Tendenz bis zu 1/3 der gesamten Landesfläche ausmachen können.

Die bisher weit verbreiteten Anlagen nutzen Solen der Wassergefährdungsklasse 1, sie bestehen aus relativ sprödem und somit rissanfälligem HD-PE-Material und haben aufgrund ihrer Formgebung als Doppel-U-Rohr-Sonden mit großer Wandstärke einen relativ hohen Bohrlochwiderstand.

Zusammen mit der notwendigen Pumpenergie sind sie somit weniger effizient als selbsttätig arbeitende Erdwärmerohr-Sonden.

Diese verwenden den nicht wassergefährdenden Wärmeträger CO₂, sind trotz dünnwandigem Edelstahl sehr stabil und weisen einen sehr geringen Bohrlochwiderstand auf.

Damit ist die CO₂-Erdwärmerohr-Sonde das effizienteste Erdwärmertzugssystem, was sich auch auf die Leistungszahl COP der Wärmepumpe positiv auswirkt.

Der kleinere erforderliche Bohrdurchmesser ist sowohl aus Gründen der sicheren Hinterfüllung der Bohrung als auch hinsichtlich der Bohrkosten von Vorteil.

Literaturverzeichnis:

- /1/ LBEG, Nibis® kartenserver des Landesamts für Bergbau Energie und Geologie 2010
- /2/ Jensen; Nutzungskonflikte in Wasserschutzgebieten am Beispiel Geothermie, LBEG, 2009
- /3/ GEO Sole, Vergleichende Bewertung von Wärmeträgerflüssigkeiten, Karlsruher Institut für Technologie, 2010
- /4/ Seidelt; Zukunftsmarkt Erdwärme, Frank GmbH, 2009
- /5/ Huber, Benutzerhandbuch zum Programm EWS, Vers. 4.0, 2008
- /6/ Sanner: Entwicklungsschwerpunkte Erdgekoppelte Wärmepumpe, WP-Tage RP, 2009

Stichwörter:

CO₂-Erdwärmerohr, Edelstahl-Wellrohr, Monosonde, Grundwasserschutz, nicht wassergefährdend, Bohrlochwiderstand, Hellströmeffizienz.