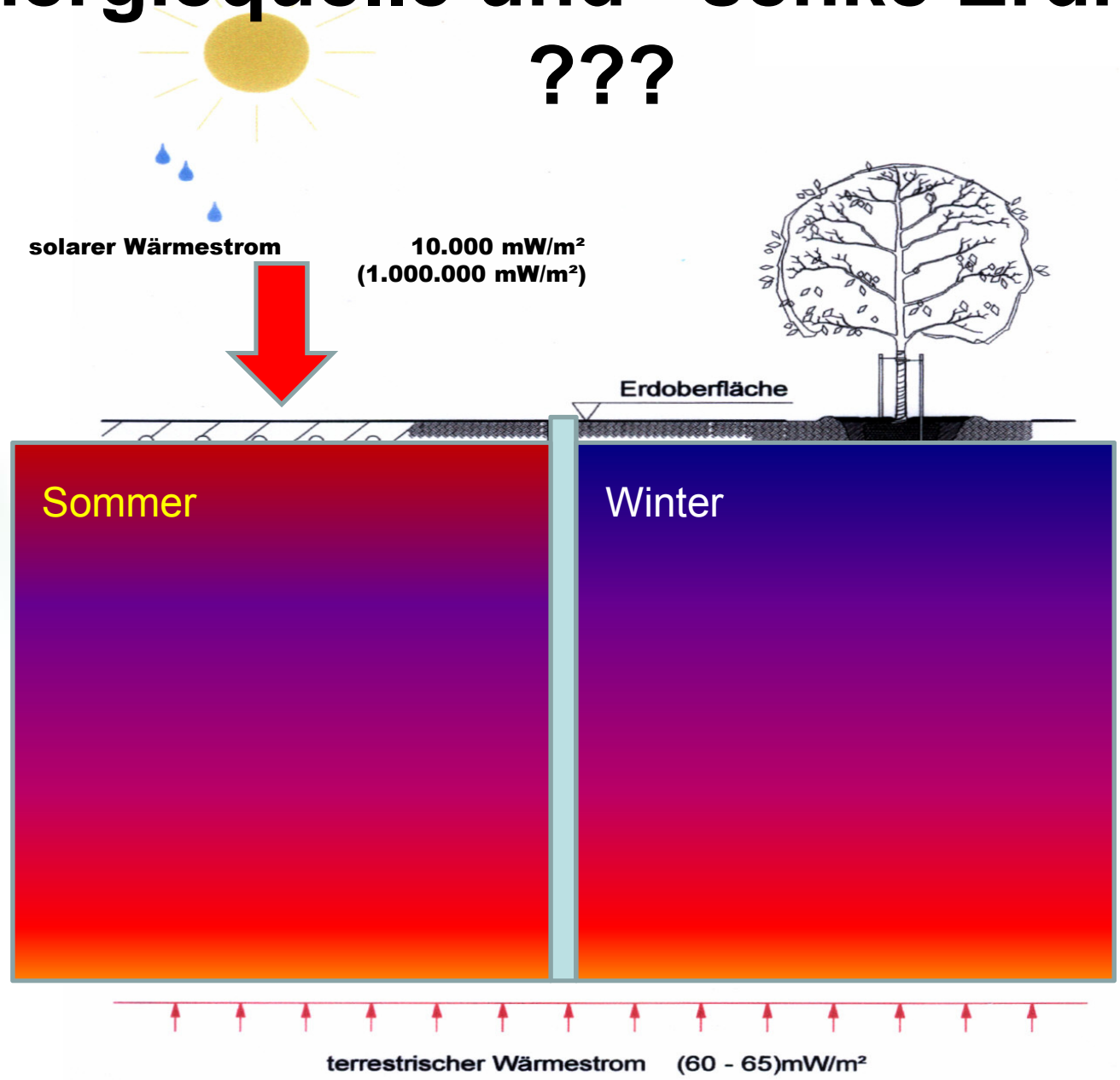
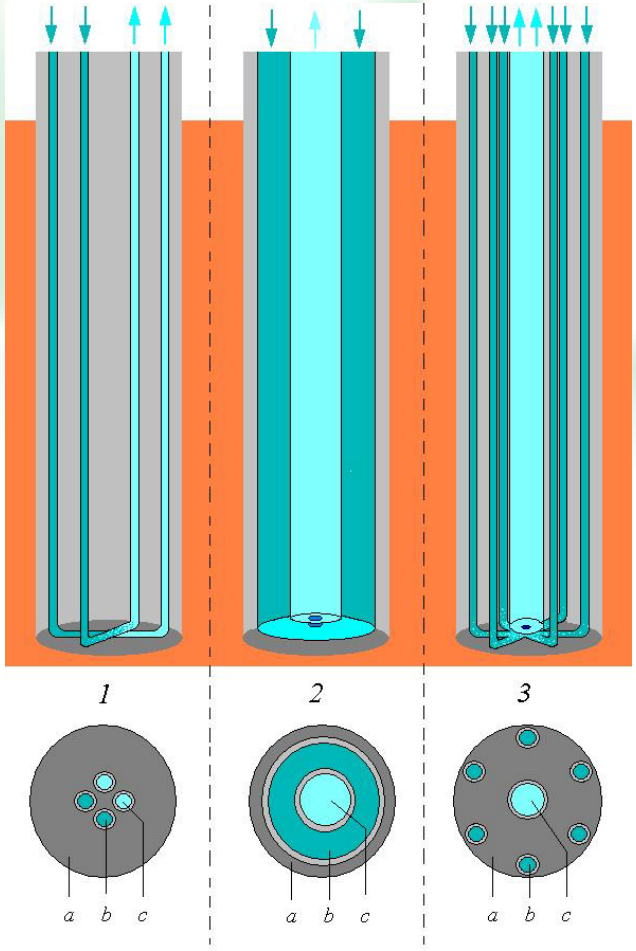
Energiequelle und - senke Erdreich ???



Überblick

1. Einleitung
2. Zielstellung
3. Herstellung
4. Anwendung im Bohrloch
5. Sonde im WP-Kreislauf
6. Vorteile beim Wärmeentzug
7. Schutz der GW-Leiter
8. Wirtschaft-lichkeit
9. Zusammen-fassung

Entwicklung eines neuen Sondentyps Funktion und Praxiseinsatz für die oberflächennahe Geothermie



1. Doppel-U-Rohrsonde
2. Koaxialrohrsonde
3. Ringrohrsonde

Direktverdampfersonden ohne Abbildung

1. Einleitung
2. Zielstellung
3. Herstellung
4. Anwendung im Bohrloch
5. Sonde im WP-Kreislauf
6. Vorteile beim Wärmeentzug
7. Schutz der GW-Leiter
8. Wirtschaft-lichkeit
9. Zusammen-fassung

Technischer Stand der Sondentechnologie

- Doppel-U-Rohr-Sonde stellt den Stand der Technik dar – widerspiegelt sich mit der Festschreibung in Handlungsempfehlungen
- Hersteller und Bohrprozess haben sich darauf spezialisiert und die Abläufe optimiert
- Qualitätssicherungskampagne trägt Früchte – konzentriert sich auf die Doppel-U-Rohr-Sonde, aber verursacht Kosten
- energetische geothermische Effizienz steht im Wettstreit mit der Wärmequelle „Luft“
- Die Rahmenbedingungen für neue Entwicklungen lassen oft nur geringen Spielraum zu.

1. Einleitung
2. Zielstellung
3. Herstellung
4. Anwendung im Bohrloch
5. Sonde im WP-Kreislauf
6. Vorteile beim Wärmeentzug
7. Schutz der GW-Leiter
8. Wirtschaft-lichkeit
9. Zusammen-fassung

Allgemeine Forderung an Erdwärmesonden

- hohe Wärmeübertragung pro Bohrmeter
- Sicherstellung einer stabilen Winterleistung
- verlustarmer Transport der Wärme nach oben und der „Kälte“ nach unten
- Speicherung von Wärme – Nutzung in Sondenfeldern
- standortunabhängiger Einsatz – sichere Handhabung unter verschiedenen geologischen Bedingungen
- unempfindlich gegen aggressive Wässer
- dauerhafte Verfüllung und Schutz der GWL
- lange Lebensdauer – verbrauchergerechte Dimensionierung

DBU Deutsche Bundesstiftung Umwelt

blz GEO technik

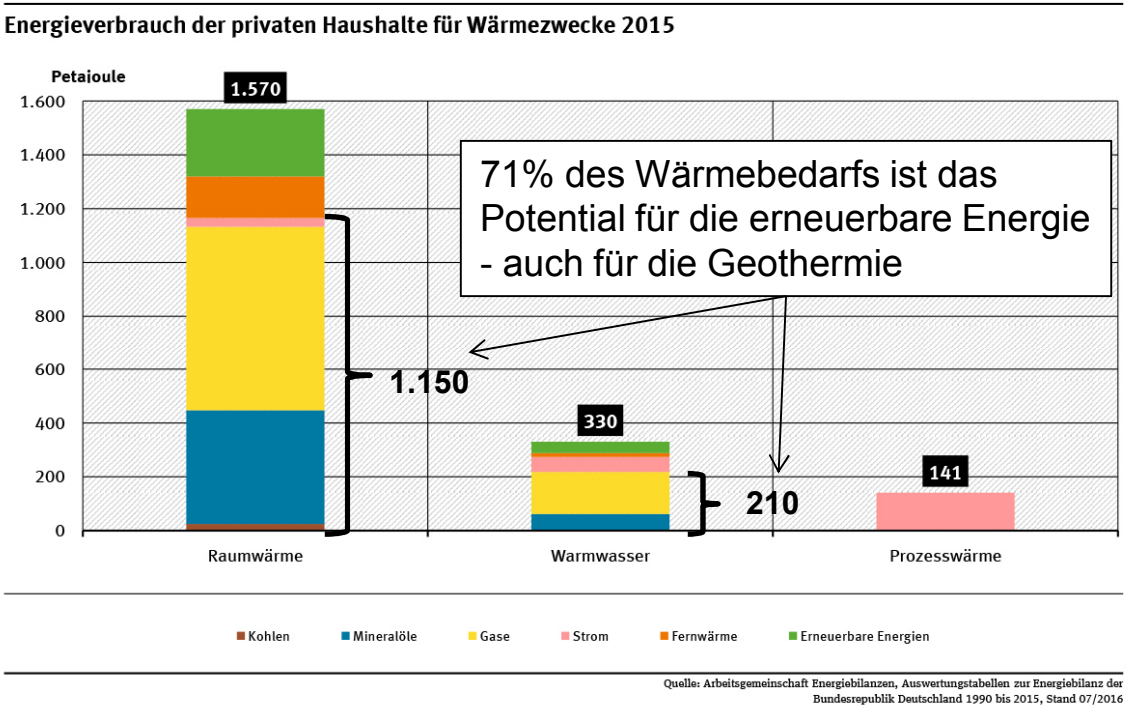
1. Einleitung
2. Zielstellung
3. Herstellung
4. Anwendung im Bohrloch
5. Sonde im WP-Kreislauf
6. Vorteile beim Wärmeentzug
7. Schutz der GW-Leiter
8. Wirtschaft-lichkeit
9. Zusammen-fassung

Spezielle Aufgabenstellung für Ringrohrsonden

- Zirkulationssonde für Sole bzw. Wasser
- Einhalten der Qualitätsstandards (Ausführung und Anwendung)
- Zentralrohr und koaxial angeordnete Ringrohre
- geordnete Verteilung der Ringrohre
- geeignet für Standardwärmepumpen - hydraulische Druckverluste im Normalbereich
- einfache bohrtechnische Anwendung - Durchmesser nur ca. 100 mm – keine Zentrierhilfen erforderlich
- komplettes Rohrbündel mit Verfüllrohr im Schutz eines Gewebeschlauches

Wärmeenergie für private Haushalte
Potential für oberflächennahe Geothermie

1. Einleitung
2. Zielstellung
3. Herstellung
4. Anwendung im Bohrloch
5. Sonde im WP-Kreislauf
6. Vorteile beim Wärmeentzug
7. Schutz der GW-Leiter
8. Wirtschaftlich-keit
9. Zusammen-fassung



- 40 Mio. Haushalte verbrauchen 528 Mrd. kWh – im Durchschnitt 13.200 kWh/a
- Stand 2015: 7% Geothermie + WP; 5% Solarthermie
- Gegenwärtiger Beitrag: Tiefe Geothermie 1.044 GWh und **Wärmepumpe 11.305 GWh (41 PJ)**

1. Einleitung
2. Zielstellung
3. Herstellung
4. Anwendung im Bohrloch
5. Sonde im WP-Kreislauf
6. Vorteile beim Wärmeentzug
7. Schutz der GW-Leiter
8. Wirtschaftlich-keit
9. Zusammen-fassung

Emissionsbilanz erneuerbarer oberflächennaher Geothermie

Heizwärme	Anteil in %	JAZ (2014)	CO2-Vermeidungsfaktor in g/kWh
Luft-WP	46	2,9	91
Sole-WP	39	**3,3**	**108**
Wasser-Wasser WP	10	3,2	98
Gas-Luft-WP	2	1,4	91
Solarthermie			260
Tiefe Geothermie			326

- JAZ der Luft-WP und Wasser-Wasser WP sind technologisch bezogen auf die Wärmequelle ausgereizt
- Potential steht bei den Erdwärmesonden zur Verfügung

1. Einleitung
2. Zielstellung
3. Herstellung
4. Anwendung im Bohrloch
5. Sonde im WP-Kreislauf
6. Vorteile beim Wärmeentzug
7. Schutz der GW-Leiter
8. Wirtschaftlich-keit
9. Zusammen-fassung

Potential der Emissionsreduzierung
für oberflächennaher Geothermie

Erdwärme-sondentyp	Länge in m	JAZ (2014)	CO_2-Vermei-dungsfaktor in g/kWh	CO_2-Vermei-dung pro Haushalt und Jahr in t
Dp.-U-Rohrsonde	ca. 100	3,3	108	1,43
Ringrohrsonde	ca. 100	4,3	141	1,86
Ringrohrsonde	ca. 400	5,0	163	2,15
Ringrohrsonde	ca. 600	6,5	212	2,80
Luft-WP		2,9	91	1,20
Solarthermie			260	3,43
Tiefe Geothermie			326	4,30

- Dimensionierung der Erdwärmesonden (kosten- oder emissionsoptimiert ?? 0,660 t CO_2 pro Haushalt und Jahr zusätzliche Vermeidung gegenüber der Luft-WP)
- Erschließung höherer Temperaturen in größerer Teufe
- Förderung für CO_2-Vermeidung oder für Invest und Betrieb

Wirtschaft-lichkeit

1. Einleitung
2. Zielstellung
3. Herstellung
4. Anwendung im Bohrloch
5. Sonde im WP-Kreislauf
6. Vorteile beim Wärmeentzug
7. Schutz der GW-Leiter
8. Wirtschaftlich-keit
9. Zusammen-fassung

Kostenabschätzung zwischen Luft-Wasser- und Erdwärme/Wasser-WP

Wärmepumpen-typ	Länge in m	JAZ (2014)	Strombedarf In kWh	Stromkosten über die Nutzung von 10 Jahren in €
Dp.-U-Rohrsonde	ca. 100	3,3	4000	10.000
Ringrohrsonde	ca. 100	4,3	3070	7.675
Luft-WP		2,9	4551	11.380

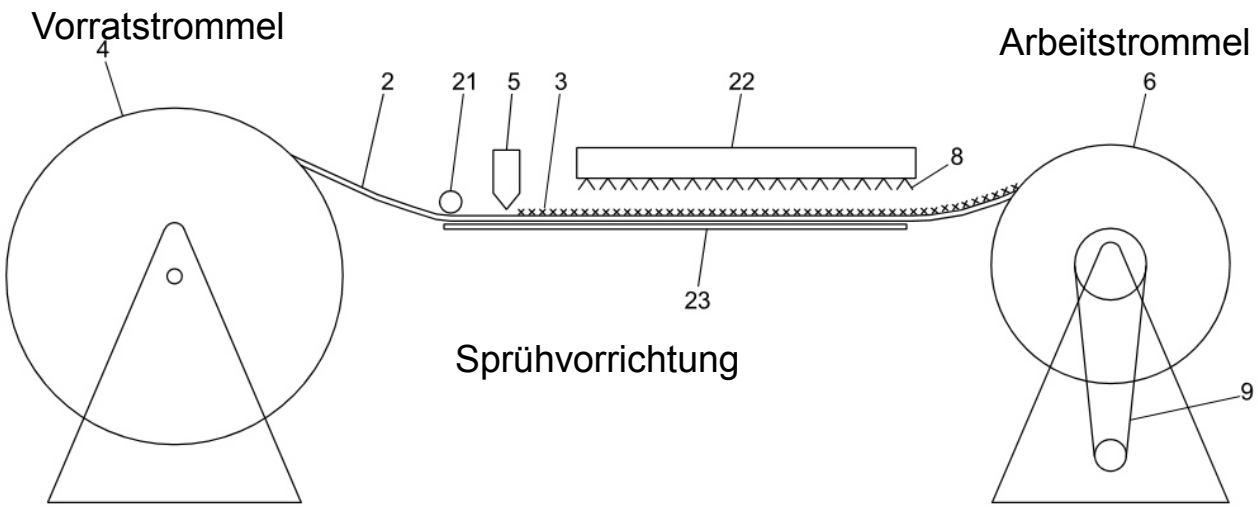
Diff. 3.705

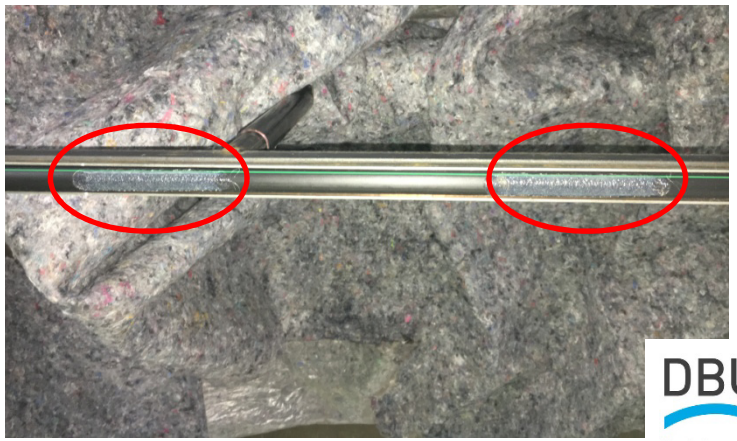
- Annahmen: jährlicher Wärmebedarf 13200 kWh
  2000 Volllaststunden
  Strompreis 0,25ct/kWh
- s. auch: https://www.energieheld.de/heizung/waermepumpe/kosten-und-preisvergleich
  Erdwärme: Anschaffung > 23.000 €; Laufenden Kosten > 400 €; Förderung > 4.500 €
  Luft : Anschaffung > 12.500 €; Laufenden Kosten >1.000 €; Förderung > 1.300 €
  Gesamtdifferenz nach 10 Jahren: 1.300 € Mehrkosten für die Erdwärmeanlage
  Erwärme > Bonusförderung > 6.750 €

Herstellung der RR-Sonde

1. Einleitung
2. Zielstellung
3. Herstellung
4. Anwendung im Bohrloch
5. Sonde im WP-Kreislauf
6. Vorteile beim Wärmeentzug
7. Schutz der GW-Leiter
8. Wirtschaftlichkeit
9. Zusammenfassung

Klebstoffbeschichtung

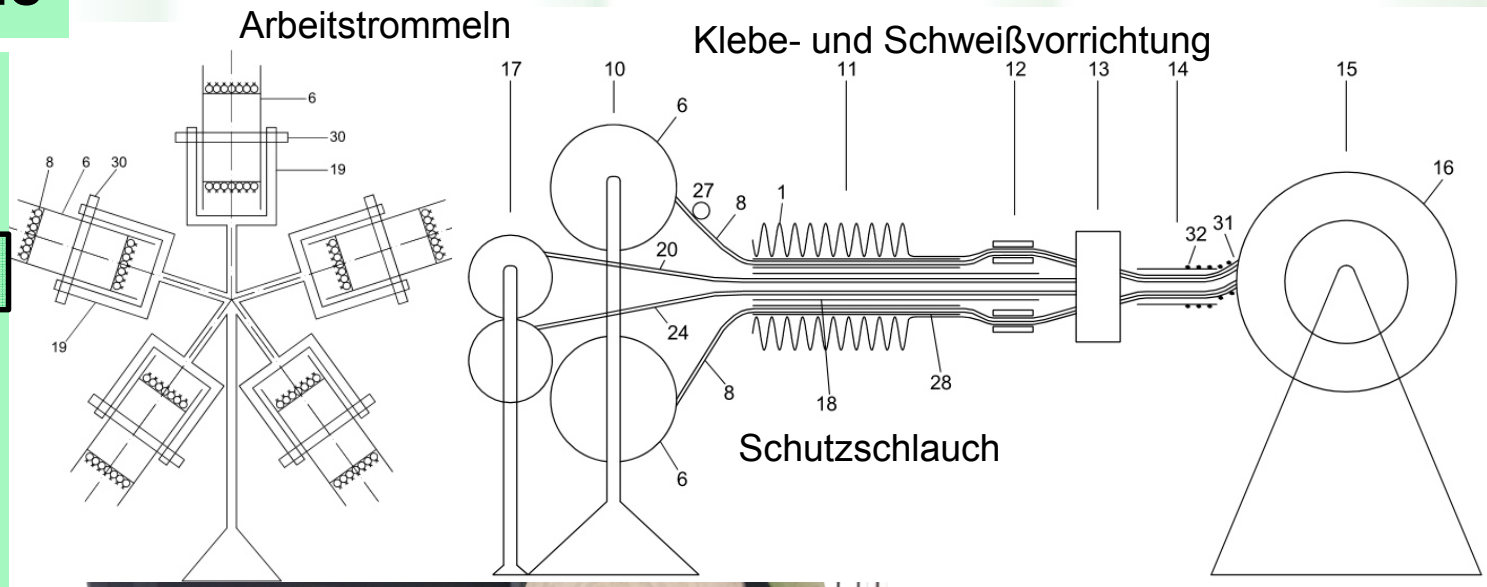




Herstellung der RR-Sonde

1. Einleitung
2. Zielstellung
3. Herstellung
4. Anwendung im Bohrloch
5. Sonde im WP-Kreislauf
6. Vorteile beim Wärmeentzug
7. Schutz der GW-Leiter
8. Wirtschaft-lichkeit
9. Zusammen-fassung

Sondenmontage



Anwendung im Bohrloch

1. Einleitung
2. Zielstellung
3. Herstellung
4. Anwendung im Bohrloch
5. Sonde im WP-Kreislauf
6. Vorteile beim Wärmeentzug
7. Schutz der GW-Leiter
8. Wirtschaft-lichkeit
9. Zusammen-fassung

Einbau einer Ringrohrsonde in eine Versuchsbohrung

(Durchmesser 250mm; Teufe 35m)

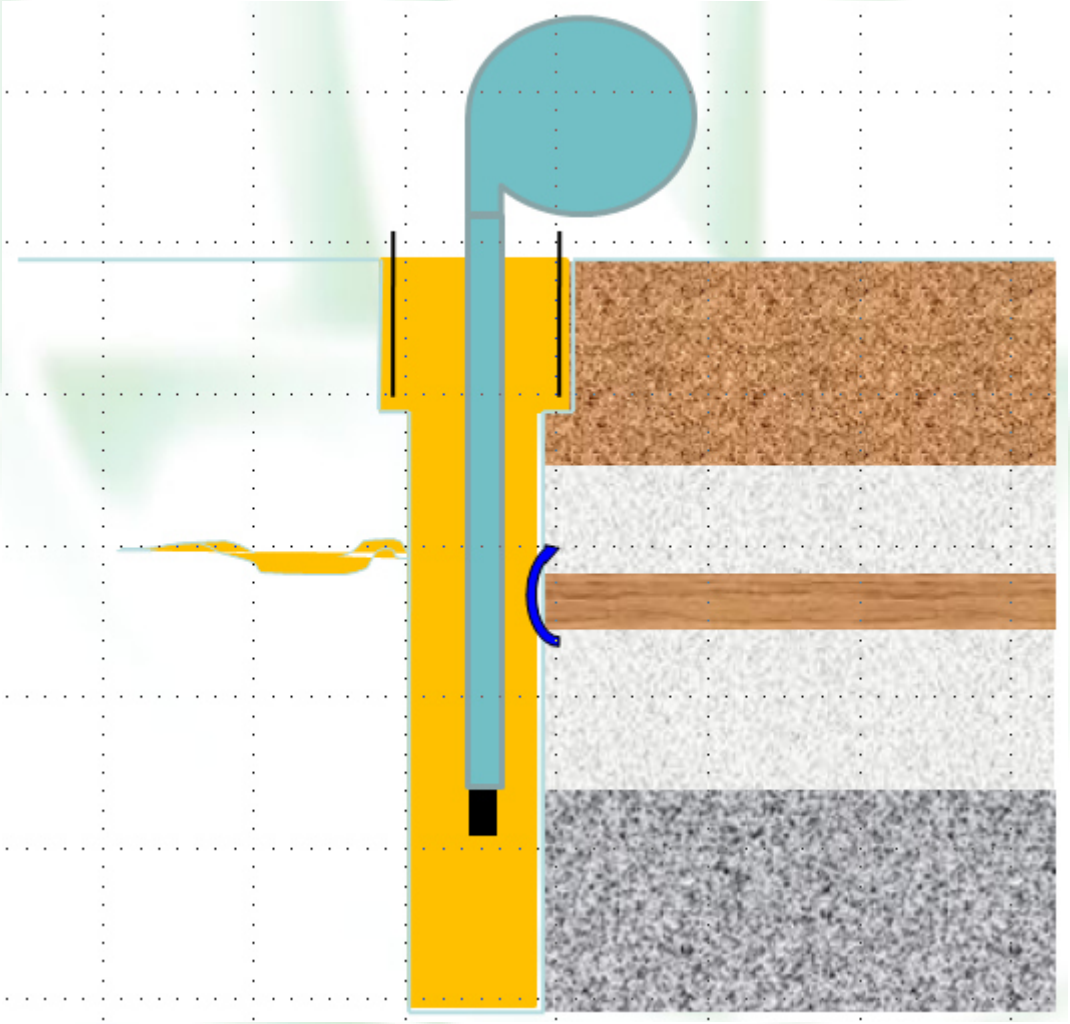
DBU Deutsche Bundesstiftung Umwelt

blz GEO technik

Rolf Michael Wagner

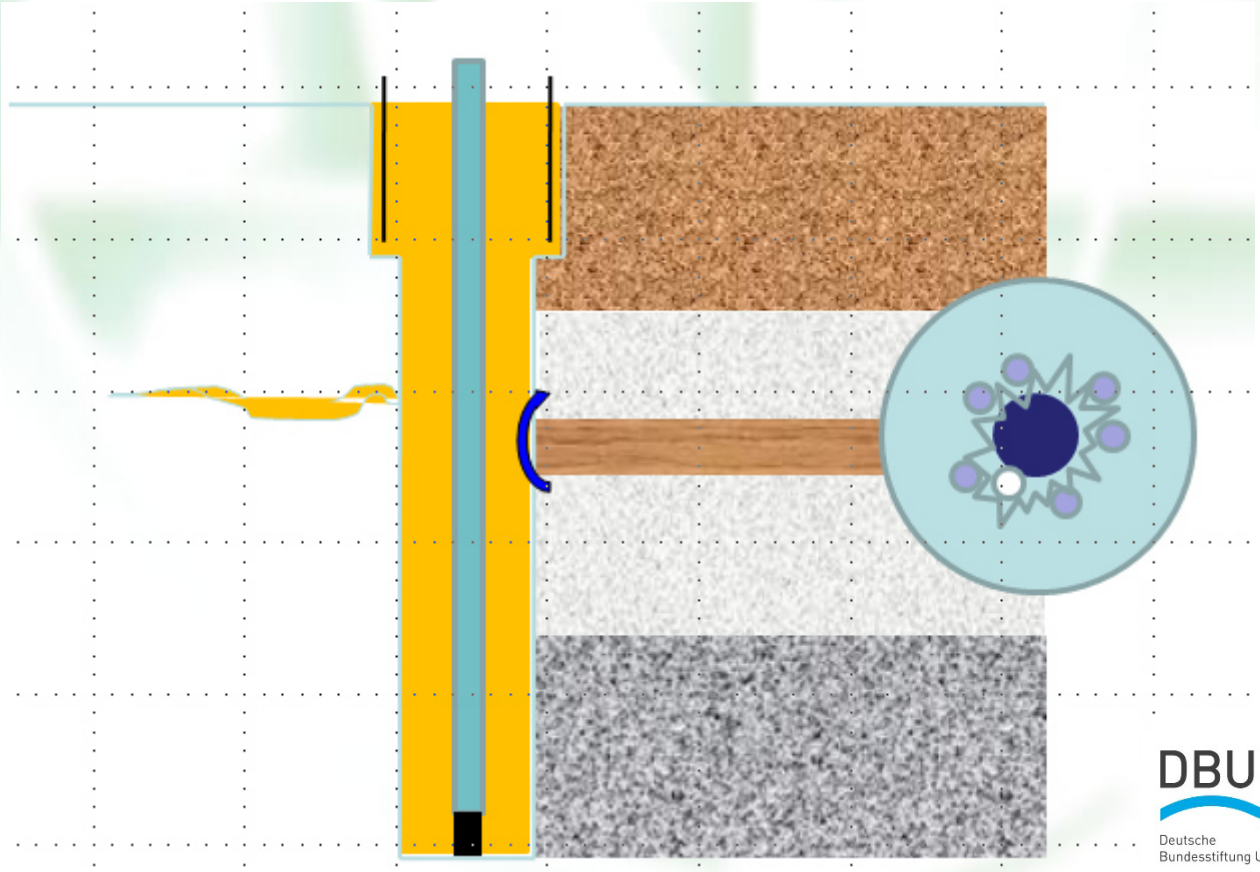
1. Einleitung
2. Zielstellung
3. Herstellung
4. Anwendung im Bohrloch
5. Sonde im WP-Kreislauf
6. Vorteile beim Wärmeentzug
7. Schutz der GW-Leiter
8. Wirtschaft-lichkeit
9. Zusammen-fassung

Installation der Sondenrohre als Rohrbündel



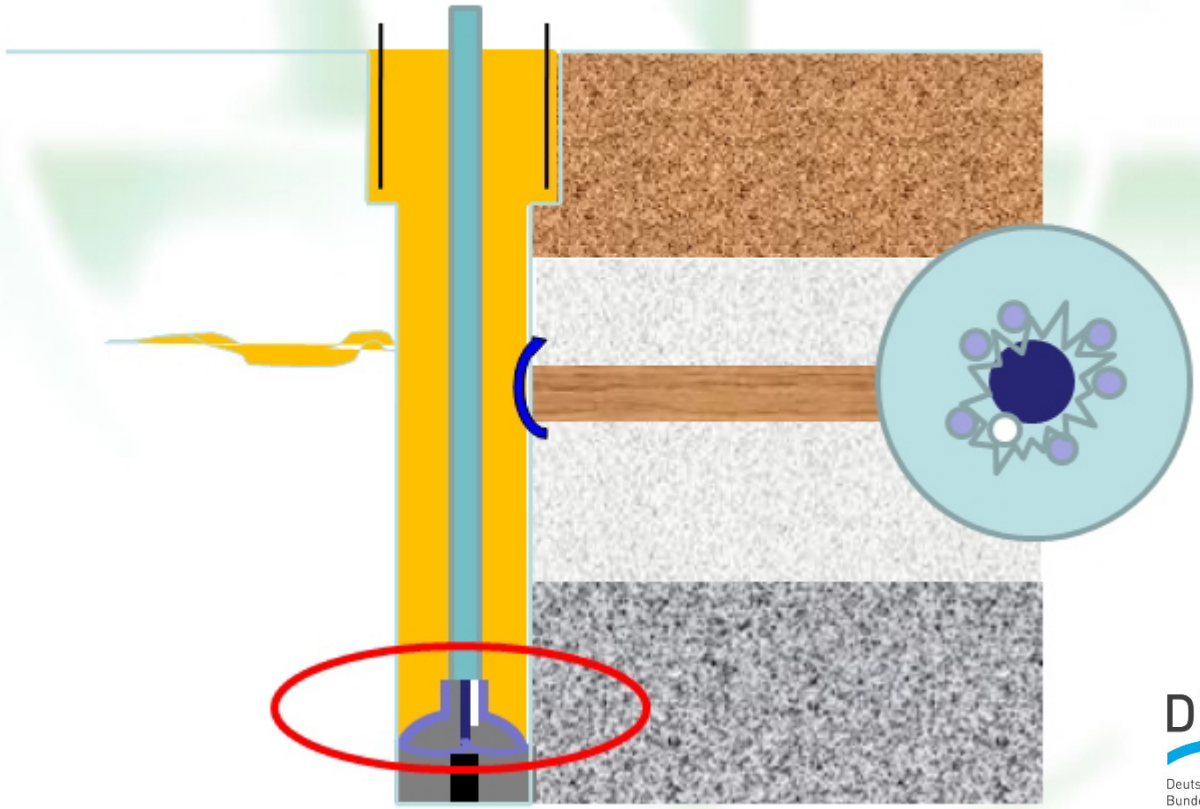
1. Einleitung
2. Zielstellung
3. Herstellung
4. Anwendung im Bohrloch
5. Sonde im WP-Kreislauf
6. Vorteile beim Wärmeentzug
7. Schutz der GW-Leiter
8. Wirtschaft-lichkeit
9. Zusammen-fassung

Abstellen des Sondenrohrbündels auf Sohle



Beginn der Verfüllung von unten nach oben

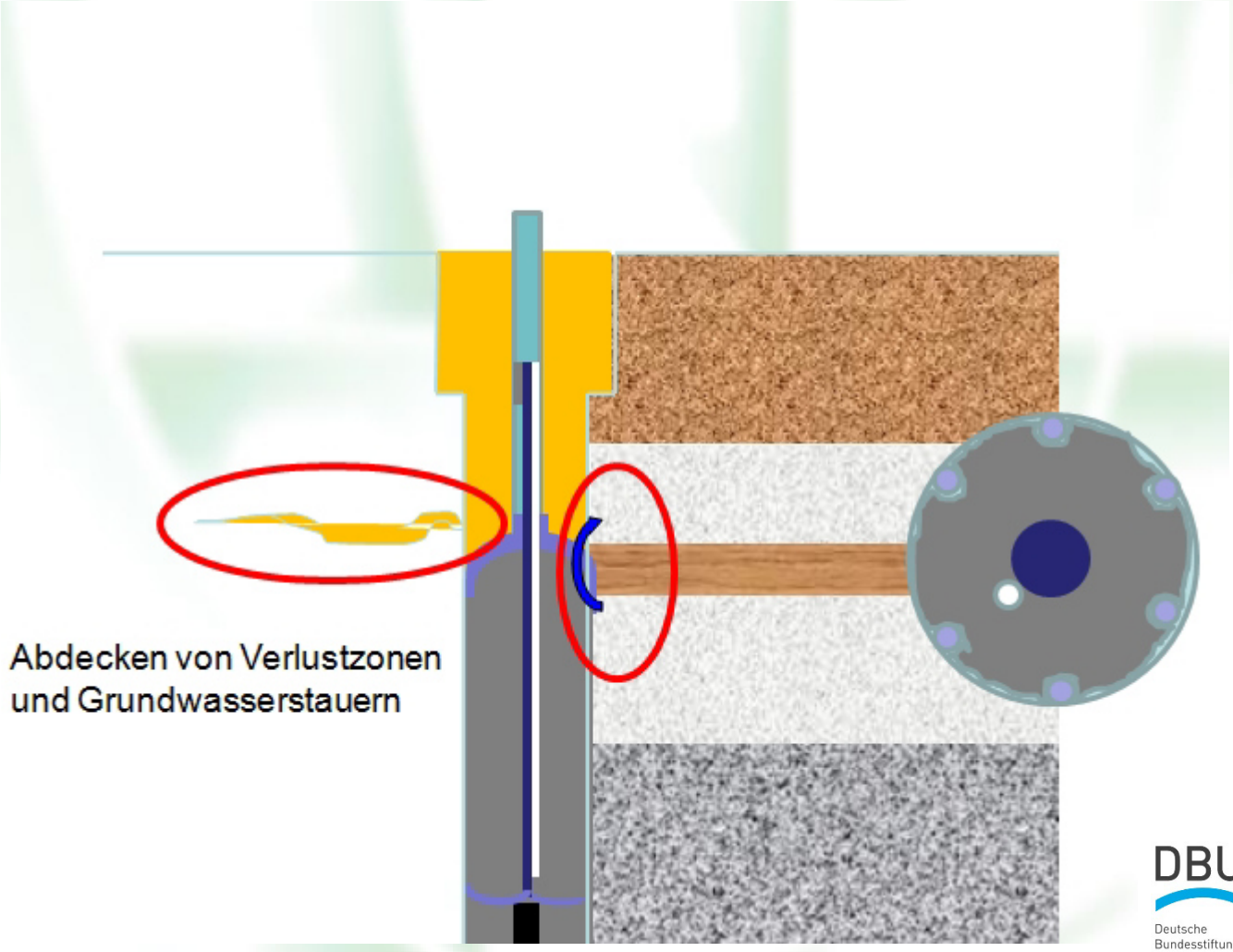
1. Einleitung
2. Zielstellung
3. Herstellung
4. Anwendung im Bohrloch
5. Sonde im WP-Kreislauf
6. Vorteile beim Wärmeentzug
7. Schutz der GW-Leiter
8. Wirtschaft-lichkeit
9. Zusammen-fassung



Trennung Spülung von Verfüllsuspension

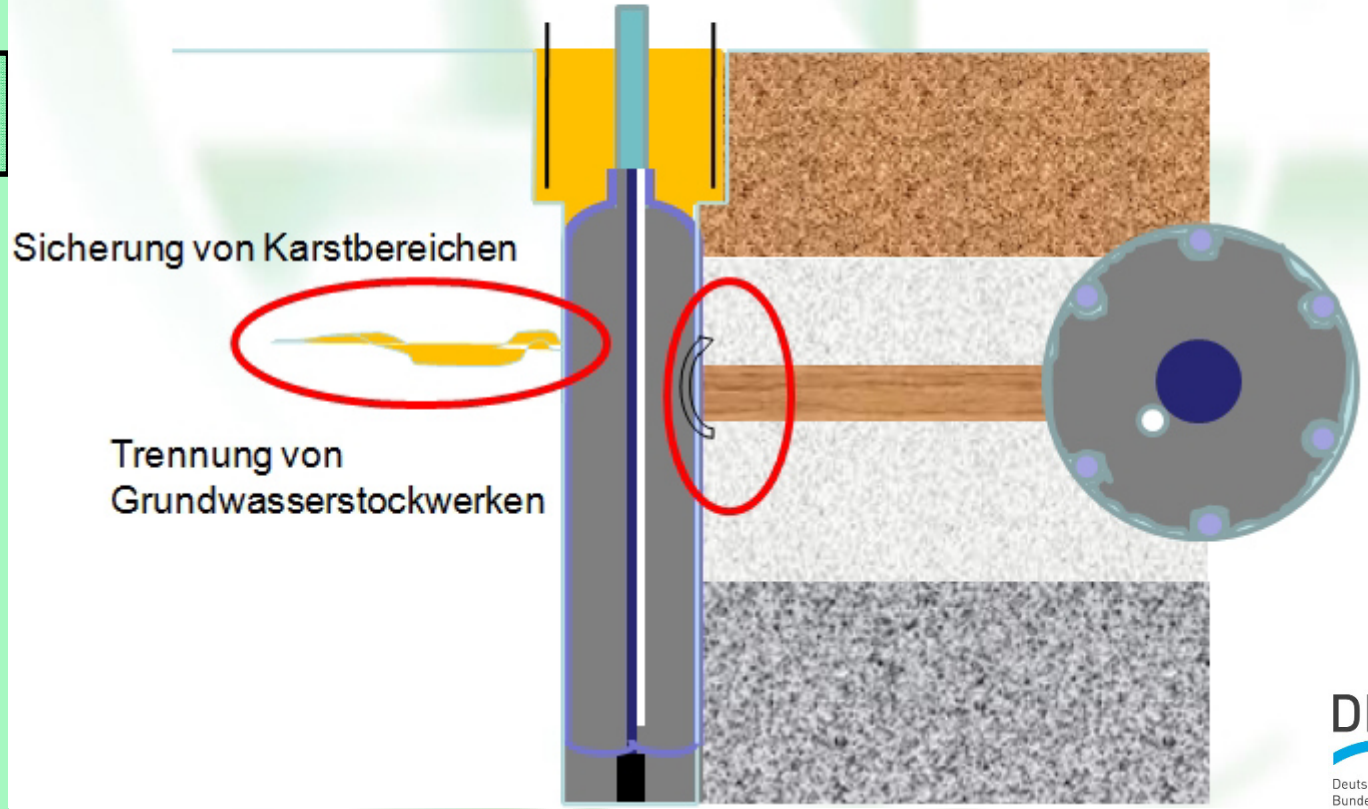
Auffüllen des Schutzschlauches

1. Einleitung
2. Zielstellung
3. Herstellung
4. Anwendung im Bohrloch
5. Sonde im WP-Kreislauf
6. Vorteile beim Wärmeentzug
7. Schutz der GW-Leiter
8. Wirtschaft-lichkeit
9. Zusammen-fassung



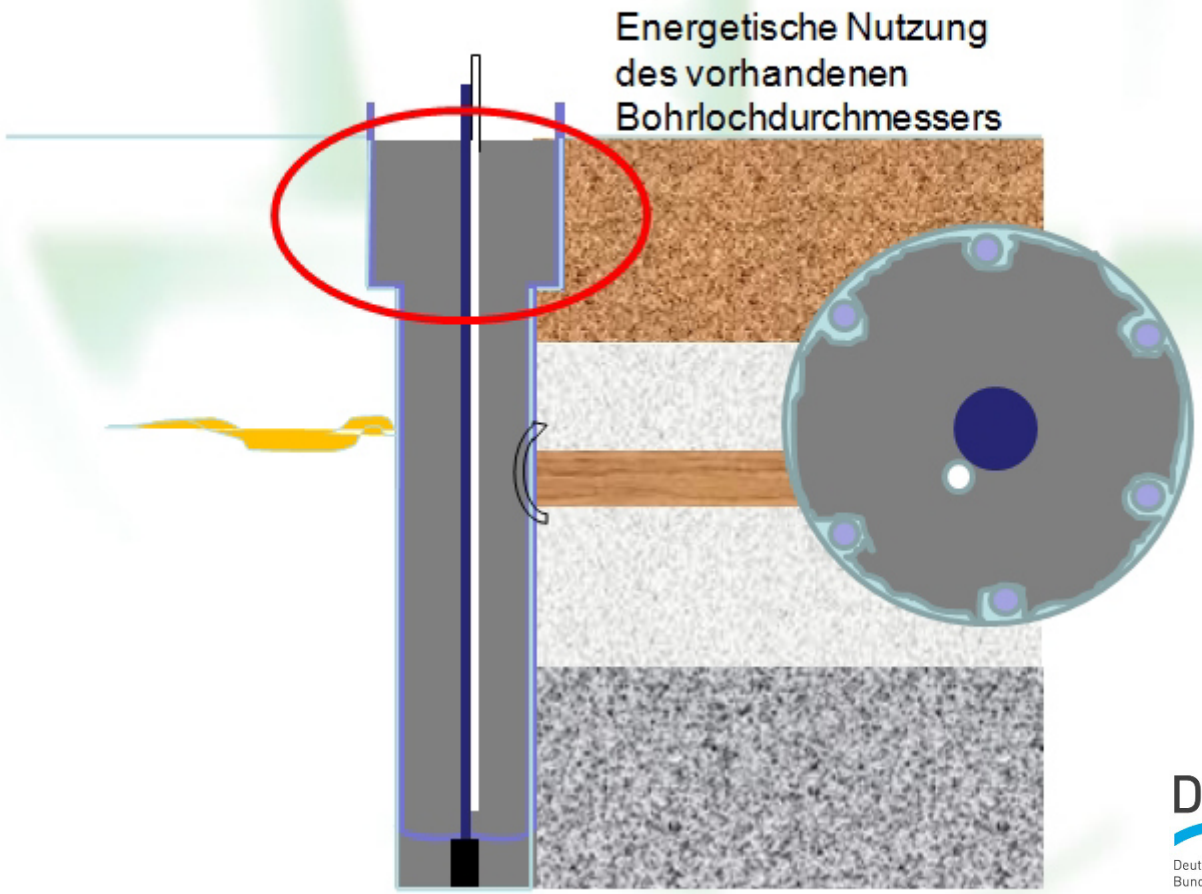
Verfüllen ohne Spülungsverluste

1. Einleitung
2. Zielstellung
3. Herstellung
4. Anwendung im Bohrloch
5. Sonde im WP-Kreislauf
6. Vorteile beim Wärmeentzug
7. Schutz der GW-Leiter
8. Wirtschaftlichkeit
9. Zusammenfassung



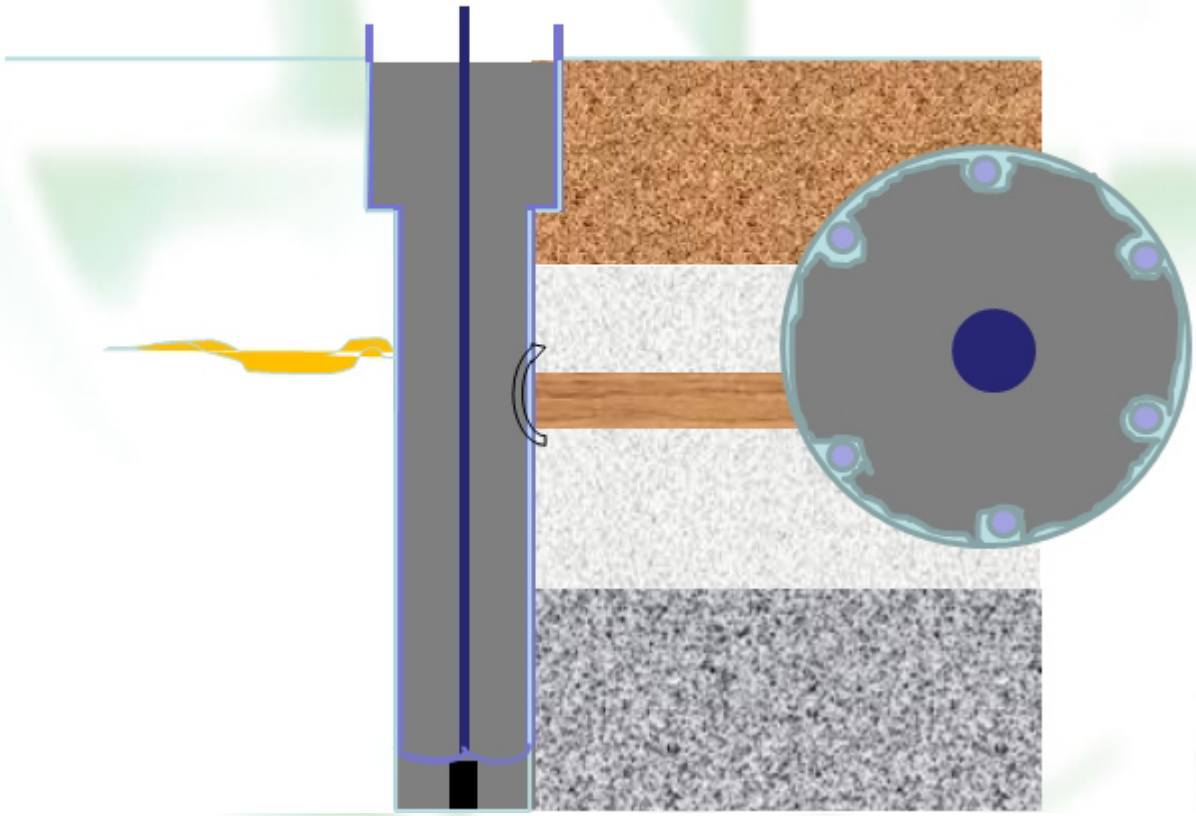
1. Einleitung
2. Zielstellung
3. Herstellung
4. Anwendung im Bohrloch
5. Sonde im WP-Kreislauf
6. Vorteile beim Wärmeentzug
7. Schutz der GW-Leiter
8. Wirtschaftlichkeit
9. Zusammenfassung

Verfüllung und Bewegen der Sondenrohre an die Wand



Ausbau der Verfüllleitung

1. Einleitung
2. Zielstellung
3. Herstellung
4. Anwendung im Bohrloch
5. Sonde im WP-Kreislauf
6. Vorteile beim Wärmeentzug
7. Schutz der GW-Leiter
8. Wirtschaft-lichkeit
9. Zusammen-fassung

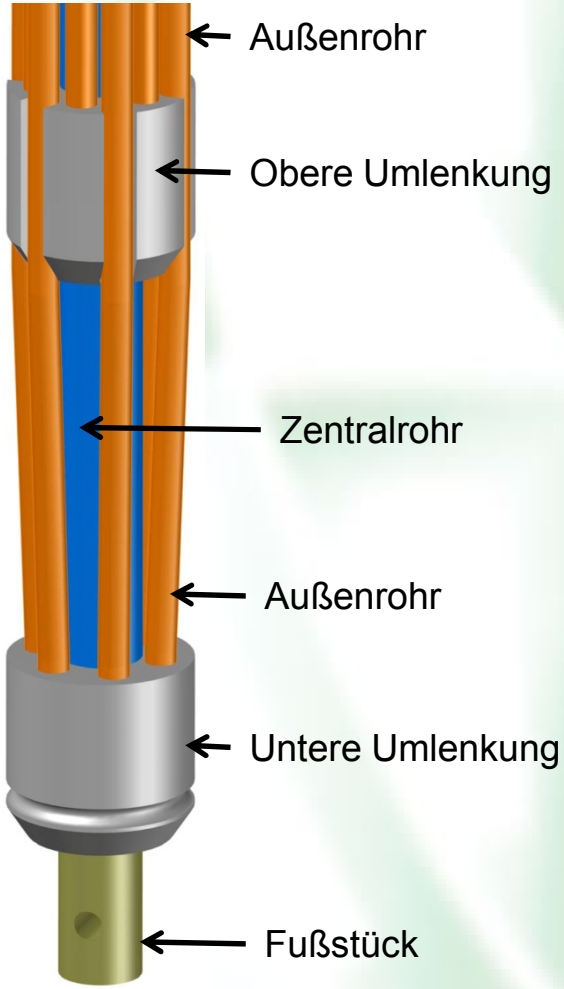


Anwendung im Bohrloch

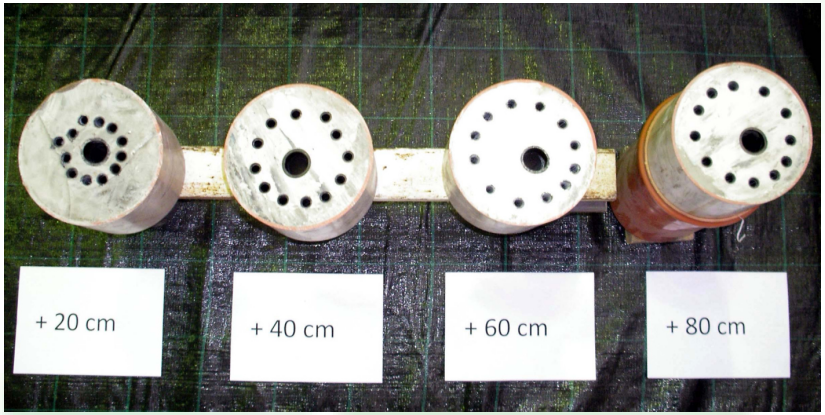
1. Einleitung
2. Zielstellung
3. Herstellung
4. Anwendung im Bohrloch
5. Sonde im WP-Kreislauf
6. Vorteile beim Wärmeentzug
7. Schutz der GW-Leiter
8. Wirtschaft-lichkeit
9. Zusammen-fassung

Schnitt durch eine Muster-Ringrohrsonde

Sondenfuß (Schema)



Schitte durch die Probe oberhalb des Sondenfußes



und durch eine Dp.-U-Rohrsonde

1. Einleitung
2. Zielstellung
3. Herstellung
4. Anwendung im Bohrloch
5. Sonde im WP-Kreis
6. Vorteile beim Wärmeentzug
7. Schutz der GW-Leiter
8. Wirtschaftlichkeit
9. Zusammenfassung

Schnittstelle zum Wärmepumpenkreis

- Ringrohrsonde erfordert keine speziellen Wärmepumpen
- Vor- und Rücklauf werden mit DN 40 angebunden
- hydraulischer Druckverlust liegt ca. 50 % über dem der Doppel-U-Rohr-Sonde und wird von der Standarddruckhöhe der Wärmepumpe mit ca. 1,1 bar abgedeckt

	RR-Sonde	Dp-U-Rohr	Einf-U-Rohr
	10xDN16+1xDN40	4xDN32	2xDN40
Druckverlust in bar	0,270	0,185	0,221

1. Einleitung
2. Zielstellung
3. Herstellung
4. Anwendung im Bohrloch
5. Sonde im WP-Kreislauf
6. Vorteile bei der Effizienz
7. Schutz der GW-Leiter
8. Wirtschaftlichkeit
9. Zusammenfassung

Auswirkungen konstruktiver Eigenschaften

p_B-16bar - SDR-11

Wärmetauscher

Oberfläche	RR-Sonde	Dp-U-Rohr	Einf-U-Rohr
	10xDN16+1xDN40	4xDN32	2xDN40
Fläche in m²	62,8	40,2	25,1
Wandstärke mm	1,5 und 3,8	2,9	3,8

Rohranzahl und Abstand zur Bohrlochwand

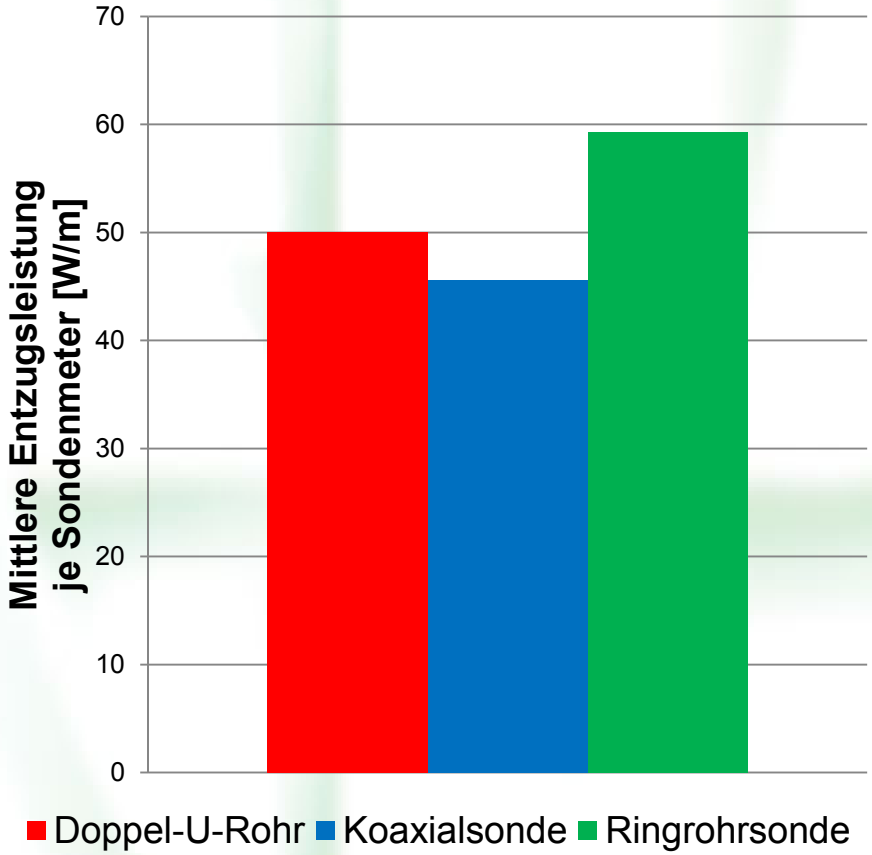
Leistung nach 30 d Dauerbetrieb	RR-Sonde 10mm Wand-abstand	RR-Sonde 1mm Wand-abstand	Dp-U-Rohr 20mm Wand-abstand
bei 0,8 W/mK	10xDN16+1xDN40	10xDN16+1xDN40	4xDN32
6 Rohre	4,10 kW	4,46 kW	-
10 Rohre	4,41 kW	**4,80 kW**	-
12 Rohre	4,45 kW	4,84 kW	
4 Rohre	-	-	**3,77 kW**

Ziel

Wirtschaft-lichkeit

1. Einleitung
2. Zielstellung
3. Herstellung
4. Anwendung im Bohrloch
5. Sonde im WP-Kreislauf
6. Vorteile beim Wärmeentzug
7. Schutz der GW-Leiter
8. Wirtschaftlich-keit
9. Zusammen-fassung

Wärmeentzugsleistung im Vergleich



Energieeinsparungen am Gebäude als Verbraucher und das Erschließen regenerativer Wärmequellen sind gemeinsam ausschlaggebend für die Energieeffizienz und den klimaschonenden Umgang mit den Ressourcen und Emissionen.

1. Einleitung
2. Zielstellung
3. Herstellung
4. Anwendung im Bohrloch
5. Sonde im WP-Kreislauf
6. Vorteile bei der Effizienz
7. Schutz der GW-Leiter
8. Wirtschaft-lichkeit
9. Zusammen-fassung

Energetische Merkmale

- Große Oberfläche zur Wärmeübertragung
- Geringe Wandstärke der isolierenden Sondenrohre
- Geringer Abstand zwischen Wärmequelle und den koaxial angeordnete Ringrohre zur Wärmeaufnahme – geringer Wärmewiderstand
- Hoher Wärmewiderstand zwischen Ringrohren und dem Zentralrohr geringer thermischer Kurzschluss
- Weitgehend unabhängig von der Wärmeleitfähigkeit des Verfüllmaterials
- Nutzung von Durchmessererweiterungen der Sondenbohrung

1. Einleitung
2. Zielstellung
3. Herstellung
4. Anwendung im Bohrloch
5. Sonde im WP-Kreislauf
6. Vorteile beim Wärmeentzug
7. Schutz der GW-Leiter
8. Wirtschaftlichkeit
9. Zusammenfassung

Abdichtung der Sonde gegenüber dem Erdreich

- Verfüllung ohne Mischzone mit dem Bohrlochinhalt
- vollständige Verfüllung mit dem Gewebeschlauch über die gesamte Sondenlänge – Materialeigenschaften nach geologischer Aufgabenstellung
- keine Verluste des Verfüllmaterials in das Erdreich – Kontrollfähigkeit über die Mengenerfassung
- sichere Trennung verschiedener GW-Stockwerke durch die Packerwirkung des Schutzschlauches
- Qualitätverbesserung der BLM-Aussage durch großes Zentralrohr und radialsymmetrische Anordnung
- **Systemdurchlässigkeit unterscheidet sich nicht von der Doppel-U-Rohr-Sonde**

1. Einleitung
2. Zielstellung
3. Herstellung
4. Anwendung im Bohrloch
5. Sonde im WP-Kreislauf
6. Vorteile beim Wärmeentzug
7. Schutz der GW-Leiter
8. Wirtschaftlich-keit
9. Zusammen-fassung

Kostenbestandteile

100m Länge	RR-Sonde	Dp-U-Rohr	Einf-U-Rohr
	10xDN16+1xDN40	4xDN32	2xDN40
Herstellungskosten	900 €	300 €	250 €
Bohrkosten	4000 €	4000 €	4000 €
Verfüllen (3m³)	285 €	1080 €	1080 €
Gesamtkosten	**5185 €**	**5380 €**	**5330 €**

- annähernd gleiche Herstellungskosten
- hohe Effizienz – wirtschaftlicher Betrieb
- geringes Risiko bei der Herstellung und für die Umgebung

PE-HD	RR-Sonde	Dp-U-Rohr	Einf-U-Rohr
Querschnitt	10xDN16+1xDN40	4xDN32	2xDN40
Gewicht in kg	**105,9**	**100,7**	**82,1**

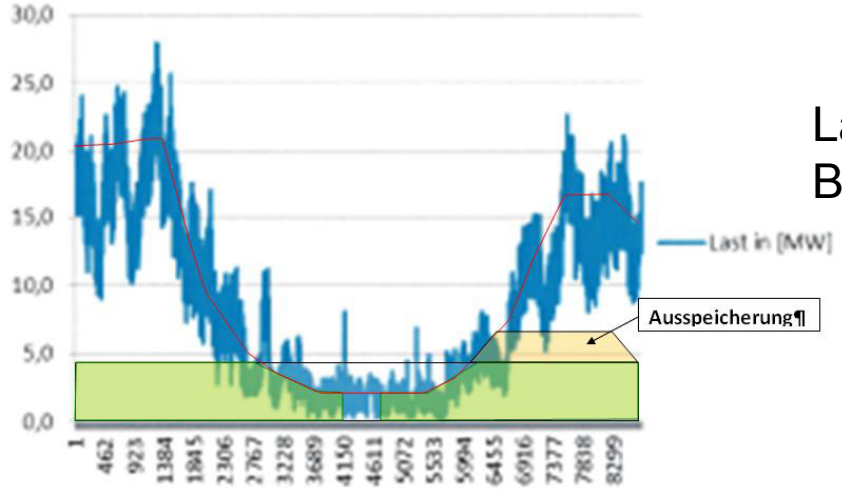
Wirtschaft-lichkeit

1. Einleitung
2. Zielstellung
3. Herstellung
4. Anwendung im Bohrloch
5. Sonde im WP-Kreislauf
6. Vorteile beim Wärmeentzug
7. Schutz der GW-Leiter
8. Wirtschaftlich-keit
9. Zusammen-fassung

Auslegung eines Erdwärmespeichers

für eines Biomasse-BHKW mit Stromerzeugung und einer thermischen Wärmemenge von 29024 MWh_{th}/a bei einer Leistung von maximal P = 4 MW_{th}

Zur Versorgung eines Fernwärmenetzes mit Vorlauftemperatur von 78 °C und Rücklauftemperatur von 65 °C.
Die Einspeicherung der Wärme in die EWS soll demgemäß mit 78 °C wahlweise auch mit 120 °C erfolgen.



Lastgangskurve für den Betrieb

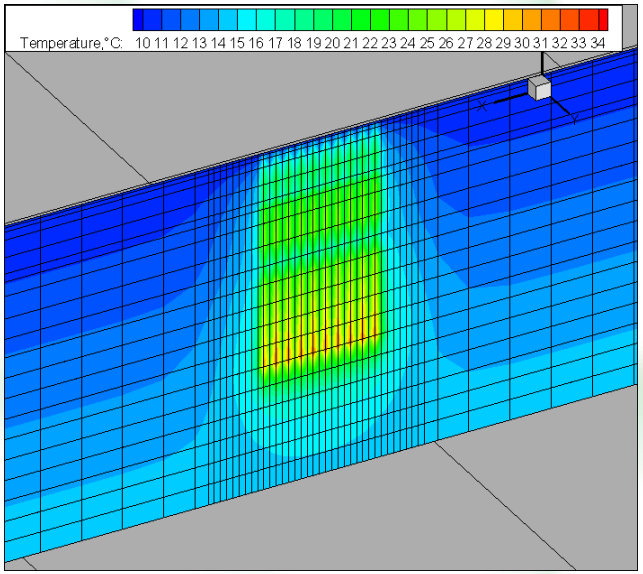
Zielstellung: in den Sommermonaten nicht aufgenommene Wärmemenge von ca. 3000 MWh_{th}/a soll bei einer Wärmeleistung bzw. von 1.6 MW_{th} gespeichert und danach wieder mit einer Temperatur von 78°C bereitgestellt werden.

1. Einleitung
2. Zielstellung
3. Herstellung
4. Anwendung im Bohrloch
5. Sonde im WP-Kreislauf
6. Vorteile beim Wärmeentzug
7. Schutz der GW-Leiter
8. Wirtschaftlich-keit
9. Zusammen-fassung

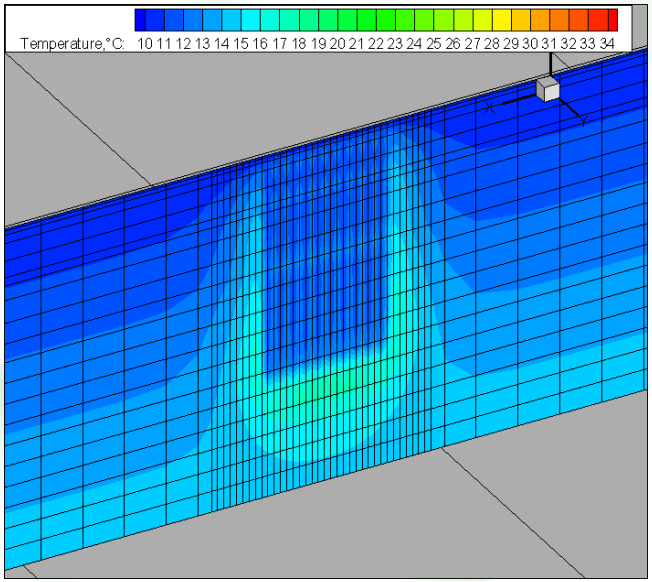
Simulation des Erdwärmespeichers

Vorlauftemperatur : 78 °C, Ringrohrsonde, Sondenabstand 3 m

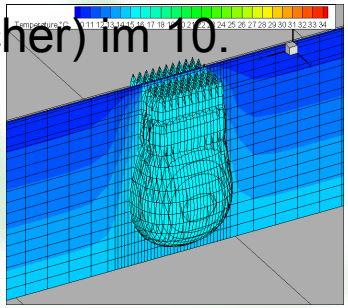
- im Speicherinneren nur eine Maximaltemperatur von 34 °C
- Durchschnittstemperatur des Speichers liegt bei etwa 22 °C.



Schnittdarstellung des Wärmespeichers am Ende der Einspeicherperiode (aufgeladener Speicher) im 10. Betriebsjahr



Schnittdarstellung des Wärmespeichers am Ende der Ausspeicherperiode (entladener Speicher) im 10. Betriebsjahr



15°C Front

1. Einleitung
2. Zielstellung
3. Herstellung
4. Anwendung im Bohrloch
5. Sonde im WP-Kreislauf
6. Vorteile beim Wärmeentzug
7. Schutz der GW-Leiter
8. Wirtschaftlich-keit
9. Zusammen-fassung

Ergebnis der Simulation des Speichers

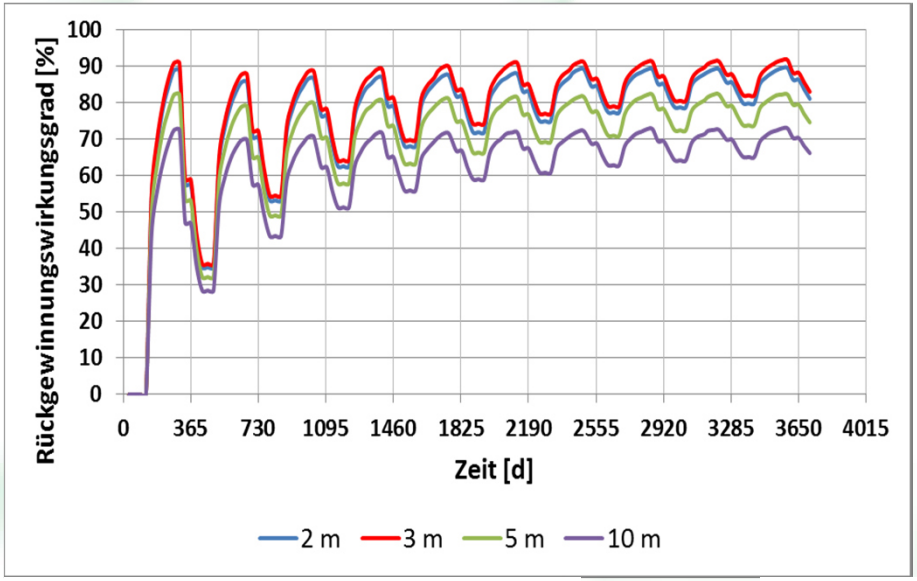
Zusammenstellung der Ergebnisse für 50 °C Zieltemperatur bei Ausspeicherung

	Temperaturspreizung der Wärmepumpe 0/50 °C	Temperaturspreizung der Wärmepumpe 10/50 °C	Temperaturspreizung der Wärmepumpe 15/50 °C
Sondenanzahl	72	73	75
Einspeichermenge bei 78°C, $MWh_{th.}/a$	3000	3000	3000
Wärmgewinnung, $MWh_{th.}/a$	3730	4670	3630
Wärmepumpenbedarf, $MWh_{el.}/a$	1410	1360	918
Jahresarbeitszahl	3.69	4.72	5.24

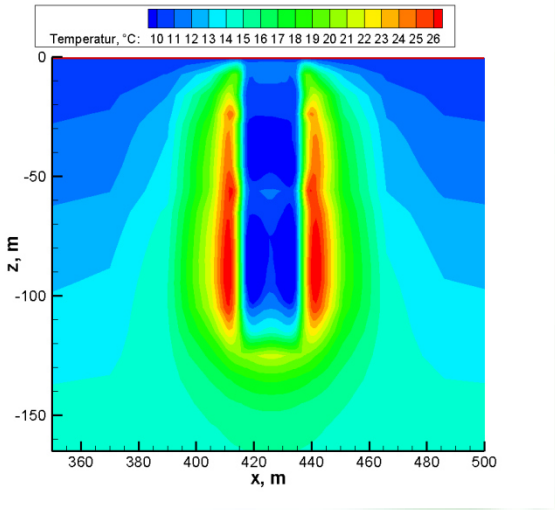
Bei der Variante mit Aufheizung der Ausspeicherwärme von 50 °C auf 78 °C durch BHKW-Abwärme von 120 °C beträgt die durch Ausspeicherung zusätzlich gewinnbare Wärmemenge nur ca. 50 % der Werte.

Einflussgröße Sondenabstand

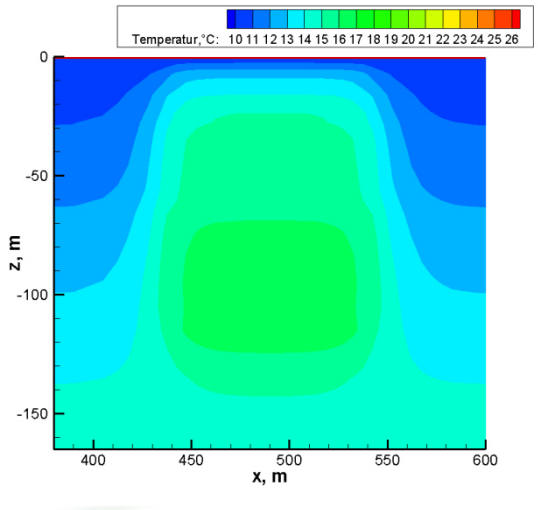
1. Einleitung
2. Zielstellung
3. Herstellung
4. Anwendung im Bohrloch
5. Sonde im WP-Kreislauf
6. Vorteile beim Wärmeentzug
7. Schutz der GW-Leiter
8. Wirtschaftlich-keit
9. Zusammen-fassung



Wärmerückgewinnungs-grad (Speicherwirkungsgrad) bei verschiedenen Sondenabständen



2m Sondenabstand

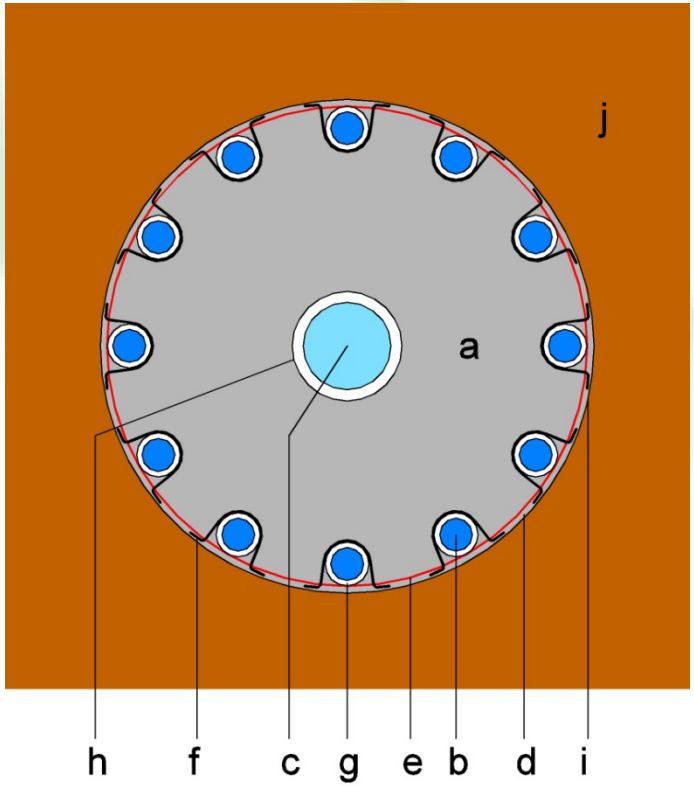


10m Sondenabstand

Zusammen-
fassung

1. Einleitung
2. Zielstellung
3. Herstellung
4. Anwendung im Bohrloch
5. Sonde im WP-Kreislauf
6. Vorteile beim Wärmeentzug
7. Schutz der GW-Leiter
8. Wirtschaft-lichkeit
9. Zusammen-fassung

Schnitt durch eine verfüllte Ringrohrsonde



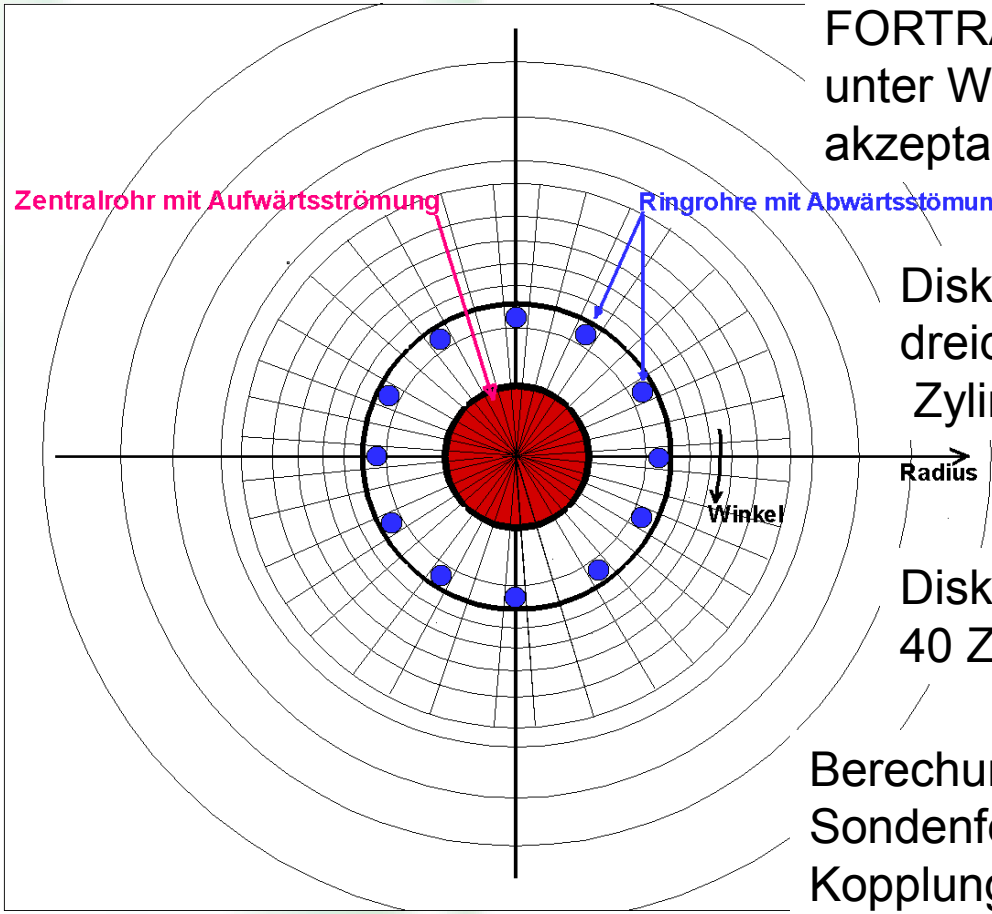
a. innere Verfüllung
b. Abwärtsströmung
c. Aufwärtsströmung
d. äußere Ringverfüllung
e. Gewebeschlauch
f. Rohrklammer
g. Ringrohre außen
h. Zentralrohr
i. Bohrlochwand
j. Erdreich

Zusammen-
fassung

1. Einleitung
2. Zielstellung
3. Herstellung
4. Anwendung im Bohrloch
5. Sonde im WP-Kreislauf
6. Vorteile beim Wärmeentzug
7. Schutz der GW-Leiter
8. Wirtschaft-lichkeit
9. Zusammen-fassung

Planungs- und Monitoringsoftware mit ModTherm

Häfner, F., Wagner, R., & Meusel, L. (2015). Bau und Berechnung von Erdwärmeanlagen. Berlin/Heidelberg: Springer



FORTRAN-Programm unter Windows mit akzeptabler Rechnerzeit

Diskretisierung mit dreidimensionalen Zylinderkoordinaten

Diskretisierung von 40 Zeitschritten pro d

Berechung von Sondenfeldern durch Kopplung an **ModGeo3D**

1. Einleitung
2. Zielstellung
3. Herstellung
4. Anwendung im Bohrloch
5. Sonde im WP-Kreislauf
6. Vorteile beim Wärmeentzug
7. Schutz der GW-Leiter
8. Wirtschaft-lichkeit
9. Zusammen-fassung

Zusammenfassende Wertung

- **Ringrohrsonde** besitzt eine hohe energetische Effizienz
- **Ringrohrsonde** gewährt eine hohe Sicherheit für den Grundwasserschutz
- **Ringrohrsonde** erfordert keine besonderen Wärmepumpen und Steuerungen
- **Ringrohrsonde** kann mit erprobter Bohrtechnik eingebaut werden
- Bohrdurchmesser z.Z. 150 bis 190 mm und
- Teufe bis 150 m

DBU Deutsche Bundesstiftung Umwelt

blz GEO technik

Zusammen-fassung

1. Einleitung
2. Zielstellung
3. Herstellung
4. Anwendung im Bohrloch
5. Sonde im WP-Kreislauf
6. Vorteile beim Wärmeentzug
7. Schutz der GW-Leiter
8. Wirtschaft-lichkeit
9. Zusammen-fassung

Effiziente Erdwärmesonden sind ein Baustein für die Energiewende

geben Sie den Ringrohrsonden einen Platz bei der Raumwärme- und Warmwasserversorgung!