

Tiefe Geothermie in Deutschland: Überblick

Dr. Torsten Tischner
Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover

Geozentrum Hannover



Landesamt für
Bergbau, Energie
und Geologie

(Nds. Genehmigungsbehörde)



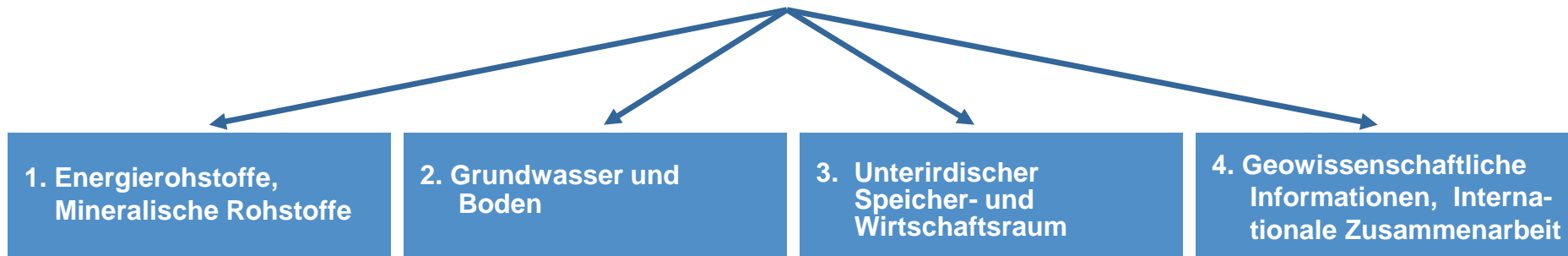
Leibniz-Institut für
Angewandte Geophysik

(Nds. Forschungsinstitut)



Bundesanstalt für
Geowissenschaften
und Rohstoffe

Fachbehörde des BMWi
(Forschung und Beratung)

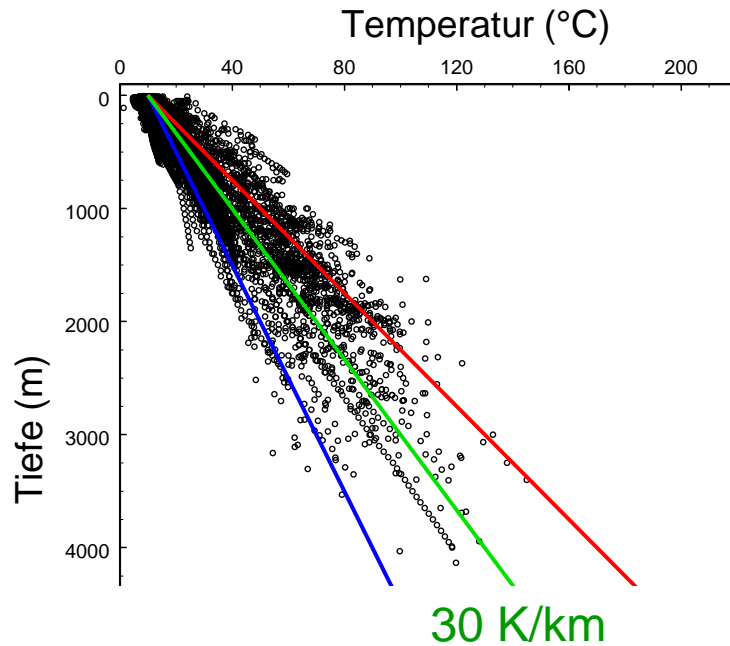


Arbeitsbereich:
„Tiefe Geothermie und CO₂-Speicherung“

Gliederung

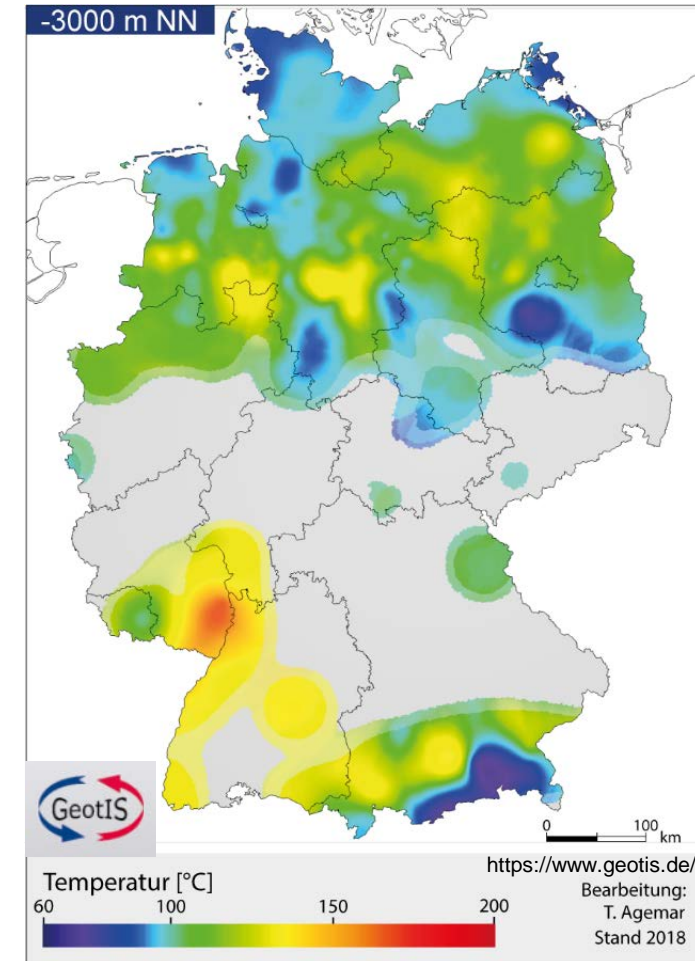
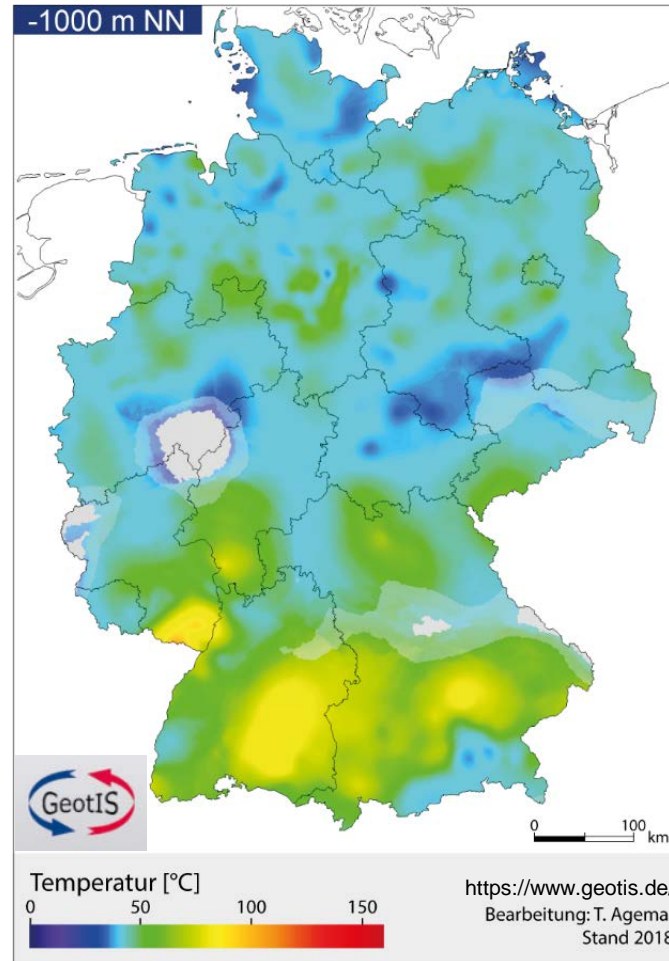
- **Grundlagen**
- **Ablauf von Geothermievorhaben**
- **Status & Entwicklung**
- **Umweltaspekte**
- **Wirtschaftlichkeit & Hemmnisse, Ausblick**

Untergrundtemperaturen in Deutschland

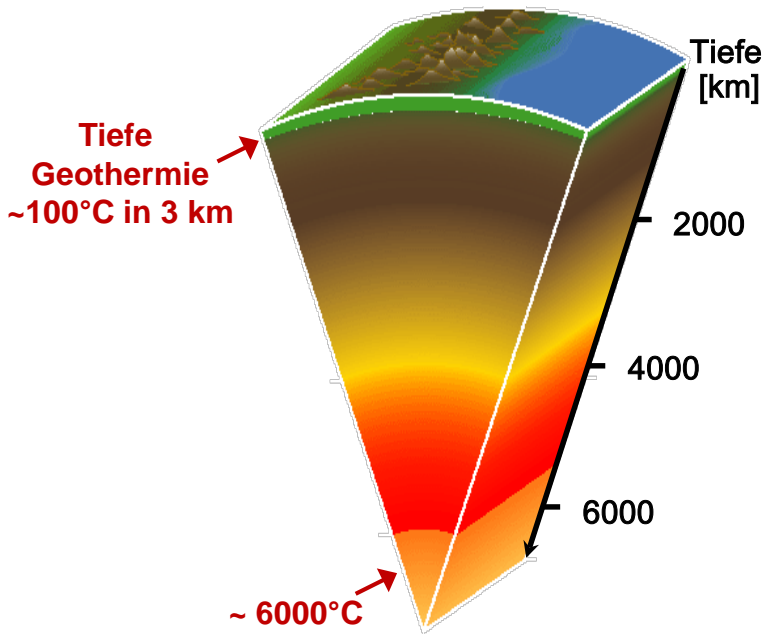


Untergrundtemperatur:

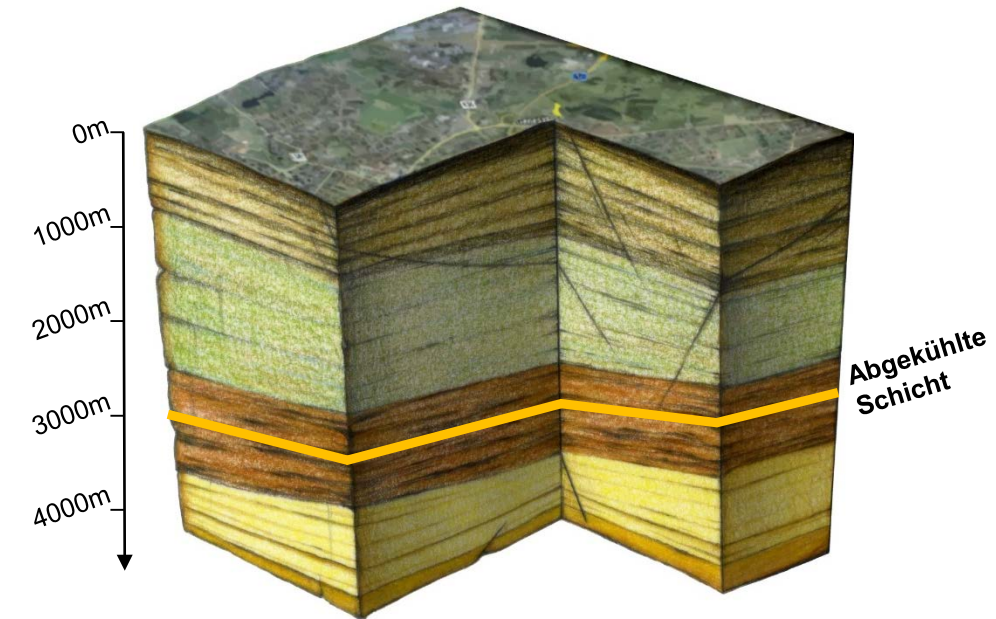
- steigt um ca. 30 Grad pro Kilometer Tiefe!
- ist gut prognostizierbar
(An der Temperatur ist noch kein Projekt gescheitert!)



Wärmepotenzial im tiefen Untergrund



Die tiefe Geothermie „kratzt“ die Erdkruste nur an!



Wärmemenge bei Abkühlung einer 100m dicken Gesteinsschicht in 3000m Tiefe in ganz Nds. um 30 Grad (von 100°C auf 70°C) entspräche:

- ca. 65 000 TWh bzw. dem
- ca. 80 fachen des jährl. Wärmebedarfs in D (Raumwärme+WW)

- Riesiges Erdwärmepotenzial
- Potenzial wird erneuert durch Wärmestrom aus der Tiefe und durch Wärmeentwicklung aus radioaktivem Zerfall
- Erdwärme zählt zu den Erneuerbaren

Geothermische Nutzungsmöglichkeiten

Oberflächennahe Geothermie

(< 400m, ca. 20 000 WP's pro Jahr)

Erdwärmesondenfeld
(geschlossen, WP, 100m; 100kW; Quartiere)

Erdkollektoren, Erdwärmepumpen, Erdwärmesonden
(geschlossen/offen, WP, 5-100m; 5 – 15 kW, EFH)

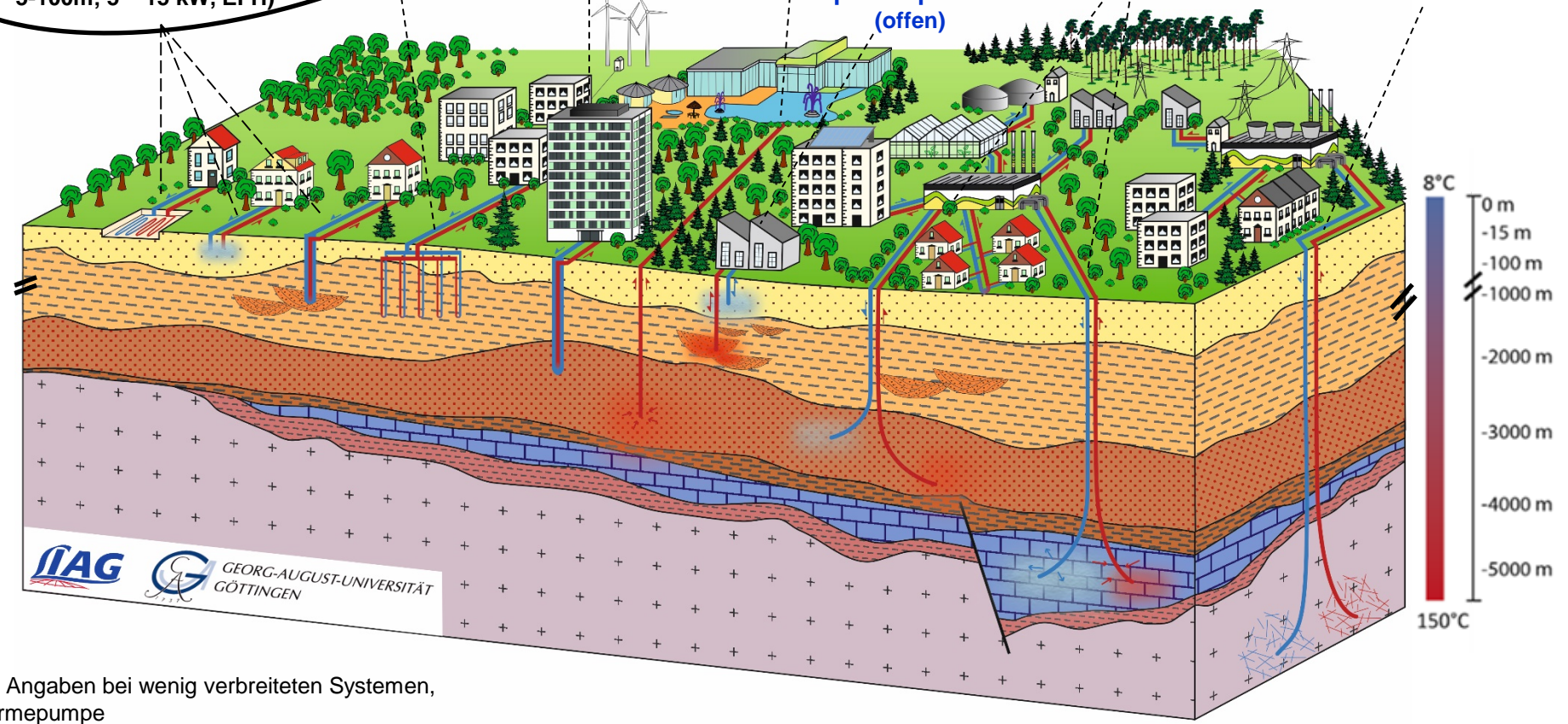
Thermalwasserbohrung
(offen, 100m – 3000m, 100 kW; Thermalbad)

Hydrothermale Bohrungsdulette
(offen, 1000m – 4000m, 20 MW; Fernwärme)

Petrothermale Systeme
(offen)

Tiefe Erdwärmesonde
(geschlossen)

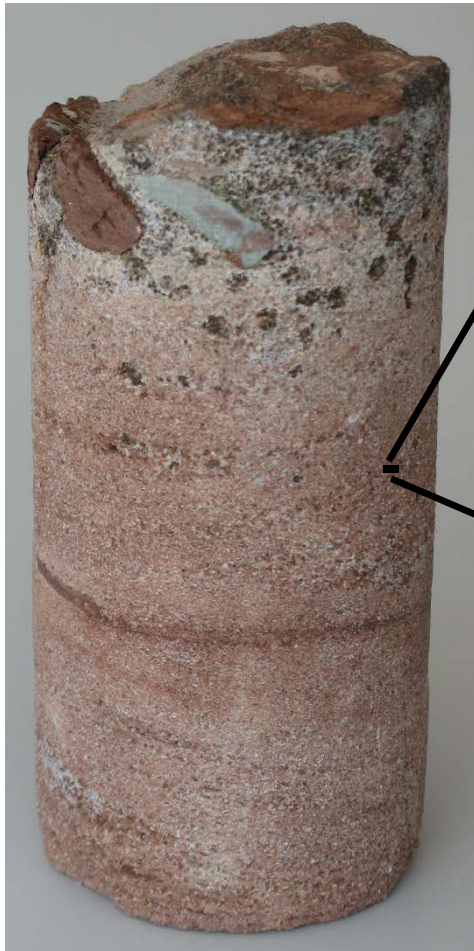
Aquiferspeicher
(offen)



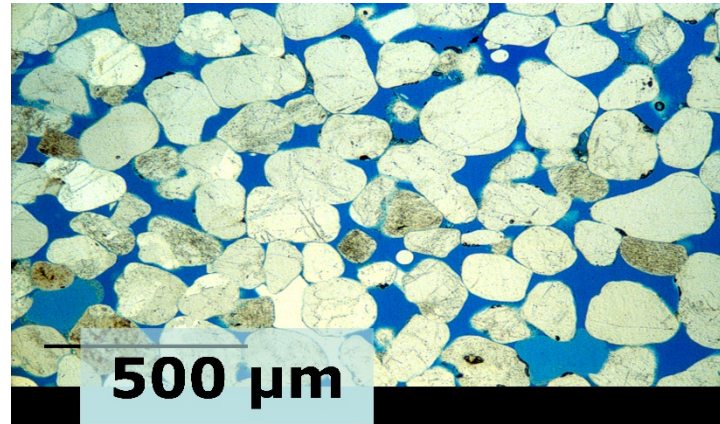
Angaben sind typ. Werte; Keine Angaben bei wenig verbreiteten Systemen, EFH: Einfamilienhaus; WP: Wärmepumpe

Hydraulische Durchlässigkeit

Sandstein



Mikroskopaufnahme
(blau: Porenraum, angefärbt)

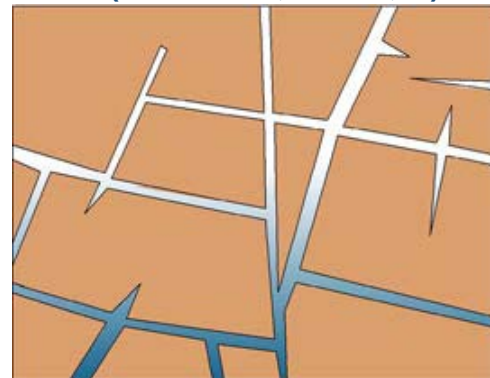


- Porenraum ist immer fluidgefüllt (fast immer mit Wasser)
- Hydraulische Durchlässigkeit kann um viele Größenordnungen variieren
- Analoge Aussagen gelten für Kluftwasserleiter



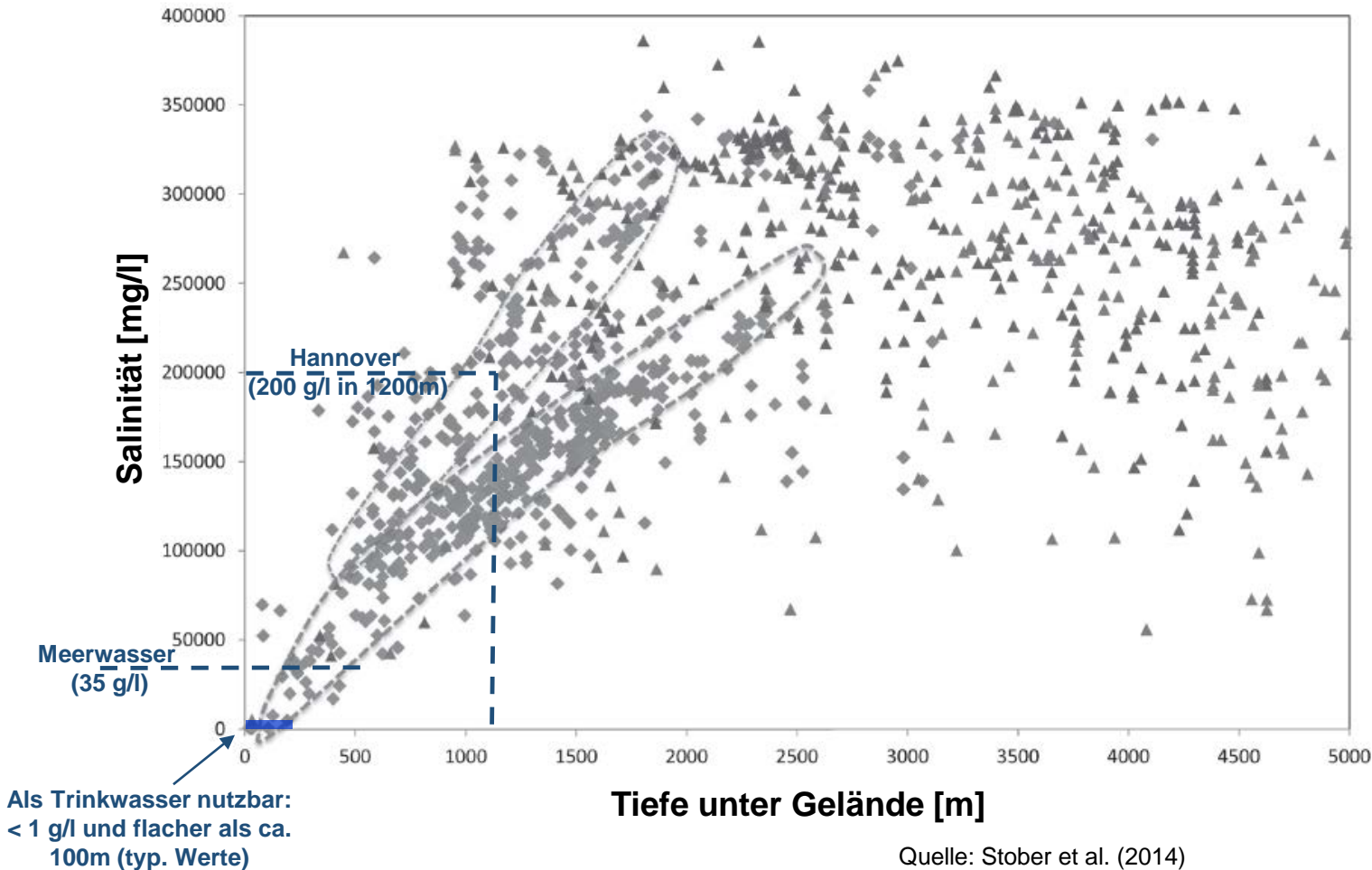
**Hydraulische Durchlässigkeit
ist entscheidend für die
geothermische Nutzung
(Fündigkeit) !**

Kluftwasserleiter
(Karbonate, Granit,...)



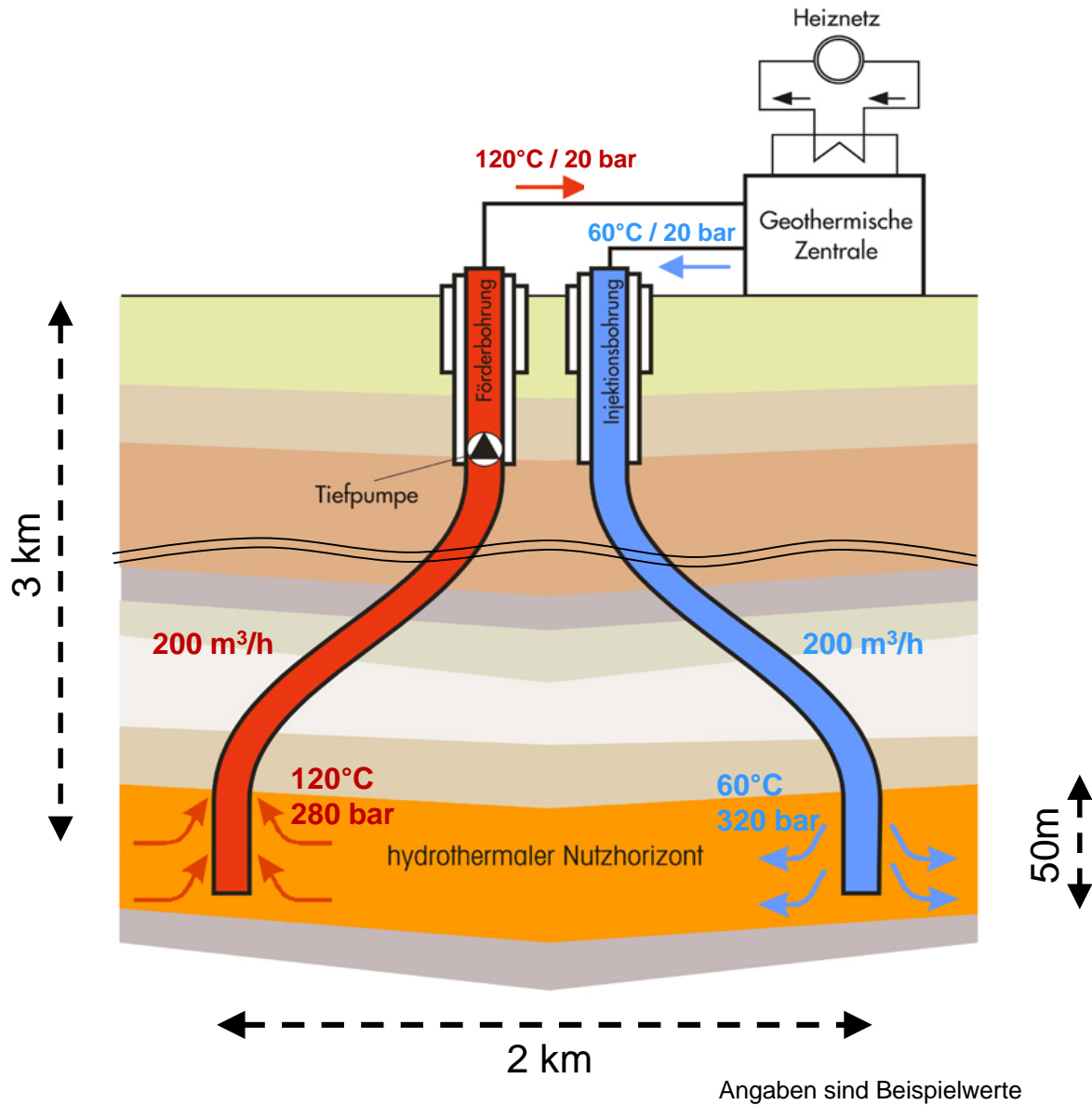
Eigenschaften des Thermalwassers im Norddeutschen Becken

Tiefenabhängige Salinität (Salzgehalt) des Thermalwassers
im Norddeutschen Becken: Daten aus Tiefbohrungen



- Salzgehalt nimmt mit der Tiefe tendenziell zu, ebenso wie die Konzentration an problematischen Inhaltsstoffen (z.B. Schwermetalle)
- Thermalwasser aus großen Tiefen darf nicht mit der Biosphäre in Kontakt kommen!
- Thermalwasser steht i.d.R. im hydrostatischen Gleichgewicht: Porenwasserdruck steigt um ca. 10 bar / 100m; (z.B. ca. 300 bar in 300m Tiefe)

Geothermische Dublette



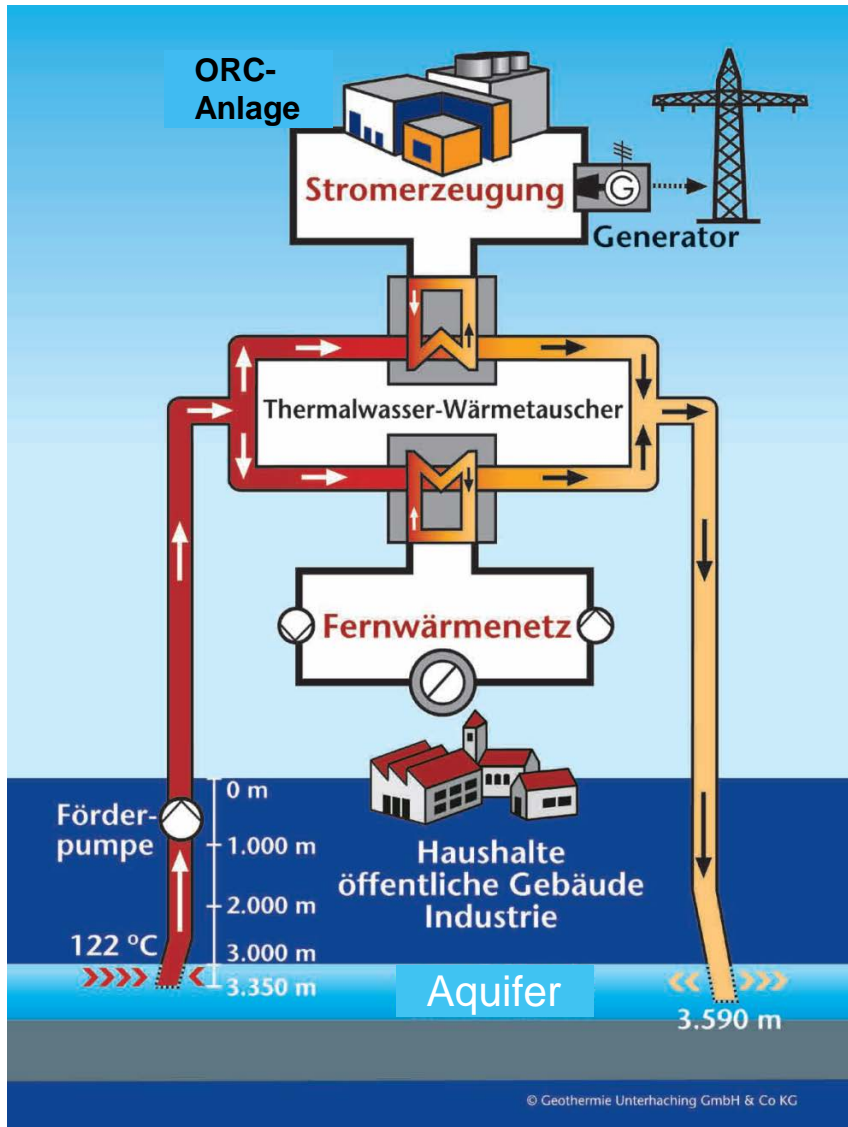
Immer:

**Zirkulation im geschlossenen Kreislauf
(zur Druckhaltung im Reservoir,
Anlagensicherheit, Umweltschutz)**

Oftmals:

**Abgelenkte Bohrungen vom gleichen
Bohrplatz (Kostensparnis)**

Wärme und/oder Strom ?



Abgeändert nach <https://www.geothermie-unterhaching.de/cms/geothermie/web.nsf/gfx/Projektschema.pdf>

Direktwärmennutzung (Fernwärme):

- Temperatur : 60° - 120°C
- Bohrtiefe : 1500 - 4000m
- Wärme „vollständig“ nutzbar
- Standort in Abnehmernähe

Stromproduktion:

- Temperatur : 120° - 160°C
- Bohrtiefe : 3000 - 5000m
- Wirkungsgrad : ca. 10 - 12 %
- Abnehmernähe keine Standortkriterium

Option: Kombination Strom + Wärme:

z.B.: Wärmebereitstellung hat Vorrang;
Stromprodukt. überwiegend im Sommer

Angaben sind typische Werte !

Ablauf von Geothermievorhaben

5 – 10 Jahre



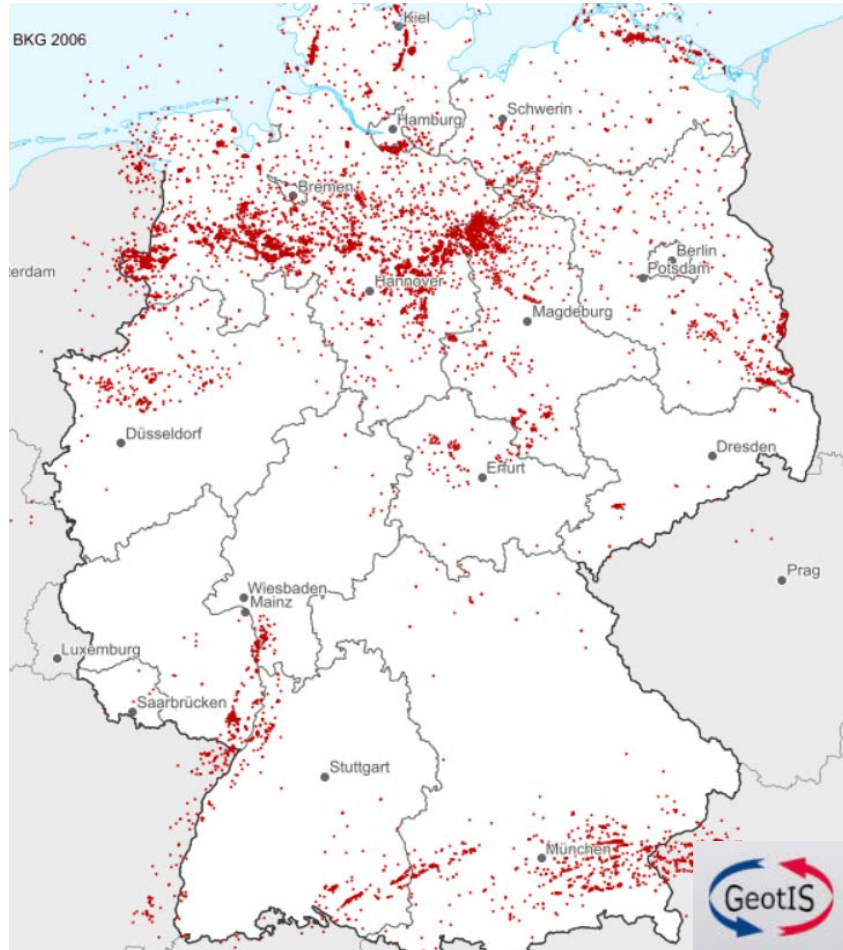
1. Planung, Vorerkundung, Genehmigung
2. Bohr- und Erschließungsarbeiten
3. Test der Thermalwasserzirkulation
4. Anlagenbau und Inbetriebnahme



Thermalwasserzirkulation in Soultz sous forêts

Vorerkundung

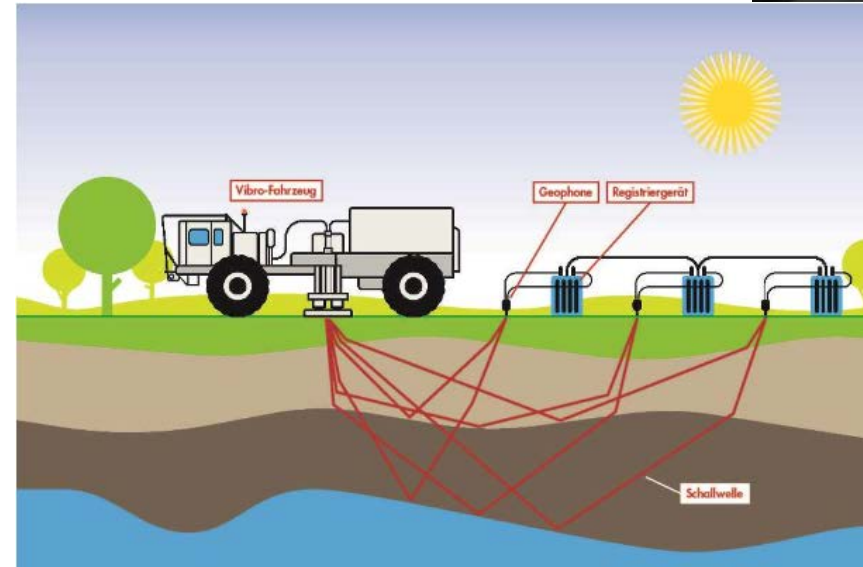
Datengrundlage: Tiefbohrungen > 1000 m
(überwiegend Gas u. Ölbohrungen)



<https://www.geotis.de/>

Jeder Punkt repräsentiert eine Bohrung

Reflexionsseismik



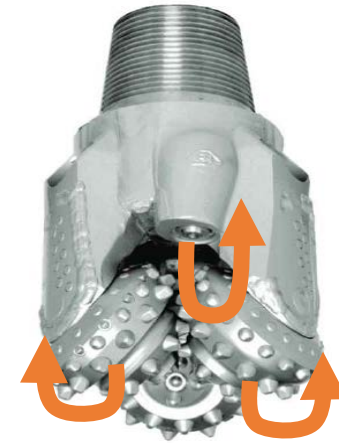
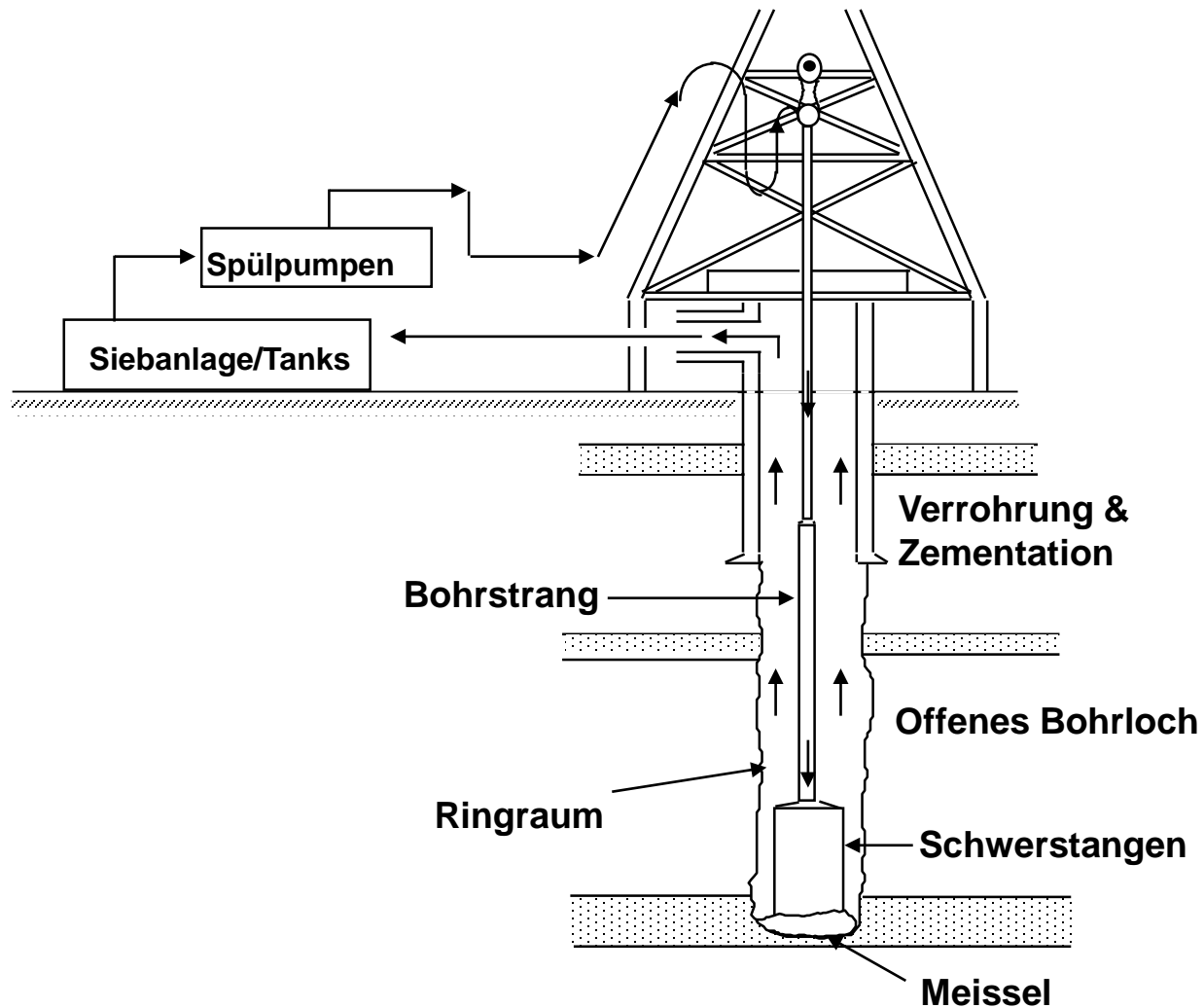
https://www.stadtwerke-schwerin.de/home/ueber_uns/geothermie/

- **Gute Vorhersage des geologischen Schichtaufbaus, aber keine Prognose der hydraulischen Durchlässigkeit**
- **In neuen Gebieten verbleibt ein hohes Fündigkeitsrisiko!**



Vibrator-Trucks

Bohrarbeiten



Bohren „heißt“:

- Last auf Meißel
- Rotieren
- Zirkulieren

Mehr als zehn Gewerke
(Spezialfirmen) erforderlich

Aufgaben der Bohrspülung:

- Bohrkleintransport
- Bohrlochstabilisierung
- Kühlung
- Daten- u. Energieübertragung
-

Bohranlage und Bohrungsausbau

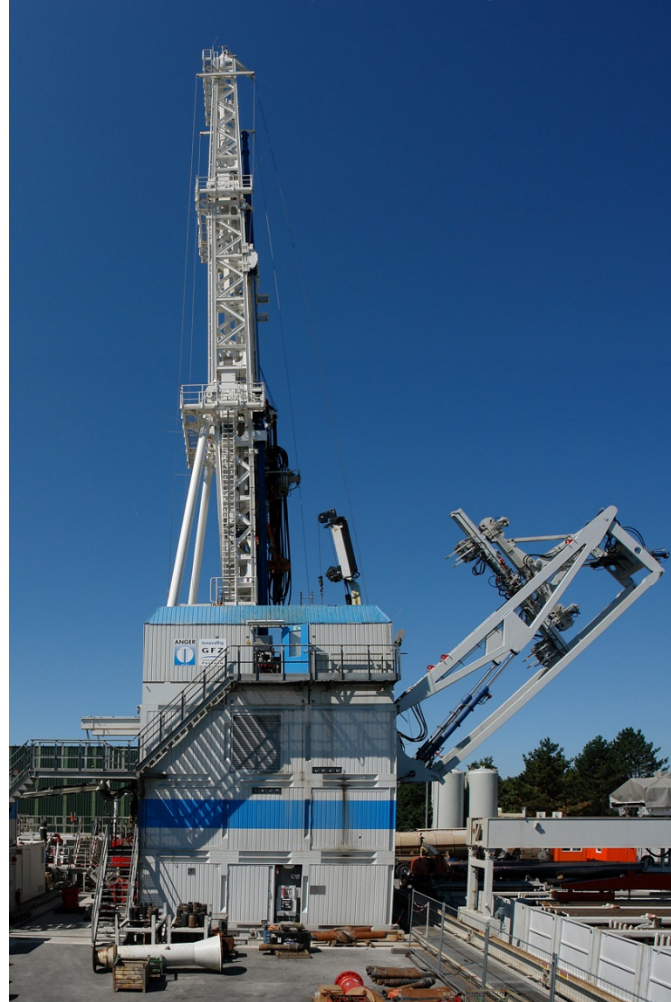
Bohranlage für:

1200m (Schwerin)

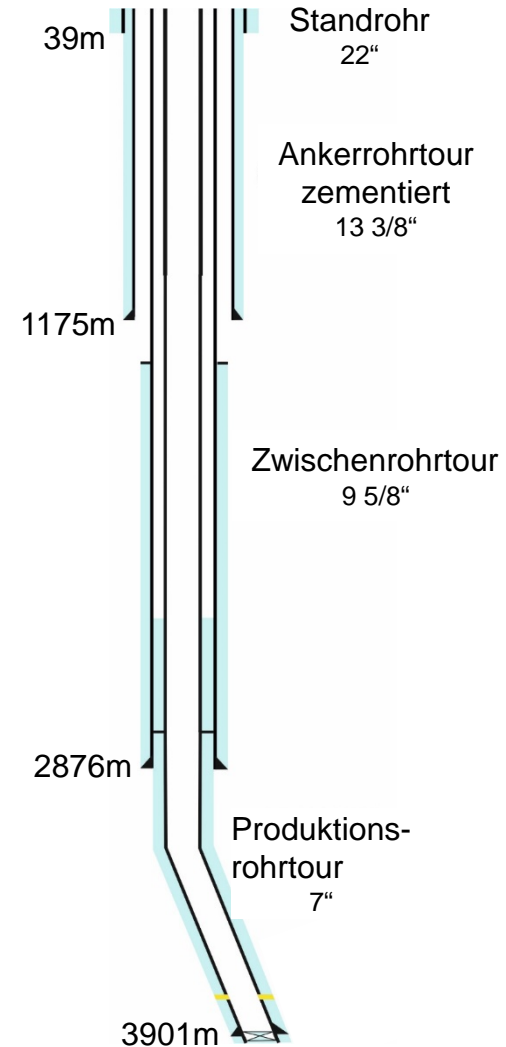


https://www.stadtwerke-schwerin.de/home/ueber_uns/geothermie/

3900m (Hannover)



Bohrungsausbau, Hannover

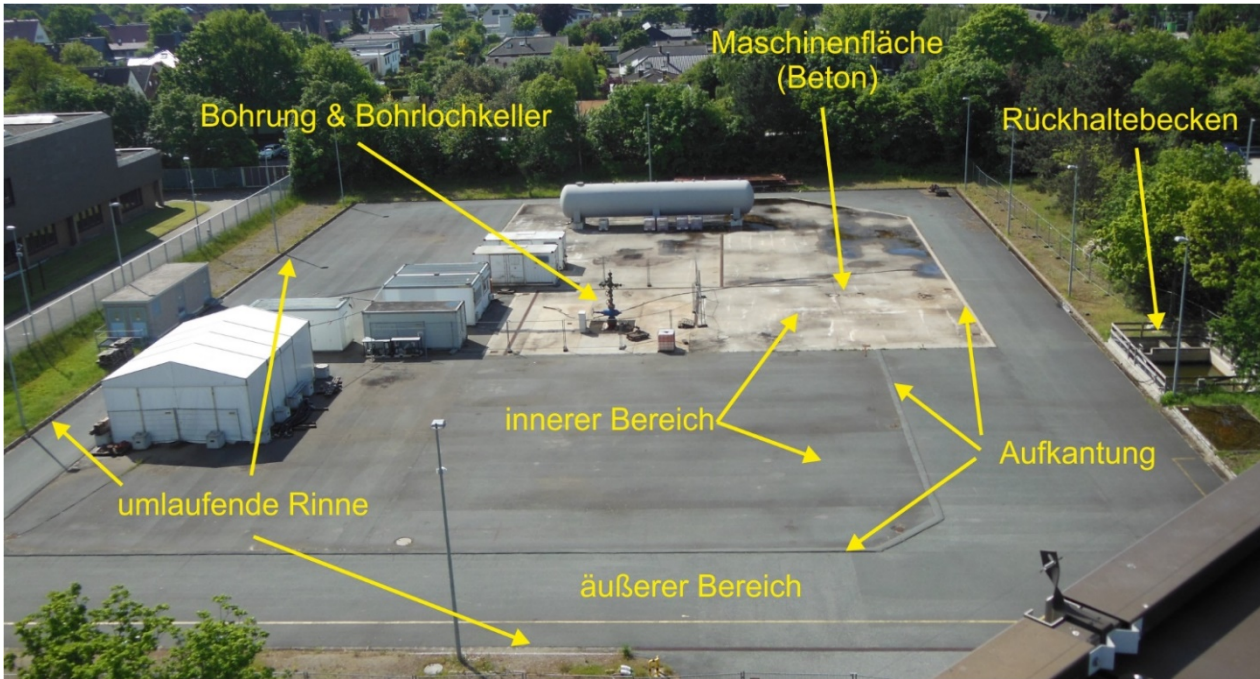


Trinkwasserführende Schichten nur im Bereich des Standrohres (hinter vier Verrohrungen)

Bohrungsausbau erfolgt nach den Standards der Öl- und Gasbranche

Bohrplatz

Hannover



Garching an der Alz (Fördertest)



Quelle: Matthes et al. (2019)

Geothermieranlagen



**Heizwerk Neustadt-Glewe (MV)
mit Innenansicht-Wärmetauscher**



**Kraftwerk Insheim
(RP) mit Bohrungen
+Förderpumpe**

Bilder bereitgestellt von:
Pfalzwerke geofuture GmbH



Heizwerk Unterhaching (Bayern)

<https://www.geothermie-unterhaching.de/cms/geothermie/web.nsf/>

Tiefe Geothermie für Fernwärme und Strom



Geothermische Anlagen:

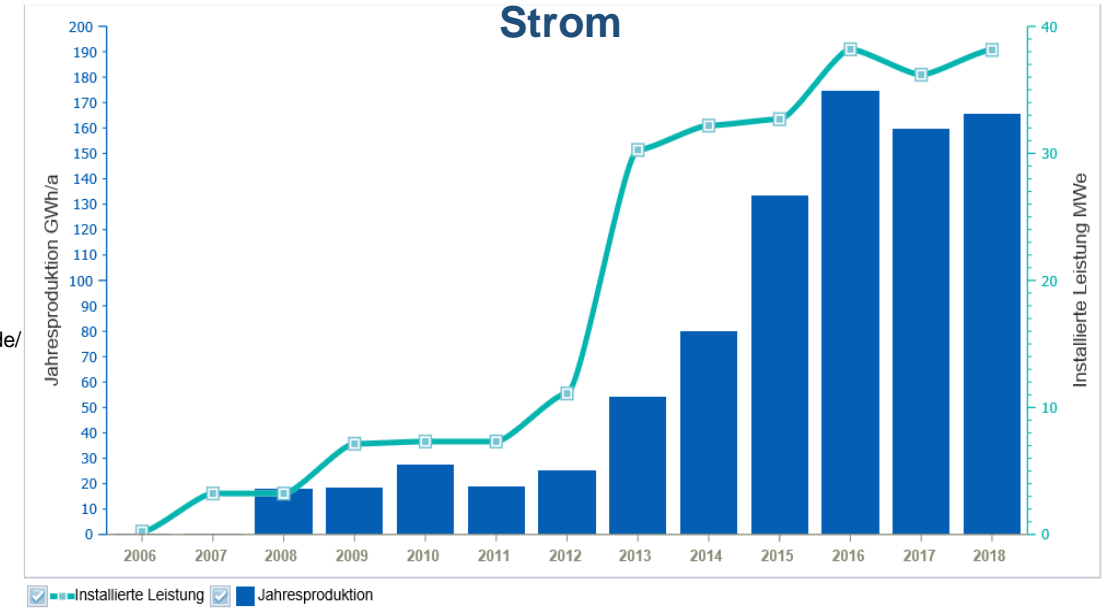
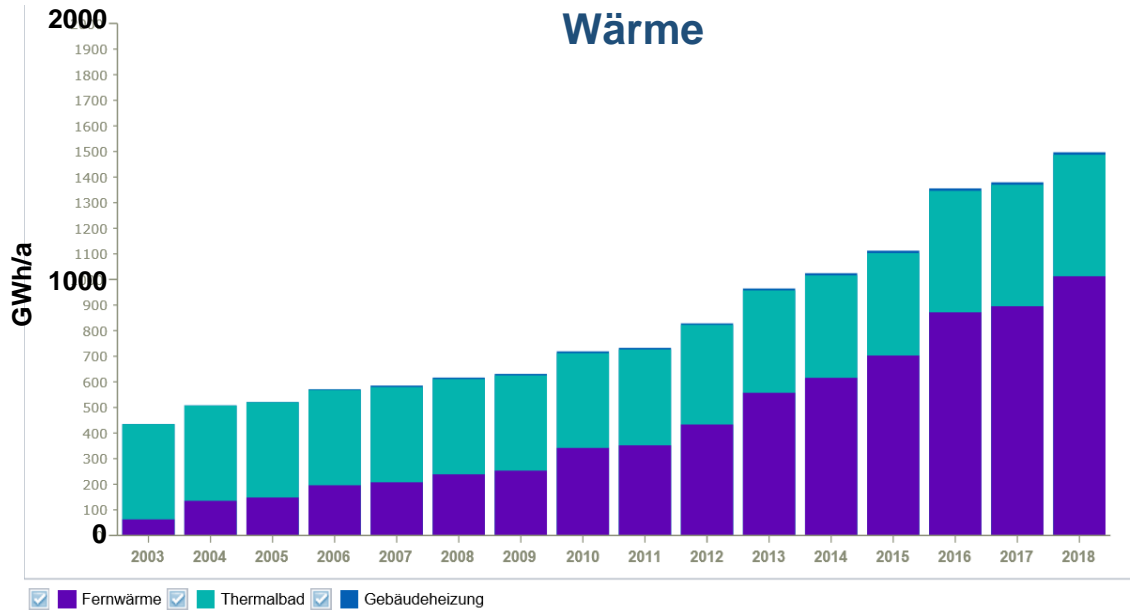
- 24 Fernwärme - Hauptnutzung
- 6 Strom – Hauptnutzung
- 4 Anlagen im Bau

Parameterbereich:

Tiefe	: 1500 – 5000m
Temp.	: 60 – 165°C
Fließrate	: 60 – 500 m³/h
bei 4000h Volllast	: 0,24 Mio. m ³ /y – 2 Mio. m ³ /y
Therm. Leist.	: 1,3 – 40 MW
Elektr. Leist.	: 0,4 – 5 MW

Daten aus: <https://www.geotis.de/>

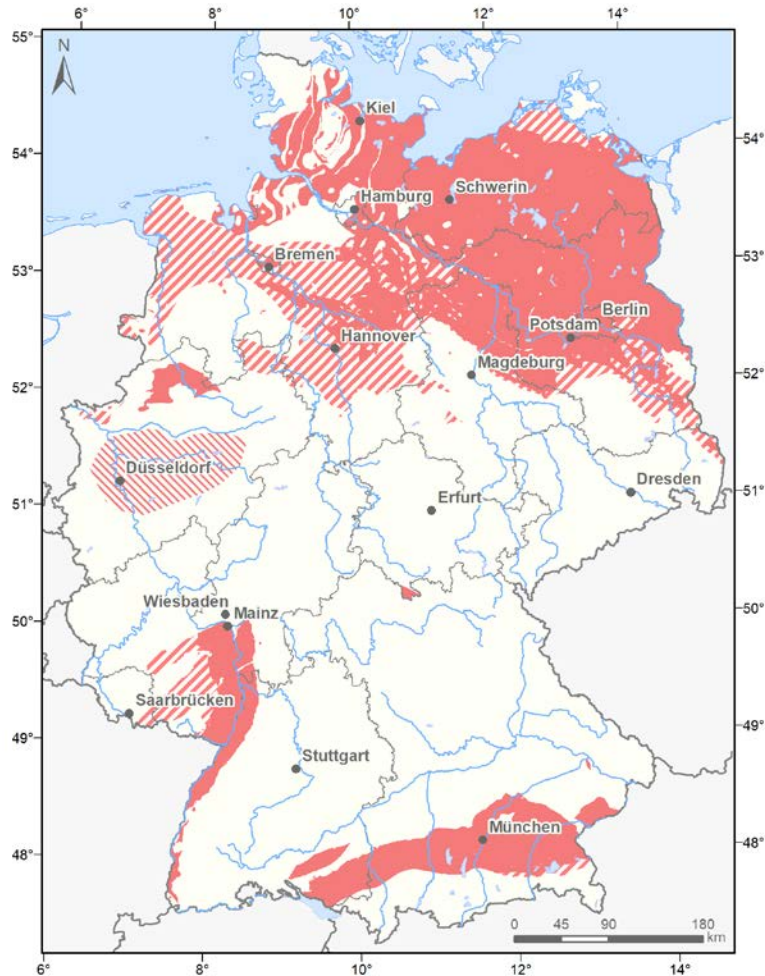
Wärme- und Stromerzeugung



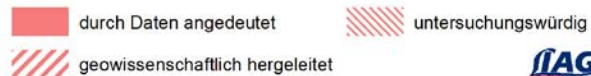
- **Installierte thermische Leistung: 335 MW (2019)**
- **ca. 0,1 % des Wärmeverbrauchs in D aus tiefer Geothermie**

- **Installierte elektrische Leistung: 37 MW (2019)**
- **ca. 0,03 % der Stromerzeugung in D**

Potenzialgebiete



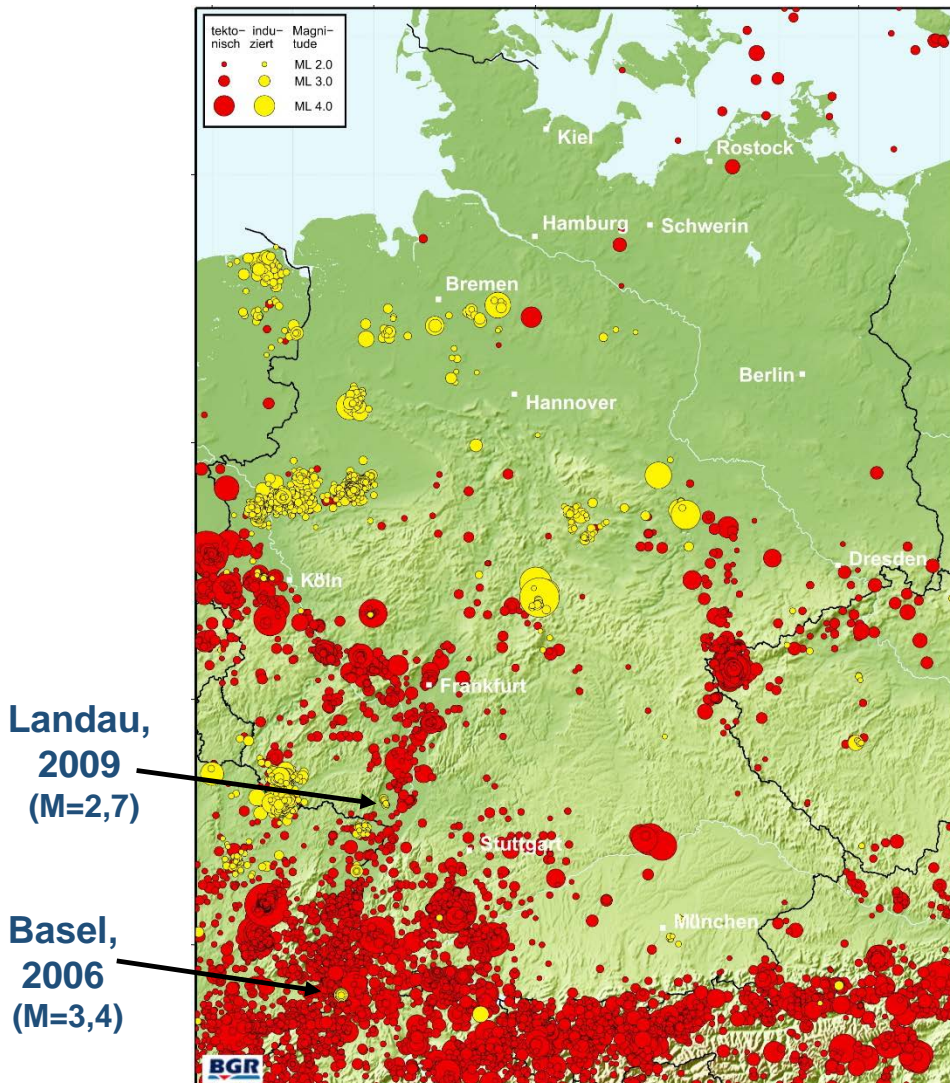
Hydrothermische Ressourcen ab 60°C



- **Größtes hydrothermales Potenzial im Norddeutschen Becken**
- **Nutzung der tiefen Geothermie auch im dichten/kristallinen Gestein (weiße Gebiete)?**

Erdbeben und Tiefe Geothermie

Erdbeben 1900-2019



- Induzierte Beben durch Geothermie korrelieren mit natürlicher tektonischer Aktivität
- Erdbebengefährdung vor allem im Oberrheingraben
- Konsequenzen aus Landau/Basel u.a.:
 - unabhängiges seismologisches Gutachten
 - Aufwändiges seismologisches Monitoring
 - Festgelegtes Reaktionsschema bei messbaren seismischen Ereignissen (Reduktion d. Fließrate, Stopp der Anlage,...)
- Seit Jahren störungsfreier Betrieb der Anlagen in Insheim, Bruchsal, Rittershoffen (F) und Soultz (F)...

Umweltkosten und CO₂-Vermeidung

Umweltkosten

Wärmeerzeugung durch	Luftschadstoffe	Treibhausgase (180 €/tCO ₂ Äq)	Umweltkosten gesamt (180 €/tCO ₂ Äq)	Umweltkosten gesamt (Sensitivitätsrechnung mit 640 €/tCO ₂ Äq)
Fossile Energien				
Heizöl	0,82	5,73	6,54	21,18
Erdgas	0,39	4,48	4,87	16,32
Braunkohle (Brikett)	3,97	7,70	11,67	31,34
Fernwärme mit Netzverlusten*	1,30	5,71	7,02	21,62
Stromheizung mit Netzverlusten**	1,66	10,93	12,59	40,52
Erneuerbare Energien				
Solarthermie	0,20	0,22	0,41	0,97
Oberflächen-geothermie	0,70	3,61	4,31	13,53
Tiefengeothermie	0,01	0,01	0,02	0,05
Biomasse***	2,13	0,60	2,74	4,28

* Im Einzelnen variieren die Kostensätze je nach Wärmequelle z.T. beträchtlich.

** Zu Grunde gelegt wurde der Durchschnittssatz der Stromerzeugung (inkl. erneuerbare Energien und unter Berücksichtigung der Vorketten für die Erzeugung der jeweiligen Kraftstoffe).

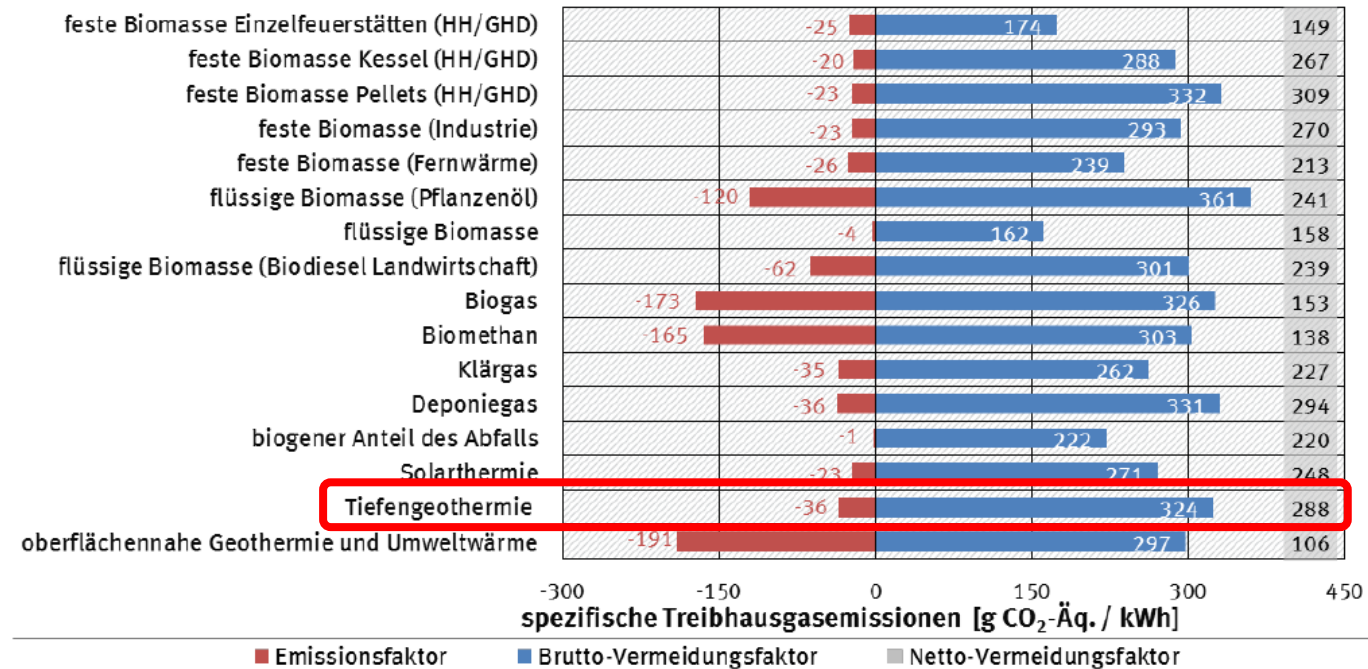
*** Nach Erzeugungsanteilen gewichteter Durchschnittswert für Biomasse gasförmig, flüssig und fest.

Quelle: Eigene Darstellung basierend auf Bachmann / van der Kamp (2018) und eigenen Berechnungen.

Quelle: Matthey & Bünger (2019)

<https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/methodenkonvention-30-zur-ermittlung-von>

Emissionsbilanzen erneuerbarer Energien – Wärme: 2017 Spezifische Emissionen bezogen auf eine Energieeinheit



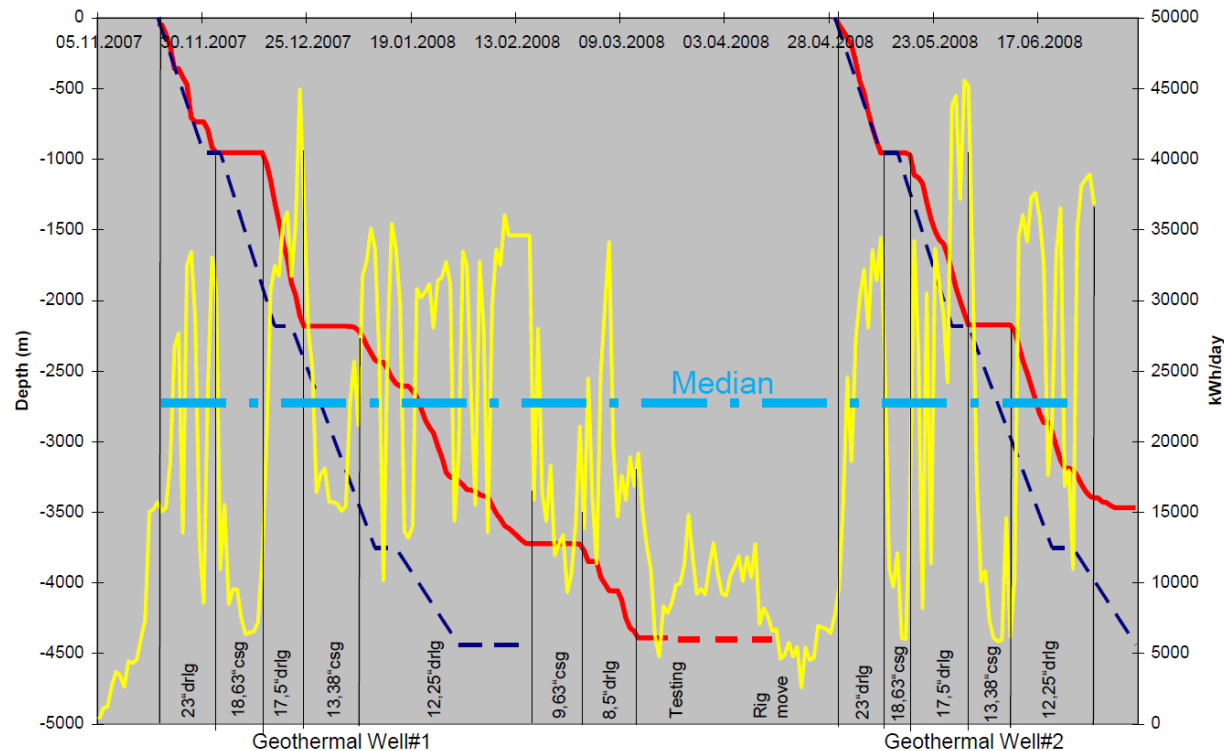
Quelle: Memmler et al. (2018)

<https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/emissionsbilanz-erneuerbarer-energetraeger-2017>

Tiefe Geothermie hat von allen erneuerbaren Energieträgern die beste Klimaschutzbilanz!

Energetische Amortisation

Stromverbrauch Bohranlage Innovarig



Annahmen / Abschätzungen:

Bohrarbeiten und Geothermieanlage

Bohrtiefe	: 3000 m
Bohranlage-Strom	: 23 MWh/d
-primär	: 46 MWh/d (Prim.faktor 2,5)
Bohrzeit	: 160 d (80 pro Bohrung)
Energie – Bohrarbeiten	: 7,4 GWh
Energie – Sonst. Invest.	: 2,5 GWh (1/3 der Bohrarbeiten)
Summe	: 10 GWh

Betrieb (Pumpen):

Pumpleistung elektr.	: 500 kW (60 l/s, $\Delta p=60$ bar, Eff. 0,7)
primär	: 1,3 MW
Primärenergie	: 5,2 GWh/y

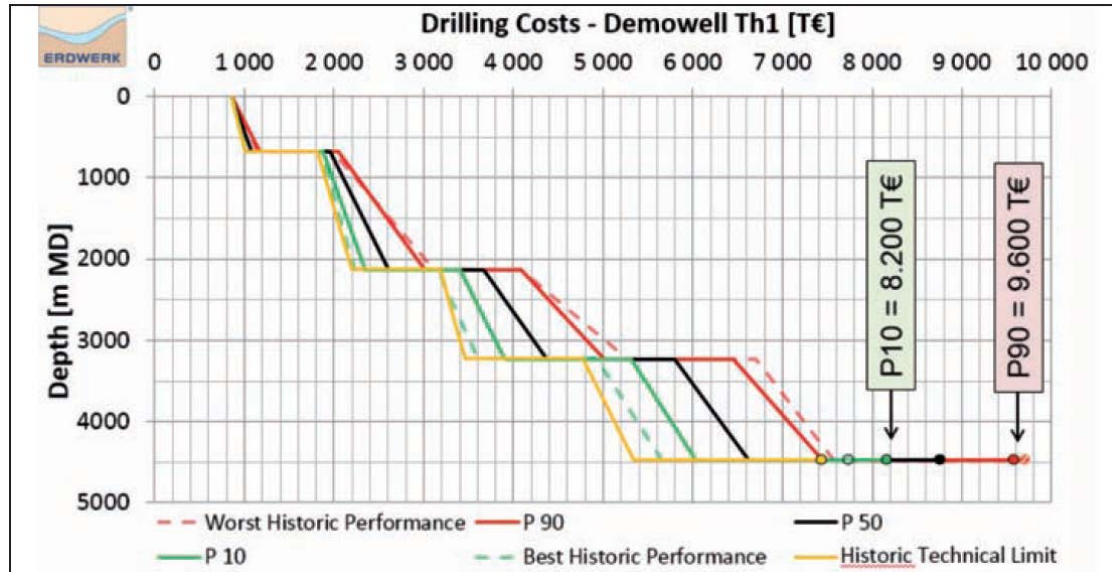
Wärmeertrag:

Leistung	: 10 MW (50 l/s, $\Delta T=50$ K)
Wärmemenge	: 40 GWh/y (4000 Volllaststunden)

Typische Geothermieanlagen für die Wärmeerzeugung amortisieren sich energetisch in kurzer Zeit (< 1 Jahr)!

Kosten und Wirtschaftlichkeit

Bohrkosten – Tiefendiagramm: Bayrisches Molassebecken



Quelle: Schulz et al. (2017)

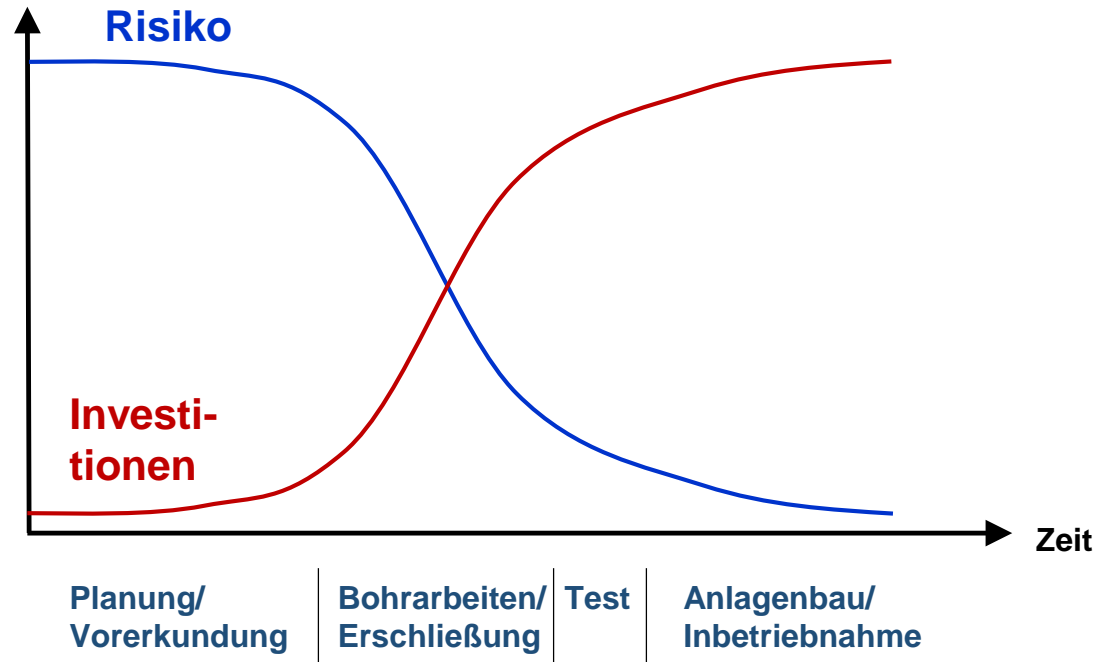
Hauptkostenfaktor sind die Bohrungen

Kostenschätzung für Dublette in 1500m Tiefe:

- Bohrarbeiten, inkl. Tests : 10 Mio. €
- Bohrplatz : 0,5 Mio. €
- Heizzentrale / obertägige Installation : 1,5 Mio. €

Lange wirtschaftliche Amortisationszeit von Geothermieranlagen (> 10 Jahre)

Risiko und Investitionen

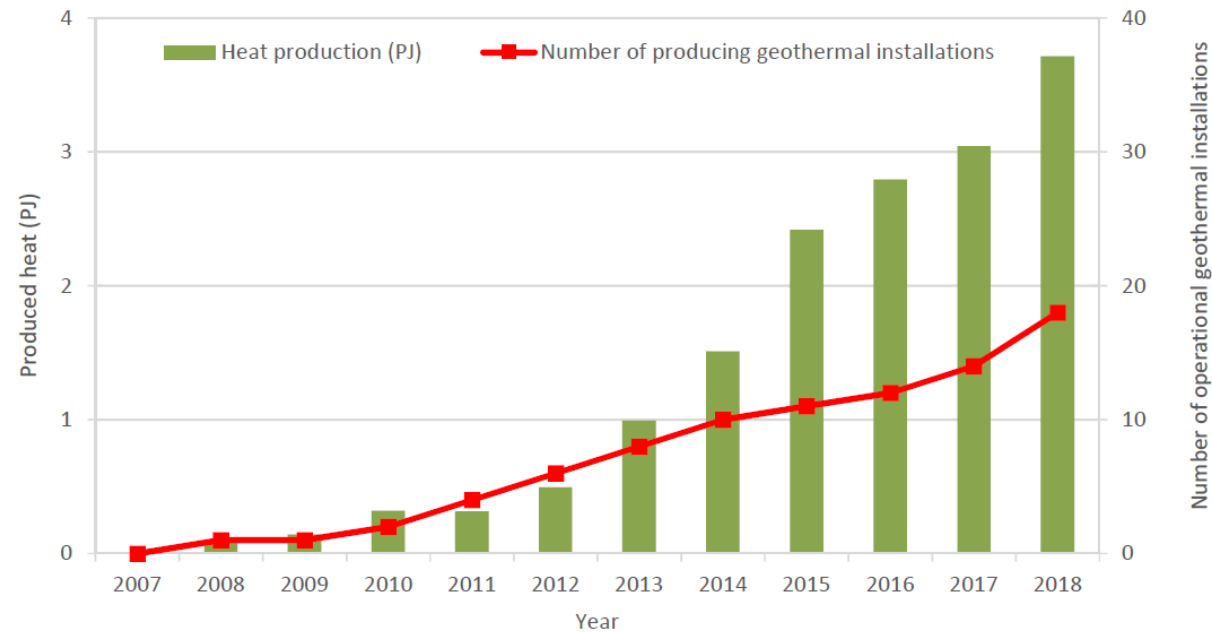


Große Investitionen (Bohrarbeiten) bei hohem Projektrisiko erforderlich!

Hemmnisse

- **unzureichende Kenntnis des Untergrunds – hohes Anfangsrisiko**
- **unzureichende Förderung, insbesondere keine Absicherung des Fündigkeitsrisikos**
- **schwierige Abnehmersituation für Wärme (ungenügender Netzausbau, saisonale Abnahme)**
- **mangelnde Bekanntheit der tiefen Geothermie**
- **know how - Verlust durch Rückgang der heimischen Gasförderung**
- ...

Blick über den Tellerrand: Niederlande



Quelle: NLOG, 2018
<https://www.nlog.nl/en>

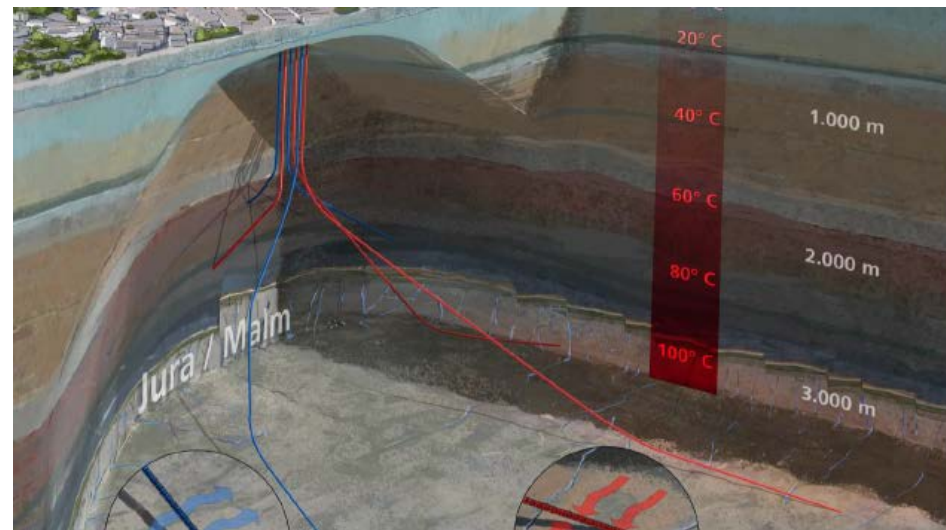
Vergleichbare geologische Bedingungen wie in Norddeutschland, aber deutlich dynamischere Entwicklung;

Wesentliche Unterschiede zu D:

- **Bessere Abnehmerstruktur (z.B. Gewächshäuser)**
- **Risikoabsicherung (Fündigkeitsversicherung)**
- **Staatliche Unterstützung und Beteiligung bei Erkundung und Erschließung**

Ausblick

- Verbesserung der Förderbedingungen gerade im Wärmesektor - siehe „Bundesprogramm effiziente Wärmenetze“
- (vorerst) keine Fündigkeitsversicherung
- Fokussierung auf Wärmebereitstellung (statt Strom)
- Verstärkte Aktivitäten im Bereich Wärme- und Kältespeicherung
- Einsatz neuartiger Bohr- und Erschließungskonzepte (Multilateral-Bohrungen, Horizontalbohrungen,..)
- Nutzung des Thermalwassers für die Rohstoffgewinnung (insbesondere Lithium)?
- ...



Beispiel für Multiwell-Erschließung
Bildquelle: Dimer (2019)

Tiefe Geothermie:

- **ist grundlastfähig im Wärme- und Strombereich und steht unabhängig von der Witterung zur Verfügung,**
- **hat einen geringen Flächenverbrauch,**
- **ist eine der wenigen Optionen zur Umstellung auf erneuerbare Wärmeversorgung insbesondere in urbanen Gebieten,**
- **hat von allen erneuerbaren Energieträgern die beste Klimaschutzbilanz.**

**Vielen
Dank !**



Quellennachweis:

- Dirner, S (2019): Das F&E Verbundprojekt GEOmaRE Ziele, Status, Ausblick. Vortrag. Der Geothermiekongress, München, 19.Nov. 2019.
- Matthes, L., Bindl, B.& Linzer, H.G.(2019): The geothermal project Graching an der Alz. Vortrag, Der Geothermiekongress, München, 20.Nov. 2019.
- Matthey, A. & Bünger, B. (2019): Methodenkonvention 3.0 zur Ermittlung von Umweltkosten Kostensätze, Stand 02/2019 Umweltbundesamt Dessau-Berlin, 49S.
<https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/methodenkonvention-30-zur-ermittlung-von>
- Memmler,M., Lauf,T. & Schneider, S. (2018): Emissionsbilanz erneuerbarer Energieträger 2017. Umweltbundesamt Dessau-Berlin, 156S.
<https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/emissionsbilanz-erneuerbarer-energetraeger-2017>
- NLOG, 2018: Ministry of Economic Affairs and Climate Policy: Natural resources and geothermal energy in the Netherlands. Annual review 2018.
<https://www.nlog.nl/en>
- Schulz, I., Steiner, U. & Schubert, A. (2017): Erfolgsfaktoren bei Projekten der Tiefengeothermie – Erfahrungen aus dem Bayerischen Molassebecken, ERDÖL ERDGAS KOHLE 133. Jg. 2017, Heft 2.
- Stober, I., Wolfgramm, M. & Birner, J. (2014): Hydrochemie der Tiefenwässer in Deutschland. Zeitschrift für geologische Wissenschaften, Berlin 41/42 (2013/14) 5–6, S. 339 – 380.

Weiterführende Informationen/ Links:

Geothermisches Informationssystem: <https://www.geotis.de/>

Bundesverband Geothermie: <https://www.geothermie.de/>

Agemar,T., Suchi, E. & Moeck, I. (2018): **Die Rolle der tiefen Geothermie bei der Wärmewende.** Positionspapier des Leibniz-Instituts für Angewandte Geophysik, Hannover.
https://www.geotis.de/homepage/sitecontent/info/publication_data/public_relations/public_relations_data/Positionspapier-Waermewende.pdf

LIAG (2016): **Tiefe Geothermie: Grundlagen und Nutzungsmöglichkeiten in Deutschland:**
https://www.geotis.de/homepage/sitecontent/info/publication_data/public_relations/public_relations_data/LIAG_Broschuere_Tiefe_Geothermie.pdf