



Chancen und Grenzen der (Tiefen-)Geothermie in Deutschland

Prof. Dr.-Ing. Matthias Reich



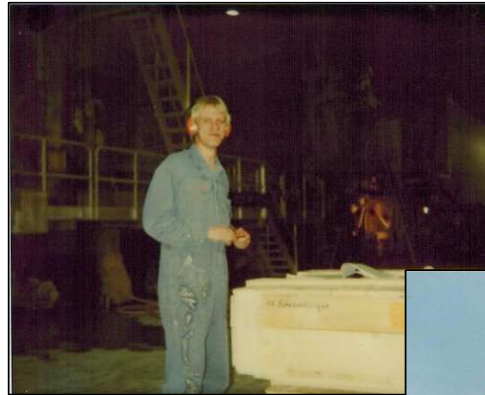
TUBAF
Die Ressourcenuniversität.
Seit 1765.



IBF
Institut für
Bohrtechnik und
Fluidbergbau

Prof. Dr.-Ing. Matthias Reich

- Schule und Ingenieurstudium in Niedersachsen
- 4 Jahre „Papiermacher“ in Baden-Württemberg
- 16 Jahre Tiefbohrer nach Erdöl und Erdgas in einem amerikanischen Unternehmen
- seit 18 Jahren Professor für Tiefbohrtechnik an der TU Bergakademie Freiberg

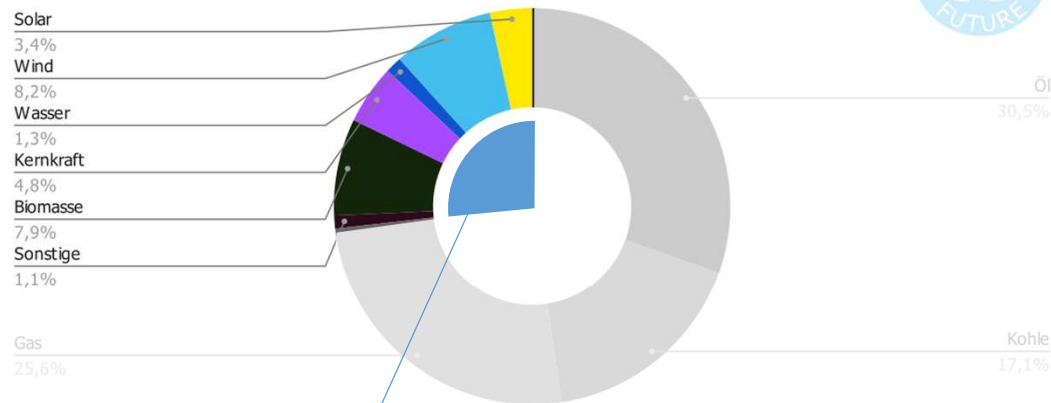


TUBAF
Die Ressourcenuniversität.
Seit 1765.

Energiemix in Deutschland

Primärenergieträger in Deutschland 2021

nach Primärenergieträger (Substitutionsprinzip)



Quelle: AG Energiebilanzen (2021)

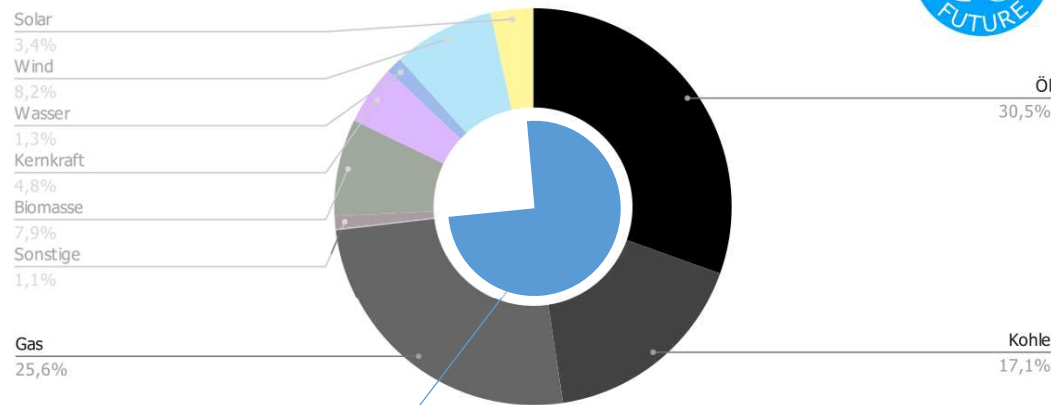
ca. ¼ regenerative Energien (incl. Kernkraft)

- Geothermie unter „Sonstige“

Energiemix in Deutschland

Primärenergieträger in Deutschland 2021

nach Primärenergieträger (Substitutionsprinzip)



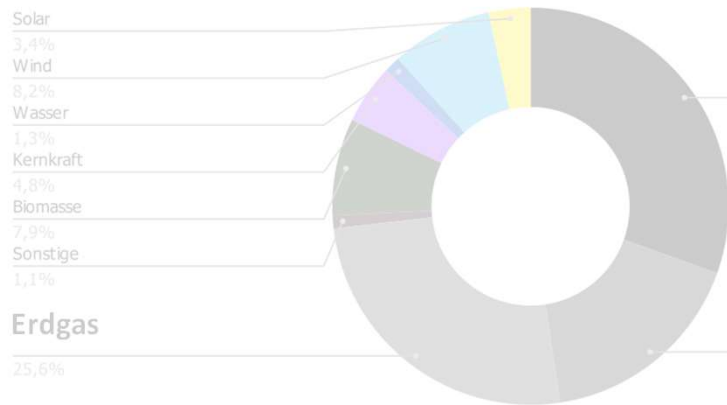
Quelle: AG Energiebilanzen (2021)

ca. 3/4 fossile Energien (Erdöl, Erdgas, Kohle)

Energiemix in Deutschland

Primärenergieverbrauch in Deutschland 2021

nach Primärenergieträger (Substitutionsprinzip)



Quelle: AG Energiebilanzen (2021)



Erdöl

30,5%

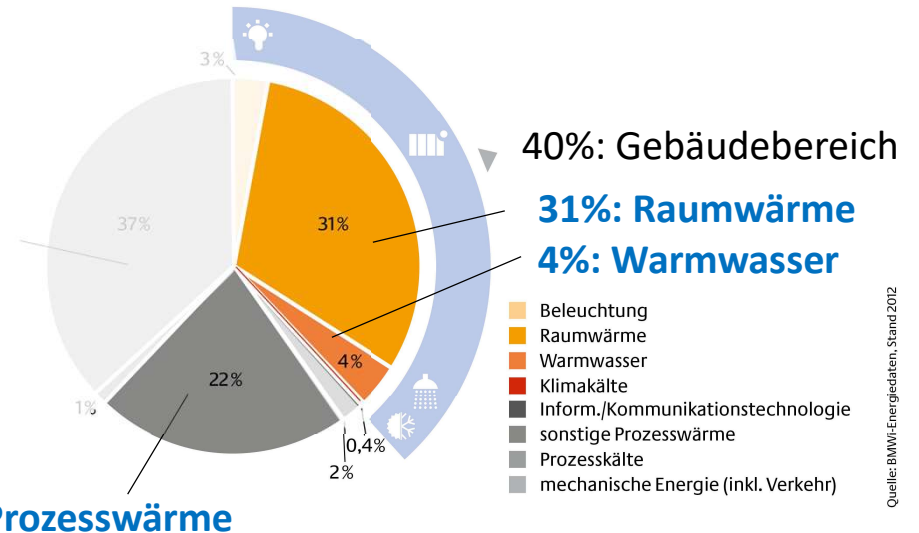
37%: mech. Energie
z.B. Verkehr

Kohle

17,1%

Endenergieverbrauch in Deutschland 2021

Der Gebäudebereich ist der größte Einzelposten in der Verbrauchsbilanz.



40%: Gebäudebereich

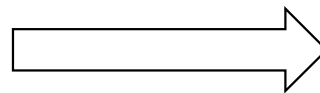
31%: Raumwärme
4%: Wärmewasser

22%: Prozesswärme

- Beleuchtung
- Raumwärme
- Wärmewasser
- Klimakälte
- Inform./Kommunikationstechnologie
- sonstige Prozesswärme
- Prozesskälte
- mechanische Energie (inkl. Verkehr)

Quelle: BMWi-Energiestatistik, Stand 2012

Primärenergie:



Endenergie:

- über 50% Raumwärme, Wärmewasser, Prozesswärme

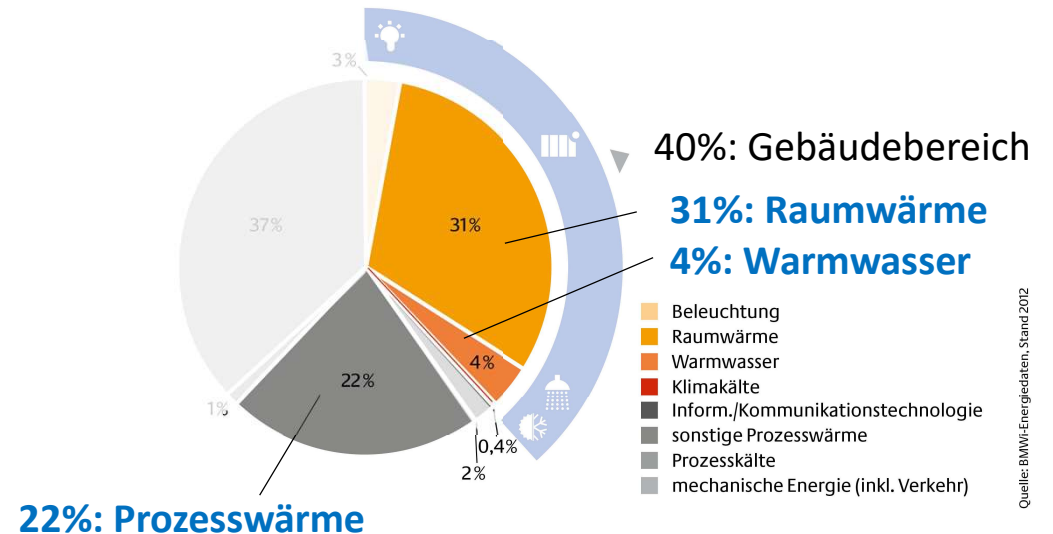
Energiemix in Deutschland

Können wir denn dafür nicht
mehr Erdwärme nutzen?



Endenergieverbrauch in Deutschland 2021

Der Gebäudebereich ist der größte Einzelposten in der Verbrauchsbilanz.



Endenergie:

- über 50% Raumwärme, Warmwasser, Prozesswärme

Unser Planet enthält sehr viel Wärme!

Umwandlung von kinetischer Energie zu Wärme

- Restwärme aus der Zeit der Erdentstehung (vor 4,5 Milliarden Jahre)

Zerfall radioaktiver Elemente

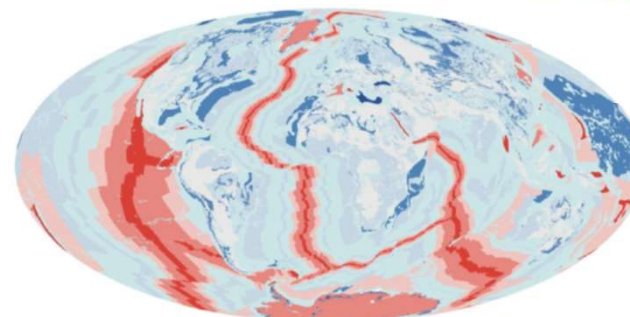
- größter Anteil der Erdwärme

Sonneneinstrahlung

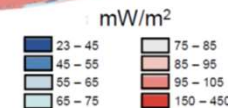
- vernachlässigbar gering

Temperaturgradient der Erde: im Mittel $3^{\circ}/100\text{ m}$
Wärmestrom: $70\text{ mW}/\text{m}^2$ also knapp $0,1\text{ W}/\text{m}^2$

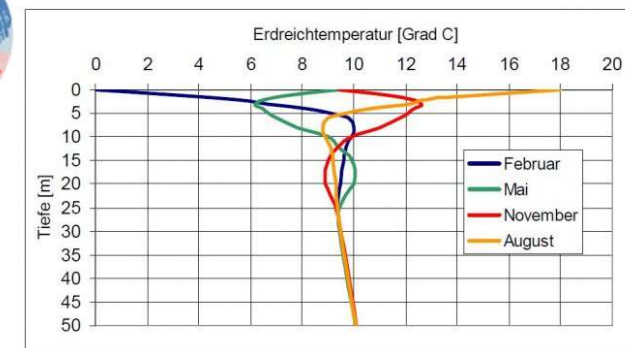
47 TW (10^{12} W) Abstrahlung in den Weltraum
Thermische Energie aus dem Erdinneren ist **theoretisch unerschöpflich** vorhanden



Davies & Davies, 2010



• Sedimentbecken sind unteren Kruste und im



Geothermie

Ingenieurtechnische Nutzung der Erdwärme

- Heizen
- Kühlen
- Stromerzeugung

geringer übertägiger Platzbedarf
sauber
FörderungEE
Nachhaltigkeit
kostensparend
umweltschonend
Grundlastfähigkeit
LokaleEnergieversorgung klimaneutral

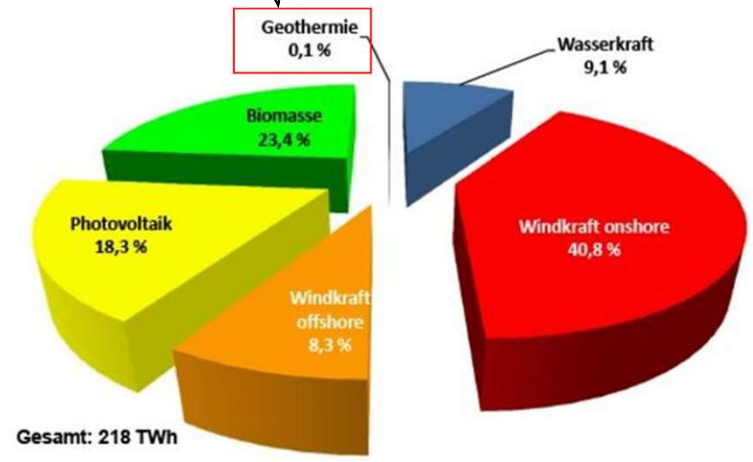
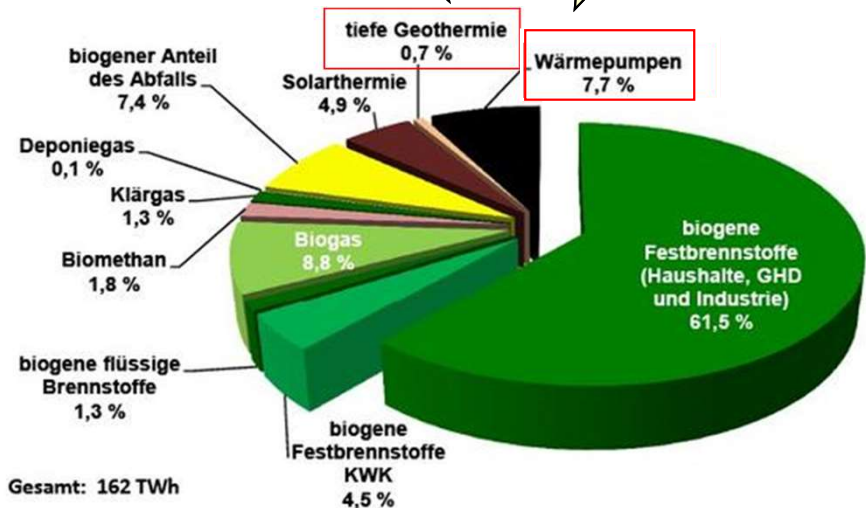
Eigentlich müssten überall Geothermie-Anlagen (ent-)stehen!

Bedeutung der Geothermie in Deutschland

WÄRMEgewinnung
Direkte Nutzung (z.B. Fernwärmenetze)

WÄRMEgewinnung
Indirekte Nutzung (z.B. Einfamilienhäuser)

Stromgewinnung:
 • noch praktisch unbedeutend



nur regenerative Quellen

Quelle: BWK

Grundgedanke der Geothermie

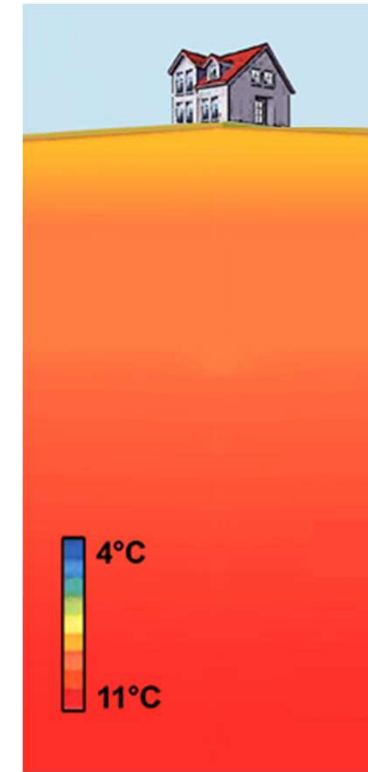
Wärme zur Nutzung entziehen



warmes Wasser
aus der Tiefe fördern

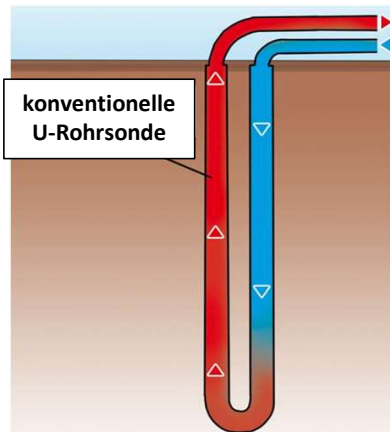
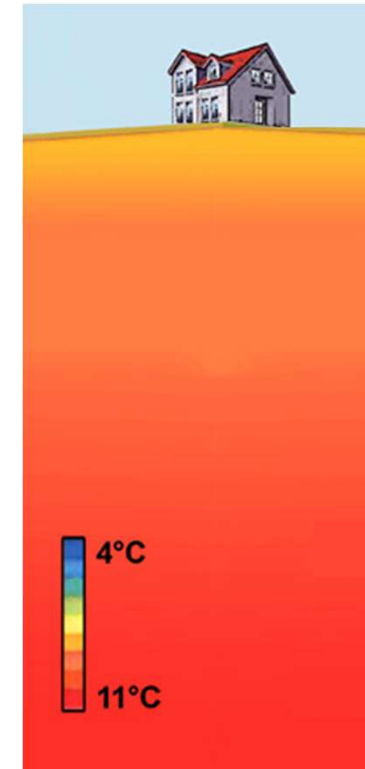


je tiefer, desto
wärmer!



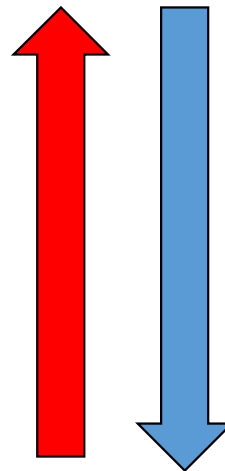
Grundgedanke der Geothermie

Wärme zur Nutzung entziehen



warmes Wasser
aus der Tiefe fördern

abgekühltes Wasser
zurück fördern



Erdwärmesonde

Wärme einsammeln

„Typische“ Erdwärmesonden

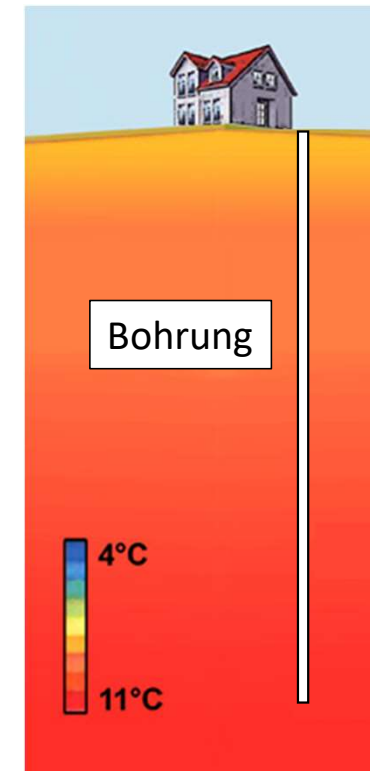
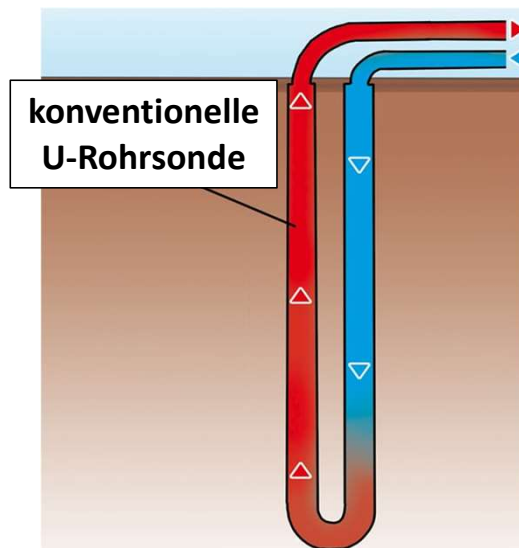
- Bohrungsdurchmesser 15 bis 25 cm
- meist bis ca. 100 m Tiefe
- Leistung meist um 50 W/ Bohrmeter
- ca. 5 kW Leistung pro Sonde

Bohrmeterkosten: vor wenigen Jahren 50-70 €/m
heute > 100 €/m



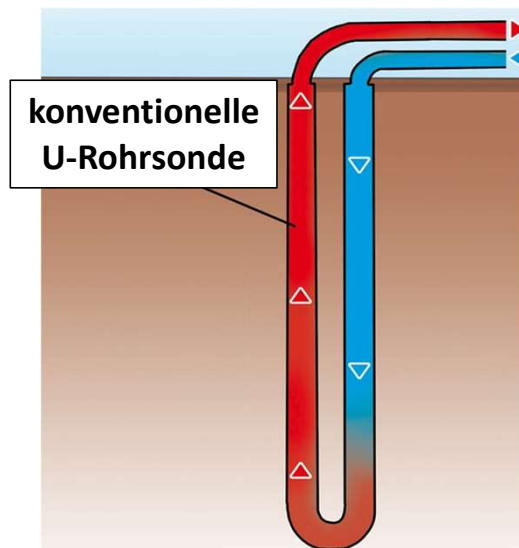
Grundgedanke der Geothermie

Wärme zur Nutzung entziehen

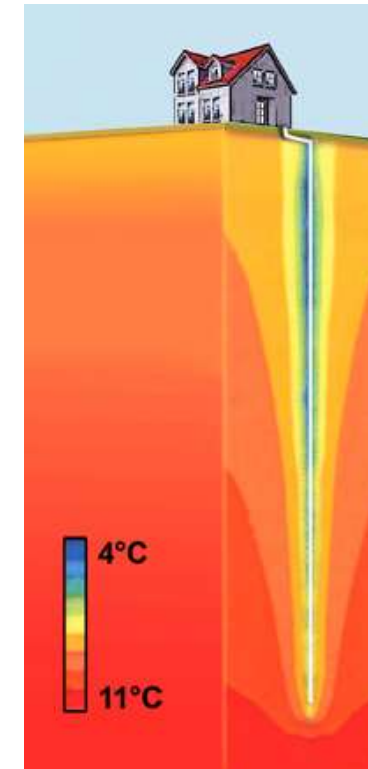


Grundgedanke der Geothermie

Wärme zur Nutzung entziehen



Gestein kühlt aus



Grundgedanke der Geothermie

Wärme zur Nutzung entziehen



$$W_{\text{therm}} = Q * c * \rho_f * \Delta T$$

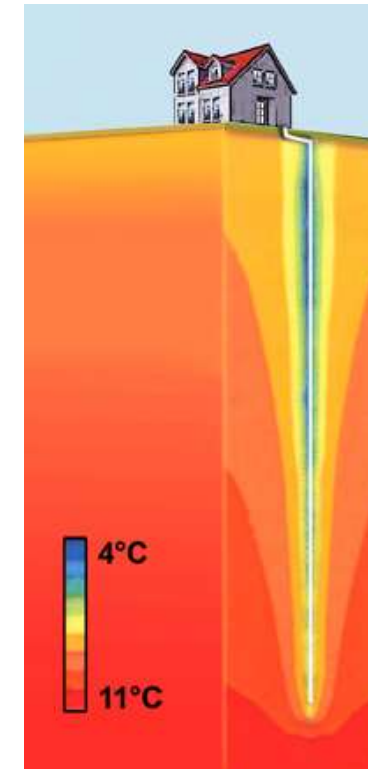
Q – Schüttung (l/s)

ΔT – obertägige Abkühlung (°C)

ρ_f – Dichte

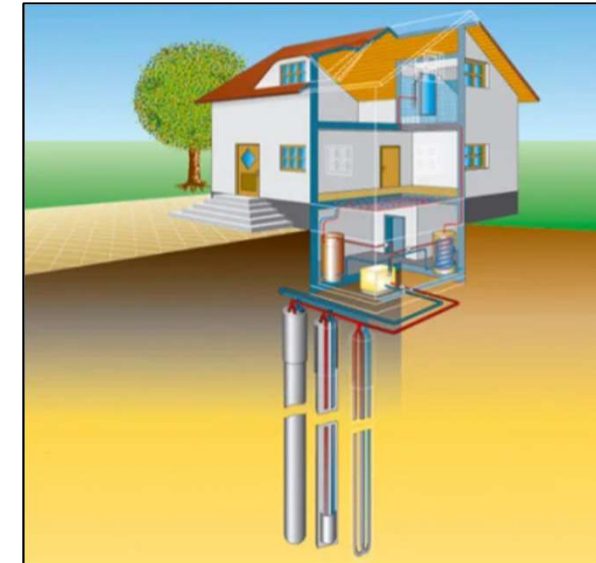
c – spezifische Wärmekapazität
4190 J / (kg · K)

Große Leistung → starke Auskühlung



Grundgedanke der Geothermie

Wärme zur Nutzung entziehen



Lösung 1:

Mehrere bzw. tiefere Sonden bohren

Wärme aus einem größeren Bereich
einsammeln

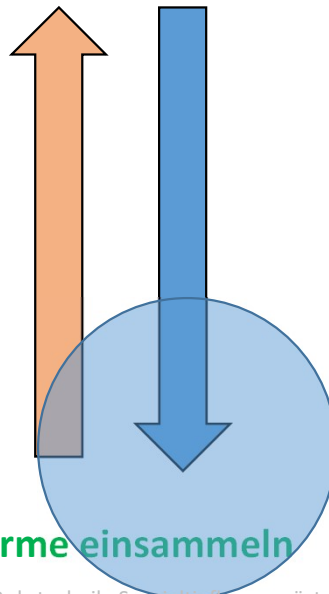
Nachteil: erhöhte Bohrkosten

Grundgedanke der Geothermie

Wärme zur Nutzung entziehen



$$W_{\text{therm}} = Q * c * \rho_f * \Delta T$$



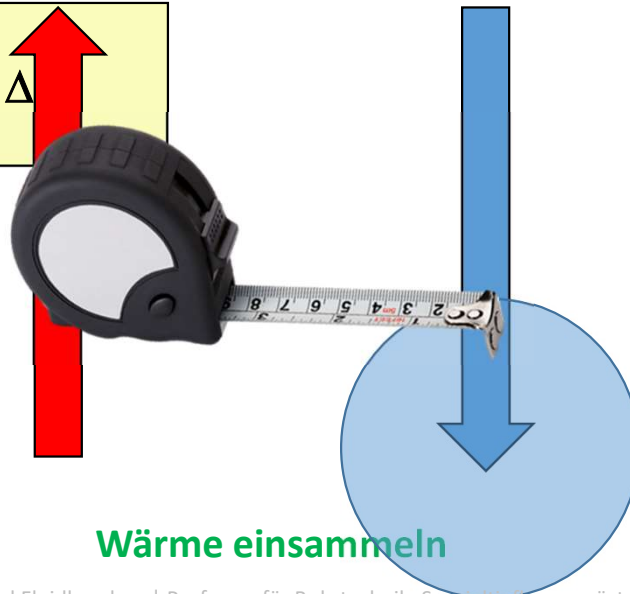
Wärme einsammeln

Grundgedanke der Geothermie

Wärme zur Nutzung entziehen



$$W_{\text{therm}} = Q * c * \rho_f * \Delta$$

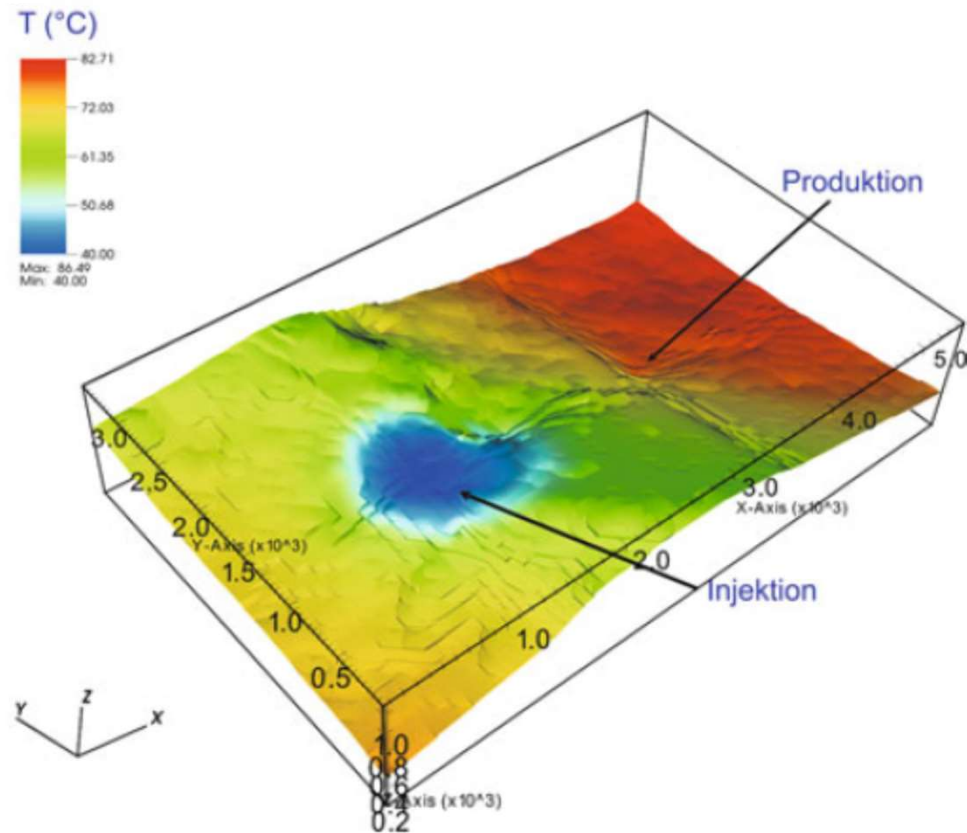


Lösung 2:

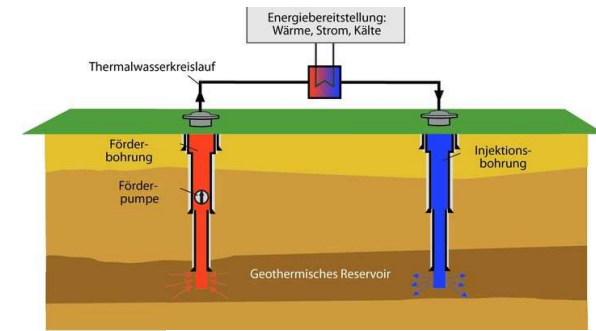
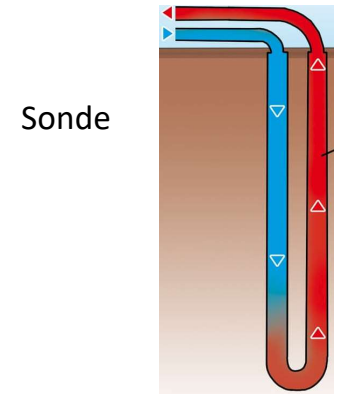
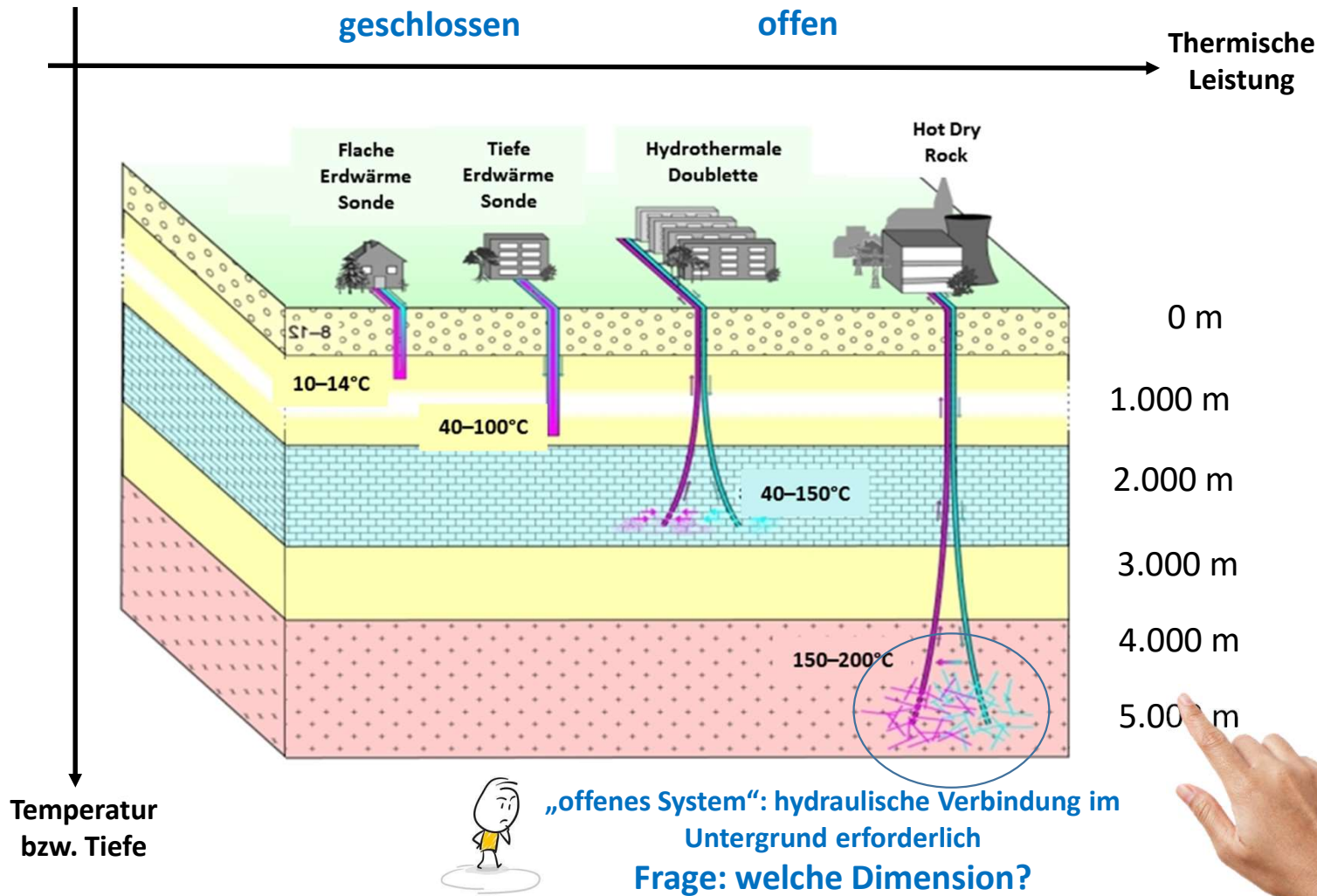
**Förder- und Reinjektionsbohrung
räumlich voneinander trennen**

Förderbohrung außerhalb der
Kaltwasserfahne der Injektionsbohrung

Beispiel für eine Simulationsrechnung

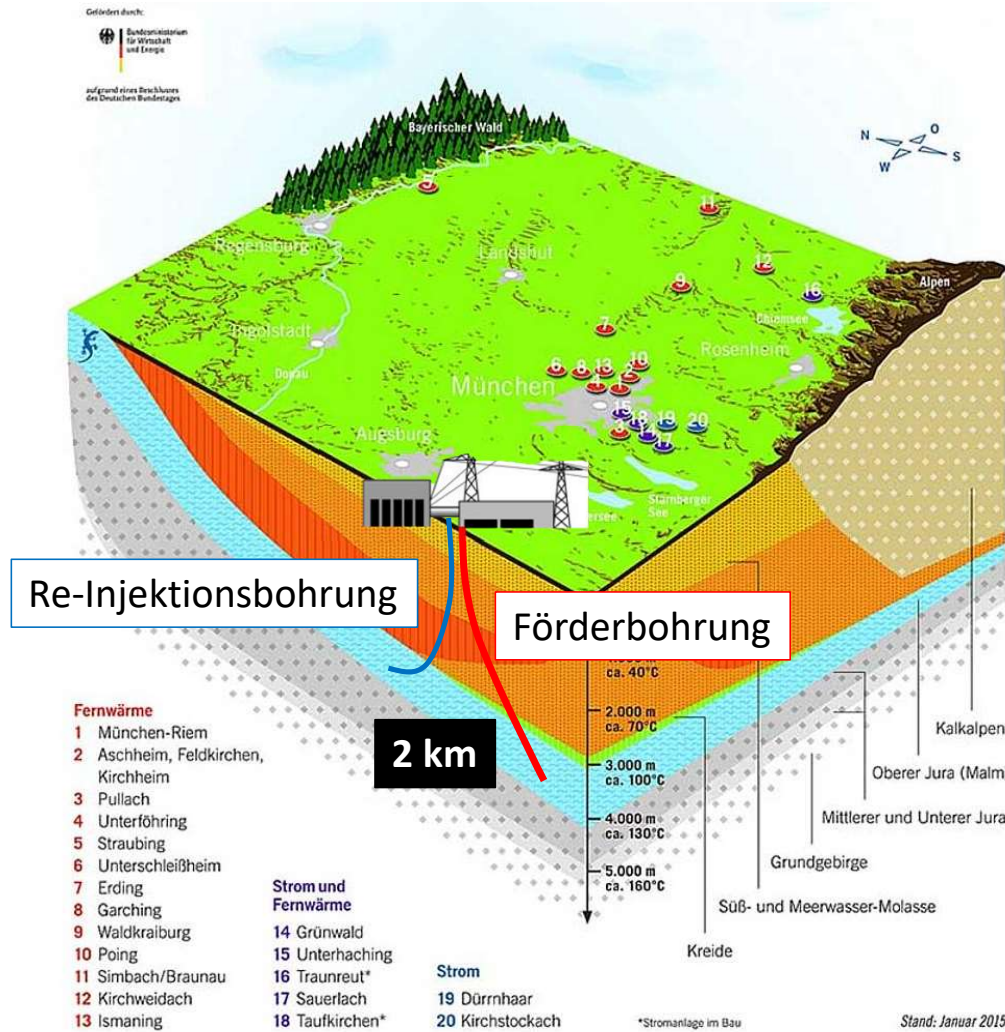


Geothermische Systeme



Dublette

Hydrothermale Geothermie



Malmkarst des Bayerischen Molassebeckens

typisches „Molasse-Geothermianlage“:

$$W_{\text{therm}} = \text{ca. } 20 \text{ MW}$$

Schüttung ca. 100 l/s

Fördertemperatur ca. 100°C

Abstand zwischen den Bohrungen ca. 2.000 m

Größenvergleich Chemnitz (2 km)



Pumpen im Wasserkreislauf

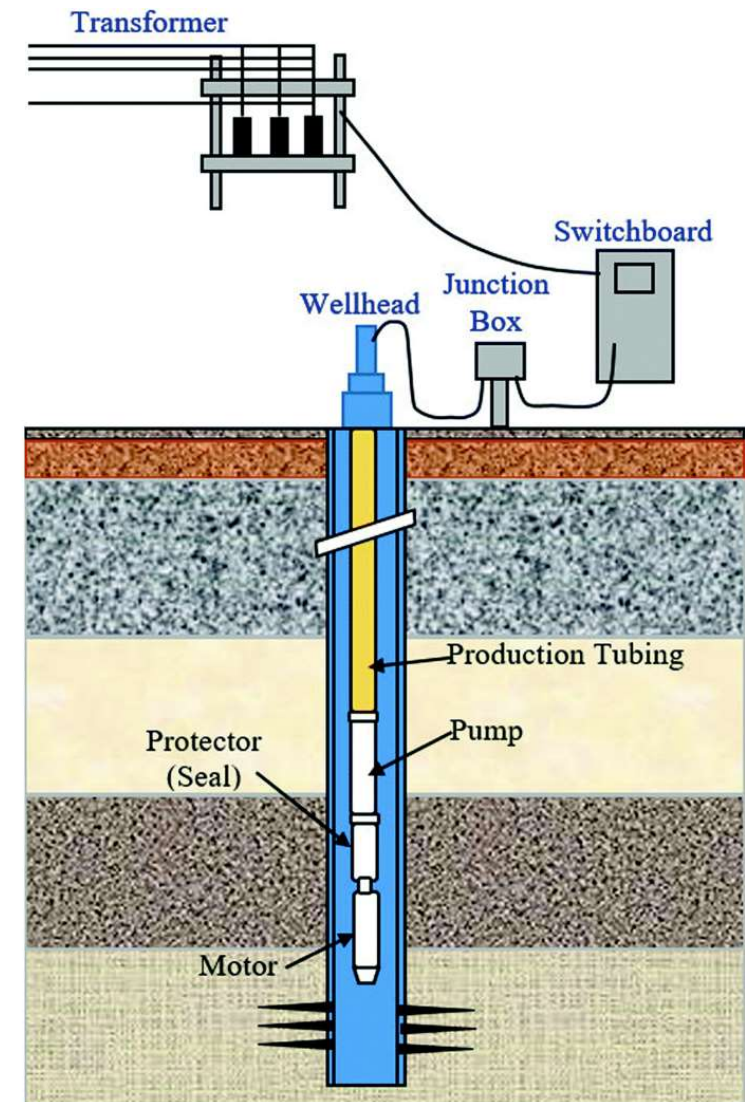
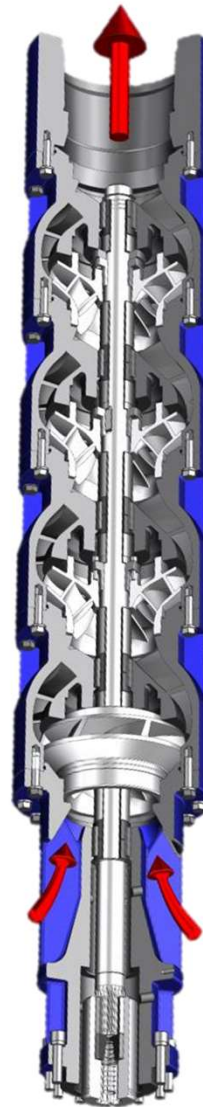
Erforderliche Schüttung:
>100 l/s

Unterhaching:
140 l/s
124°C
38 MW thermisch

Ohne leistungsfähige Pumpen oft nicht möglich

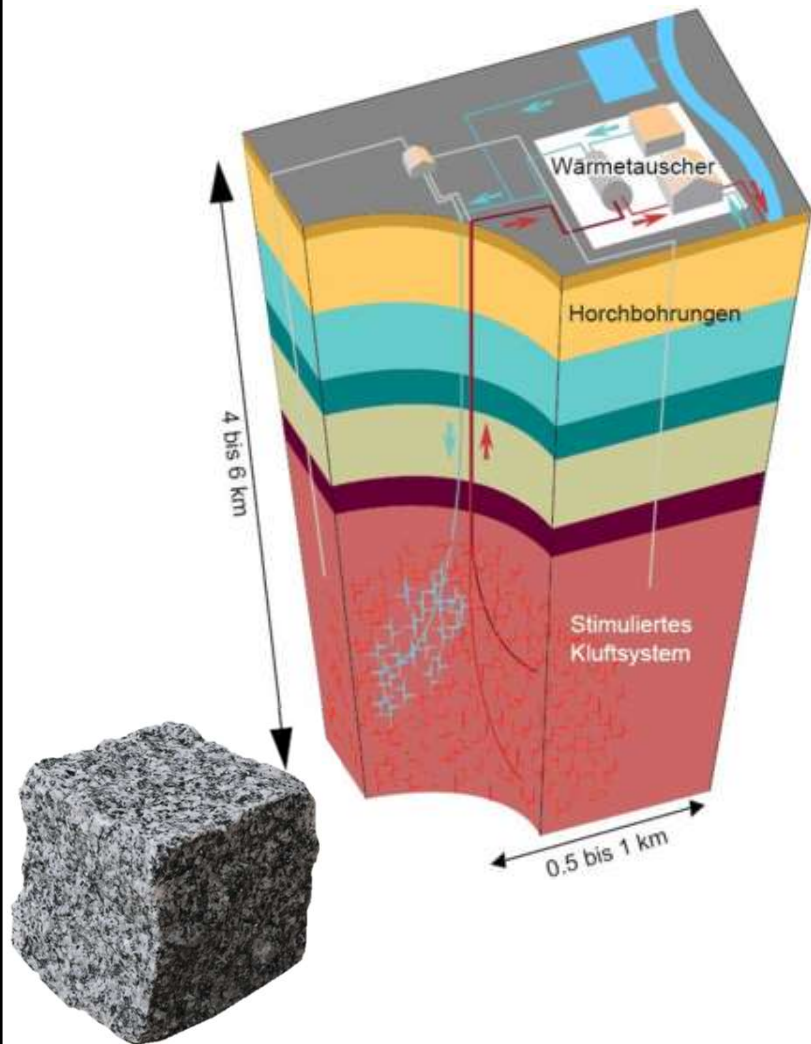
Eigenstromverbrauch der ESP oft 30 bis 50% der erzeugten elektrischen Energie des Kraftwerks!
Größter Kostenfaktor im Betrieb

Kavitationsgefahr → tiefer Einbau nötig
Kühlung schwierig (Hochleistungsmotor muss mit heißem Thermalwasser gekühlt werden)



Electrical Submersible Pump (ESP)

Petrothermale Geothermie



Kristallines Grundgebirge in Deutschland weit verbreitet
Mit Abstand das größte geothermische Ressource!
Aber: Bedarf an künstlichen Fließwegen (Fracs)

Fracking („hydraulic fracturing“) ist technisch sehr anspruchsvoll und in Deutschland politisch und juristisch aktuell schwer umsetzbar!



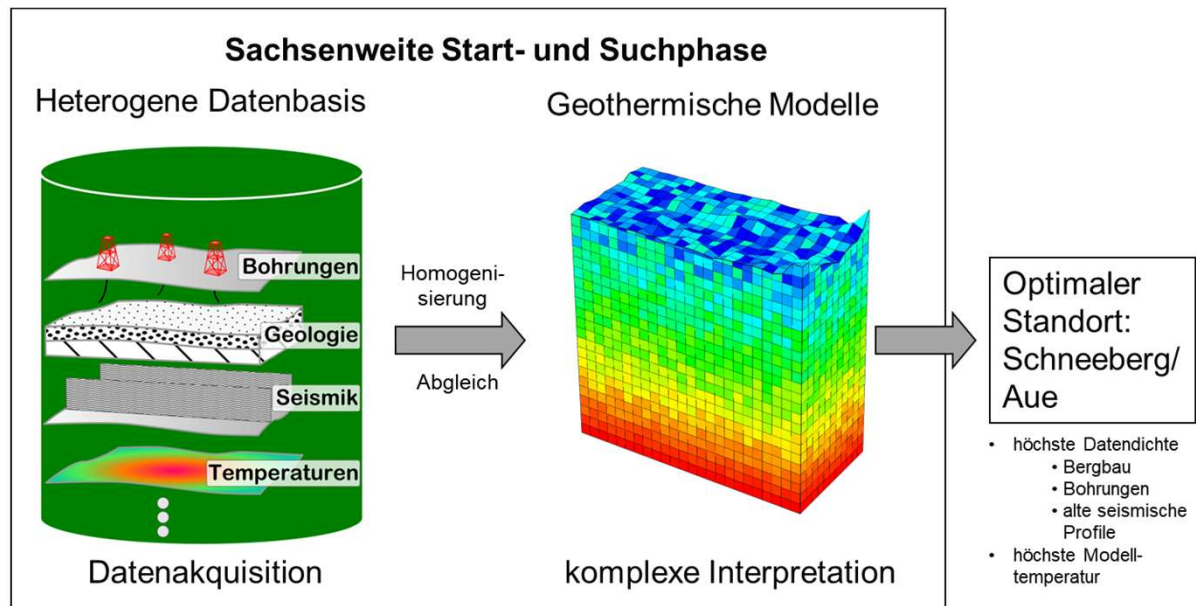
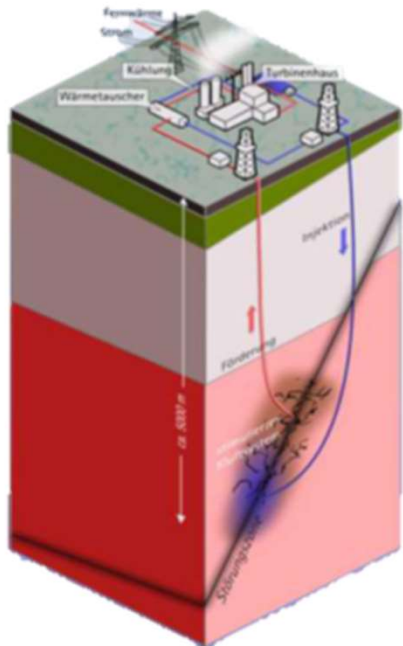
Petrothermale Geothermie – ohne Fracking

kompaktes Gestein mit natürlichen Fließwegen (Klüfte)

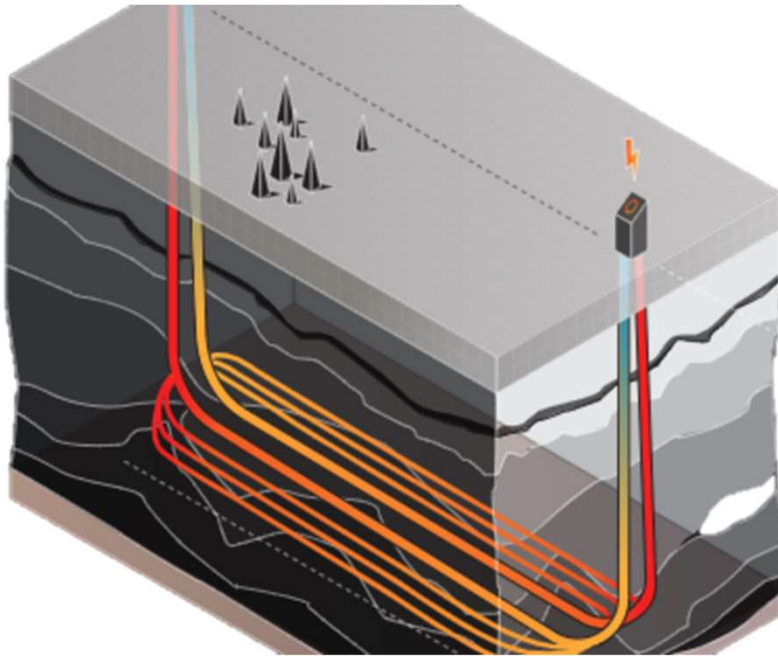
Kluftsysteme in mehreren Kilometern Tiefe sind in Deutschland bekannt, geothermische Nutzbarkeit ist aber noch nicht nachgewiesen worden.

Forschungsbedarf (Probebohrung)!

Aber wo? Und mit welchen Mitteln?



Geschlossene geothermische Systeme



geschlossene Horizontalbohrungen in mehreren Kilometern Tiefe

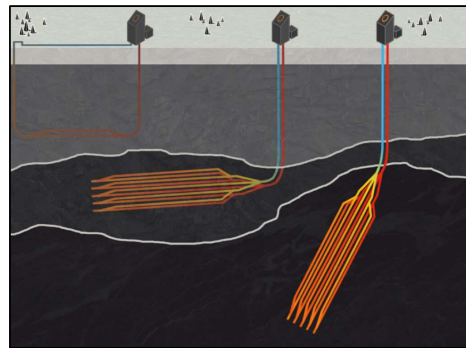
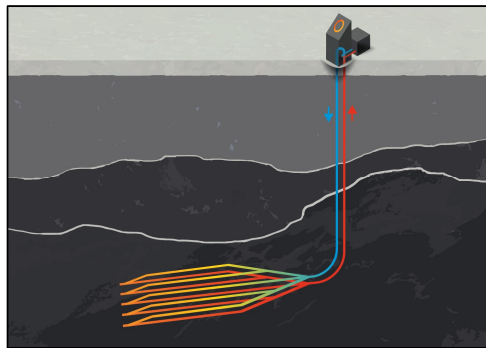
- **Kein Fracking** erforderlich
- nach dem Anfahren **keine Pumpen** erforderlich

ABER:

Sehr hohe Investitionskosten für die Bohrungen!

- komplexe Richtbohrtechnik
- große Durchmesser (Strömungswiderstand minimieren)
- Bohrungen zusammenführen
- Abdichtung zur Umgebung

Kommerzielle Wettbewerbsfähigkeit noch nicht bewiesen



Geretsried

Bohrtiefe ca 4.500 m

$P_{\text{elektrisch}}$ ca 8,2 MW

$P_{\text{thermisch}}$ ca 64 MW

Gesamtbohrstrecke: 360 km (!!!)

Tiefe Geothermie hat Potenzial!

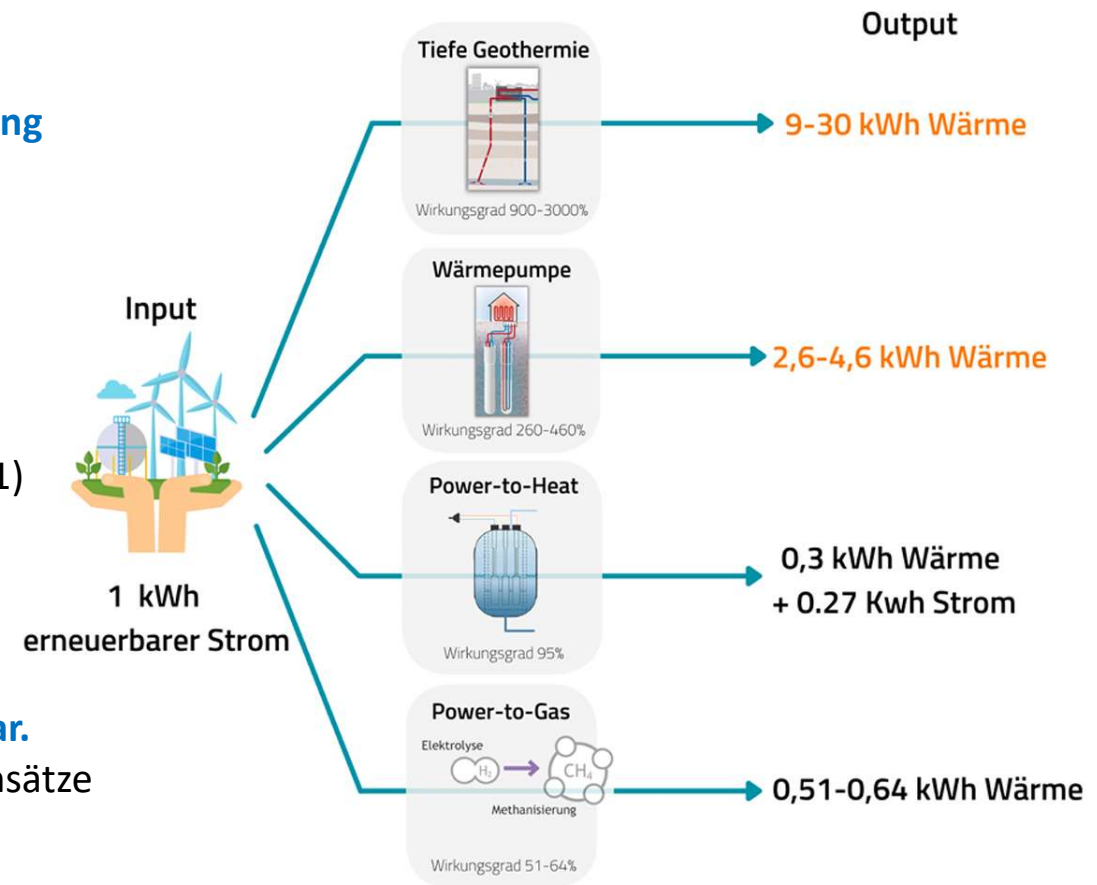
In Deutschland bisher 42 Anlagen mit **359 MW installierter Wärmeleistung** und **45 MW installierter elektrischer Leistung** (2020)

Wärmegestehungskosten im Raum München aktuell bei **25 bis 30 €/MWh (2-3 ct / kWh)**.

ABER: Hotspot ist das Molassebecken.

- installierte tiefegeothermische Leistung in Bayern (2021)
 - 325 MW_{th} (über 90 %)
 - 40 MW_{el} (knapp 80 %)

Noch nicht ohne Weiteres auf andere Regionen übertragbar.
Regionale Geologien erfordern regional unterschiedliche Ansätze
Forschungs- und Entwicklungsbedarf!



Quelle: Bundesverband Geothermie

Tiefe Geothermie hat Potenzial!

Lithiumgewinnung aus Geothermalwasser

- im Oberrheingraben teilweise bis 200 mg/l nachgewiesen!
- entspr. bei 120 l/min einem Durchsatz von 2 t Lithium/Tag

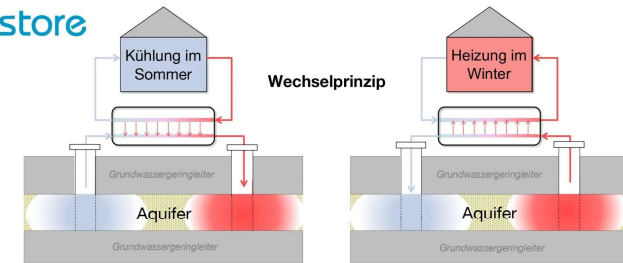


Kombination mit Wärme- / Kältspeichern

Kombination mit CO₂-Speicherung im Untergrund (CCS / CCUS)

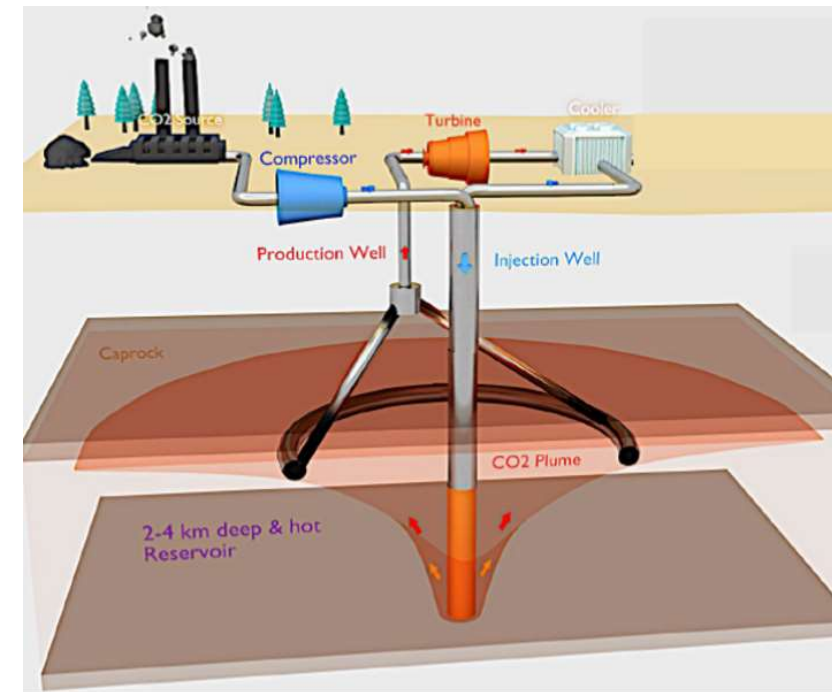


aquistore



Saisonale geogene Aquiferspeicher

Gratifik: Jena-Geos



Aufbruchstimmung!



GeoTherm in Offenburg

AUTOMATED RIG TECHNOLOGY

AGENDA

GEOTHERMIE WORKSHOP

Schwana 20. + 21.06.2024 / 24. + 25.06.2024

THURSDAY | JUNE 20, 2024

09:30 – Willkommen bei Herrenknecht Vertical
Vorstellungsrunde & Sicherheitsführung

10:00 Workshop

TUBAF
THERMAL ENERGY

VERTICAL
GEOTHERMY

ROADMAP TIEFE GEOTHERMIE FÜR DEUTSCHLAND

Handlungsempfehlungen für Politik, Wirtschaft, Wissenschaft für eine erfolgreiche Wärmewende

Fraunhofer IEG Fraunhofer IZM Fraunhofer IPT

2022

BMW

Eckpunkte für eine Erdwärmekampagne
Geothermie für die Wärmewende

1. Geothermie - Schlüsseltechnologie der Energiewende

Gute Energiepolitik modernisiert das Land und sichert den Industriestandort Deutschland. Die wichtigsten Wirtschaftsregionen der Welt haben sich zur Klimaneutralität bis Mitte des Jahrhunderts verpflichtet. Damit legt ein globaler Wettlauf um die besten Technologien. Um unseren Wohlstand und die Versorgungssicherheit zu sichern, wollen wir das Potenzial der Geothermie für die Energieversorgung, insbesondere für die Wärme stärker nutzen.

Dieses Eckpunktpapier zielt vor allem auf die Stärkung der Mitteltiefen und Tiefen Geothermie ab, aber es werden auch Aspekte der Oberflächennahen Geothermie angesprochen.

Die **Oberflächennahe Geothermie** ist bohrtechnisch gut erreichbar und wird in Kombination mit Wärmepumpen konsequent ausgebaut. Im Vergleich dazu ist das Potenzial der Mitteltiefen und Tiefen Geothermie bislang äußerst unzureichend erschlossen und es mangelt an einer klaren Ausbaustrategie.

Die **Mitteltiefe Geothermie** spricht den Bereich von 400 m bis 1500 m an, der je nach Wärmebedarf und Wärmeangebot direkt oder mit Wärmepumpen genutzt werden kann. Geeignete hydrothermale Systeme, die über wirtschaftlich nutzbares Thermalwasser und ausreichende Temperaturen verfügen.

In der **Tiefen Geothermie**, von 1.500 m bis 5000 m Tiefe, werden hydrothermale Angebote genutzt, die direkt der Wärmebereitstellung oder der Stromgewinnung dienen. Die geeigneten Stellen werden über eine Tiefenexploration und Auswertung der Seismik ermittelt.

2. Zielsetzung

Um die Wärmebereitstellung im Gebäudebestand, im Neubau sowie für industrielle Prozesse zum Jahr 2045 klimaneutral zu gestalten, sind Effizienzmaßnahmen und der massiven Wärmeeinsatz einfließen und als zentrales Element zu berücksichtigen. Dazu werden wir eine nationale Wärmestrategie entwickeln und abstimmen. Die erforderliche Koordination von Wärmebereitstellung, Wärmepumpen, Wärmespeichern, Wärmepumpen zur Nutzung von Wärme aus der Luft, Wasser und Erde sind diese Schlüsseltechnologien und werden in der Wärmestrategie als zentrale Elemente betrachtet.

Das große Potenzial der Geothermie wird in der Wärmestrategie als zentrales Element betrachtet.

Eckpunktepapier BMWi 2022

An der Technischen Universität Bergakademie Freiberg bilden wir „Tiefbohrer“ aus Experten für Erdöl, Erdgas, Geothermie, unterirdische Energiespeicherung



TUBAF
Die Ressourcenuniversität.
Seit 1765.



Erdöl-Ingenieurwesen

QUERVERWEISE

[Kleine Fächer im Porträt](#)

[← Übersicht](#)

AUTOR*IN

Matthias Reich

DATUM

27.05.2020



„Kleines Fach“

GEFÖRDERT VOM



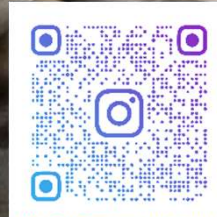
Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Studierende des Studienganges
Geo-Ingenieurwesen
Vertiefung
„Geo-Energiesysteme“

Mehr Information zum Thema



Play video



SPASSMITTIEFBOHRTECHNIK



TUBAF
Die Ressourcenuniversität.
Seit 1765.



Spaß mit Tiefbohrtechnik

576 Abonnenten

ÜBERSICHT

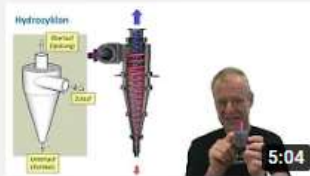
VIDEOS

PLAYLISTS

COMMUNITY

KANÄLE

Uploads



Wie funktioniert ein Hydrozyklon?

8843 Aufrufe • vor 1 Jahr



Wie funktioniert eine Wärmepumpe?

4522 Aufrufe • vor 1 Jahr



Wie funktioniert ein Geothermiekraftwerk?

2917 Aufrufe • vor 1 Jahr



Wieviel Energie kann ein Geothermiekraftwerk liefern?



Welchen Bohrmeißel nehme ich für welches Gestein?



Wie bohrt man eine Kurve?

1492 Aufrufe • vor 1 Jahr



Wie wird ein Bohrloch nach außen hin dicht gemacht?



Die berühmte Sinkgeschwindigkeitsformel



Blowout unter Kontrolle?





TUBAF

Die Ressourcenuniversität.
Seit 1765.

Prof. Dr.-Ing. Matthias Reich, 28. Mai 2024