



Erdwärme nutzen: So heizen Sie Ihr Haus mit Geothermie Tiefengeothermie

Dr. Michaela Meier, Geothermie-Allianz Bayern, Technische Universität München

Fachgespräch der Energieagentur München-Ebersberg

28.11.2022



Bayerisches Staatsministerium
für Wissenschaft und Kunst

Technische
Universität
München



FRIEDRICH-ALEXANDER
UNIVERSITÄT
ERLANGEN-NÜRNBERG



UNIVERSITÄT
BAYREUTH



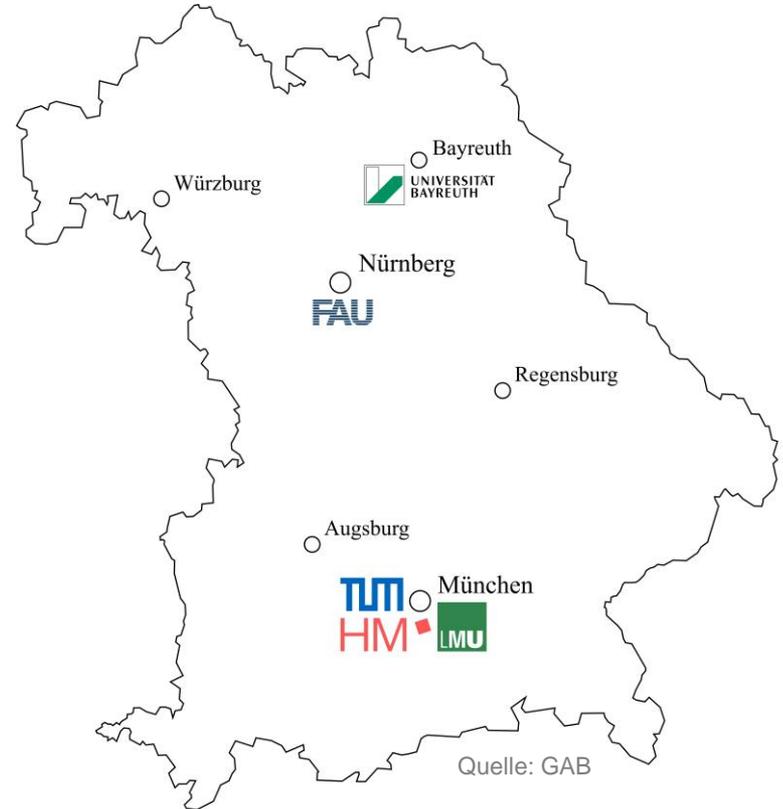
LUDWIG-
MAXIMILIANS-
UNIVERSITÄT
MÜNCHEN



Die Geothermie-Allianz Bayern

- Verbundforschung zwischen fünf Bayerischen Universitäten
- Bündelung der Expertise in Bayern im Bereich Tiefengeothermie (15 Professuren/Lehrstühlen – insgesamt über 50 Projektbeteiligte)
- Betrachtung der Technologie vom Untergrund über die Gewinnung bis hin zur Verteilung
- Förderung seit 2016 bis Ende 2024 durch das Bayerische Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst

www.geothermie-allianz.de



Inhalt

- Die Wärme der Erde und woher sie stammt
- Nutzungsformen der Geothermie
- Tiefengeothermie in Bayern:
 - Geologische Voraussetzungen
 - Potential
 - Schritte zur Geothermieanlage: Exploration, Bohrphase, Produktion

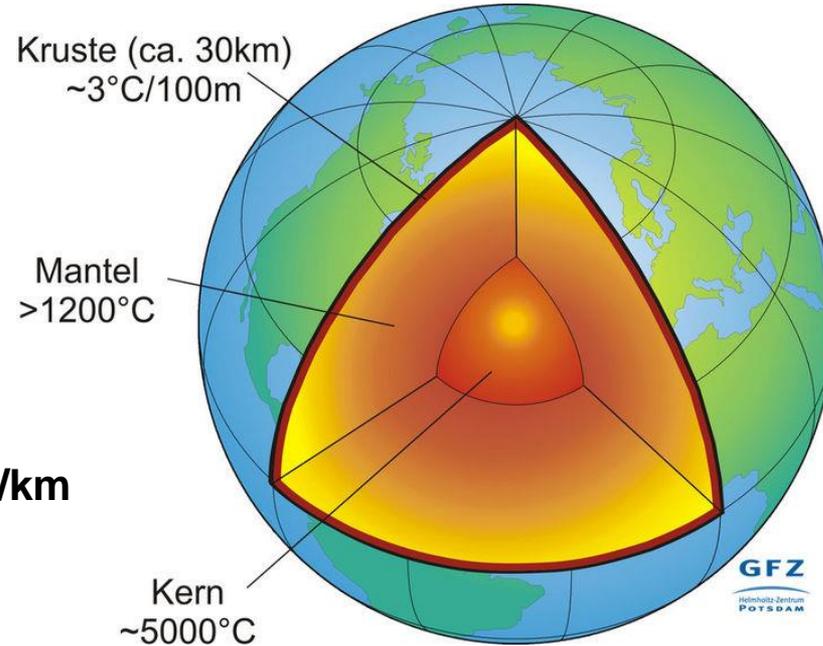
Inhalt

- Die Wärme der Erde und woher sie stammt
- Nutzungsformen der Geothermie
- Tiefengeothermie in Bayern:
 - Geologische Voraussetzungen
 - Potential
 - Schritte zur Geothermieranlage: Exploration, Bohrphase, Produktion

Wärme auf und in der Erde

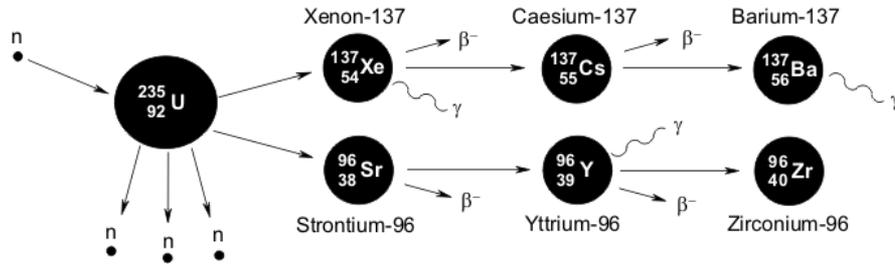
- 99 % der Erde sind heißer als 1000 °C
- 0.1 % kälter als 100 °C

Geothermischer Gradient: 30 °C/km



Woher stammt die Wärme?

radioaktiver Zerfall

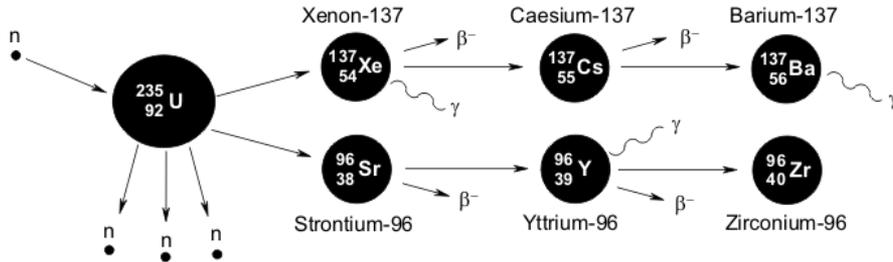


Quelle: www.radioaktive-strahlung.org

50 - 70%

Woher stammt die Wärme?

radioaktiver Zerfall



Quelle: www.radioaktive-strahlung.org

50 - 70%

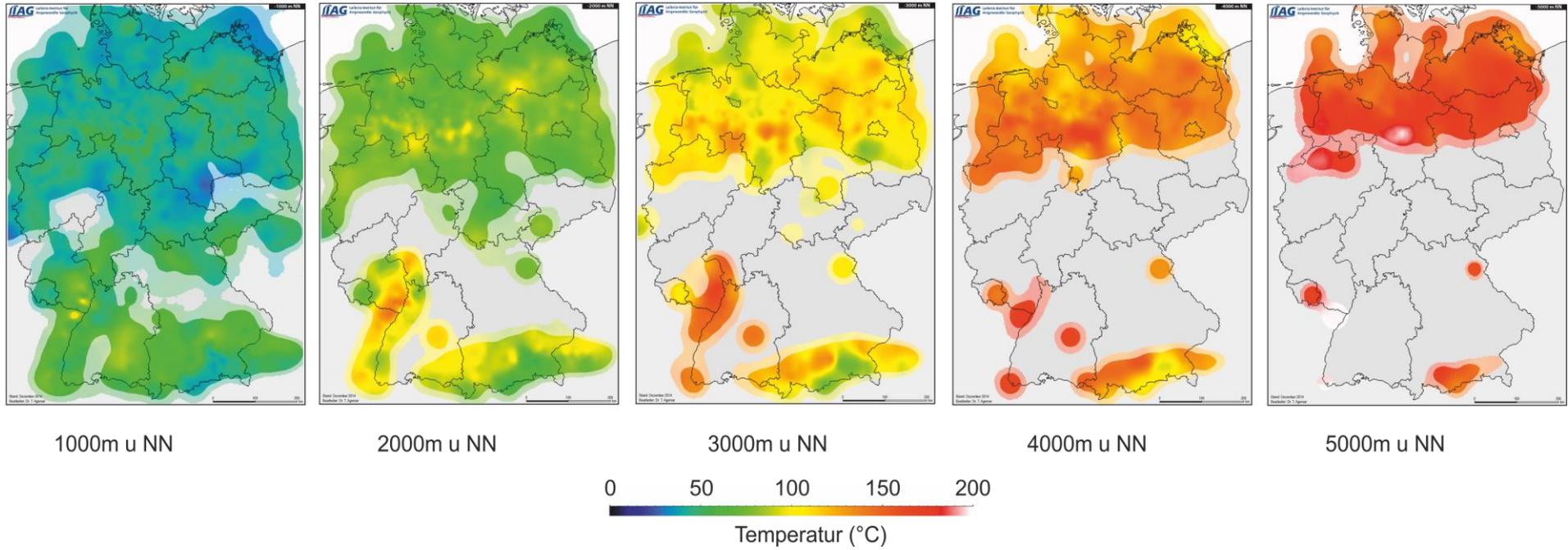
Akkretion (Entstehung der Erde)



Quelle: www.weltderphysik.de

30 - 50%

Erdwärme in Deutschland

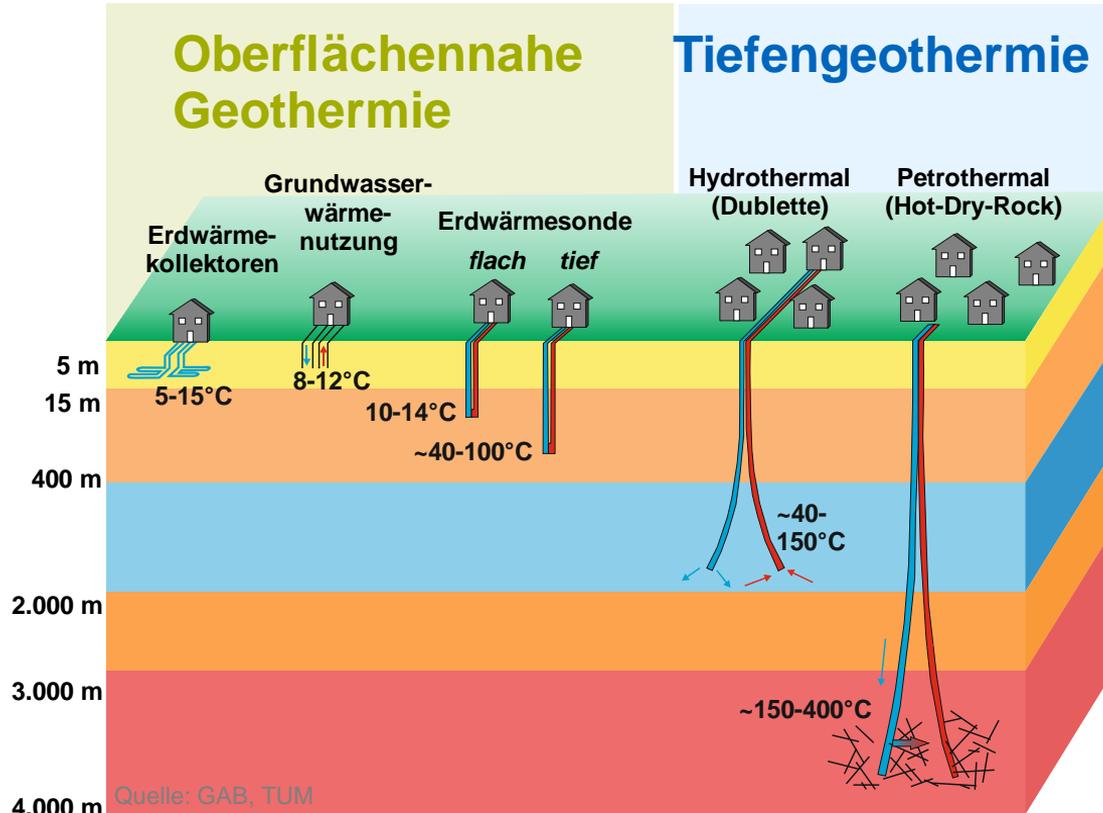


Quelle: Agemar et al. (2014)

Inhalt

- Die Wärme der Erde und woher sie stammt
- **Nutzungsformen der Geothermie**
- Tiefengeothermie in Bayern:
 - Geologische Voraussetzungen
 - Potential
 - Schritte zur Geothermieranlage: Exploration, Bohrphase, Produktion

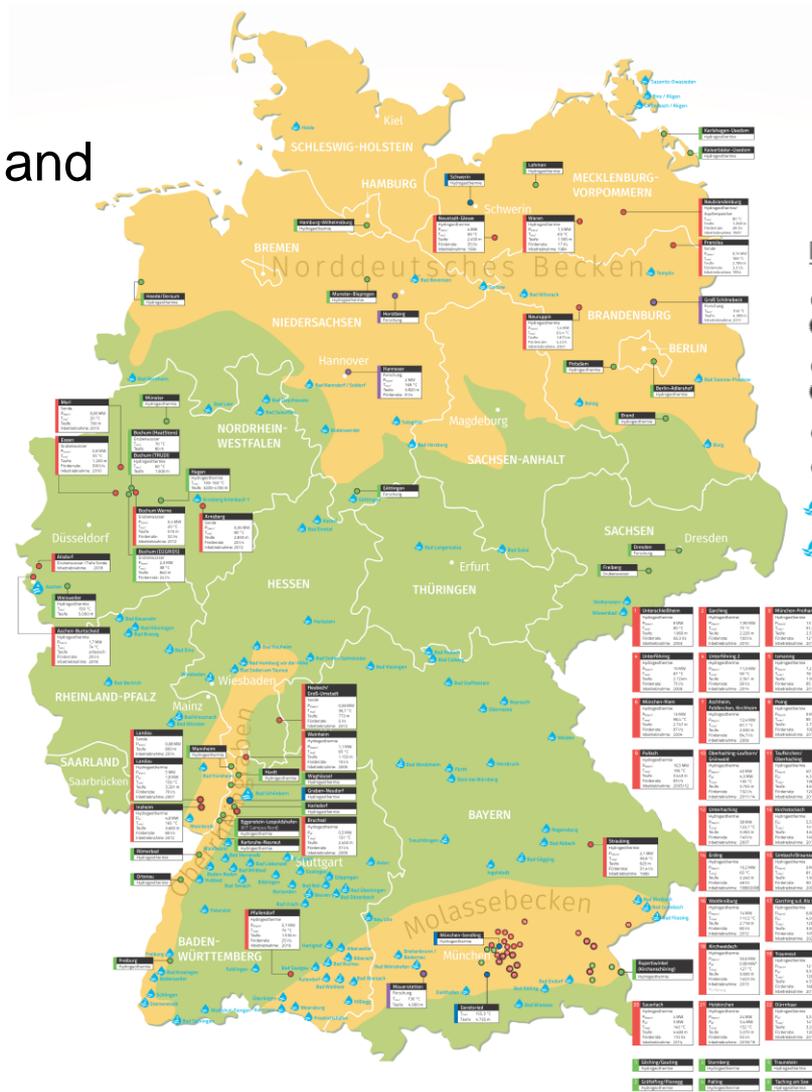
Nutzungsformen der Geothermie



- Mitteltiefer Geothermie (400-1500 m) als Übergang zwischen oberflächennaher und Tiefengeothermie
- 95 % des geothermischen Potentials entfallen auf „trockene“ kristalline Gesteine, 5 % auf „nasse“ Sedimentgesteine (Heißwasseraquifere)
- In Deutschland bislang keine petrothermale Geothermie

Geothermiegebiete in Deutschland

- bisher 3 große Gebiete für Tiefengeothermie:
 - Norddeutsches Becken
 - Oberrhingraben
 - Molassebecken
- Gesamtpotenzial beträgt ca. 300 TWh / Jahr (Bracke und Huenges, 2022)
- aktuell: ca. 350 MW_{th}

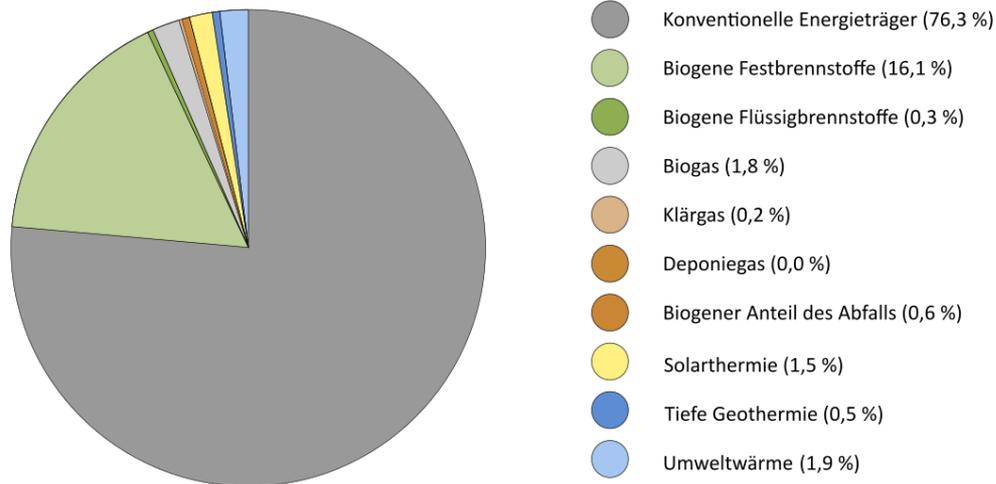


- Legende**
- in Betrieb
 - in Betrieb mit Stromerzeugung
 - in Bau
 - in Bau mit Stromerzeugung
 - Forschung
 - in Planung (Strom und/oder Wärme)
 - Thermalbad / Balneologie
 - Anzahl Thermalbäder / Balneologie

Quelle:
Bundesverband
Geothermie (2021)

Nutzung der Tiefengeothermie in Bayern

Wärmebereitstellung nach Energieträgern in Bayern 2020



- weniger als ein Viertel aus erneuerbaren Energien
- Hauptanteil erneuerbare Energien: Biomasse
- Tiefengeothermie: 0,5 %

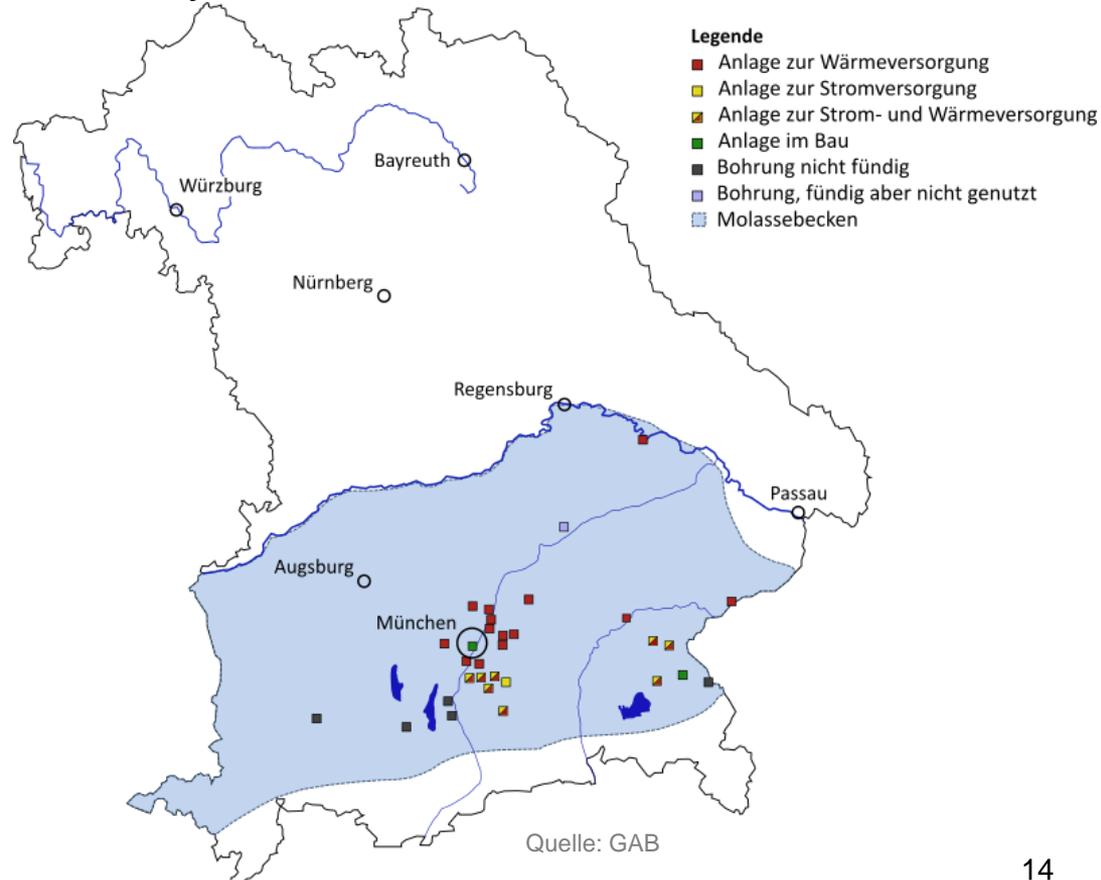
Daten: StMWi (2021):Energiedaten.Bayern – Schätzung, Grafik: GAB

Tiefengeothermie



Aktueller Stand Tiefengeothermie in Bayern

- aktuell 24 Geothermie-Anlagen mit insgesamt 325 MW_{th} und 40 MW_{el} Leistung
- Bayerisches Molassebecken ist der Hotspot der geothermischen Nutzung in Deutschland

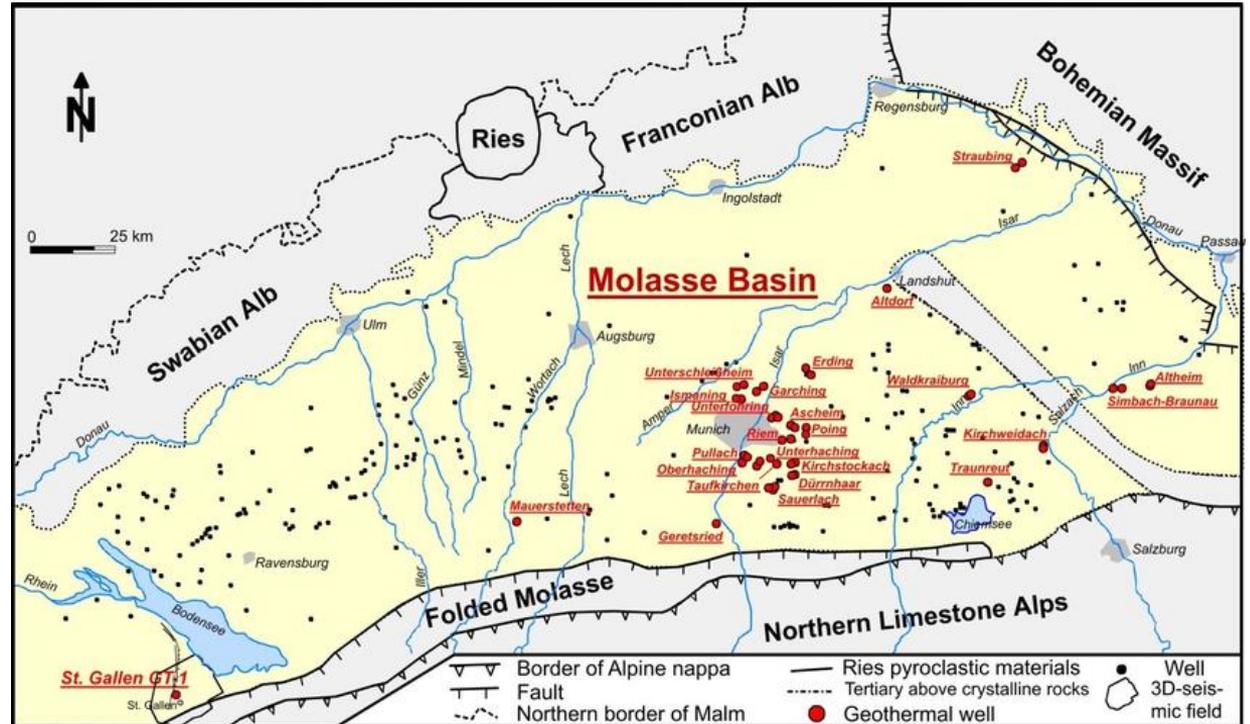


Inhalt

- Die Wärme der Erde und woher sie stammt
- Nutzungsformen der Geothermie
- Tiefengeothermie in Bayern:
 - **Geologische Voraussetzungen**
 - Potential
 - Schritte zur Geothermieranlage: Exploration, Bohrphase, Produktion

Geologie Südbayern – Molassebecken

- Molassebecken zwischen Donau und Alpen
- Entstehung im Zusammenhang mit Alpenbildung

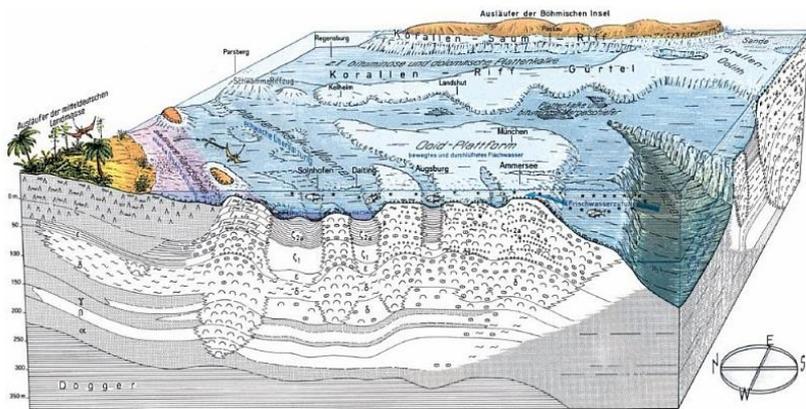


Quelle: Wolfgramm et al.(2015)

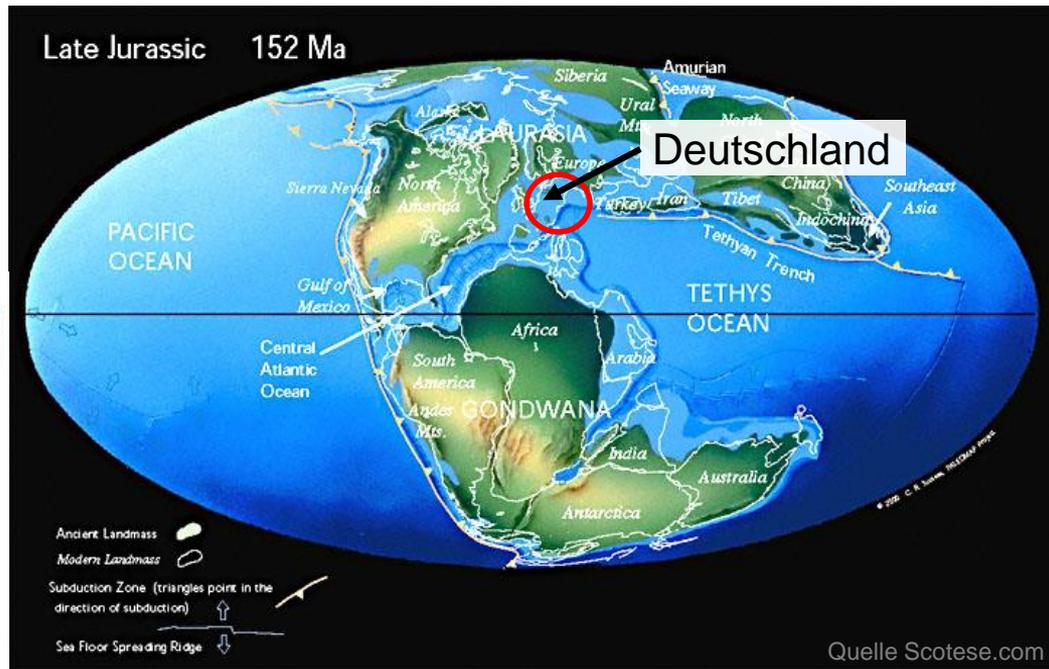


Entstehung des Molassebeckens

zur Zeit des oberen Jura (Malm):
Flachmeer mit Schwamm- und Korallenriffen
→ Entstehung von Kalksteinschichten



Quelle: Bayerisches Landesamt für Umwelt



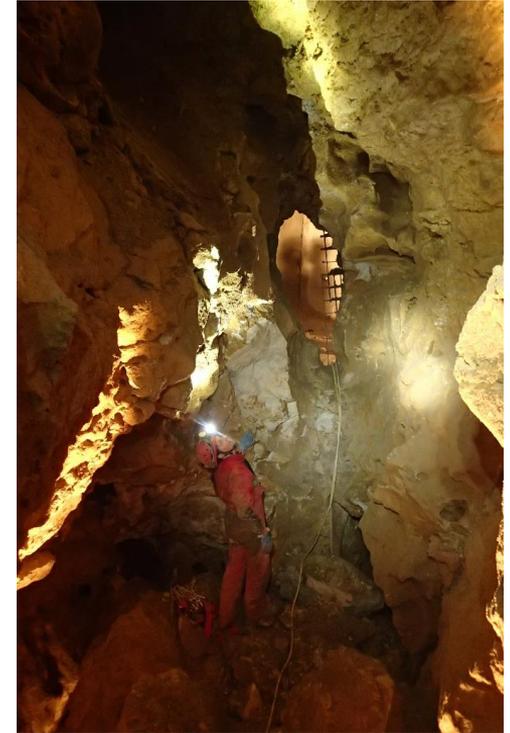
Entstehung des Molassebeckens



Quelle: Maximilian Keim

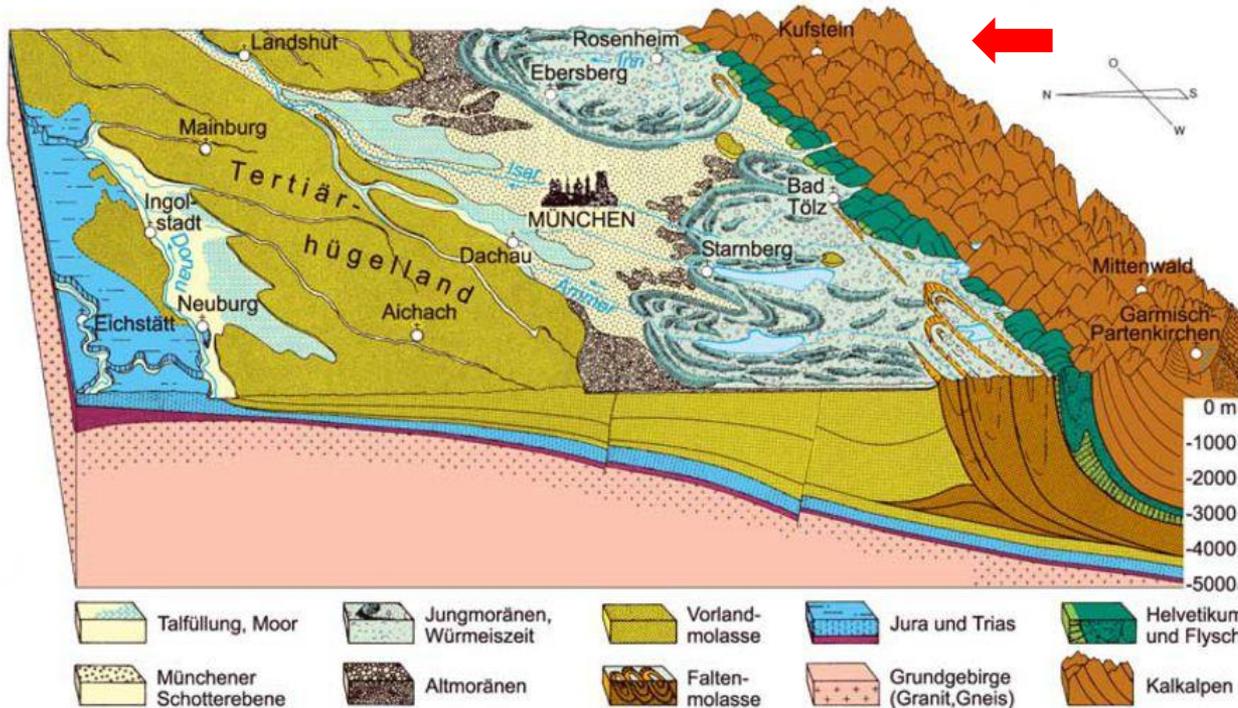


Quelle: Maximilian Keim



Quelle: M. Wunderle

Entstehung des Molassebeckens

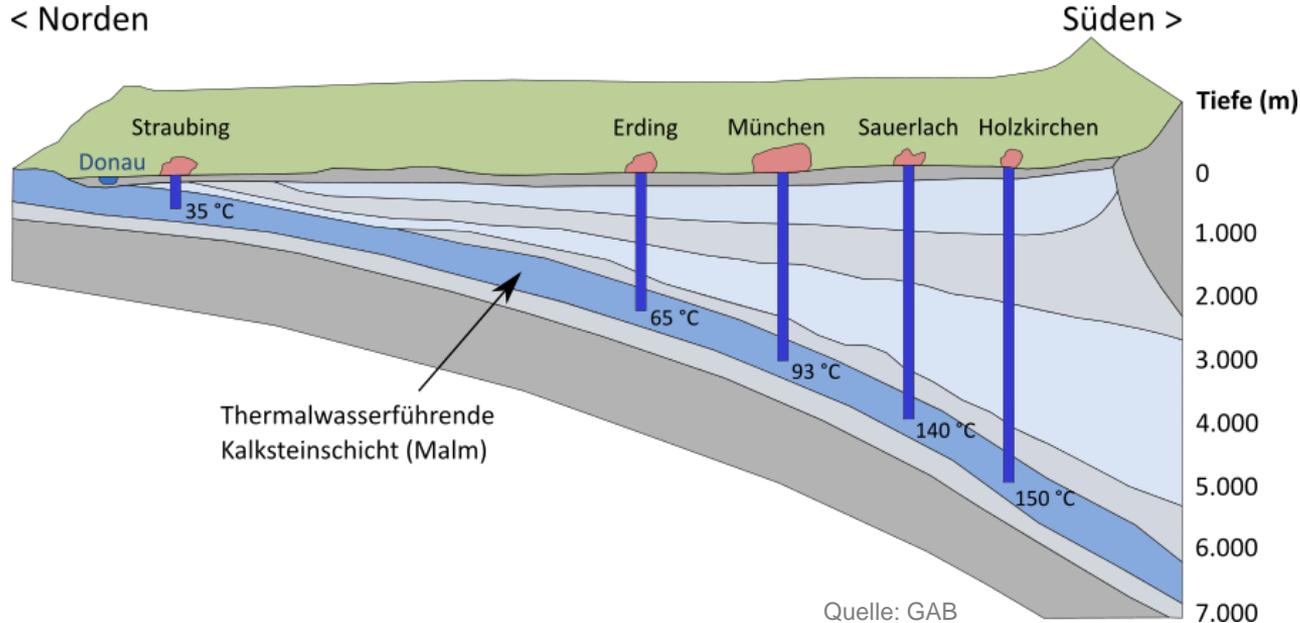


- Überschieben der Schichten während Alpenbildung

→ Malm taucht nach Süden ab

Quelle: Bayerisches Landesamt für Umwelt

Tiefengeothermie im Molassebecken



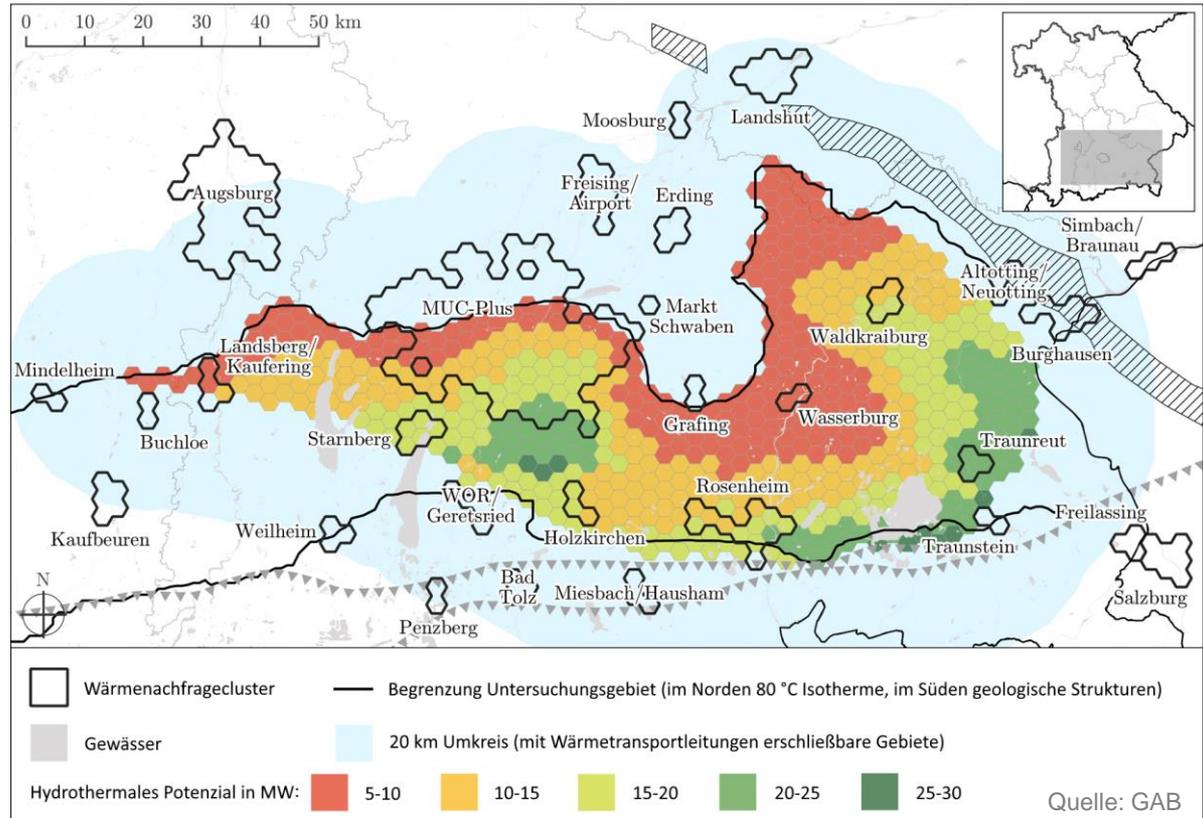
- Grundsätzlich gilt:
je weiter südlich, desto wärmeres Thermalwasser
- Aber: lokale Abweichungen sind möglich

Inhalt

- Die Wärme der Erde und woher sie stammt
- Nutzungsformen der Geothermie
- Tiefengeothermie in Bayern:
 - Geologische Voraussetzungen
 - **Potential in Südbayern**
 - Schritte zur Geothermieranlage: Exploration, Bohrphase, Produktion

Potential in Südbayern

- Studie im Auftrag des Bayerischen Wirtschaftsministeriums
- Potential basiert auf Temperatur und Schüttung (förderbare Wassermenge innerhalb einer bestimmten Zeit)
- Wärmenachfragecluster: Gebiete mit hohem Wärmebedarf, berechnet auf Grundlage von Gebäuden (Industrie nicht berücksichtigt)
- Verbindung der Potentialgebiete und Nachfragecluster durch Wärmeverbundleitungen



Inhalt

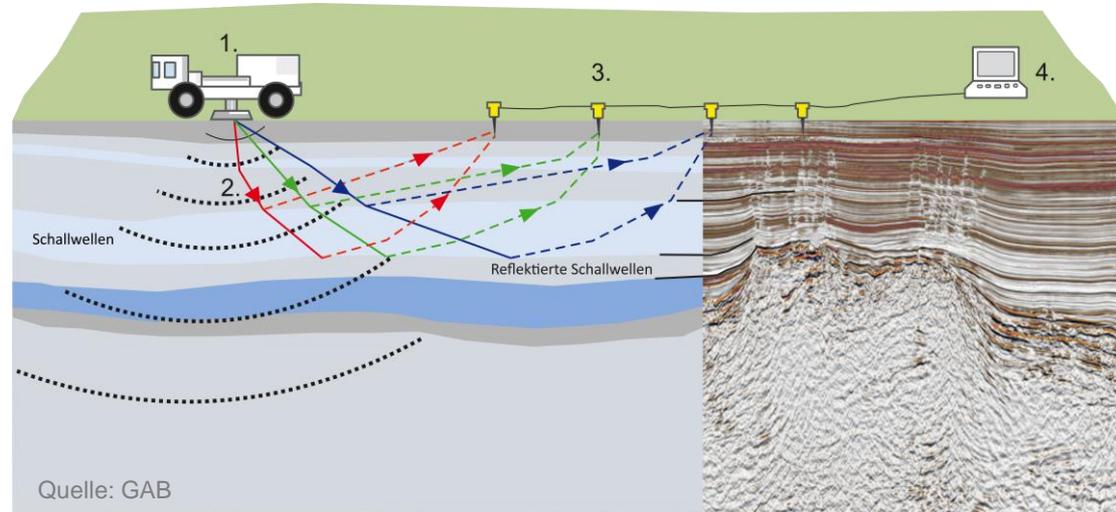
- Die Wärme der Erde und woher sie stammt
- Nutzungsformen der Geothermie
- Tiefengeothermie in Bayern:
 - Geologische Voraussetzungen
 - Potential
 - Schritte zur Geothermieanlage: Exploration, Bohrphase, Produktion

Auf dem Weg zur Geothermieranlage: Exploration mittels Seismik

Vibrotrucks erzeugen Schallwellen

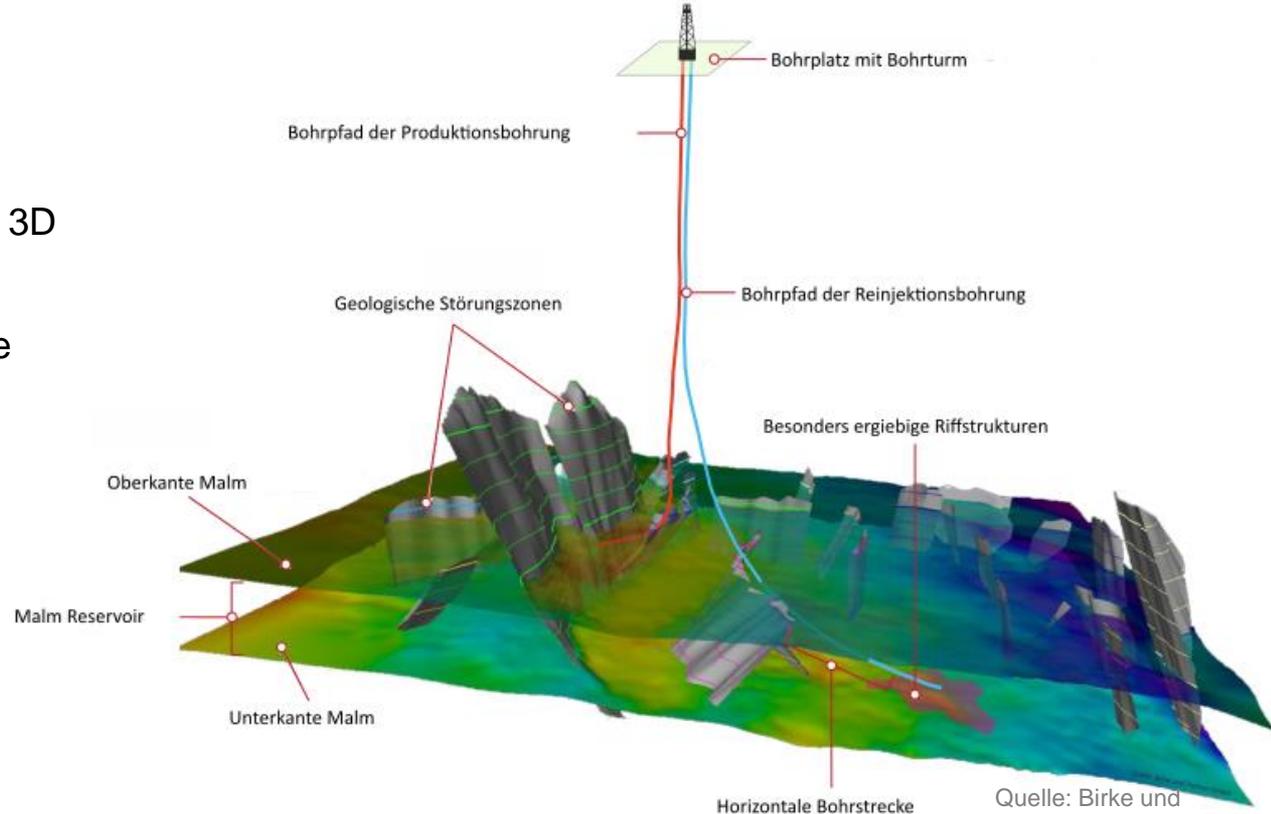


Geophone zeichnen
reflektierte Wellen auf



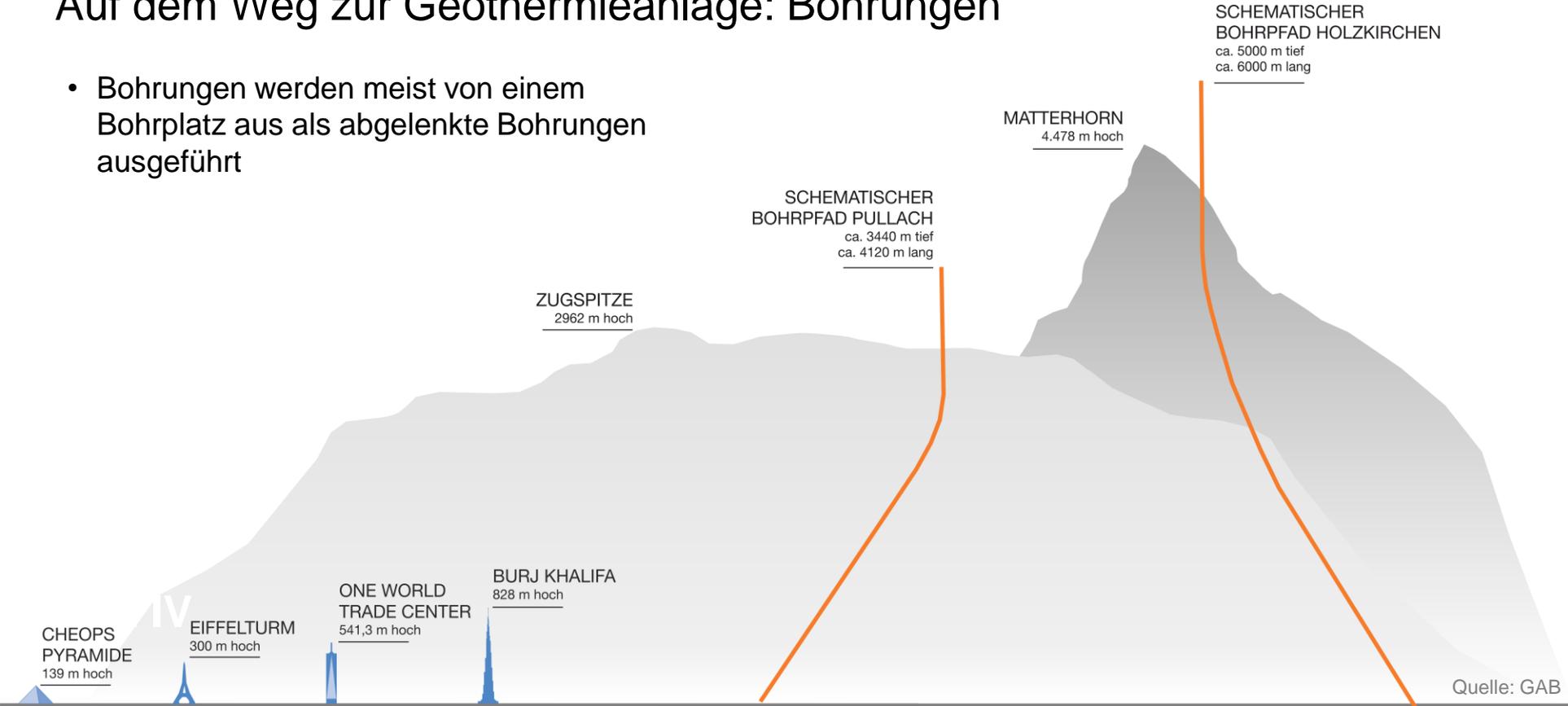
Auf dem Weg zur Geothermieanlage: Exploration Reservoirmodell

- aus den Messdaten wird ein 3D Reservoirmodell erstellt
- Daran werden die Bohrpfade geplant



Auf dem Weg zur Geothermieanlage: Bohrungen

- Bohrungen werden meist von einem Bohrplatz aus als abgelenkte Bohrungen ausgeführt





Auf dem Weg zur Geothermieanlage: Bohrphase



Quelle: GAB, Weilheim

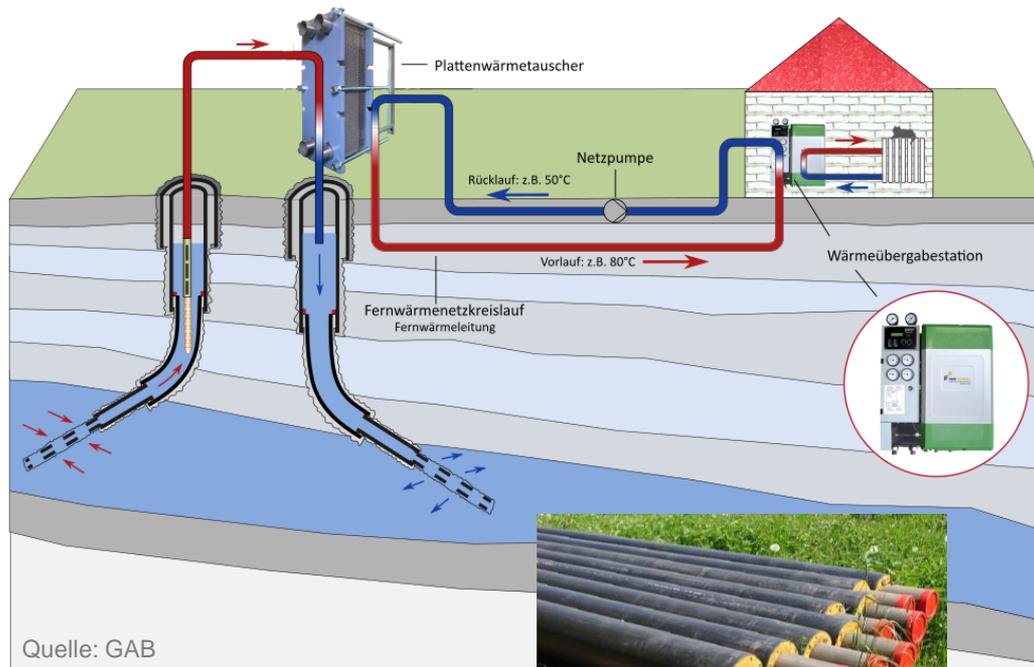


Quelle: GAB, Weilheim



Auf dem Weg zur Geothermieanlage: Produktion

- Heißes Thermalwasser wird durch die **Förderbohrung** an die Oberfläche gepumpt
- Im **Plattenwärmetauscher** wird die Wärme ins Fernwärmenetz übertragen
- Das Thermalwasser wird durch die **Injektionsbohrung** zurück in den Aquifer geleitet
- Das **Fernwärmenetz** transportiert die Wärme zu den Abnehmern
- Über die **Hausübergabestation** wird die Wärme vom Fernwärmenetz in den hausinternen Kreislauf übertragen



Fazit

- Die **erneuerbare Energie** aus Erdwärme kann mithilfe von **verschiedenen Technologien** genutzt werden.
- Das **Bayerische Molassebecken** ist **besonders geeignet** für Tiefengeothermie, die heißes Thermalwasser aus dem Untergrund nutzt (Hydrothermale Tiefengeothermie).
- Das **Potential** ist in Deutschland und Bayern **sehr groß**. Die Nutzung von Tiefengeothermie kann noch deutlich **ausgebaut** werden.
- Tiefengeothermie eignet sich vor allem in **dichter besiedelten Gebieten**, wo die Gebäude über Fernwärme aus einer Geothermieanlage versorgt werden.
- Die Errichtung einer Geothermieanlage erfordert verschiedene Schritte, z.B. Exploration und Bohrungen, bevor die Wärme von den Abnehmern genutzt werden kann. Der gesamte Prozess dauert **einige Jahre**.



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Kontakt:

Geothermie-Allianz Bayern

Technische Universität München

Munich Institute of Integrated Materials, Energy and Process Engineering (MEP)

Lichtenbergstr. 4a

85748 Garching

Tel.: +49 89 289 10642

gab@mep.tum.de



Broschüre



- Informationen für Gemeinden und Energieversorger
- Überblick zum Wärmemarkt und Tiefengeothermie in Bayern
- Beschreibung des Projektablaufs mit Hinweisen zu u.a. Kosten, Zeit und nötigen Genehmigungen

- Kostenfreier Download: https://geothermie-allianz.de/wp-content/uploads/2022/06/Tiefengeothermie_fuer_Bayern.pdf

Quelle: GAB

Referenzen

Agemar, T., Alten, J., Ganz, B., Kuder, J., Kühne, K., Schumacher, S. and Schulz, R. (2014): The Geothermal Information System for Germany - GeotIS – ZDGG Band 165 Heft 2, 129–144

Agemar, T., Weber, J. and Schulz, R. (2014): Deep Geothermal Energy Production in Germany – Energies 2014 Band 7 Heft 7, 4397–4416

Bracke, R.; Huenges, E. (2022): Roadmap Tiefe Geothermie für Deutschland - Strategiepapier von sechs Einrichtungen der Fraunhofer Gesellschaft und der Helmholtz-Gemeinschaft

Bundesverband Geothermie (2021): Bundesverband Geothermie: Geothermie in Zahlen

Molar-Cruz, A., Keim, M. F., Schifflechner, C., Loewer, M., Zosseder, K., Drews, M., Wieland, C. and Hamacher, T. (2022): Techno-economic optimization of large-scale deep geothermal district heating systems with long-distance heat transport, Energy Conversion and Management, 267, 115906, <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2022.115906>.

StMWi (2021): Energiedaten.Bayern – Schätzung. Daten bis zum Jahr 2020, Berechnungen des Bayerischen Landesamtes für Umwelt

Wolfgramm, M., Bloch, T., Bartels, J., Heuberger, S., Kuhn, P., Naef, H., Voigt, H.-D., Seibt, P., Sonderegger, M., Steiger, T., Uhlig, S. (2015): Reservoir-geological characterization of a Fractured Limestone: Results obtained from the Geothermal Well St. Gallen GT-1 (Switzerland).

Zosseder, K., Pfrang, D., Schölderle, F., Bohnsack, D. and Konrad, F. (2022): Characterisation of the Upper Jurassic geothermal reservoir in the South German Molasse Basin as basis for a potential assessment to foster the geothermal installation development – Results from the joint research project Geothermal Alliance Bavaria. Geomechanics and Tunnelling, 15: 17-24. <https://doi.org/10.1002/geot.202100087>

Beteiligte Bewertung Masterplan Geothermie

Munich School of Engineering (TUM-MSE)

Prof. Dr. Thomas Hamacher
Dr. Maximilian Keim
Anahi Molar-Cruz
Dr. Markus Loewer

Lehrstuhl für Energiesysteme (TUM-LES)

Dr. Christoph Wieland
Christopher Schifflechner
Thomas Ferrand

Lehrstuhl für Erneuerbare und Nachhaltige Energiesysteme (TUM-ENS)

Prof. Dr. Thomas Hamacher
Anahi Molar-Cruz
Dr. Philipp Kuhn

Professur für Geothermal Technologies (TUM-GTT)

Prof. Dr. Michael Drews

Lehrstuhl für Hydrogeologie (TUM-HYD)

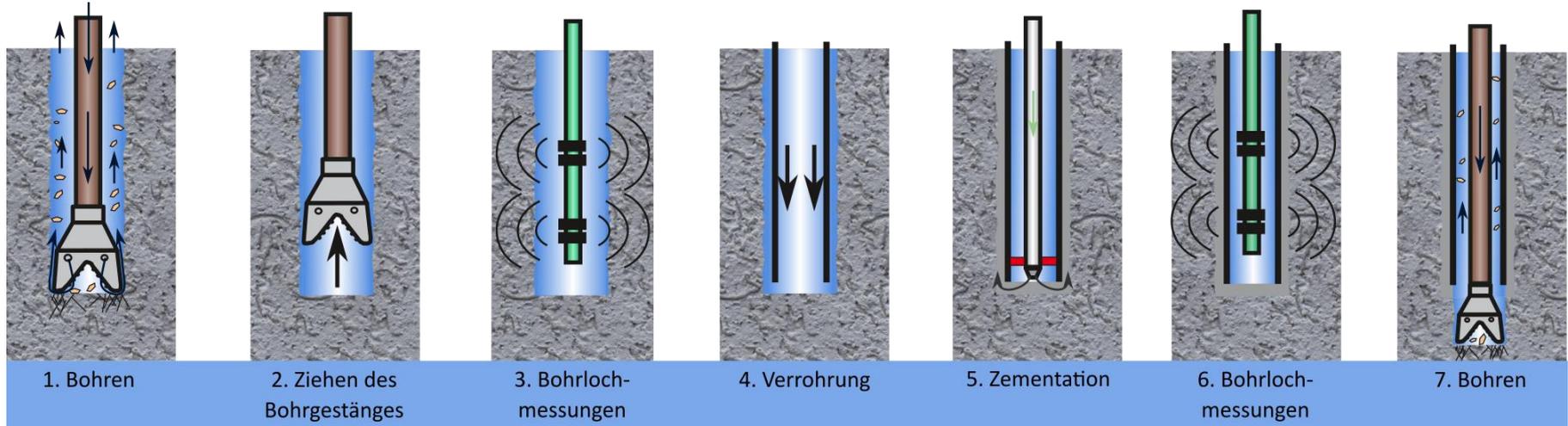
Dr. Kai Zosseder
Daniel Bohnsack
Florian Heine
Florian Konrad
Daniela Pfrang
Felix Schölderle

Friedrich-Alexander Universität Erlangen- Nürnberg (FAU)

Dr. Wolfgang Bauer

Anhang

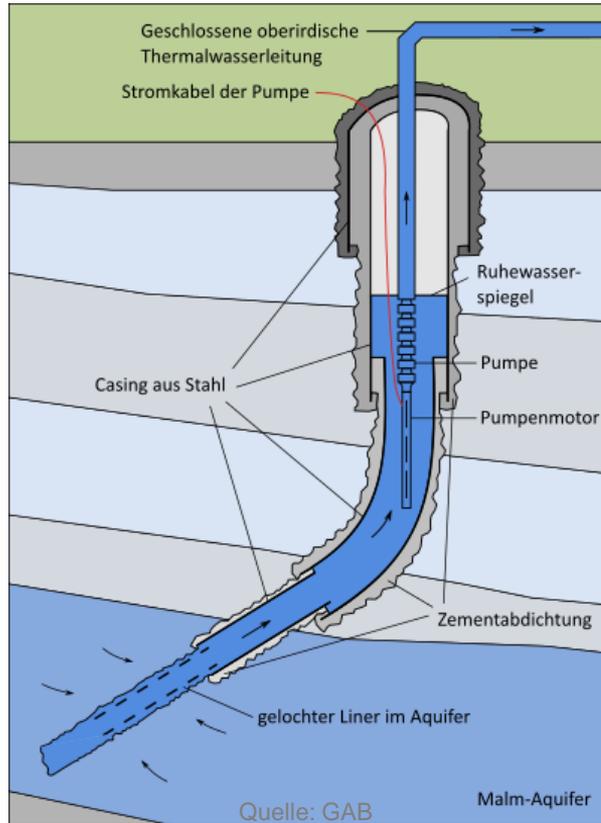
Auf dem Weg zur Geothermieanlage: Bohrphase



Quelle: GAB

- Schritte beim Bohren einer Sektion

Auf dem Weg zur Geothermieanlage: Bohrphase



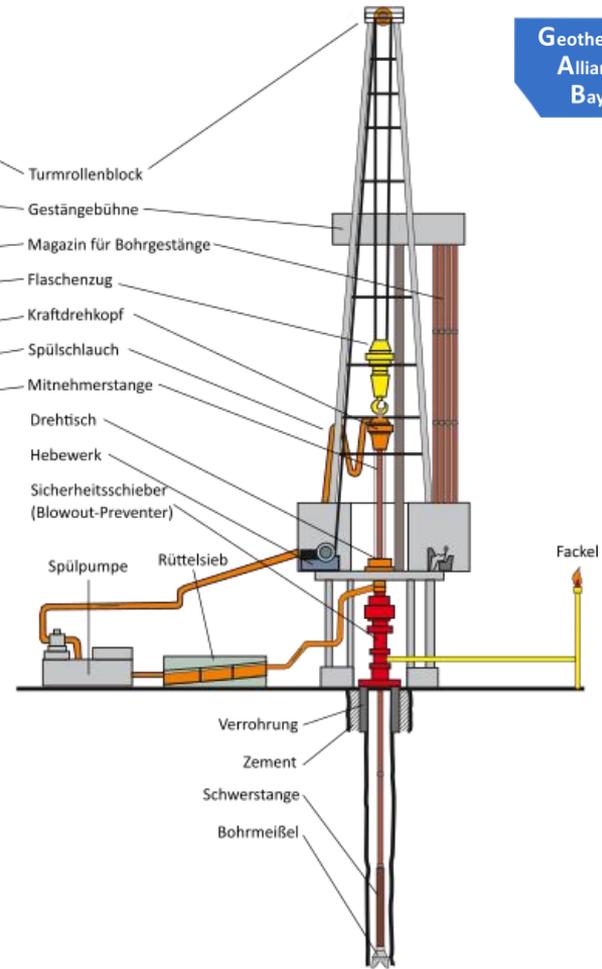
- Fertig gestellte Förderbohrung

Bohrphase

- Bohrturm



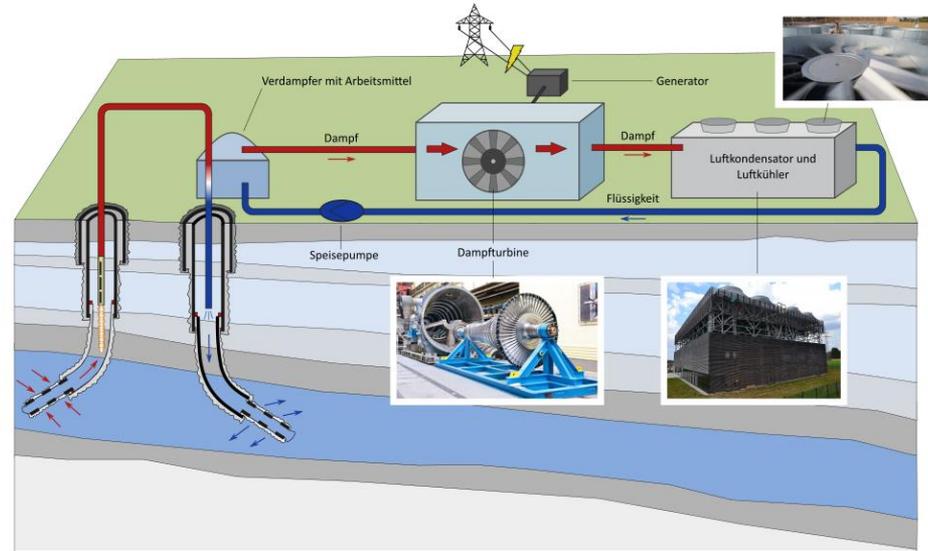
Bohrarbeiten bei Geretsried



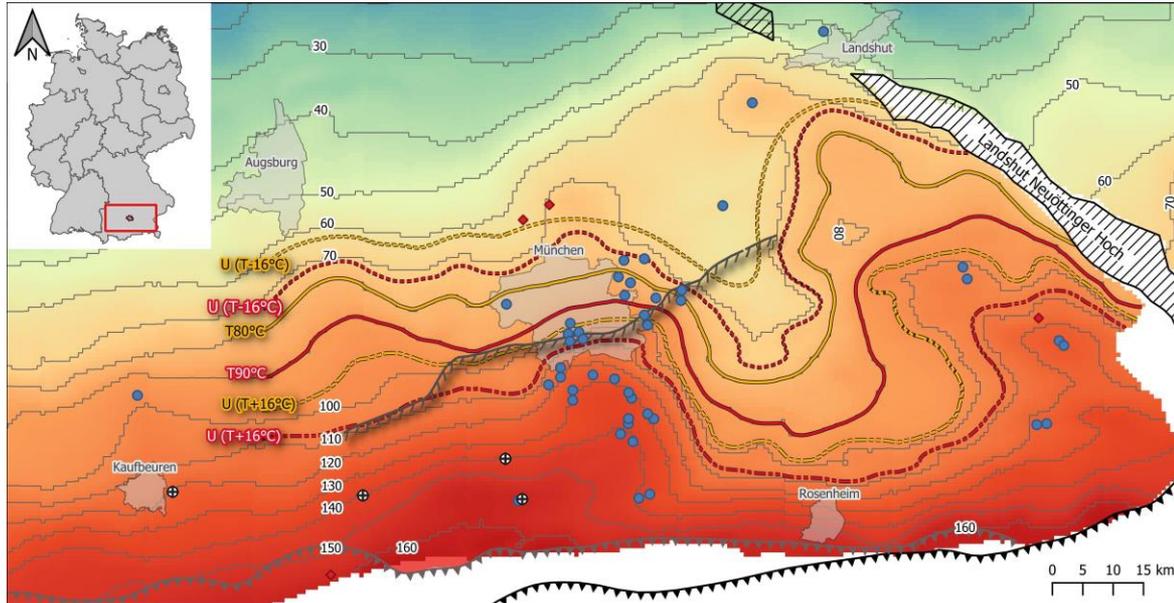
Quelle: GAB

Auf dem Weg zur Geothermieanlage: Stromproduktion

- Stromproduktion aus Geothermie ist möglich
- In Bayern sollte die Wärmeproduktion Vorrang haben
- Zur Stromproduktion wird die Wärme auf ein Arbeitsmittel übertragen, das verdampft und damit eine Turbine antreibt.



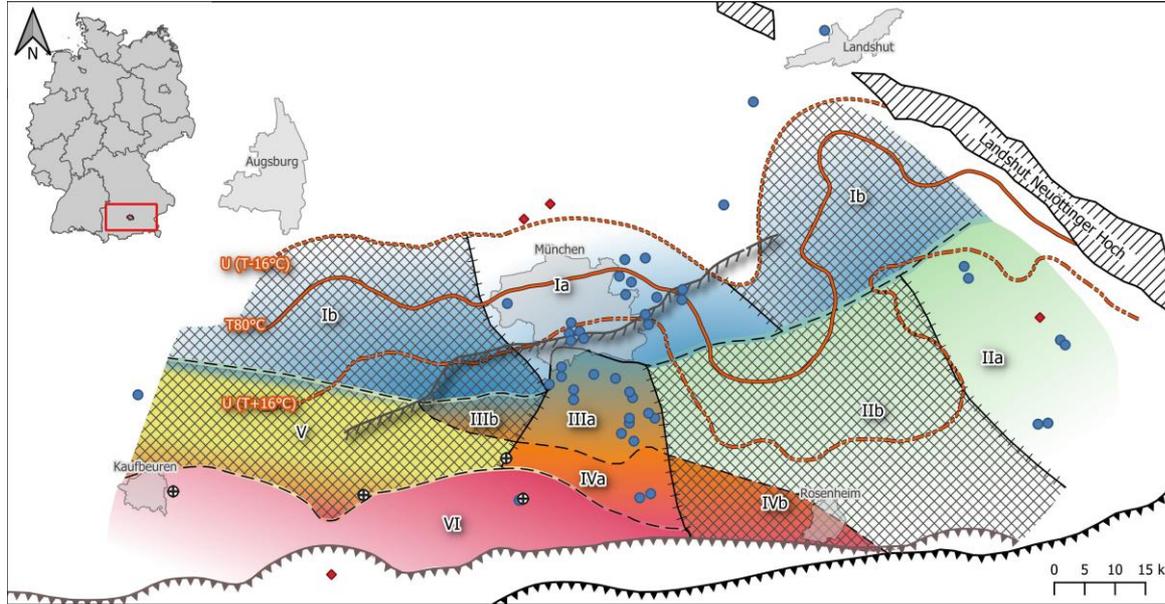
Potential für Tiefengeothermie: Temperatur



- | | | |
|----------------------------|--|----------------------------------|
| Erschließungen | Isothermen | Schüttungstemperatur (°C) |
| ● Geothermie | --- Schüttungstemperatur | ■ < 10 |
| ◆ Kohlenwasserstoff | — Iso T80°C | ■ 10-30 |
| ⊕ technisch nicht fündig | - - - Iso T80°C obere Grenze (U+16°C) | ■ 30-50 |
| Tektonische Grenzen | - · - · - Iso T80°C untere Grenze (U-16°C) | ■ 50-70 |
| ▲ Grenze Alpen | — Iso T90°C | ■ 70-90 |
| ▲ Grenze Faltenmolasse | - · - · - Iso T90°C obere Grenze (U+16°C) | ■ 90-110 |
| ▲ Markt-Swabener-Verwurf | - · - · - Iso T90°C untere Grenze (U-16°C) | ■ 110-130 |
| | | ■ 130-150 |
| | | ■ > 150 |

Quelle: GAB
Datenbasis: GeotIS (Temperatur),
Daten von Bestandsbohrungen
Zosseder et al. (2022)

Potential für Tiefengeothermie: Schüttung



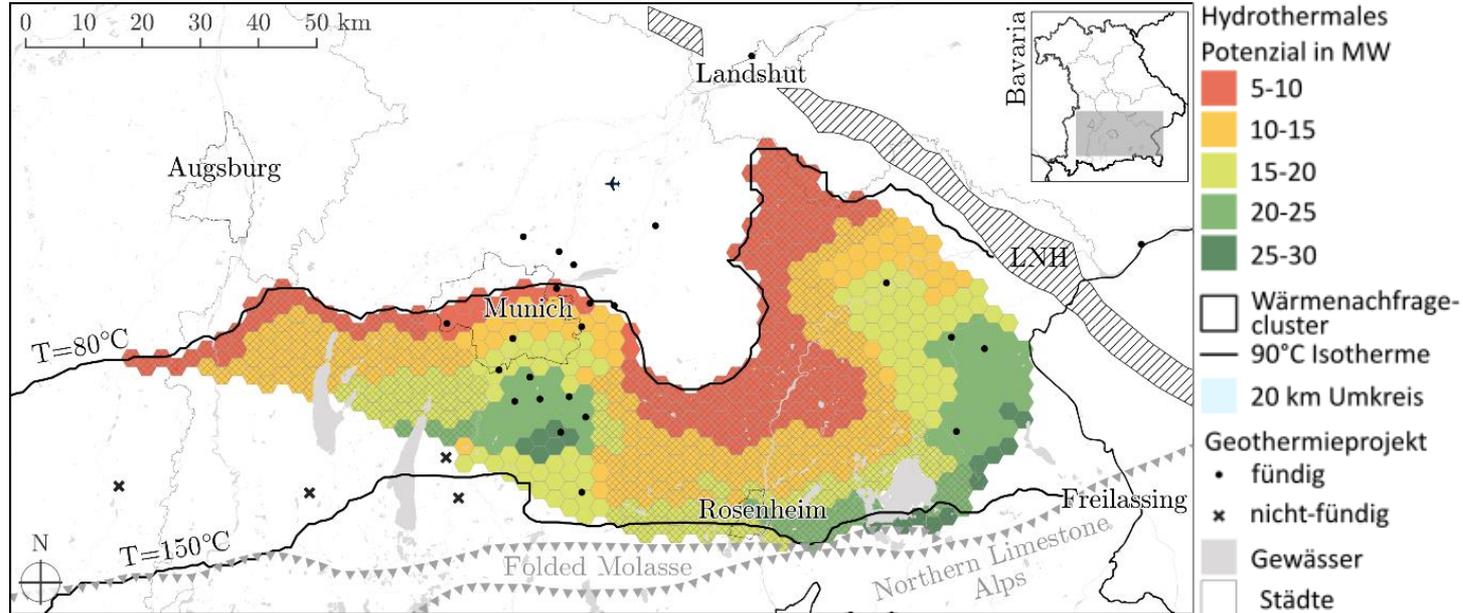
Hydraulische Zonierung

Zonen	Schüttungen [l/s] Spannweiten	angenommener Mittelwert [l/s]
I a,b	75-180	90
II a	65-180	90
II b	65-180	70
III a, b	40 -150	80
IV a, b	40-60	50
V	5-50	15
VI	0-10	5

Quelle: GAB

Datenbasis: GeotIS (Temperatur), Daten von Bestandsbohrungen Zosseder et al. (2022)

Technisches Potential

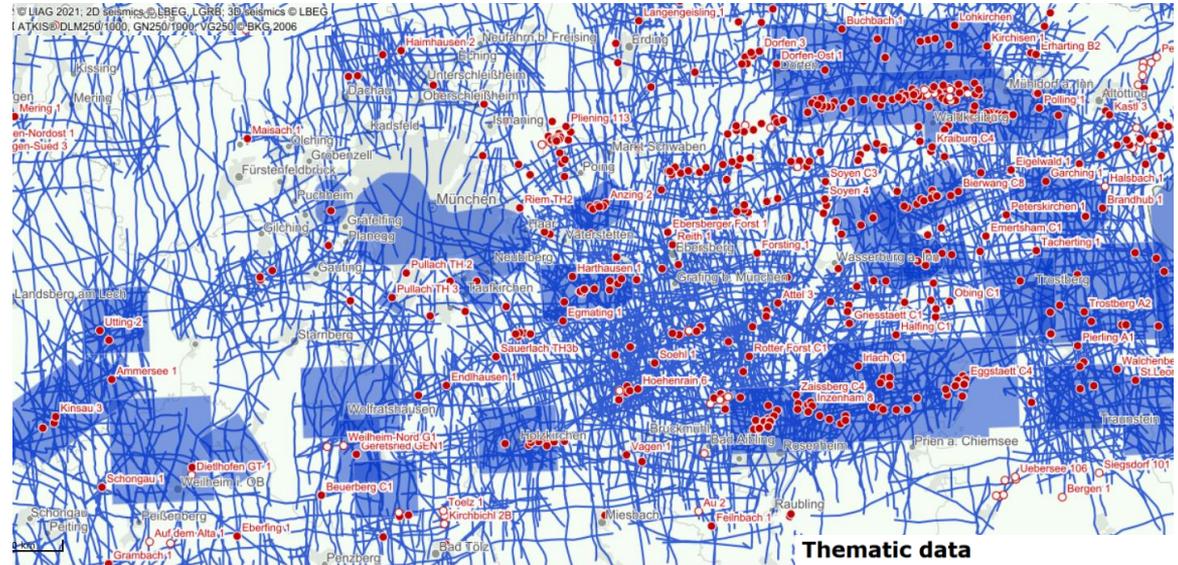


Quelle: Molar-Cruz et al. (2022), GAB

- Das **technische Potential** entspricht 8929 MW_{th}
- Zur Hebung des technischen Potentials wären ca. **600 Dubletten** notwendig (aktuell 24 Anlagen!)

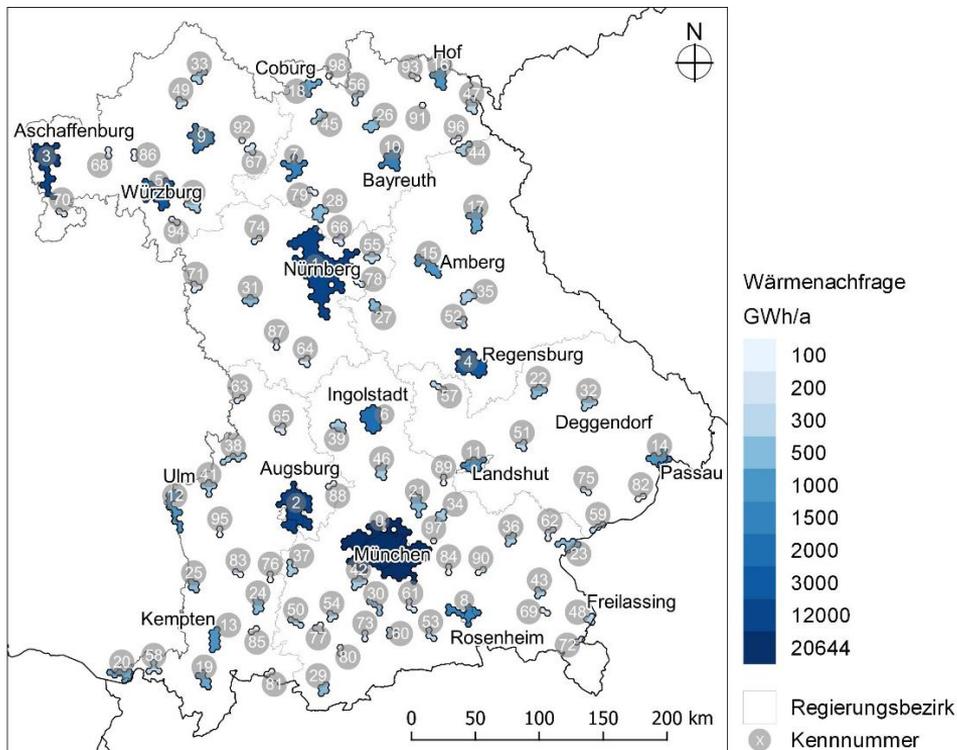
Exkurs: geologische Unsicherheit und Fündigkeit

- bei Geothermie: Bohrung ist fündig, wenn Temperatur und Schüttung hoch genug sind
- Erwartungen beruhen auf wirtschaftlichen Überlegungen
- Geologische Unsicherheiten können durch weitere Informationen verringert werden
- **Im Molassebecken waren bisher alle für Wärme geplanten Projekte fündig.**





Wärmenachfrage



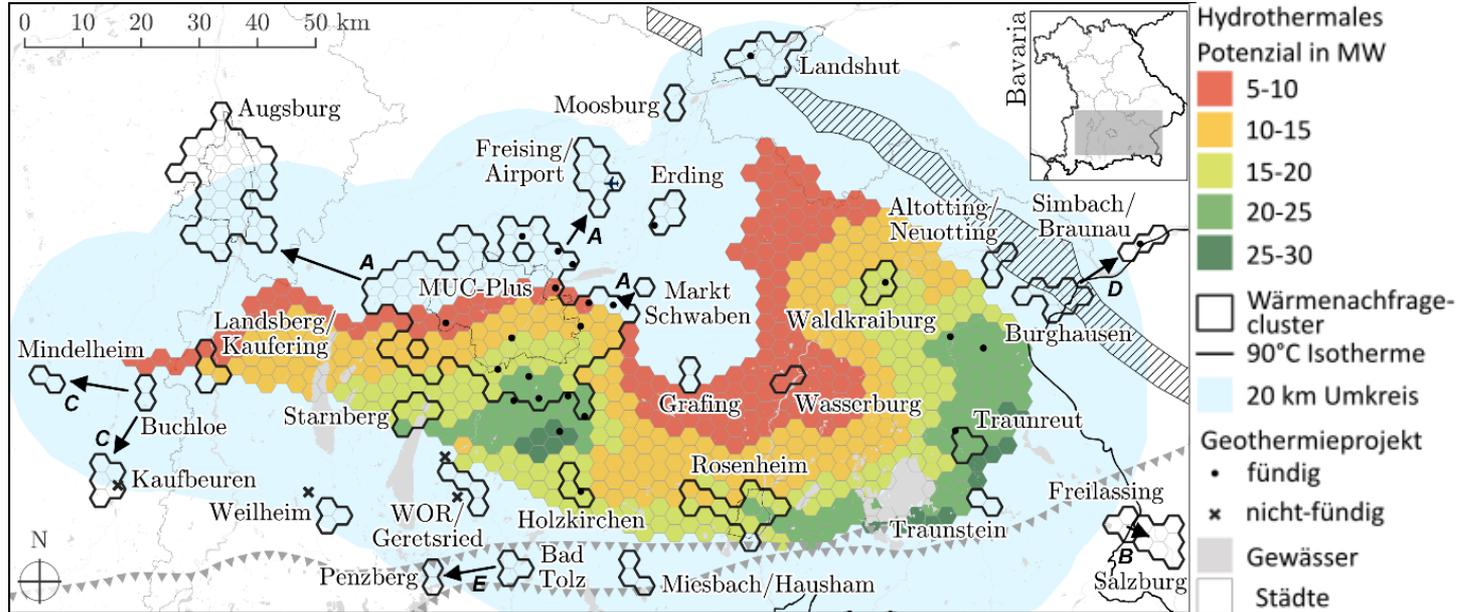
Quelle: Molar-Cruz et al. (2022), GAB

Wärmenachfrage-Cluster geeignet für Fernwärme

- Wärmenachfrage in Bayern: 160 TWh
- Fernwärme-Eignung ab **10 GWh/km²**

→ **~100 Cluster** identifiziert mit insgesamt 76 TWh Wärmenachfrage (47% der Wärmenachfrage Bayerns)

Technisches Potential und Wärmenachfrage

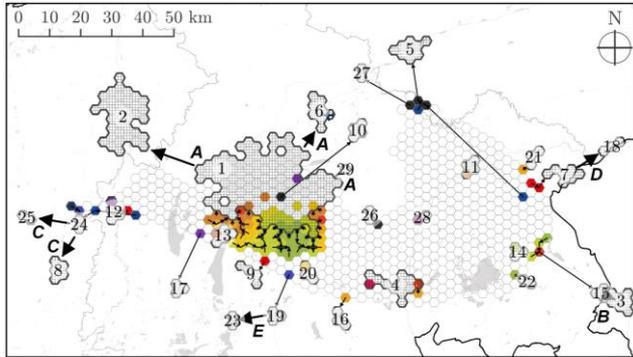


Quelle: Molar-Cruz et al. (2022), GAB

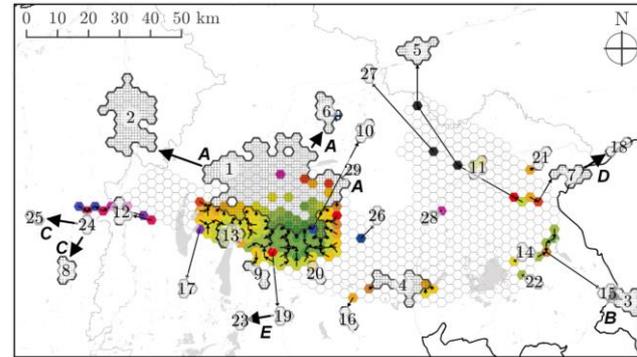
- **Bevorzugte Gebiete** für die Geothermie vielfach **außerhalb der Wärmenachfrage-Cluster**
- Nutzung der Tiefengeothermie außerhalb des definierten Potentialgebiets **über Wärme-Verbundleitungen möglich**

Kosten-Optimierung

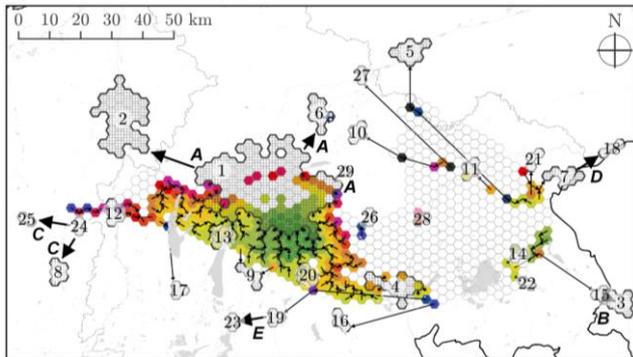
(a) 35%



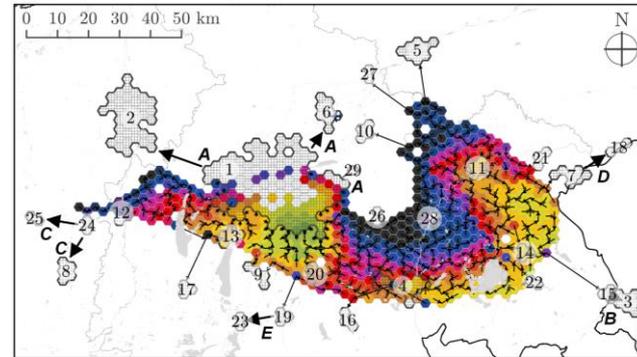
(b) 50%



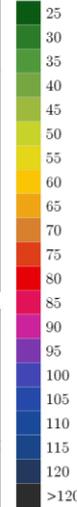
(c) 70%



(d) 100%



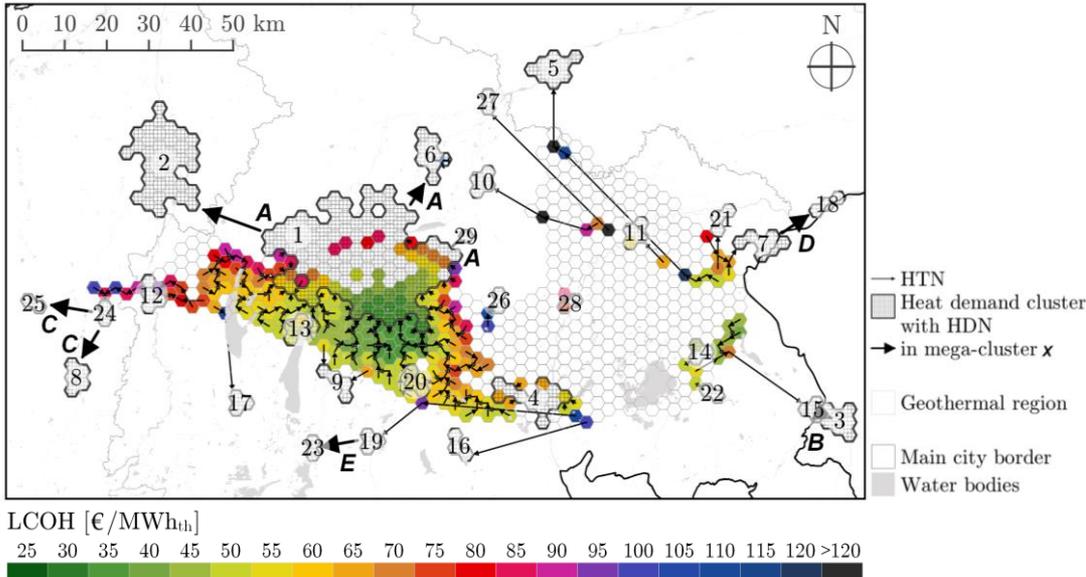
Cost of heat supply
with GDHS
LCOH (€/MWh_{th})



— HTN
 ■ Heat demand cluster with HDN
 → in mega-cluster x
 — Main city border
 ■ Water bodies

Quelle: Molar-Cruz et al. (2022), GAB

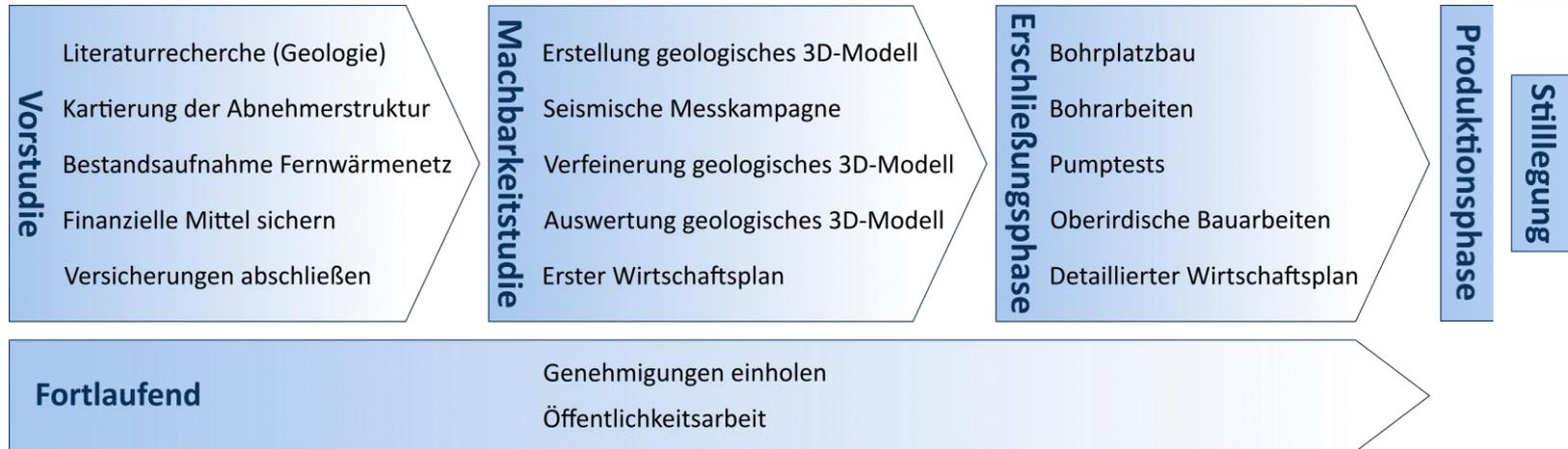
Optimierungs-Szenario 70%



Quelle: Molar-Cruz et al. (2022), GAB

- 214 Dubletten (~ 3550 MW)
- ~ 7000 Vollaststunden
- Gesamtkosten: 1,5 Mrd €/Jahr
- Wärmegestehungskosten 39,4 €/MWh
- Einsparung: 4,9 Mio t CO₂Äq/a

Schritte zur Geothermie-Anlage

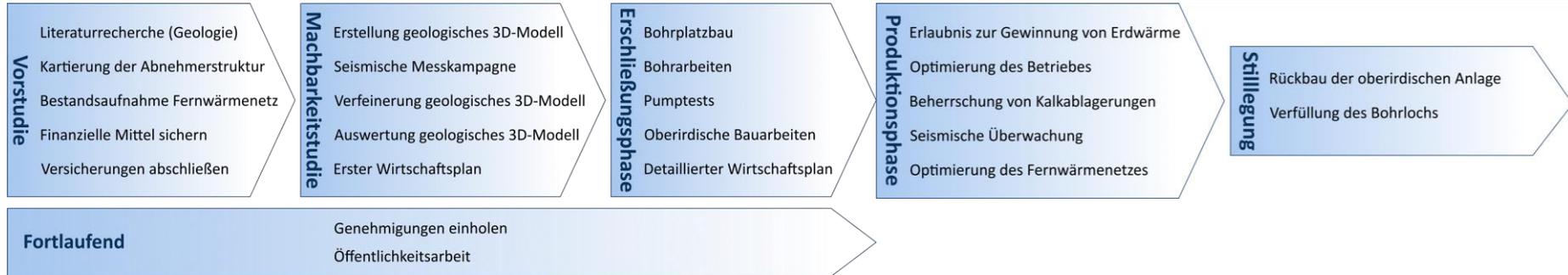


Quelle: GAB

Ablauf eines Geothermieprojektes

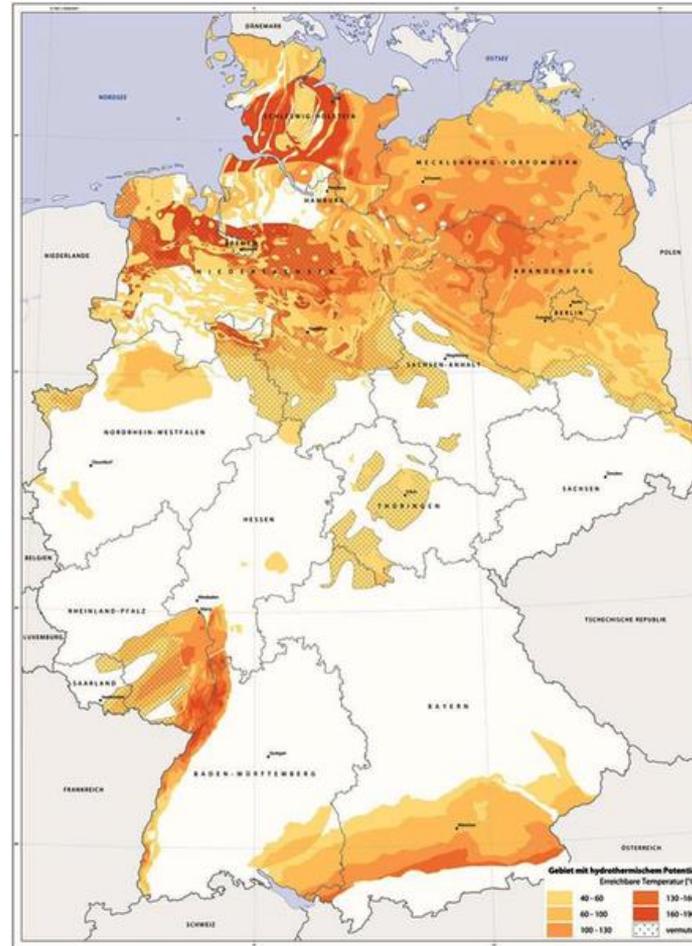
- Entscheidende Faktoren:
 - Unterirdisch: Art und Beschaffung des Reservoirs (Temperatur und Durchlässigkeit)
 - Oberirdisch: Wärmebedarf und Abnehmerstruktur (Wärmeabnehmerdichte)

→ Jedes Geothermieprojekt ist einzigartig, Projektmanagement notwendig



Potenzial in Deutschland

- Hotspots:
 - Molassebecken
 - Oberrheingraben
 - Norddeutsches Becken
- Das hydrothermale Gesamtpotenzial wird auf ca. 300 TWh / Jahr geschätzt (Fraunhofer IEG)
- Das nicht genutzte Potenzial ist riesig!

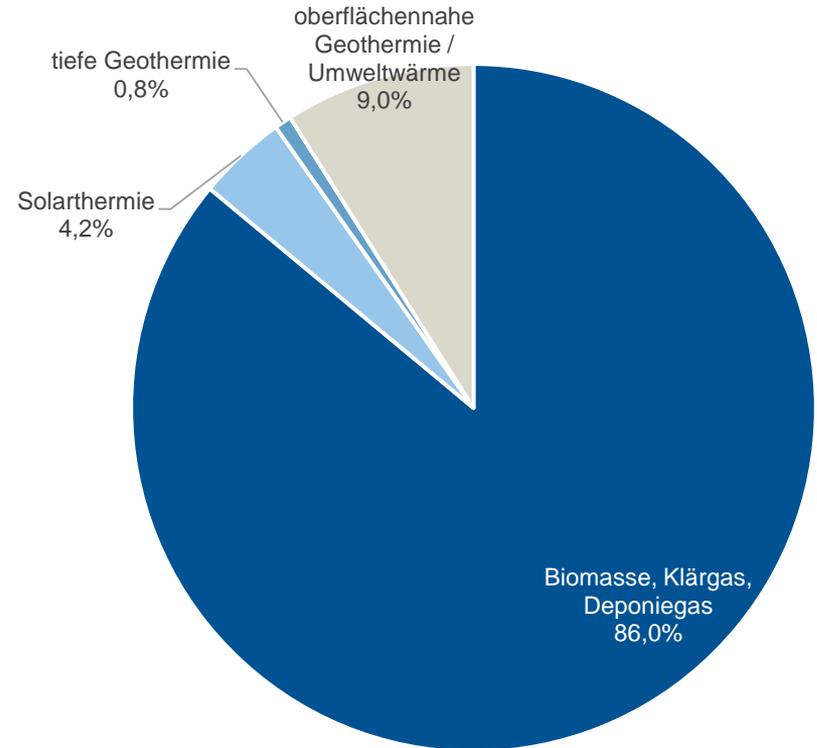


Quelle: Schulz

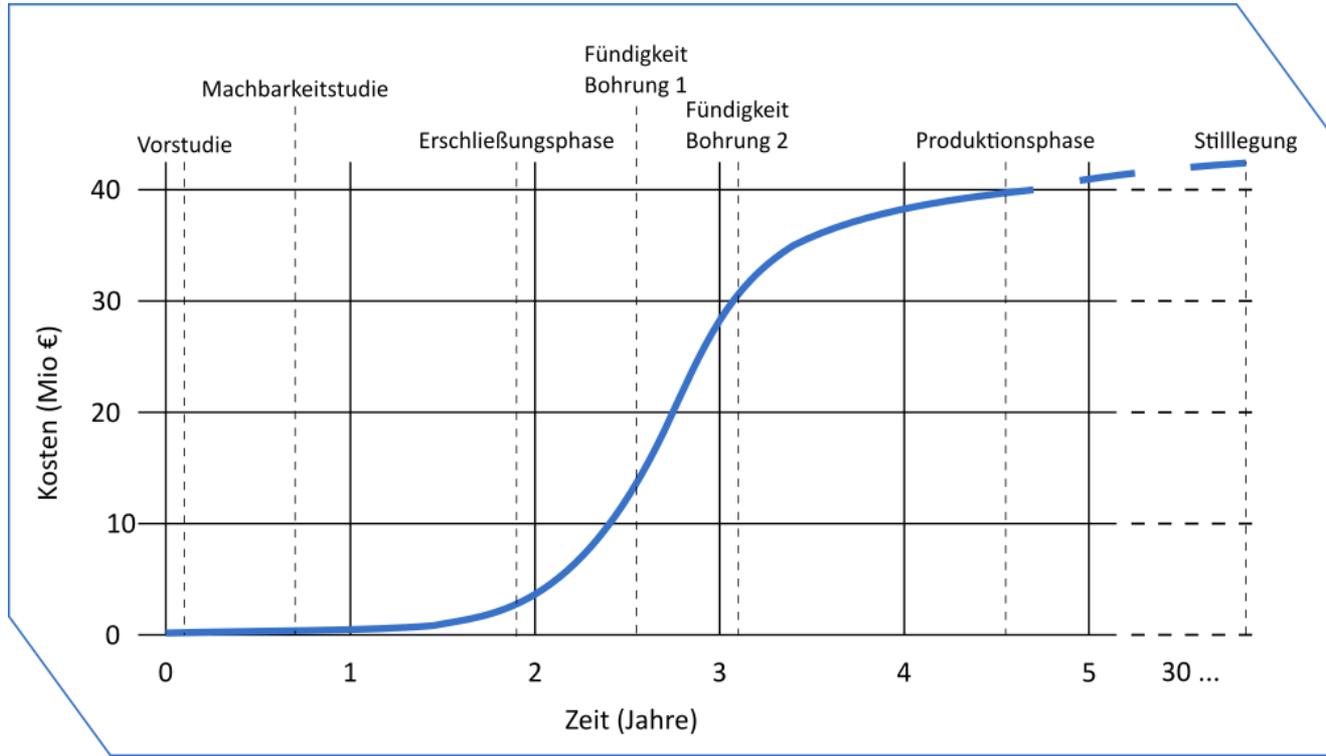
Nutzung der Tiefengeothermie in Deutschland

- 16,5 % der Wärmeerzeugung aus erneuerbaren Energien: 199,4 TWh
 - Hauptanteil: Biomasse
 - Tiefengeothermie: 0,8 %
- großes Potential!

Wärmeverbrauch aus erneuerbaren Energien 2021



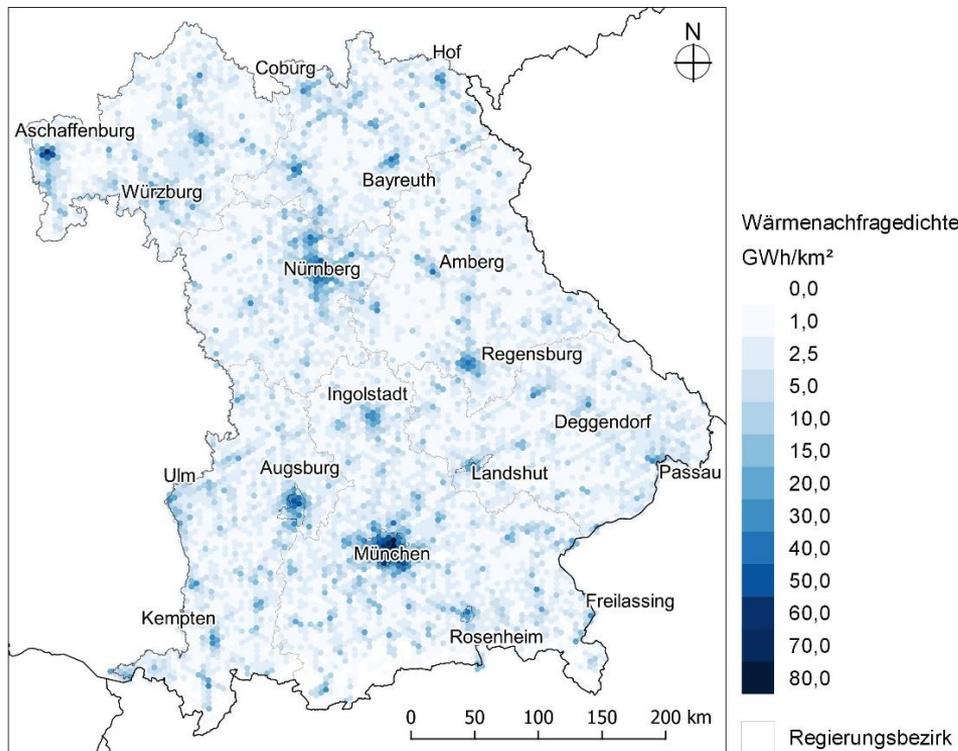
Ablauf eines Geothermieprojektes



Quelle: BMU (verändert)

Wärmenachfragecluster und Fernwärmepotential

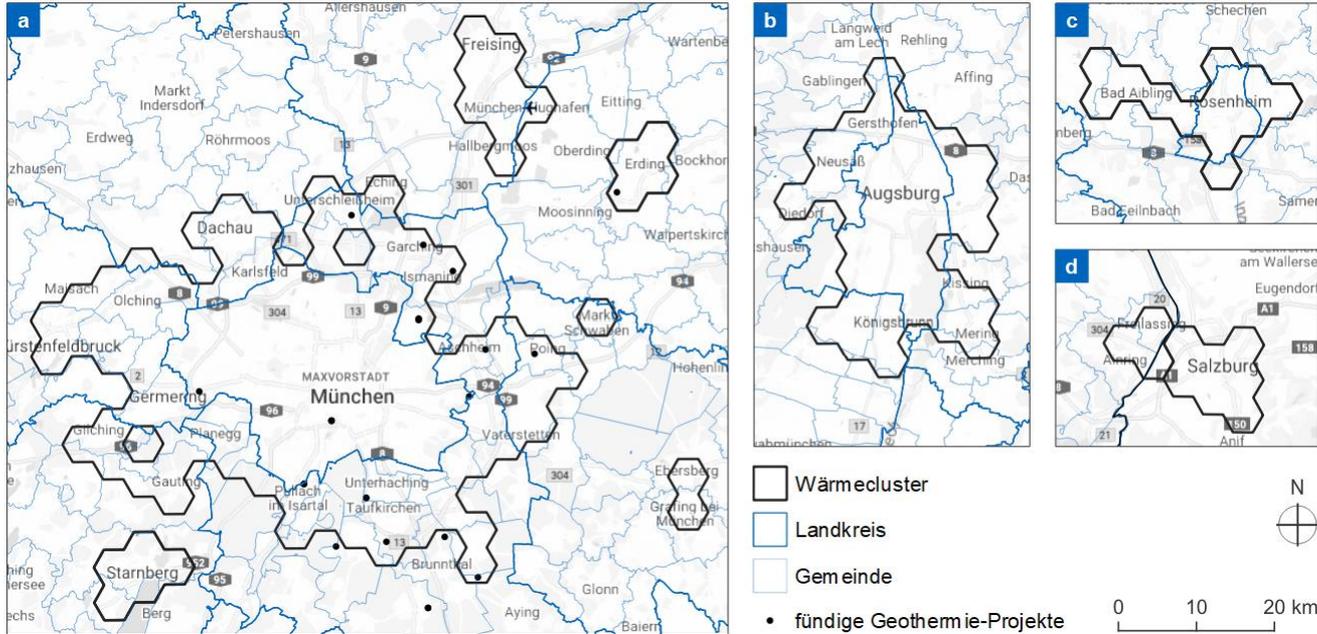
Raumwärme und Warmwasser



Wärmenachfrage-Cluster geeignet für Fernwärme

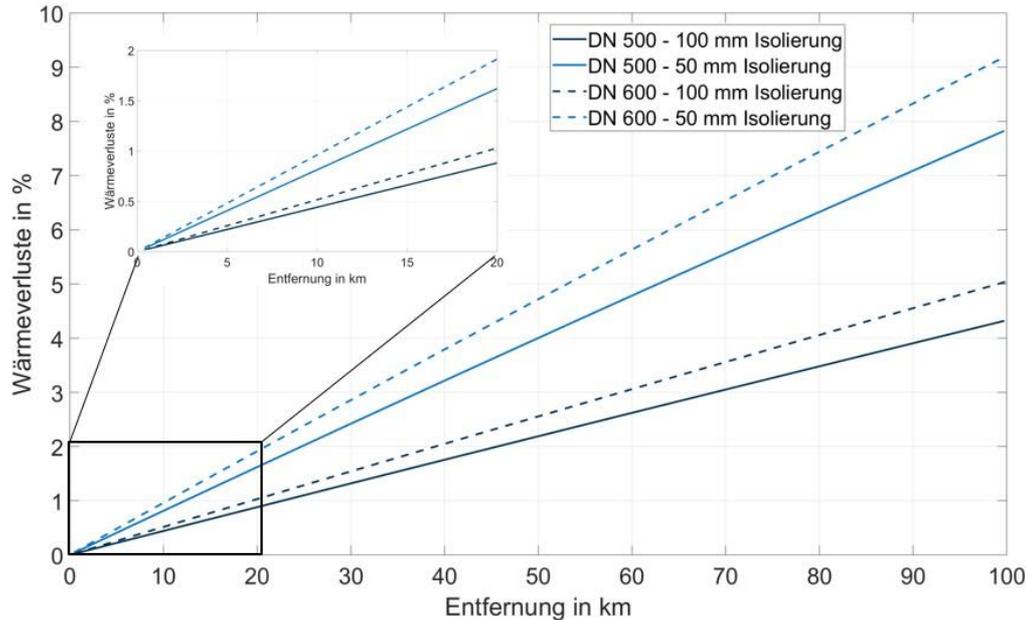
- **30% der CO₂-Emissionen entfallen auf Raumwärme und Warmwasser!**
- Wärmenachfrage in Bayern: 160 TWh
- Fernwärme-Eignung ab **10 GWh/km²**
- **~100 Cluster** identifiziert mit insgesamt 76 TWh Wärmenachfrage (47% der Wärmenachfrage Bayerns)

Potentielle Cluster für Fernwärme - Beispiel



- **MUC-Plus:** München, FFB, Dachau, Gauting, Unterhaching, Poing,...
- **Augsburg:** Augsburg, Königshorn, Mering,...
- **Rosenheim:** Rosenheim & Bad Aibling
- **Salzburg:** Salzburg, Freilassing

Wärmetransport über längere Strecken



Auswirkungen von Wärme und Druckverlusten

- Nur **2 % Wärmeverlust nach 20 km** (DN 600 – 50 mm)
- Wärmeverluste abhängig von Isolierungsdicke und Durchmesser

- Fernwärme lässt sich über längere Strecken mit geringen Verlusten transportieren

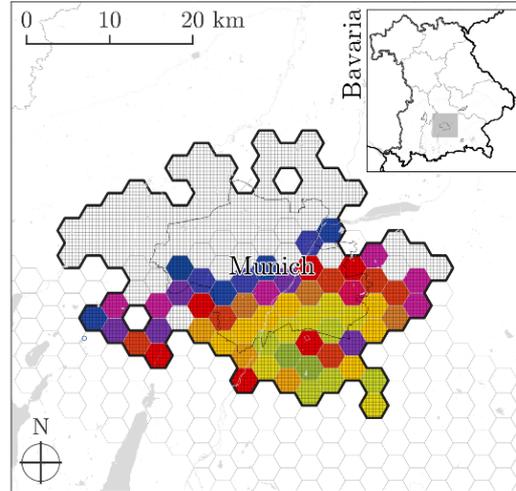
Kostenoptimierung

CAPEX **OPEX**

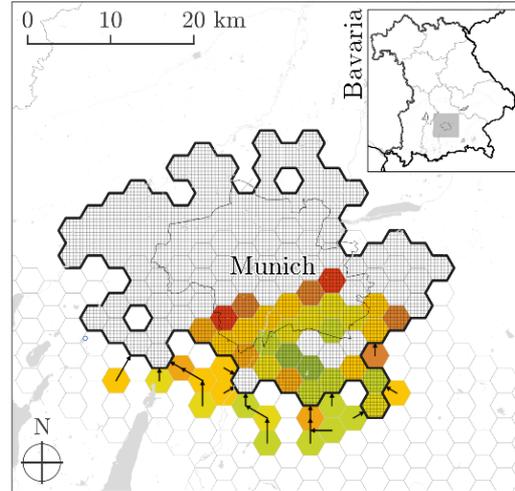


Optimierungsbeispiel

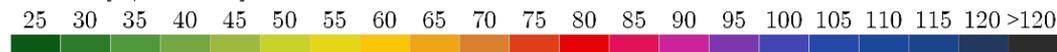
(a) System without HTN



(b) System with HTN



LCOH [€/MWh_{th}]



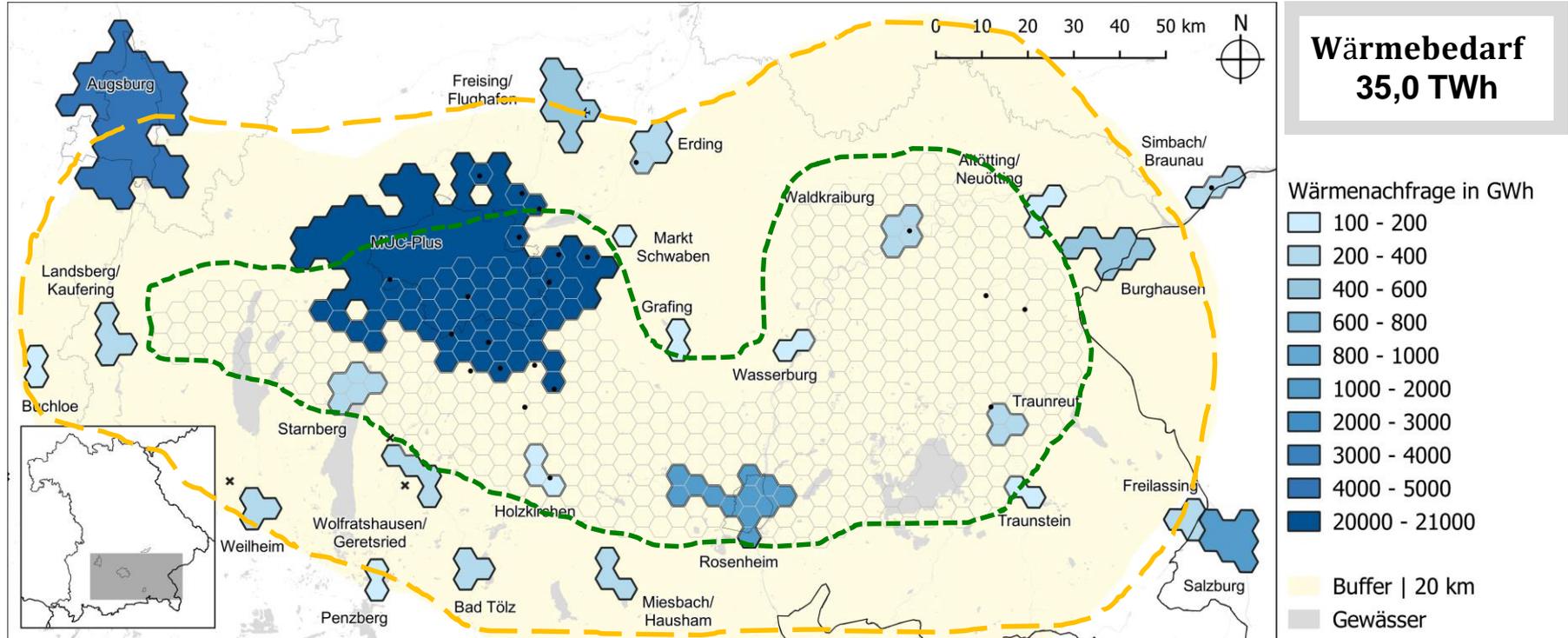
→ HTN Heat demand cluster with HDN Geothermal region Main city border Water bodies

Optimierungsbeispiel

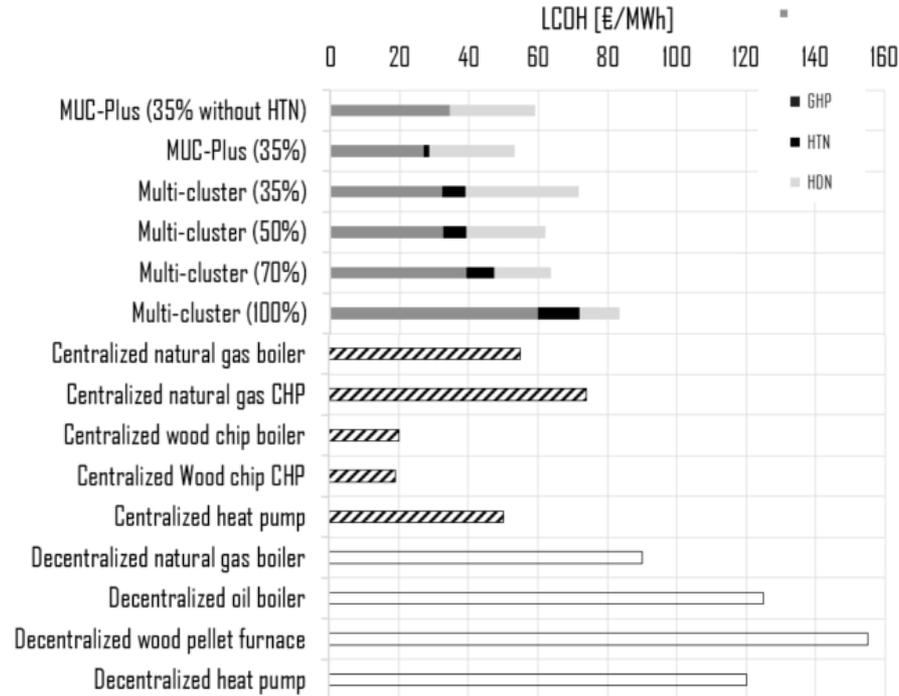
- LCOH von 34,5 €/MWh → 25,5 €/MWh ~ **26% Kostenreduktion**
- Gleiche Wärmemenge bei Reduktion der Anlagenanzahl um 25%
- Senkung insbes. der OPEX
- CAPEX in etwa gleich
- Jährliche Systemkosten pro Projekt steigen um ~ 10%

Studienggebiet

25 Wärmenachfrage-Cluster im erweiterten Potentialgebiet



Vergleich Wärmegestehungskosten

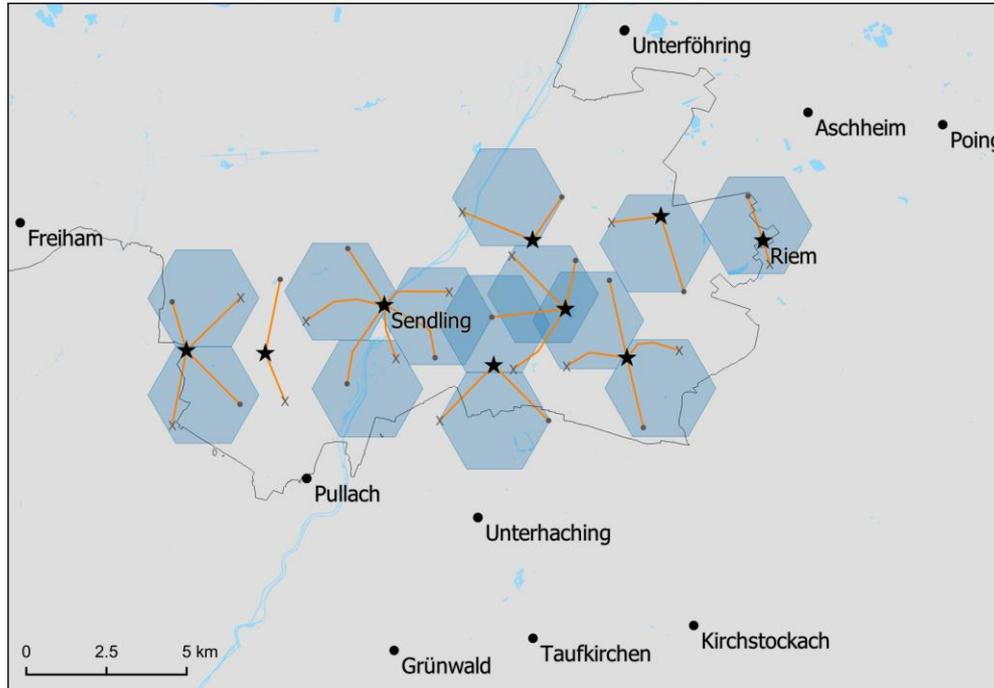


Mögliche Ausbauszenarien bis 2050

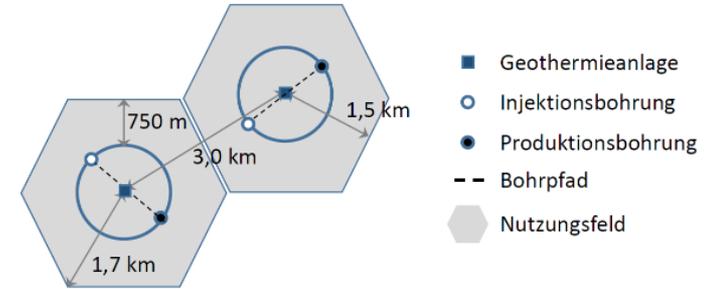
Jahr	Hydrothermal (blau) EGS (rot)	Beschreibung zur Erreichung des Ziels ein Drittel des Fernwärmebedarfs in Bayern über Geothermie zu decken
2020	22 Dubletten	<ul style="list-style-type: none"> Status Quo (vgl. Kapitel 1.2)
2030	50 Dubletten	<ul style="list-style-type: none"> Strategischer Masterplans Geothermie Nachweis geothermisches Potential durch Probebohrungen (z. B. Raum Rosenheim) Bau bereits geplanter Verbundleitungen (z. B. Baierbrunn-Pullach-München, Dürrnhaar-Kirchstockach-Sauerlach-München) Planung/Bau 30 weiterer Geothermie-Dubletten (10 Projekte á 3 Dubletten) im bekanntem Potentialgebiet z. B. Münchner Süden, und in Südostbayern unter Einbezug von Verbundleitungen Initiale Planung großer Verbundnetze; z. B. München-Augsburg; Traunreut-Traunstein-Freilassing-Salzburg; München – Flughafen; Fernwärmering München Berücksichtigung der Kälte und Kaskadennutzung zur Erhöhung der Auslastung bei neuen und bestehenden Projekten Integration fündiger Geothermieprojekte in bestehende Wärmenetze (z. B. Altdorf-Landshut) Erprobung Technische Konzepte für nicht fündige Bohrungen in der Südwestmolasse (z. B. Geretsried) Pilotprojekt in geringdurchlässigem Gestein basierend auf der EGS-Technologie in Nordbayern (z. B. Raum Bamberg-Coburg)
	+30	
2040	110 Dubletten	<ul style="list-style-type: none"> Ausbau der Tiefengeothermie: 60 neue Dubletten (20 Projekte á 3 Dubletten) im erweiterten Potentialgebiet des Molassebeckens Forcierter Ausbau von Verbundleitungen: Schaffung von Megaclustern; Versorgung Außerhalb des Potentialgebiets: (z. B. MUC-Plus-Augsburg, MUC-Plus-Flughafen-Freising-Erding, Rupertiwinkl-Salzburg, Rosenheim-Bad Aibling) Intensivierung der Kaskadennutzung insbes. durch den Bau von Gewächshäusern, Ausbau der Kälteversorgung Aufbau lokaler Wärmeversorgung über EGS-Pilotprojekt im Raum Coburg-Bamberg Planung/Umsetzung weiterer EGS-Projekte/Exploration
	+60	
2050	200 Dubletten	<ul style="list-style-type: none"> Ausbau der Tiefengeothermie 90 neue Dubletten (30 Projekte á 3 Dubletten) im erweiterten explorierten Potentialgebiet des Molassebeckens zur Deckung von mindestens eines Drittels des Fernwärmepotentials Bayerns Weiterer Ausbau von Verbundleitungen Erschließung geothermisch günstiger Gebiete Inbetriebnahme von etwa 10 EGS-Projekten
	+90	

Auswahl der Hexagone als Elementareinheit

Bestehende und geplante Geothermieprojekte



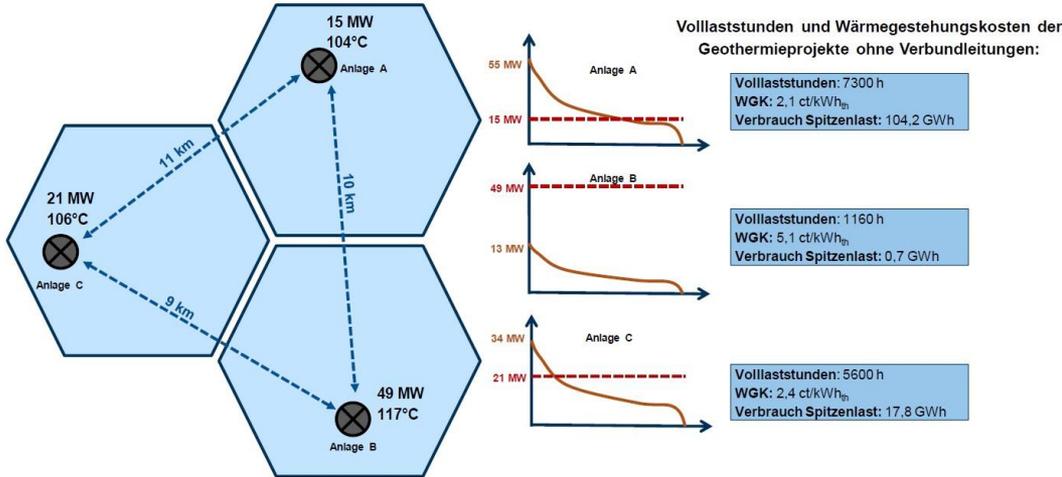
Netzelement



- München
- Netzelemente (Hexagone)
- Bohrlochkopf
 - Bestehende
 - ★ Geplante (SWM)
- Bohrloch-Endpunkt
 - Produktion
 - × Injektion
- Bohrlochpfad

Karte zeigt
schematisch, dass
die meisten
Dubletten in ein
Sechseck passen.

Verbundleitung zwischen einzelnen Anlagen



Ergebnis des Baus von Verbundleitungen:

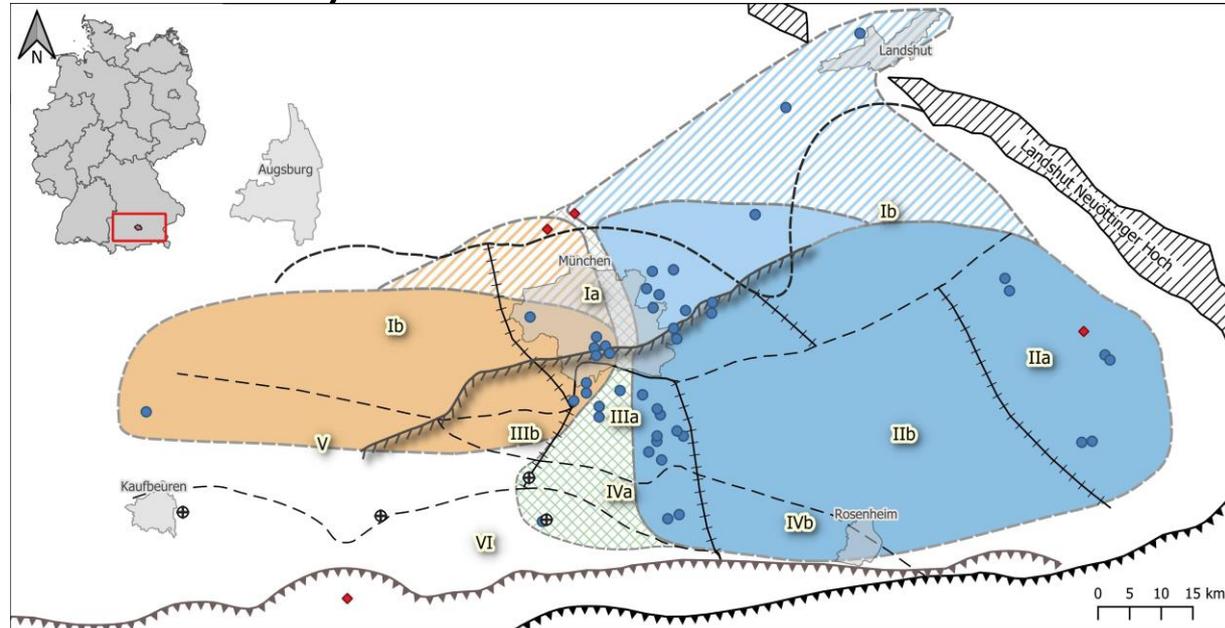
- Der Wärmebedarf der Anlagen A und C lässt sich vollständig mit der Wärme von Anlage B decken → Verdoppelung der Volllaststunden von B
- **Reduzierung des Spitzenlastverbrauchs** aller drei Anlagen um 95 %

Beispiel dreier Anlagen ohne Verbundleitungen

- Anlagen A & C mittelmäßig bis gut ausgelastet → niedrige Wärmegestehungskosten (WGK)
Aber: hoher Spitzenlastverbrauch (Redundanzsysteme notwendig)
- Anlage B schlecht ausgelastet → hohe WGK
Dafür: kaum Spitzenlastverbrauch (Redundanzsystem überflüssig)

Thematische Information Hydrochemie

- Keine signifikante Änderung der hydrochemischen Verhältnisse (Zone I und II, westlich und östliche Änderung bei Zone I ist Änderung nicht in Verbindung mit geringere Permeabilität)
- Änderung der hydrochemischen Verhältnisse (Zone I und III)



Optimierungs-Szenarien

