

Geothermie - Schlüssel für die Wärmewende

„Klimanotstand München“
11. Mai 2021

Dr. Kai Zosseder



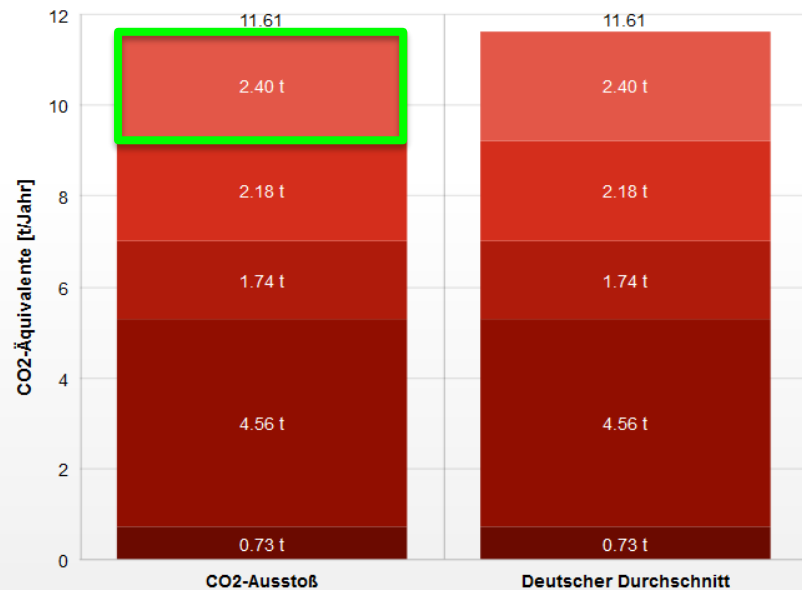
Meine CO₂-Bilanz

Start Heizung Strom Mobilität Ernährung Sonstiger Konsum Mein Ergebnis

Meine CO₂-Bilanz

In der CO₂-Bilanz werden verschiedene Bereiche Ihres Lebens von der *Heizung* bis hin zum *sonstigen Konsum* betrachtet. Berechnet wird nicht nur Ihr CO₂-Ausstoß, sondern auch das, was Sie bei sich selbst oder bei anderen vermeiden.

CO₂-Ausstoß im Vergleich



CO₂-Ausstoß

Der *persönliche CO₂-Ausstoß* zeigt Ihnen wie viel Tonnen CO₂-Äquivalente bei Ihrem heutigen Lebensstil ausgestoßen werden.

Neben CO₂ werden die Treibhausgase Methan und Lachgas berücksichtigt, die mit der entsprechenden Klimawirkung in CO₂-Äquivalente umgerechnet werden. Außerdem wird die zusätzliche Klimawirksamkeit des Fliegens berücksichtigt.

Um diesen einordnen zu können, wird Ihnen zum Vergleich auch immer der *deutsche Durchschnitt* angezeigt.

- Heizung & Strom
- Mobilität
- Ernährung
- sonstiger Konsum
- Öffentliche Emissionen

Energieverbrauch Heizen:
Alleine für das Heizen
kommen **pro Jahr für jeden Deutschen 1,71 Tonnen Kohlendioxid** zusammen

→ [Meine CO₂-Bilanz starten](#)

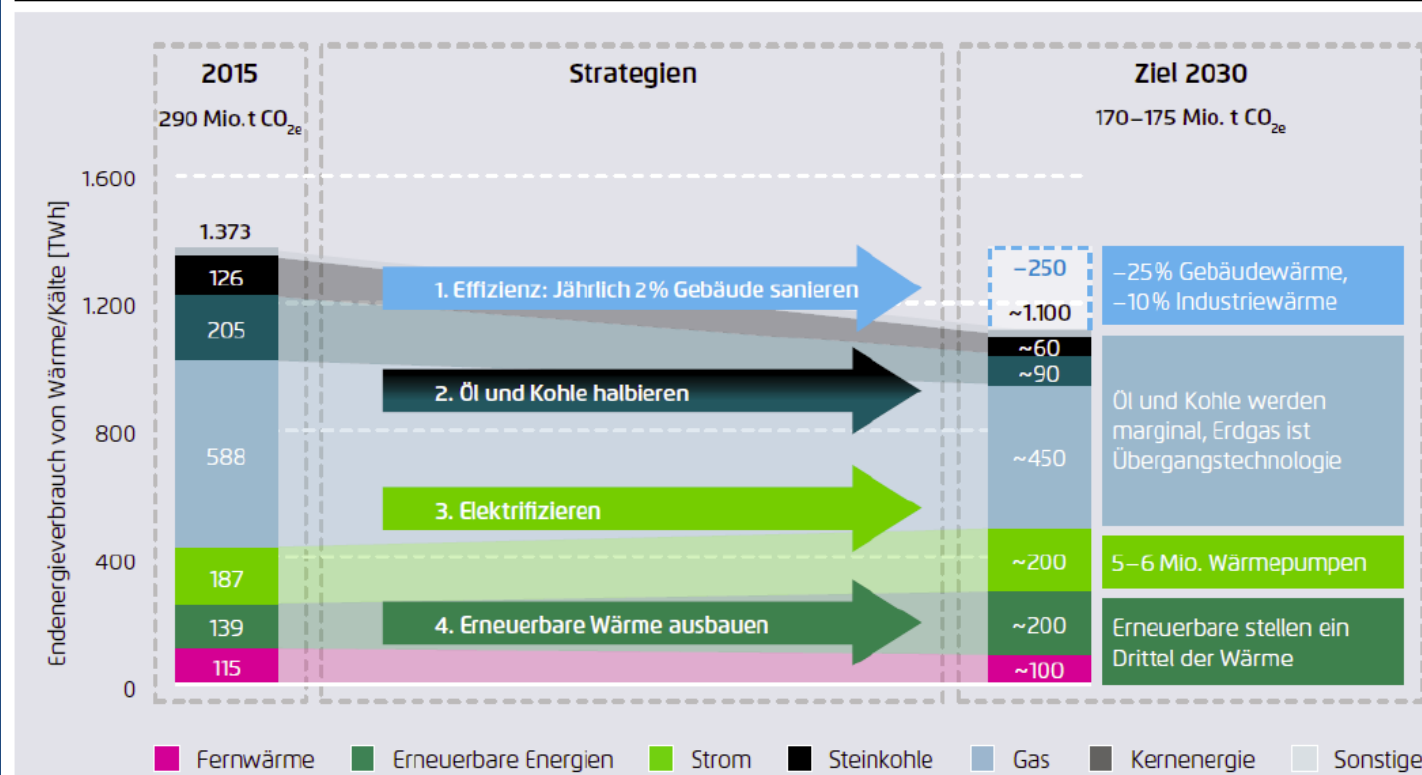
- **Energieverbrauch steigt weltweit deutlich, insbesondere in den Industrieländern**
- **$\frac{3}{4}$ der Energie im Haushalt wird für Heizen und Warmwasser verwendet**
- **Ca. 60% des Energieverbrauchs in Deutschland wird für Heizen und Kühlen von Gebäuden benötigt**
- **Ca. 30% des der CO₂-Emission in Deutschland entfallen auf den Gebäudesektor**

Die Herausforderungen zum Erreichen der gesetzten Klimaziele 2030 ist gewaltig und eine Wärmewende im Gebäudebereich ist unumgänglich und muss dringend angegangen werden





Die Alternative lautet: zu Hause investieren – Wärmewende 2030: Gebäude sanieren (2% p.a.), Kohle- und Ölverbrauch halbieren, Erneuerbare Wärme und Elektrifizierung ausbauen

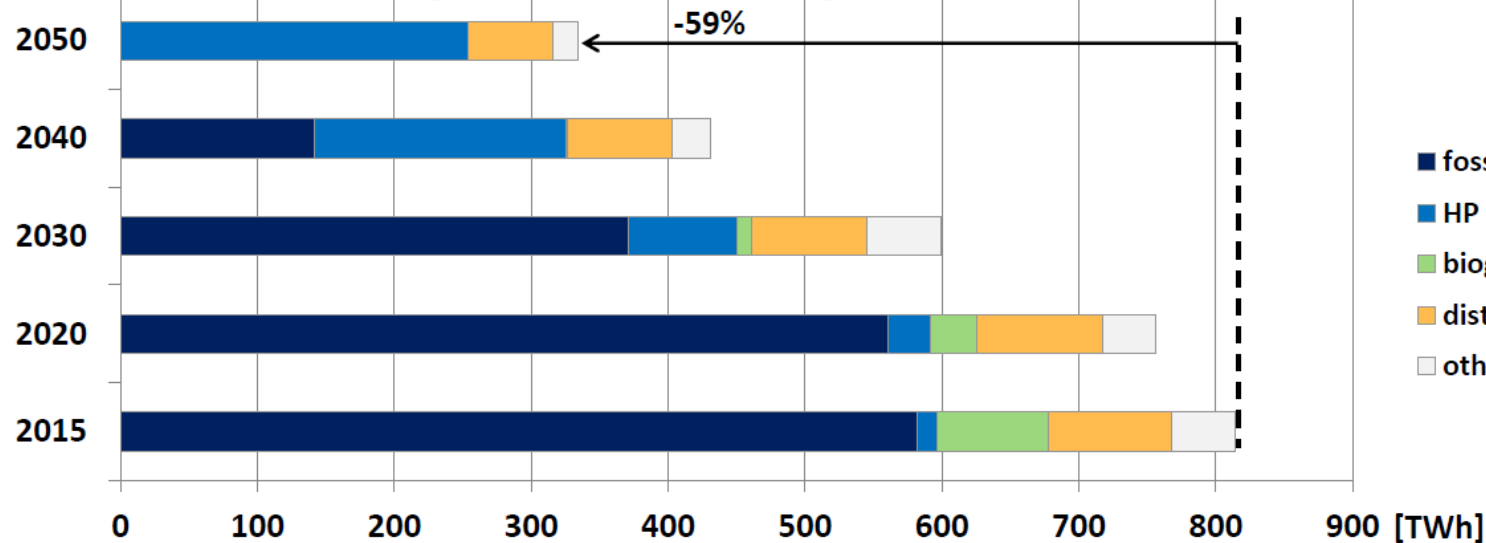


- Herausforderung: Der **größte Energiesektor** hat die **langlebigsten Kapitalstöcke**
- Vier Strategien für die Wärmewende 2030:
- *Efficiency First:* Gebäudewärme sinkt um ein Viertel, Industriegwärme um ein Zehntel
- Kohle- und Ölverbrauch mehr als halbieren, Erdgas als Übergangstechnologie nutzen
- Erneuerbare stellen ein Drittel der Wärme
- Wärmesektor mit 5 – 6 Mio. Wärmepumpen elektrifizieren

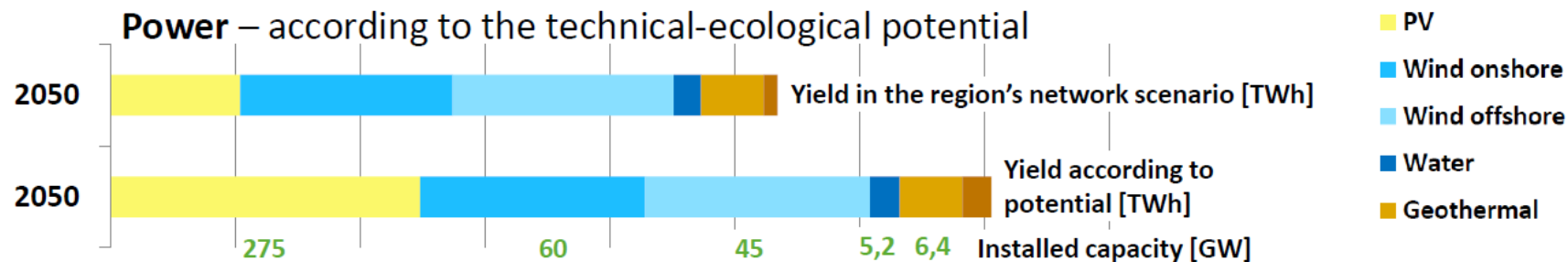
3 HEAT SUPPLY BECOMES RENEWABLE — UBA MODEL CALCULATIONS AND SCENARIOS

Heat Supply and Power Supply with Low-carbon Technologies

Heat – according to scenario modeling „GreenEe-Scenario“

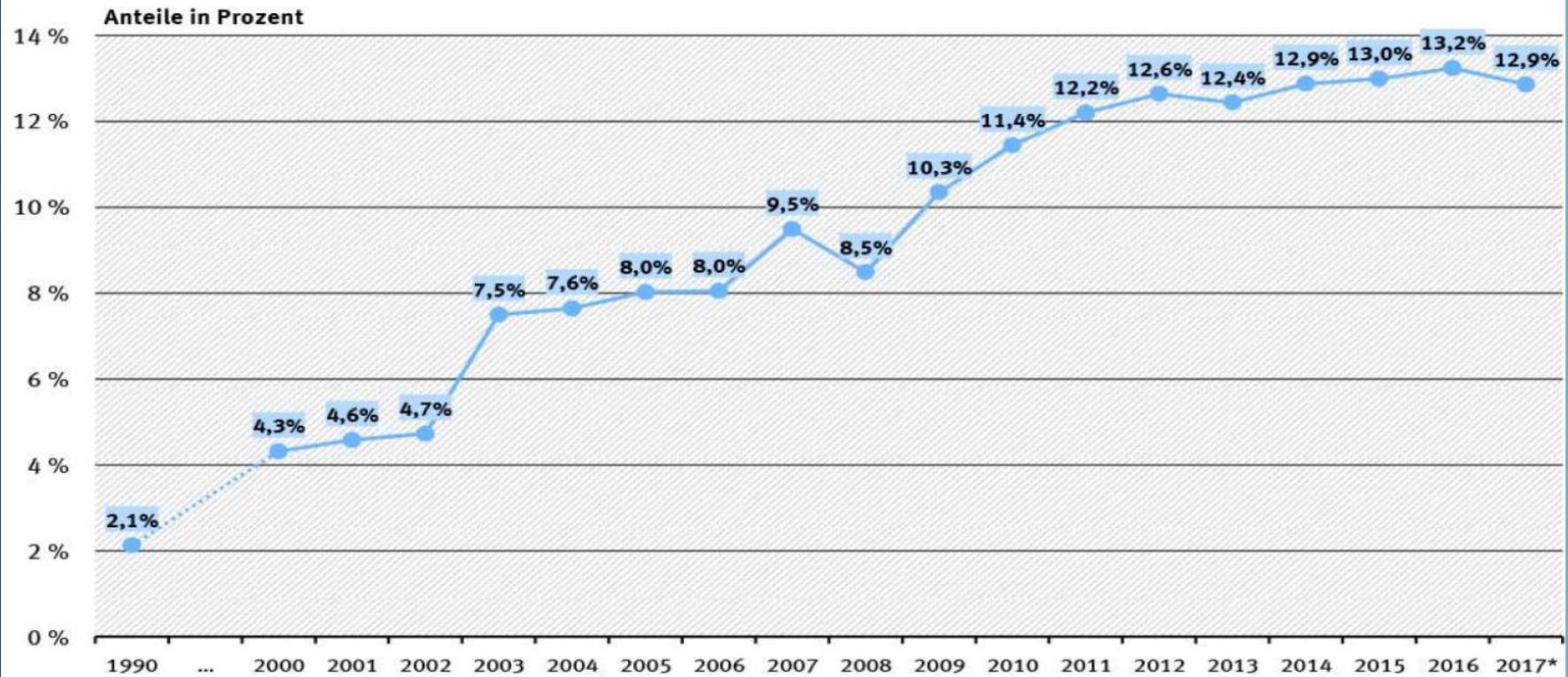


Power – according to the technical-ecological potential



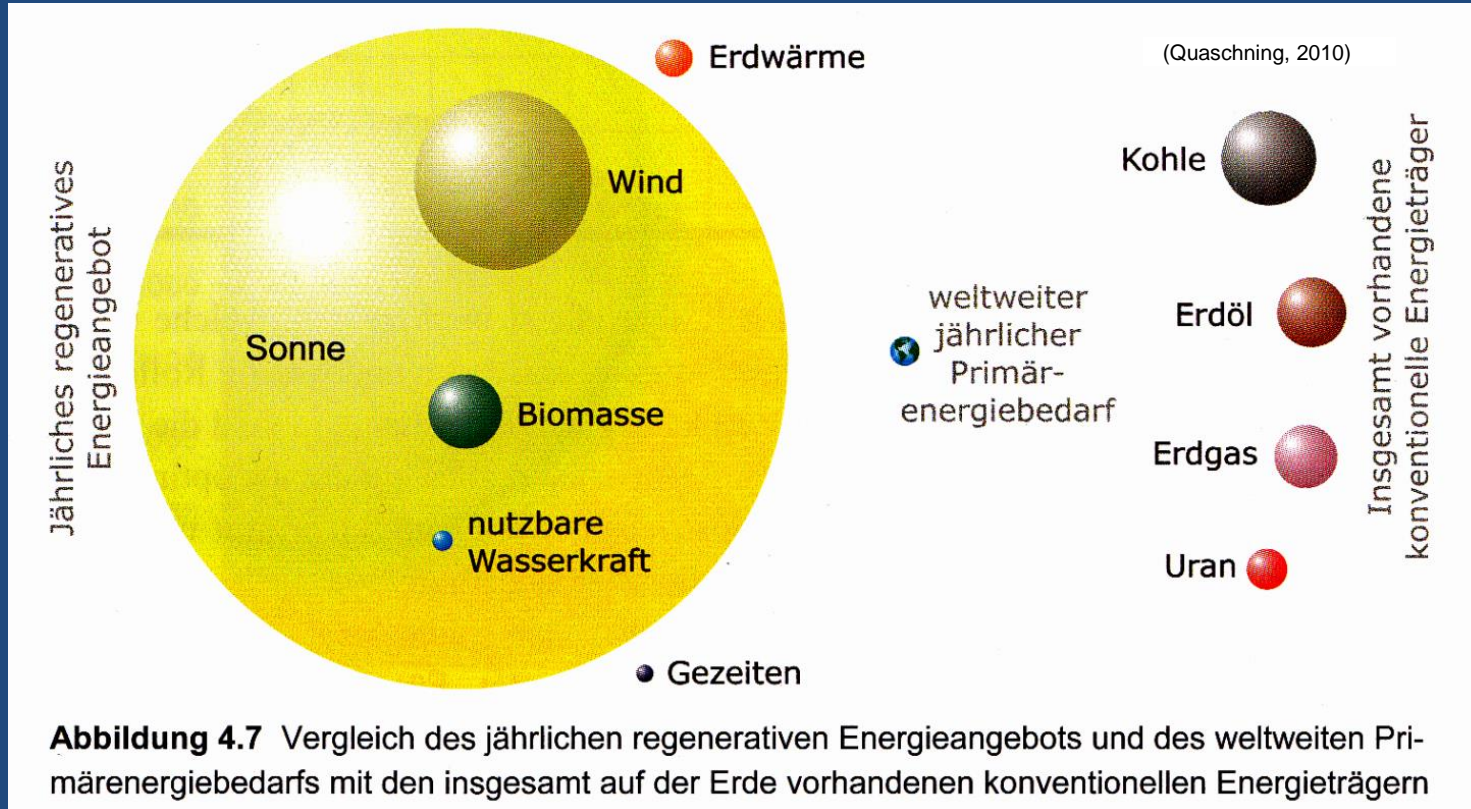
Data source: GÜNTER, J. et al.: Den Weg zu einem treibhausgasneutralen Deutschland ressourcenschonend gestalten, Umweltbundesamt, (2017)
KLAUS, T. et al.: Energieziel 2050: 100% Strom aus erneuerbaren Quellen, Umweltbundesamt (2010)

Anteil erneuerbarer Energien am Endenergieverbrauch für Wärme und Kälte

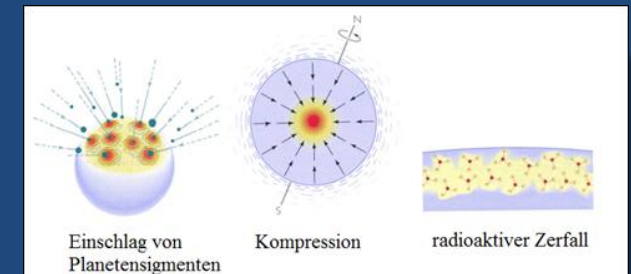


* vorläufige Daten

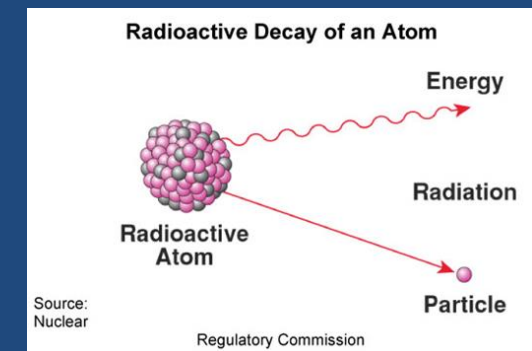
Quelle: Umweltbundesamt (UBA) auf Basis AGEE-Stat, Stand 02/2018

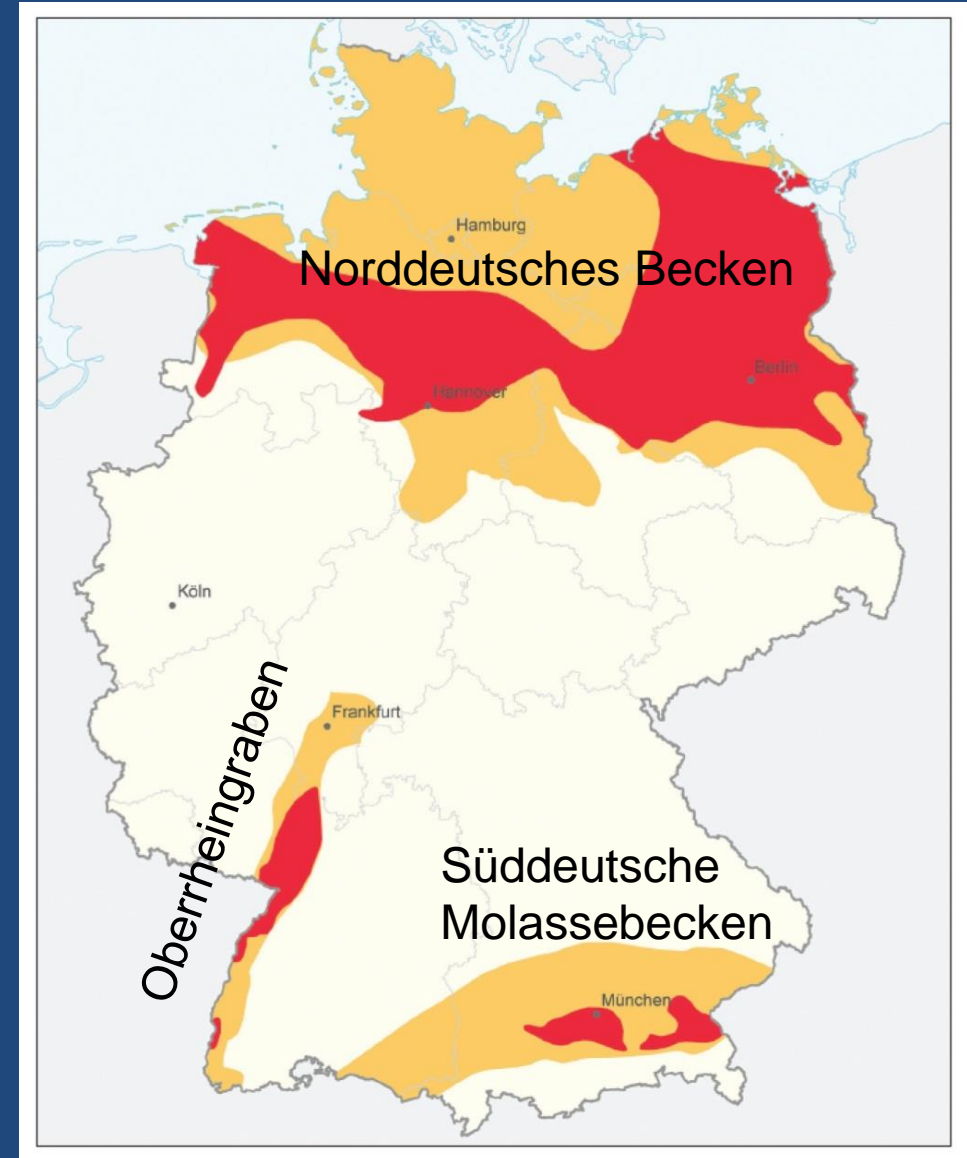
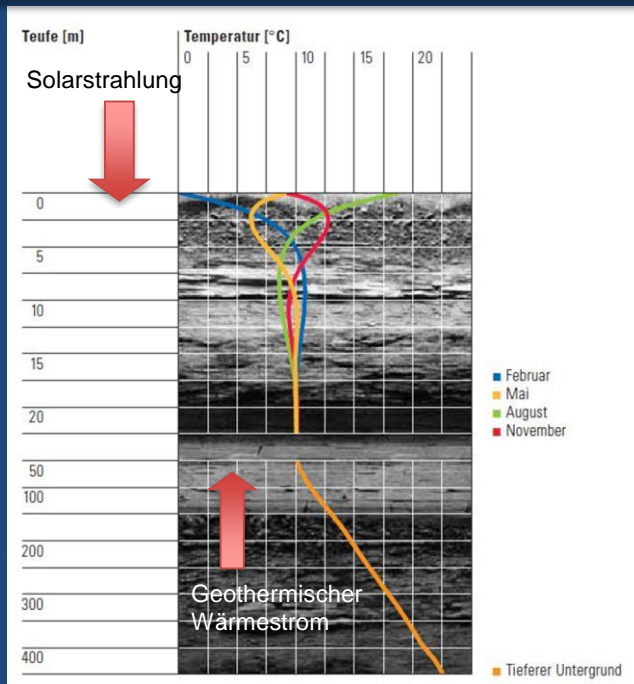
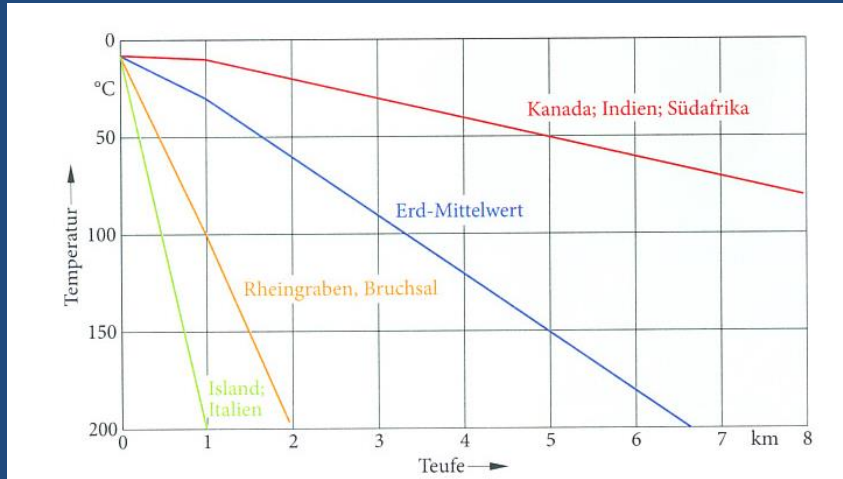


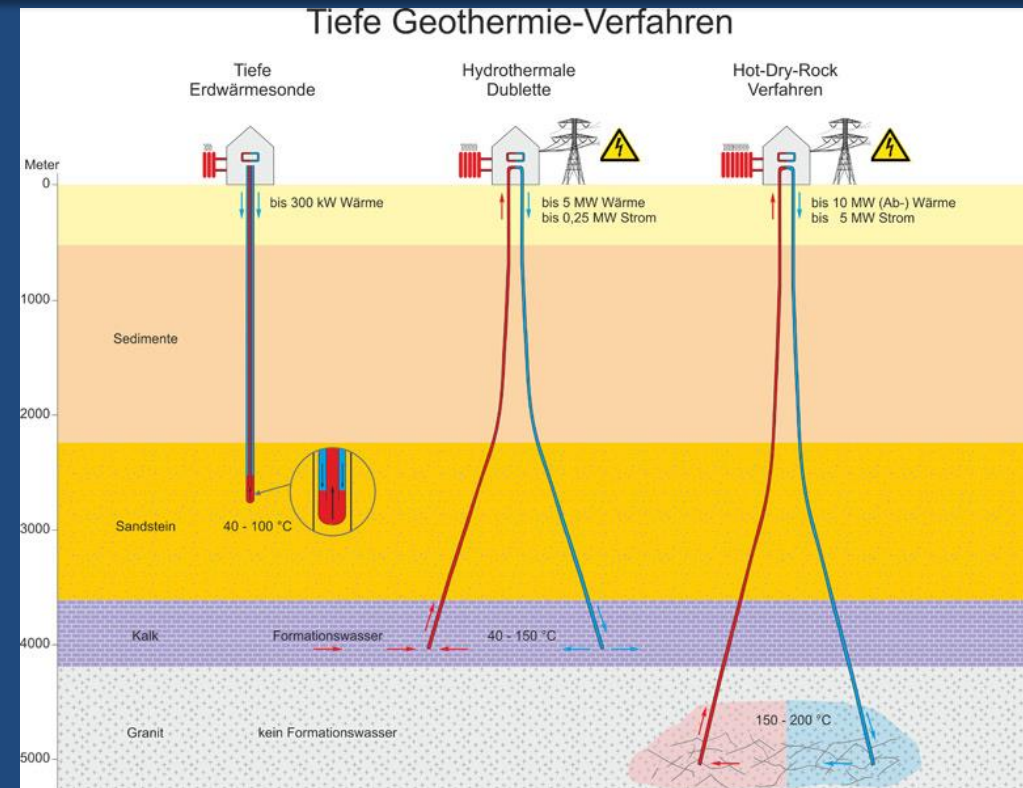
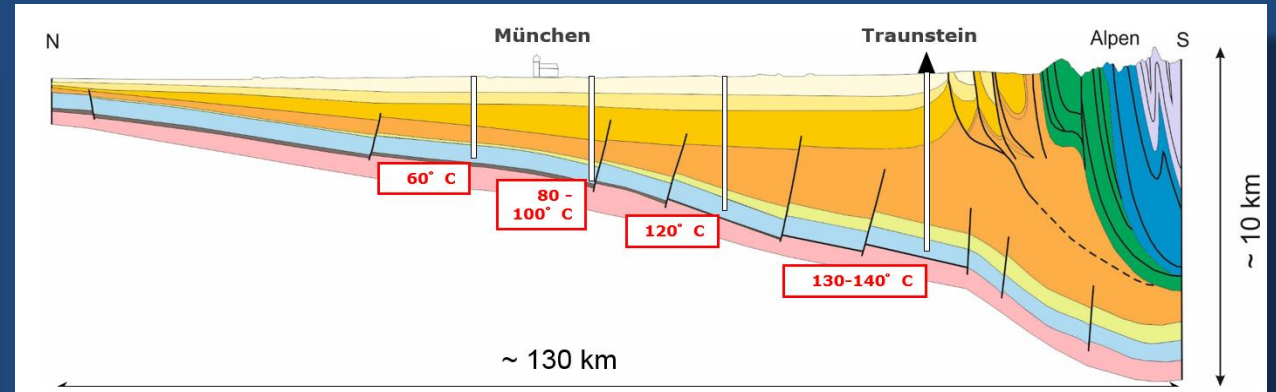
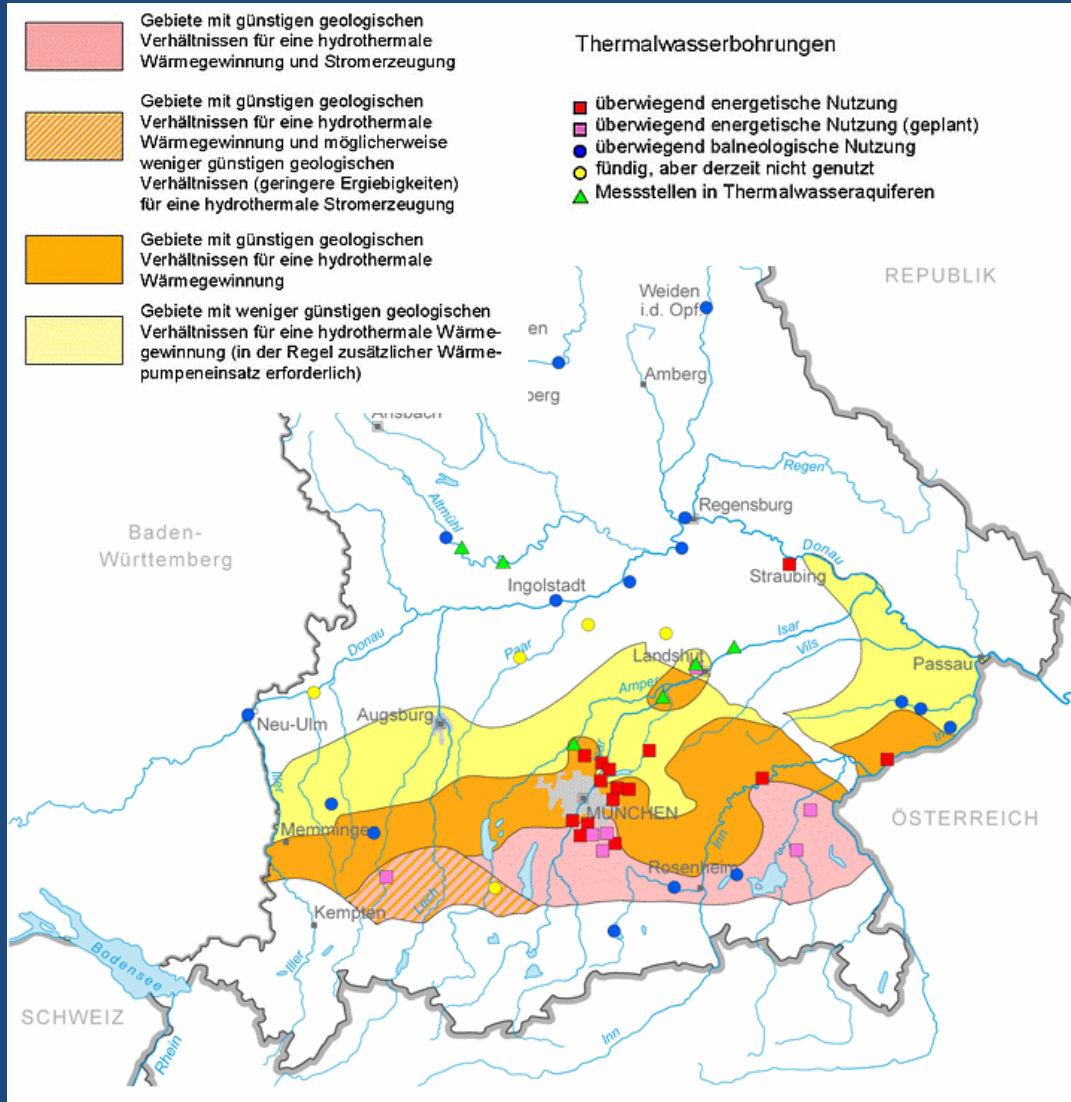
- **Gespeicherte Energie im Erdinneren → Energie, die durch die Erdentstehung (Wärme) zurückgeblieben ist; freigewordene Gravitationsenergie durch die Erdentstehung**



- **Energie, die durch den Zerfall radioaktiver Isotope frei wird, welche in der Erde, speziell in der äußeren Kruste enthalten sind.**





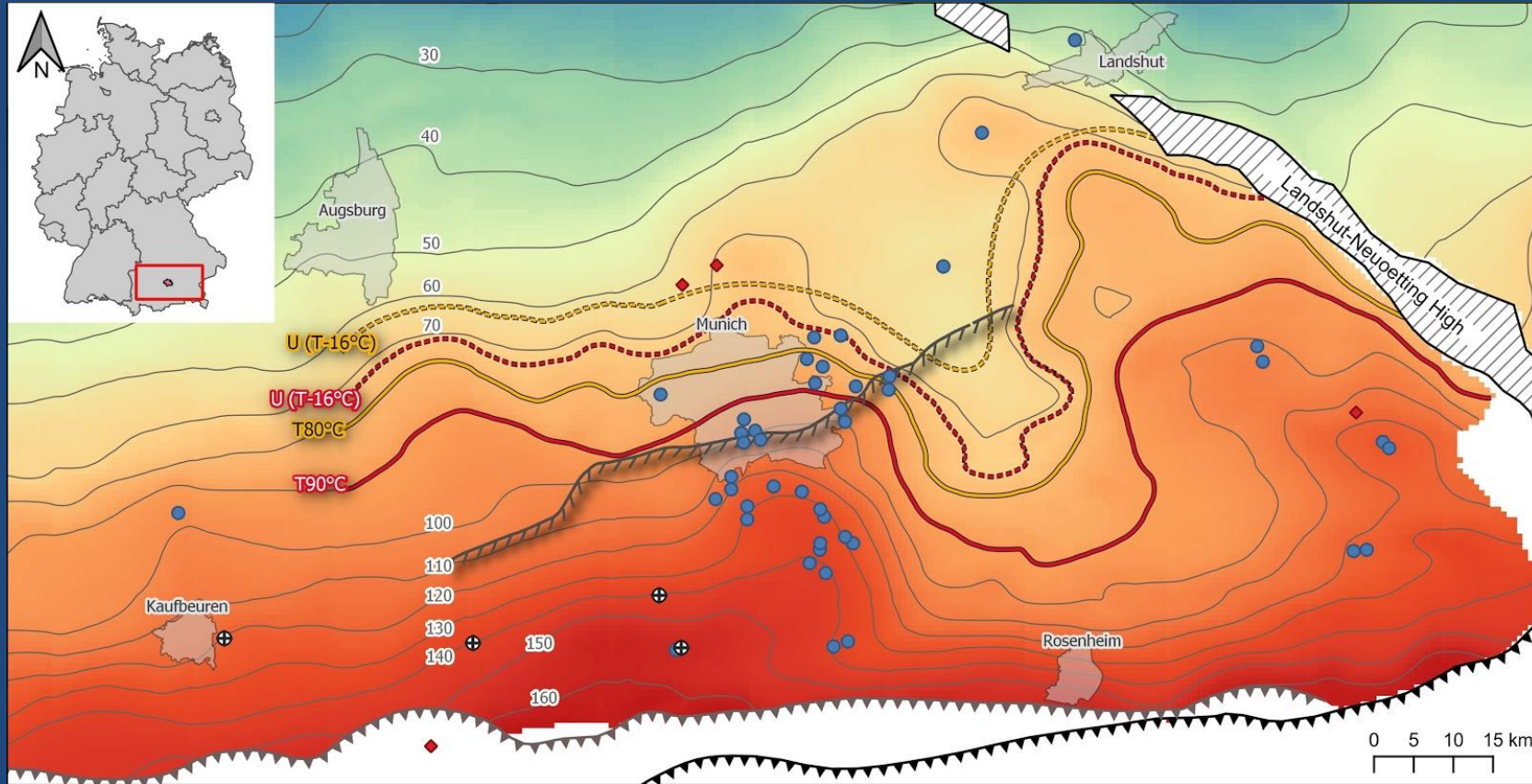


Die geothermische Fündigkeit einer Bohrung ist definiert über die extrahierbare thermische Leistung:

$$P = (c_F \cdot \rho_f) \cdot Q \cdot (T_i - T_o) \left[\frac{J}{kg \cdot K} \cdot \frac{kg}{m^3} \cdot m^3 \cdot K \right]$$

Damit sind die Zielparameter für die Bestimmung des Fündigkeitsrisikos zum einen das Fördervolumen Q , das entscheidend durch die Permeabilität des Gebirges definiert wird

und die Fördertemperatur (T_i), die direkt von der Gebirgstemperatur in der Tiefe des Zielhorizonts abhängt.



Drill Sites

- geothermal well
- ◆ oil & gas exploitation
- ⊕ technical unproductive well

Structural Boundaries

- ▲ Alpine Nappes
- ▼ Subalpine Molasse
- ↔ Markt-Schwaben-Fault

Isotherms

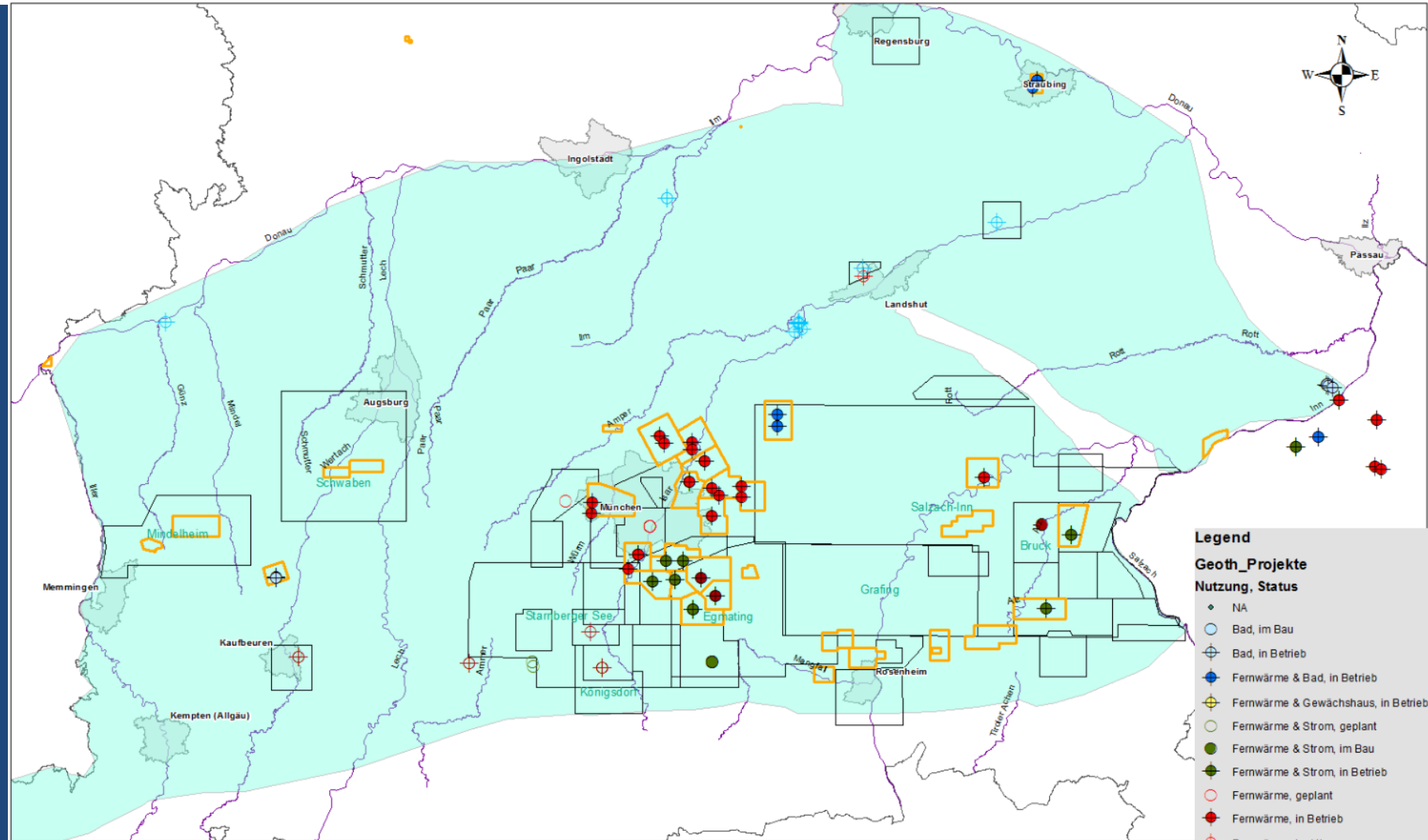
- 120- Temperature of extracted water (°C)
- Iso T80°C
- - - Iso T80°C lower limit (U-16°C)
- Iso T90°C
- - - Iso T90°C lower limit (U-16°C)

Temperature of extracted water (°C)

- | | |
|-------|---------|
| 10-30 | 90-110 |
| 30-50 | 110-130 |
| 50-70 | 130-150 |
| 70-90 | > 150 |

- Gesamtleistung 600 MW_{th}
- Einsparung von ca. 475.000 t CO₂ pro Jahr
- Wärmepotenzial 30-68 TWh
- 100 Geothermieprojekte vermeiden Gasimporte von mehr als 1,5 Mrd. Euro p.a.
- Entwicklung der Konzessionen in Bayern

| Jahr | Konzessionen |
|-------|--------------|
| 2002 | 4 |
| 2004 | >40 |
| 2013 | >80 |
| heute | ca. 50 |



Legend

Geoth_Projekte

Nutzung, Status

- ◆ NA
- Bad, im Bau
- ⊕ Bad, in Betrieb
- ⊕ Fernwärme & Bad, in Betrieb
- ⊕ Fernwärme & Gewächshaus, in Betrieb
- Fernwärme & Strom, geplant
- Fernwärme & Strom, im Bau
- Fernwärme & Strom, in Betrieb
- Fernwärme, geplant
- Fernwärme, in Betrieb
- ⊕ Fernwärme, inaktiv
- ⊕ Forschung, inaktiv
- Strom, im Bau
- Strom, in Betrieb
- ⊕ Strom, inaktiv
- Bewilligungen_StmWi
- Erlaubnisfelder_StmWi

- Da bei geothermischer Wärmebereitstellung keine Verbrennungsprozesse
→ Betrieb geothermischer Heizwerke selbst emissionsfrei.
- In einem durchschnittlichen Geothermie-Projekt beträgt CO₂-Reduktion im Vergleich zu Erdgas 88 % (Masterplan Geothermie Niederlande, 2018).
- Das Thermalwasser wird mit Hilfe von Elektropumpen aus dem Förderbrunnen gepumpt, wodurch die Geothermie-Anlagen zwangsweise einen Eigenstromverbrauch haben. Sofern diese Pumpen mit grüner Energie betrieben werden, sind die CO₂-Emissionen des laufenden Betriebes gleich Null. Wird der aktuelle Strommix zum Betrieb bezogen, fällt die Bilanz folglich schlechter aus.
- Hohe Effizienz und sehr hoher Anteil Erneuerbarer Energie zu Primärenergieeinsatz (JAZ: 16-28)
- Bei den spezifischen Treibhausgasemissionen weist die Tiefengeothermie mit den besten Netto-Vermeidungsfaktor von allen erneuerbaren Wärmetechnologien auf (UBA, 2019b).

Geothermie-Anlage München-Riem

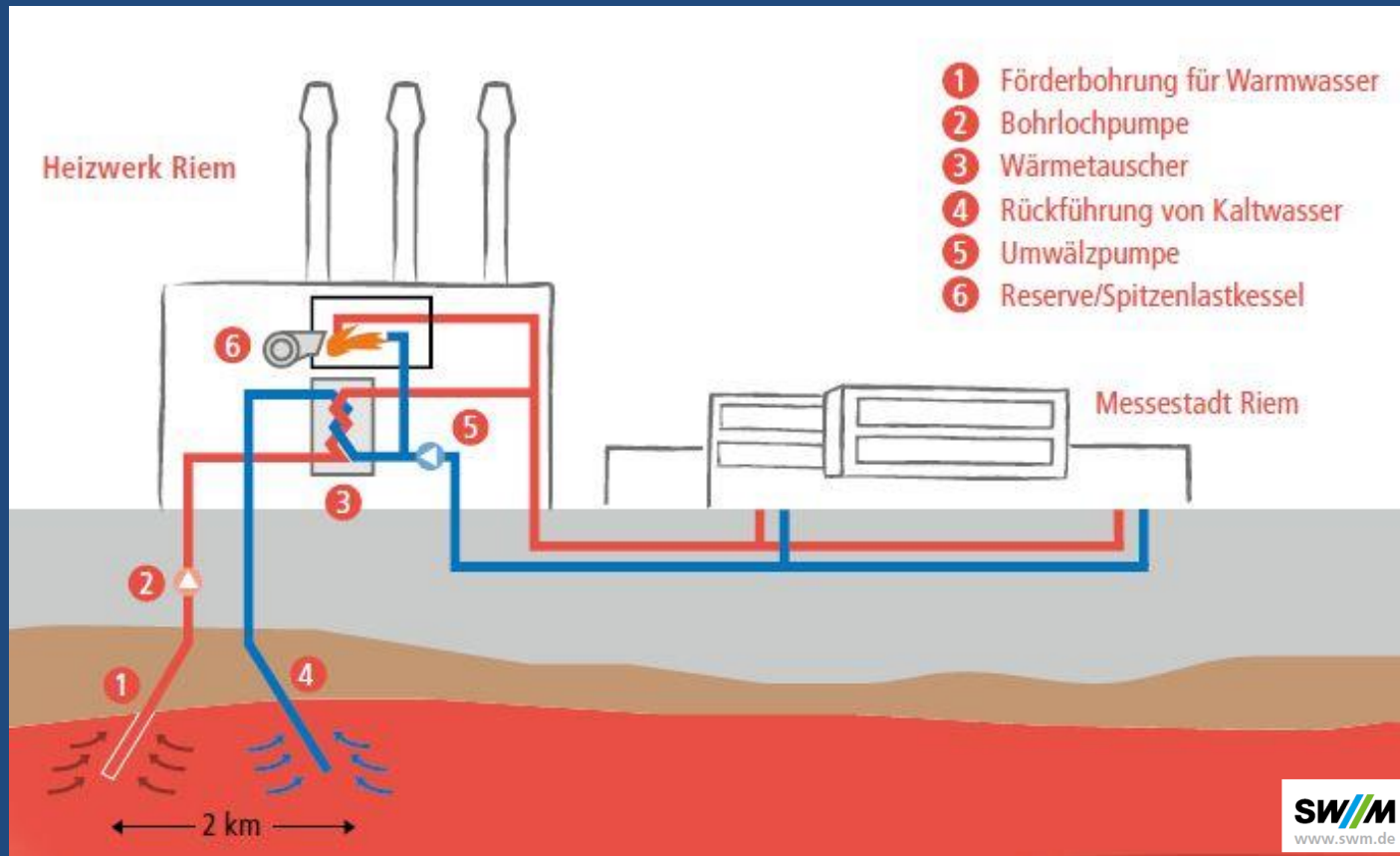
Standort:
München-Riem

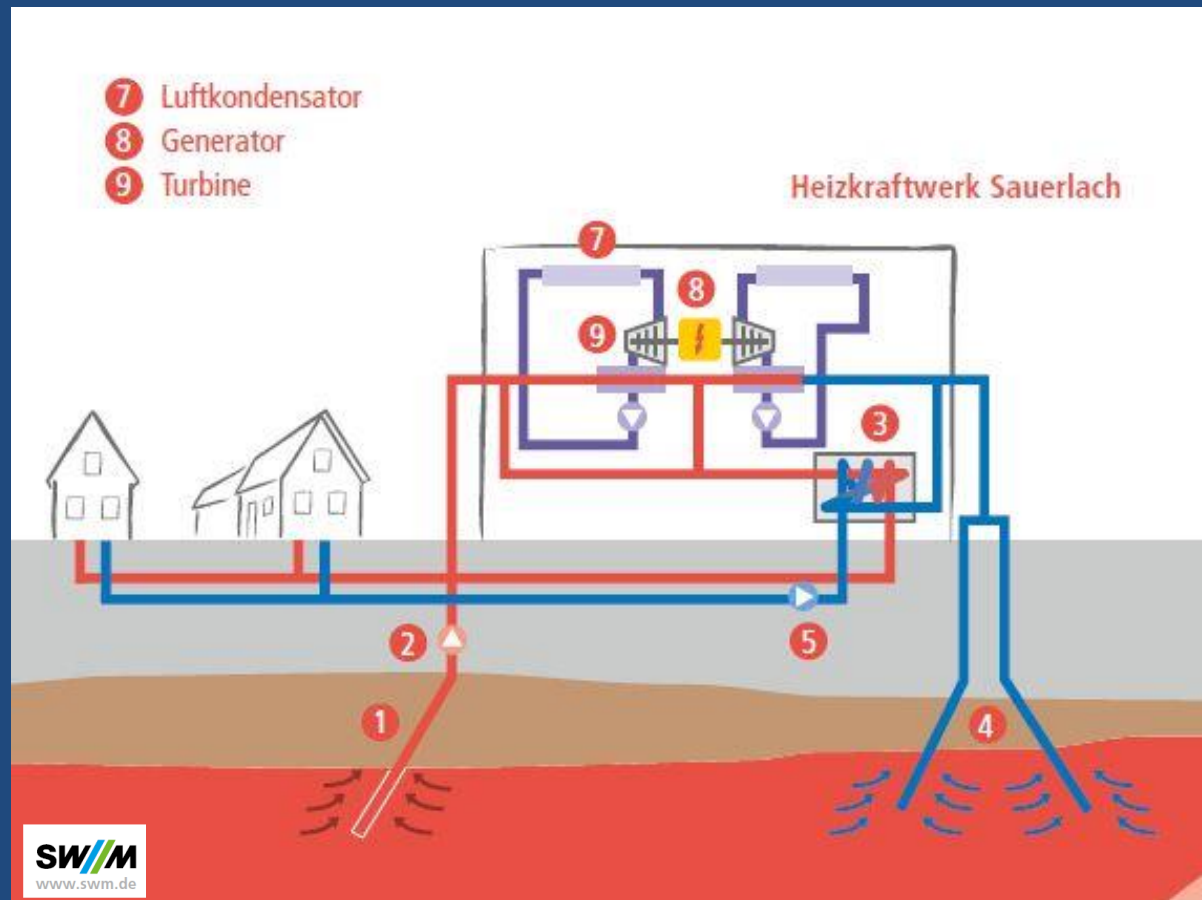
Eigentümer:
SWM

Leistung:
14 MW_{th}

Anlagenbeschreibung:

Die Geothermie wird für die Fernwärme in der Messestadt Riem inkl. Messe Riem genutzt.
Die Anlage ist seit 2004 in Betrieb.

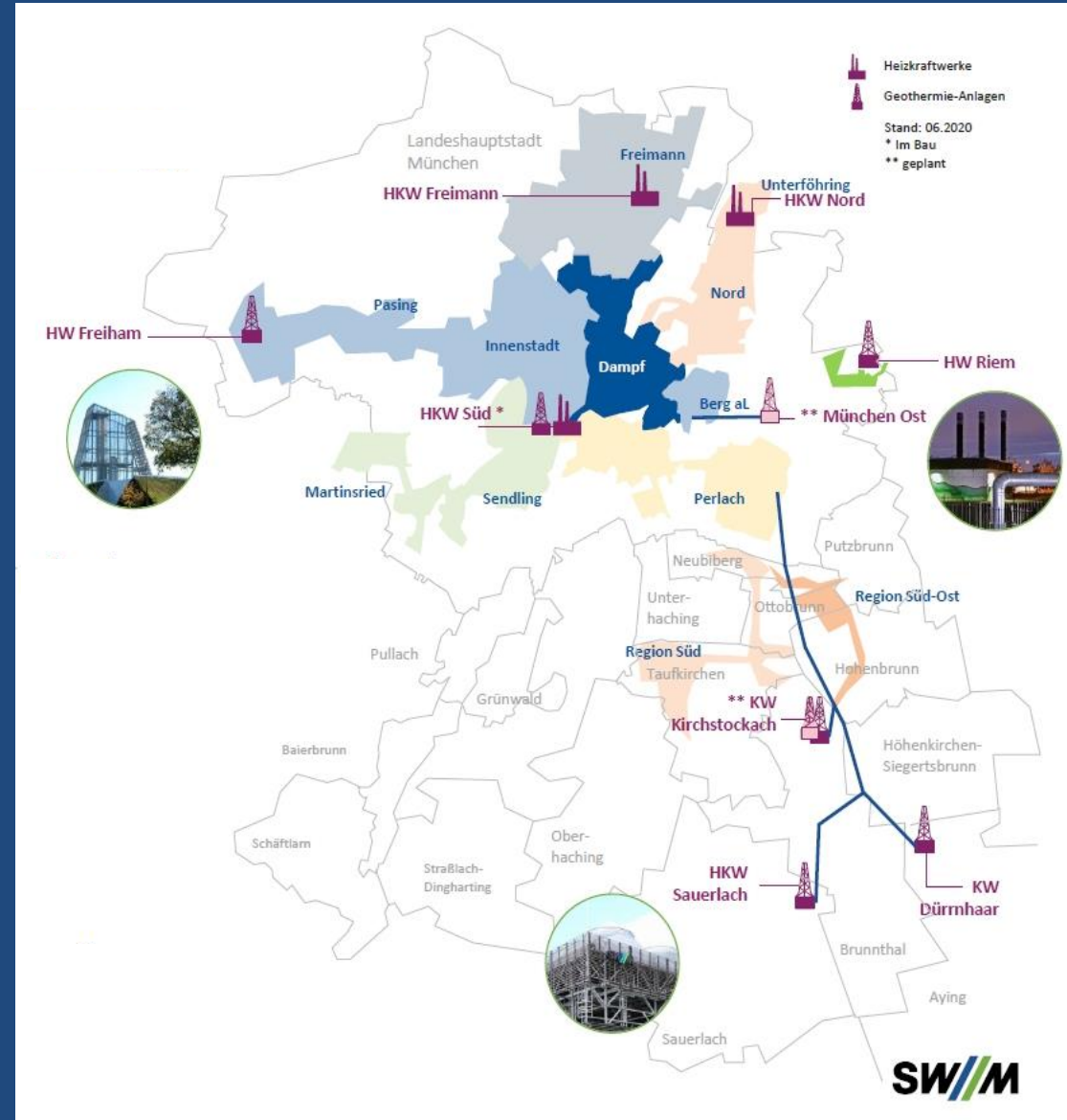
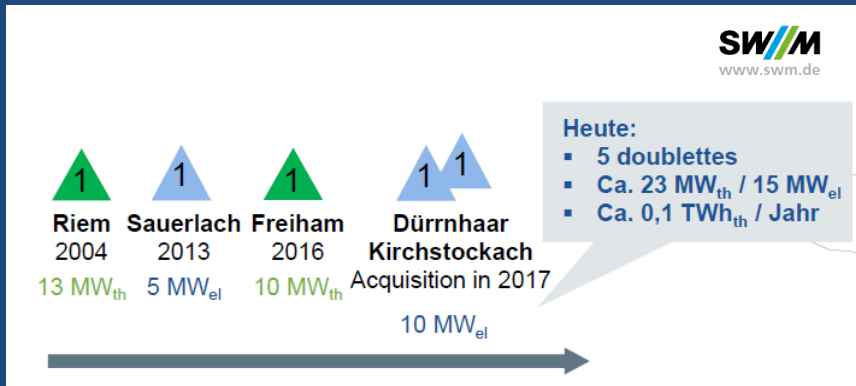


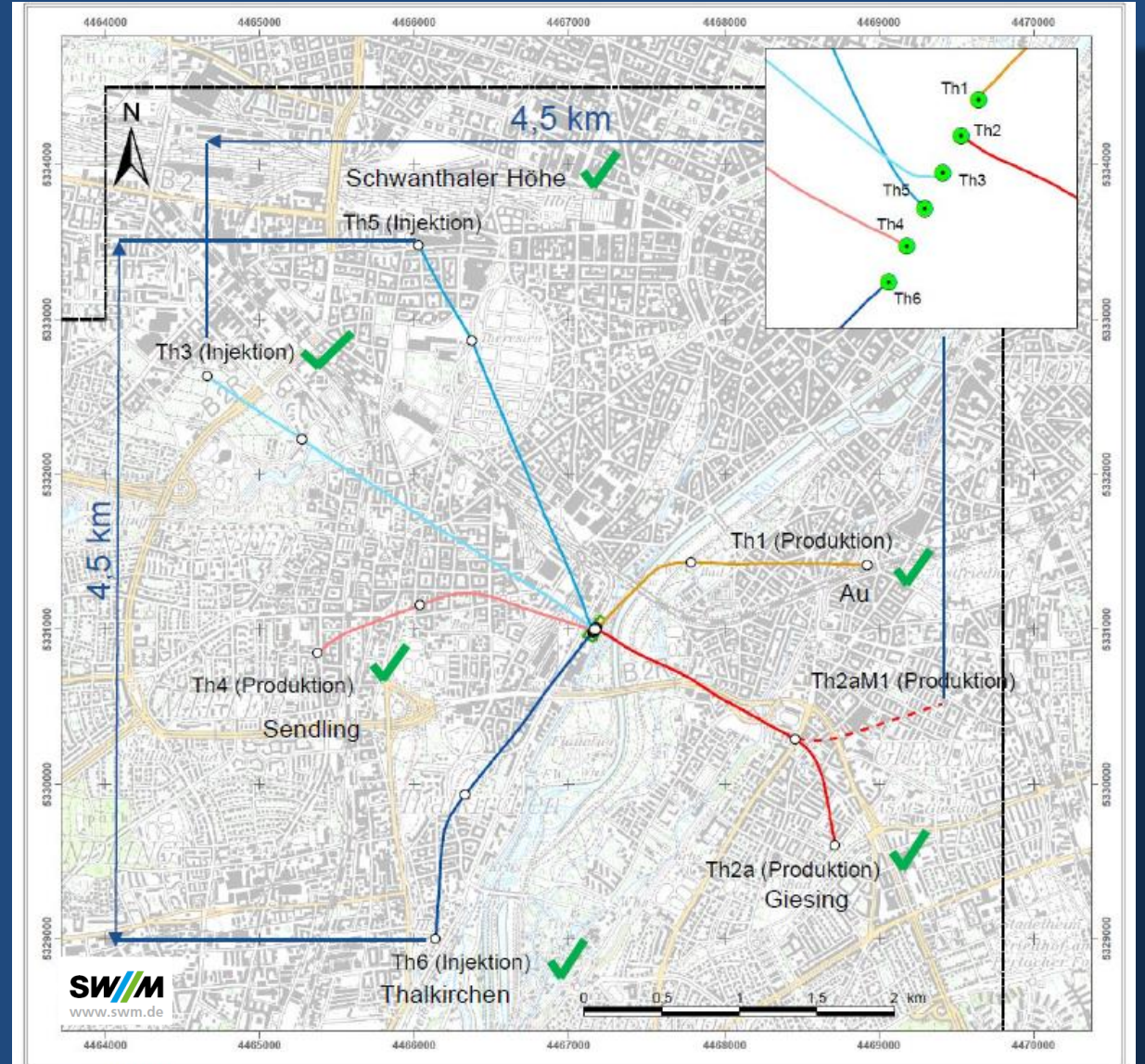
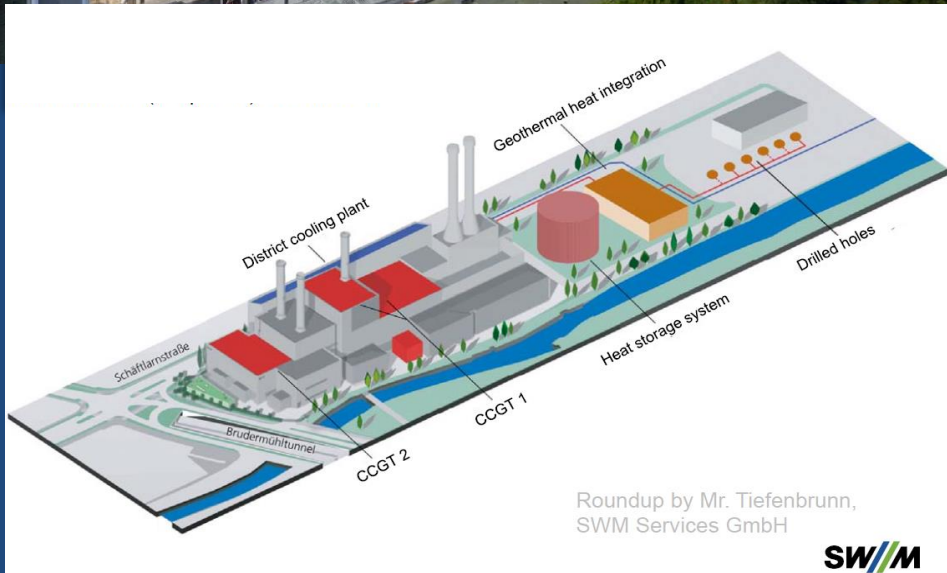
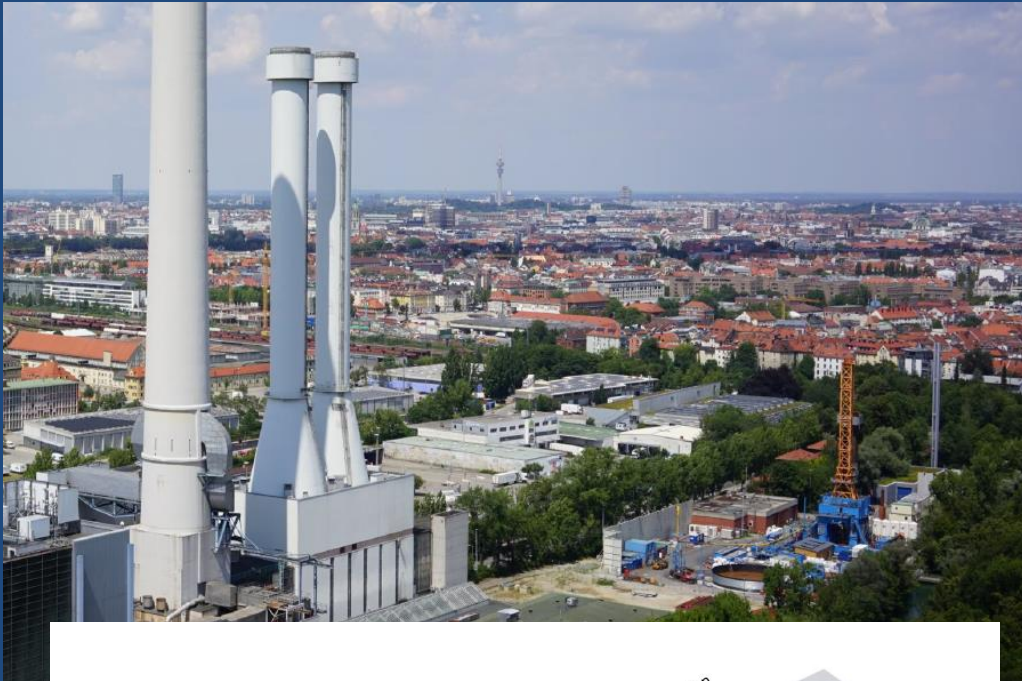


Sauerlach in Betrieb seit Januar 2014

- 3 Bohrungen á 4757, 5060, 5567 m Tiefe
- Thermalwasser ca. 140°C und 110 l/s
- Strom ca. 5 MW für 16'000 Haushalte
- Wärme max. 4 MW
- Jährliche CO₂-Einsparung 35.000 t
- Betreiber Stadtwerke München







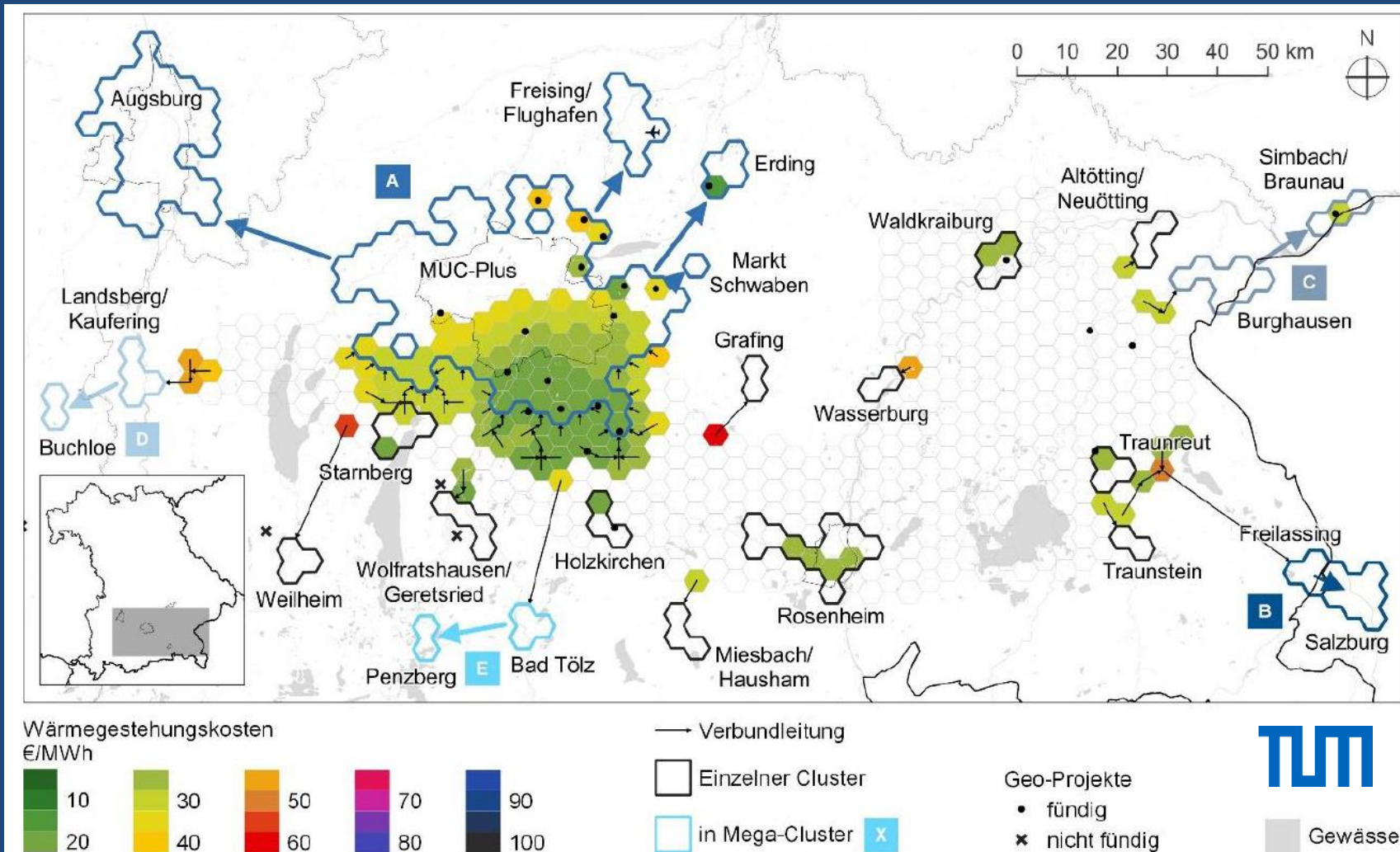
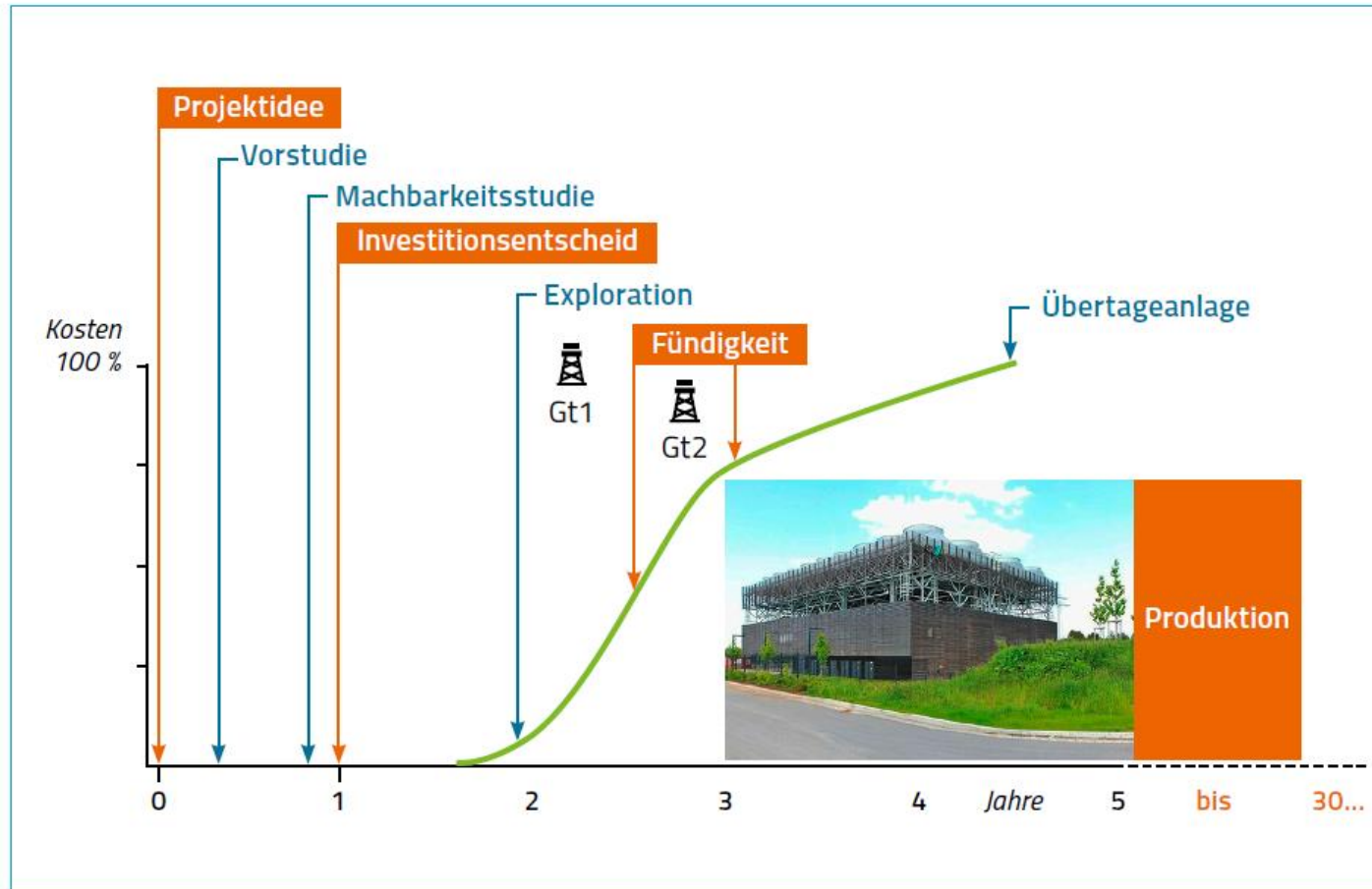


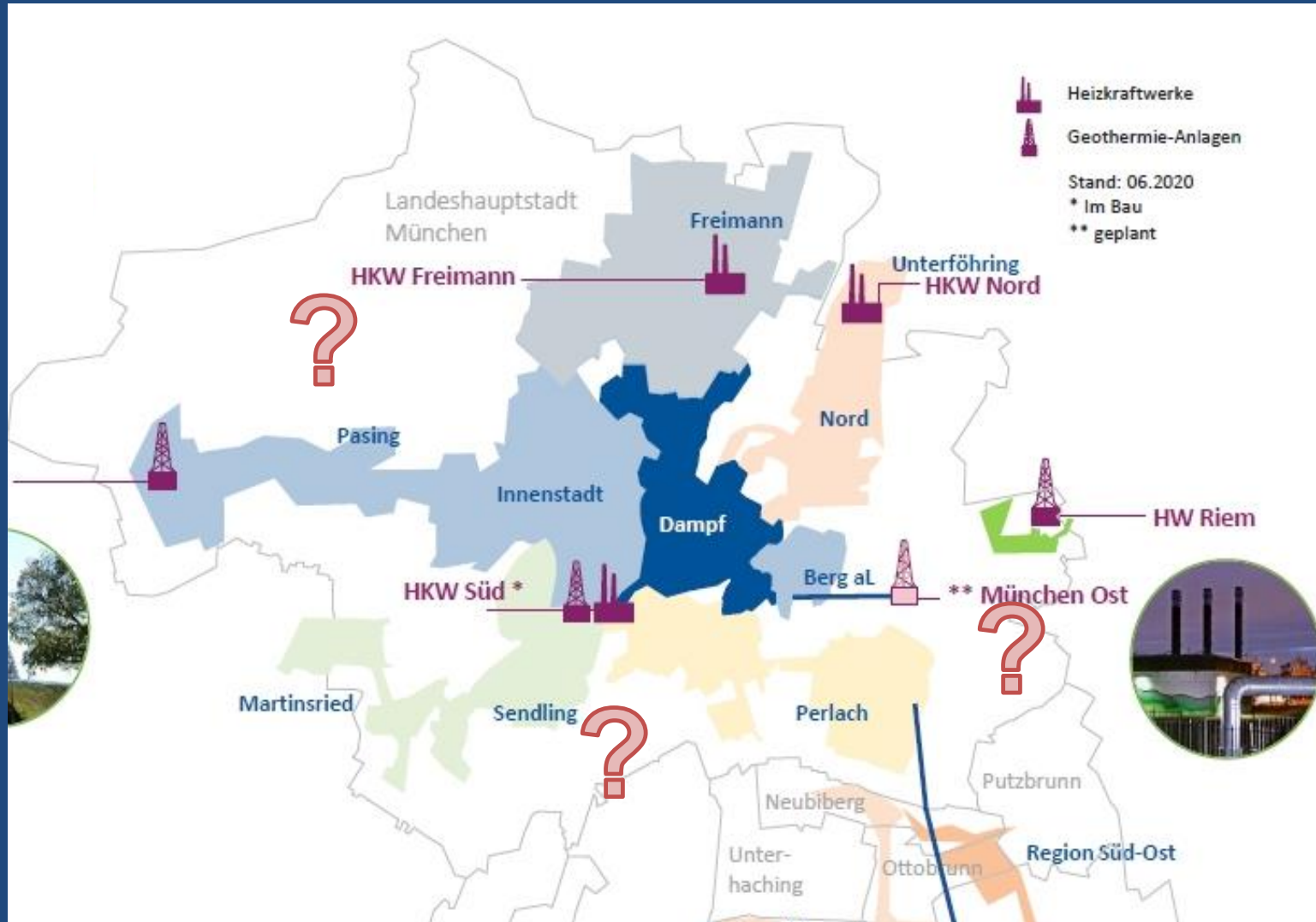
Abbildung 30: Wärmegestehungskosten pro Dublette für die 50%-ige Deckung der Wärmenachfrage von 25 Wärme-Cluster inkl. Verbundleitungen



Abb. 2: Ablaufschema für die Errichtung einer geothermischen Heizzentrale²

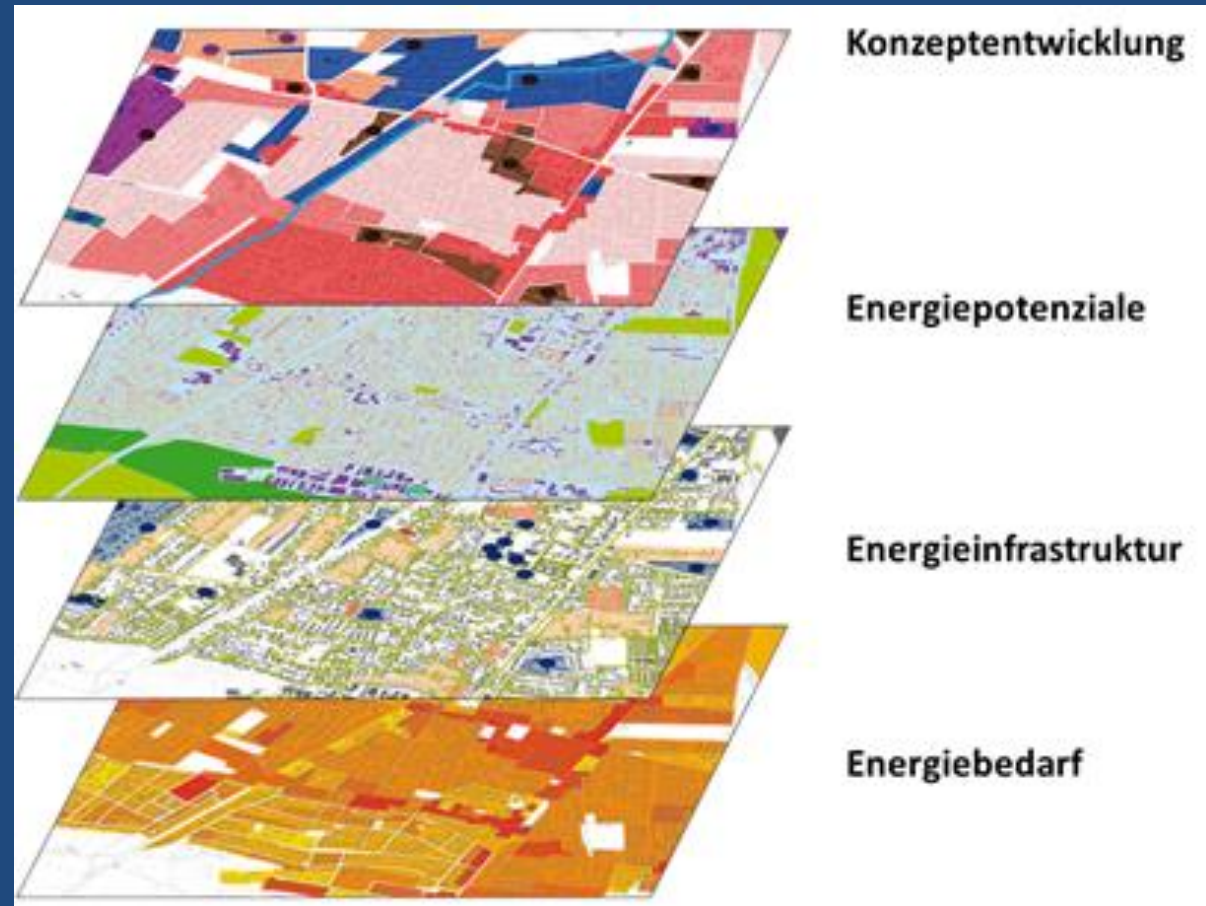


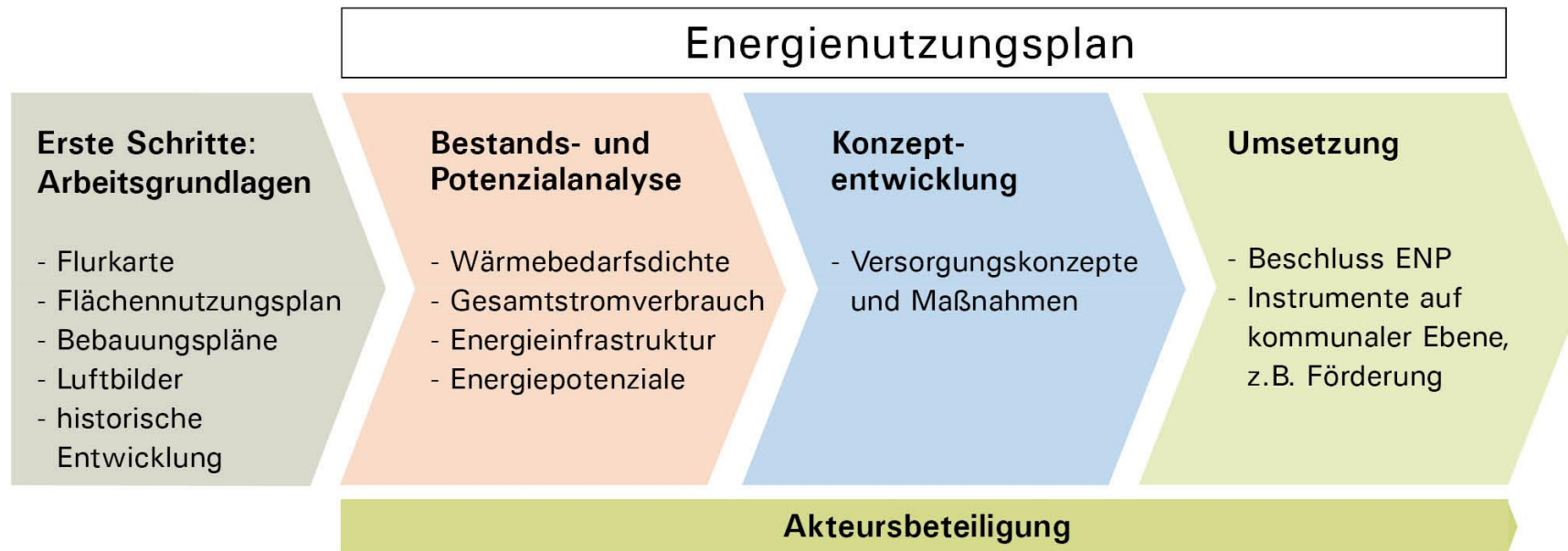
² STÖBER, I., FRITZER, T., OBST, K. & SCHULZ, R. (2016): Tiefe Geothermie - Nutzungsmöglichkeiten in Deutschland. – 4. akt. Auflage, 87 Seiten; Hannover (LIAG).



Wärmewende zur Erreichung der Klimaziele braucht eine ganzheitliche Wärme-Strategie

- SWM – Strategie
- Energienutzungsplan
- Masterplan Geothermie
- Wärmestudie





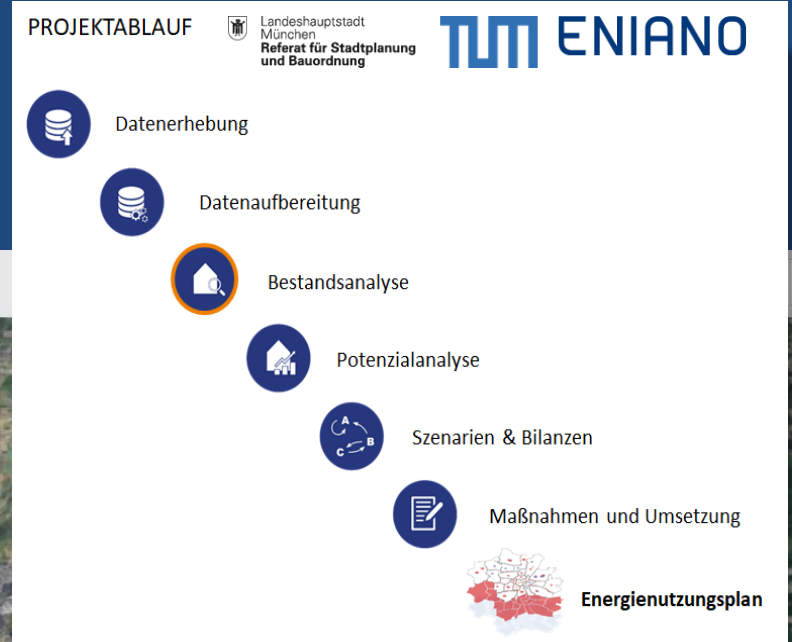
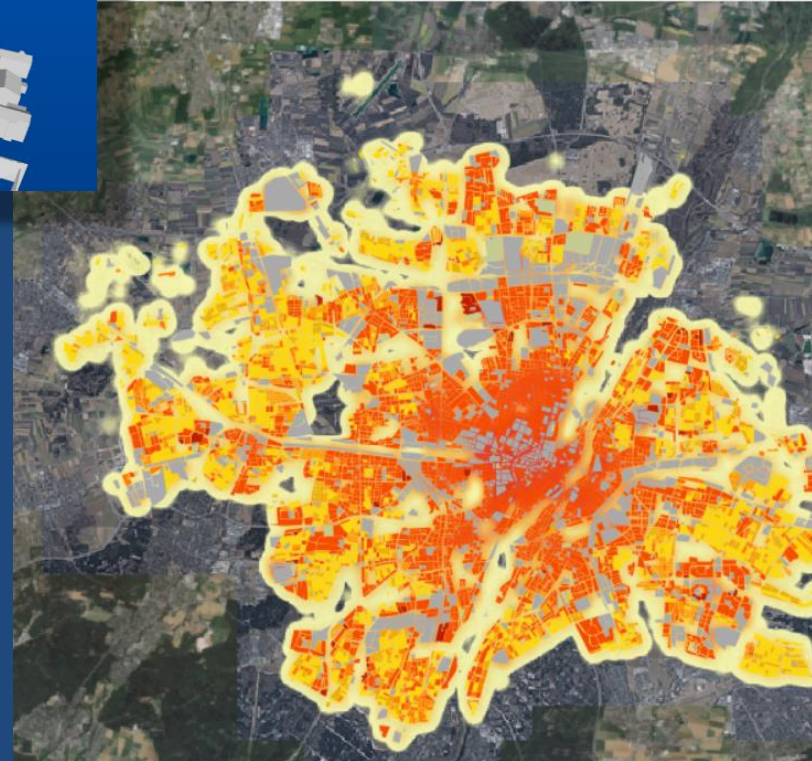


| Baugebiet | BWZ | Baualtersklasse | Baujahr | Szenario |
|------------|-----|-----------------|---------|----------|
| Aubing Süd | EFH | e | 1958-68 | 0 |



| Bauteil | Konstruktion | U-Wert [W/m²K] |
|---------------------|---|----------------|
| Außenwand | Ziegel, Hochlochziegel | 1,3 |
| Dach | Sparrendach mit durchgängiger leichter Zwischensparrendämmung und unterseitiger Leichtbauplatte | 0,8 |
| Fenster | Holzrahmen mit Isolierverglasung | 2,5 - 3,0 |
| Kellerdecke | Stahlbetondecke, leichte Dämmung | 1,1 |
| obere Geschossdecke | Holzdecke | 0,8 |

akt GEO PORTAL MÜNCHEN



Luftbild aktuell:
© GeodatenService München,
Bayerische Vermessungsverwaltung – www.geodaten.bayern.de

Wohngebäudetypologie:
© Landeshauptstadt München Referat für Stadtplanung und Bauordnung

Gebäude (Wärmedichte):
© Landeshauptstadt München Referat für Stadtplanung und Bauordnung



PROJEKTBLAUF

Landeshauptstadt
München
Referat für Stadtplanung
und Bauordnung

TUM ENIANO



Datenerhebung



Datenaufbereitung



Bestandsanalyse



Potenzialanalyse



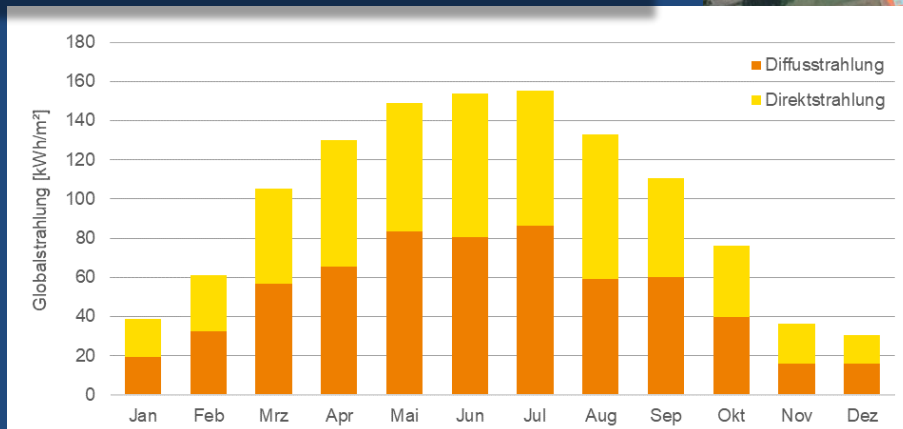
Szenarien & Bilanzen

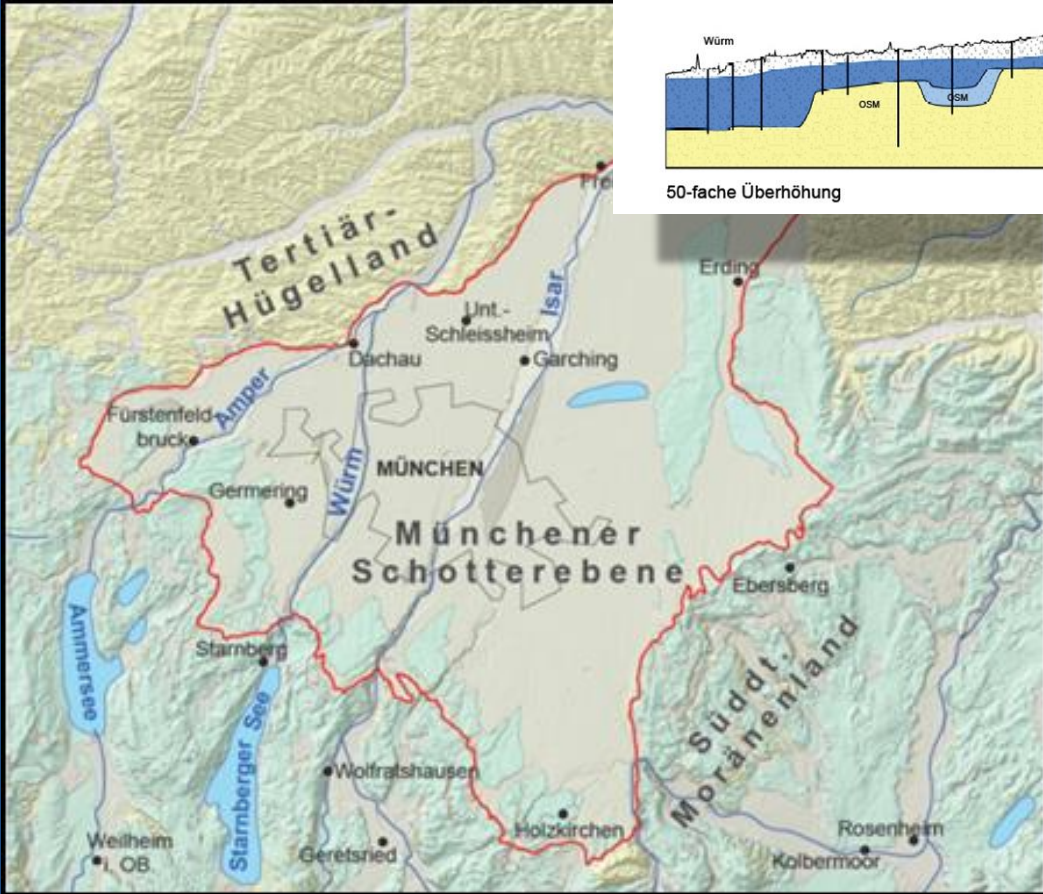
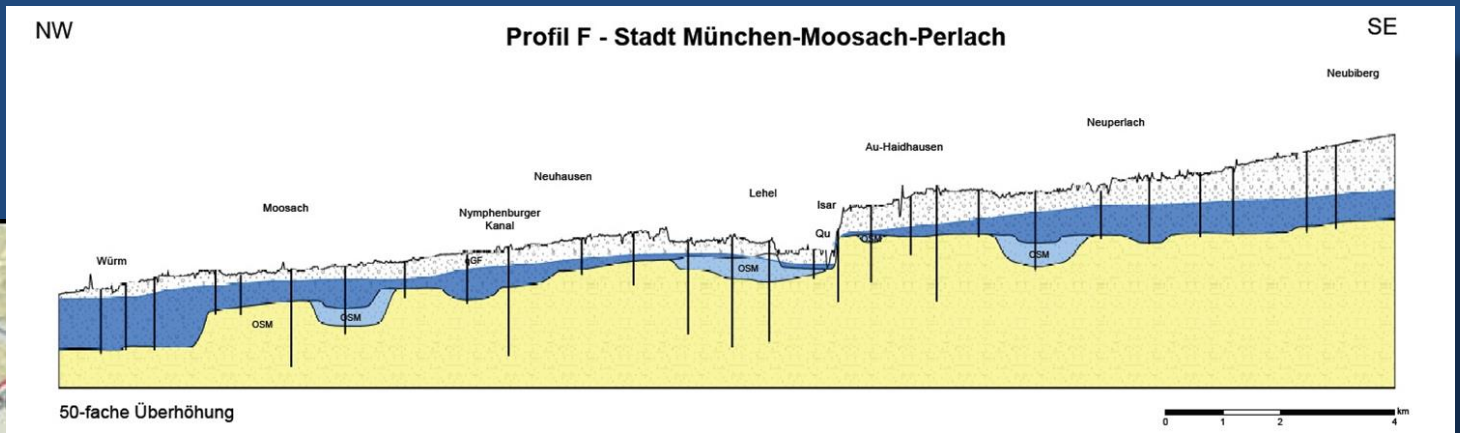


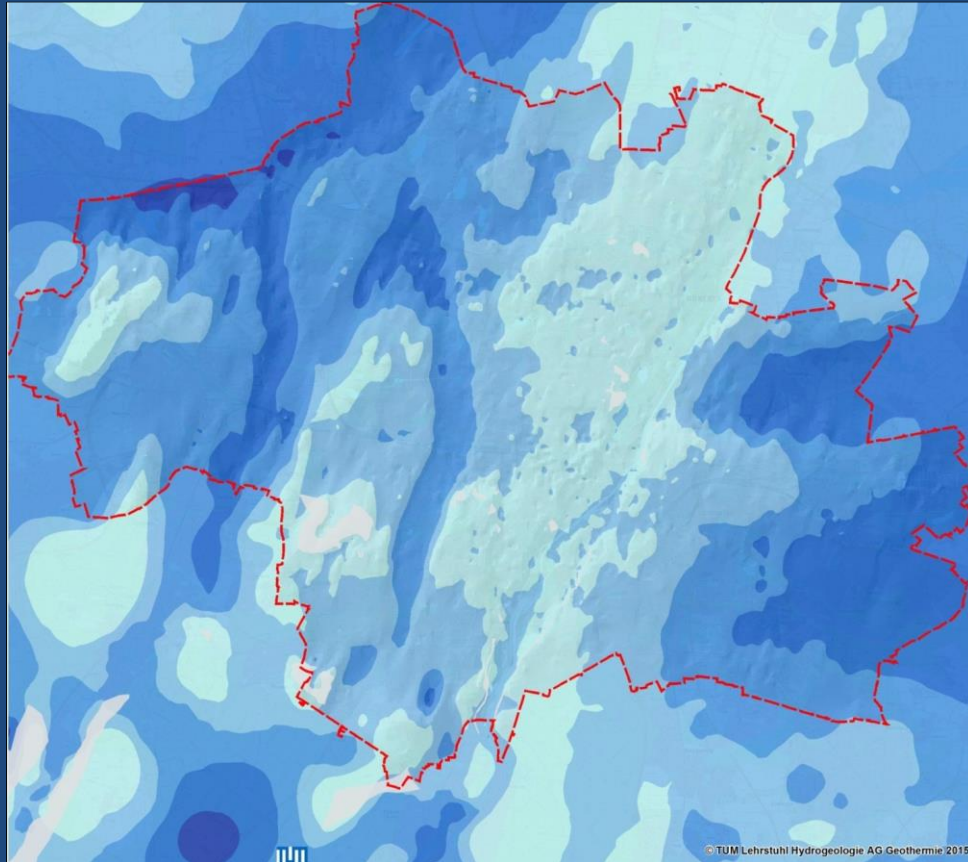
Maßnahmen und Umsetzung



Energienutzungsplan







Legende:



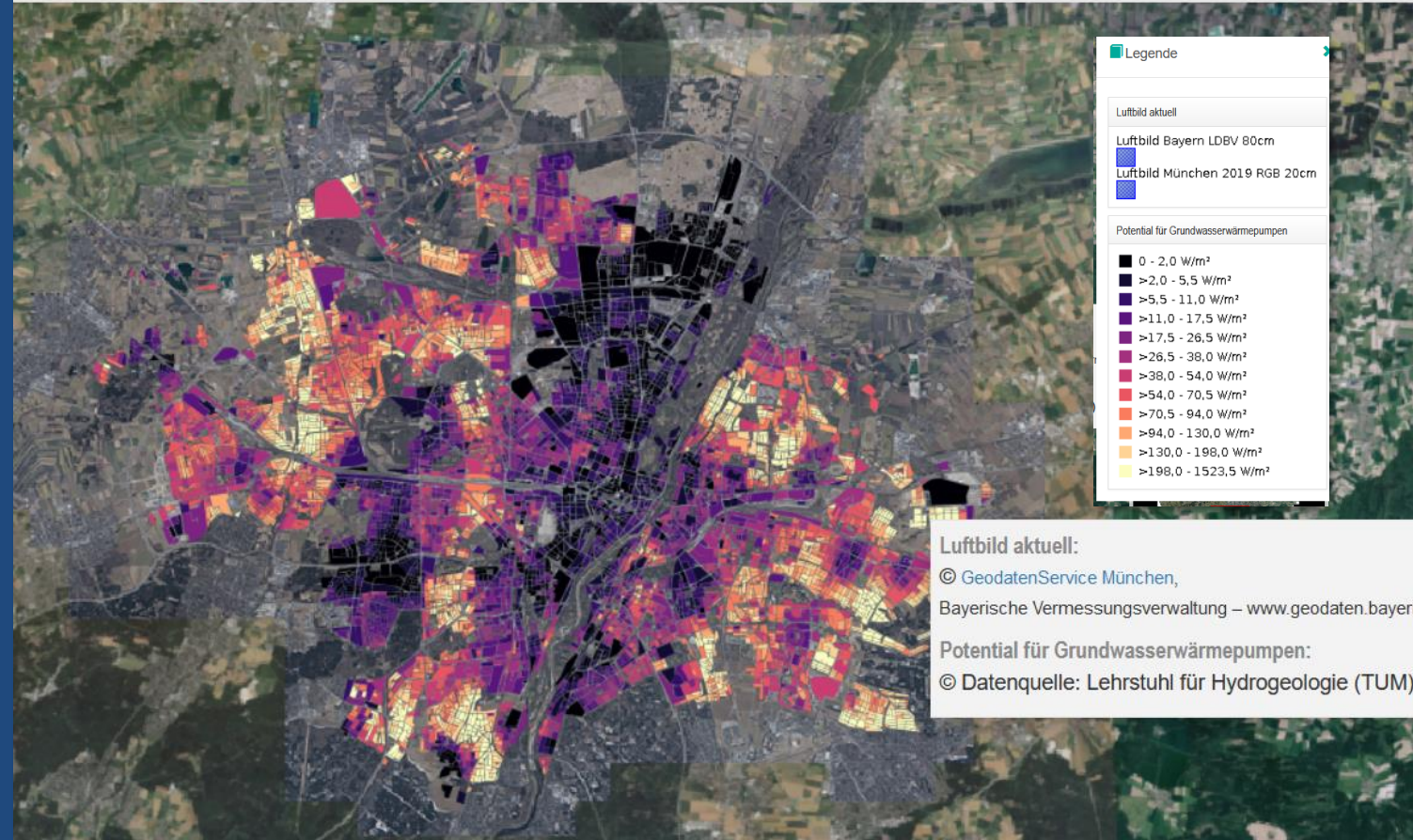
0 m

20 m

Kontakt

GEO PORTAL MÜNCHEN

Suche



Legende

Luftbild aktuell

Luftbild Bayern LDBV 80cm

Luftbild München 2019 RGB 20cm

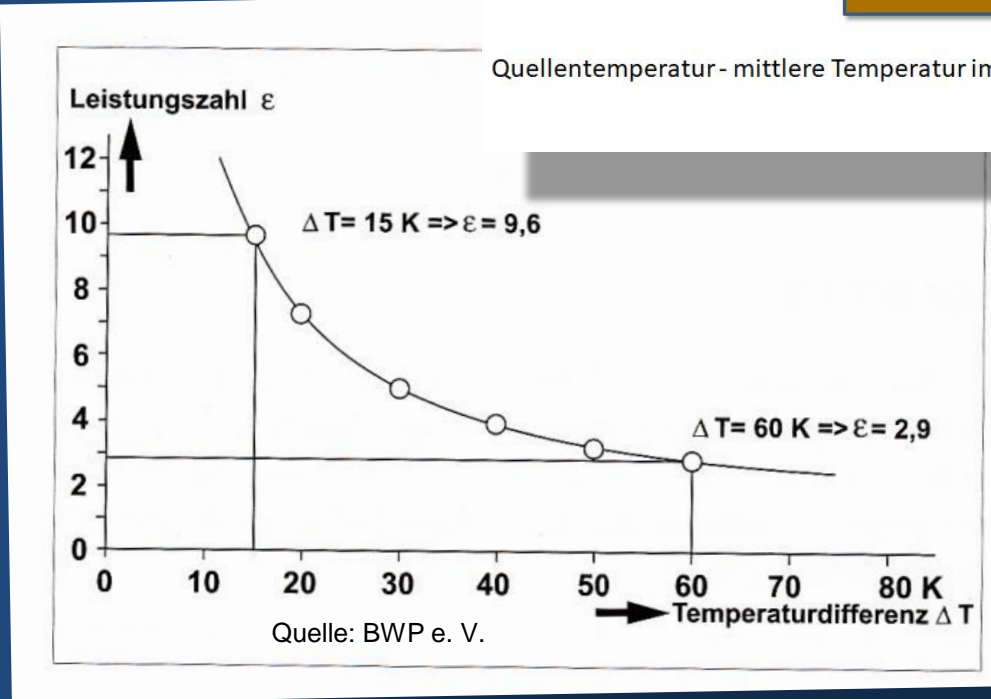
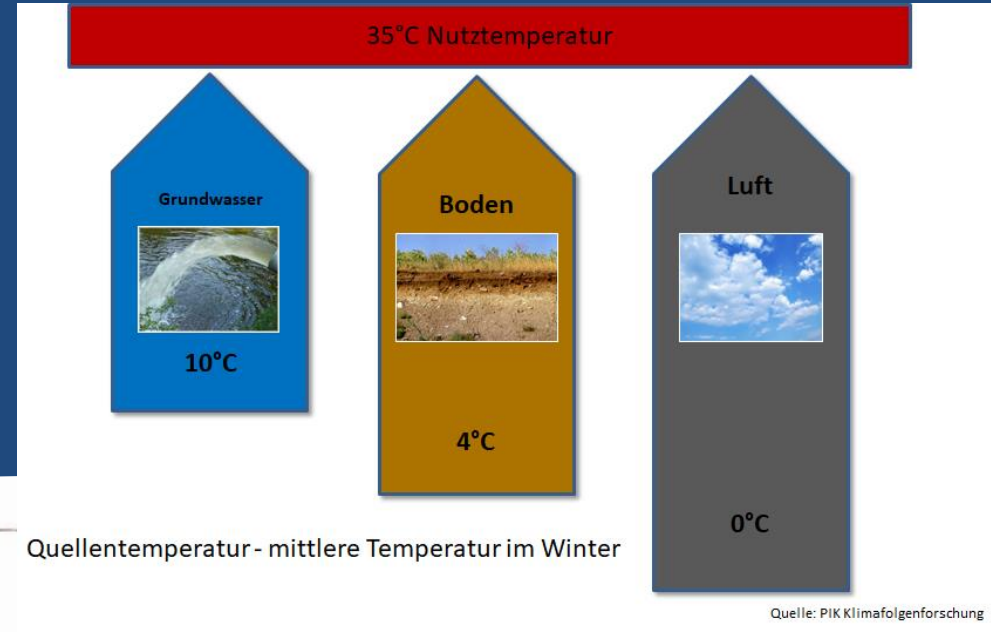
Potential für Grundwasserwärmepumpen

- 0 - 2,0 W/m²
- >2,0 - 5,5 W/m²
- >5,5 - 11,0 W/m²
- >11,0 - 17,5 W/m²
- >17,5 - 26,5 W/m²
- >26,5 - 38,0 W/m²
- >38,0 - 54,0 W/m²
- >54,0 - 70,5 W/m²
- >70,5 - 94,0 W/m²
- >94,0 - 130,0 W/m²
- >130,0 - 198,0 W/m²
- >198,0 - 1523,5 W/m²

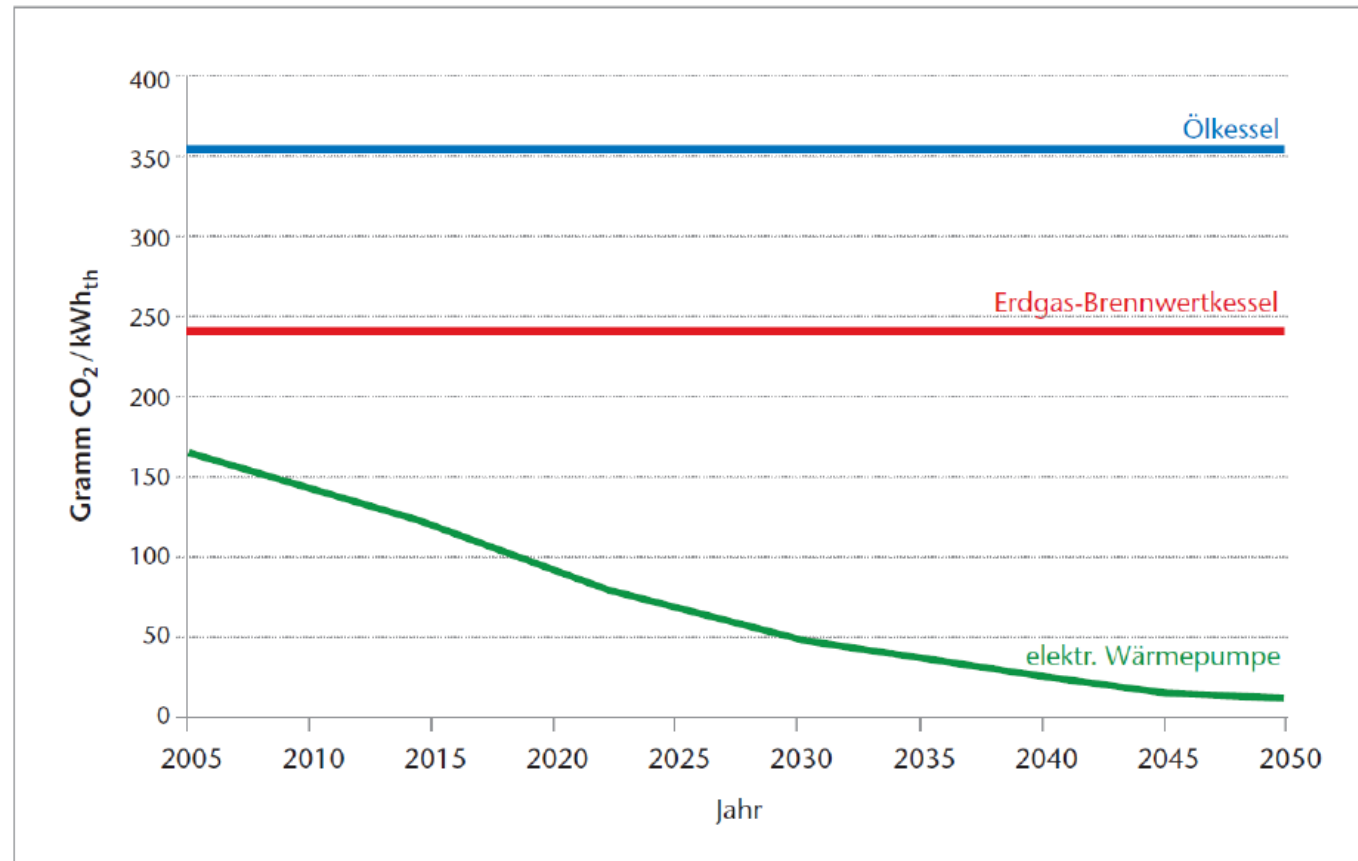
Luftbild aktuell:
 © GeodatenService München,
 Bayerische Vermessungsverwaltung – www.geodaten.bayern.de

Potential für Grundwasserwärmepumpen:
 © Datenquelle: Lehrstuhl für Hydrogeologie (TUM)

Böttcher, F., Casasso, A., Götzl, G., Zosseder, K. (2019): TAP - Thermal aquifer Potential: A quantitative method to assess the spatial potential for the thermal use of groundwater. *Renewable Energy*, 142, 85-95. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.04.086>



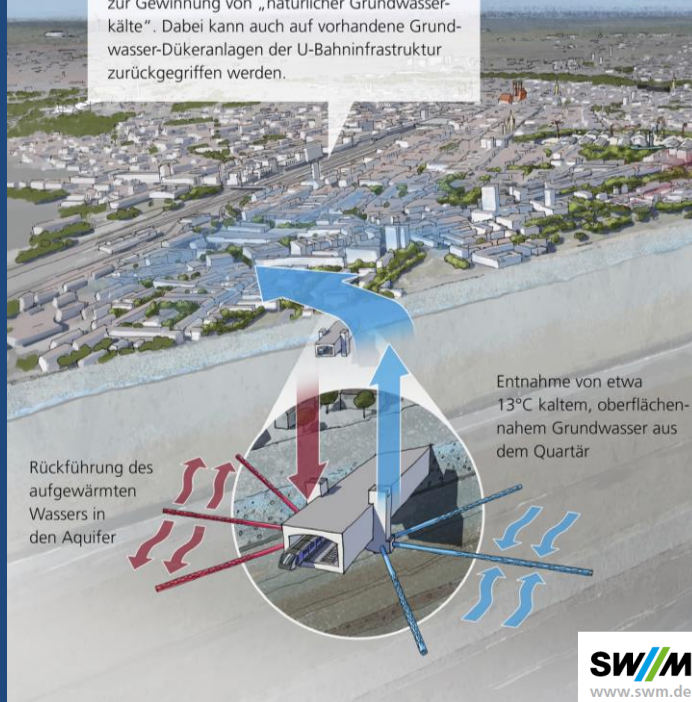
Spezifischen Emissionen verschiedene Heizungstechnologien (für EU 27)



Quelle: Fraunhofer IWES, FVEE, Systemanalyse zur Transformation der Energiesysteme bis 2050

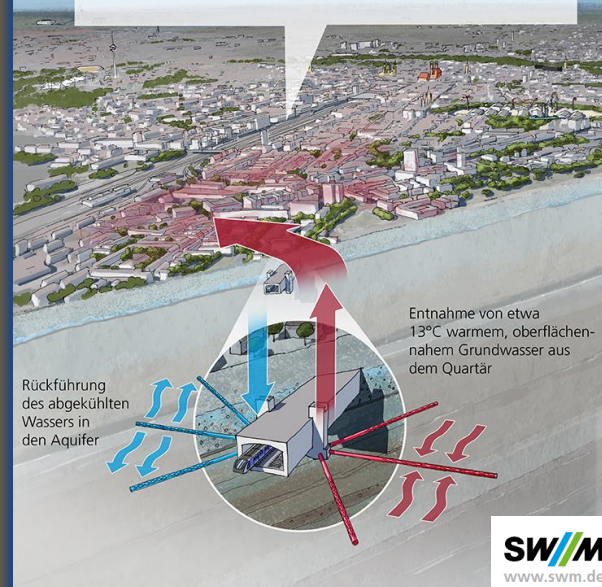
Fernkälte

Die SWM bauen die Fernkälte in der Stadt aus und nutzen auch den Münchner Untergrund zur Gewinnung von „natürlicher Grundwasser-kälte“. Dabei kann auch auf vorhandene Grundwasser-Dükeranlagen der U-Bahninfrastruktur zurückgegriffen werden.



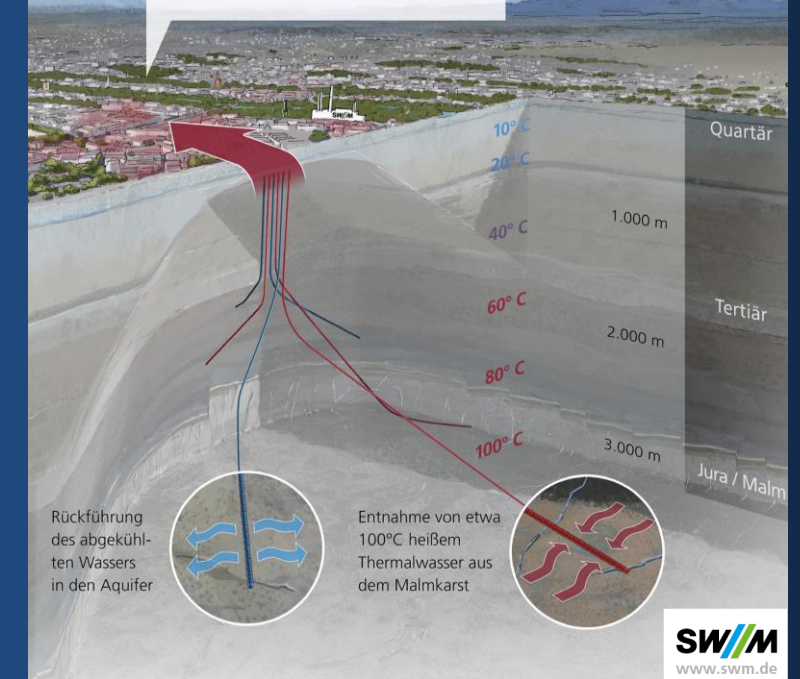
Niedertemperatur-Wärme

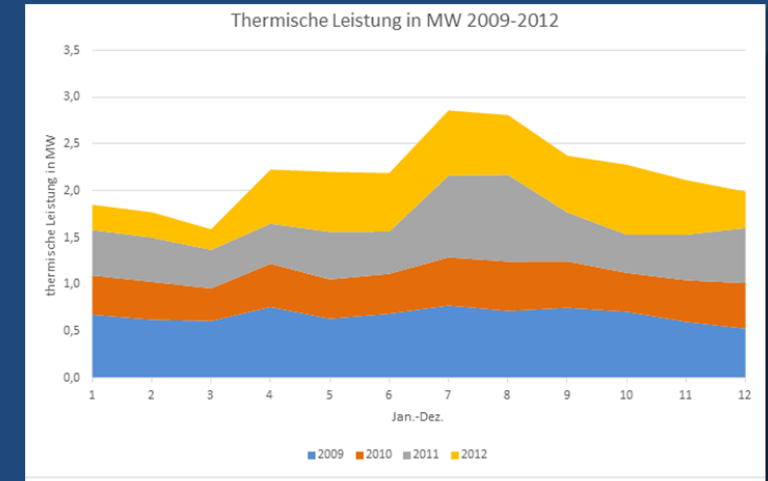
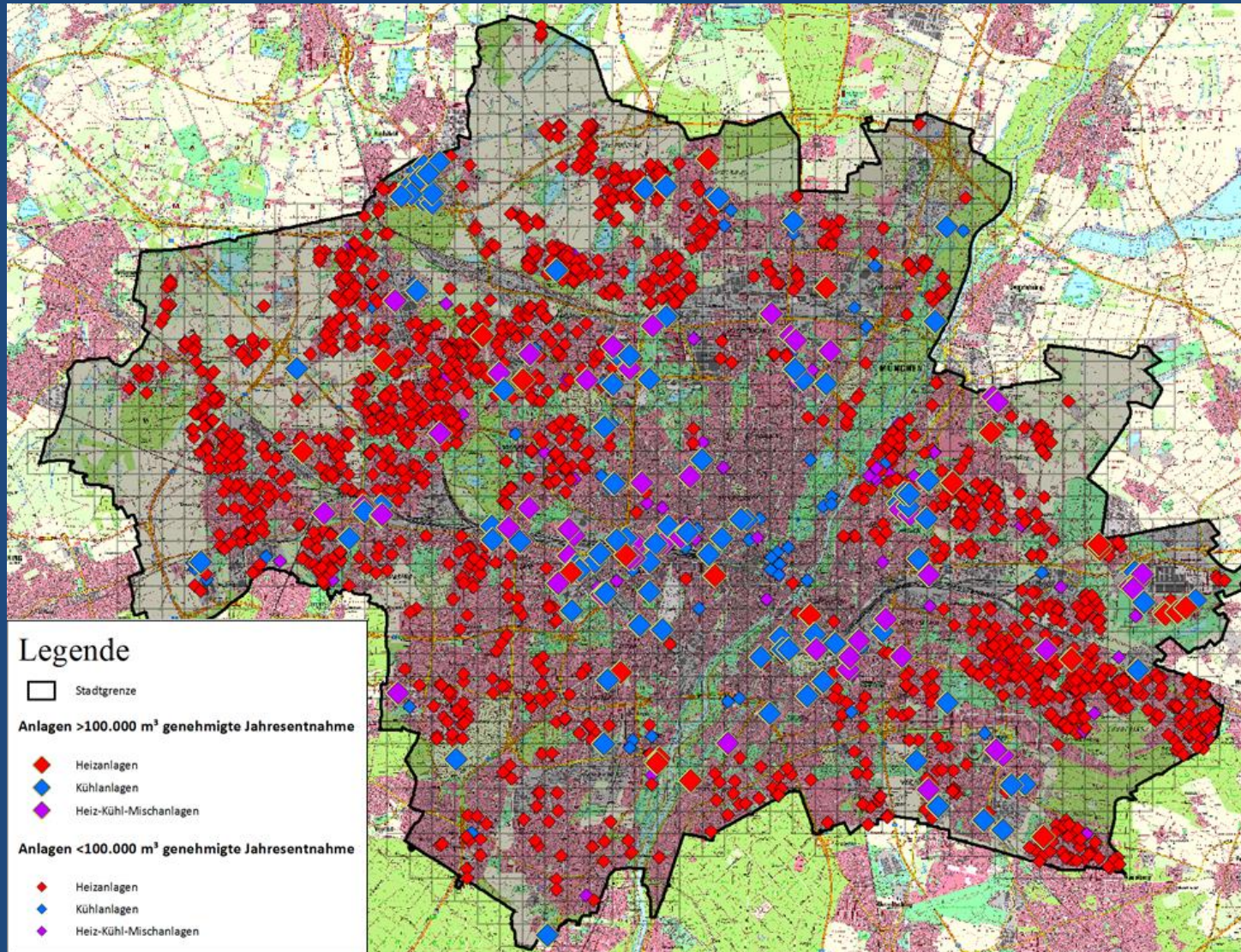
Durch den Einsatz von Wärmepumpen kann das Grundwasser aus dem Münchner Untergrund auch als Wärmequelle genutzt werden. Die SWM setzen diese Technologie z. B. in Grundwasser-Fernkältenetzen ein. Dabei kann auch auf vorhandene Grundwasser-Dükeranlagen der U-Bahninfrastruktur zurückgegriffen werden.



Fernwärme

Vision der SWM ist es, Münchens Fernwärme zu 100 Prozent aus erneuerbaren Energien zu gewinnen - die tiefe Geothermie ist dabei Grundpfeiler der Wärmeversorgung.

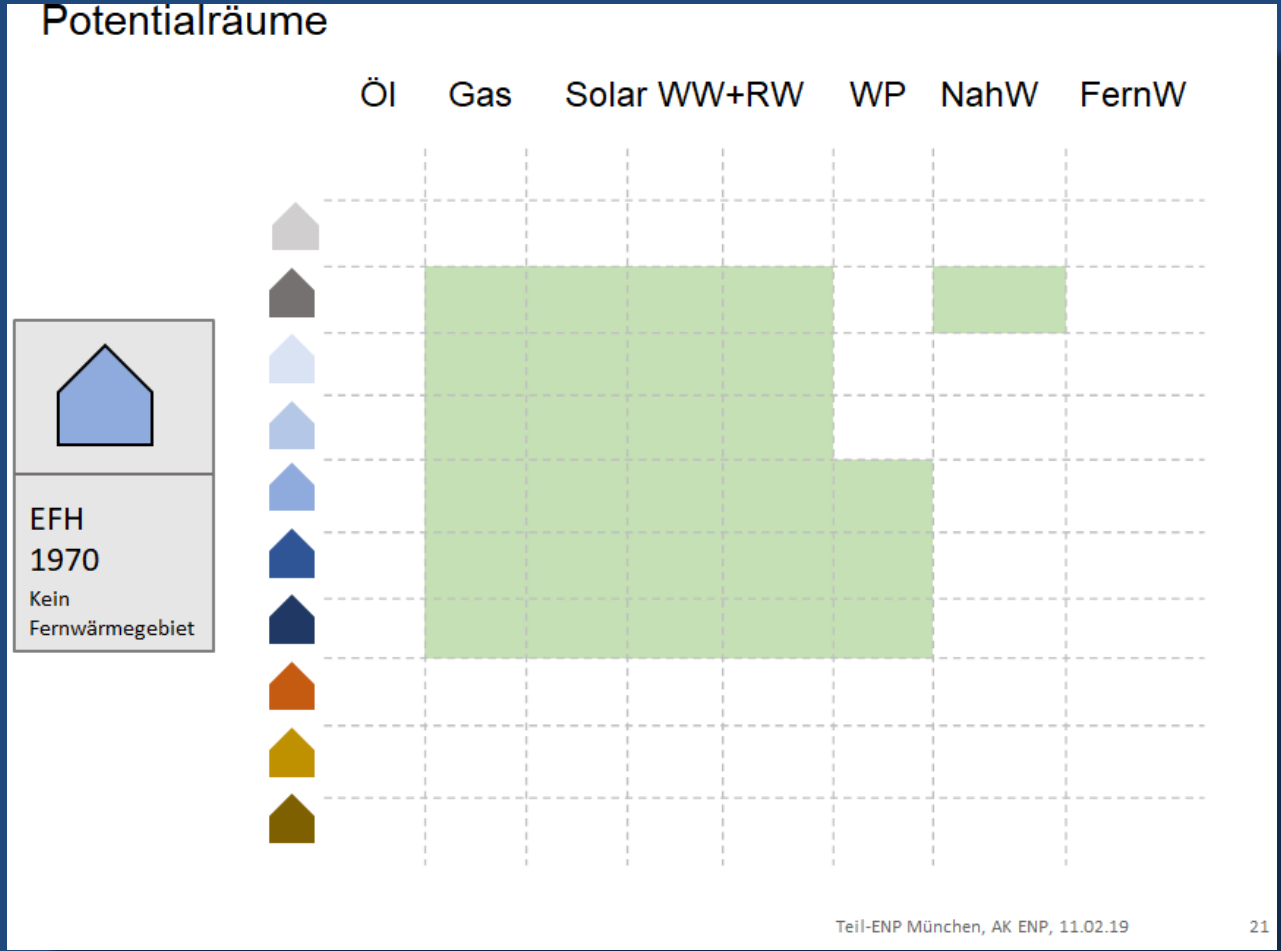




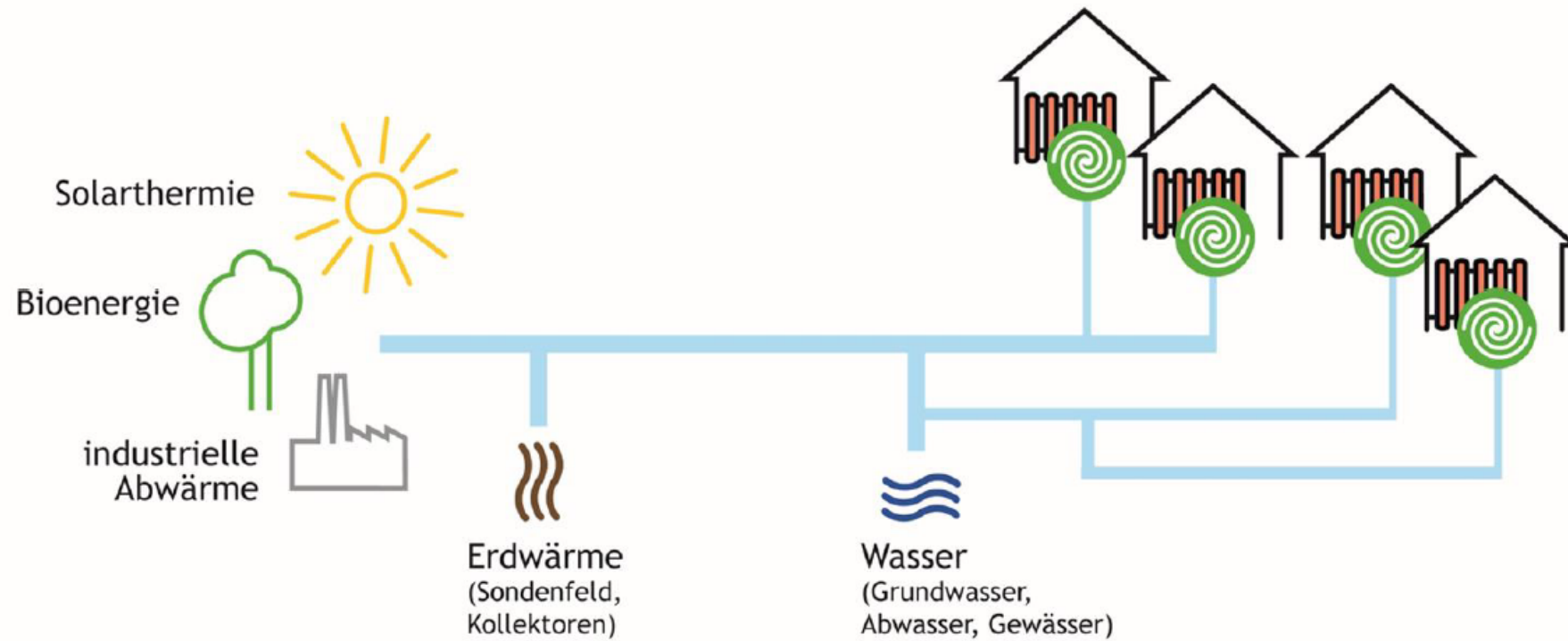
- ca. 3000 Anlagen in München
- Viele kleine Heizanlagen
- Wenige große Kühlanlagen



**Integration In Bauleitplanung,
Entwicklung von Quartierskonzepten,
Energiekaravanen, etc...**



Kalte Nahwärme mit Wärmepumpen





Staatliche
Förderung



Förderung für das Heizen mit erneuerbaren Energien ab 2020

Weitere Informationen finden Sie unter: www.bafa.de/ee

Erdwärmeheizungen mit Wärmepumpe bis 100 Kilowatt

geforderte Effizienz (Jahresarbeitszahl = JAZ):

- bei bestehenden Wohngebäuden: 3,8
- bei bestehenden Nichtwohngebäuden
(bei Raumheizung ohne Warmwasserbereitung): 4,0
- bei Neubauten: 4,5

Zuschuss von:

- 35 % bei Installation einer Erdwärmepumpe
- 45 % bei Installation einer Erdwärmepumpe, wenn Sie gleichzeitig eine Ölheizung außer Betrieb nehmen.

Antragstellung:

- vor dem Einbau
- online auf bafa.de



Wärmewende in der Stadt

Damit Klimaneutralität bis 2050 Realität wird, muss die Wärmeversorgung in der Stadt nachhaltig gestaltet werden. Die Wärmewende kann gelingen, wenn lokale Wärmequellen genutzt, Sanierungsrate und -tiefe erhöht und die Fernwärme transformiert werden.



Urbane Wärmewende

Sanierungsrate und -tiefe steigern und Sanierung sozialverträglich gestalten
 Höhere Sanierungsraten und -tiefen in Städten sind notwendig, um die Klimaschutzziele zu erreichen. Für Mieter/innen zählen sich energetische Sanierungen bei der gesetzlich möglichen Modernisierungsumlage kurzfristig nicht immer aus. Für eine sozialverträgliche Wärmewende in urbanen Räumen müssen politische Instrumente eine gerechte Verteilung der Kosten gewährleisten und dafür sorgen, dass energetische Sanierungen trotz Hemmnissen erfolgen.

Erdgas durch synthetisches Gas ersetzen, aber die Menge begrenzen
 Erneuerbarer Strom leistet einen Beitrag zur klimaschonenden Wärmeversorgung, über den Einsatz von Wärmepumpen, Power-to-Heat und zukünftig auch als synthetisches Gas. Es ist dabei wichtig, die Strommengen zu begrenzen, denn es besteht das Risiko, dass der Ausbau an räumliche Grenzen stößt. Dafür ist ein hoher Anteil an energetisch sanierten Gebäuden wichtig sowie die Nutzung von lokalen Wärmequellen bei der Wärmeversorgung.

Fernwärmewende fordern und gestalten
 In der Fernwärme können durch den Kohleausstieg recht schnell CO₂-Emissionen vermieden werden. Eine klimaneutrale Fernwärmeversorgung braucht aber mehr: Eine auch langfristig nachhaltige Fernwärmeversorgung weist ein niedrigeres Temperaturniveau auf und integriert lokale, erneuerbare Wärme und Abwärme. Dafür müssen schon heute Maßnahmen mit langfristiger Wirkung auf den Weg gebracht werden.

Kommunale Wärmeplanung entwickeln
 Eine Wärmewende in der Stadt braucht eine strategische Wärmeplanung. Die Möglichkeiten im Rahmen der kommunalen Steuerungsinstrumente wie Bauleitplanung, städtebauliche Verträge und Klimaschutzvereinbarungen müssen genutzt werden. Über ein Landeswärmegesetz etwa lassen sich Anforderungen an Heizungen und den Wärmeverbrauch stellen.

„Keimzellen“ finden und erschließen
 Eine gebäudeübergreifende Wärmeversorgung im Quartier ermöglicht es, erneuerbare Energien und Abwärme effizienter und in größerem Umfang zu nutzen als bei der Versorgung eines Einzelgebäudes. Öffentliche Gebäude, Neubauvorhaben, gewerbliche Gebäude oder die Wohngebäude der Wohnungsbaugesellschaften können als „Keimzellen“ die Umsetzung von Quartierskonzepten erleichtern. Ein Wärmekataster unterstützt bei der Frage, wo hierfür geeignete Quartiere mit entsprechenden Potenzialen an erneuerbarer Wärme und Abwärme zu finden sind.

Biomasseressourcen schonen
 Biomasse aus dem Stadtgebiet kann für die Energieversorgung genutzt, der Einsatz externer Biomasse muss aber minimiert werden. Denn die Biomasspotenziale sind begrenzt und eine stoffliche Nutzung hat Vorrang vor der energetischen Nutzung. Der Einsatz von Biomasse lässt sich reduzieren, indem die lokalen Wärmequellen umfassend genutzt werden und der Wärmeverbrauch durch energetische Sanierung sinkt.



Die Vielzahl an lokalen Wärmequellen umfassend nutzen
 Abwasserwärme, Flusswasserwärme, gewerbliche Abwärme und Geothermie lassen sich in der Wärmeversorgung dann effizient einsetzen, wenn Gebäude als Folge der energetischen Sanierung weniger und mit geringeren Temperaturen beheizt werden müssen. Um die lokalen Wärmequellen erschließen zu können, sind öffentlich verfügbare Daten zu den Potenzialen notwendig und unterstützende Instrumente wie etwa Förderungen und Risikoabsicherungen.



IMPRESSUM
 Dieses Poster wurde im Projekt „Urbane Wärmewende“ erarbeitet.
 1. Auflage, November 2019
 Herausgeber: Institut für Ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW)
 AutorInnen: Dr. Eliza Dunkelberg, Nina Prehm
 Gestaltung: Volker Klamt
 Druck: Druckhaus Berlin-Mitte
 Förderer: Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBWF) im Förderschwerpunkt Social-Ökologische Forschung (DOF) www.urbane-waermewende.de

Fazit

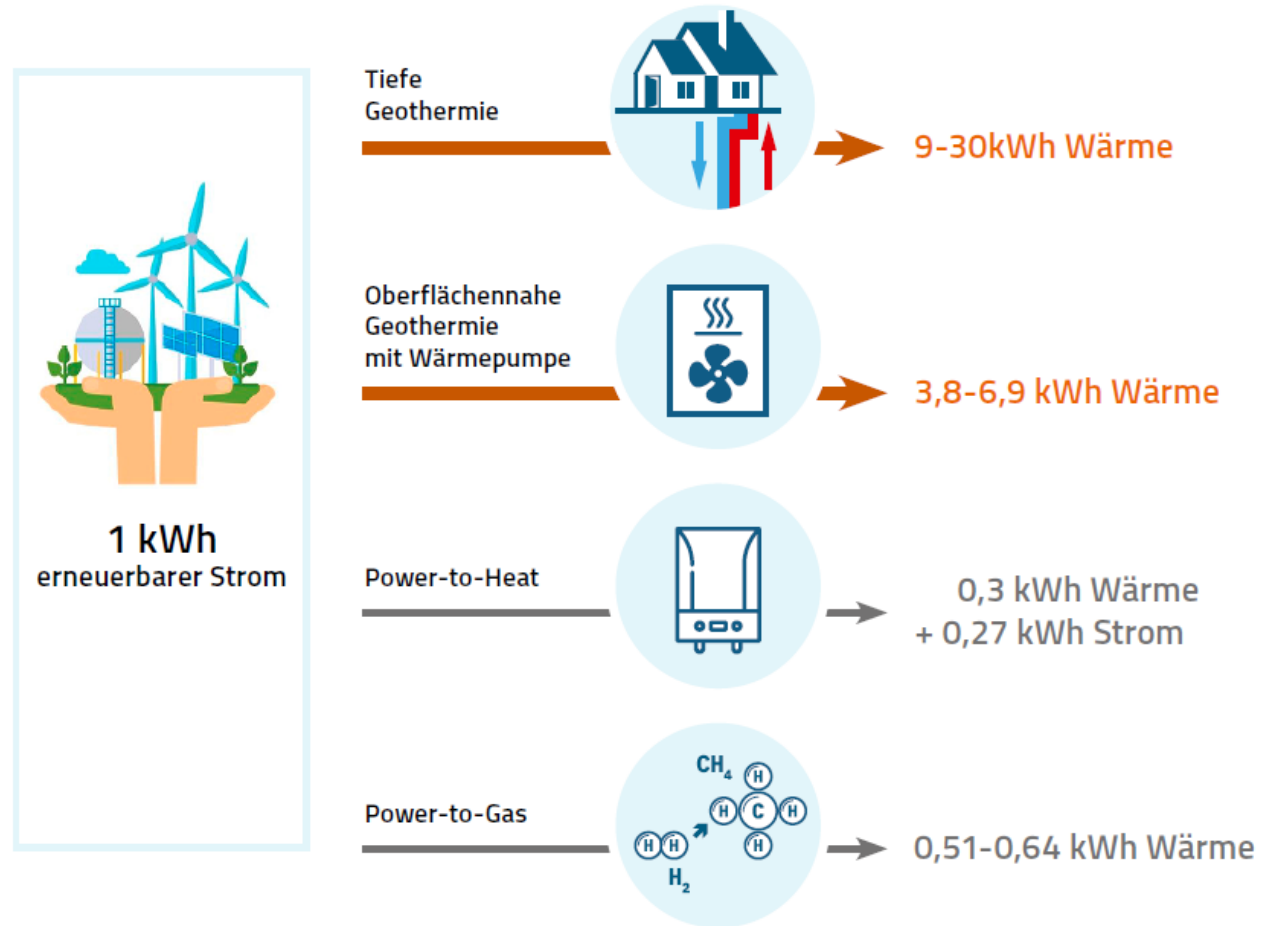
- Tiefen-Geothermie weist bei den spezifischen Treibhausgasemissionen mit den besten Netto-Vermeidungsfaktor von allen erneuerbaren Wärmetechnologien auf (UBA, 2019b)
- München hat optimale geothermische Voraussetzungen
- Fernwärme vorrangig und grün ausbauen
 - möglichst viel Geothermie einbinden (auch aus dem Umland)
 - Wärmespeicherlösungen angehen
- Außerhalb des Fernwärmegebietes: ganzheitliche Strategie fahren und Maßnahmen mit bester Emissionsvermeidung umsetzen (Bauleitplanung, Anreize, Quartierslösung)
- Größtenteils sehr gute Bedingungen für GW-Wärmepumpen in München
- Ausbau effizienter Wärmepumpen (Grundwasser, etc) (wenn effizienteste Lösung ist.)

Aber:

Fernwärme und Geothermie braucht bessere und faire politische Rahmenbedingungen:

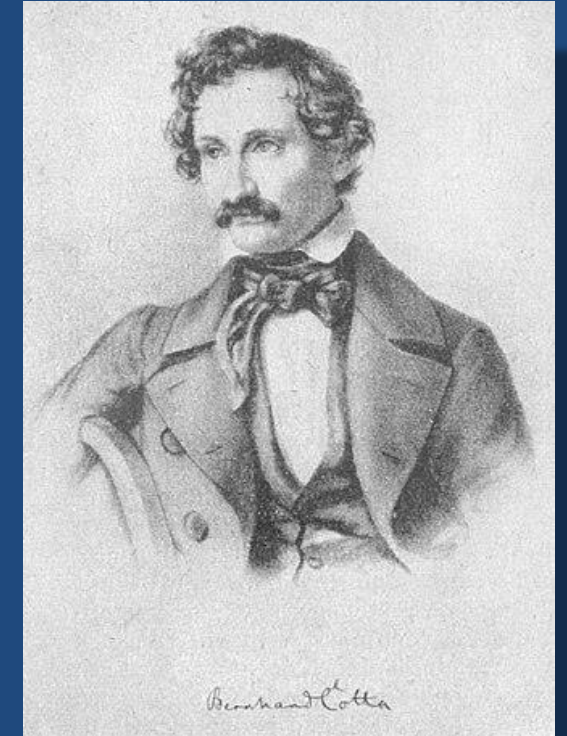
- Gerechte und an CO₂-Emissionen orientierte Belastung von Energieträgern
- Entlastung des EE-Stroms für Wärmepumpen und Tiefpumpen von EEG-Umlage und Stromsteuer: Preis für den Strom für Erdwärmeheizungen durch Steuern und Abgaben verdoppelt; zum Vergleich: Öl und Gas werden nur zu 20-30 % belastet.
- Der Bau von Verbindungsleitungen – in München beispielsweise zur Anbindung von Geothermieanlagen im südlichen Umland an das städtische Wärmenetz – sind aktuell nach KWKG nicht förderfähig. → rasche Umsetzung der Bundesförderung effiziente Wärmenetze (BEW) nötig
- Finanzierungshürde absichern über Eigenkapital stärkende KfW-Ausfallbürgschaften und eine Fündigkeitsabsicherung; Novellierung der Wärmelieferungsverordnung, etc...

Effiziente Sektorkopplung mit Geothermie



Datenquellen: Forschungsstelle für Energienetze und Energiespeicher (FENES) (2020), Agora Energiewende (2020), Fraunhofer (ISE 2020), eigene Erhebung

„Sollten einst auf der mehr und mehr bevölkerten Erde die Wälder überall stark gelichtet und die Kohlenlager erschöpft sein, so ist es wohl denkbar, dass man **die Innenwärme der Erde sich mehr und mehr dienstbar macht**, dass man sie durch besondere Vorrichtungen in Schächten oder Bohrlöchern zur Oberfläche leitet und zur Erwärmung der Wohnungen oder selbst zur Heizung von Maschinen verwendet. Man wird freilich nicht früher allgemein und mit Vortheil zu dieser, in ihrer Anwendung wahrscheinlich kostspieligen Wärmequelle greifen, bis ein empfindlicher Mangel an Brennmaterial dazu nöthigt; **dann aber bleibt die Wärme der Mutter-Erde eine sichere letzte Zuflucht.**“,



Bernhard von Cotta (1858)

Geologe und Bergbauwissenschaftler,
Freiberg

Dr. Kai Zosseder

Technische Universität
Lehrstuhl für Hydrogeologie
Leiter AG Geothermie

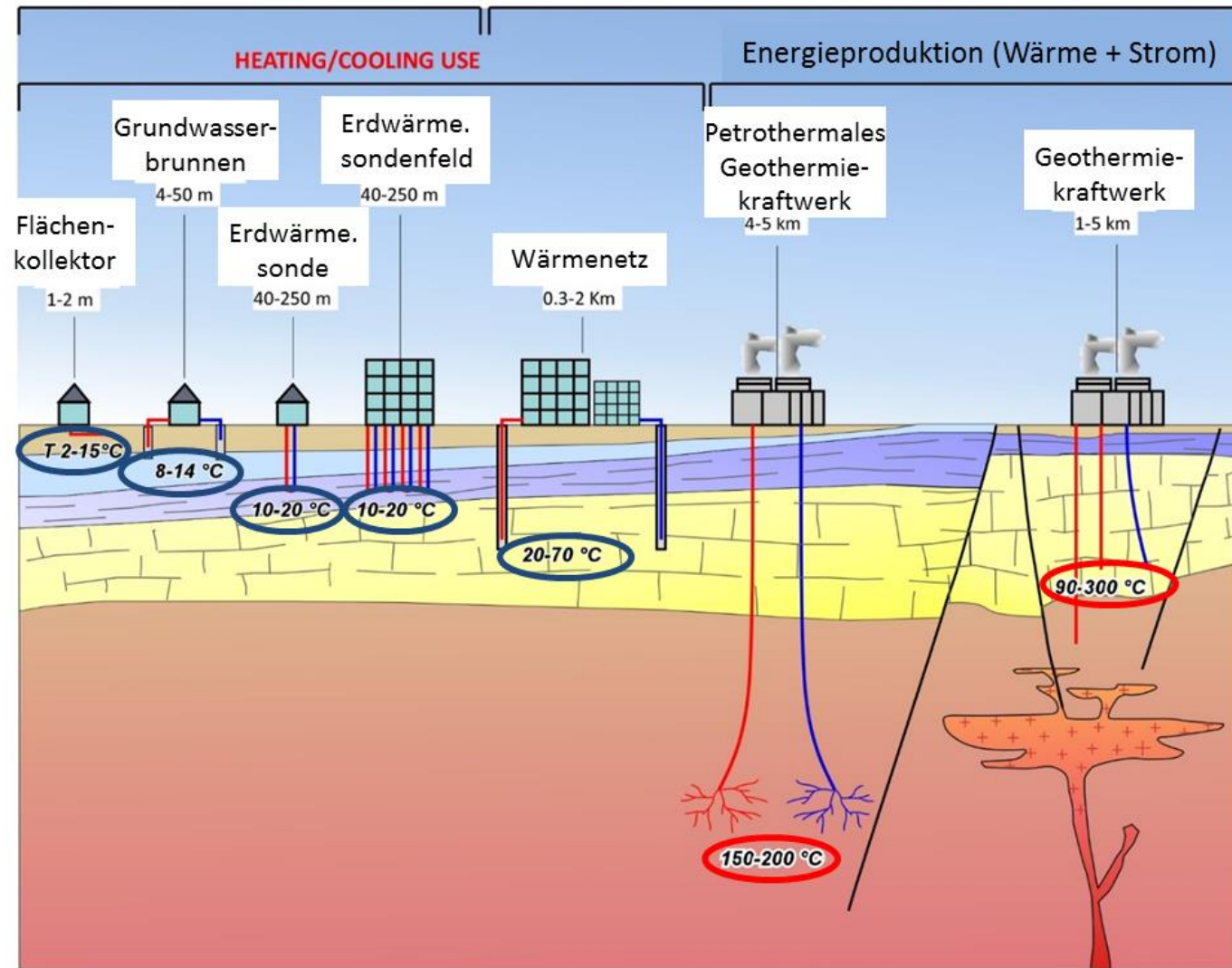
kai.zosseder@tum.de





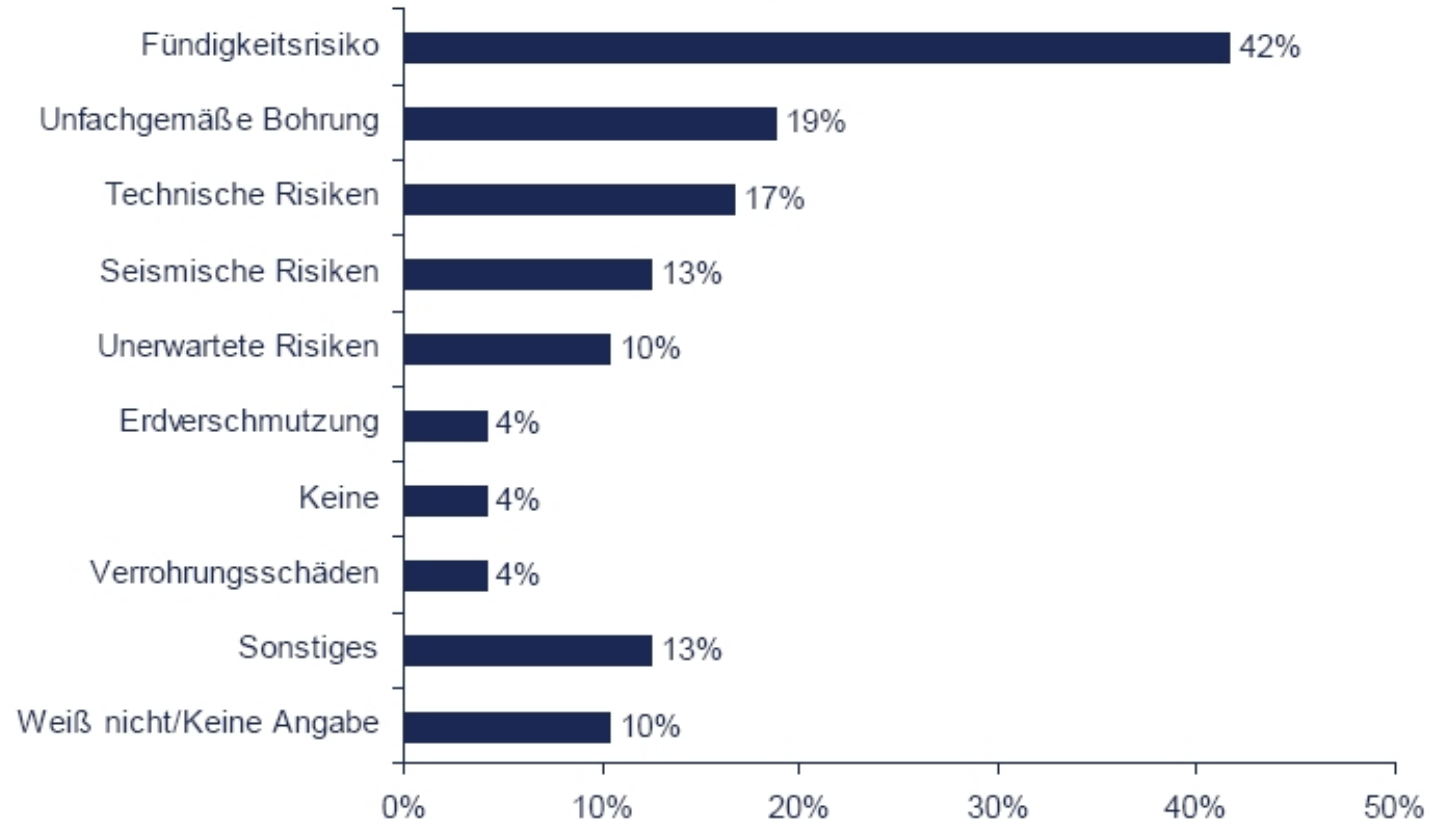
Oberflächennahe Geothermie

Mitteltiefe bis tiefe Geothermie Geothermie



Welche der Probleme und Risiken treten vor allem bei der Bohrung auf?

(n=48)



Strategie zur weiteren Verringerung des geringen Risikos für Mikroseismizität:

- Risikoeinschätzung zum Projektbeginn
- Aufbau Monitoringnetzwerke
- Versicherungslösungen
- 3D-Seismik: geomechanische Modellierungen (Integration des Stressfeldes, Vorhersage der Spannung an den Störungen)
- -> Konsequenz für das Erschließungskonzept keine oder gesteuerte Reinjektion in die Störung

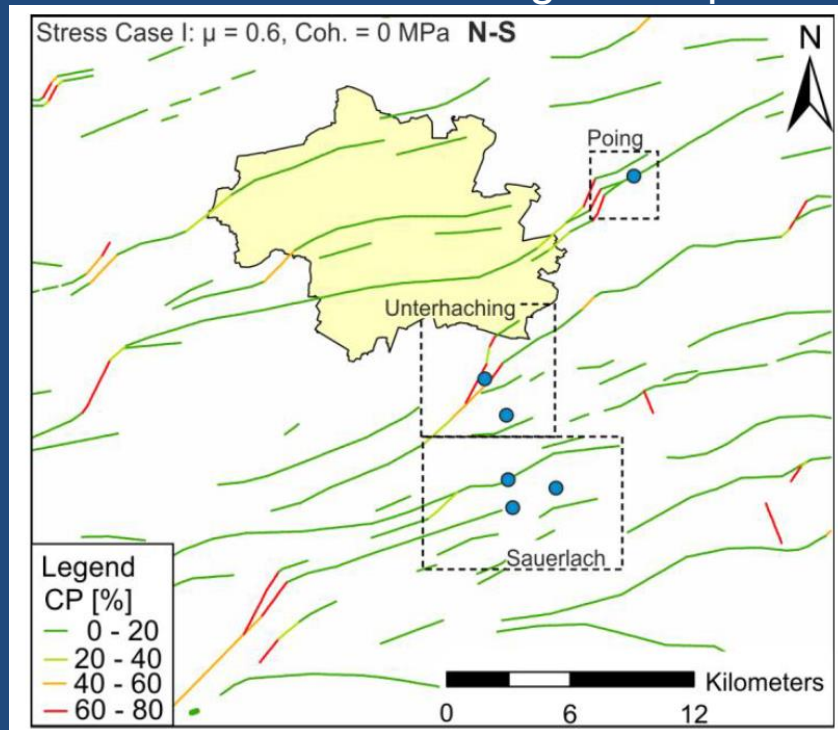
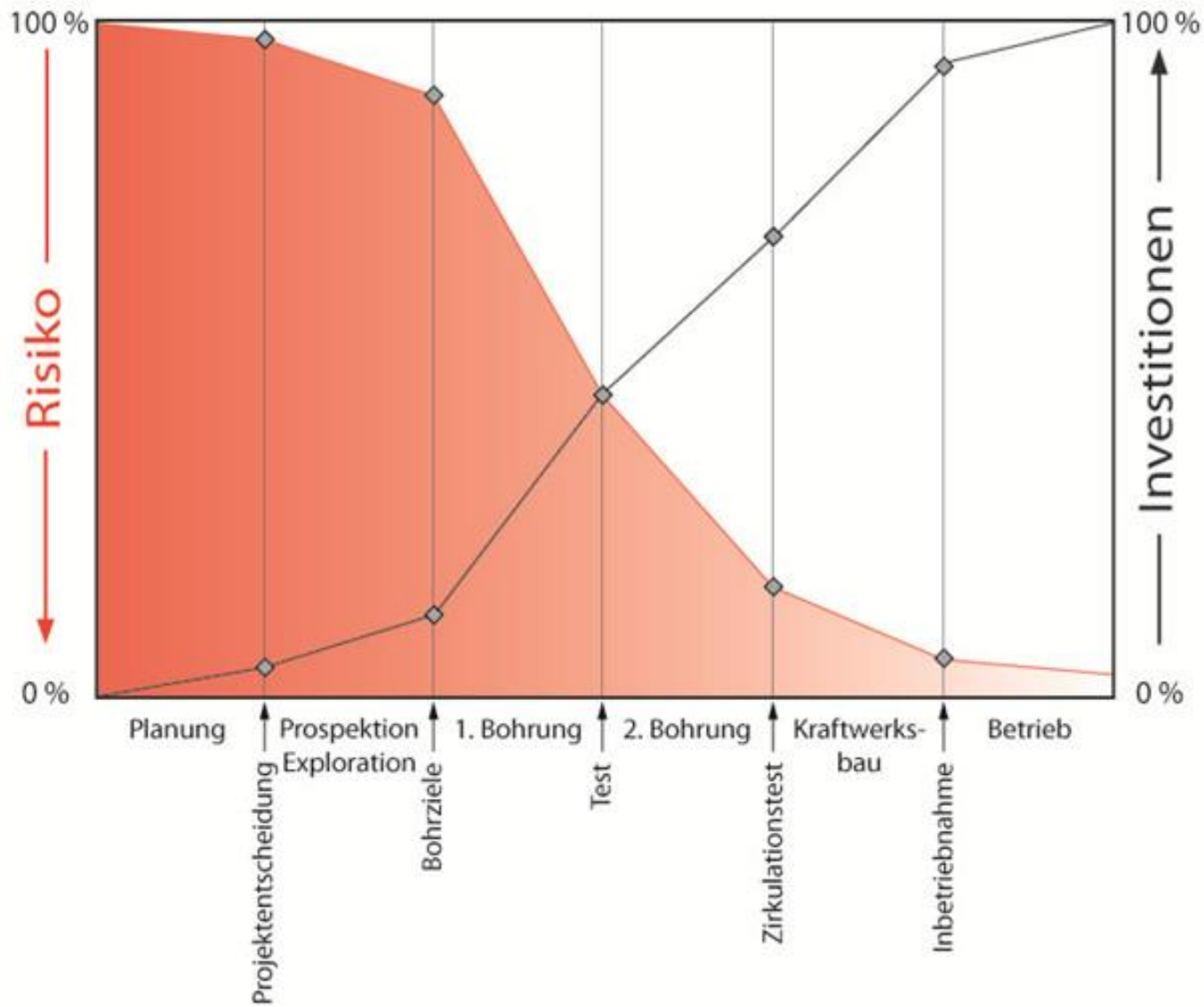
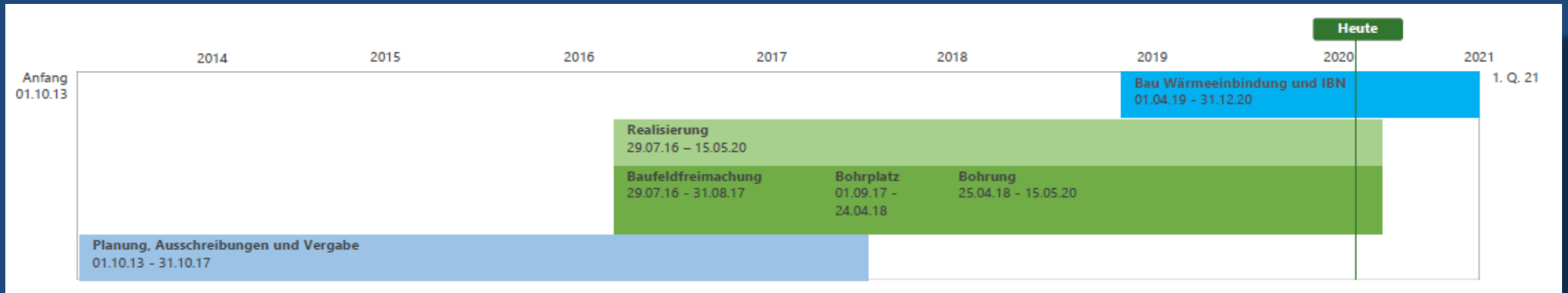


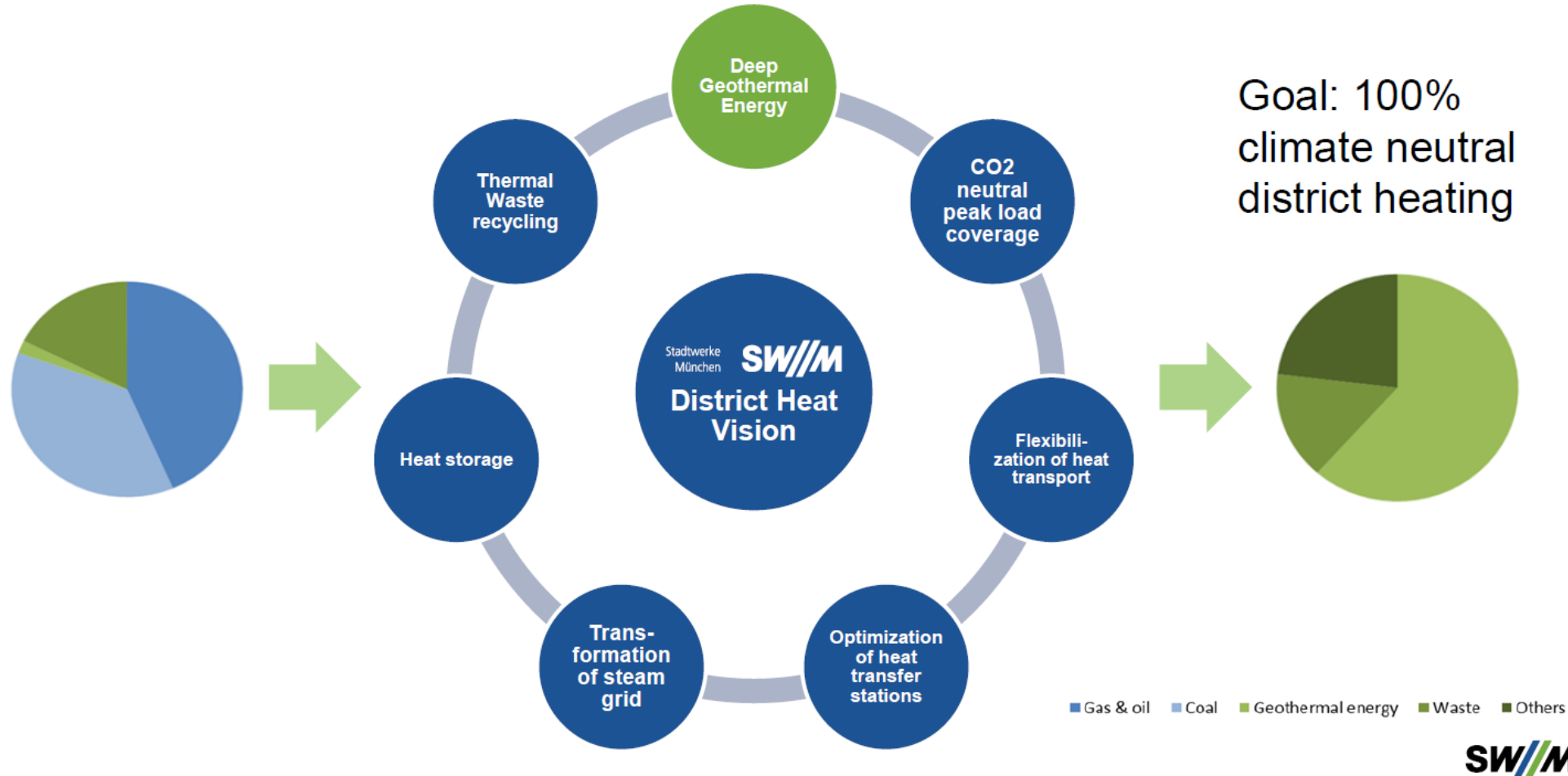
ABBILDUNG 9: KARTE DER KRITISCHEN WAHRSCHEINLICHKEIT IN EINEM N-S ORIENTIERTEN STRIKE-SLIP SPANNUNGSFELD MIT DEN JEWELIGEN BLAUEN INJEKTIONSPUNKTE DER UNTERSUCHTEN GEOTHERMIE PROJEKTE.



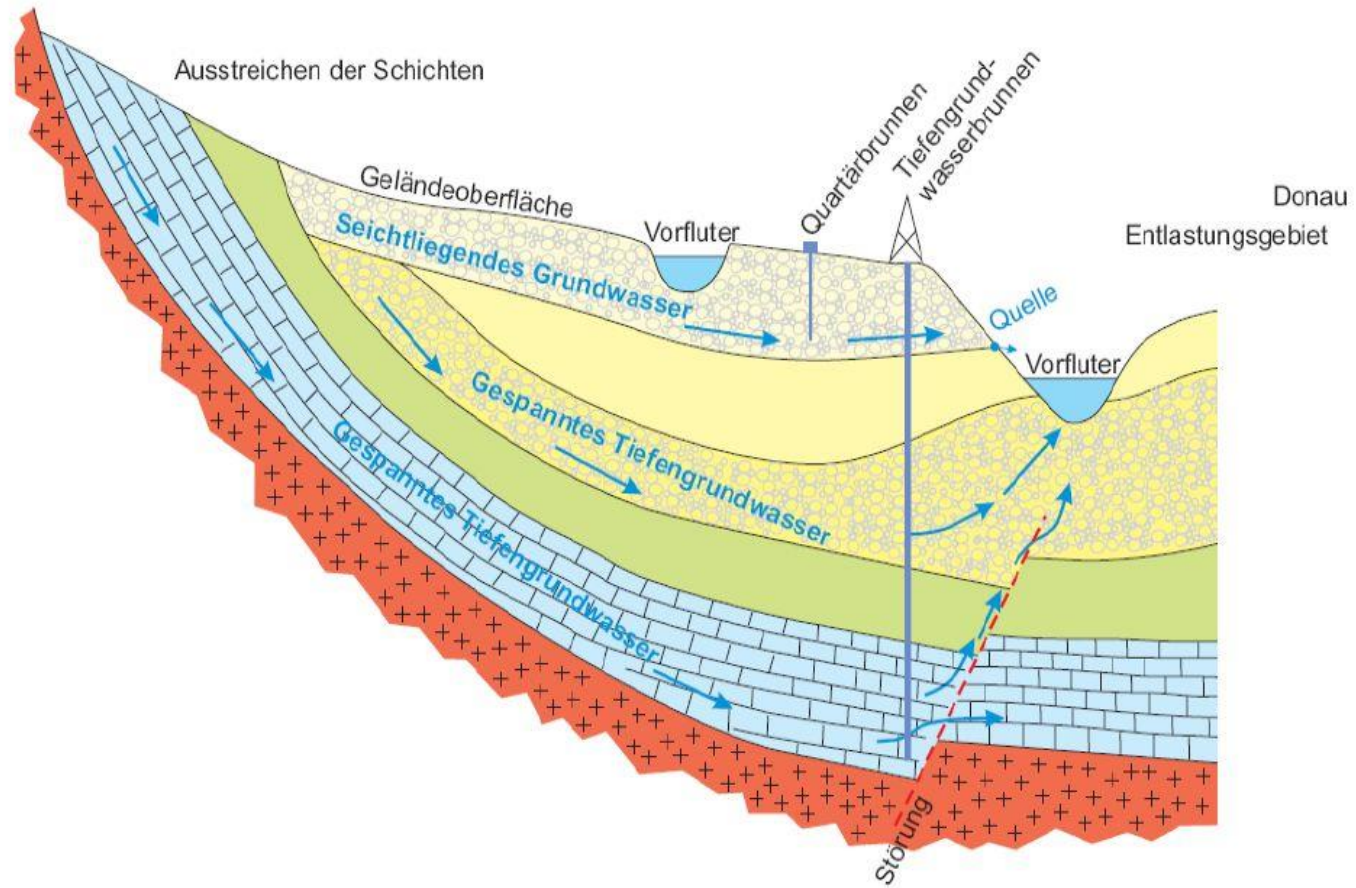
- Typische Investitionskosten sind hoch**
- Sicherung der Bohrrechte (Claim) ~30.000 €
 - 2 Bohrungen á 5000 m ~30 Mio. €
 - Heizkraftwerk mit 5 MW_{el}+30 MW_{th} ~20 Mio. €
 - Nahwärmenetz 20 km ~10 Mio. €



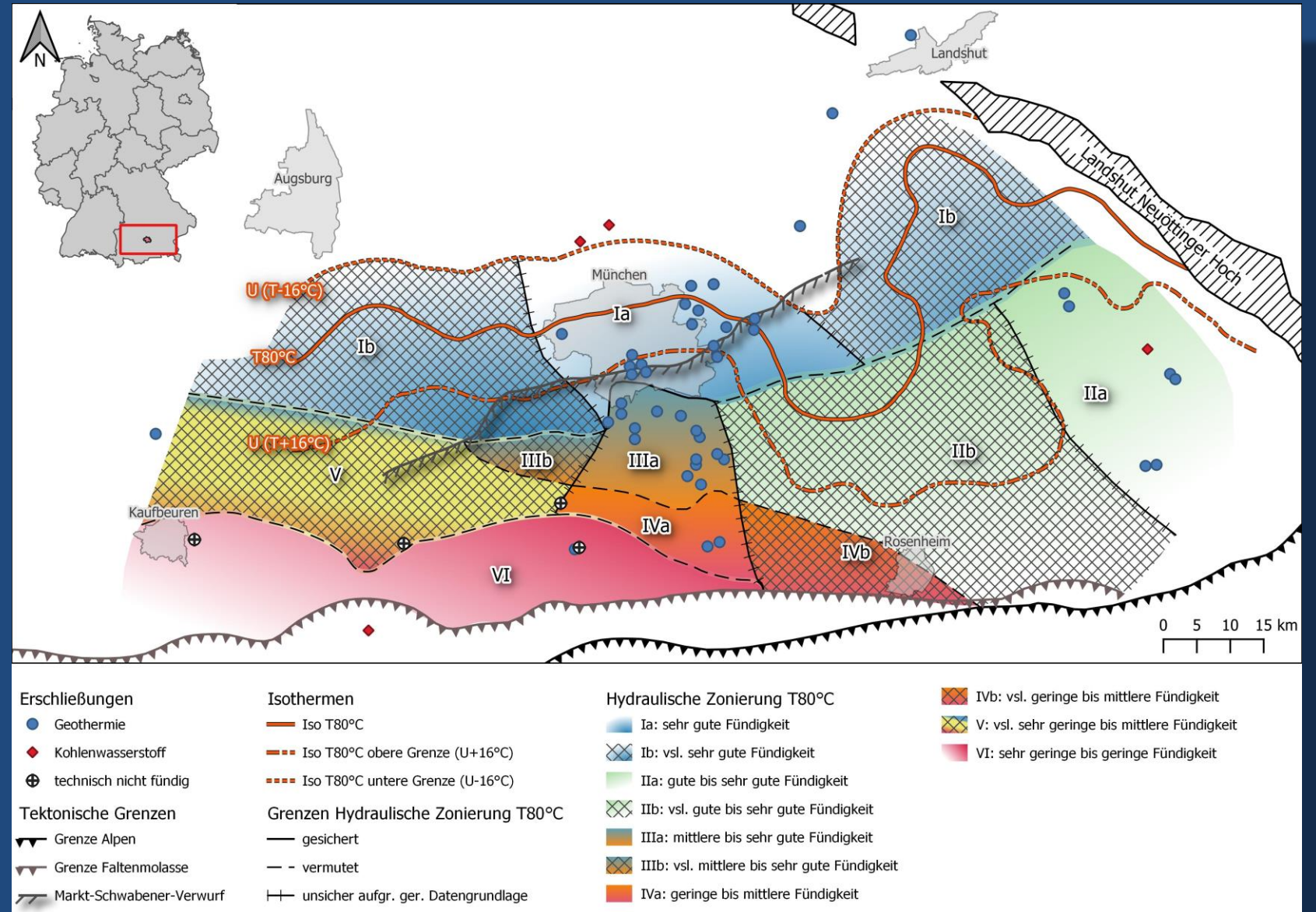
Elements of SWM's district heating transition

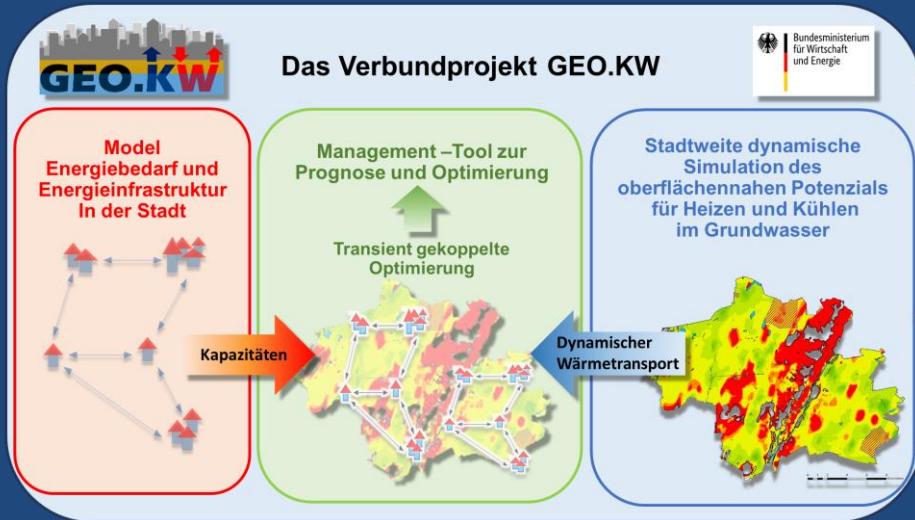


Frankenalb
Schwäbische Alb
Einzugsgebiet

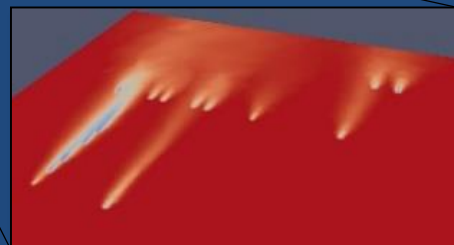
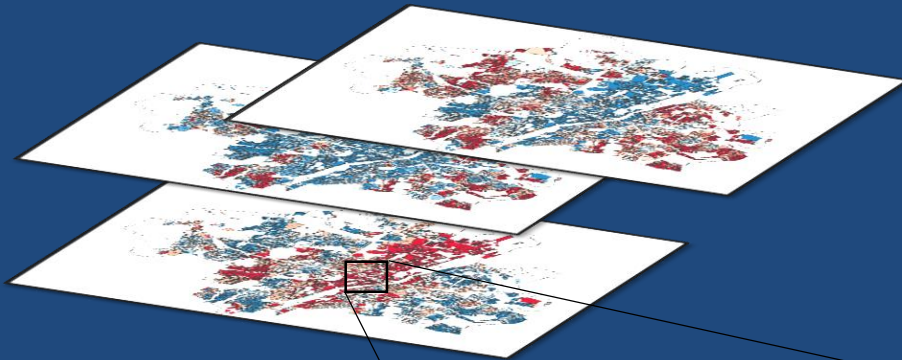


| Zonen | Schüttungen [l/s] Spannweiten | angenommener Mittelwert [l/s] |
|----------|----------------------------------|----------------------------------|
| I a,b | 75-180 | 90 |
| II a | 65-180 | 90 |
| II b | 65-180 | 70 |
| III a, b | 40 -150 | 80 |
| IV a, b | 40-60 | 50 |
| V | 5-50 | 15 |
| VI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

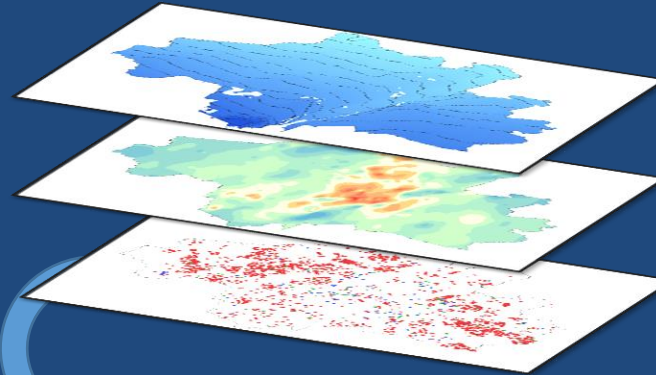




Großräumiges numerisches Model

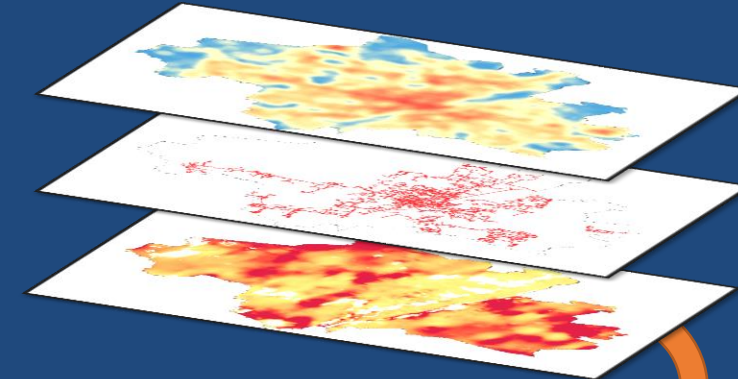


Thermisch-Hydraulisches Grundwassermodell



- Nutzung von Synergien (Wärme/Kälte)
- Integration von Untergrundstrukturen/Düchern
- Berücksichtigung Genehmigungsrecht

Energiesystemmodellierung



- Detaillierte Invest-Kosten
- Berücksichtigung von Förderungen
- CO₂-Kosten

Zielgröße der Optimierung:



- Wärmebilanz Grundwasser
- Minimale CO₂-Emissionen
- Minimale ökonomische Kosten
- Anpassung an zukünftigen Bedarf