

Geothermische netzgebundene Wärmeversorgung in Norddeutschland: Potenziale und Wirtschaftlichkeit

Hagen Bültemeier, Patrick Heinrich, Thomas Wenzel

DBI Gas- und Umwelttechnik GmbH

13. Norddeutsche Geothermietagung

Agenda

- 1 Motivation und Projektinhalt
- 2 Ermittlung des geothermischen Wärmepotenzials im NDB
- 3 Ermittlung des Wärmebedarfs und Optimierung von Wärmenetzen im NDB
- 4 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für Erschließung mit Hydrothermaler Dublette
- 5 Zusammenfassung

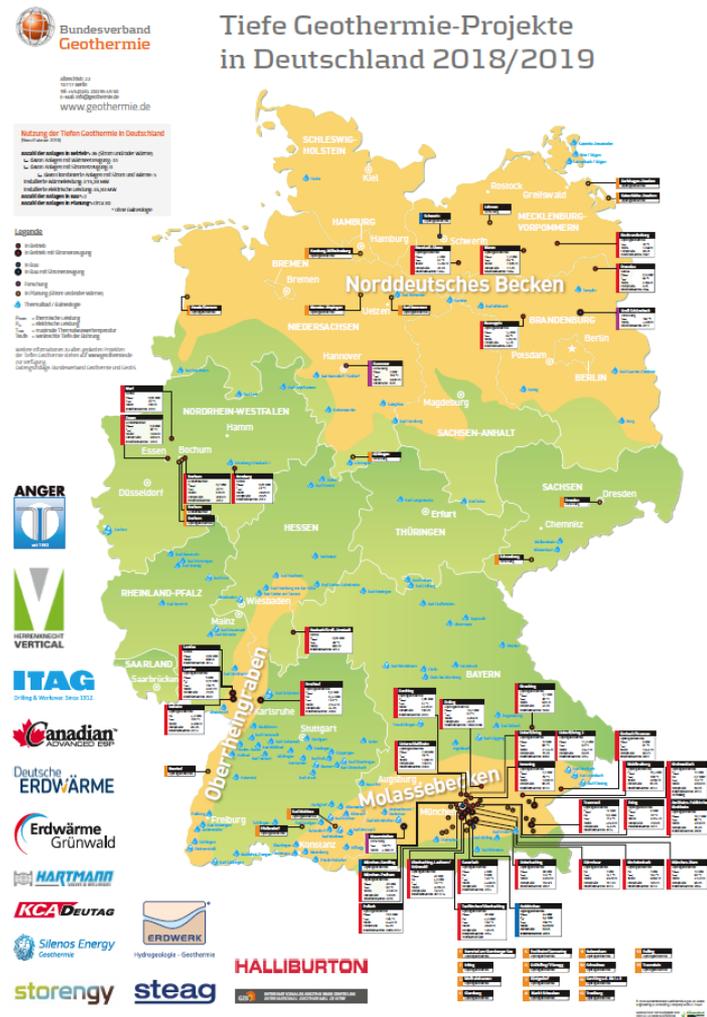
Motivation und Projektinhalt

1. Motivation und Projektinhalt

Ausgangspunkt:

- zur Erreichung der deutschen Klimaziele ist die Nutzung Erneuerbarer Energien (EE) ein Schlüsselbaustein
➔ Wärmesektor: derzeit geringer EE-Anteil (ca. 15%)
- Tiefengeothermie ist eine grundlastfähige EE und somit für die Wärmeversorgung prädestiniert
- Großteil der derzeitigen geothermischen Projekte in Süddeutschland, v.a. Raum München

Ziel: Entwicklung eines Tools zur geothermischen Standortbewertung für die Wärmeversorgung



1. Motivation und Projektinhalt

Zielstellung: Identifikation von optimalen Standorten für Tiefengeothermie-Projekte

- passende geologische Voraussetzungen
 - » detaillierte räumliche Analyse zum nutzbaren geothermischen Potenzial im Norddeutschen Becken (NDB)
- annehmbarer Erschließungsaufwand
- Wärmebedarf vorhandener lokaler Abnehmer
 - » Wärmeabnehmer mit einem niedrigen benötigten Temperaturniveau ($< 80\text{ °C}$, besser $< 60\text{ °C}$) → ideal für Tiefengeothermie-Anwendungen
 - » detaillierte räumliche Standortanalyse potentieller Wärmeabnehmer im NDB (Industrie, Gewerbe, Kommune, Haushalte)
 - » Evaluierung von Wirkungsgrade für Fördertechnologien sowie nachhaltige Modellierung von Bereitstellungs- und Verteilungsstrukturen zum Endverbraucher (Nahwärmenetze)
- Wirtschaftlickeitsbetrachtung nach VDI 2067
 - Einbeziehung der Kosten für das Abteufen und Betrieb der Bohrungen sowie die Kosten für den Unterhalt und Bau der Wärmenetze



Untersuchungsgebiet GEOHEAT-N: Norddeutsche Becken

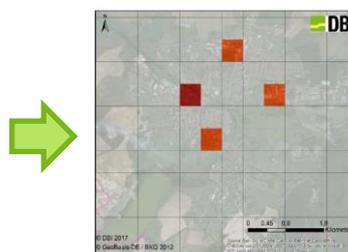
Ziel: Entwicklung einer Methodik zur Standortbewertung unter Berücksichtigung aller vier Faktoren:
„Geoheat-N“

1. Motivation und Projektinhalt

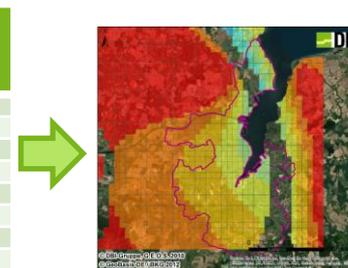
Workflow

- Untergliederung des NDB in 500 x 500 m² Rasterzellen und Zuordnung der einzelnen Kennwerte & Berechnungsergebnisse, ober- und untertage
- Modellierung von Wärmenetzen
- Bohrungsauslegung: hydrothermale Dublette

Kenngröße	Wert (Bsp.)
Netzlänge (m)	28.969
Angeschlossene Haushalte	2.415
Wärmebedarf (kWh/a)	312.230.501
Wärmebelegung (kWh/a/m)	9.798
Grundlast (kWh/a)	83.640.769
Spitzenlast (kW)	63.654



Formation	Oberkante Form. (OK)	Unterkante Form. (UK)	Kum. Mächt. lf. Hor. *	Temp. Oberkante Form.	Temp. Unterkante Form.	Schwankungsbreite Temp.	kf	Porosität
	(m)	(m)	(m)	(°C)	(°C)	(K)	(m/s)	(%)
GOK		31						
Barrieregestein 1	31	-2031						
Dogger Rollig	-2031	-2515	484	70,3	83,6	6,97	4,54E-5	23
Barrieregestein 3	-2515	-3622						
Oberer Keuper	-3622	-3858	50	109,2	115,4	11	1,80E-6	23
Barrieregestein 5	-3858	-4839						
Mittlerer Buntsandstein	-4839	-5550	711	129,3	145,3	11,89	2,00E-5	22



Output Bohrung

Benötigter Volumenstrom

Bohrlochkopf-temperatur

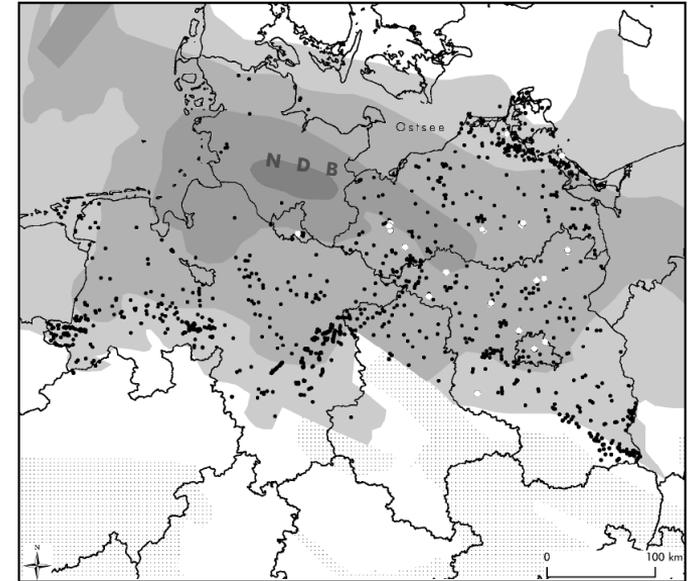
Komplettierungsdesign

Einbauteufe und Leistung der Förderpumpe

Ermittlung des geothermischen Wärmepotenzials im NDB

Schwerpunktinhalte:

- Charakterisierung des Norddeutschen Beckens (NDB) hinsichtlich des geothermischen Potenzials
- Aufarbeitung und Schaffung der Datenbasis für die nutzbaren geologischen Strukturen
- Fokus auf folgende Parameter (minimal Anforderungen für hydrothermalen Systemen und tiefen Erdwärmesonden):
 - ausreichende hohe Untergrundtemperaturen
 - ausreichende Permeabilität des Untergrundes
 - vorhandene Porositäten
 - Wärmeleitfähigkeit,
 - spezifische Wärmekapazität
 - Gesteinsdichte



Legende

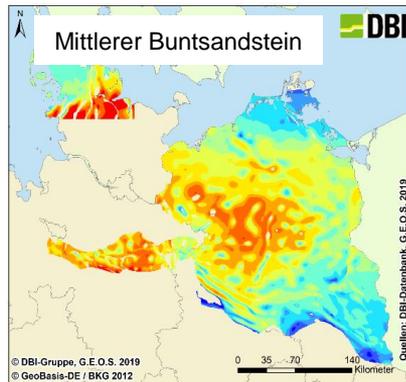
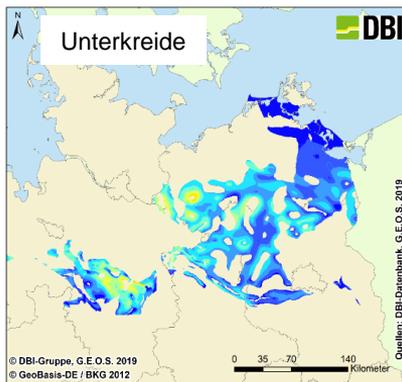
- Geothermiebohrungen • Tiefbohrungen, nicht differenziert
Sedimentmächtigkeiten nach Ziegler (1990) in km: 0 < 2 2-4 4-6 6-8 > 8

Verbreitung und Mächtigkeit des Norddeutschen Beckens mit der Lage verschiedener Tiefbohrungen

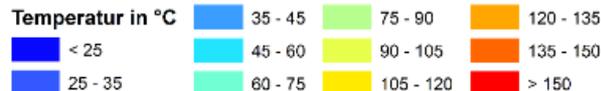
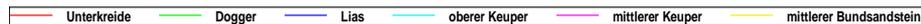
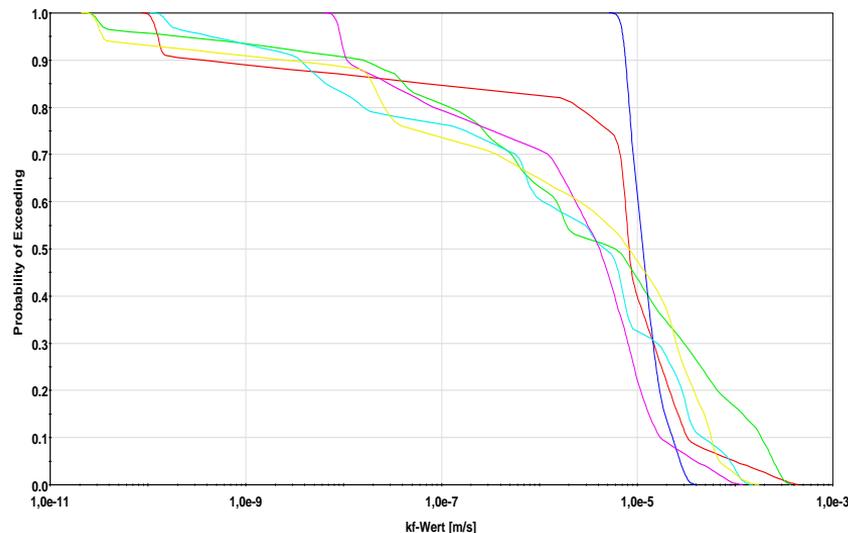
Ziel: Erstellung eines Normalprofils für permeablen und nichtpermeablen Untergrund-Horizont

Ergebnis:

- standortscharfe Identifikation von vorliegenden geologischen Schichten
 → teils große regionale Unterschiede in der geologischen Abfolge sowie deren reservoirmechanischer Parameter und Formationstemperaturen
- Bestimmung des P80 Perzentils für die Gesteinsdurchlässigkeiten



Verteilung der Kf-Werte für die leitfähigen Horizonte

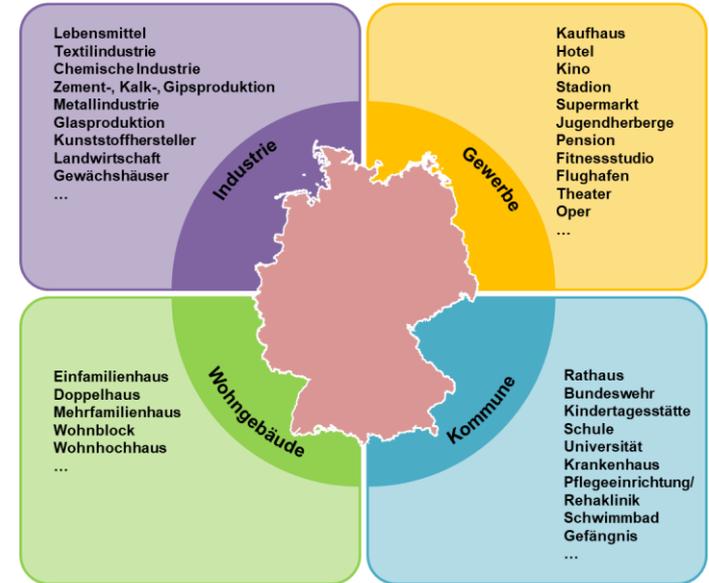


Ermittlung des Wärmebedarfs und Optimierung von Wärmenetzen im NDB

3. Ermittlung des Wärmebedarfs und Optimierung von Wärmenetzen im NDB

Datenbasis:

- ca. **22 Mio.** standortgenau georeferenzierte Daten im Datenbestand des DBI-Energieatlas für Deutschland
→ ca. **5,5 Mio. Abnehmer** im Untersuchungsgebiet Norddeutsches Becken (NDB)
- Einteilung **in vier Kategorien** (s. Abbildung rechts):
 - Wohngebäude
 - Kommune
 - Gewerbe (inkl. Handel und Dienstleistungen)
 - Industrie
- **Hinweise** zur Datenstruktur und Kategorisierung:
 - keine Einteilung nach Zugehörigkeitsverhältnissen (Eigentümer)
→ Einteilung nach dem Sinn und Zweck des Objektes
 - Charakterisierung der Energieabnehmer mittels Adresspunkten
→ Möglichkeit der Adressdopplung, z.B. mischgenutzte Gebäude



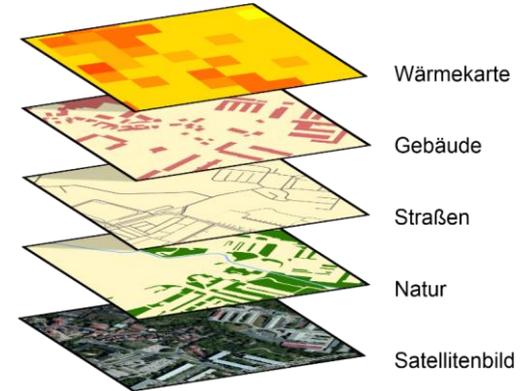
Übersicht DBI Basisdaten zu Energieabnehmern

Ziel: Schaffung einer Datenbasis mit potenziellen Wärmeabnehmern für das NDB

3. Ermittlung des Wärmebedarfs und Optimierung von Wärmenetzen im NDB

relevante Kennwerte zur Wärmebedarfsmodellierung:

- mikrogeografische Daten auf Gebäudeebene
 - geografische Lage
 - Gebäudecharakteristik (EFH, MFH, Wohnblock, etc.)
 - Baujahr
 - Anzahl der Haushalte
 - Sanierungszustand
- Mikro- und Makroklimadaten
- Energiekennwerte (spezifische Wärmeverbräuche etc.)
- standortspezifische Kennwerte (Mitarbeiterzahl, Anzahl Schüler etc.)
- amtliche Statistiken



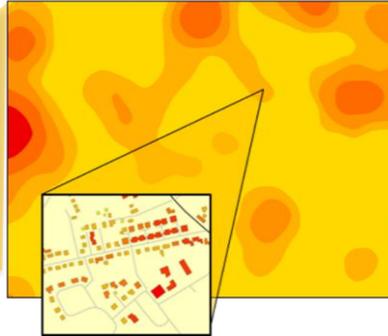
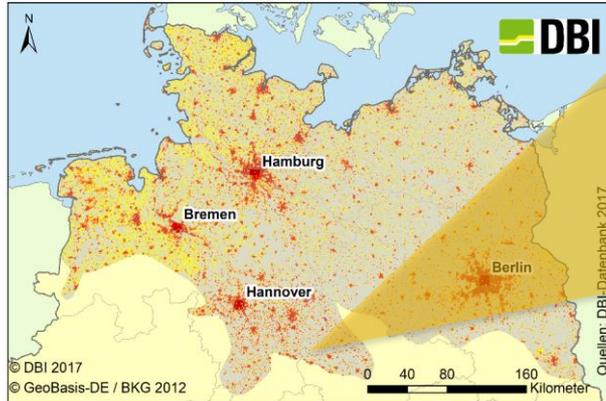
Zusammenführens verschiedener Informationen und Attribute in GIS

Ziel: Standortanalysen zur Modellierung des Wärmebedarfs von potentiellen Abnehmer erfolgt mittels Geoinformationssystem (GIS)

3. Ermittlung des Wärmebedarfs und Optimierung von Wärmenetzen im NDB

Ergebnisse Wärmebedarfsermittlung (Einzelversorgung):

- Wärmebedarfsermittlung für alle 5,5 Mio. Abnehmer aus DBI-Datenbank
- Bestimmung weiterer Attribute (Vorlauf- und Rücklauftemperaturen, min. und max. Wärmebedarfe, etc.)
- Agglomeration relevanter Attribute der Wärmeabnehmer pro Rasterzelle (500x500 m Raster)



Ergebnis standortgenaue Wärmebedarfsmodellierung

Wärmebedarf in kWh/a pro 50x50 m Raster

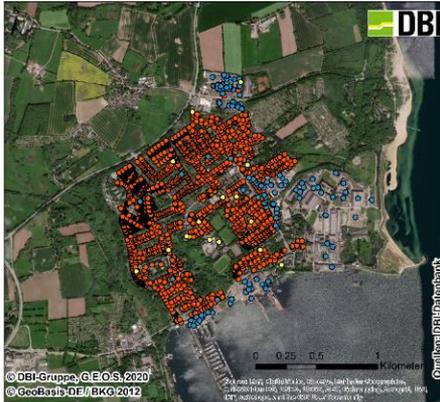


Ziel: Standortanalysen zur Modellierung des Wärmebedarfs von potentiellen Abnehmer erfolgt mittels Geoinformationssystem (GIS)

3. Ermittlung des Wärmebedarfs und Optimierung von Wärmenetzen im NDB

schematische Darstellung Wärmenetzmodellierung mittels „Grid-Analyst“ (Netzversorgung):

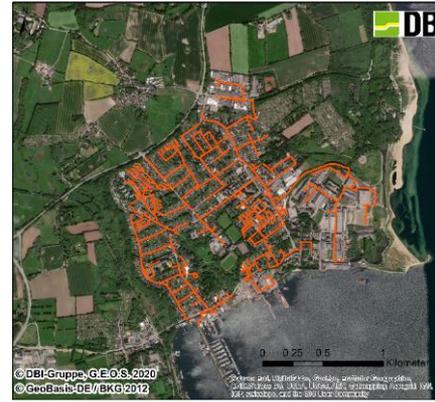
einzelne Wärmeabnehmer



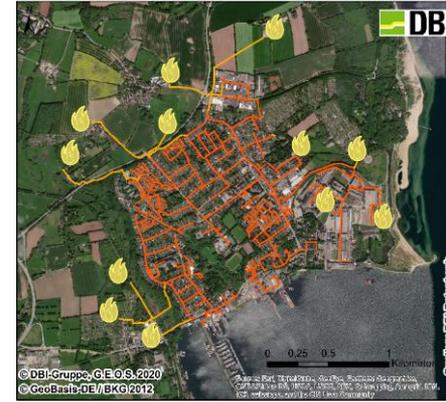
bewertete Straßenzüge



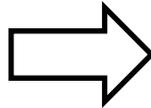
Wärmenetz



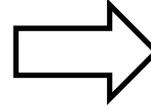
Wärmenetz mit potentiellen Geothermieanlagenstandorten



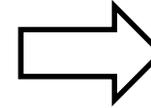
- Industrie / Gewerbe
- private Haushalte
- Kommune



— lukrative Straßenzüge



— Wärmenetz



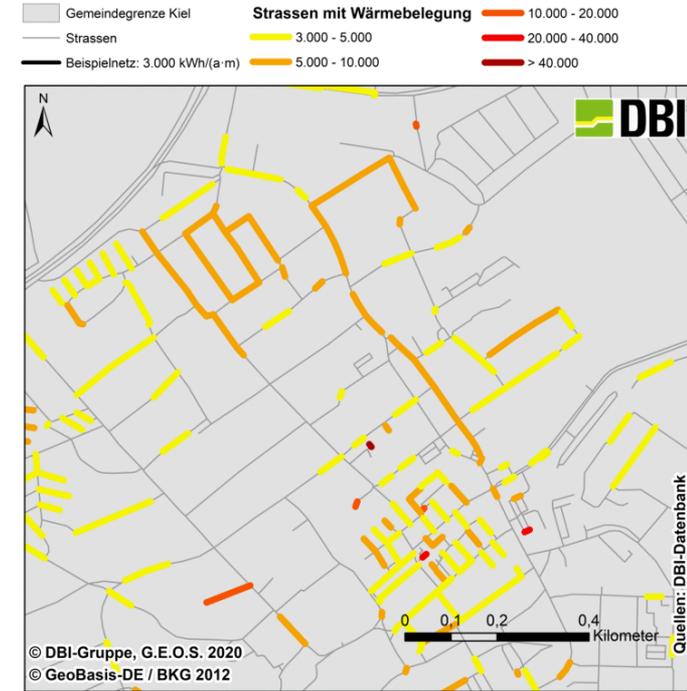
- 🔥 Geothermieanlage
- Anschlussleitungen

➔ Ziel: Entwicklung von Konzepten zur gleichzeitigen Versorgung von mehreren Abnehmern

3. Ermittlung des Wärmebedarfs und Optimierung von Wärmenetzen im NDB

Arbeitsweise DBI „Grid-Analyst“:

- Kriterien für Netzverlaufsmodellierung:
 - entlang öffentlicher Straßen
 - keine Maschen/Schleifen
 - Umgehen kostenintensiver Abschnitte (z.B.: Autobahnen)
 - Optimaler Verlauf hinsichtlich Gesamtlänge unter obigen Bedingungen
- methodisches Vorgehen:
 1. Beginn bei größter Wärmebelegung
 2. Prüfung des nächstgelegenen lukrativen Straßenzugs auf Mindestwärmebelegung
 3. Bedingung erfüllt → Verbindung Erstellen
 4. iterative Wiederholung bis alle lukrativen Straßenzüge geprüft sind



Modellierung Beispielnahwärmenetz

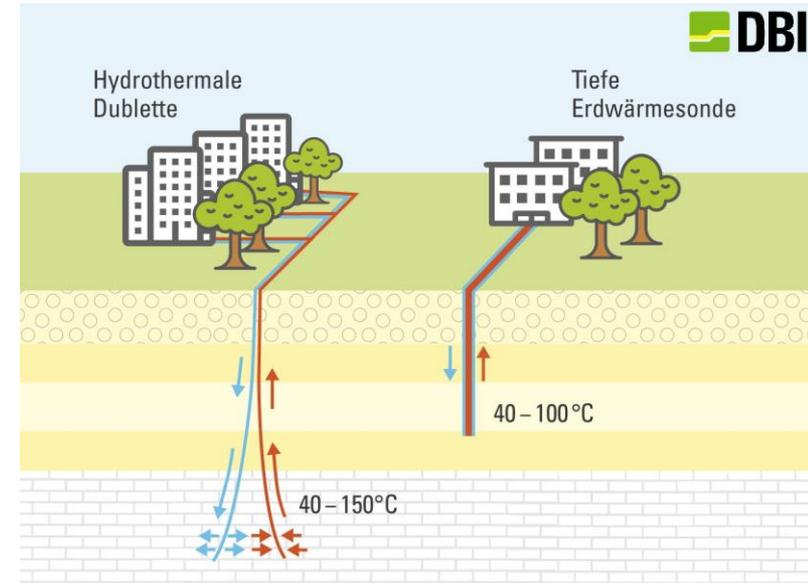
→ **Ziel:** Ableitung von standortspezifischen Netzparameter (Wärmeabsatz, Netzlänge, Abnehmeranzahl, Wärmemenge pro Leitungsmeter) für eine Wirtschaftlichkeitsanalyse

Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für Erschließung mit Hydrothermalen Dublette

4. Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für Erschließung mit Hydrothermaler Dublette

Technische Randbedingungen für die Auslegung der hydrothermalen Dublette:

- hydraulisch leitfähige Zielformation sowie ausreichende Reservoirkapazität zur Gewährleistung des benötigten Fördervolumenstroms
- ausreichend hohe Formationstemperatur um die benötigte Wärme bereitstellen zu können, unter Berücksichtigung der Wärmeverluste bei der Förderung
- Kopfdruck der Förderbohrung muss 10 bar betragen und wird im Wärmeübertrager konstant gehalten
- minimale Temperatur für die Re-Injektion ist 30 °C zur Vermeidung von Scales
- statischer Fluidspiegel im NDB liegt bei ca. 150 m Teufe
- Komplettierungsschemata nach BVEG je nach Endteufe und Einbauteufe Förderpumpe



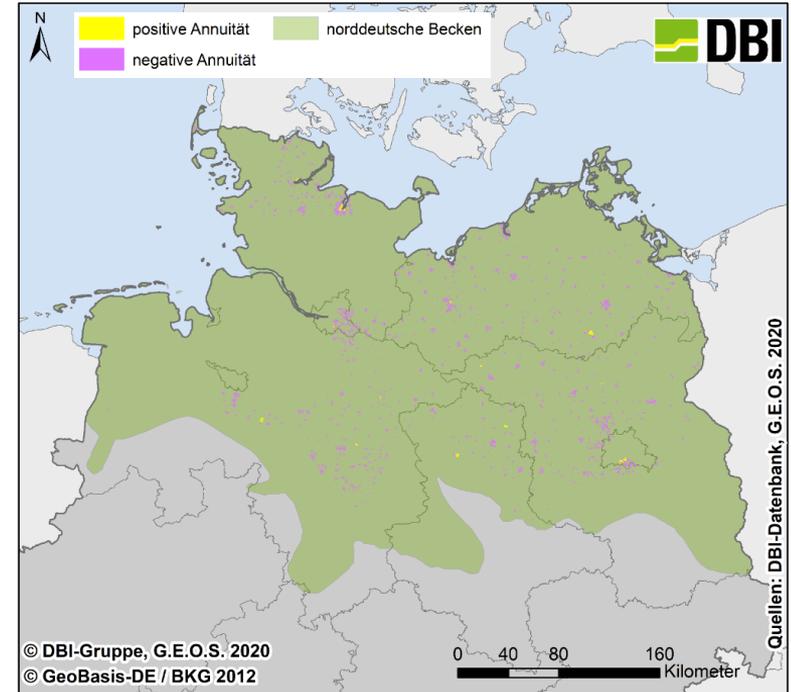
4. Standortsspezifische Erschließung des Potenzials und Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Wirtschaftlichkeitsanalyse:

- **Annuitätenmethode**
- Kapitalwertmethode
- Wärmegestehungskosten
- Sensitivitätsanalyse
- Ranking der Standorte

- Berücksichtigung von
 - Geothermieanlage: Bohrung inkl. Erkundung & Betrieb
 - Fernwärmeleitungen
 - Druckerhöhungsanlagen
 - Spitzenlastkessel

- Randbedingungen
 - Nutzungsdauer 30 Jahre
 - Zinssatz 7 %
 - Preisänderungsfaktor 1,4 %
 - Keine Subventionen, Bohrungen aus sich heraus tragfähig

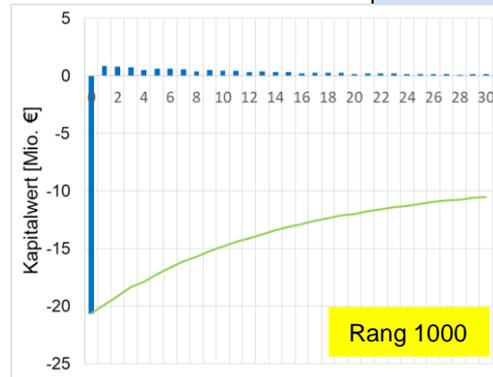
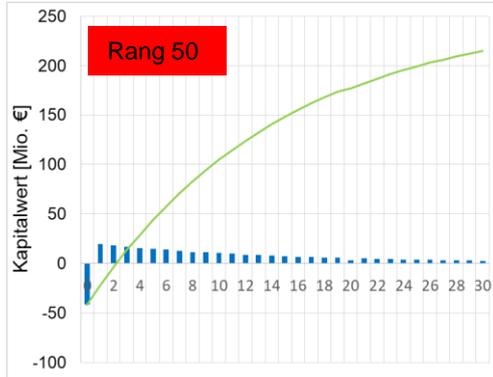


→ 411 Fälle an 67 Standorten mit positiver Gesamtannuität, 25241 Fälle negativ

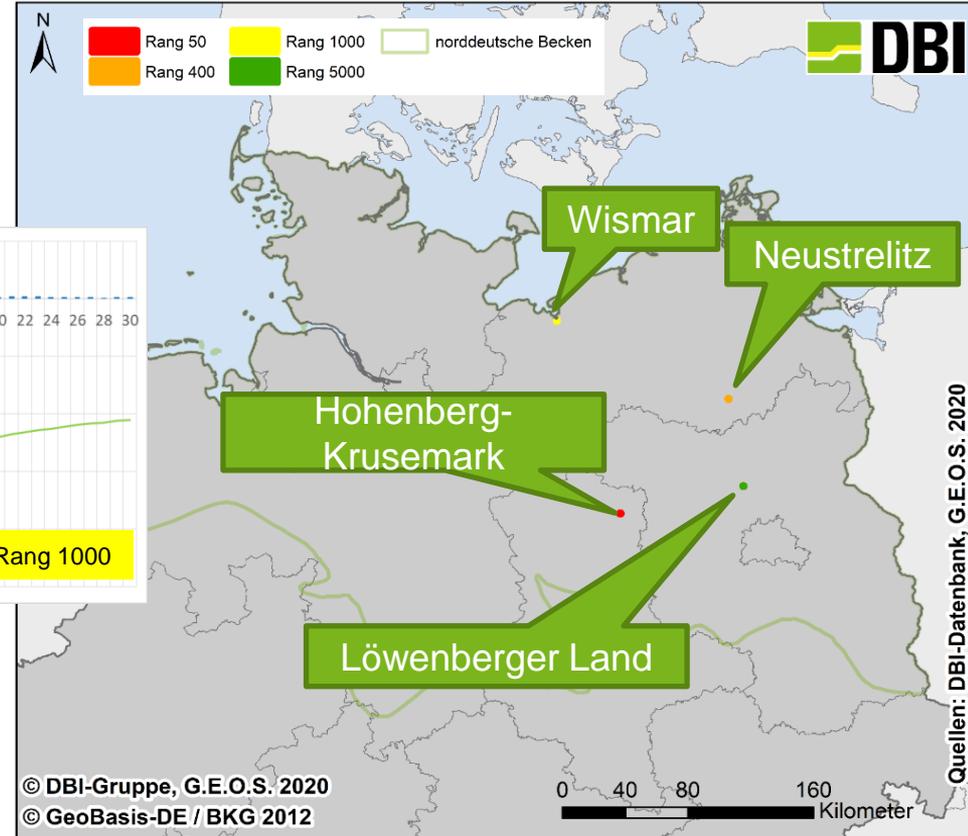
4. Standortsspezifische Erschließung des Potenzials und Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Wirtschaftlichkeitsanalyse:

- **Kapitalwertmethode:** Bestimmung Cash-Flow über die Nutzungszeit



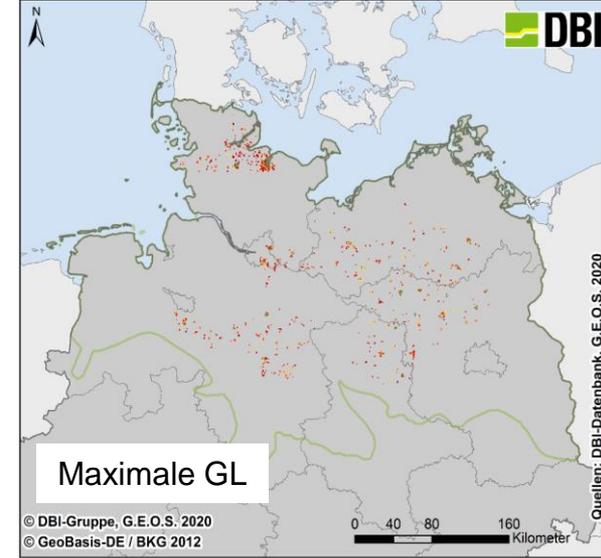
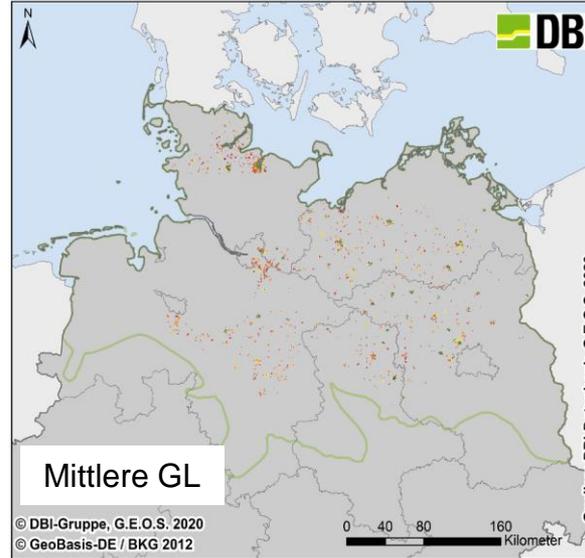
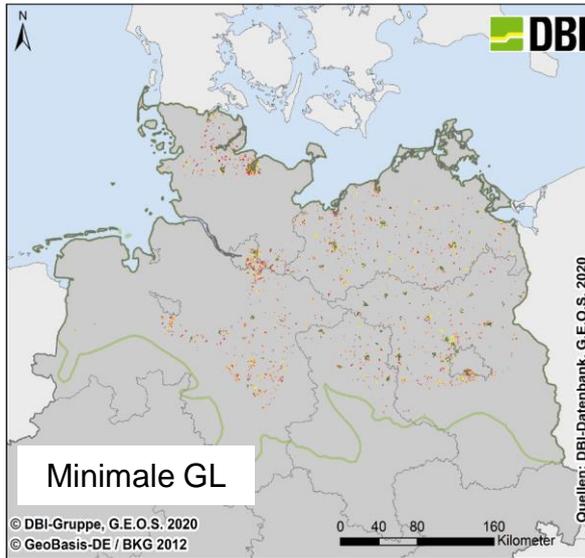
→ Sowohl in ländlichen als auch (groß-) städtischen Gebieten existieren lukrative Geothermiestandorte



4. Standortsspezifische Erschließung des Potenzials und Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Wirtschaftlichkeitsanalyse:

- **Wärmegestehungskosten:** Summe aller Annuitäten / Wärmebedarf

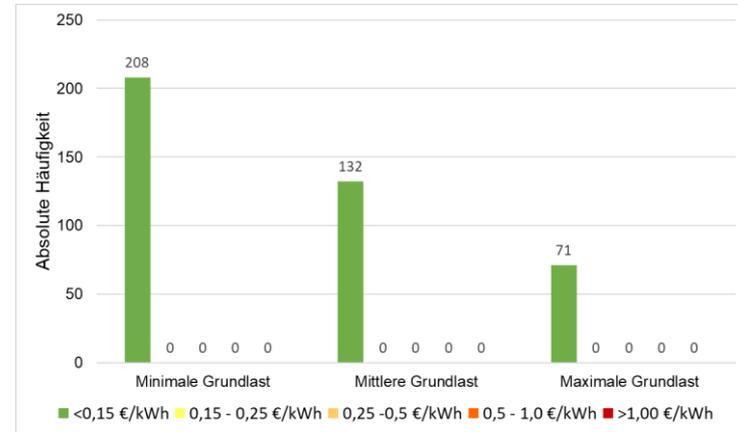
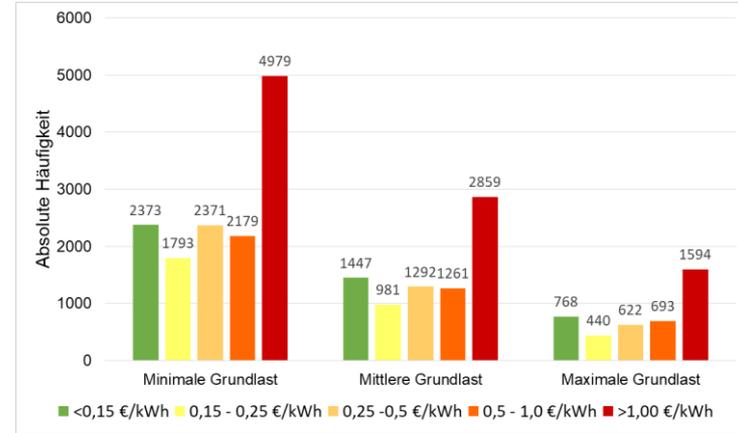


4. Standortsspezifische Erschließung des Potenzials und Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Wirtschaftlichkeitsanalyse:

- Verteilung der Wärmegestehungskosten
- Anzahl der Ergebnisse abnehmend mit zu deckender Grundlast
- Niedrige WGK:
 - Geringe Investitions- und Betriebskosten
 - Prüfung Anteil Spitzenlastkessel
- Techn. Realisierbarkeit und Wirtschaftlichkeit
≠ Konkurrenzfähigkeit ?!
- Wie hoch sind die Wärmegestehungskosten der 411 Fälle mit positiver Gesamtannuität?

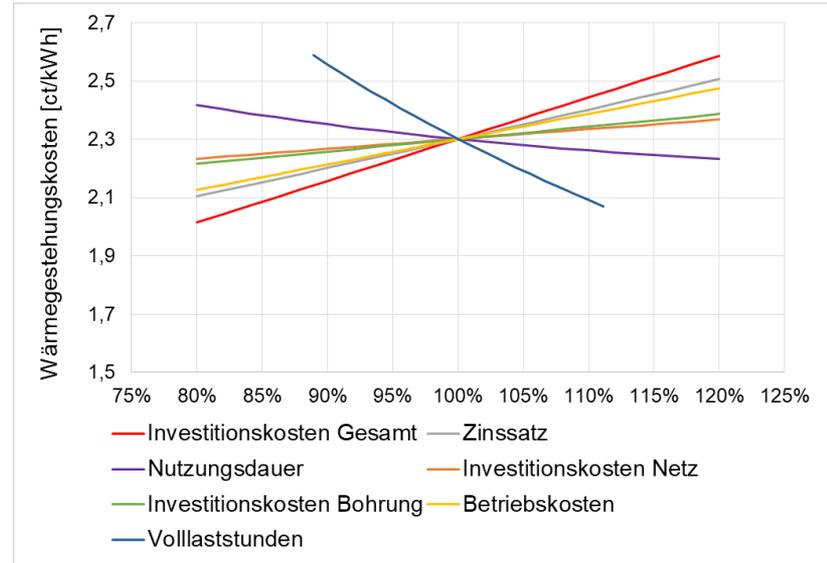
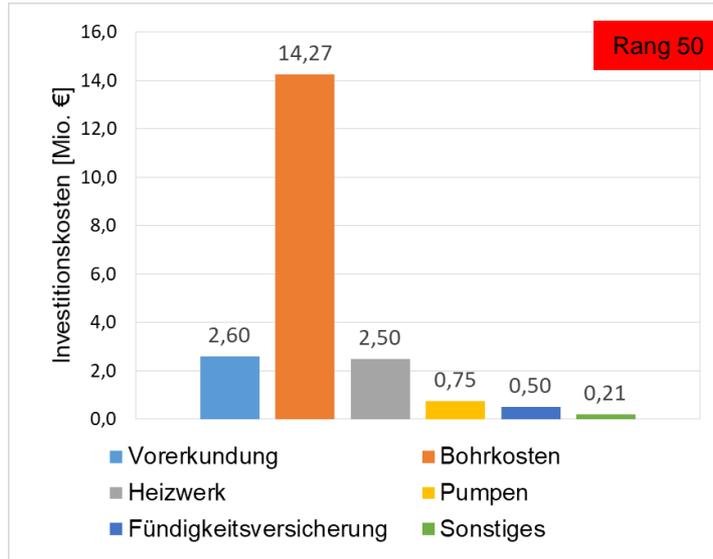
→ Die 411 Fälle mit positiver Gesamtannuität liegen alle im Bereich von WGK < 0,15 €/kWh



4. Standortsspezifische Erschließung des Potenzials und Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Wirtschaftlichkeitsanalyse:

– Einflussfaktoren und Sensitivität



→ Größten Einfluss auf Investitionskosten haben die Bohrkosten

→ Verlängerung Nutzungszeit und Zinssatz wirken sich positiv aus

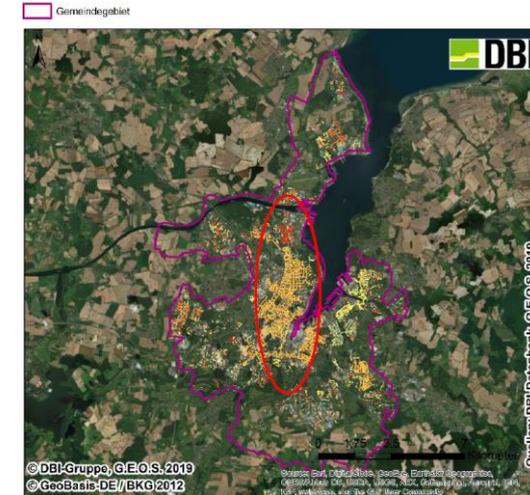
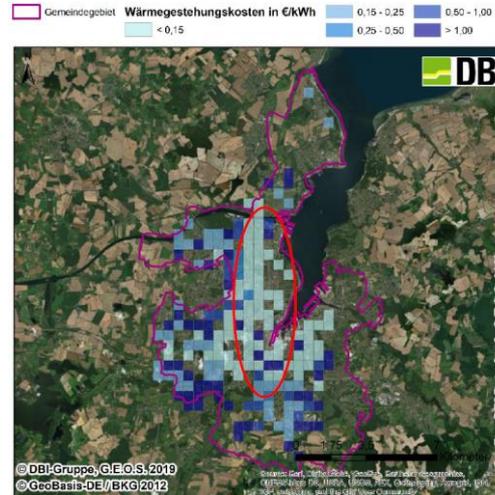
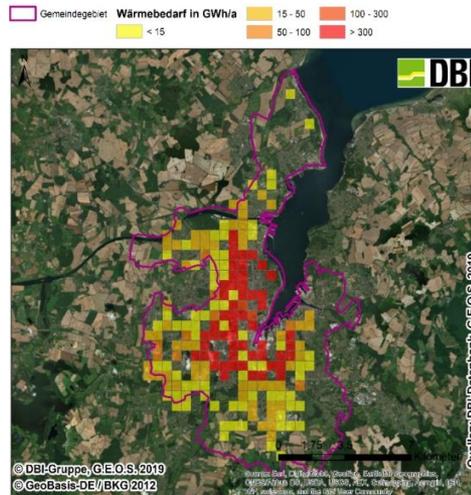
(Bsp.: Zinssatz 4 %: 1459 Fälle mit positiver Gesamtannuität an 404 Standorten)

Zusammenfassung

5. Zusammenfassung

Zusammenfassung

- Umfangreiche Datenbasis zum Wärmebedarf und geologischen Potential aufgestellt
- Lohnenswerte Standorte und Optimierungspotential für Geothermiebohrungen in Norddeutschland erfasst
- Software für standortspezifische Erschließung inkl. Wirtschaftlichkeitsbetrachtung entwickelt



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Ihr Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Hagen Bültemeier

Fachgebietsleiter Gasförderung / Gasspeicherung

Tel.: +49 (0) 3731 4195 - 343

E-Mail: Hagen.bueltemeier@dbi-gruppe.de

DBI Gas- und Umwelttechnik GmbH

Karl-Heine-Straße 109/111 · D-04229 Leipzig

➔ www.dbi-gruppe.de

