

Vorstudie
Geothermische Untersuchung am Standort
Inda-Gymnasium

Auftraggeber:	Gebäudemanagement der Stadt Aachen Lagerhausstraße 20 52058, Aachen
Ansprechpartner:	Herr Joachim Ros-Lorry
Auftragnehmer:	HYDR.O. GEOLOGEN UND INGENIEURE GbR Sigmundstraße 10-12 52070 Aachen
Bearbeiter:	M. Sc. Henrik Schreiber Dipl. Geophys. Gregor Bussmann (IEG)
Projekt-Nr.:	23191
Auftrag vom:	30.01.2025
Auftragsnummer:	45-161066/445

Aachen, 28.07.2025

Inhalt

1. Veranlassung, Auftrag	5
1.1 Allgemeine Rahmendaten	6
1.2 Platzierung des Bohrgeräts	7
1.3 Mögliche Restriktionen	8
1.4 Altlastensituation	9
2. Geologischer und hydrogeologischer Rahmen	10
2.1 Standortbeschreibung, Stratigraphie.....	11
2.2 Prognostisches Bohrprofil	14
2.3 Hydrogeologische Einstufung	15
3. Geothermische Bewertung der geowissenschaftlichen Untergrund- informationen – IEG	17
3.1 Mitteltiefe hydrothermale Geothermie.....	18
3.1.1 Einführung Hydrothermale Systeme.....	18
3.1.2 Bewertung eines geeigneten hydrothermalen Reservoirs am Standort.....	19
3.1.3 Simulation der thermischen Entzugsleistung einer hydrothermalen Dublette	20
3.1.4 Input der thermischen Simulation mit DoubletCalc	21
3.1.5 Ergebnisse der thermischen Simulation mit DoubletCalc.....	23
3.1.6 Kostenschätzung hydrothermalen Geothermie	24
3.2 Oberflächennahe Geothermie mittels Erdwärmesondensysteme	27
3.2.1 Einführung geschlossene oberflächennahe Geothermiesysteme	27
3.2.2 Bewertung Oberflächennahe Geothermie am Standort.....	27
3.2.3 Auslegung + Kosten Erdwärmesondenfeld.....	28
4. Einordnung der (berg-)rechtlichen Situation – IEG.....	29
4.1 Mitteltiefe Geothermie	29
4.2 Oberflächennahe Geothermie < 400 m.....	31
5. Einordnung zur Umweltverträglichkeit für mitteltiefe Geothermie – IEG	32
6. Zusammenfassung und Handlungsempfehlung – IEG	35

6.1	Kurzzusammenfassung	35
6.2	Handlungsempfehlungen	36
7.	Quellenverzeichnis:	38

Abbildungsverzeichnis:

Abbildung 1:	Lage des Aachener Stadtteils Kornelimünster.	6
Abbildung 2:	Luftbild des Inda-Gymnasiums mit potenziellen Bohrpunkten (https://www.google.de/maps 2025).....	7
Abbildung 3:	Fotos der potenziellen Bohrpunkte (HYDR.O 2025). Links oben: auf dem Fußballplatz; rechts oben: neben der Sprunggrube; links unten: Parkplatz; rechts unten: Schulhof.	8
Abbildung 4:	Hydrogeologisch Sensibler Bereich (GD NRW 2025)	9
Abbildung 5:	Ausschnitt aus der Strukturgeologischen Karte der Nordeifel (Gliese 1980).....	10
Abbildung 6:	Ausschnitt aus der geologischen Karte, Blatt 5302 Aachen (GD 2016)	11
Abbildung 7:	Querschnitt aus der hydrologischen Karte von NRW, Blatt 5203 Stolberg (NW-SO orientiert)(Krapp 1976)	12
Abbildung 8:	Bohrprofil der Bohrung 211192 aus der DABO Datenbank (https://www.bohrungen.nrw.de/)	14
Abbildung 9:	Prognostisches Bohrprofil für eine 1000 m tiefe Bohrung.....	15
Abbildung 10:	Gesteinsdurchlässigkeiten, verändert nach Hydrologischer Karte NRW 1977	16
Abbildung 11:	Nutzungsarten von geothermischen Systemen (offen / geschlossen) (Bracke und Huenges, 2022).....	17
Abbildung 12:	Funktionsweise einer hydrothermalen Dublette (links) mit Arten von natürlich thermalwasserführenden Gesteinsformationen (rechts) (Fraunhofer IEG).	19
Abbildung 13:	Schichten der ISGK50 mit Profilschnitten (grün) (Fraunhofer IEG).	20
Abbildung 14:	Hypothetisches Bohrprofil und Verrohrungskonzepte – Standort Inda-Gymnasium	21
Abbildung 15:	Wahrscheinlichkeitsverteilung Massenkalk (Fraunhofer IEG).	24
Abbildung 16:	Tortendiagramm der Bestandteile der Bohrkosten (Fraunhofer IEG).....	25
Abbildung 17:	GeoStar-Konzept (Fraunhofer IEG).....	28
Abbildung 17:	Ablauf Genehmigungsverfahren Geothermie in NRW (Bezirksregierung Arnsberg).....	29
Abbildung 17:	Übersichtskarte der aktiven Aufsuchungsberechtigungen.....	30
Abbildung 18:	Typische Phasen und Zeitdauer eines Tiefe-Geothermie-Projektes (verändert nach Borg Bauer, 2017).	33
Abbildung 19:	Aachener Quellen in der näheren Umgebung des Standorts Inda Gymnasium (roter Stern) (Pommerening, 1993).	37

Tabellenverzeichnis:

Tabelle 1: Input Parameter für die thermische Simulation mit DoubletCalc (Fraunhofer IEG).....	22
Tabelle 2: Ergebnisse der DoubletCalc-Simulation (Fraunhofer IEG)	23
Tabelle 3: Detailaufstellung der Bohrkostenschätzung (Fraunhofer IEG).	24
Tabelle 4: Umliegende aktive Aufsuchungsberechtigungen.....	31

1. Veranlassung, Auftrag

Im Rahmen des Ziels der Stadt Aachen bis 2030 Klimaneutralität zu erreichen, werden Maßnahmen getroffen die Energieemissionen und -kosten zu minimieren und nachhaltig zu gestalten. Dazu gehören beispielsweise energetische Sanierungen an öffentlichen Gebäuden. Das Inda-Gymnasium in Kornelimünster ist mit 450 kW Heizlast einer der größten Verbraucher der Stadt Aachen. Aufgrund dessen besteht der Wunsch einer nachhaltigen Energiezufuhr mittels Geothermie.

Vor diesem Hintergrund wurde HYDR.O. GEOLOGEN UND INGENIEURE von der Gebäudeverwaltung der Stadt Aachen mit der Ausarbeitung einer Vorstudie zur Prüfung von offenen und geschlossenen hydrothermalen Systemen betraut. Im Rahmen der Vorstudie "Geothermische Untersuchung am Standort Inda-Gymnasium" soll betrachtet werden, inwieweit eine flache oder mitteltiefe Erschließung (Tiefe von etwa 400 bis 1.000 m) für die netzgebundene Wärmeversorgung technisch und wirtschaftlich umsetzbar ist. Die fachliche Bearbeitung erfolgte in Arbeitsgemeinschaft mit der Fraunhofer-Einrichtung für Energieinfrastrukturen und Geotechnologien IEG wie nachstehend:

Kapitel 1. Einführung	HYDR.O. Geologen und Ingenieure
Kapitel 2. Sammlung geowissenschaftlicher Untergrund-Informationen	HYDR.O. Geologen und Ingenieure
Kapitel 3. Geothermische Bewertung der geowissenschaftlichen Untergrund Informationen	Fraunhofer IEG
Kapitel 4. Einordnung der bergrechtlichen Situation in Verbindung mit Handlungsempfehlungen	Fraunhofer IEG
Kapitel 5. Einordnung der Umweltverträglichkeit	Fraunhofer IEG

1.1 Allgemeine Rahmendaten

Das Inda-Gymnasium liegt am Gangolfsweg 52 im Aachener Stadtteil Kornelimünster. Auf einer Fläche von etwa 40.000 m² befinden sich hier diverse Schulgebäude und Sportanlagen. Der Stadtteil Kornelimünster befindet sich südöstlich des Aachener Stadtkerns. Seine Lage ist auf der Abbildung 1 gekennzeichnet. Die genaue Lage und Ausdehnung des Inda-Gymnasiums ist auf dem Luftbild in Abbildung 2 dargestellt.

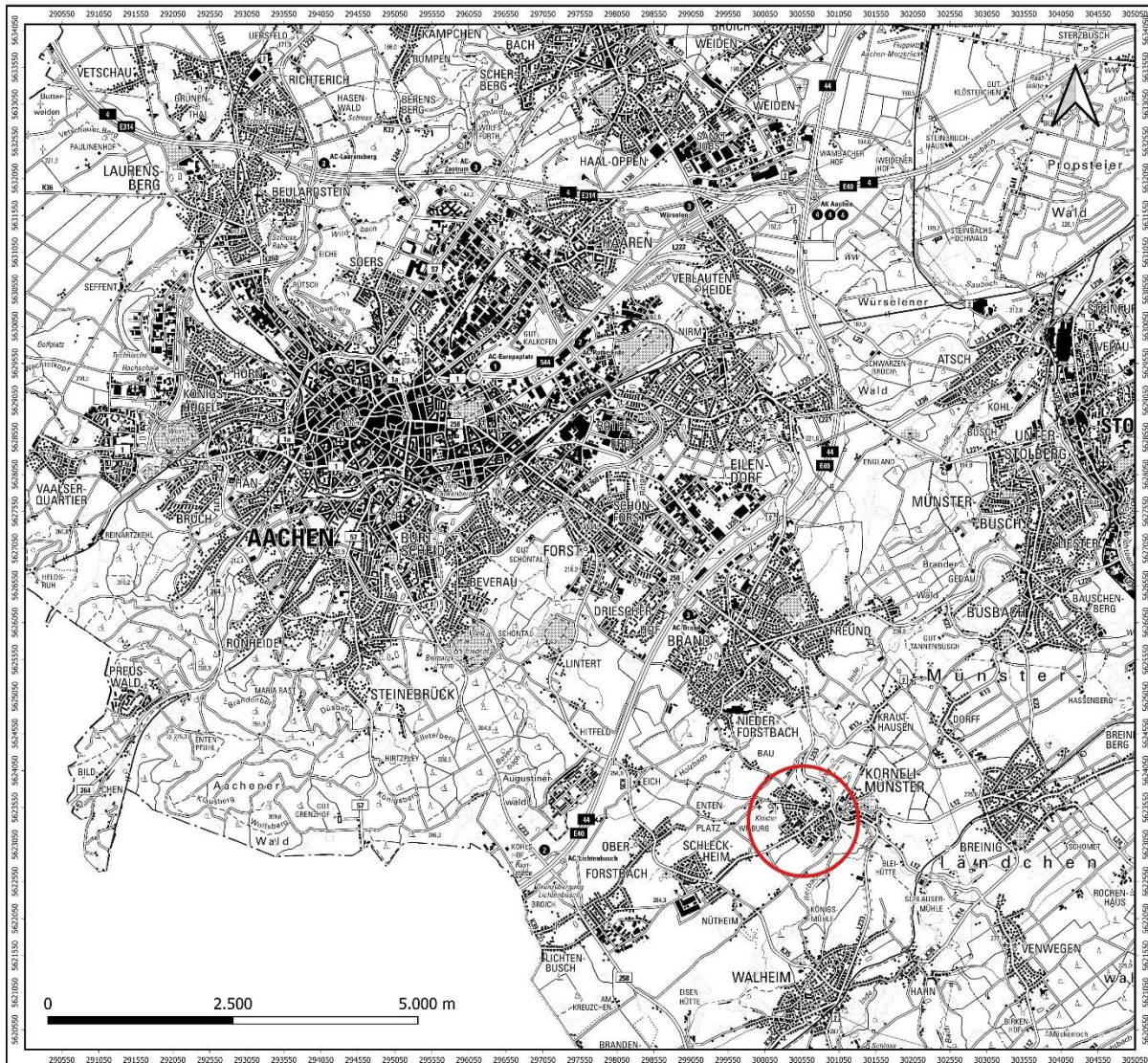


Abbildung 1: Lage des Aachener Stadtteils Kornelimünster.

1.2 Platzierung des Bohrgeräts

Der Platzbedarf des Bohrgerätes hängt von der gewünschten Tiefe ab. Dabei benötigen tiefe Bohrungen ein größeres Bohrgerät und dementsprechend mehr Platz. Auf a) dem Fußballfeld, b) neben der Sprunggrube, c) auf dem Parkplatz mit Zugang von der Straße „Meischenfeld“ und d) auf dem Schulhof ist ausreichend Platz vorhanden (s. Abbildung 3). Auf weiten Teilen des Geländes ist die Geländeneigung gering bis gar nicht vorhanden, was ein Aufstellen des Bohrgerätes erleichtert. Die Zugänglichkeit über die vorhandenen Zufahrten ist ebenfalls gewährleistet.



Abbildung 2: Luftbild des Inda-Gymnasiums mit potenziellen Bohrpunkten (<https://www.google.de/maps> 2025).



Abbildung 3: Fotos der potenziellen Bohrpunkte (HYDR.O 2025). Links oben: auf dem Fußballplatz; rechts oben: neben der Sprunggrube; links unten: Parkplatz; rechts unten: Schulhof.

1.3 Mögliche Restriktionen

Das Gelände der Schule befindet sich außerhalb jeglicher Schutzgebiete (Naturschutz, Landschaftsschutz, Wasserschutz, Heilquellenschutz). Allerdings befindet es sich innerhalb eines sogenannten hydrogeologisch sensiblen Bereichs (s. Abbildung 4.). Hydrogeologisch sensibel Bereiche sind solche (Bund/ Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser 2019)

- mit einem wesentlichen Stockwerksbau,
- mit gespannten bis artesisch gespanntes Grundwasservorkommen,
- mit einer hohen Wasserdurchlässigkeit der Gesteine,
- mit Karst oder karstähnlichen Verhältnissen sowie Subrosionsbildungen (Erdfälle),

- mit quelfähigen oder löslichen Gesteinen, in denen durch die Bohrung Grundwasserleiter mit unterschiedlichen Druckniveaus und/oder unterschiedlicher Grundwasserbeschaffenheit miteinander verbunden werden können,
- in denen durch eine Bohrung Deckschichten durchörtert werden, die nennenswerte Grundwasservorkommen schützen

Im Falle von Kornelimünster ist der Bereich in etwa Deckungsgleich mit dem oberflächennahen Vorkommen des karbonischen Kohlenkalks. Eventuelle ortsspezifische Restriktionen sind bei der unteren Wasserbehörde der Städteregion Aachen zu erfragen.

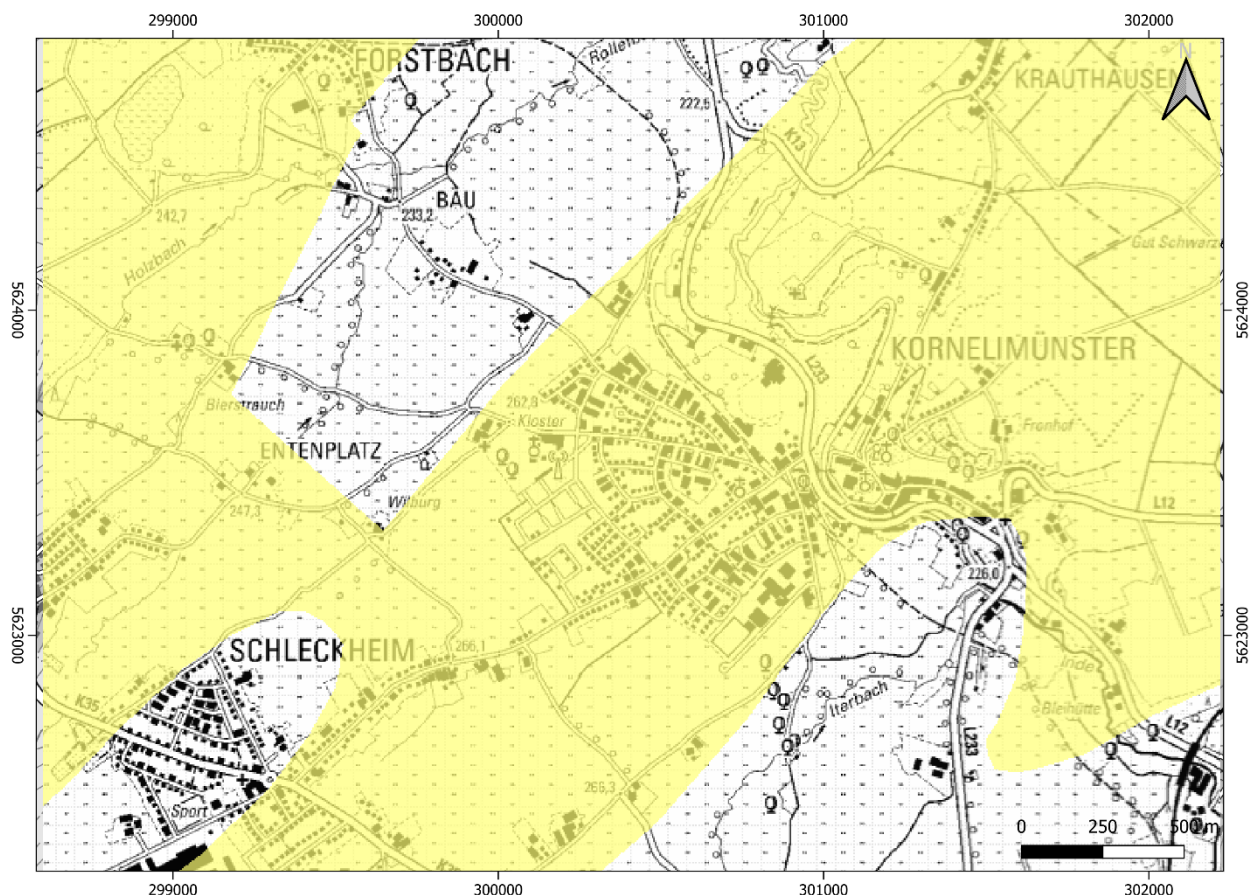


Abbildung 4: Hydrogeologisch Sensibler Bereich (GD NRW 2025)

1.4 Altlastensituation

für das Grundstück Gangolfsweg 52 (Gemarkung Kornelimünster, Flur 2, Flurstück 786) liegen im Altlastenverdachtsflächenkataster der Stadt Aachen keine Eintragungen vor (Untere Bodenschutzbehörde, Stadt Aachen 2025).

2. Geologischer und hydrogeologischer Rahmen

Gemäß der geologischen Karte, Blatt 5203 Stolberg (s. Abbildung 5), befindet sich Kornelimünster am Nordrand des Rheinischen Schiefergebirges. Das Rheinische Schiefergebirge wird hier aus Gesteinsschichten aus dem Kambrium bis zum Karbon aufgebaut. Prägend für die geologische Entwicklung der Region war die variszische Gebirgsbildung, bei der es zur starken Faltung und Störung der Gesteinsschichten kam. Dies hat zu einer Abfolge von Sattel- und Muldenstrukturen geführt.

Der Standort des Inda-Gymnasiums befindet sich strukturell geologisch nordwestlich des Venn-Massifs im Bereich der Inde-Mulde. Die Inde-Mulde ist hier durch eine weitere Faltung in den Hammerberger Sattel und die Burgholzer Mulde untergliedert.

Ein weiteres prägendes Ereignis für die geologische Entwicklung der Region war und ist der Einbruch der Niederrheinischen Bucht, im Verlauf dessen es zur Ausbildung zahlreicher zum Teil heute noch aktiver Störungen kam, welche größtenteils Nordwest – Südost, senkrecht zur variszischen Faltung orientiert sind.

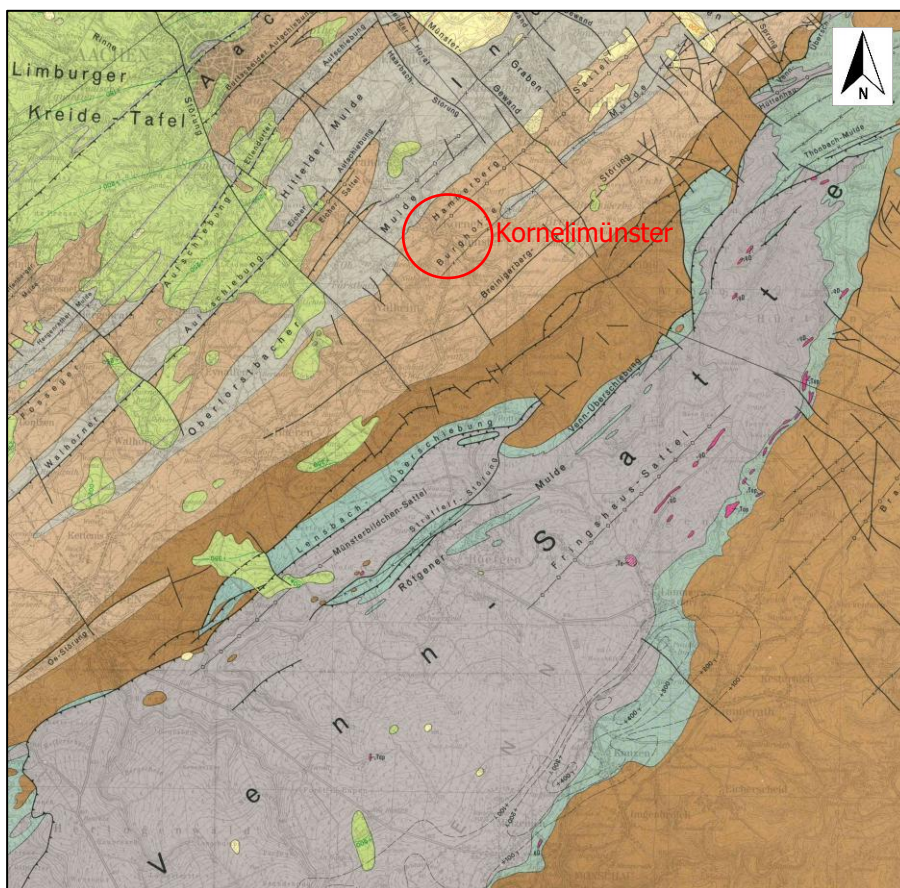


Abbildung 5: Ausschnitt aus der Strukturgeologischen Karte der Nordeifel (Gliese 1980)

2.1 Standortbeschreibung, Stratigraphie

Das Inda-Gymnasium im Süden von Kornelimünster befindet sich gemäß der geologischen Karte, Blatt 5203 Stolberg (s. Abbildung 7), am nordwestlichen Rand des ab Kornelimünster versetzt weiterlaufenden Hammerbergsattels. Die vorhandenen Gesteinsschichten fallen nach Nordwesten hin ein. An der Oberfläche befinden sich Gesteinsschichten aus dem Unterkarbon, der sogenannte Kohlenkalk, der bereichsweise von geringmächtigem Löss überdeckt ist (s. Abbildung 6).

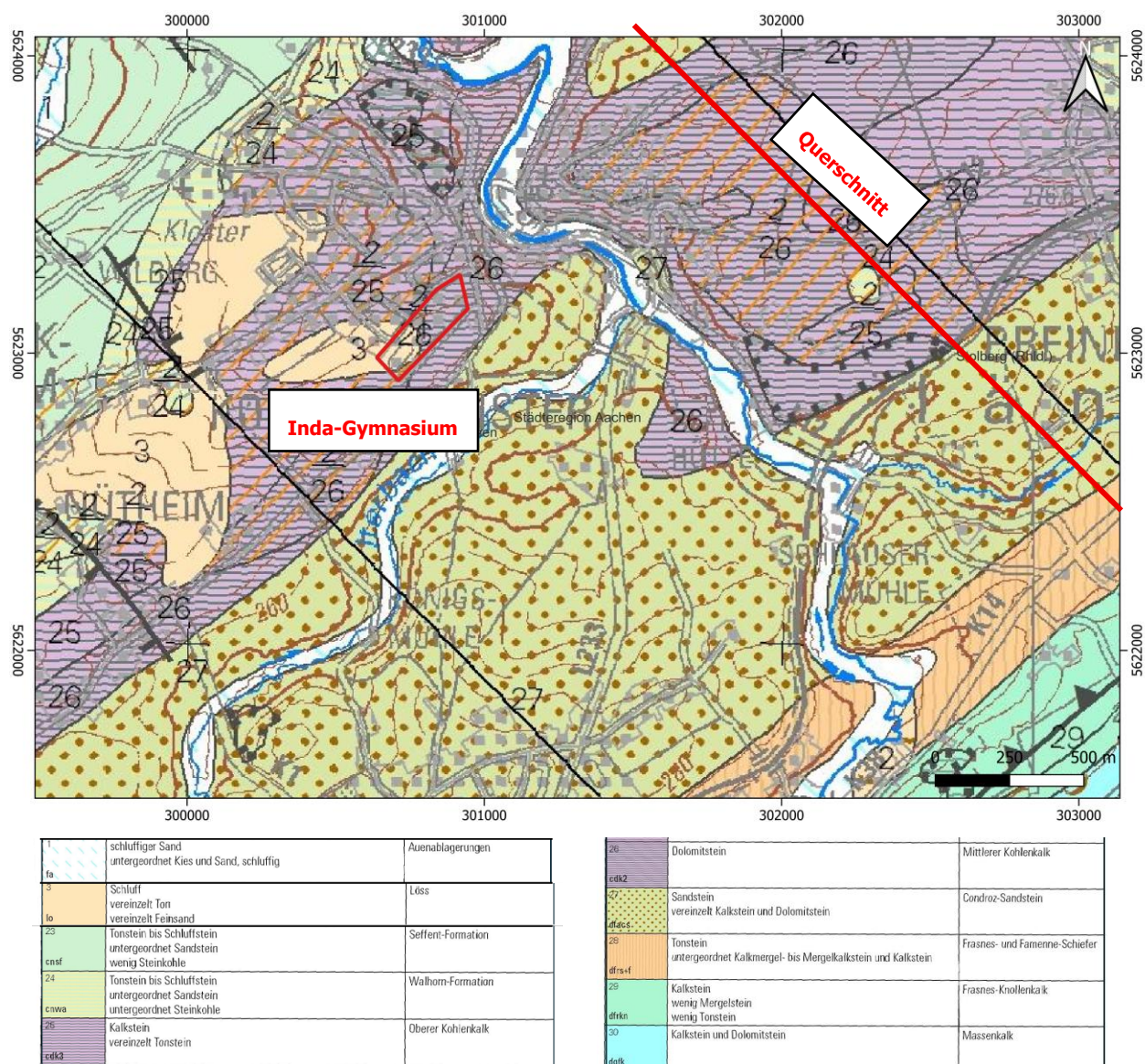


Abbildung 6: Ausschnitt aus der geologischen Karte, Blatt 5302 Aachen (GD 2016)

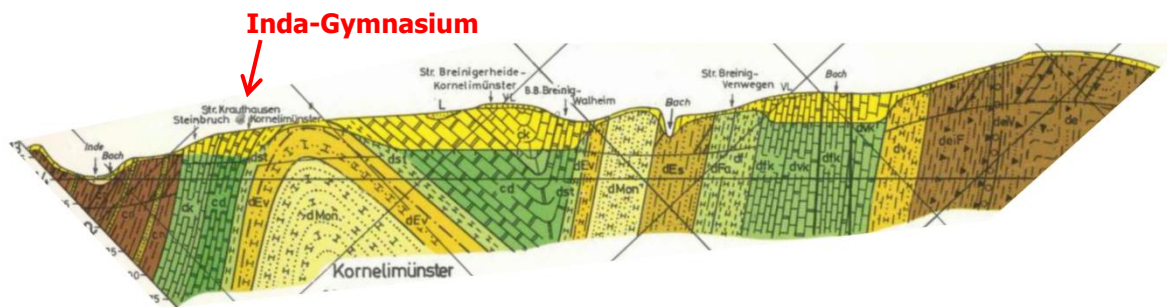


Abbildung 6: Querschnitt aus der hydrologischen Karte von NRW, Blatt 5203 Stolberg (NW-SO orientiert) (Krapp 1976)

Die am Standort unterhalb der quartären Überdeckung vorhandenen Gesteinsschichten werden im Folgenden vom Hangenden ins Liegende (jung nach alt) beschrieben (Knapp 1980):

- Oberer Kohlenkalk (25 / ck)

Der aus dem Unterkarbon (Dinant) stammende Obere Kohlenkalk besteht aus mehreren, lokal unterschiedlich mächtigen lithologischen Einheiten. Der untere Bereich entspricht dickbankigen, hellgrauen oolithischen Kalksteinen von etwa 30 Meter Mächtigkeit (K3). Darüber finden sich teilweise dolomitisierte Kalksteine überlagert durch Riffkalke.

- Mittlerer Kohlenkalk (25 / cd)

Der ebenfalls aus dem unteren Karbon (Dinant) stammende Mittlere Kohlenkalk lässt sich gleichfalls in drei verschiedene lithologische Einheiten gliedern: der untere Bereich entspricht einem hellgelben 7 – 10 Meter mächtigen Dolomit. Darüber liegt ein 4 – 10 Meter mächtiger gelbbrauner feinsandiger Tonmergelstein. Im oberen Bereich findet sich ein bis zu 100 Meter mächtiger dunkelbrauner, stark verkarsteter Dolomit.

- Unterer Kohlenkalk (26 / dst)

Der etwa 20 – 30 Meter mächtige, überwiegend aus Mergel bestehende untere Kohlenkalk bildet die lithologische Übergangszone von dem tonig-feinsandigen Milieu im Liegenden zum karbonatischen Milieu des überlagernden Kohlenkalks.

- Condroz Sandstein (27 / dEv, dMon, dEs)

Der etwa 400 - 500 Meter mächtige Condroz-Sandstein aus dem Oberdevon (Famenne) lässt sich in drei unterschiedliche Faziesseinheiten untergliedern. Zuoberst liegen die Evieux-Schichten (dEv), welche aus überwiegend dünnbankigen Schluff- und Sandsteinen bestehen. Sie können Mächtigkeiten von bis zu 100 Metern erreichen. Darunter befinden sich die Montfort-Schichten (dMon), welche bis zu 250 Meter Mächtigkeit erreichen können und aus dickbankigen, kalkigen Feinsandsteinen bestehen. Die zuunterst

befindliche Esneux-Schicht (dEs) mit einer maximalen Mächtigkeit von ca. 150 Metern besteht aus überwiegend dünnbankigen, feinschiefrigen Feinsandsteinen mit zwischengelagerten schluffigen Lagen.

- Famenne Schiefer (28/ dFa)

Die Gesteinseinheit besteht aus einer etwa 50 bis 100 Meter mächtigen Folge von schluffigen Ton- und Tonmergelsteinen mit Knollen und Linsen von mergeligem Kalkstein. Diese werden von einer bis zu 20 Meter mächtigen Einheit von flaserigen Kalksteinen und Mergelsteinen, dem sogenannten Cheiloceras-Kalk überlagert.

- Frasne Schiefer (28 / df)

Diese 80 – 160 Meter mächtige Gesteinseinheit besteht aus überwiegend hellgrauen bis bräunlich grünen Ton- und Tonmergelsteinen mit eingelagerten Kalkknollen.

- Frasne Kalk (29 / dFk)

Die sogenannten Frasne Kalke bilden eine örtliche Fazies des aus dem Oberdevon stammenden Oberen Massenkalkes. Sie bestehen aus grauen, dickbankigen Kalksteinen von bis zu 130 Meter Mächtigkeit. Das Wasser der Aachener Thermalquellen ist an in Störungen zu Tage tretenden Gesteinsschichten des Frasne Kalk gebunden.







- Stringocephalen-Schichten (30 / dv)

Die nach der im Gestein massenhaft auftretenden Brachiopode „*Stringocephalus Burtini*“ benannten, aus dem Givet stammende Einheit lässt sich in zwei unterschiedliche Fazies einteilen. Im oberen Schichtbereich befindet sich der Stringocephalen-Kalk, welcher die örtliche Fazies des unteren Massenkalks mit einer Mächtigkeit von 120 bis 130 Meter bildet. Den unteren Teil bilden die sogenannten Quadrigemium-Schichten, die aus 90 -120 Meter mächtigen Wechsellagerungen von geröllführenden Sandsteinen, Mergelsteinen, Tonsteinen und Linsen von Kalksteinen bestehen.

2.2 Prognostisches Bohrprofil

Aufgrund der Verkipfung und des Einfallens der Schichten ist am Standort mit einer erhöhten Mächtigkeit der erbohrten Formationen im Vergleich zur Ablagerungsmächtigkeit zu rechnen (scheinbare Mächtigkeit). Eine 80 Meter tiefe Bohrung von 1971 auf dem Schulgelände zeigt die oberflächennahe Stratigraphie (s. Abbildung 7).

Deutlich unterscheidbar durch den Tonsteinleithorizont sind die drei Fazies des Mittleren Kohlenkalks. Dabei wird deutlich, dass große Teile des mittleren Kohlenkalks erodiert sind und er am Bohrpunkt nur eine Mächtigkeit von insgesamt etwa 68 Metern aufweist. Trotz der anzunehmenden Verkipfung weist der Leithorizont hingegen keine erhöhte Mächtigkeit auf, was für den Standort für ein flacheres Einfallen spricht, als im Querschnitt in Abbildung 7 dargestellt. Anhand der durchschnittlichen Gesteinspaketsmächtigkeiten ergibt sich somit bis zu einer Bohrtiefe von 1.000 m unter GOK das in Abbildung 9 dargestellte prognostische Bohrprofil. Da im näheren Umfeld bisher keine tiefen Bohrungen abgeteuft wurden, ist in der Realität ggf. mit deutlichen Abweichungen von den Tiefenangaben im dargestellten Bohrprofil zu rechnen.

Symbol	Länge	Mächtigkeit	Beschreibung
	- 22 m	22 m	Dolomitstein (Mississippium)
	- 51 m	29 m	Dolomitstein (Mississippium)
	- 55 m	4 m	Tonstein (Mississippium)
	- 68 m	13 m	Dolomitstein (Mississippium)
	- 73 m	5 m	Kalkstein (Mississippium)
	- 80 m	7 m	Kalkstein (Mississippium)

Oberer Dolomit des Mittleren Kohlenkalks

Tonmergelsteine, Leithorizont des Mittleren Kohlenkalks

Unterer Dolomit des Mittleren Kohlenkalks

Unterer Kohlenkalk

Abbildung 7: Bohrprofil der Bohrung 211192 aus der DABO Datenbank (<https://www.bohrungen.nrw.de/>)

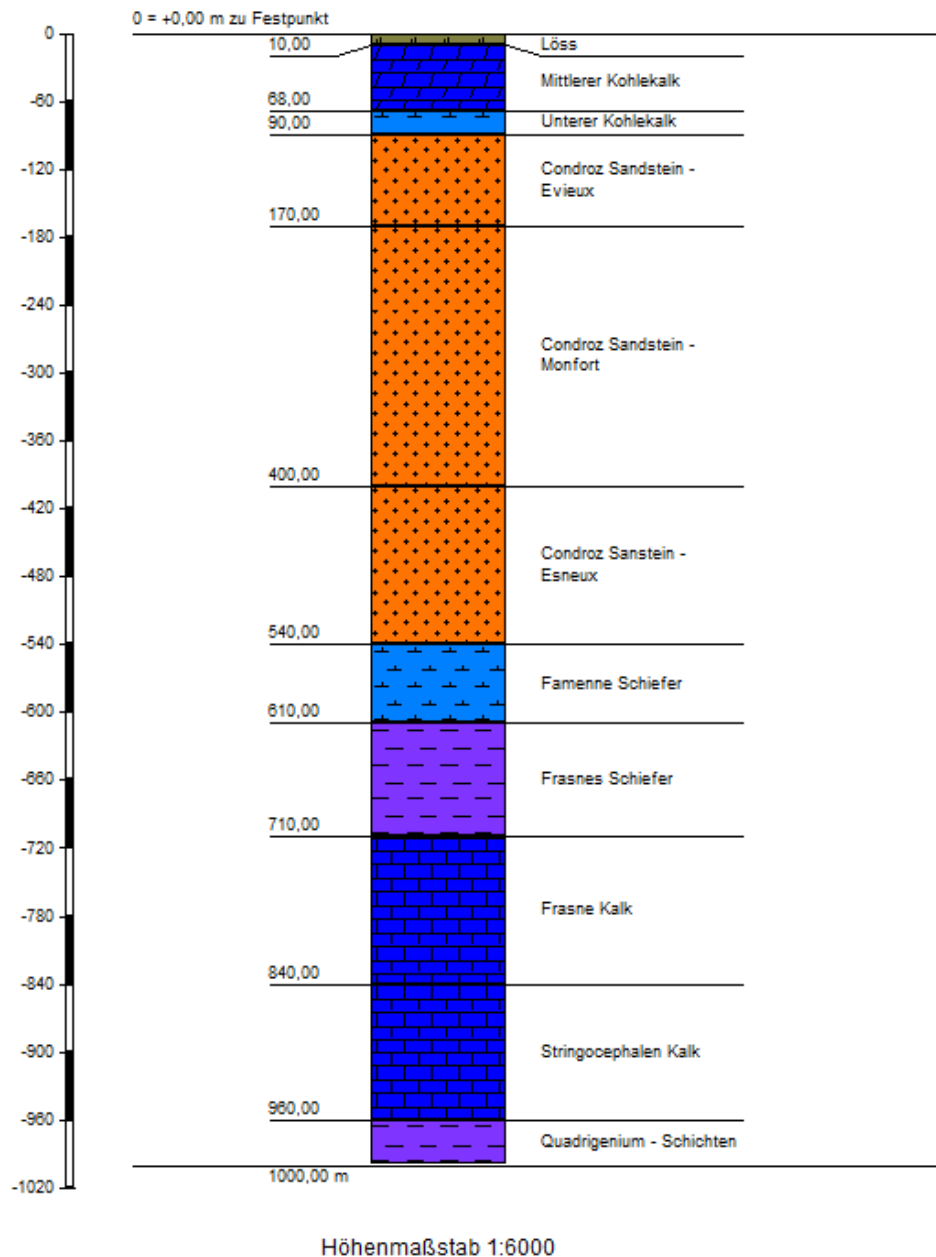


Abbildung 8: Prognostisches Bohrprofil für eine 1000 m tiefe Bohrung

2.3 Hydrogeologische Einstufung

Ab einer Tiefe von etwa 35 bis 40 m ist am Standort des Inda-Gymnasiums mit Grundwasservorkommen innerhalb des Kohlenkalks zu rechnen. Mit einer deutlichen Wärmeanomalie, ähnlich den Thermalwässern des Aachener Stadtgebietes, ist nicht zu rechnen. Die Wässer besitzen voraussichtlich eine Temperatur gemäß des regulären Tiefengradienten von etwa zusätzlich 3°C je 100 m Tiefe.

Die vorliegenden Gesteinsschichten weisen bezüglich ihrer hydraulischen Durchlässigkeit unterschiedliche Eigenschaften auf. Für ein offenes hydrothermales System sind gute hydraulische Leitfähigkeiten des Gesteins notwendig, die für den untersuchten Standort in erster Linie im Bereich der vorhandenen Kalksteine zu erwarten sind sowie untergeordnet in geklüfteten Bereichen des Condroz Sandsteins (s. Abbildung 9). Die besten hydraulischen Eigenschaften weist hier aufgrund der starken Verkarstung der Mittlere Kohlenkalk auf, welcher im Bereich des Inda-Gymnasiums oberflächennah bis zu einer Tiefe von etwa 70 m zu erwarten ist. Im typischen Bereich für eine mitteltiefe geothermische Erschließung (400 bis 1.000 m) sind am Standort voraussichtlich zunächst in erster Linie Sandsteine und Schiefer zu erwarten, die eine geringe Permeabilität und damit ein eher schlechtes geothermisches Potential aufweisen. Erst ab einer Tiefe von ca. 700 bis 950 m treten devonische Massenkalk mit einer ggf. besseren geothermischen Eignung aufgrund ihrer hydraulischen Eigenschaften auf.

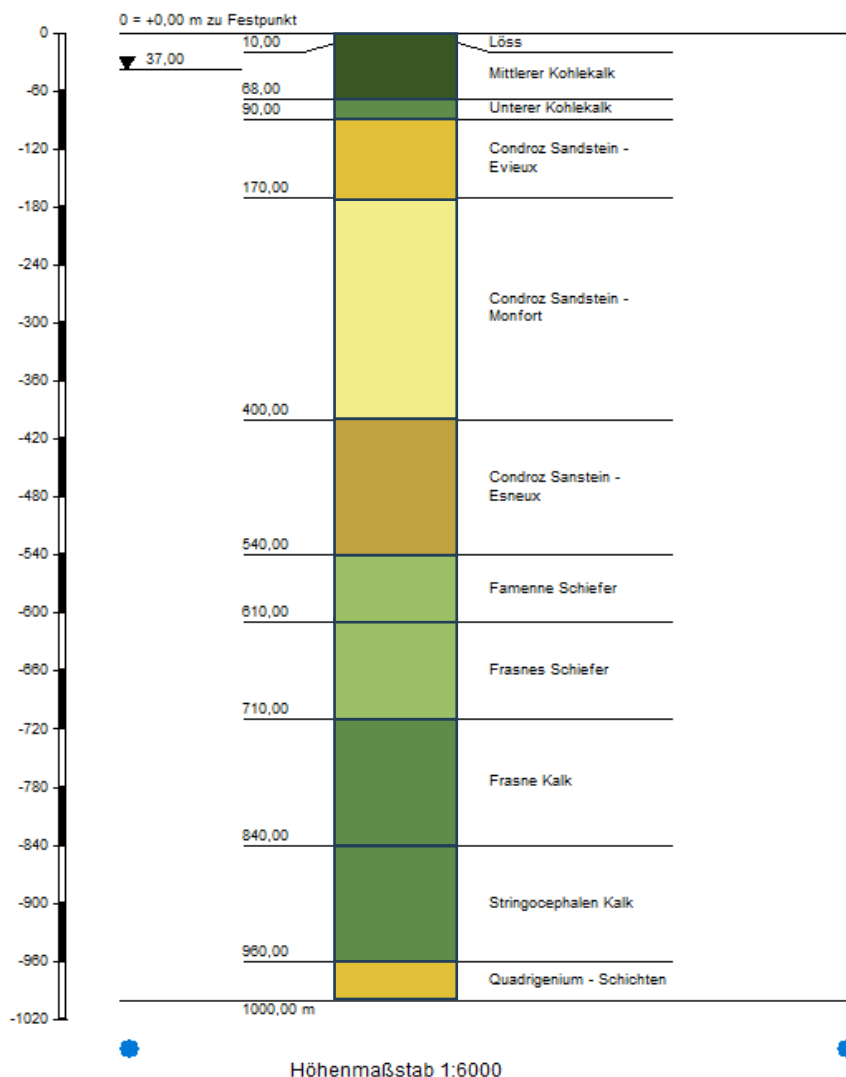


Abbildung 9: Gesteinsdurchlässigkeiten, verändert nach Hydrologischer Karte NRW 1977

3. Geothermische Bewertung der geowissenschaftlichen Untergrundinformationen – IEG

Zur Nutzung geothermischer Energie können unterschiedliche Systeme zum Einsatz kommen. Neben einer grundsätzlichen Unterscheidung in oberflächennahe und (mittel-)tiefe Systeme, bei der v.a. die Tiefe des Eingriffs in den Untergrund maßgeblich ist, erfolgt darüber hinaus eine Differenzierung nach Nutzungsart, Abnehmerstruktur und Technologie. Während oberflächennahe Systeme insbesondere für die Versorgung einzelner Gebäude oder kleiner Quartiere geeignet sind, können mit tiefeingeothermischen Systemen ganze Stadtteile über Wärmenetze versorgt werden. Zudem ist der Einsatz von Tiefeingeothermie je nach erforderlichem Temperaturniveau und technischer Einbindung in Industrieunternehmen möglich.

Abbildung 10 zeigt einen Überblick über die unterschiedlichen geothermischen Nutzungsarten. In den folgenden Abschnitten werden die am Standort Inda Gymnasium Aachen möglichen Nutzungsarten mitteltiefe hydrothermale Geothermie und oberflächennahe Geothermie (mittels Erdwärmesonden) näher erläutert und bewertet.

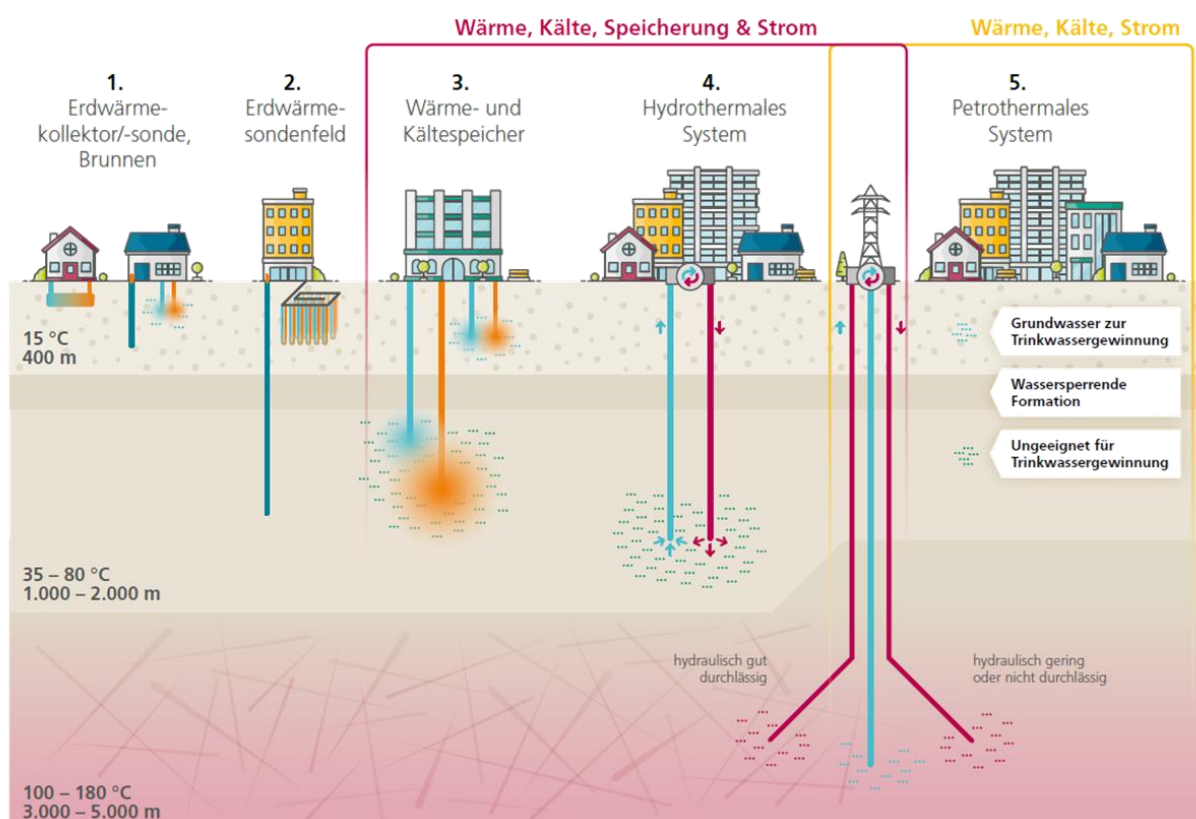


Abbildung 10: Nutzungsarten von geothermischen Systemen (offen / geschlossen) (Bracke und Huenges, 2022).

3.1 Mitteltiefe hydrothermale Geothermie

3.1.1 Einführung Hydrothermale Systeme

Hydrothermale Geothermie basiert auf der Nutzung von natürlich im Untergrund vorkommenden Tiefenwässern, die durch Wegsamkeiten im Gestein über Bohrungen erschlossen und zutage gefördert werden können. Hiermit unterscheidet sie sich grundlegend von anderen Erschließungsmöglichkeiten, wie petrothermalen oder geschlossenen Systemen. Offene, hydrothermale geothermische Systeme, wie sie derzeit in NRW verfolgt werden, funktionieren über den Einsatz von zwei oder mehr Tiefbohrungen (sog. Dubletten oder Tripletten), die einen gut durchlässigen (d. h. permeablen), natürlich thermalwasserführenden Träger im Untergrund erschließen. Im Untergrund fließt heißes Thermalwasser der Produktionsbohrung zu, aus welcher unter Einsatz von Förderpumpen das Wasser zu Tage gefördert wird. Obertageseitig wird durch einen Wärmetauscher dem Wasser thermische Energie entzogen, und im abgekühlten Zustand über eine zweite, Injektionsbohrung, wieder in den Gesteinsträger zurückgeführt. Das zurückgeleitete Wasser heizt sich durch konduktiven Wärmefluss auf dem Weg in Richtung Produktionsbohrung wieder auf. Zudem werden heiße Thermalwässer zugemischt und stellen somit eine weitere konvektive Wärmequelle im Untergrund dar (s. Abbildung 11). Die Zeit, die das Wasser braucht, um von der Injektionsbohrung zur Produktionsbohrung zu fließen, unter der Annahme, dass eine hydraulische Verbindung zwischen beiden Bohrungen besteht, beträgt in der Regel mehrere Jahrzehnte. Ist die Durchlässigkeit der Gesteine zu hoch oder der Abstand der beiden Bohrungen zueinander zu gering, kann ein Zuströmen von kaltem Wasser in die Produktionsbohrung stattfinden (thermischer Durchbruch) und somit die Leistung der Geothermieranlage senken. Ist die Durchlässigkeit des Gesteins zu gering und es fließt nicht ausreichend Thermalwasser nach, wird die Leistung der Geothermieranlage ebenfalls gemindert.

Sogenannte hydrothermale Dubletten-Systeme (offenes System) dienen der Wärmeversorgung im Bereich von kleinen bis mittelgroßen Kälte- oder Wärmenetzen für Kommunen, Quartieren, von gewerblichen Nutzern oder in Kombination mit anderen Energiequellen für größere Fernwärmenetze. Für mitteltiefe Geothermie, definiert als in Tiefen bis 1000 m (TVD), kann in Sedimenten ebenso eine saisonale Versorgung, die sogenannte Aquiferspeicherung (ATES) interessant sein (s. Abbildung 10).

Deutschlandweit sind derzeit (Stand Juni 2024) 41 tiefengeothermische Anlagen für Strom oder Wärmeerzeugung in Betrieb, weitere 12 Anlagen befinden sich im Bau und 148 Anlagen sind in Planung. Die installierte Wärmeleistungen der Bestandsanlagen liegen zwischen <1 und >50 MW bei Reservoirteufen von <1.000 - 5.000 m und Temperaturen von 20 – 165 °C. Insgesamt verfügt Deutschland über eine installierte Wärmeleistung von 407 MW, sowie über 46 MW installierte elektrische Leistung (Bundesverband Geothermie, 2024). Die Leistung einer Dublette kann in optimalen Fällen 20 MWth übersteigen, wie zum Beispiel im Raum München (z.B. Bundesverband Geothermie, 2025).

Dabei ist die Leistung direkt abhängig von der Temperatur des Thermalwassers (i.d.R. abhängig von der Tiefe), sowie der Permeabilität und der Mächtigkeit des geothermischen Reservoirs. Diese Parameter weisen dabei natürliche Bandbreiten auf, die in den Ablagerungsräumen, Versenkungstiefen, tektonischer Beanspruchung und allgemeiner geologischer Geschichte begründet sind.

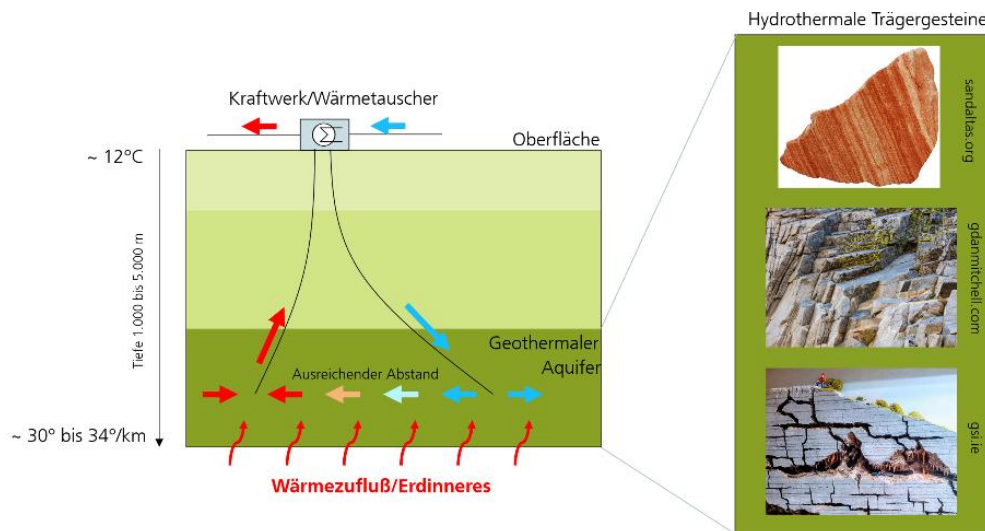


Abbildung 11: Funktionsweise einer hydrothermalen Dublette (links) mit Arten von natürlich thermalwasserführenden Gesteinsformationen (rechts) (Fraunhofer IEG).

Mit der Berechnung der thermischen Entzugsleistung (s. Kapitel 3.1.3) ordnen wir dies für die geographische Lage des Inda Gymnasiums ein. Mit der prognostizierten Tiefe (TVD) einer Bohrung für das Inda Gymnasium von ca. 960 m (s. Abbildung 10) wird hier die mitteltiefe hydrothermale Geothermie betrachtet.

3.1.2 Bewertung eines geeigneten hydrothermalen Reservoirs am Standort

Entsprechend der geologischen Voruntersuchungen (vgl. Kap. 2) wird am Standort des Inda-Gymnasiums in Aachen der Massenkalk, der lokal aus den Frasn Kalken und den Stringocephalen-Schichten gebildet wird, als geeignetes geothermisches Reservoir für eine mitteltiefe hydrothermale Nutzung eingestuft.

Die devonischen Massenkalke, die flächenhaft in großen Teilen von NRW abgelagert wurden, gelten aufgrund ihres hohen Verkarstungspotenzials als eines der aussichtsreichsten hydrothermalen Reservoirgesteine in Nordwest-Europa. Aufgrund mehrfacher tektonischer Überprägung sind die Massenkalke vielerorts tiefgründig verkarstet (Palaöverkarstung) und dolomitisiert, sodass erhöhte Fluidwegsamkeiten sehr wahrscheinlich sind. Offene Störungen und ein ausgeprägtes Kluft- und Karstsystem erhöhen die Fluidwegsamkeiten signifikant und ermöglichen in Zusammenhang mit den im Massenkalk vorliegenden hohen Matrixporositäten hohe Produktionsraten bei hydrothermalen Geothermieprojekten.

Am Standort gilt die Präsenz des Massenkalk aufgrund benachbarter Aufschlüsse als sehr wahrscheinlich. Für den Massenkalk werden lokal aufgrund der räumlichen Nähe zum Hammerbergsattel (Deformationszone) erhöhte Durchlässigkeiten und Verkarstungen vermutet. Dabei ist eine lokale Abweichung der Teufenlage von wenigen 100 m möglich.

Basierend auf der ISGK 50 (s. Abbildung 12) wird für eine mögliche nächste Phase eines mitteltiefen hydrothermalen Geothermieprojektes die Erstellung eines etwa 2 km x 2 km großen struktureologischen Modells zur Vorplanung einer möglichen Erkundungsbohrung empfohlen. Die Annahmen aus der ISGK 50 hinsichtlich des Einfallens der paläozoischen Schichten sollten im vorgeschlagenen Modellbereich sowie in angrenzenden Gebieten mit aufgeschlossenem Gestein durch Einfallsmessungen im Rahmen einer geologischen Kartierung bestätigt bzw. angepasst werden. Das Inda Gymnasium liegt dabei im Übergangsbereich des Hammerberg-Sattel-Burgholzer-Mulde Systems zur Inde Mulde und wird dadurch nicht durch die gezeigten Querschnitte adäquat abgebildet. Eine struktureologische Modellierung würde diese Lücke füllen und weitere Untersuchungen erlauben.



Abbildung 12: Schichten der ISGK50 mit Profilschnitten (grün) (Fraunhofer IEG).

3.1.3 Simulation der thermischen Entzugsleistung einer hydrothermalen Dublette

Die mitteltiefe geothermische Erschließungsstrategie sieht eine hydrothermale Nutzung des Reservoirs vor, wobei die natürlich vorhandenen Porositäten des Gesteins zusammen mit Kluft- und Störungsbereichen das Reservoir bilden. Das vorhandene, heiße Thermalwasser wird über eine Produktionsbohrung gefördert und nach Entzug der Wärme mittels Wärmetauscher über die Injektionsbohrung zurück in das Reservoir geleitet.

(Erschließung mittels Dublettenbohrungen). Hierbei ist es möglich, beide Bohrungen (Förder- und Injektionsbohrung) von einem Bohrplatz aus abzuteufen, wobei die Bohrungen vor Erreichen des Reservoirs aus der Vertikalen abgelenkt werden und das Reservoir auf möglichst langer Strecke durchteuft und mit einem geschlitzten Liner (Stahlrohr mit Öffnungen) ausgestattet wird. Ein entsprechendes Verrohrungskonzept, welches auf dem in Kap. 2 ermittelten hypothetischen Bohrprofil basiert, ist in Abbildung 13 dargestellt. Über eine Förderpumpe wird das warme Thermalwasser zu den obertägigen Anlagen des Thermalwasserkreislaufes gepumpt und anschließend in das Wärmenetz abgegeben.

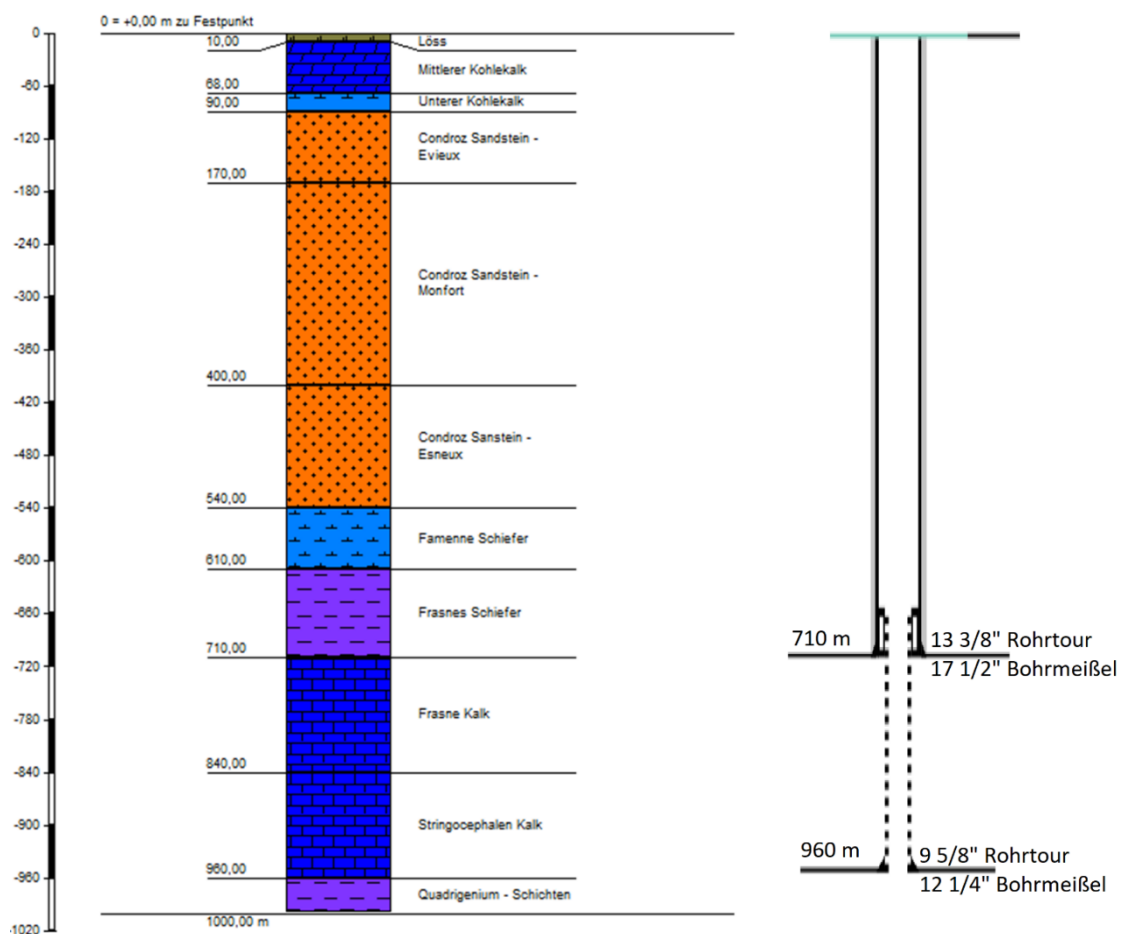


Abbildung 13: Hypothetisches Bohrprofil und Verrohrungskonzepte – Standort Inda-Gymnasium

3.1.4 Input der thermischen Simulation mit DoubletCalc

Zur Ermittlung der möglichen geothermischen Potenziale des Massenkalkreservoirs am Standort Inda Gymnasium wurden stochastische Simulationen mittels der Software DoubletCalc (Mijnlieff et al., 2014) durchgeführt. Diese wurde von TNO zur analytischen Berechnung von thermischen Leistungen von geothermischen Dubletten in den Niederlanden entwickelt.

Grundlage und Inputparameter sind die wichtigsten (geologischen) Reservoir-Parameter, das Verrohrungsschema sowie Dubletten- und Pumpendetails (Tabelle 1). Hierbei werden die geologischen Reservoir-Parameter in typischer min-mean-max-Bandbreite in DoubletCalc angegeben.

Die methodische Kopplung an Monte-Carlo-Verfahren erlaubt es, diese Unsicherheiten quantitativ abzubilden und die thermische Entzugsleistung als Wahrscheinlichkeitsverteilung darzustellen. Pro Modellierung wurden 1.000 Berechnungen durchgeführt. Dadurch werden die Variabilitäten in der Datengrundlage – etwa durch Distanz zu Referenzdaten oder variierende geologische Eigenschaften – in die Abschätzung einbezogen. Entsprechend des BVEG 2024 Leitfadens werden die Ergebnisse definiert:

- P90: 90 % aller möglichen Fälle liegen darüber, konservativer Fall (Min).
- P50: 50 % aller möglichen Fälle liegen darüber, Basis-Fall (Mean).
- P10: 10 % aller möglichen Fälle liegen darüber, optimistischster Fall (Max).

Tabelle 1: Input Parameter für die thermische Simulation mit DoubletCalc (Fraunhofer IEG).

Eingabeparameter	min	median	max	Quelle
Permeabilität [mD]	10	500	3000	Jüstel et al. 2025
Net to Gross [-]	0,1	0,3	0,5	Jüstel et al. 2025
Mächtigkeit Reservoir [m]	200	250	300	Annahme basierend auf Abb. 10/13
Salinität [ppm] *	65000	170000	225000	Annahme
Technische Parameter				
Injektionstemperatur [°C]	15			Annahme
Entfernung Bohrungen [m]	1000			Annahme
Tiefe Produktionspumpe [m]	250			Annahme
Pumpdruck Unterschied [bar]	40			Annahme

* Spannweiter gewählter Reservoirparameter für den Massenkalk in verschiedenen Projekten in NRW

Geothermischer Gradient und Temperatur

Für den geothermischen Gradienten wurde ein mittlerer europäischer Wert von 30 °C/km angenommen (Kaltschmitt et al. 2003).

Permeabilität (Durchlässigkeit)

Der wichtigste Parameter für die Berechnung des thermischen Ertrags einer Geothermie-Anlage hinsichtlich der Parametrisierung des Untergrunds ist neben der Temperatur der Lagerstätte die Permeabilität, d.h. die „Durchlässigkeit“ des Gesteins. Je höher die Permeabilität, desto einfacher kann der Produktionsbohrung Thermalwasser zufließen und desto einfacher kann die Injektionsbohrung das abgekühlte Thermalwasser einer geothermischen Dublette wieder in die Reservoir-Formation einbringen.

Mächtigkeit/Net-to-Gross

Neben der Permeabilität und Temperatur ist die Nettomächtigkeit des Aquifers eine entscheidende Größe für den thermischen Ertrag einer geothermischen Dublette. In der verwendeten Software DoubletCalc wird die Bruttomächtigkeit einerseits sowie das Verhältnis aus Netto- zu Bruttomächtigkeit angegeben („net to gross“).

Viskosität

Die Viskosität (bzw. „Zähflüssigkeit“; Einheit [Pa*s]) des Thermalwassers ist für die gesamten Vorgänge in der Geothermie von hoher Wichtigkeit. Die Fließfähigkeit des thermischen Energieträgers im Reservoir, im Bohrlochbereich sowie im obertägigen Anlagenbereich hat leistungstechnische, und damit letztendlich wirtschaftliche Auswirkungen (z.B. notwendige Pumpenleistung, Förderraten etc.). Allgemein sinkt die Viskosität mit steigender Temperatur, geringeren Drücken als auch niedrigeren Salzgehalten (Birner et al., 2013). Viskositäten werden nicht direkt vorgegeben, sondern auf Basis von Funktionen in DoubletCalc berechnet (TNO, Mijnlief et al., 2014).

Dichte

Die Dichte des Thermalwassers spielt sowohl bei der Produktion als auch der Injektion eine Rolle, da bei entsprechenden Volumenströmen sich das Gewicht des thermischen Energieträgers ändert. Leistungen der Förderpumpen sind bei hohem Gewicht entsprechend höher und haben damit auch ein Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit eines Projektes. Die Dichte nimmt mit zunehmender Temperatur und geringerem Salzgehalt ab; mit steigendem Druck erhöht sich die Dichte. Thermalwasser-Dichten werden nicht direkt vorgegeben, sondern auf Basis von Funktionen in DoubletCalc berechnet (TNO, Mijnlief et al., 2014).

3.1.5 Ergebnisse der thermischen Simulation mit DoubletCalc

Die nachfolgend dargestellten Wahrscheinlichkeiten (P10, P50, P90) (Abbildung 15, Tabelle 2) der thermischen Simulation für den Standort Inda-Gymnasium beziehen sich ausschließlich auf die zugrunde gelegten Bandbreiten der Reservoirparameter (Durchlässigkeiten, Mächtigkeiten, Tiefenlagen des Reservoirs etc.), wobei für die Parameter Permeabilität, Net-to-Gross Werte aus vergleichbaren geologischen Verhältnissen als Grundlage für die Berechnung genommen wurden. Im mittleren P50-Fall zeigt sich, dass unter den o.g. Randbedingungen bei einer Schüttung von ca. 169 m³/h und einer Produktionstemperatur von ca. 35°C eine thermische Leistung von ca. 3,7 MW aus den devonischen Massenkalken am Standort Inda-Gymnasium bereitgestellt werden kann.

Tabelle 2: Ergebnisse der DoubletCalc-Simulation (Fraunhofer IEG)

Ergebnisse	P90	P50	P10
Schüttung [m ³ /h]	64,9	168,6	362,1
Geothermale Energie [MW]	1,37	3,66	7,9
COP [kW/kW]	12,3	13,2	14,1
Produktionstemperatur [°C]	33,84	35,04	36,33

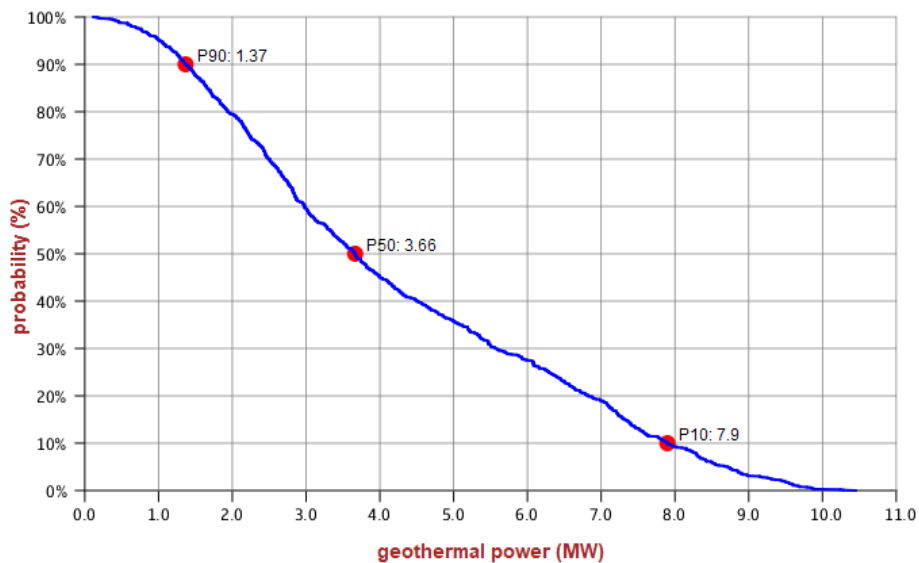


Abbildung 14: Wahrscheinlichkeitsverteilung Massenkalk (Fraunhofer IEG).

3.1.6 Kostenschätzung hydrothermaler Geothermie

Im Rahmen dieser Vorstudie wurden die Kostenschätzungen für den Bohrplatz, die Bohrkosten für eine Dublette am Standort des Inda Gymnasiums vorgenommen. Dies wurde auf Basis des prognostischen Vorprofils (s. Abbildung 9) erarbeitet. Die gewählten Bohrlochdurchmesser bei den Bohrungen, sowie alle genannten Kosten orientieren sich an Projekten mit vergleichbaren Randbedingungen (Tiefen, Volumenströme, Geologie). In der nächsten Projektphase wird empfohlen auf Basis einer strukturgeologischen 3D-Modellierung entsprechend der geometrischen Ausbildung der Mulde, die Lage der Dublette und die Bohrpfade zu konkretisieren.

Kostenschätzung Bohrungen

Bei dem oben beschriebenen Szenario, wo bei einer Teufe von 960 m (TVD), der Massenkalk vollständig durchteuft wird, ergeben sich folgende Bohrkostenschätzungen, detailliert in Abbildung 15 und

Tabelle 3: Detailaufstellung der Bohrkostenschätzung (Fraunhofer IEG). aufgelistet.

Tabelle 3: Detailaufstellung der Bohrkostenschätzung (Fraunhofer IEG).

Kostenkategorie		Inda Gymnasium
Endteufe [m (TVD)]		960
Mieten und Services		2.828.100 €
1	Mobilisierung und Demobilisierung Bohranlage	500.000 €
2	Miete Bohranlage	672.000 €
3	Technische Planung und Projektmanagement	452.000 €
4	Bohrspülung, Feststoffkontrolle und Entsorgung	129.600 €
5	Richtbohrservice	336.000 €
6	Zement und Service	106.500 €
7	Geologie und Reservoir Engineering	329.200 €
8	Toolmieten, Inspektion und Instandsetzung	124.800 €
9	Bohrplatz (laufende Kosten)	73.600 €
10	Entsorgung Bohrklein und sonstiges	84.000 €
11	Kräne und Transporte	20.400 €
Material, Verbrauchsmaterial und Services		597.700 €
12	Bohrmeißel	132.000 €
13	Casing, Liner und Zubehör	255.700 €
14	Bohrlochkopf und Installationsservice	685.160 €
TOTAL pro Bohrung		3.425.800 €
	+ 20% Unvorhergesehenes, pro Bohrung	685.160 €
TOTAL pro Bohrung inkl. Risikoaufschlag		4.110.960 €
	Preis pro Meter	4.282 €
	Preis pro Tag	171.290 €
Kosten Dublette (2 Bohrungen)		8.221.920 €

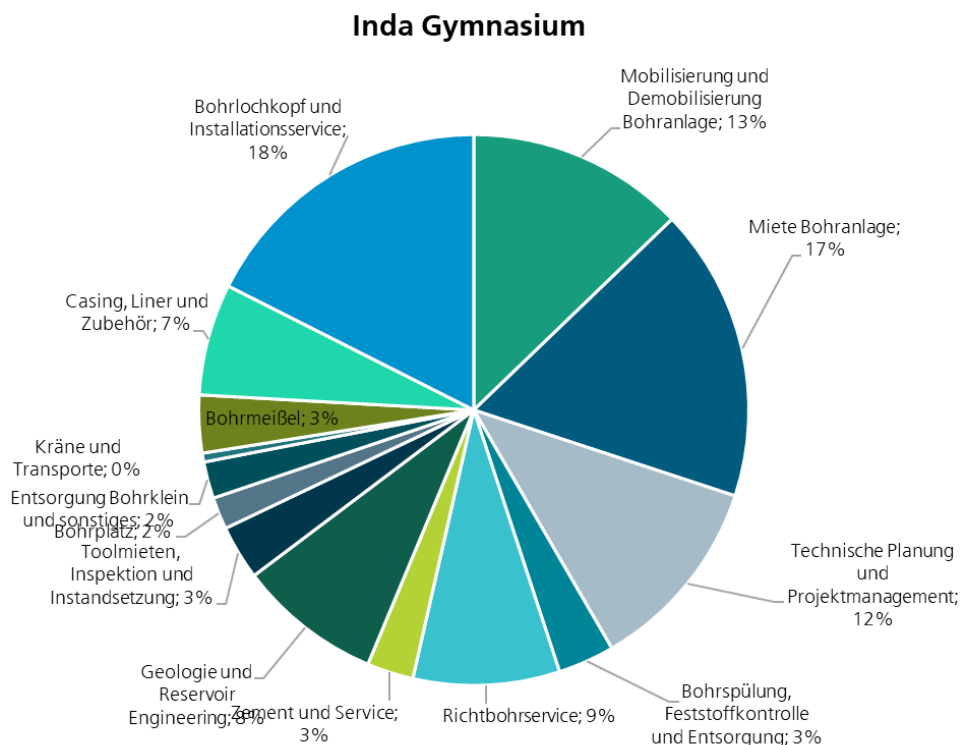


Abbildung 15: Tortendiagramm der Bestandteile der Bohrkosten (Fraunhofer IEG).

Es handelt sich in diesem Bericht nicht um eine detaillierte Bohrplanung, sondern um eine Konzeptplanung für eine erste Kostenschätzung. Da aufgrund der aktuellen wirtschaftlichen Lage der Einfluss der Inflation auf die Bohrkosten zum Zeitpunkt der Berichtserstellung nicht abgeschätzt werden kann, wird bei allen Bohrungen ein großer Puffer von +20 % für Unvorhergesehenes gerechnet. Bei späterer Detailbohrplanung können unter Berücksichtigung der Lage von Schichten und Störungen gegebenenfalls die Konstruktion und Kosten variieren.

Kostenschätzung Bohrplatz

Vor Abteufung der Bohrungen ist der Bohrplatz herzurichten. Primär dient der Bohrplatz zur Lastabtragung des Bohrgeräts sowie zur sicheren Vorhaltung der für die Bohrung erforderlichen Komponenten, wie z. B. Verrohrung, Spülungstanks und Meißel. Bei Bohrplätzen handelt es sich zunächst um temporäre Einrichtungen, deren Nutzungsdauer auf maximal 12 Monate begrenzt ist. Bei der Planung einer Bohrplatzes müssen sowohl Sicherheits- und Umweltaspekte als auch die notwendigen technischen Rahmenbedingungen Berücksichtigung finden.

Das Gelände des Inda Gymnasiums weist keinen starken Gelände-Neigungswinkel auf, was für die Errichtung des Bohrplatzes wichtig ist. Bei einer voraussichtlichen Endteufe von ca. 960 m (TVD) wird empfohlen ca. 1 Mio. € für die Bohrplatzherstellung einzuplanen. Dies entspricht einem Bohrplatz mit einer Fläche von ca. 4 000 m² mit Lagerfläche und Umfahrung. Möglicherweise ist ein zusätzlicher Stellplatz bzw. Lagerfläche in der Umgebung des Bohrplatzes nötig, dieser wird nicht denselben Anforderungen wie die des Bohrplatzes entsprechen müssen.

Die final benötigte Größe des Bohrplatzes und Auswahl des Bohrgerätes etc. und sich daraus ergebende Kosten werden im späteren Projektverlauf in der Bohrplanung bestimmt. Hinsichtlich der späteren Aufstellungsplanung ist u. a. zu berücksichtigen, dass sich die Kauen-Stellflächen nicht im Umsturzbereich der Bohranlage befinden dürfen. Hinsichtlich Explosions- und Brandschutzes sind ausreichend Sicherheitsvorkehrungen zu treffen. In Abhängigkeit eines Schallgutachtens sind insbesondere für den späteren Bohrbetrieb ggf. weitere Maßnahmen zu ergreifen, z. B. die Errichtung einer Lärmschutzwand. Die notwendigen Maßnahmen werden später im Rahmen des Genehmigungsprozesses in Absprache mit den zu-ständigen Behörden festgelegt.

3.2 Oberflächennahe Geothermie mittels Erdwärmesondensysteme

3.2.1 Einführung geschlossene oberflächennahe Geothermiesysteme

Geschlossene Erdwärmetauschersysteme (Erdwärmesonden, Kollektoren, Körbe u. ä.) werden maßgeblich durch die Wärmeleitung der Gesteinsmatrix gespeist. Dieses System ist extrem träge. Die Wärme fließt vergleichsweise langsam zum Erdwärmetauscher hin oder von ihm weg (je nach Temperaturdifferenz).

Wird ein Erdwärmetauscher kurzzeitig mit einer hohen Last beansprucht, so kann die Wärme nicht schnell genug nachfließen und die Erdreichtemperaturen im Nahbereich des Erdwärmetauschers sinken stark ab. Damit die behördlichen Grenztemperaturen dennoch eingehalten werden muss ein größerer Erdwärmetauscher (z. B. mehr Erdwärmesonden) installiert werden.

Werden Erdwärmetauschersysteme hingegen mit einer geringen Leistung und langer Laufzeit belastet, so stellt sich eher ein Gleichgewicht zwischen entzogener Wärme und nachfließender Wärme ein.

Das Vermögen des Untergrundes Wärme zu transportieren ist von seiner spezifischen Wärmeleitfähigkeit abhängig und ist somit ein unveränderlicher Parameter, den es zu bewerten gilt. Die veränderlichen Parameter, das Lastprofil und die Art der Erschließung, müssen hingegen in ihrer Bandbreite und deren Einfluss auf das Gesamtsystem betrachtet werden.

3.2.2 Bewertung Oberflächennahe Geothermie am Standort

Entsprechend der geologischen Voruntersuchungen (vgl. Kap. 2) stellt am Standort des Inda-Gymnasiums in Aachen neben der mitteltiefen hydrothermalen Geothermie die oberflächennahe Geothermie (0- 400 m) mittels geschlossener Erdwärmesondensysteme eine weitere mögliche Nutzungsvariante dar. Im relevanten Tiefenbereich stehen die Festgesteine des Kohlenkalks, die weitestgehend aus Kalksteinen und Dolomiten gebildet werden und die Condroz Sandstein aus dem Oberdevon (Famenne) an (s. Abbildung 9). Der bis Tiefen von ca. 50 m anstehende obere Dolomit des Mittleren Kohlenkalks kann am Standort starke Verkarstungen aufweisen. Demensprechend wurde das Untersuchungsgebiet als sogenannter hydrogeologisch sensibler Bereich (s. Abbildung 4) eingestuft. Beim Abteufen von Erdwärmesondenbohrungen ist diesem Umstand Rechnung zu tragen, wird aber bohrtechnisch nicht als Hindernisgrund eingeschätzt. Maßnahmen wie z.B. der Einsatz von Doppelverrohrung sind bei diesen Tiefenlagen Stand der Technik.

Entsprechend der Gesteinsinformationen und deren Mächtigkeit ergeben sich im Untersuchungsgebiet im Tiefenbereich 0 – 400 m bei Wärmeleitfähigkeiten von 2,5 bis 2,9 W/mK gute Voraussetzungen für die Erstellung eines Erdwärmesondenfeldes.

3.2.3 Auslegung + Kosten Erdwärmesondenfeld

Für die Auslegung eines möglichen Erdwärmesondenfeldes (Größe und Sondenmeterzahl) ist die Erstellung einer Jahreswärmeverteilung und eines Nutzungskonzeptes mit Einbindung in die vorhandene Wärmeversorgung des Inda Gymnasium erforderlich, welches nicht Bestandteil der vorliegenden Studie ist. In Abhängigkeit vom Grundlastanteil und möglicher zusätzlicher Regenerationsmaßnahmen (Sommerhalbjahr) sind bei der angegebenen Heizlast von 450 kW grundsätzlich Sondenfelder im Bereich von 5.000 - >10.000 Gesamtsondenmeter am Standort denkbar. Aufgrund der o.g. Verkarstungssituation und der bestehenden Nutzung incl. Versiegelung wird empfohlen, die Anzahl/Ansatzpunkte der Erdwärmesondenbohrungen möglichst zu begrenzen. Dies impliziert möglichst große Sondentiefen >200 m. Beispielsweise wäre bei einer Bohrtiefe von 300 m und einer Gesamtsondenmeterzahl von 6.000 m insgesamt 20 Bohrungen erforderlich, was einem Flächenbedarf in Größenordnung von ca. 1.000 m² entspricht. Alternativ ist auch die Umsetzung eines sog. GeoStars möglich, wobei von einer Fläche von 8 x 8 m Schrägbohrungen sternförmig abgeteuft werden könnten.

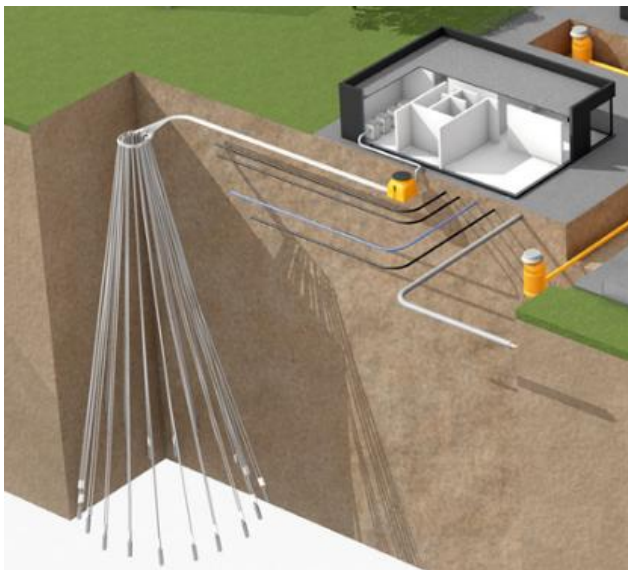


Abbildung 16: GeoStar-Konzept (Fraunhofer IEG).

Zur Ermittlung der optimalen Sondenfeldkonfiguration/-größe sind eine entsprechende Sensitivitätsanalyse und Wirtschaftlichkeitsbetrachtung durchzuführen.

Aufgrund der aktuellen Erfahrungen aus laufenden Projekten sind im Bereich der mittleren und großen Erdwärmesondenanlagen (von ca. 2.000 -20.000 Bohrmeter) Kosten von ca. 1.500 €/kW – 2.500 €/kW Heizleistung anzusetzen.

4. Einordnung der (berg-)rechtlichen Situation – IEG

Bei der Errichtung von Geothermieranlagen ist insbesondere das Bundesbergrecht, das Wasserhaushaltsgesetz, das Lagerstättengesetz und die bodenschutzrechtlichen Regelungen sowie das Standortauswahlgesetz zu befolgen.

Erdwärme gilt nach § 3 Abs. 3 Satz 2 Nr. 2 b BBergG als bergfreier Bodenschatz, auf den sich nach § 3 Abs. 2 Satz 2 BBergG das Eigentum an Grundstücken nicht erstreckt. Zur Gewinnung von Erdwärme aus dem Boden ist daher nach § 6 BBergG grundsätzlich eine Bergbauberechtigung erforderlich.

Abbildung 17 gibt einen Überblick über den grundsätzlichen Ablauf des Genehmigungsprozesses von Geothermieprojekten in Nordrhein-Westfalen. Die zuständige federführende Behörde für sämtliche bergrechtlichen Belange ist die Bezirksregierung Arnsberg. Im Folgenden werden die jeweiligen genehmigungsrechtlichen Rahmenbedingungen für oberflächennahe sowie (mittel-)tiefe Geothermieprojekte näher erläutert.

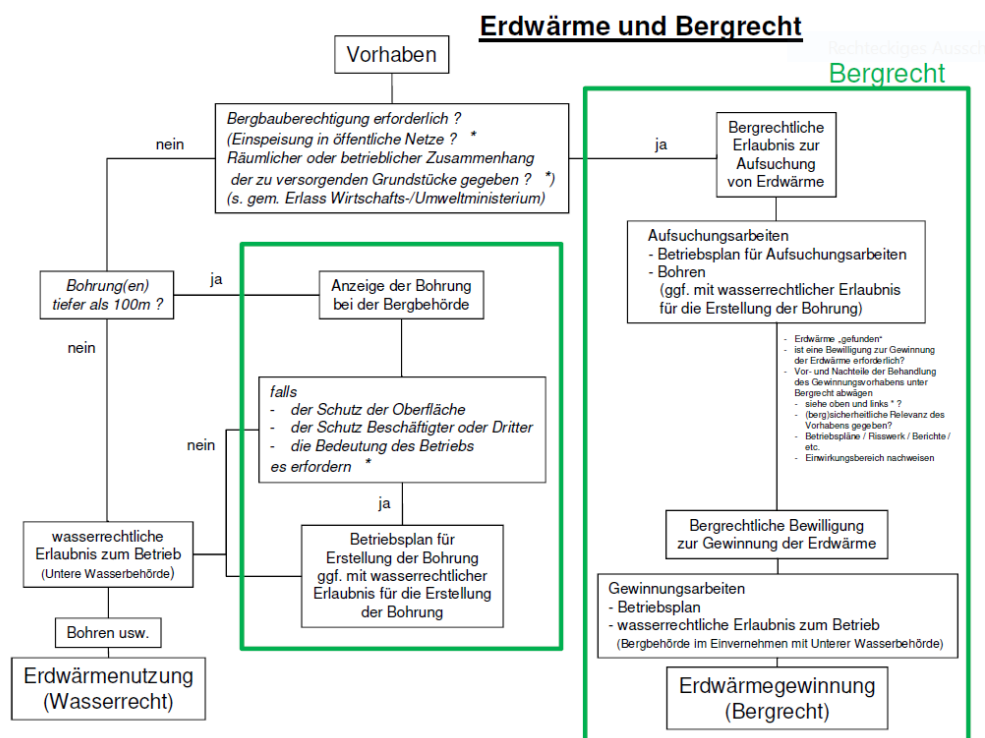


Abbildung 17: Ablauf Genehmigungsverfahren Geothermie in NRW (Bezirksregierung Arnsberg).

4.1 Mitteltiefe Geothermie

Die Aufsuchung und Förderung von geothermischer Wärme ist als bergbauliche Aktivität einzustufen und fällt unter das Bundesberggesetz. Die Berechtigung zur Durchführung der Aktivitäten sind auf Grundlage

einer bergrechtlichen Aufsuchungserlaubnis durchzuführen, für den späteren Betrieb ist eine Gewinnungsbewilligung für den Rohstoff Wärme einzuholen.

Die Genehmigungsverfahren zum Erlangen der Aufsuchungs- und Förderrechte sowie die darauf basierenden Betriebspläne zur Durchführung der Aufsuchungsaktivitäten (Voruntersuchungen, Bohrarbeiten, Produktionstest und Förderung) werden durch den Erlaubnisinhaber zentral beim zuständigen Bergamt (Bezirksregierung Arnsberg) beantragt und durch dieses genehmigt.

Zu Erschließung der Geothermie sind folgende Genehmigungen erforderlich:

Zur Aufsuchung:

- Bergrechtliche Aufsuchungserlaubnis für zwei, drei oder fünf Jahre
- Betriebspläne für seismische Untersuchungen, Bohrplatzbau, Erstellen der Bohrungen und Reservoirtestarbeiten an der Bohrung (Fördertests)
- Wasserrechtliche Erlaubnis zur Förderung, Ableiten und Verpumpen (Reinjizieren) des Tiefenwassers
- Betriebsplan zum Rückbau und Rekultivierung des Bohrplatzes nach Erstellung der Bohrungen

Zum Betrieb:

- Bergrechtliche Bewilligung zur Gewinnung von Erdwärme (bis zu 50 Jahre)
- Betriebsplan für technische Einrichtungen zur Gewinnung von Erdwärme und für den Förderbetrieb

Bisher existieren im Untersuchungsgebiet oder im Umkreis des Untersuchungsgebiets keine bergrechtlichen Erlaubnisfelder für Sole (möglicherweise relevant für ATES-Systeme). Das gewerbliche Erlaubnisfeld für Erdwärme „Kreuz Aachen“ (deckungsgleich mit dem wiss. Erlaubnisfeld Aachen-Weisweiler) liegt außerhalb, wenige 100er Meter nördlich bzw. östlich des Standortes Inda Gymnasium (s. **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Die Tabelle 4 zeigt dabei die verschiedenen umliegenden Aufsuchungsberechtigungen für Aachen.

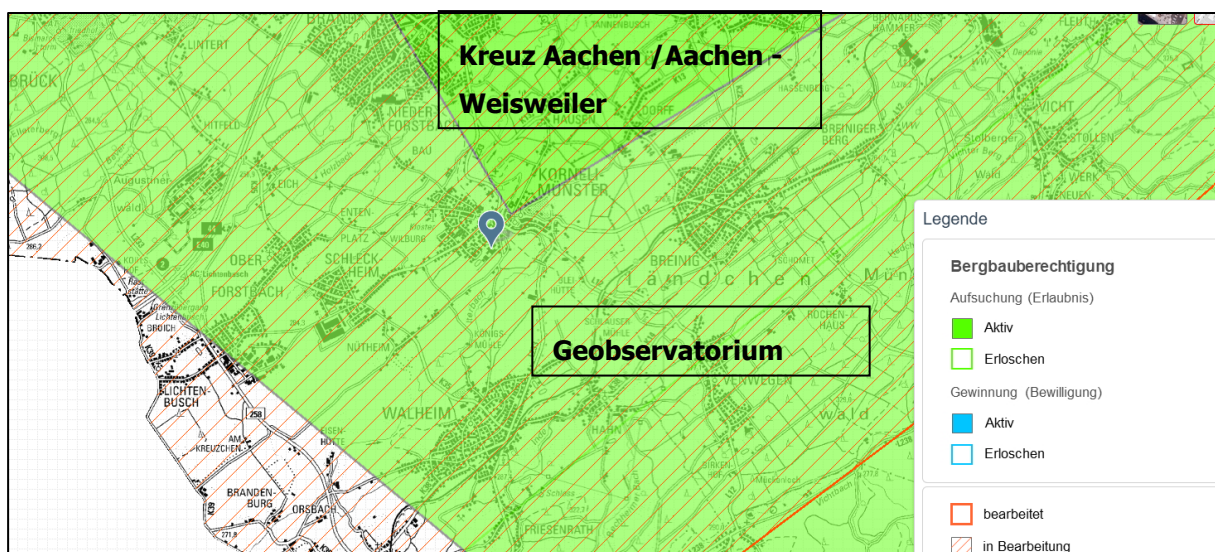


Abbildung 18: Übersichtskarte der aktiven Aufsuchungsberechtigungen.

Tabelle 4: Umliegende aktive Aufsuchungsberechtigungen.

Erlaubnisfeld Name	Start	Enddatum	Erlaubnisart
Kreuz Aachen	23.06.2020	22.06.2028	zu gewerblichen Zwecken
Aachen-Weisweiler	25.08.2020	24.08.2025	zu wissenschaftlichen Zwecken
GEObservatorium Aachen	18.07.2022	17.07.2027	zu wissenschaftlichen Zwecken

Zur Sicherstellung aller bergrechtlichen, umweltrechtlichen sowie von arbeits- und gesundheitsschutzrechtlichen Belangen erfolgt die Genehmigung und Überwachung von Eingriffen in den Untergrund und allen damit verbundenen Tätigkeiten (Aufsuchung und Gewinnung) im Rahmen von Betriebsplänen, die bei der zuständigen Bergbehörde einzureichen sind. Die Bergbehörde entscheidet unter Beteiligung von anderen, durch das Vorhaben berührte Träger öffentlicher Belange (Wasserschutz, Bodenschutz, Natur- und Umweltschutz, beteiligte Kommunen, Verkehrsbetriebe etc.) über die Zulassung des Betriebsplans. In der Regel wird die Durchführung der beantragten Maßnahmen mit entsprechenden Auflagen zur Sicherstellung von Sicherheit, Umwelt-, Arbeits- und Gesundheitsschutz versehen. Bei der Beurteilung der Maßnahmen durch die Bergbehörde werden die jeweiligen lokalen Bedingungen am Standort zur Bewertung herangezogen, um projektbezogen mögliche Einflüsse auf die Bevölkerung, Schutzgüter und die Gefahr von Bergbauauswirkungen abwägen zu können.

4.2 Oberflächennahe Geothermie < 400 m

Für die Nutzung der oberflächennahen Geothermie zur Beheizung des Inda Gymnasium greift folgender bergrechtlicher Ausnahmetatbestand. Demnach ist nach § 4 Abs. 2 Nr. 1 BBergG das Lösen oder Freisetzen von Bodenschätzen "in einem Grundstück aus Anlass oder im Zusammenhang mit dessen baulicher oder sonstiger städtebaulicher Nutzung" keine Gewinnung und damit auch nicht dem Erfordernis einer Bergbauberechtigung unterworfen. Somit fällt eine grundstücksbezogene Gewinnung von Erdwärme, z.B. für die Beheizung eines Gebäudes, nicht unter das BBergG. Eine Gewinnung von Erdwärme mit der Folge der Erforderlichkeit einer Bergbauberechtigung liegt dann vor, wenn der Zweck der Erdwärmegewinnung nicht auf die bauliche oder sonstige städtebauliche Nutzung des Grundstücks, in dem diese Gewinnung stattfindet, beschränkt bleibt, sondern darüber hinausgeht. Dies wäre etwa der Fall, wenn mit Hilfe gewonnener Erdwärme Baulichkeiten auf anderen oder mehreren Grundstücken beheizt werden, ohne dass ein unmittelbarer räumlicher oder betrieblicher Zusammenhang besteht, oder das Ziel der Gewinnung von Erdwärme die Erzeugung von Strom oder Fernwärme und die Einspeisung in die allgemeinen Versorgungsnetze ist. Keine Rolle spielt hierbei, ob und ggf. in welchem Umfang sich eine

Erdwärmegewinnung hydrologisch oder geothermisch auf benachbarte Grundstücke auswirkt, denn für eine derartige Betrachtung bietet das BBergG keine Rechtsgrundlage.

Da die oberflächennahe geothermische Erschließung des Untergrundes einen Eingriff in das Grundwasser darstellt, bedürfen sie jedoch immer einer wasserrechtlichen Erlaubnis nach §8 -13 und §18 des WHG und §24, 25 und 44 LWG, in der jeweils gültigen Fassung, durch die zuständige Wasserbehörde. Weitere Regelungen zur Erdwärmenutzung von Wärmepumpen mit z.B. Erdwärmesonden sind auf der Grundlage des Arbeitsblattes 39 des LANUV NRW zusammengefasst. Eventuelle lokale Einschränkungen durch die Zuordnung des Untersuchungsgebietes als hydrogeologisch sensibler Bereich sollten bei der unteren Wasserbehörde Stadt Aachen erfragt werden (vgl. Kap. 1.3 und 3.2.2).

Unabhängig von Fragen der Bergbauberechtigung sind Bohrungen, die mehr als 100 m in den Boden eindringen sollen, nach § 127 BBergG der Bergbehörde anzuzeigen. Aufgrund dieser Anzeige entscheidet die Bergbehörde, ob für die Bohrung mit Blick auf den Schutz Beschäftigter und Dritter oder wegen ihrer Bedeutung ein Betriebsplan nach den §§ 51 ff. BBergG erforderlich ist. Ist dies der Fall, werden im Zulassungsverfahren nach den §§ 55 ff. BBergG auch andere betroffene Behörden beteiligt. Stellt eine der im Betriebsplan beschriebenen Tätigkeiten zur Erstellung der Bohrung einen Benutzungstatbestand im Sinne des WHG statt, entscheidet die Bergbehörde auch über die dafür erforderliche wasserrechtliche Erlaubnis.

5. Einordnung zur Umweltverträglichkeit für mitteltiefe Geothermie – IEG

Die Umweltverträglichkeit von Bohrungen wird grundsätzlich nach dem UVPG (Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung) beurteilt (§1 Absatz 1 Nummer 1 Anlage 1 Liste „UVP-pflichtige Vorhaben“). Das UVPG regelt die Prüfung für Vorhaben, die aufgrund ihrer Art, ihrer Größe oder ihres Standortes erhebliche Auswirkungen auf die Umwelt haben können. Für Bohrungen ab 1.000 m Tiefe wird eine Vorprüfung (UVP-VP) vorausgesetzt (§ 1 Satz 1 Nr. 10 a-b) UVP-V). Eine allgemeine UVP-VP ist bei einem erwarteten thermischen Ertrag von 1 bis < 50 MW erforderlich.

Die UVP-VP wird von der Bergbehörde in ein Beteiligungsverfahren mit den zuständigen Behörden, wie z.B. der Unteren/Oberen Naturschutzbehörde, Wasserwirtschaftsämter, etc. gegeben. Eine genehmigte UVP-VP wird zur Einreichung des Hauptbetriebsplanes, also spätestens am Ende der Explorationsphase benötigt (s. Abbildung 18). Es empfiehlt sich, die wissenschaftlich-technischen Planungsschritte, die in der Machbarkeit und ersten Explorations-Phase durchgeführt werden, auf die Inhalte der UVP-VP abzustimmen, so dass ggf. kritische Punkte frühzeitig adressiert und mit entsprechenden planerischen Gegenmaßnahmen belegt werden können. Sollten weiterführende Planungsarbeiten, wie z.B. eine Simulation der Grundwasserverhältnisse, um eine Beeinflussung von Trinkwasserhorizonten auszuschließen, nötig sein, ist dies für den Hauptbetriebsplan zu berücksichtigen.

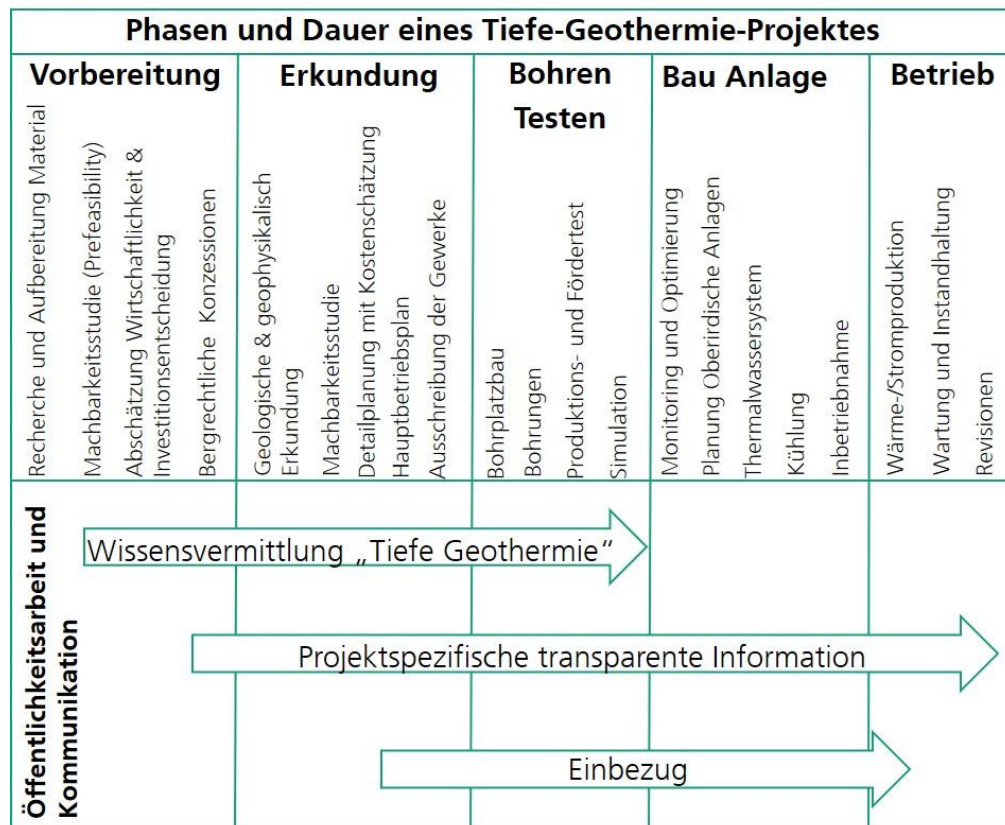


Abbildung 19: Typische Phasen und Zeitdauer eines Tiefe-Geothermie-Projektes (verändert nach Borg Bauer, 2017).

Die UVP-VP

muss folgende Punkte nach Anlag 3 des UVPG beinhalten:

- **Größe und Ausgestaltung des Bohrplatzes sowie der Bohrung**
Es wird vor allem Bezug auf den Grundwasserschutz genommen und dargestellt, wie der Aufbau des Platzes ist und welche Tätigkeiten am Bohrplatz stattfinden, z.B. ob der Umgang mit wasser-gefährdenden Stoffen geplant ist oder wie die Entwässerung stattfindet. Üblicherweise wird der Bohrplatz nach dem WEG-Leitfaden erstellt, welcher die Dichtigkeit der Arbeitsflächen und die Entwässerung vorgibt. Ebenso wird anhand des Bohr- und Verrohrungsschemas aufgezeigt, wie über ein Standrohr und die folgende Verrohrung (z.B. durch Doppelbarrieren) trinkwasserführende Schichten geschützt werden.
- **Zusammenwirken mit anderen bestehenden/zugelassenen Vorhaben und Tätigkeiten**
Darstellung umliegender Vorhaben, die eine geothermische Aufsuchung und Gewinnung betreffen.
- **Nutzung natürlicher Ressourcen (Fläche, Boden, Wasser, Tiere, Pflanzen, biologische Vielfalt)**

In der UVP-VP wird eher generisch auf natürliche Ressourcen der betroffenen Fläche und deren Umgriff eingegangen. Erst im Hauptbetriebsplan wird, soweit dies für die Fläche dann gegeben ist, auf die Details, wie z.B. artenschutzrechtliche Prüfung, Waldumwandlung, Bodenschutzkonzept, Ausgleichflächen, Rekultivierungsplan, Schutzgebiete etc. eingegangen.

– **Erzeugung von Abfällen**

Allgemeine Darstellung der Art und Menge von Abfällen. Üblicherweise werden Bohrreste (Spülung und Bohrklein) ordnungsgemäß entsorgt, anfallende Testwässer werden nach Genehmigung durch die Wasserbehörde wieder in das Speichergestein zurückgeführt.

– **Umweltverschmutzung und Belästigungen (Lärm, Emission, Geruch)**

Hier wird allgemein auf die anfallenden Tätigkeiten während der Errichtung und des Betriebs eingegangen. Dies beinhaltet z.B. Baustellenverkehr oder Licht- und Schallschutz während Nachtarbeiten am Bohrplatz. Eine Beeinträchtigung des Grundwassers wird mit Bezug auf die Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen (AwSV) ausgeschlossen. Seismizität und Bodenhebungen werden während des Bohrens und durch eine entsprechende Betriebsführung ausgeschlossen. Es empfiehlt sich ein seismologisches Basisgutachten möglichst früh im Projektverlauf zu beauftragen.

– **Risiken von Störfällen, Unfällen, Katastrophen sowie für menschliche Gesundheit (Verunreinigung von Wasser/Luft, Seismizität, Flözgas)**

Hier kann unterschieden werden zwischen Stoff- und technologiebezogenen Risiken, Anfälligkeit für Störfälle, Risiken für die menschliche Gesundheit. Ein Verweis auf die gültigen bergrechtlichen Bestimmungen, Standards, Richtlinien und Leitfäden, sowie die Bagatellgrenze der Störfallverordnung schließt Unfälle und Risiken weitestgehend aus.

– **Bestehende Nutzung der Fläche**

Darstellung der aktuellen Nutzung und deren ökologische Bedeutung.

– **Belastbarkeit der Schutzgüter (Schutzgebiete)**

Hier wird nach den Schutzgütern wie Mensch und menschliche Gesundheit, Tiere, Pflanzen und biologische Vielfalt, Wasser, Boden, Luft und Klima, Landschaft sowie kulturelles Erbe und sonstige Sachgüter unterschieden. Dem wissenschaftlich-technischen Planungsstand entsprechend wird hier auf die genannten Schutzgüter eingegangen, planerische Maßnahmen und ggf. Gegenmaßnahmen werden beschrieben, die ggf. eine Beeinflussung oder Beeinträchtigung ausschließen.

6. Zusammenfassung und Handlungsempfehlung – IEG

6.1 Kurzzusammenfassung

Ziel der Vorstudie war es, zu prüfen, inwieweit das Inda-Gymnasium in Aachen-Kornelimünster mit einer Heizlast von 450 kW geothermisch versorgt werden kann. Das Schulgelände am Gangolfsweg 52 weist eine Fläche von etwa 40.000 m² mit verschiedenen Schulgebäuden und Sportanlagen auf. Die Aufstellung eines Bohrgerätes für Erdwärmepumpenbohrungen könnte an mehreren Stellen erfolgen. Die Geländeneigung ist gering und die Zufahrten gut erreichbar. Das Gelände liegt außerhalb geschützter Gebiete, gehört jedoch zu einem hydrogeologisch sensiblen Bereich. Für das Grundstück gibt es keine Eintragungen im Altlastenverdachtsflächenkataster der Stadt Aachen.

Kornelimünster liegt am Nordrand des Rheinischen Schiefergebirges, in einem Gebiet, das aus Gesteinsschichten aus dem Kambrium bis zum Karbon aufgebaut ist. Die geologische Entwicklung wurde hauptsächlich durch die variszische Gebirgsbildung geprägt, die eine starke Faltung und Störung der Gesteinsschichten hervorrief. Die Region zeigt verschiedene Strukturen, einschließlich Sättel und Mulden. Das Inda-Gymnasium befindet sich in der Nähe der Inde-Mulde, die durch eine Faltung in Hammerberger Sattel und Burgholzer Mulde unterteilt wird. Ein weiteres wichtiges geologisches Ereignis war der Einbruch der Niederrheinischen Bucht, der viele zum Teil noch aktive Störungen hervorgebracht hat, die sich in einer Nordwest-Südost-Richtung erstrecken. Das Inda-Gymnasium liegt am nicht weit vom Hammerbergsattel entfernten nordwestlichen Rand, wobei die Gesteinsschichten nach Nordwesten einfallen. Die Erdoberfläche umfasst Unterkarbon-Gestein, bekannt als Kohlenkalk, das lokal von dünnen Lössdecken überlagert wird. Der oberflächennahe mittlere Kohlenkalk weist am Standort bis Tiefen von ca. 50 m stark verkarstete Dolomite mit entsprechend hohen hydraulischen Durchlässigkeiten auf. Unterhalb des vorwiegend aus Mergel bestehenden Unteren Kohlenkalk folgen ab ca. Tiefen von 90 m der etwa 400-500 Meter mächtige Condros Sandstein aus dem Oberdevon, der aus Schluff- und Sandsteinen besteht. Darunter folgen Ton- und Tonmergelsteine der Frasn und Famenne. Erst ab einer Tiefe von ca. 700 bis 950 m treten devonische Massenkalk (Frasn Kalk und Stringocephalen-Schichten) auf, denen aufgrund ihrer hydraulischen Eigenschaften eine ggf. bessere geothermische Eignung zugeordnet werden können.

Die devonischen Massenkalk in Nordrhein-Westfalen gelten wegen ihres hohen Verkarstungspotenzials als vielversprechendes Reservoir für eine (mittel-)tiefe hydrothermale Nutzung. Aufgrund mehrfacher tektonischer Überprägung sind diese Kalk stark verkarstet und dolomitisiert, was erhöhte Fluidwegsamkeiten begünstigt und hohe Produktionsraten bei hydrothermalen Geothermieprojekten ermöglicht. Es wird vermutet, dass lokal am Standort die Durchlässigkeit des Massenkalks aufgrund der Nähe zu einer Deformationszone erhöht ist. Eine naheliegende mitteltiefe geothermische Erschließungsstrategie umfasst eine hydrothermale Nutzung des Massenkalkreservoirs, wobei von einem Bohrplatz aus das heiße Wasser über eine Produktionsbohrung gefördert und danach durch eine

Injektionsbohrung zurückgeleitet wird. Die mittels der Software DoubletCalc durchgeführten stochastischen Simulationen zeigen, dass durch eine hydrothermale Dublette am Standort Inda Gymnasium im mittleren P50-Fall bei einer Reservoir-Produktionstemperatur von ca. 35,02°C Schüttungen von 168,6 m³/h und thermische Leistungen von 3,66 MW bereitgestellt werden könnten. Basierend auf dem prognostischen Vorprofil und dem ermittelten Verrohrungskonzept ergeben sich geschätzte Bohrkosten einer hydrothermalen Dublette am Standort des Inda Gymnasiums von ca. 8,2 Millionen €. Für die Herstellung des Bohrplatzes sollten etwa 1 Million Euro eingeplant werden. Für die Festlegung des Bohrstandortes und der genauen Planung der Bohrpfade wird für die nächste Projektphase empfohlen, ein strukturelles 3D-Modell von etwa 2 km x 2 km zu erstellen.

Alternativ ist denkbar ein Teil (Grundlast) der am Inda-Gymnasium benötigten Heizlast von 450 KW mittels oberflächennahen Erdwärmesonden bereitzustellen. Bei Wärmeleitfähigkeiten von 2,5 bis 2,9 W/mK sind gute Voraussetzungen gegeben. Aufgrund der Verkarstungssituation im mittleren Kohlenkalk und der bestehenden Nutzung incl. Versiegelung wird empfohlen, die Anzahl/Ansatzpunkte der Erdwärmesondenbohrungen möglichst zu begrenzen, was, möglichst große Sondentiefen >200 impliziert. Zur Ermittlung der optimalen Sondenfeldkonfiguration/-größe ist die Erstellung einer Jahreswärmeverteilung und eines Nutzungskonzeptes mit Einbindung in die vorhandene Wärmeversorgung sowie die Durchführung einer Sensitivitätsanalyse erforderlich. Weitere Optimierungsansätze sind die sommerliche Regeneration und das GeoStar-Konzept.

6.2 Handlungsempfehlungen

Für eine aussagekräftige Entscheidungsgrundlage, inwieweit eine hydrothermale Nutzung am Standort des Inda-Gymnasiums realisierbar ist, sind weitere Arbeitsschritte unbedingt erforderlich. Dies beinhaltet eine detaillierte 3D-Strukturmodellierung, um die geologischen Bedingungen besser zu verstehen sowie die Geometrie der Mulde, die lokale Tiefenlage des Massenkalks und die Bohrpfade der hydrothermalen Dublette zu konkretisieren. Auf Grundlage dieser Daten ist eine Bewertung des geologischen Risikos durchzuführen. Für die mögliche Wärmeabnahme aus der hydrothermalen Geothermie sind die möglichen Nutzungskonzepte zu entwickeln und zu prüfen, ob im Umfeld des Inda-Gymnasiums eine geeignete Abnehmerstruktur existiert. Eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung mit Ermittlung der Wärmegestehungskosten und die Vorplanung des Explorationsprogramms runden diese Arbeitsschritte ab. Das Arbeitsgebiet liegt innerhalb des möglichen Einzugsgebiets der Aachener Quellen (s. Abbildung 20). Im Hinblick auf eine etwaige Beeinflussung dieses Kulturgutes durch Bohrungsaktivitäten (Druckveränderungen, Schaffung neuer Fließwege) wird empfohlen die Genese und das Fließverhalten der Wässer im Rahmen einer hydrogeologischen Studie zu untersuchen. Die letzte bekannte veröffentlichte Studie ist dabei mehr als 30 Jahre alt.

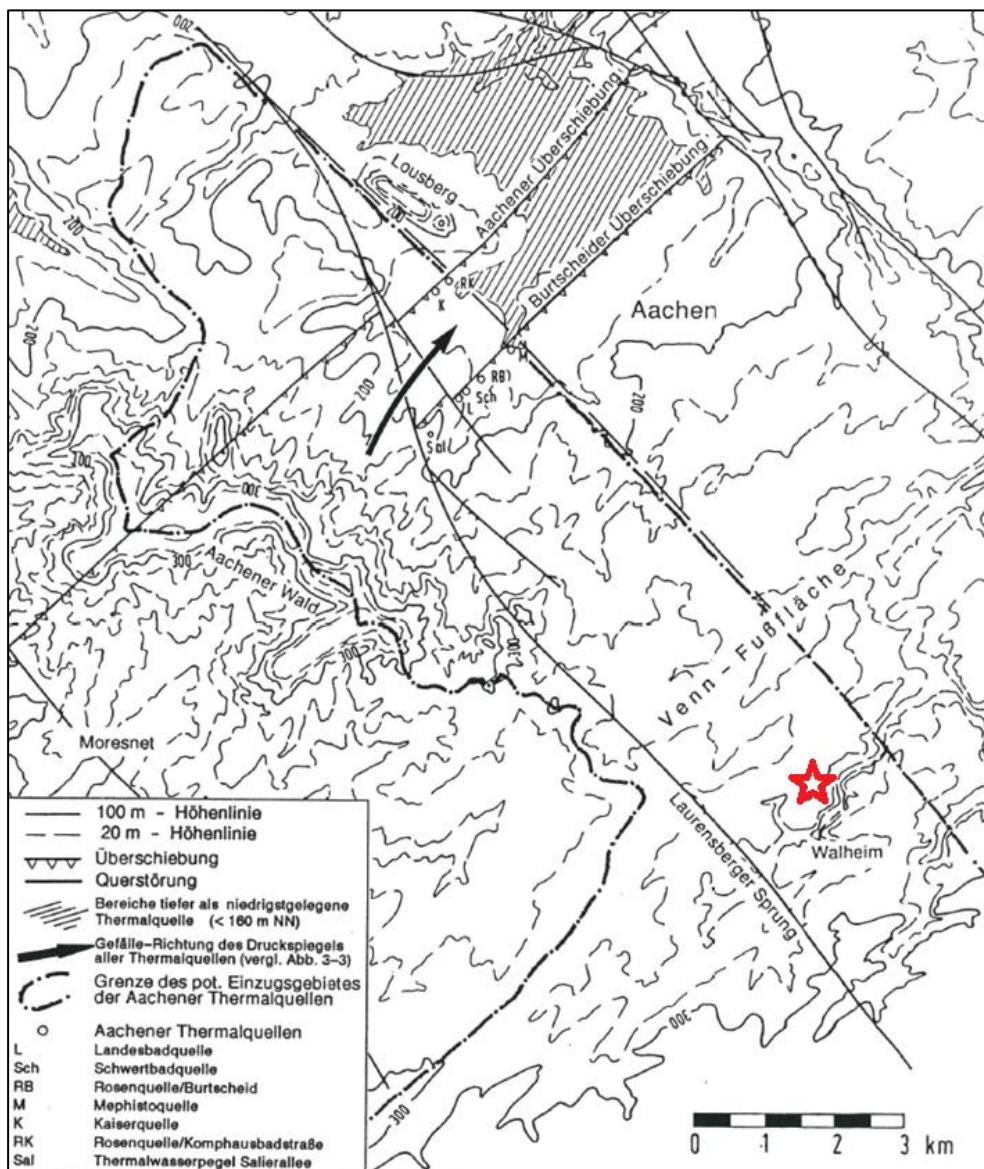


Abbildung 20: Aachener Quellen in der näheren Umgebung des Standorts Inda Gymnasium (roter Stern) (Pommerening, 1993).

Um die Machbarkeit einer oberflächennahen geothermische Erschließung bewerten zu können, sind Simulationsrechnungen auf Grundlage belastbarer Jahreswärmeverteilungen und Nutzungskonzepte durchzuführen und die möglichen Sondenfeldszenarien nach wirtschaftlichen Gesichtspunkten zu optimieren.

Als erster Explorationsschritt auf dem Gelände des Inda Gymnasium wird empfohlen, eine Testbohrung mit einer Bohrtiefe von etwa 400 m durchzuführen und diese anschließend ggfs. als Erdwärmesonde auszubauen. Mit dieser Bohrung können bei vergleichsweise geringen genehmigungsrechtlichen Aufwand (keine bergrechtliche Aufsuchungserlaubnis) kostengünstig sowohl die Rahmenbedingungen der oberflächennahen Geothermie untersucht als auch entsprechende strukturelle geologische Informationen für die hydrothermale mitteltiefe Geothermie gewonnen werden.

7. Quellenverzeichnis:

- Birner, J.; Bartels, J.; Wolfgramm, M.; Schlagermann, P.; Mergner, H.; 2013. Dichte, Viskosität und Wärmekapazität hochmineralisierter Thermalwässer in Abhängigkeit von Temperatur, Druck und Gesamtlösungsinhalt. In: bbr Leitungsbau - Brunnenbau - Geothermie, S. 90–97.
- Bracke, R.; Huenges, E.; 2021. Roadmap Tiefengeothermie für Deutschland. Unter Mitarbeit von Bracke, R. und Huenges, E. Fraunhofer IEG, Fraunhofer UMSICHT, Fraunhofer IBP, GFZ, KIT, UFZ. <https://www.ieg.fraunhofer.de/content/dam/ieg/documents/Roadmap%20Tiefe%20Geothermie%20in%20Deutschland%20FhG%20HGF%2002022022.pdf> (01.06.2022. 37 Seiten.
- BVEG, 2024: Leitfaden Wirtschaftliche Bewertung geologischer Risiken von tiefengeothermischen Projekten, Bundesverband Erdgas, Erdöl und Geoenergie e.V., Stand 12/2024.
- Geologischer Dienst NRW: Die Bohrungsdatenbank DABO. <https://www.bohrungen.nrw.de/> (25.11.2022).
- Geologischer Dienst NRW: Geothermieportal NRW. <https://www.geothermie.nrw.de/>. (10.05.2025)
- Gliese, J.; Hager, H.; Knapp, G.; 1980. Geologische Struktur der nördlichen Eifel 1:100 000; Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen.
- Herbig, H.; Salamon, M. ;2009. Stratigraphie und Fazies des späten Oberdevons und Karbons am Südost-Rand des Brabanter Massivs (Aachen/westlichstes Deutschland und Vesdre-Massiv/Ostbelgien); Tagung der Subkommission für Karbon-Stratigraphie.
- Kaltschmitt, M.; Wiese, A.; Streicher, W.; 2003. Eneuerbare Energien – Systemtechnik, Wirtschaftlichkeit, Umweltaspekte. 3. Auflage, Springer-Verlag, Berlin.
- Knapp, G.; 1980. Erläuterungen zur Geologischen Karte der nördlichen Eifel 1:100 000; Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen
- LAWA Vollversammlung 2019. Empfehlungen der LAWa für wasserwirtschaftliche Anforderungen an Erdwärmesonden und -kollektoren; Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser.
- Meyer, W. 2013. Geologie der Eifel; Schweizerbart, S 207-213
- Mijnlieff, H.; Obdam, A.; van Wees, J. -D.; Pluymaekers, M.; Veldkamp, J.; 2014. TNO 2014 R11396 - DoubletCalc 1.4 manual – English version for DoubletCalc 1.4.3: TNO.
- Pommerening, J. 1993. Hydrogeologie, Hydrogeochemie und Genese der Aachener Thermalquellen. - Mitt Ing.- u. Hydrogeol., SO: 168 S., 60 Abb., 16 Tab.; Aachen.
- Schnäcker, E.; Krapp, L 1977; Hydrologische Karte von Nordrhein-Westfalen; Landesamt für Wasser und Abfall NW