

Gesundheitszentrum Bad Laer GmbH

**Machbarkeitsstudie: Tiefe Erdwärmesonde Bad Laer**

Abschlussbericht

gefördert unter dem Az: 27322 – 24/0  
von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt

von

Prof. Dr. Dieter Michalzik,  
Dipl. Geol. M.Sc. Sonja Nowag & Dipl.-Geowiss. Kirsten Fromme

Garbsen, April 2010

Der vorliegende Bericht kann über den Bewilligungsempfänger in digitaler Form bezogen werden.

Gesundheitszentrum Bad Laer GmbH

**Machbarkeitsstudie: Tiefe Erdwärmesonde Bad Laer**

Abschlussbericht

gefördert unter dem Az: 27322 – 24/0  
von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt

von

Prof. Dr. Dieter Michalzik,  
Dipl. Geol. M.Sc. Sonja Nowag & Dipl.-Geowiss. Kirsten Fromme

Garbsen, April 2010





## ***Ergebnisse und Diskussion***

Aufgrund der Ergebnisse der Sondenauslegungsberechnungen und der anlagentechnischen Vorgaben bezüglich der im Schwimmbad benötigten Vorlauftemperaturen wurde das ursprüngliche Bohrkonzept geändert und die vorgesehene Bohrtiefe auf 2.900 m vergrößert. Bei einem prognostizierten geothermischen Gradienten von 3,5°C/100m dürfte die Gesteinstemperatur in dieser Tiefe bei ca. 110°C liegen. Die Erschließung dieses geothermischen Potentials soll über ein optimal konfiguriertes Bohrloch- und Verrohrungsdesign erfolgen. Herzstück ist das zentrale Steigrohr, das aus Stahlrohren in doppelwandiger Ausführung besteht, bei dem der Zwischenraum vakuumisiert wird. Somit bietet das System ausreichende Isolationswerte unter Verwendung marktüblicher Komponenten. Ergänzt wird das Gesamtsystem durch ein abgestimmtes Verrohrungs- und Zementationskonzept. Als Ergebnis der umfangreichen Simulationen wird für diese Systemauslegung eine optimale Umlaufleistung mit 6 bis 7 l/s festgelegt. Damit kann die benötigte Fördertemperatur von 45 °C über einen Zeitraum von mindestens 25 Jahren gesichert und ca. 250 kW zur Grundlastversorgung des SoleVital permanent und umweltfreundlich zur Verfügung gestellt werden. Dies entspricht einer Jahreswärmeleistung von über 2,0 GWh, so dass der Wärmebedarf der vorhandenen Becken und des geplanten neuen Außenbeckens vollständig abgedeckt werden kann. Darüber hinaus verbleibt eine erhebliche Energiereserve, die für die Frischwassertemperierung und die Gebäudeheizung von Schwimmbad, der angrenzenden Klinik und des geplanten Hotels genutzt werden kann. Unter Berücksichtigung der Wärmebezugspreise aus dem Jahr 2009 ergibt sich ein Einsparpotenzial von ca. 164.000 € (jährlich steigend), ohne Berücksichtigung möglicher Mehreinnahmen durch höhere Besucherzahlen. Die Brutto-CO<sub>2</sub>-Einsparung beträgt ca. 480 t pro Jahr. Die geplante geothermische Anlage liefert somit einen substanziellen Beitrag zum Klimaschutz und zur Schonung von fossilen Rohstoffen. Es ist außerdem vorgesehen, die geothermische Anlage in einen geologisch-balneologischen Lehrpfad einzubinden, auf dem besonders die Aspekte Klimawandel und Klimaschutz durch Einsatz erneuerbarer Energien dargestellt werden. Hierdurch ergibt sich zusätzlich die Möglichkeit, die breite Öffentlichkeit für klimaschutzrelevante Fragestellungen und Beispiele der praktischen Nutzung erneuerbarer Energien zu sensibilisieren. Eine ausführliche Wirtschaftlichkeitsbetrachtung hat gezeigt, dass, unter der Maßgabe einer Förderung durch das Marktanzreizprogramm, aus betriebswirtschaftlicher Sicht eine gute Rentabilität erzielt werden kann. In der Zusammenschau aller Ergebnisse wird eine Realisierung des Projektes empfohlen.

## ***Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation***

Die Ergebnisse der Machbarkeitsstudie tiefe Erdwärmesonde Bad Laer wurden im Rahmen von Fachvorträgen präsentiert z.B. beim Norddeutschen Geothermietag „HotSpot“ am 27.10.2009 in Hannover und bei mehreren Arbeitstreffen mit Investoren, Wirtschaftsvertretern und lokalen Politikern in Bad Laer. Darüber hinaus wurde ein Poster sowie Informationsmaterial erstellt, das der interessierten Öffentlichkeit in den Räumen des Gesundheitszentrums Bad Laer zugänglich gemacht wird.

## ***Fazit***

Durch die Machbarkeitsstudie konnten die geologischen und technischen Voraussetzungen für die Realisierung des Projekts tiefe Erdwärmesonde Bad Laer geschaffen und die bestehenden geologischen, (bohr-) technischen und wirtschaftlichen Risiken minimiert werden. Sowohl die grundsätzliche technische als auch die wirtschaftliche Machbarkeit konnten durch die Auswertung aller verfügbaren Detaildaten nachgewiesen werden.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>8</b>
<b>3</b>	<b>Geowissenschaftliche Rahmenbedingungen</b> .....	<b>11</b>
3.1	Geologische Standortgegebenheiten .....	11
3.2	Hydrogeologische Standortgegebenheiten .....	13
3.3	Thermisches Basismodell .....	14
<b>4</b>	<b>Energetische Nutzung</b> .....	<b>17</b>
4.1	Analyse der Wärmebedarfssituation, Energiekosten .....	17
4.2	Nutzungsmöglichkeiten und Einbindung der geothermischen Energie .....	17
4.3	Energiebilanz und Betriebskostensparnis .....	18
<b>5</b>	<b>Funktionsweise und Design der tiefen Erdwärmesonde</b> .....	<b>19</b>
5.1	Funktionsweise einer tiefen Erdwärmesonde .....	19
5.2	Zentrales Steigrohr – Rohrmaterial und thermische Isolierung .....	20
5.3	Mögliche Steigrohrkonfigurationen.....	22
<b>6</b>	<b>Sondenmodellierung</b> .....	<b>24</b>
6.1	Vorgehensweise, Grundlagen .....	24
6.2	Berechnungen zur Optimierung des Grunddesign und der Betriebsweise der tiefen Erdwärmesonde .....	25
6.3	Vergleich verschiedener Steigrohrkonfigurationen bei optimierten Betriebsbedingungen .....	29
<b>7</b>	<b>Bohrtechnisches Konzept</b> .....	<b>36</b>
7.1	Allgemeines.....	36
7.2	Bohrplatz und Bohranlage .....	36
7.3	Bohrprogramm .....	36
<b>8</b>	<b>Lärmschutzkonzept</b> .....	<b>39</b>
8.1	Vorbemerkungen .....	39
8.2	Ergebnisse .....	40
<b>9</b>	<b>Hydrogeologisches Beweissicherungskonzept</b> .....	<b>42</b>
9.1	Hintergrund und Zielsetzung.....	42
9.2	Beweissicherungsmaßnahmen .....	42
<b>10</b>	<b>Wirtschaftlichkeitsbetrachtung und Sensitivitätsanalysen</b> .....	<b>44</b>
10.1	Basisdaten / Eingangsparameter .....	44
10.2	Szenarien.....	45
10.3	Ergebnisse .....	46
<b>11</b>	<b>Risikobetrachtung</b> .....	<b>47</b>

11.1	Geologisches Risiko .....	47
11.2	Allgemeines bohrtechnisches Risiko .....	47
11.3	Bohrtechnisches Risiko in Bezug auf die staatlich anerkannten Heilquelle Neue Martinsquelle .....	48
11.4	Wirtschaftliches Risiko .....	49
<b>12</b>	<b>Fazit .....</b>	<b>50</b>
<b>13</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>51</b>
<b>Anhang 1</b>	<b>.....</b>	<b>53</b>
<b>Anhang 2</b>	<b>.....</b>	<b>54</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Geologische Übersichtskarte, orangefarbener Rahmen: Projektgebiet ([GLNRW95]) .....	11
Abb. 2: Teutoburger Wald (Osning-Zone) mit vorgelagertem Rothenfelder Plänersattel (Kleiner Berg), Rahmen: Projektgebiet ([GLNRW03]) .....	12
Abb. 3: Thermisches Basismodell - prognostiziertes stratigraphisches Profil für den Projektstandort mit Zuordnung der Wärmeleitfähigkeit der Gesteinsschichten .....	15
Abb. 4: Prinzipskizze einer tiefen Erdwärmesonde .....	19
Abb. 5: Thermische Steigrohrisolation für drei Basisanordnungen eines Steigrohres [GeoTIP GmbH] .....	21
Abb. 6: Mögliche Konfigurationen der tiefen Erdwärmesonde Bad Laer und Parameterbelegung für die Wärmetauscherberechnungen ([GeoTIP GmbH]) .....	22
Abb. 7: k-Wert [ $W/m^2/K$ ] und Skin-Faktor [-] für die vier betrachteten Steigrohrkonfigurationen der geplanten tiefen Erdwärmesonde Bad Laer bei einer Zirkulationsrate von 6 l/s und einer Rücklaufemperatur von 35°C. k-Hydraulik beschreibt den Wärmeübergang vom aufsteigenden zum absteigenden Wasser ohne Wärmewiderstand des Steigrohres ([GeoTIP GmbH]) .....	23
Abb. 8: Wärmeleistung in Abhängigkeit von der Betriebszeit der Sonde für verschiedene Zirkulationsraten („Log-Log-Plot“) ([GeoTIP GmbH]) .....	25
Abb. 9: Wärmeleistung und Fördertemperatur in Abhängigkeit von der Zirkulationsrate nach 30 Tagen Laufzeit ([GeoTIP GmbH]) .....	26
Abb. 10: Wärmeleistung und Fördertemperatur in Abhängigkeit vom Bohrungsdurchmesser im Bohrlochabschnitt von 1.500 bis 2.500 m Teufe ([GeoTIP GmbH]).....	27
Abb. 11: Wärmeleistung in Abhängigkeit von der Betriebszeit für verschiedene Wärmedurchgangszahlen („Log-Log-Plot“) ([GeoTIP GmbH]) .....	28
Abb. 12: Wärmeleistung und Fördertemperatur in Abhängigkeit von der Wärmedurchgangszahl nach 30 Tagen Laufzeit ([GeoTIP GmbH]) .....	28
Abb. 13: Wärmeleistung der tiefen Erdwärmesonde in Abhängigkeit von der Einlaufemperatur ([GeoTIP GmbH]) .....	29
Abb. 14: Prognose der geförderten Wärmeleistung für vier Wärmetauschermodelle der tiefen Erdwärmesonde Bad Laer in Abhängigkeit von der Zirkulationszeit bei einer Zirkulationsrate von 6 l/s und einer Einlaufemperatur in den Ringraum von 35°C ([GeoTIP GmbH]) .....	30
Abb. 15: Prognose der Temperaturdifferenz für vier Wärmetauschermodelle der tiefen Erdwärmesonde Bad Laer in Abhängigkeit von der Zirkulationszeit bei einer Zirkulationsrate von 6 l/s und einer Rücklaufemperatur von 35°C ([GeoTIP GmbH])	30
Abb. 16: Berechneter Temperaturverlauf in der tiefen Erdwärmesonde Bad Laer nach 2 und 30 Tagen Zirkulationszeit für ein Steigrohr bestehend aus einfach Stahl [„Stahl-tub“] ([GeoTIP GmbH]) .....	31

Abb. 17: Berechneter Temperaturverlauf in der tiefen Erdwärmesonde Bad Laer nach 2 und 30 Tagen Zirkulationszeit für das GFK-Steigrohr (Variante 3, links) und das Steigrohr mit Pulverisolierung (Variante 4, rechts); TI = Temperatur im Ringraum, TR = Temperatur im Steigrohr ([GeoTIP GmbH]).....	32
Abb. 18: Berechneter Temperaturverlauf in der tiefen Erdwärmesonde Bad Laer nach 2 und 30 Tagen Zirkulationszeit für das evakuierte Tubing (Variante 2, links) und das Doppelrohr (Variante 1, rechts), beide mit GFK-Steigrohr ab 1.500 m Teufe ([GeoTIP GmbH]) .....	33
Abb. 19: Berechneter Temperaturverlauf in der tiefen Erdwärmesonde Bad Laer nach 2 Tagen Zirkulationszeit für das evakuierte Doppelrohr (Variante 1) mit einer einwandigen Stahlverrohrung ab 1.500 m im Vergleich GFK-Verrohrung ab 1.500 m ([GeoTIP GmbH]) .....	33
Abb. 20: Bohrtechnisches Konzept für die Erstellung der tiefen Erdwärmesonde ([Ing.-Büro Achilles]) .....	37
Abb. 21: Übersichtskarte mit der Lage der betrachteten Bohrplätze sowie der berücksichtigten Immissionsorte ([GTA]). .....	39
Abb. 22: Geräuschemissionen für die Immissionshöhe von 5,6 m (1. OG) während der Nachtzeit beim Betriebszustand Bohren mit einer 10 m hohen Schallschutzwand und zusätzlichen Maßnahmen , Bohrplatz 1 ([GTA]). .....	41
Abb. 23: Messstellen (gelb) für das flankierende hydrogeologische Beweissicherungsprogramm, rot = Lage des geplanten Ansatzpunktes der Tiefbohrung Bad Laer Gt1, türkis = Schutzzone 1 des Heilquellenschutzgebietes Bad Laer, violett = Schutzzone A, dunkelblau = Schutzzone B.....	43

## Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Aufgabenbereich und Kooperationspartner .....	10
Tab. 2: Übersicht möglicher Steigrohrkonfigurationen für die tiefe Erdwärmesonde.....	23
Tab. 3: Im Rahmen der Wirtschaftlichkeitsanalyse betrachtete Szenarien .....	45
Tab. 4: Szenarienauswertung.....	46

## 1 Zusammenfassung

Im Rahmen der Machbarkeitsstudie konnten die geologischen und technischen Voraussetzungen für die Realisierung der tiefen Erdwärmesonde Bad Laer geschaffen und die bestehenden geologischen, (bohr-) technischen und wirtschaftlichen Risiken minimiert werden. Sowohl die grundsätzliche technische als auch die wirtschaftliche Machbarkeit konnten durch die Auswertung aller verfügbaren Detaildaten nachgewiesen werden.

Das geothermische Potenzial des flözführenden Oberkarbons am Standort Bad Laer soll mit einer ca. 2.900 m tiefen Bohrung und ihrem Ausbau zu einer Koaxialsonde erschlossen werden. Der vorgesehene Sondenstandort liegt ca. 150 m nördlich des SoleVital auf dem Gelände der „Osning-Schaufläche“ innerhalb der Schutzzone B des amtlich festgesetzten Heilquellenschutzgebietes für die staatlich anerkannte Heilquelle Neue Martinsquelle.

Die bereitgestellte geothermische Energie soll vorrangig für eine Beheizung der Therapie- und Bewegungsbecken des SoleVital im Direktwärmetausch genutzt werden. Aufgrund der benötigten Beckentemperaturen von 32 bzw. 33°C wird die Sondenkonfiguration (Vorlauf/Rücklauf) auf 45/35 °C festgelegt.

Im Projekt tiefe Erdwärmesonde Bad Laer wurde ein besonderes Augenmerk auf das Bohrloch- und Verrohrungsdesign gerichtet, um dieses optimal auf die Soddennutzung abzustimmen. Nach abschließender Bewertung der untersuchten Systeme und unter Berücksichtigung der Kriterien thermodynamische Eigenschaften, mechanische Festigkeit, Kosten und zeitnahe Umsetzung fiel die Entscheidung auf ein System aus Stahlrohren in doppelwandiger Ausführung, bei dem der Zwischenraum vakuumisiert wird und somit ausreichende Isolationswerte unter Verwendung bewährter Komponenten bietet. Das ausgewählte System besteht aus zwei ineinander gebauten und gegeneinander isolierten Steigrohren. Es kommen hierbei bewährte Komponenten aus dem Erdöl-Bereich zum Einsatz.

Für die Auslegung der Koaxialsonde wurden im Vorfeld umfangreiche Simulationen durchgeführt, die sowohl die nachhaltige Wärmelieferung bzw. den Wärmeentzug aus dem Gebirge als auch den möglichst verlustfreien Transport der Wärme über das Zirkulationssystem Bohrung an die Erdoberfläche analysiert haben. Mit einer Systemumlaufleistung von 6 bis 7 l/s können ca. 250 kW zur Grundlastversorgung des Bades permanent und umweltfreundlich zur Verfügung gestellt werden. Dies entspricht einer Jahreswärmeleistung von über 2,0 GWh, so dass der Wärmebedarf zur Beckenwassertemperierung gedeckt werden kann. Unter Berücksichtigung der Wärmebezugspreise aus dem Jahr 2009 ergibt sich ein Einsparpotenzial von ca. 164.000 € (jährlich steigend). Die aus Geothermie erzeugte Energiemenge entspricht einer Brutto-CO<sub>2</sub>-Einsparung von ca. 480 t pro Jahr. Die geplante geothermische Anlage liefert somit einen substantziellen Beitrag zum Klimaschutz und zur Schonung von fossilen Rohstoffen.

Eine ausführliche Wirtschaftlichkeitsbetrachtung hat gezeigt, dass, unter der Maßgabe einer Förderung durch das Marktanreizprogramm, aus betriebswirtschaftlicher Sicht eine gute Rentabilität erzielt werden kann. In der Zusammenschau aller Ergebnisse wird aufgrund der Ergebnisse der Machbarkeitsstudie eine Realisierung des Projektes empfohlen.

## 2 Einleitung

Es gehört zu den größten Herausforderungen des 21. Jahrhunderts, die Rahmenbedingungen für eine nachhaltige Energieversorgung zu gestalten und die durch den Verbrauch fossiler Energieträger bedingte Emission klimaschädlicher Gase zu reduzieren. Die Geothermie besitzt in diesem Zusammenhang im Vergleich zu anderen erneuerbaren Energieträgern den entscheidenden Vorteil, dass sie unabhängig von der Tages- und Jahreszeit und den herrschenden klimatischen Bedingungen ganzjährig, bedarfsgerecht und nahezu überall zur Verfügung steht (Grundlastfähigkeit).

Im Zusammenhang mit den geplanten Sanierungsmaßnahmen u.a. der Heizungsanlage des SoleVital (Sole-Therapiebad) in Bad Laer wurden daher in einer Vorstudie die geologischen und verfahrenstechnischen Einsatzmöglichkeiten geothermischer Energie für die Grundlastversorgung des Bades analysiert ([Rog08]). Die Vorstudie hat ergeben, dass am Standort Bad Laer aufgrund der geologischen Standortgegebenheiten und unter Berücksichtigung der besonderen Schutzwürdigkeit der vorhandenen staatlich anerkannten Heilquelle Neue Martinsquelle nur eine Erschließung über ein geschlossenes geothermisches System (tiefe Erdwärmesonde) in Frage kommt. Es wurden weiterhin drei mögliche Standorte für die tiefe Erdwärmesonde analysiert ([Rog08b]). Im Rahmen mehrerer Expertenrunden mit Vertretern der zuständigen Genehmigungs- und Fachbehörden sowie unter Beteiligung von Tiefbohrspezialisten wurde dem Konzept einer geothermischen Erschließung über eine tiefe Erdwärmesonde mit einem Standort in unmittelbarer Nähe des SoleVital zugestimmt.

Die tiefe Erdwärmesonde Bad Laer soll geothermische Energie im Niedrigtemperaturbereich über Direktwärmetausch zur Verfügung stellen, die hauptsächlich für die Grundlastversorgung der Beckenwasserheizung des SoleVital genutzt werden kann. Die geplante geothermische Anlage soll somit einen substanziellen Beitrag zum Klimaschutz und zur Schonung von fossilen Rohstoffen liefern. Es ist außerdem vorgesehen, die geothermische Anlage in einen geologisch-balneologischen Lehrpfad einzubinden, auf dem besonders die Aspekte Klimawandel und Klimaschutz durch Einsatz erneuerbarer Energien dargestellt werden. Hierdurch ergibt sich zusätzlich die Möglichkeit, die breite Öffentlichkeit für klimaschutzrelevante Fragestellungen und Beispiele der praktischen Nutzung erneuerbarer Energien zu sensibilisieren.

Tiefe Erdwärmesonden sind an den Standorten Prenzlau, Weggis und Weissbad (beide Schweiz) schon seit einigen Jahren in Betrieb. Bei den genannten Sonden handelt es sich allerdings um den Ausbau von Bohrungen, die für eine Erschließung von tiefen Thermalwasseraquifereen vorgesehen waren. In keinem Fall ist das Bohrlochdesign primär auf eine Nutzung in einem geschlossenen Sondenkreislauf ausgelegt. Diese Zielrichtung verfolgen die Projekte in Arnberg und Aachen mit 2.835 m bzw. 2.544 m Bohrtiefe. In beiden Projekten sind die Bohrungen fertiggestellt, die Steigrohre aber noch nicht abschließend installiert. Tiefe Erdwärmesonden haben somit besonders in Deutschland noch eindeutig Pilotcharakter.

Im Projekt „Tiefe Erdwärmesonde Bad Laer“ soll das Bohrloch- und Verrohrungsdesign optimal auf die Sondennutzung ausgerichtet sein. Kernstück für eine innovative Anlagenausrichtung ist das zentrale Steigrohr. Über die Gestaltung und Dimensionierung dieses Anlagenteils kann einerseits Einfluss auf das Strömungsverhalten im äußeren Ringraum genommen werden, andererseits ist der Wärmeverlust beim Wasseraufstieg im Innenrohr von der Art und Weise der Isolierung abhängig. Im Rahmen der Machbarkeitsstudie wurden unterschiedliche Dimensionierungen untersucht, wobei bezüglich der Materialauswahl möglichst

auf Standardmaterialien zurückgegriffen werden soll, um die Kosten in einem vertretbar Rahmen zu halten.

Weiterhin wurde eine vertiefte Datenrecherche in den Bereichen Geologie und Hydrogeologie durchgeführt. Nach Auswertung und Interpretation der geologischen bzw. geophysikalischen Daten wurde ein geologisches Untergrundmodell erstellt. Ziel dieses Arbeitsschrittes war die Festlegung der Bohrtiefe und Bestimmung des Bohransatzpunktes (Bohrplatz), so dass die Detailplanung für die Bohrtechnik (basic engineering) erfolgen konnte. Diese stellt einen weiteren Kernpunkt der Machbarkeitsstudie dar.

Aufgrund der unmittelbaren Nähe des geplanten Bohrstandortes zur staatlich anerkannten Heilquelle Neue Martinsquelle bzw. zur Wohnbebauung wurden weiterhin ein hydrogeologisches Beweissicherungsprogramm sowie Konzepte für die notwendigen Lärmschutzmaßnahmen vorgeschlagen. Für die ökonomische Bewertung des Projektes erfolgte eine umfangreiche Wirtschaftlichkeitsbetrachtung mit Sensitivitätsanalysen.

Ziel der Machbarkeitsstudie ist es, die geologischen und technischen Voraussetzungen für die Realisierung des Projekts zu schaffen und die bestehenden Risiken zu minimieren. Der vorliegende Abschlussbericht fasst die Ergebnisse der Machbarkeitsstudie zusammen und gibt abschließend eine Einschätzung über die technische und wirtschaftliche Machbarkeit des Projektes mit Empfehlungen zum weiteren Vorgehen.

Die Machbarkeitsstudie „Tiefe Erdwärmesonde Bad Laer“ wurde unter dem Aktenzeichen 27322 – 24/0 von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) gefördert (Bewilligungsschreiben vom 28.04.2009). Die Fördersumme beträgt 25.000 €.

Die Bearbeitung der Machbarkeitsstudie erfolgte durch verschiedene Netzwerkpartner unter Leitung der GEODIENSTE GMBH. In Tabelle 1 sind die Kooperationsfirmen und ihre jeweiligen Gewerke bzw. Aufgabenstellungen aufgeführt.



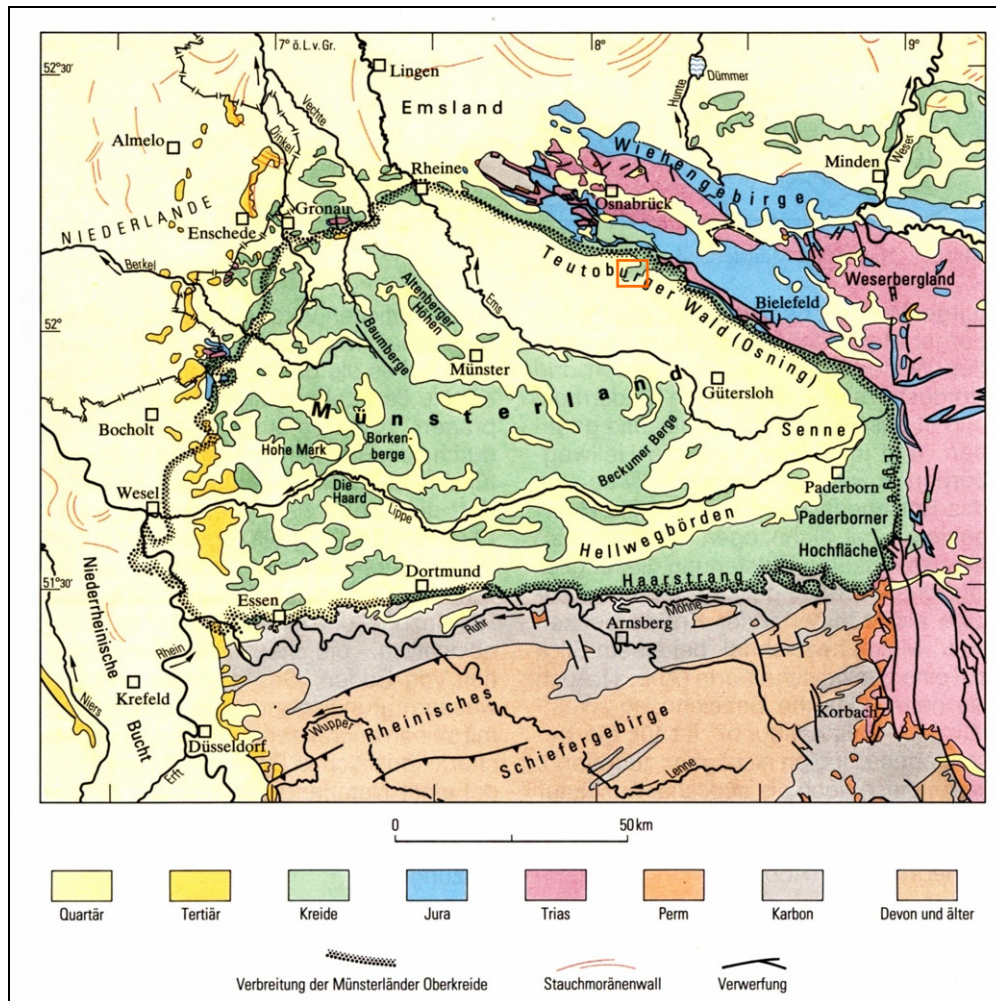
**Tab. 1: Aufgabenbereich und Kooperationspartner**

Gewerke/Aufgabenbereich	Ansprechpartner
Projektleitung, Projektsteuerung	GeoDienste GmbH Leinestr. 33, 30827 Garbsen Prof. Dr. D. Michalzik
Geologie	GeoDienste GmbH Prof. Dr. D. Michalzik
Bohrtechnik (basic engineering)	Ingenieurbüro Achilles Drienweg 12, 38259 Salzgitter Herr H.-H. Achilles
Sondendesign	GeoTIP GmbH Zur Papenkuhle 9a, 31303 Burgdorf Herr. Dr. W. Kessels GeoDienste GmbH Prof. Dr. D. Michalzik Ingenieurbüro Achilles Herr H.-H. Achilles
Sondenmodellierung	GeoTIP GmbH Herr. Dr. W. Kessels
Energetisches Nutzungskonzept	Ottensmeier Ingenieure Haberkoststraße 26, 32278 Kirchlegern Herr C.-H. Ottensmeier
Lärmschutzkonzept	Gesellschaft für technische Akustik mbH Vahrenwalder Str. 7, 30165 Hannover Herr Dr. W. Heitkämper
Hydrogeologische Beweissicherungskonzept	GeoDienste GmbH Prof. Dr. D. Michalzik
Wirtschaftlichkeitsbetrachtung	[Gaßner, Groth, Siederer & Coll.] Partnerschaft von Rechtsanwälten Provinostrasse 52, 86153 Augsburg Herr. Dr. T. Reiff

### 3 Geowissenschaftliche Rahmenbedingungen

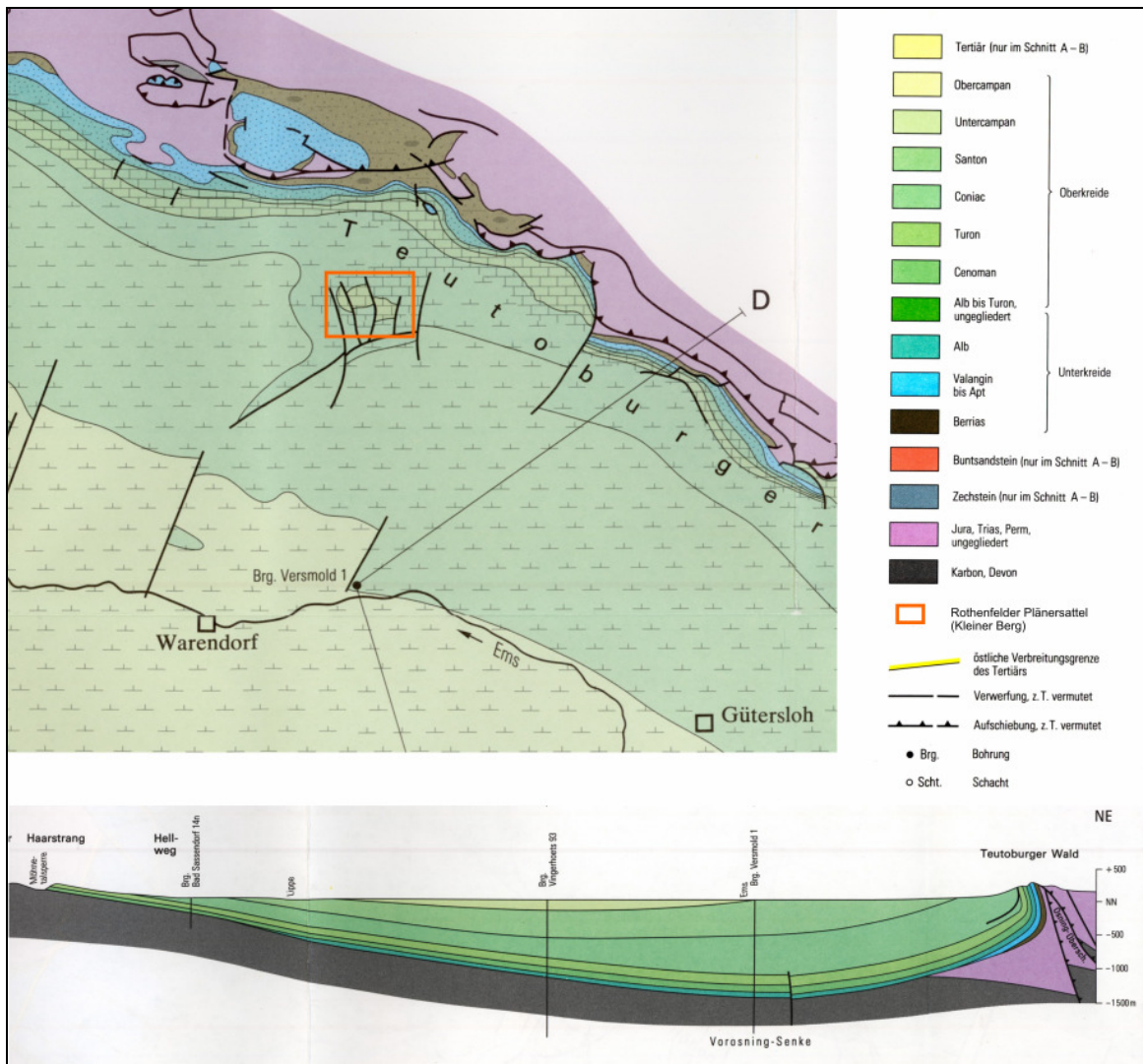
#### 3.1 Geologische Standortgegebenheiten

Aus geologisch-struktureller Sicht liegt das Projektgebiet im Grenzbereich zweier großer tektonischer Einheiten, dem Niedersächsischen Tektogen im Norden und dem Münsterländer Kreidebecken im Süden. Das Osning-Lineament, das durch den Teutoburger Wald markiert wird, bildet die Grenze zwischen den beiden großtektonischen Einheiten. Bad Laer liegt ca. 10 km südlich des Osning-Lineaments (Teutoburger Wald) und damit im NNE-Abschnitt des Münsterländer Kreide-Beckens, einer sehr markanten Muldenstruktur mit einem flachen Südflügel und einem steilen bis leicht überkippten Nord- bzw. Nordostflügel (Abb. 1).



**Abb. 1: Geologische Übersichtskarte, orangefarbener Rahmen: Projektgebiet ([GLNRW95])**

Das bedeutendste morphologische Element im Projektgebiet ist die Erhebung des Kleinen Berges (auch Rothenfelder Plänersattel) zwischen Bad Laer und Bad Rothenfelde, die sich in auffälliger Weise spitzwinklig vom Kamm des Teutoburger Waldes ablöst und aus Gesteinen der Kreidezeit aufgebaut ist. Nördlich von Bad Laer und nordwestlich des Kleinen Berges leitet die Remsfelder Mulde zur Osning-Störungszone über. Südlich des Rothenfelder Plänersattels schließt sich die große Vorosning-Senke an (Abb. 2).



**Abb. 2: Teutoburger Wald (Osning-Zone) mit vorgelagertem Rothenfelder Plänersattel (Kleiner Berg), Rahmen: Projektgebiet ([GLNRW03])**

Nach Auswertung und Interpretation der verfügbaren geologischen bzw. geophysikalischen Daten, u.a. Bohrinformationen aus hydrogeologischen Bohrungen im Raum Bad Laer, Schichtmächtigkeiten der Bohrung Bad Laer Z1, Tiefenlinienpläne der Basis Unterkreide ([GDH98], [BBFK01]), Informationen aus den Erläuterungen der amtlichen geologischen Karten ([DKM86], [SDMV92], [HG30], [GDNRW06]) und Literaturangaben zum Ruhrkarbon ([Dro05]) wurde ein geologisches Untergrundmodell für das Projektgebiet sowie ein prognostiziertes stratigraphisches Profil für den geplanten Bohrstandort erarbeitet. Die prognostizierte Schichtfolge ist insbesondere für die Bohrplanung, d.h. speziell für die Planung der Verrohrung von großer Bedeutung.

Am vorgesehenen Standort der tiefen Erdwärmesonde Bad Laer (vgl. Anhang 1) stehen vermutlich nur wenige Meter quartärzeitliche Lockersedimente (Geschiebemergel, Beckenton und sandig-kiesige Schmelzwasserablagerungen) und darunter Festgesteine der Oberkreide an. Hierbei handelt es sich um klüftige z.T. verkarstete Kalksteine, Kalkmergelsteine und Tonsteine des Cenoman und Turon. Die Schichtenfolge der Unterkreide besteht aus Ton- bis Tonmergelsteinen und Sandsteinen der Osning-Sandstein-Fazies. Bei ca. 555 m wird die Oberkante des flözführenden Oberkarbon erwartet. Unter der kreidezeitlichen Beckenfüllung bilden gefaltete paläozoische Gesteine des so genannten Variszikums (Oberkarbon, z.T. Unterkarbon und Devon) den tektonischen und stratigraphischen Unterbau. Es

handelt sich hierbei um eine Wechselfolge aus Sandsteinen sowie Ton- und Siltsteinen des Westfal B und C, denen Kohleflöze zwischengelagert sind (flözführendes Oberkarbon). Die Bohrung wird bei 2.900 m vermutlich im Westfal A abgesetzt.

Die gesamte Schichtfolge fällt mehr oder weniger stark nach Westen ein. Im westlichen Stadtgebiet von Bad Laer könnte möglicherweise eine Nord-Süd-verlaufende Störung ausgebildet sein, die, wie die anderen Verwerfungen im Bereich des Kleinen Berges, nur einen geringen Versatzbetrag von wenigen 10er Metern aufweisen dürfte.

### **3.2 Hydrogeologische Standortgegebenheiten**

In Anhang 2 sind sowohl eine hydrogeologische Übersichtskarte als auch ein hydrogeologischer Profilschnitt für den Bereich des Kleinen Berges dargestellt. Der Kleine Berg bildet eine gut abzugrenzende hydrogeologische Einheit am Nordostrand des Münsterländer Kreidebeckens ([Mic83], [GDNRW06]). Das Aquifersystem besteht aus ca. 450 m mächtigen Kalk- und Mergelsteinen des Cenoman bis Unterconiac (Oberkreide). Der „Emscher Mergel“ streicht im südlichen Vorland des Kleinen Berges unter quartärzeitlicher Bedeckung aus. In diesem Bereich treten die salinaren Wässer in den bekannten Badeorten wie Bad Laer zutage.

Der Ausstrichsbereich des Kalksteinaquifers kann als sogenannter „offener Karst“ angesehen werden. In seinem oberen Abschnitt hat sich im Bereich des Kleinen Berges eine Süßwasserkalotte aus jüngerem oberflächennahen bzw. neugebildetem Grundwasser vom  $\text{CaHCO}_3$ -Typ entwickelt. Die Grundwasseroberfläche ist weitgehend frei ([Gün07]).

Der tiefere Teil des Kalksteinaquifers enthält älteres hochmineralisiertes,  $\text{CO}_2$ -haltiges Tiefenwasser vom NaCl-Typ (Sole). Die Druckfläche der hoch mineralisierten Tiefenwässer ist im Projektgebiet stark gespannt bis artesisch. Das Solevorkommen von Bad Laer, das über mehrere Bohrbrunnen (u.a. die Neue Martinsquelle) erschlossen wird, ist an die Schichten der Oberkreide gebunden. In den unterlagernden flözführenden Schichten des Oberkarbons wurden in der Tiefbohrung Bad Laer Z1 keine Solezuflüsse festgestellt ([Mic73]).

Die oberkretazischen Kalk- und Mergelsteine sind als klüftiges Gestein zu betrachten, das z.B. im Ausstrichsbereich oder im Bereich der Aufstiegswege von Tiefenwässern (Sole) zu Verkarstung neigt. Die Grundwasserbewegung ist zum überwiegenden Teil auf miteinander verbundene Trennfugen (Schichtfugen, Klüfte, Verwerfungen, Zerrüttungsbereiche) beschränkt (Kluftgrundwasserleiter). Der Kluftwasserabstrom des Kleinen Berges in Richtung Bad Laer dürfte überwiegend auf verkarsteten NE-SW-Kluftflächen erfolgen. Die Gebirgsdurchlässigkeit in der Auflockerungszone der Festgesteine ist als mäßig anzusehen. In den verkarsteten Abschnitten weist der Kalksteinaquifer dagegen eine sehr große Gebirgsdurchlässigkeit auf. Ebenso erhöhte Wasserwegsamkeiten sind im Bereich von Verwerfungs- und Zerrüttungszonen anzunehmen.

Bei der Vorbereitung der Tiefbohrung zur Errichtung der tiefen Erdwärmesonde wird die hydrogeologische Situation an und um die Heilquelle Neue Martinsquelle besonders berücksichtigt. Ihre Lage geht aus Anhang 1 hervor. Bei der Neuen Martinsquelle handelt es sich um einen Bohrbrunnen, der zwischen 129 bis 159 m u. GOK verfiltert ist. Die Endteufe der Bohrung beträgt 160 m u. GOK.

Die Sole wird bedarfsabhängig über eine Unterwassermotorpumpe, die derzeit in einer Tiefe von ca. 100 m eingebaut ist, zu Tage gefördert. Die mittlere Soleförderung in den Jahren

2006 bis 2009 beträgt ca. 20,3 m<sup>3</sup>/d bzw. rund 245 m<sup>3</sup>/Monat. Die Druckfläche des über die Neue Martinsquelle erschlossenen Solevorkommens ist stark gespannt, jedoch nicht artesisch ([Gün07]).

Die Neue Martinsquelle besitzt eine staatliche Anerkennung als Heilquelle. Die in Heilquellen zutage tretenden oder künstlich erschlossenen Heilwässer sind Grundwässer, die aufgrund ihrer chemischen Zusammensetzung, ihrer physikalischen Eigenschaften oder aufgrund langjähriger balneologischer Erfahrungen geeignet sind, therapeutischen Zwecken zu dienen. Das Heilwasser der Neuen Martinsquelle wird balneologisch für Badezwecke (Füllung der Becken im SoleVital) verwendet und hat für den Kurbetrieb eine große Bedeutung.

Das Heilwasser der Neuen Martinsquelle ist eine kohlenensäure- und fluoridhaltige Sole, deren Gesamtlösungsinhalt durchschnittlich ca. 73.000 mg/l (langjährige Messreihe) beträgt. Das Heilwasser zeigt aufgrund der nicht kontinuierlichen Entnahme bzw. wechselnder Entnahmemengen und aufgrund natürlicher Schwankungen eine gewisse Variabilität in ihrer hydrochemischen Zusammensetzung. Eine nachhaltig negative Beeinträchtigung der charakteristischen Beschaffenheit des Heilwassers und auch der Menge darf durch den Bau einer tiefen Erdwärmesonde (Niederbringung der Tiefbohrung) nicht erfolgen, da dies im schlimmsten Fall zu einer Aberkennung der staatlichen Anerkennung bzw. zu einer Änderung der balneologischen Nutzung führen könnte.

Zum qualitativen und quantitativen Schutze der Neuen Martinsquelle wurde das Heilquellenschutzgebiet Bad Laer festgesetzt. Die Lage der Neue Martinsquelle sowie die der Schutzzonen des Heilquellenschutzgebietes Bad Laer wurde bei der Planung des Bohransatzpunktes sowie der Ausführung der Tiefbohrung berücksichtigt. Der voraussichtliche Bohrplatz soll innerhalb der Schutzzone B, an der Grenze zur Schutzzone A liegen (vgl. Anhang 1), was eine Verbotsbefreiung von der Heilquellenschutzverordnung voraussetzt.

### **3.3 Thermisches Basismodell**

Für die Auslegung einer tiefen Erdwärmesonde sind im Wesentlichen die thermischen Parameter geothermischer Gradient und gesteinspezifische Wärmeleitfähigkeit von Bedeutung.

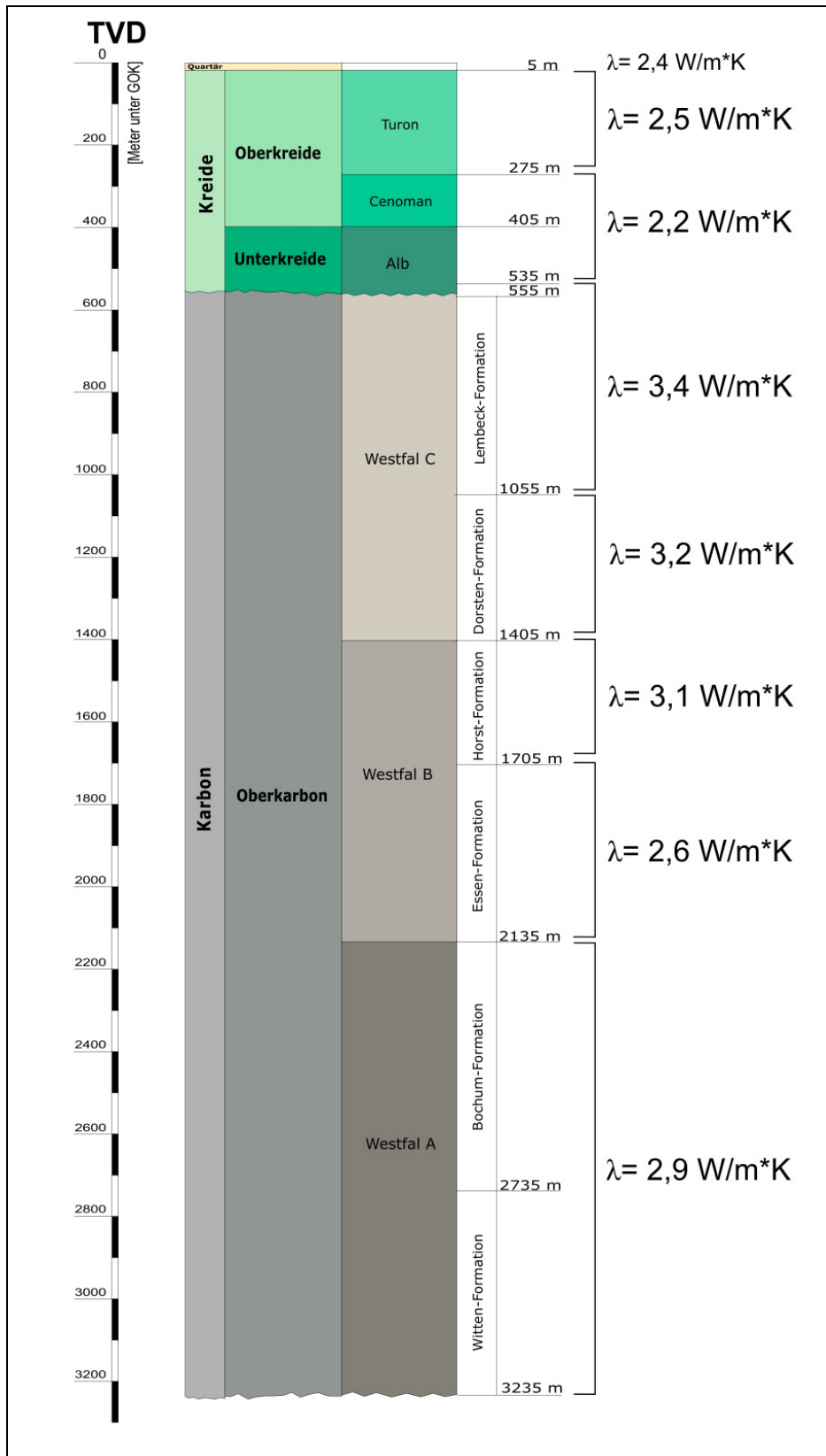
Aufgrund der Auswertung vorhandener Daten der Untergrundtemperaturen wird ein leicht über dem Durchschnitt liegender geothermischer Gradient von 3,5° C/100 m angesetzt, der gegebenenfalls auf den Bramscher Pluton zurückzuführen ist. Bei Zugrundelegung einer mittleren Oberflächentemperatur von 9,5°C liegt die Temperaturerwartung im Tiefenbereich zwischen 2.500 und 3.000 m bei ca. 100 bis 110°C.

Die gesteinspezifische Wärmeleitfähigkeit der oberkretazischen Kalksteine wurde an Gesteinsproben aus dem Untersuchungsgebiet durch Labormessungen, die von Mitarbeitern des Leibnitz-Institutes für Angewandte Geophysik vorgenommen wurden, bestimmt (vgl. Anhang 1). Die gemittelte Wärmeleitfähigkeit beträgt 2,5 W/m k. Für die Schichtenfolge der Unterkreide wurde gemäß [VDI08] eine Wärmeleitfähigkeit mit 2,2 W/mK abgeschätzt.

Für die in der Bohrung erwarteten Sandsteine des flözführenden Oberkarbon kann eine durchschnittliche Wärmeleitfähigkeit von 4,1 W/mK, für Tonsteine bzw. Schluff-/ Tonsteine von 2,5 W/mK angesetzt werden. Die Kohleflöze des flözführenden Oberkarbon machen bis zu 5% der Gesamtfolge aus. Ihre spezifische Wärmeleitfähigkeit wurde gemäß [VDI08] mit 0,4 W/mK abgeschätzt.



In Abbildung 3 ist das prognostizierte stratigraphische Profil für den Projektstandort (vgl. Kap. 3.1) mit den zugeordneten Wärmeleitfähigkeiten der Gesteinsschichten dargestellt. Die hier angegebenen Werte wurden bezogen auf die abgeschätzten Prozentanteile von Sandstein, Ton-/Schluffstein und Kohleflöze ermittelt.



**Abb. 3: Thermisches Basismodell - prognostiziertes stratigraphisches Profil für den Projektstandort mit Zuordnung der Wärmeleitfähigkeit der Gesteinsschichten**

Die Schichtmächtigkeiten sowie die thermischen Parameter fließen in die numerischen Sondenauslegungsberechnungen zur Bestimmung des Temperaturfeldes und der Fördertemperatur der tiefen Erdwärmesonde als Basisdaten ein. Die Wärmeleitfähigkeit der Gesteinsschichten am vorgesehenen Standort der tiefen Erdwärmesonde Bad Laer ist als überdurchschnittlich gut zu betrachten. Dies sollte sich positiv auf die Fördertemperatur bzw. die dauerhaft zur Verfügung gestellte geothermische Energie und damit auf die Wirtschaftlichkeit des Projektes auswirken.

## 4 Energetische Nutzung

### 4.1 Analyse der Wärmebedarfssituation, Energiekosten

Der Wärmeverbrauch des SoleVital, bestehend aus Verwaltungs- und Behandlungstrakt inklusive Bewegungs- und Therapiebecken, schwankt witterungsbedingt und aufgrund von Sanierungsmaßnahmen. Bezogen auf die Jahre 2006 bis 2008 kann von einem mittleren Gesamtwärmeverbrauch des SoleVital von ca. 2.043 MWh/a ausgegangen werden. Bei einem Wärmebezugspreis von 75 €/MWh ergeben sich Gesamtenergiekosten von 153.225 €. Ein hauptsächlicher Wärmebedarf besteht für die Beckenwassertemperierung der Bewegungs- und Therapiebecken. Weitere Wärmeverbraucher sind die Lüftungsanlagen u.a. im Eingangsbereich, in der Schwimmhalle und im Behandlungstrakt sowie die Heizkörper und Fußbodenheizungen in den verschiedenen Nutzungszonen. Zudem ergibt sich ein Wärmebedarf aus der Erwärmung des Brauchwassers.

Das SoleVital verfügt über zwei Bewegungsbecken mit ca. 109 m<sup>2</sup> bzw. ca. 45 m<sup>2</sup> Beckenoberfläche und ein Therapiebecken, dessen Wasseroberfläche sich auf ca. 371 m<sup>2</sup> beläuft. Die Wassertemperatur im Therapiebecken beträgt 32°C, in den beiden Bewegungsbecken 33°C. Ausgehend von der erforderlichen Wassermenge ergibt sich ein jährlicher Wärmebedarf von ca. 1.150.000 kWh. Unter Berücksichtigung eines Energiepreises von ca. 75 €/MWh belaufen sich die Gesamtenergiekosten auf ca. 86.250 €/a. Zusätzlich zu den Bestandsbecken ist der Bau eines Außenbeckens geplant. Der Energieverbrauch eines Außenbeckens ist im Wesentlichen von den Witterungseinflüssen, der Lage sowie der Beckengestaltung und Beckenrandausbildung abhängig. Bei der vorgesehenen Beckenfläche von ca. 50 m<sup>2</sup> ist mit einem Jahresenergieverbrauch von ca. 219.000 kWh/a zu rechnen. Resultierend aus einem Energiepreis von ca. 75 €/MWh ergibt dies eine jährliche Nettobelastung von ca. 16.425 €.

### 4.2 Nutzungsmöglichkeiten und Einbindung der geothermischen Energie

Nutzungsmöglichkeiten der bereitgestellten geothermischen Energie bestehen vor allem im Bereich der Beckenwassertemperierung, der Warmwasserbereitung und der Raumtemperierung. Aufgrund der kontinuierlichen Wärmeabnahme und der Möglichkeit ohne Wärmepumpe die geothermische Energie direkt zu nutzen, bietet sich in erster Linie eine Einbindung der Erdwärme zur Grundlastabdeckung der Beckenwasserbeheizung (Innen- und Außenbecken) an. Für die Beckentemperierung wird eine Förder- bzw. Vorlauftemperatur aus der tiefen Erdwärmesonde von ca. 40 bis 45°C benötigt. Dies ist vor dem Hintergrund der geplanten Bohrtiefe und Auslegung eine realistische Größenordnung. Aufgrund der projektspezifischen Gegebenheiten (Beckentemperatur) ergibt sich eine Einlauf- bzw. Rücklauftemperatur zur Sonde von ca. 35 bis 38°C.

Für die Einbindung der geothermischen Energie in die Versorgungsstruktur des SoleVital ist ein **Primärkreis** und ein **Sekundärkreis** erforderlich. Der Primärkreis besteht aus einer erdreichverlegten VPE-Vorlaufleitung ausgehend vom Sondenkopf der tiefen Erdwärmesonde bis zur Technikzentrale. Die Zwischenpufferung der geothermischen Energie erfolgt in einem Vorlagebehälter als hydraulische Weiche bzw. Pufferspeicher. Die rücklaufgeführte Umwälzpumpensteuerung dient dazu, lastabhängig immer den optimalen Volumenstrom zu fahren und darüber hinaus auch ein Maximum an Vorlauftemperatur zu realisieren. Das Energiemanagement erfolgt direkt über eine MSR-/GA-Ansteuerung zwischen der Gebäudeautomation und der Umwälzpumpe mit Kombination entsprechender Sonden bzw. Fühler im



Pufferspeicherbereich.

Der Sekundärkreis setzt sich aus je einer Wärmetauscherstation pro Becken zusammen. Die Vor- und Rücklaufleitungen sind auf einer hydraulischen Weiche bzw. einem Pufferspeicher angeschlossen. Die Umwälzpumpen im Sekundärkreis werden elektronisch geregelt. Es ist eine Rücklauf Temperaturbegrenzung sowie eine Aufschaltung der Regelgröße Beckenwassertemperatur vorgesehen. Der Einbau der geothermischen Wärmetauscher erfolgt parallel zu den im Bestand gegebenen Einzeltauscher.

Die Kosten für den obertägigen Anlagenausbau zur Beckenwassertemperierung aus Geothermie belaufen sich auf ca. 110.000 €.

### **4.3 Energiebilanz und Betriebskostensparnis**

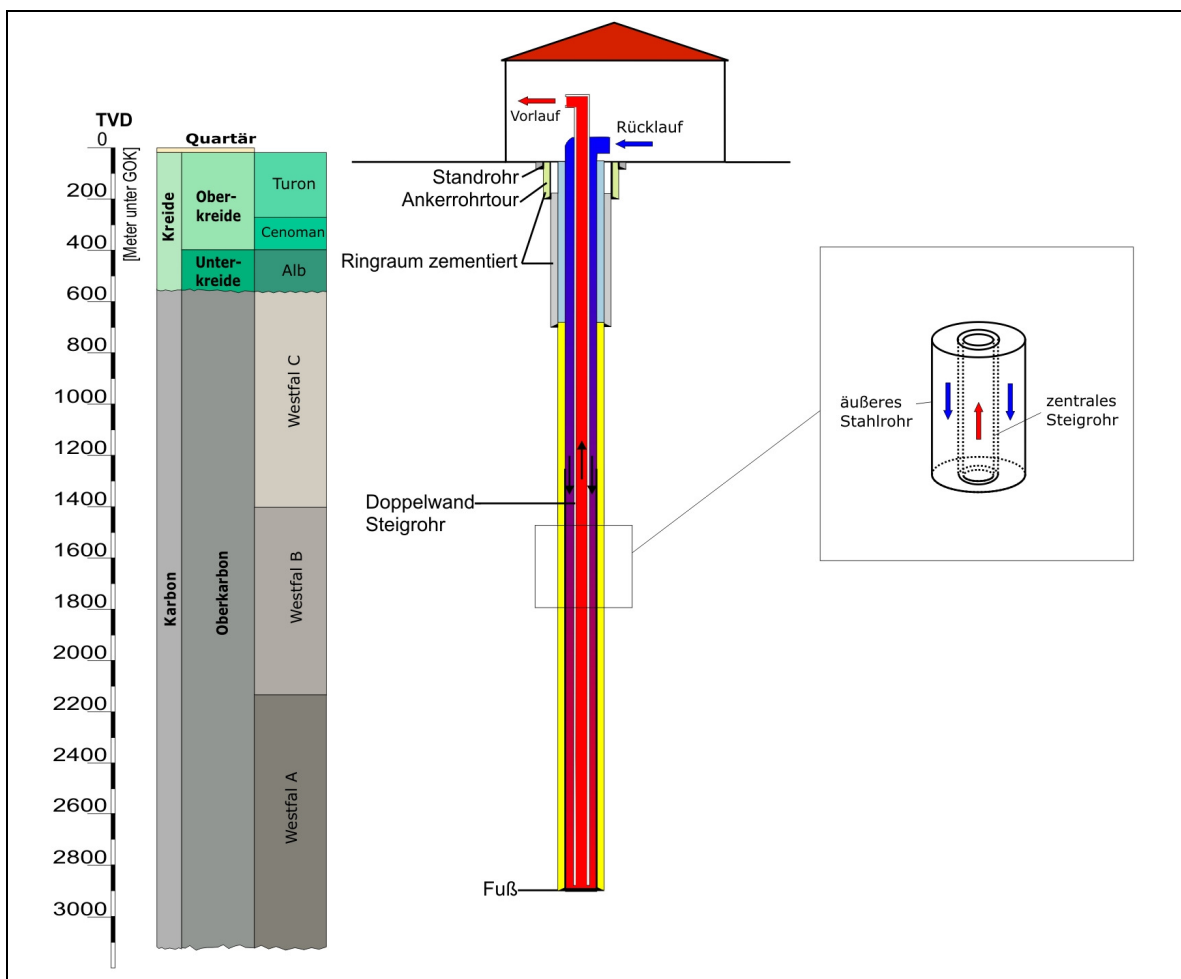
Bei einer theoretischen Sondenauslastung von 100 % errechnet sich für eine Sondenleistung von ca. 250 kW eine Energiemenge von ca. 219.000 kWh. Unter Berücksichtigung eines Fernwärmebezugspreises von ca. 75 €/MWh resultiert eine theoretische Energiekostensparnis von ca. 164.250 €/a. Hierzu muss neben der kompletten Beckenbeheizung die Restenergiemenge aus der Sonde für die Warmwasserbereitung und Gebäudebeheizung genutzt werden. In der Gesamtwirtschaftlichkeitsbetrachtung wird konservativ von einer Sondenauslastung von 85 % ausgegangen, was einer Energiekostensparnis von ca. 140.000 €/a entsprechen würde.

## 5 Funktionsweise und Design der tiefen Erdwärmesonde

### 5.1 Funktionsweise einer tiefen Erdwärmesonde

Tiefe Erdwärmesonden nutzen ähnlich wie oberflächennahe Erdwärmesonden direkt die Gesteinswärme. Sie arbeiten nach dem Prinzip eines Wärmetauschers, bei dem durch Wärmeleitung aus dem Gestein über die Verrohrung und das Hinterfüllmaterial der Sonde die Wärmeübertragung auf das in der Sonde zirkulierende Fluid erfolgt. Die Wärmetauscherfläche ist somit durch die Oberfläche der Bohrlochwand begrenzt.

Die Bohrung selbst besteht aus einem Stahlrohr (Casing), das durch einen Zement mit dem umgebenden Gestein verbunden ist. Mittig im Casing sitzt ein isoliertes Steigrohr (Koaxialsystem, Abb. 4). In der Bohrung befinden sich keine mechanischen Teile. Alle mechanischen Anlagenkomponenten sind wartungsfreundlich im Technikraum des zu versorgenden Gebäudes installiert.



**Abb. 4: Prinzipskizze einer tiefen Erdwärmesonde**

Eine tiefe Erdwärmesonde besitzt einen geschlossenen Wasserkreislauf, aus dem weder Wasser in das umgebende Gestein austritt noch umgekehrt Wasser in die Bohrung eindringen kann. Der Wasserkreislauf wird im Wesentlichen durch den Dichtekontrast von warmem und kaltem Wasser aufrechterhalten. Im Ringraum strömt kaltes Wasser mengengeregelt in die Tiefe und erwärmt sich konvektiv durch das Stahlrohr hindurch am Gestein. Sobald es am tiefsten Punkt der Bohrung angekommen ist, kehrt sich die Fließrichtung um, so dass das nun aufgewärmte Wasser durch das Förderrohr an die Oberfläche zurückkehrt und der

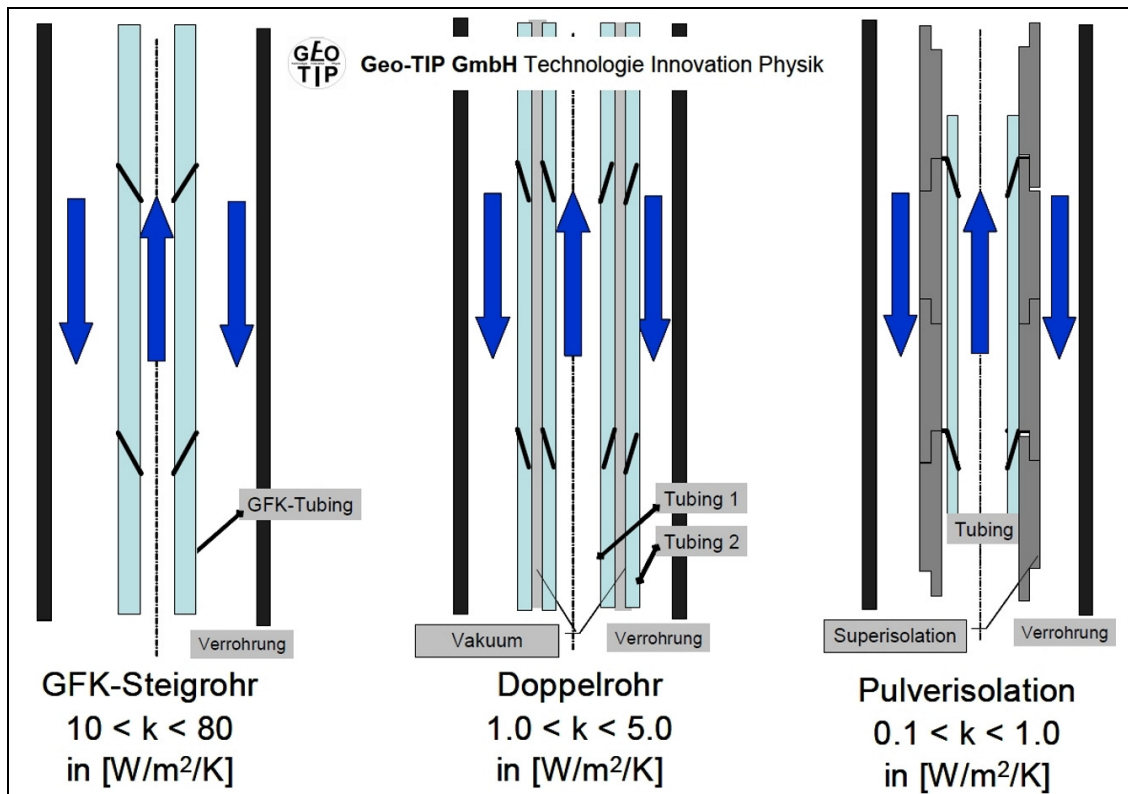
oberirdischen Nutzungsanlage zugeführt werden kann. Es handelt sich um eine inverse Zirkulation, die höhere Anforderungen an die Außendruckbelastung des Steigrohres hinsichtlich elastischen und plastischen Beulens stellt ([Kes09a], [Kes09b]). Die inverse Zirkulation liefert aber insbesondere bei einer guten thermischen Isolation des Steigrohres höhere Fördertemperaturen als mit der klassischen Zirkulationsrichtung (Injektion über Steigrohr, Förderung über Ringraum) erreicht würden. Entscheidend für den Wärmeaustausch zwischen dem absteigenden und dem aufsteigenden Wasser und dem Gebirge sind der Wärmedurchgangskoeffizient durch das Tubing und der Wärmeübergangskoeffizient vom Ringraum zum Gebirge. Beide Größen hängen von der Turbulenz der Strömung, der Rauigkeit der Wandungen und den Wärmeleitfähigkeiten der verschiedenen Komponenten ab ([Kes87]). Die Berechnung erfolgt über die Prandtl-, Reynolds- und die Nusselt-Zahl (z.B. [VGVC06]). Die Berechnung für Bohrungen wird bei KESSELS beschrieben ([Kes87], [Kes88]).

## 5.2 Zentrales Steigrohr – Rohrmaterial und thermische Isolierung

Die tiefe Erdwärmesonde Bad Laer soll als koaxialer Wärmetauscher mit inverser Zirkulationsrichtung realisiert werden. Die Auslegung des zentralen Steigrohres ist von entscheidender Bedeutung für die Fördertemperatur und damit die zur Verfügung stehende thermische Leistung einer tiefen Erdwärmesonde. Bei der Auswahl des Steigrohrmaterials bzw. der thermischen Isolierung des Steigrohres sollten u.a. folgende konstruktive und operative Anforderungen berücksichtigt werden ([Kes09c]):

- anwendbar für Standard API Tubings,
- kostengünstige Fertigung,
- möglichst unkompliziertes Handling beim Einbau (Ausbau),
- geringe Wärmeverluste im Verbinderbereich,
- gute thermische Isolierung bei allen Druck- und Temperaturbedingungen,
- geringe mechanische Belastung durch die Zirkulation im Wärmetauscher,
- geringer Wartungsaufwand bei langer Lebensdauer (Korrosion).

In Abbildung 5 sind drei Varianten einer möglichen Steigrohrisolierung dargestellt. Die einfachste thermische Isolierung beruht auf der Wärmeleitfähigkeit des Steigrohrmaterials, die die Wärmedurchgangszahl ( $k$ -Wert) bestimmt. Derzeit werden verstärkt isolierte glasfaserverstärkte Kunststoffrohre (GFK) auf ihre Eignung als zentrales Förderrohr einer tiefen Erdwärmesonde untersucht. Der  $k$ -Wert beläuft sich auf  $41,9 \text{ W/m}^2/\text{K}$  und ermöglicht eine moderate thermische Isolation des Förderrohres. Schwachpunkt des GFK-Rohres ist jedoch seine begrenzte mechanische Belastbarkeit. Dies gilt sowohl für die Außendruckbelastung beim inversen Zirkulieren als auch für die Druckbelastung am Steigrohr, wie sie an der Bohrlochwand bei starker Änderung der Bohrlochrichtung mit der Teufe („dog leg severity“) auftritt. Auch die vertikalen Reibungskräfte beim Einbau in Bohrungen mit hoher „dog leg severity“ führen zu starken Belastungen, auch wenn „centralizer“ am Steigrohr installiert sind. Zudem hat die Temperatur einen Einfluss auf die Festigkeit des Materials. Durch die Temperaturdifferenz an der Rohrrinnen- und Außenseite kann es weiterhin zu einer mechanischen Instabilität kommen. Es gibt Beispiele aus der Praxis, in denen ein Abreißen der Rohrverbindungen beim Einbau beschrieben wird.



**Abb. 5: Thermische Steigrohrisolation für drei Basisanordnungen eines Steigrohres [GeoTIP GmbH]**

Ein anderes denkbare Steigrohrmaterial ist Stahl, der sich durch seine mechanische Stabilität auszeichnet. Stahlsteigrohre sind auch in Bohrungen mit einem nicht vertikalen Bohrlochverlauf vielfach erprobt. Sie sind hoch außendruckbelastbar und weisen nur kleine Reibungskoeffizienten mit der Bohrlochwand auf. Aufgrund des hohen Wärmedurchgangskoeffizienten ist die thermische Isolierung des Steigrohres jedoch schlecht. So können nur geringe Temperaturdifferenzen zwischen dem absteigenden Wärmeträgerfluid im Ringraum und dem aufsteigendem im Steigrohr erzielt werden, was eine niedrige thermische Leistung der tiefen Erdwärmesonde zur Folge hat.

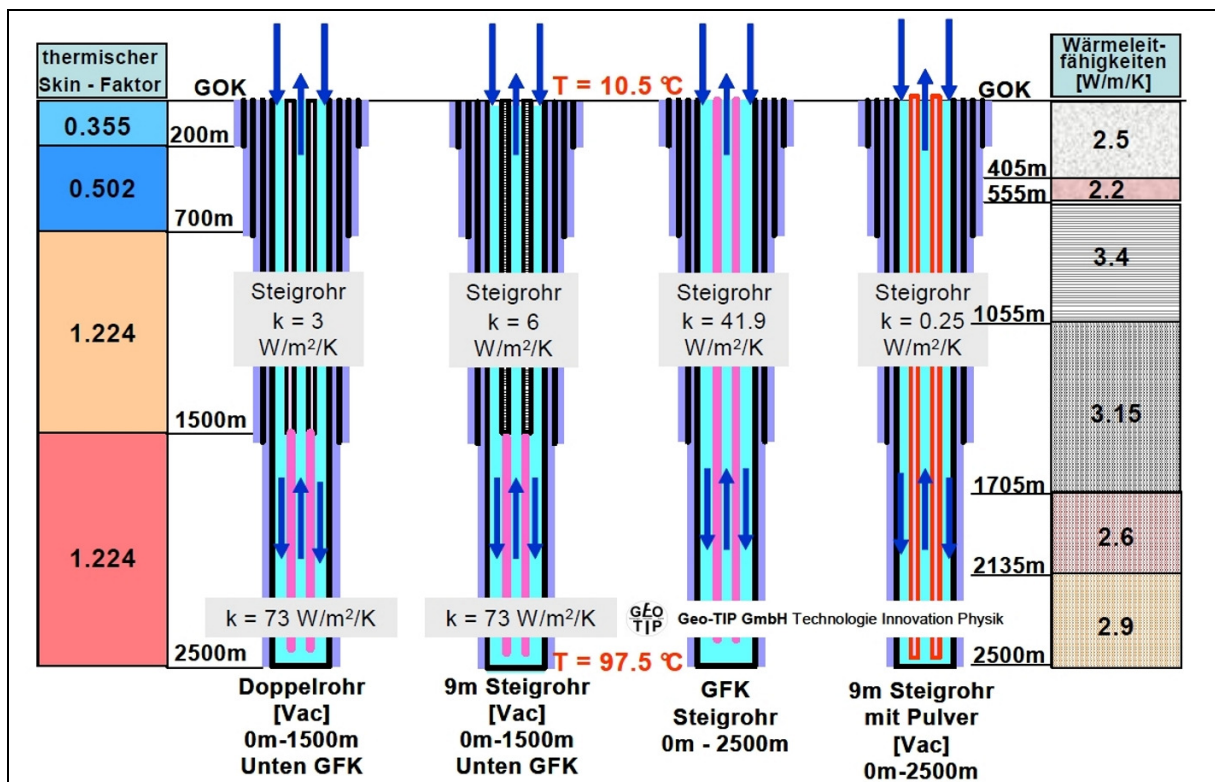
Als Alternative bieten sich aber vakuumisolierte, doppelwandige Stahlrohre an, die eine gute thermische Isolation gewährleisten, jedoch auf einem deutlich höheren Preisniveau angesiedelt sind (Abb. 5 Mitte). Nachteilig sind die hohen Wärmeverluste, die an den Rohrverbindungen auftreten und die hohe Außendruckbelastung des äußeren Tubings. Der Wärmedurchgangswert wird bei dieser Variante bestimmt durch den Wärmetransport durch Strahlung vom inneren Tubing zum äußeren und liegt zwischen  $1,0$  und  $5,0 \text{ W}/\text{m}^2/\text{K}$ .

Als Weiterentwicklung schlägt KESSELS ([Kes09c]) eine thermische Superisolation vor, die auf einer Folien- oder Pulverisolation beruht. Der Wärmedurchgangswert liegt im Bereich von  $0,1$  bis  $1,0 \text{ W}/\text{m}^2/\text{K}$ . Das technische Grundkonzept sieht eine auf  $9 \text{ m}$  langen Tubingabschnitten überlappende und nur an den Enden gegen Verschiebung gesicherte thermische Isolation vor. Die Isolation besteht aus einer VA-Stahlhülle, die mit Folie oder Pulver gefüllt ist. In Abbildung 5 (rechte Seite) ist die Konstruktion prinzipiell dargestellt. Die thermische Isolation hat dabei weder Zug- noch Scherspannungen aufzunehmen. Die Füllung der Hülle nimmt nur den außen anliegenden Druck auf. Die Reibungskräfte der Strömung werden im ersten Ansatz vernachlässigt. Entscheidend ist ein solches Füllmaterial auszuwählen, dass nur wenig unter dem hohen Außendruck konsolidiert und kompaktiert,

da dies zu einer Erhöhung der Wärmeleitfähigkeit führen würde. Derzeit besteht noch erheblicher F&E Bedarf. So sind u.a. die maximale Einbautiefe der Superisolation zu prüfen und auftretende mechanische Belastungen des Tubings näher zu untersuchen. Auch die Herstellungskosten können noch nicht genau beziffert werden.

### 5.3 Mögliche Steigrohrkonfigurationen

Im Rahmen der Machbarkeitsstudie wurden vier denkbare Steigrohrkonfigurationen für die tiefe Erdwärmesonde Bad Laer herausgearbeitet, die in Abbildung 6 dargestellt sind. Die berechneten Wärmedurchgangszahlen enthält die Abbildung 7.



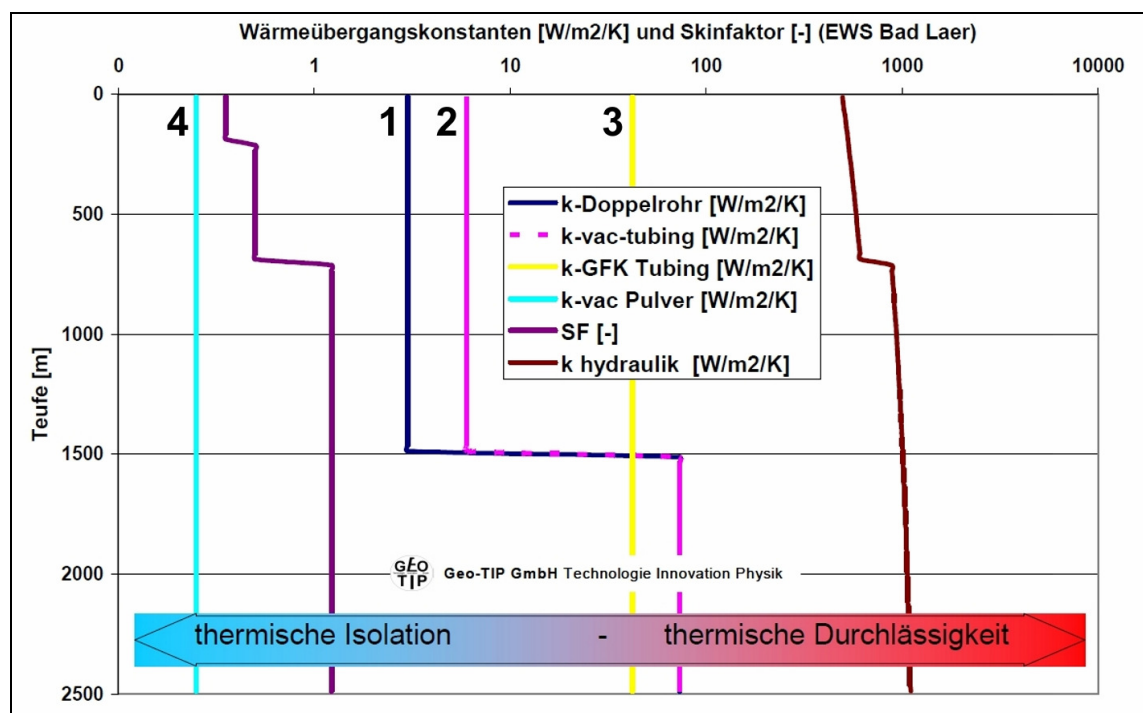
**Abb. 6: Mögliche Konfigurationen der tiefen Erdwärmesonde Bad Laer und Parameterbelegung für die Wärmetauscherberechnungen ([GeoTIP GmbH])**

Bei der ersten Steigrohrvariante handelt es sich um ein 1.500 m langes, evakuiertes Stahldoppelrohr (coil-tubing) mit nicht verspiegelter Wandfläche, an das im unteren Bohrlochabschnitt ein 1.000 m langes GFK-Rohr angeschraubt werden soll. Der k-Wert für das Doppelrohr beträgt 3 W/m<sup>2</sup>/K und für das GFK-Rohr 73 W/m<sup>2</sup>/K. Die betrachtete Variante zwei besteht aus neun m langen Doppelwandverrohrungen aus Stahl, deren evakuierter Zwischenraum verspiegelt ist. Für die Steigrohre mit Verbindungen kann ein mittlerer k-Wert von 6 W/m<sup>2</sup>/K abgeschätzt werden. Verlässliche Herstellerangaben sind derzeit nicht erhältlich. Ab einer Teufe von 1.500 m ist wiederum ein GFK-Rohr vorgesehen. Bei beiden Doppelwandvarianten ist alternativ auch eine Weiterführung der Stahldoppelrohre bis zur Endteufe möglich, wenn dies wirtschaftlich umsetzbar ist. In Variante 3 wird eine 2.500 m langes, einfaches GFK-Rohr betrachtet. Der k-Wert wird mit 41,9 W/m<sup>2</sup>/K angesetzt. Die Steigrohrkonfiguration des vierten Wärmetauschermodells besteht aus neun Meter langen superisolierten Steigrohren (Pulverisolation vgl. Kap. 5.2). In Tabelle 2 sind die vier im Rahmen der Sondenmodellierung näher betrachteten Konfigurationen aufgeführt.

**Tab. 2: Übersicht möglicher Steigrohrkonfigurationen für die tiefe Erdwärmesonde**

<b>Variante 1:</b>	0 - 1.500 m: evakuiertes Stahldoppelrohr (coil-tubing) mit nicht verspiegelter Wandfläche, 1.500 - 2.500 m: GFK-Rohr
<b>Variante 2:</b>	0 - 1.500 m: 9 m lange Doppelwandverrohrung aus Stahl mit evakuierten, verspiegeltem Zwischenraum, 1.500 - 2.500 m: GFK-Rohr
<b>Variante 3:</b>	0 - 2.500: m einfaches GFK-Rohr
<b>Variante 4:</b>	0 - 2.500 m: 9 m lange superisolierte Steigrohre (Pulverisolation)

Aus Abbildung 7 geht deutlich der Zusammenhang zwischen dem k-Wert des Steigrohrmaterials und seiner thermischen Isolationswirkung hervor. Kleine k-Werte bieten eine gute thermische Isolation, wohingegen große k-Werte eine gute thermische Durchlässigkeit begünstigen. Der k-Wert eines GFK-Steigrohres liegt im Übergangsbereich zwischen thermischer Isolierung und Durchlässigkeit.



**Abb. 7: k-Wert [W/m<sup>2</sup>/K] und Skin-Faktor [-] für die vier betrachteten Steigrohrkonfigurationen der geplanten tiefen Erdwärmesonde Bad Laer bei einer Zirkulationsrate von 6 l/s und einer Rücklauf­temperatur von 35°C. k-Hydraulik beschreibt den Wärmeübergang vom aufsteigenden zum absteigenden Wasser ohne Wärmewiderstand des Steigrohres ([GeoTIP GmbH])**

In die Wärmetauscherberechnungen (vgl. Kap. 6) fließt der Bohrlochausbau durch den thermischen Skin-Faktor (SF) mit ein. Er gibt das Verhältnis des Wärmeflusses durch den Verrohrungsausbau zum Wärmefluss in einer gleich dicken Gesteinsschicht an. Aus Abbildung 6 wird ersichtlich, dass der Skin-Faktor oberhalb 700 m kleiner 1 ist, d.h. dass dieser Bohrlochabschnitt thermisch gut isoliert ist.

## 6 Sondenmodellierung

### 6.1 Vorgehensweise, Grundlagen

Die nutzbare Sondenkopftemperatur (Fördertemperatur) und die daraus resultierende thermische Leistung der tiefen Erdwärmesonde Bad Laer hängen von einer Vielzahl unterschiedlicher Faktoren ab. Dies sind einerseits die unveränderlichen thermischen Eigenschaften des Untergrundes und andererseits die jeweiligen sondenspezifischen Parameter, wie z.B. Rohrmaterialien (Wärmedurchgangszahl), Zirkulationsrate, Fördertemperatur bzw. Rücklauf­temperatur aus dem Heizungskreislauf, Durchmesser des Steigrohres bzw. der Bohrung und die Teufe der Erdwärmesonde.

Die mögliche thermische Leistung berechnet sich nach folgender Formel:

$$P = \rho_F \cdot c_F \cdot Q \cdot \Delta T$$

Leistung:	P
spezifische Wärmekapazität (Wasser):	$c_F = 4,183 \text{ kJ/kg K}$
Dichte des Fluids (Wasser):	$\rho_F = 0,998 \text{ kg/dm}^3$
Volumenstrom:	$Q \text{ (m}^3\text{s}^{-1}\text{)}$
Temperaturdifferenz:	$\Delta T = T_{VL} - T_{RL}$

Die Ermittlung der Fördertemperaturen sowie der thermischen Leistung der Erdwärmesonde erfolgte mit Hilfe von numerischen Simulationsberechnungen (Wärmetauscherberechnungen), die von der Geo-TIP GmbH durchgeführt wurden. Hierzu wurden die numerischen Programme BHE-GEO-TIP, Multitrans und EDITE verwendet. Analytische Abschätzungen erfolgten unter Anwendung des Programms EXCEL (Microsoft).

Die Simulationen basieren auf zweidimensionalen, rotationssymmetrischen Vertikalmodellen. Zur Ermittlung des Leistungspotenzials der tiefen Erdwärmesonde Bad Laer wurde zunächst ein vereinfachtes zentrales Modell entworfen, das auf die wesentlichen thermischen Ausbaudaten beschränkt ist. Ausgehend von diesem zentralen Modell werden Berechnungen zur Optimierung des Grunddesigns bzw. der Betriebsweise der Sonde erstellt. Dabei werden die Optimierungsgrößen Zirkulationsrate, Bohrungsdurchmesser, thermische Isolierung des Steigrohres sowie die Einlauf­temperatur variiert und die sich einstellenden Fördertemperaturen bzw. die sich daraus ableitende thermische Sondenleistung in sogenannten „Charts“ dargestellt.

Die Modellrechnungen wurden für das zentrale Modell für einen Zeitraum von einem Jahr erstellt. Weitere Rechnungen beschränken sich auf einen Zeitraum von 30 Tagen. Da nach dieser Zeit die geförderte Wärmeleistung im „log-log-Plot“ einen linearen Verlauf aufweist, ist eine Extrapolation auf größere Zirkulationszeiten (z.B. 25 Jahre) mit hinreichender Genauigkeit möglich. Für die Berechnungen zur Optimierung des Grunddesigns bzw. der Betriebsweise der tiefen Erdwärmesonde wurde in einem ersten Schnitt eine Rücklauf­temperatur in die Sonde von 25°C angesetzt.

Der zweite Bearbeitungsschritt beinhaltet einen Vergleich zwischen den vier herausgearbeiteten Steigrohrkonfigurationen für die tiefe Erdwärmesonde Bad Laer (vgl. Kap. 5). Die im ersten Schritt ermittelte optimale Betriebsweise der Sonde wurde dabei jeweils zugrunde gelegt. In Abstimmung mit dem haustechnischen Konzept wurde die Rücklauf­temperatur zur

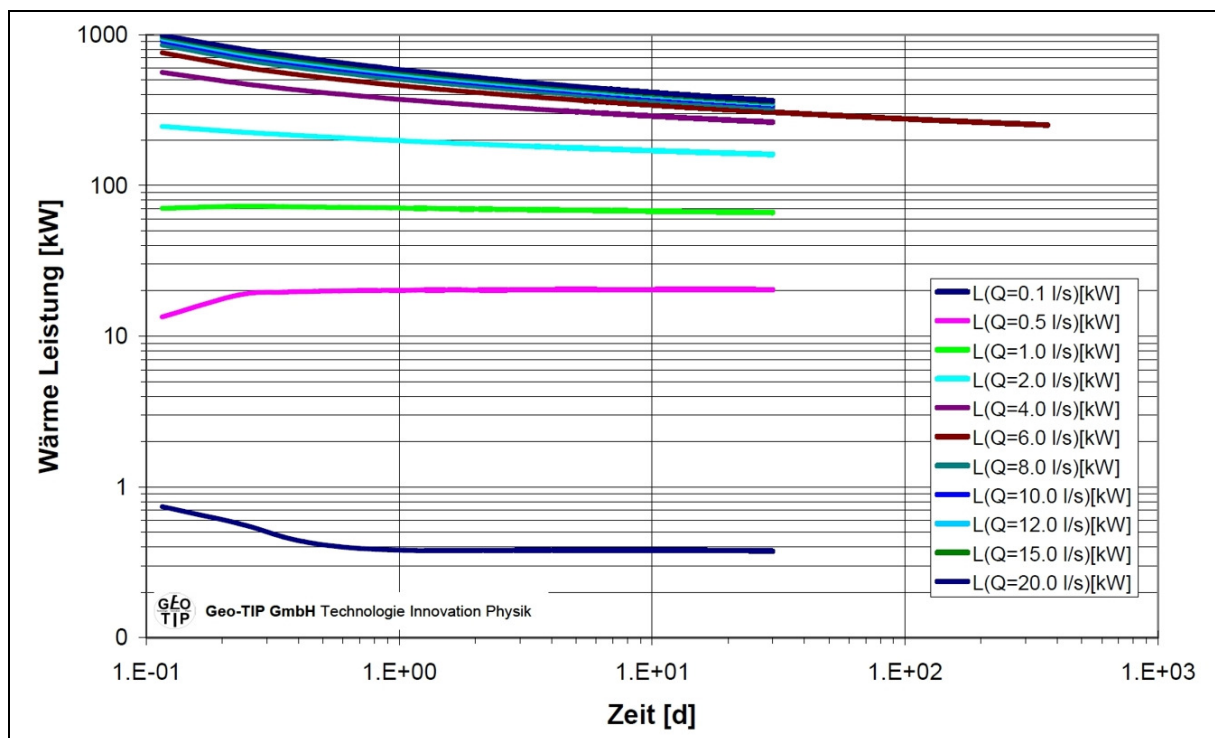
Sonde von 25°C auf 35°C erhöht. Dies bedeutet grundsätzlich eine Reduzierung der förderbaren Wärmeleistung. Bei der angestrebten Temperaturdifferenz von 10 K zwischen Förder- und Rücklauf-temperatur ergibt sich gemäß obiger Formel eine thermische Leistung von 250 kW.

Ziel der Sondenmodellierung ist es, die Fördertemperatur bzw. die resultierende thermische Leistung für verschiedene Sondenauslegungen über einen Zeitraum von 25 Jahren zu berechnen bzw. abzuschätzen. Auf Basis dieser Ergebnisse erfolgen die Bohrlochauslegung mit Verrohrung und Zementation sowie die Ausgestaltung des zentralen Steigrohres.

## 6.2 Berechnungen zur Optimierung des Grunddesign und der Betriebsweise der tiefen Erdwärmesonde

### 6.2.1 Zirkulationsrate

Die Zirkulationsrate ist die entscheidende Steuerungsgröße einer tiefen Erdwärmesonde im Betrieb. Sie entscheidet über die Zeit, mit der sich ein Volumenelement des zirkulierenden Wassers in der tiefen Erdwärmesonde aufhält. Die Berechnungen wurden für elf verschiedene Fließraten zeitabhängig durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Abbildung 8 dargestellt.



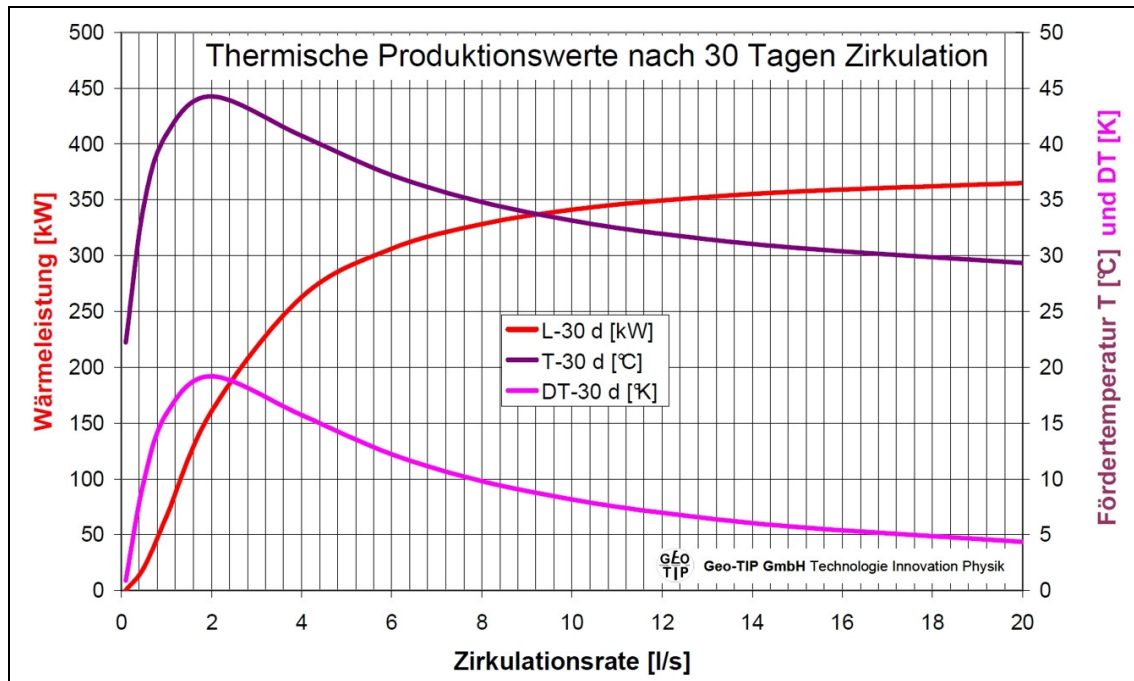
**Abb. 8: Wärmeleistung in Abhängigkeit von der Betriebszeit der Sonde für verschiedene Zirkulationsraten („Log-Log-Plot“) ([GeoTIP GmbH])**

Es wird deutlich, dass die Wärmeleistungen mit kleiner werdenden Zirkulationsraten kleiner und mit größer werdenden Zirkulationsraten größer werden. Für größere Zirkulationsraten ändern sich die Wärmeleistungen nur noch geringfügig. Die Ergebnisse zeigen, dass nach dem ersten Betriebsjahr mit einer Zirkulationsrate von 6 l/s die Zielvorgabe, eine Wärmeleistung von 250 kW, gerade so erreicht wird.

In Abbildung 9 sind die sich einstellenden Fördertemperaturen bei unterschiedlichen Zirkulationsraten nach einer Sondenlaufzeit von 30 Tagen zusammen mit der thermischen Leistung und der resultierenden Differenz zwischen Vor- und Rücklauf-temperatur dargestellt. Die



angenommene Einlauftemperatur in die Erdwärmesonde beträgt ca. 25°C.

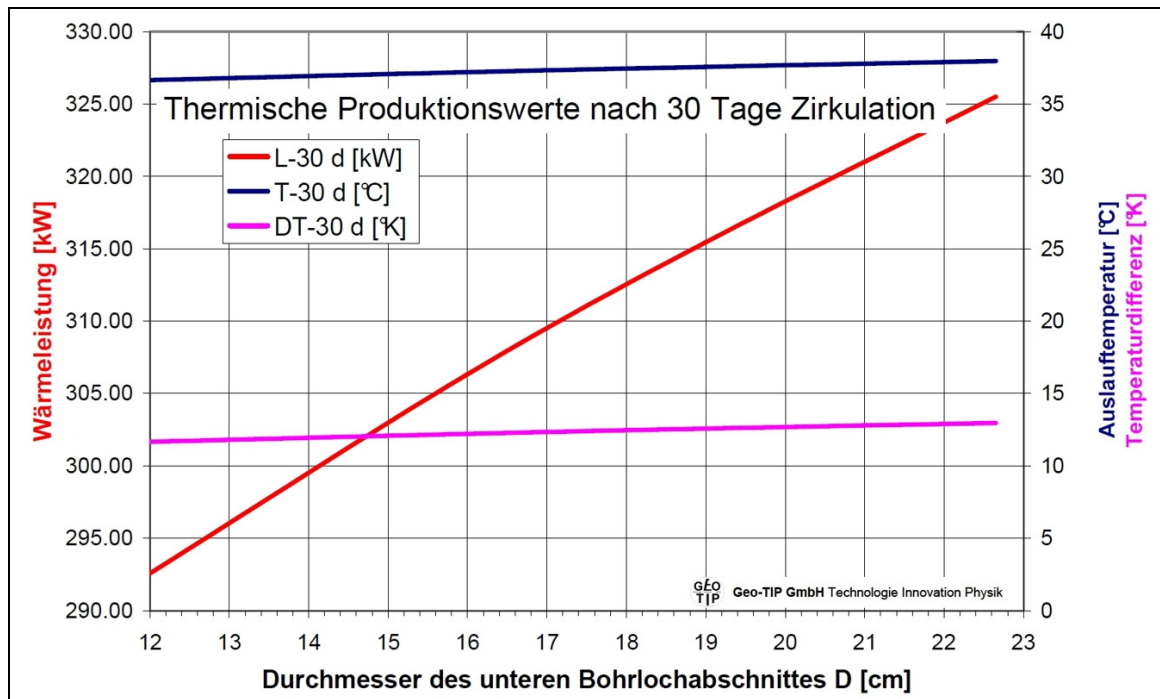


**Abb. 9: Wärmeleistung und Fördertemperatur in Abhängigkeit von der Zirkulationsrate nach 30 Tagen Laufzeit ([GeoTIP GmbH])**

Die Wärmeleistung steigt bis zu einer Zirkulationsrate von 4 bis 6 l/s deutlich an und nimmt dann nur noch gering zu. Das heißt, der Wärmefluss aus dem Gebirge kann nicht weiter gesteigert werden. Dies hat zur Folge, dass bei steigender Zirkulationsrate die Auslauftemperatur (Fördertemperatur) abnimmt. Die maximale Fördertemperatur von 44 °C wird bei einer Zirkulationsrate von ca. 2 l/s erreicht. Eine höhere Auslauftemperatur ist nur durch bessere thermische Isolation des Steigrohres zu realisieren.

### 6.2.2 Bohrungsdurchmesser

In einem ersten Planungsschritt wurde im oberen Bohrlochabschnitt von der Geländeoberkante bis in eine Teufe von 1.500 m ein Innendurchmesser der Verrohrung von 22,65 cm vorgesehen. Der Durchmesser im unteren Abschnitt (1.500 bis 2.500 m) sollte 15,98 cm betragen. Abbildung 10 zeigt die Wärmeleistung und die Fördertemperatur der tiefen Erdwärmesonde in Abhängigkeit vom Bohrungsdurchmesser im Bohrlochabschnitt von 1.500 bis 2.500 m Teufe.



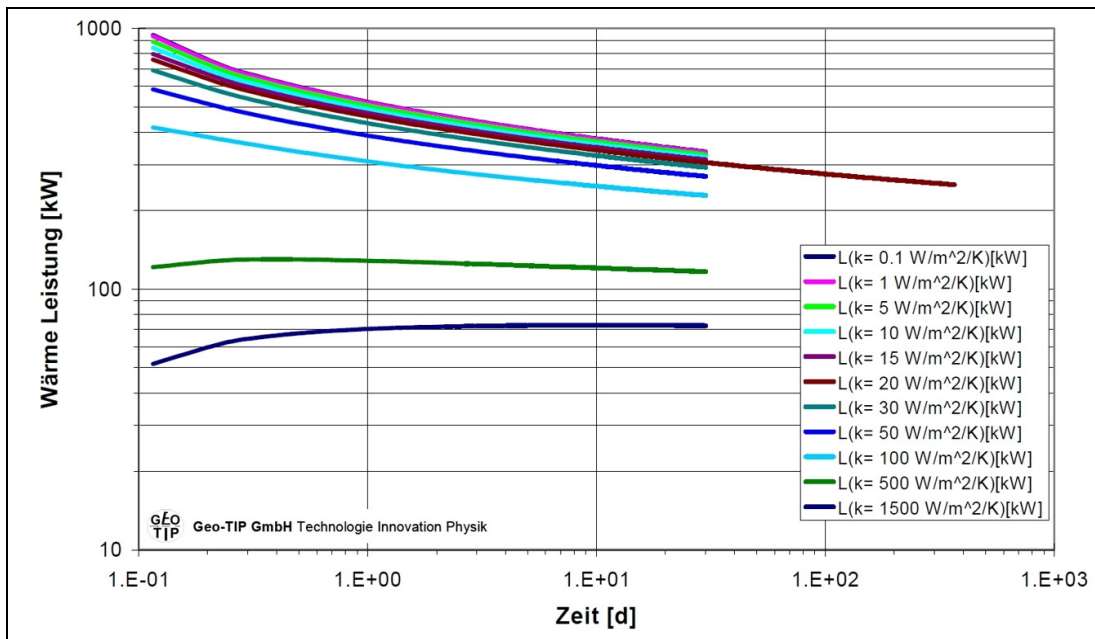
**Abb. 10: Wärmeleistung und Fördertemperatur in Abhängigkeit vom Bohrungsdurchmesser im Bohrlochabschnitt von 1.500 bis 2.500 m Teufe ([GeoTIP GmbH])**

Eine Variation des Bohrungsdurchmessers bewirkt nur eine geringe Steigerung der Wärmeleistung um 20 kW (etwa 10 %). Eine deutliche Verbesserung der thermischen Leistung wäre nur über eine Vergrößerung des Durchmessers über die gesamte Länge der Bohrung möglich.

### 6.2.3 Thermische Isolierung des Steigrohres

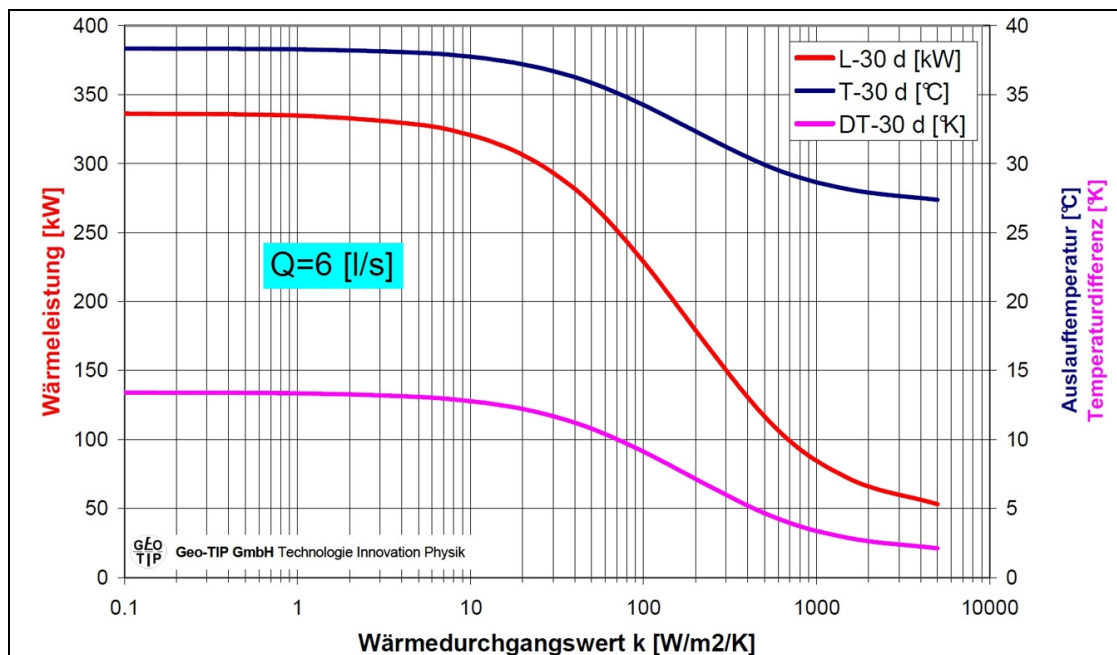
Für das zentrale Modell liegt eine Wärmedurchgangszahl von  $20 \text{ W/m}^2/\text{k}$  zugrunde. Dies entspricht z.B. einem GFK-Rohr mit einer isolierenden Wanddicke von ca. 25 mm oder einem Polypropylen-Rohr mit einer Wandstärke von 12,5 mm.

Die Wirkung der in der Steigrohrkonstruktion realisierbaren Isolationen auf die Wärmeleistung wird aus Abbildung 11 ersichtlich. Kleine Verschlechterungen der thermischen Isolation (k-Wert) führen zu einer deutlichen Reduzierung der Wärmeleistung. Bei der gewählten Konfiguration der Bohrung führt allerdings eine Verbesserung der thermischen Isolierung auch nur zu einer geringen Erhöhung der thermischen Leistung.



**Abb. 11: Wärmeleistung in Abhängigkeit von der Betriebszeit für verschiedene Wärmedurchgangszahlen („Log-Log-Plot“) ([GeoTIP GmbH])**

In Abbildung 12 sind die sich einstellenden Fördertemperaturen und die resultierende thermische Leistung in Abhängigkeit von der Wärmedurchgangszahl nach 30 Tagen Laufzeit der tiefen Erdwärmesonde mit einer Zirkulationsrate von 6 l/s enthalten.

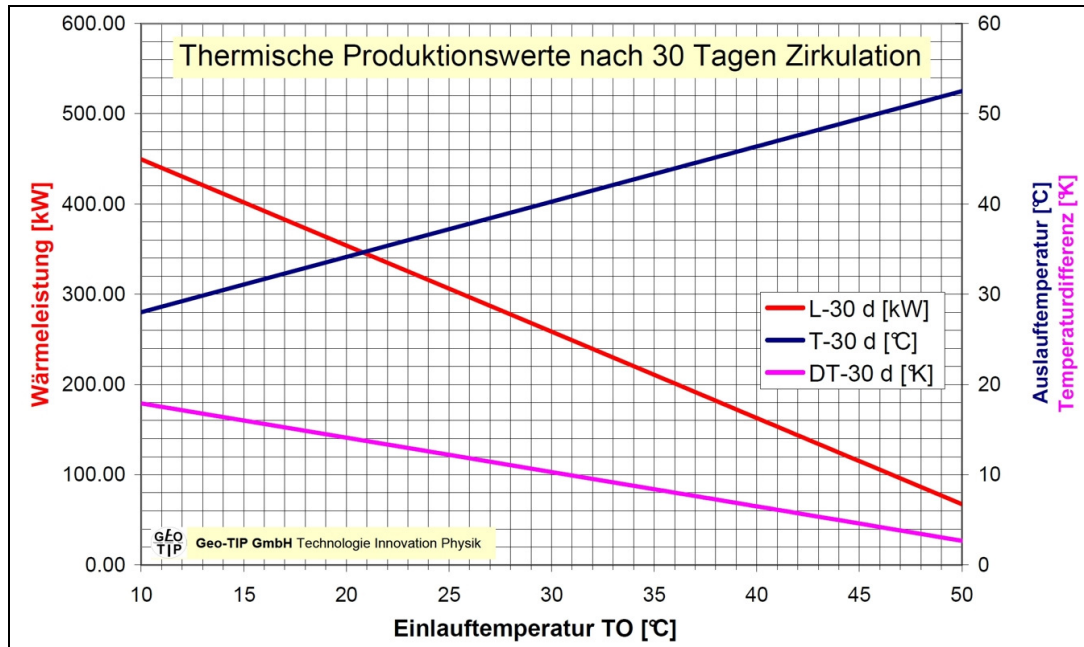


**Abb. 12: Wärmeleistung und Fördertemperatur in Abhängigkeit von der Wärmedurchgangszahl nach 30 Tagen Laufzeit ([GeoTIP GmbH])**

Sowohl die Wärmeleistung als auch die Fördertemperatur zeigen einen stufenförmigen Verlauf. Die starke Abhängigkeit zwischen der thermischen Isolierung (k-Wert) des Steigrohres und der Fördertemperatur bzw. der Wärmeleistung geht aus der Abbildung deutlich hervor. Die im Grundmodell angesetzt thermische Isolierung des Steigrohres (k-Wert = 20 W/m<sup>2</sup>/K liegt an der Grenze einer hinreichenden Isolierung.

## 6.2.4 Einlauftemperatur

Grundsätzlich führt eine niedrigere Einlauftemperatur (Rücklauftemperatur aus Heizkreislauf) in die Erdwärmesonde zu einer größeren Wärmeentnahme aus dem Untergrund. Mit einer Verringerung der Einlauftemperatur ist allerdings immer auch eine Absenkung der Fördertemperatur verbunden. Dieser Zusammenhang geht aus Abbildung 13 hervor.



**Abb. 13: Wärmeleistung der tiefen Erdwärmesonde in Abhängigkeit von der Einlauftemperatur ([GeoTIP GmbH])**

Bei einer Einlauftemperatur von 10°C stellt sich nach 30 Tagen Betrieb eine Fördertemperatur von nur noch ca. 27,5°C ein. Die thermische Leistung beträgt ca. 450 kW. Bei einer Einlauftemperatur von 50°C würde sich nach 30 Tagen Laufzeit eine Fördertemperatur von ca. 53°C ergeben. Die thermische Leistung der tiefen Erdwärmesonde reduziert sich dann jedoch auf knapp über 60 kW. Eine Erhöhung der Einlauftemperatur führt also nur bedingt zu einer Steigerung der thermischen Leistung der tiefen Erdwärmesonde. Wirksamer sind die thermische Isolierung des Steigrohres sowie die Verringerung der Zirkulationsrate.

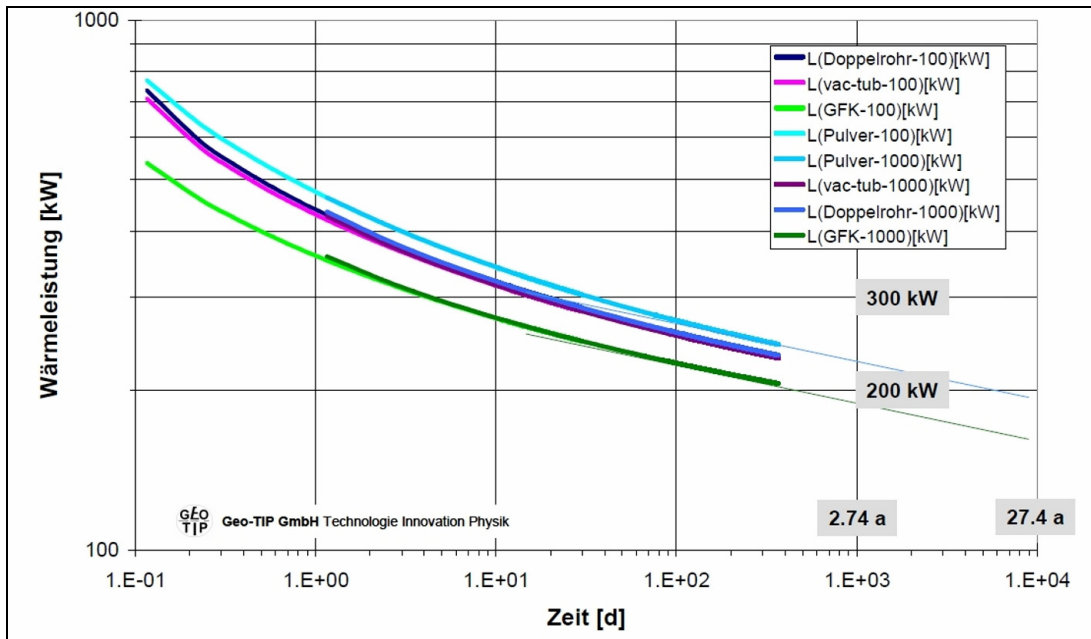
## 6.3 Vergleich verschiedener Steigrohrkonfigurationen bei optimierten Betriebsbedingungen

### 6.3.1 Wärmeleistung in Abhängigkeit von der Sondenlaufzeit

Den nachfolgend beschriebenen Berechnungen liegt eine Zirkulationsrate von 6 l/s zugrunde. Die Berechnungen wurden für 1 Jahr Zirkulationszeit durchgeführt. Die thermische Leistung über einen Zeitraum von 25 Jahren wurde extrapoliert.

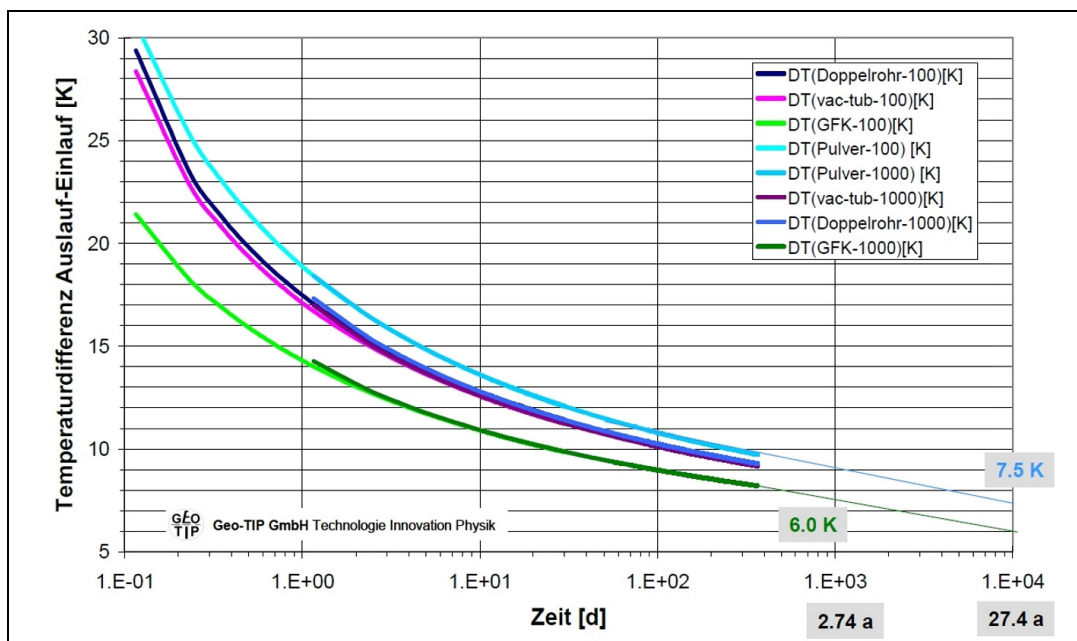
In Abbildung 14 sind die berechneten Wärmeleistungen für alle vier Steigrohrkonfigurationen dargestellt. Es wird deutlich, dass nach einem Jahr Laufzeit nur mit dem superisolierten Steigrohr (Variante 4) eine Wärmeleistung von ca. 250 kW dem Untergrund entnommen werden kann. Nach 25 Jahren Zirkulationszeit wird mit diesem System eine Wärmeleistung von 200 kW prognostiziert. Die anderen Ausbaupvarianten unterschreiten die Zielvorgabe nach einem Jahr Laufzeit scheinbar nur leicht. Hier ist jedoch zu beachten, dass auch die Anforderung an die Fördertemperatur von 45°C erfüllt sein muss, um eine effektive Wärme-

bereitstellung zu ermöglichen.



**Abb. 14: Prognose der geförderten Wärmeleistung für vier Wärmetauschermodelle der tiefen Erdwärmesonde Bad Laer in Abhängigkeit von der Zirkulationszeit bei einer Zirkulationsrate von 6 l/s und einer Einlauftemperatur in den Ringraum von 35°C ([GeoTIP GmbH])**

In Abbildung 15 sind die berechneten Temperaturdifferenzen bezogen auf die Einlauftemperatur (Rücklauftemperatur) von 35°C enthalten. Nach einem Jahr erreicht nur das Steigrohr mit Pulverisolierung (Variante 4) die notwendige Temperaturdifferenz von 10 K. Bei allen anderen Wärmetauschermodellen müsste zum Erreichen der erforderlichen Fördertemperatur die Zirkulationsrate deutlich reduziert werden (vgl. Abb. 9). Dies hätte aber einen signifikanten Leistungsrückgang zur Folge.

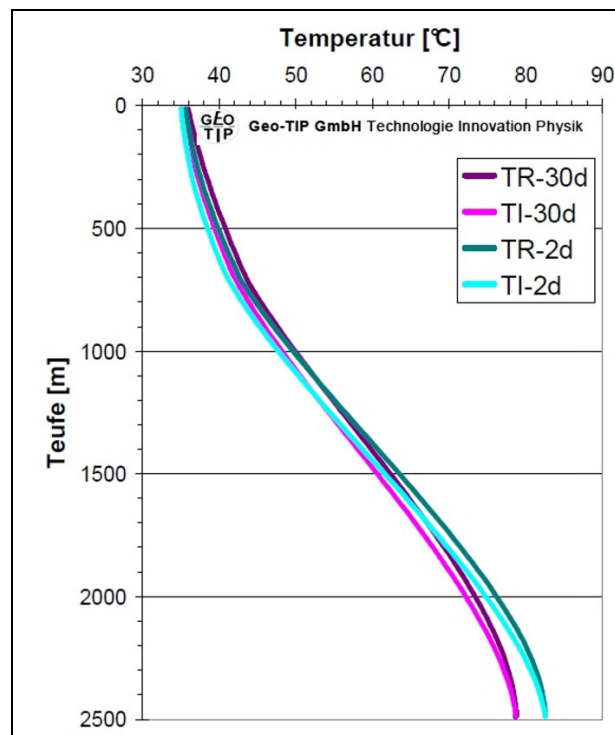


**Abb. 15: Prognose der Temperaturdifferenz für vier Wärmetauschermodelle der tiefen Erdwärmesonde Bad Laer in Abhängigkeit von der Zirkulationszeit bei einer Zirkulationsrate von 6 l/s und einer Rücklauftemperatur von 35°C ([GeoTIP GmbH])**

### 6.3.2 Teufenabhängige Temperaturen im Ringraum und im Steigrohr

In den nachfolgenden Abbildungen sind die teufenabhängigen Temperaturverläufe für die betrachteten vier Steigrohrkonfigurationen und ergänzend für ein Steigrohr aus handelsüblichem Stahl dargestellt. Die Einlauftemperatur (Rücklauftemperatur) des zirkulierenden Wärmeträgerfluids in den Ringraum legt den oberen Teufenbereich fest, der möglichst thermisch isoliert zum Gebirge ausgeführt werden soll. Unter Berücksichtigung der geologischen Rahmenbedingungen ergibt sich im vorliegenden Fall eine Teufe von ca. 700 m. In dem Bohrlochabschnitt bis zu einer Teufe von 700 m ist die ungestörte Untergrundtemperatur kleiner als die Einlauftemperatur, so dass Wärme an das umliegende Gebirge abgegeben wird.

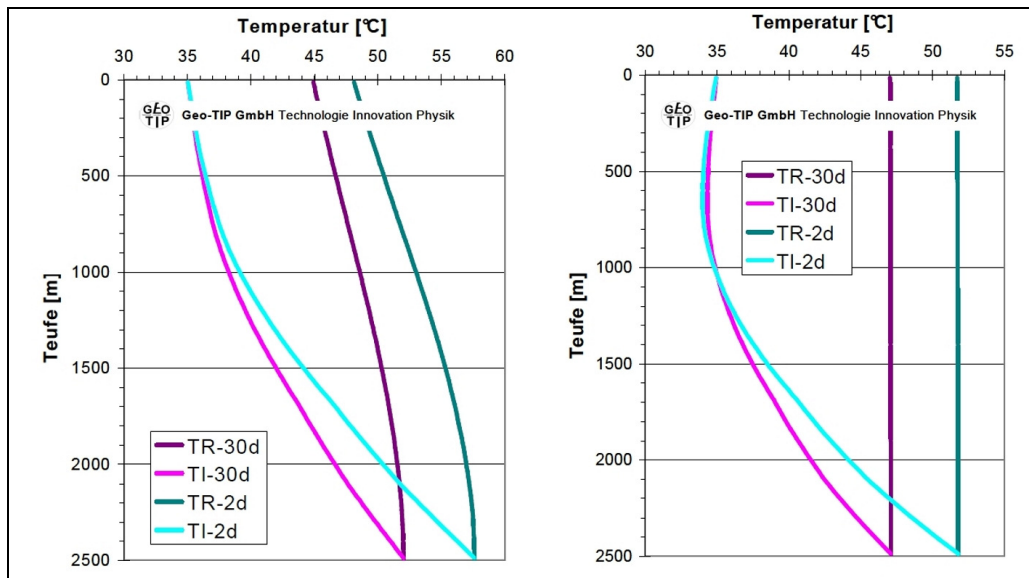
Abbildung 16 zeigt den Temperaturverlauf in der tiefen Erdwärmesonde nach 2 bzw. 30 Tagen Zirkulationszeit für ein Steigrohr bestehend aus handelsüblichem Stahl (einfache Verrohrung). Aufgrund der hohen Wärmeverluste beim Aufstieg des Wärmeträgerfluids, bedingt durch die schlechte thermische Isolierung des Steigrohres, ist sowohl die erzielbare Temperaturdifferenz zwischen Ein- und Auslauftemperatur als auch die resultierende thermische Leistung sehr gering. Mit einer derartigen Ausbauparallel ist keine wirtschaftliche Nutzung möglich.



**Abb. 16: Berechneter Temperaturverlauf in der tiefen Erdwärmesonde Bad Laer nach 2 und 30 Tagen Zirkulationszeit für ein Steigrohr bestehend aus einfachem Stahl („Stahl-tub“) ([GeoTIP GmbH])**

In Abbildung 17 wird das thermisch am schlechtesten isolierte Steigrohr der vier berechneten Varianten (GFK-Rohr, Variante 3) mit dem am besten isolierten Rohr (Pulverisolation, Variante 4) gegenübergestellt.

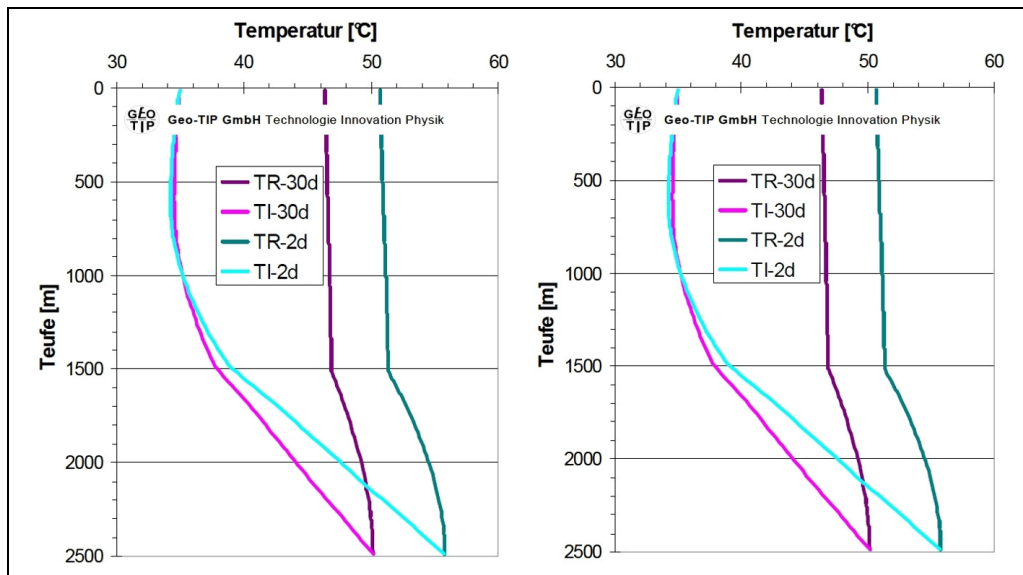




**Abb. 17: Berechneter Temperaturverlauf in der tiefen Erdwärmesonde Bad Laer nach 2 und 30 Tagen Zirkulationszeit für das Gfö-Steigrohr (Variante 3, links) und das Steigrohr mit Pulverisolierung (Variante 4, rechts); TI = Temperatur im Ringraum, TR = Temperatur im Steigrohr ([GeoTIP GmbH])**

Beim Gfö-Steigrohr ist der Wärmeaustausch durch das Steigrohr so groß, dass dem absteigenden Wasser im Ringraum mehr Wärme zugeführt wird, als es unter 700 m Teufe an das Gebirge verliert. Das hat zur Folge, dass die Temperatur im Ringraum sofort ansteigt. Am Bohrlochtiefsten beträgt die Temperatur nach 30 Tagen Laufzeit rund 52°C, die Sondenkopftemperatur dagegen knapp 45°C. Das Wärmeträgermedium verliert somit beim seinem Aufstieg rund 7°C an das umliegende Gebirge. Dem Steigrohr mit Pulverisolierung wird in den oberen 700 m dagegen kaum Wärme zugeführt, so dass die Ringraumtemperatur zunächst absinkt. Am Sondenfuß werden nach 30 Tagen Zirkulationszeit Temperaturen von 47°C, die aufgrund der Superisolierung ohne Wärmeverluste zum Sondenkopf transportiert werden.

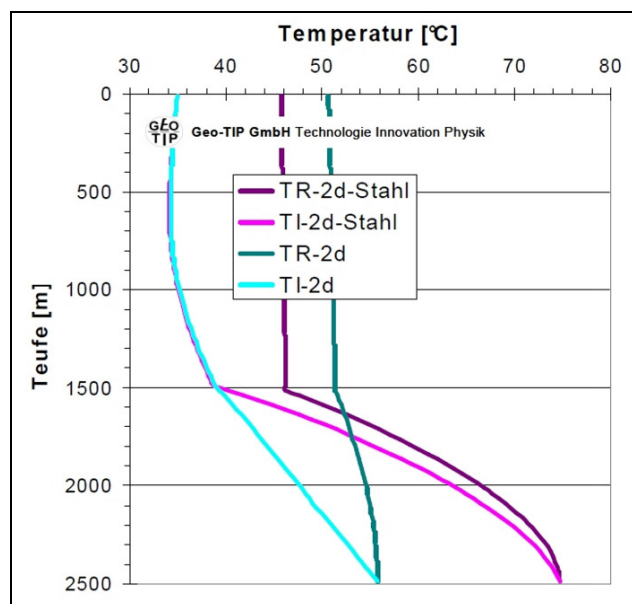
Abbildung 18 enthält die Temperaturverläufe im Ringraum und im Steigrohr nach 2 und 30 Tagen Laufzeit für die Wärmetauschermodelle 1 (evakuiertes Doppelrohr) und 2 (evakuiertes Tubing).



**Abb. 18: Berechneter Temperaturverlauf in der tiefen Erdwärmesonde Bad Laer nach 2 und 30 Tagen Zirkulationszeit für das evakuierte Tubing (Variante 2, links) und das Doppelrohr (Variante 1, rechts), beide mit GFK-Steigrohr ab 1.500 m Teufe ([GeoTIP GmbH])**

Die Temperaturverläufe sind sehr ähnlich. Ab einer Tiefe von 700 m nimmt das absteigende Wasser Wärme aus der Umgebung auf und die Ringraumtemperaturen steigen bis zum Bohrloch tiefsten auf ca. 50°C (30 Tage Laufzeit) an. Der erhöhte Wärmeaufnahme bzw. -abgabe ab/bis 1.500 m beruht auf dem Materialwechsel bzw. dem Übergang auf das GFK-Rohr. Die Fördertemperatur nach 30 Tagen Zirkulationszeit beträgt bei beiden Varianten ca. 46°C. Aus der vorstehenden Abbildung geht hervor, dass sich der geringe Unterschied im k-Wert zwischen den Varianten 1 und 2 (vgl. Abb. 6) bei einer Zirkulationsrate von 6 l/s kaum bemerkbar macht.

In Abbildung 19 werden die berechneten Temperaturverläufe im Ringraum und im Steigrohr nach zwei Tagen Zirkulationszeit für das evakuierte Doppelrohr (Variante 1) mit einer GFK-Verrohrung bzw. einer einwandigen Stahlverrohrung ab 1.500 m gegenüber gestellt.



**Abb. 19: Berechneter Temperaturverlauf in der tiefen Erdwärmesonde Bad Laer nach 2 Tagen Zirkulationszeit für das evakuierte Doppelrohr (Variante 1) mit einer einwandigen Stahlverrohrung ab 1.500 m im Vergleich GFK-Verrohrung ab 1.500 m ([GeoTIP GmbH])**



Aufgrund der guten Wärmeleitfähigkeit bzw. des hohen Wärmedurchgangswertes des einwandigen Stahlsteigrohres kann viel Wärme aus dem umliegenden Gebirge aufgenommen werden. Die Temperatur am Sondenfuß beträgt ca. 75°C. Die schlechte thermische Isolierung des einwandigen Stahlsteigrohres bedingt aber gleichzeitig hohe Wärmeverluste, so dass im Ergebnis unterhalb einer Teufe von 1.500 m kaum Wärme aufgenommen werden kann. Mit einem Standardsteigrohr aus Stahl wird die Fördertemperatur somit deutlich reduziert und beträgt bereits nach 2 Tagen Laufzeit nur noch knapp 46°C.

### **6.3.3 Fazit – Steigrohrkonfiguration für die tiefe Erdwärmesonde Bad Laer**

Aufgrund der haustechnischen Vorgaben sollte eine Fördertemperatur (Auslauftemperatur) von 45°C dauerhaft bereitgestellt werden, um die geothermische Energie effektiv für die Beheizung der Therapie- und Bewegungsbecken des SoleVital im Direktwärmetausch zu nutzen (vgl. Kap. 4). Die Wärmetauscherrücklauftemperatur und damit die Rücklauftemperatur (Einlauftemperatur) zur tiefen Erdwärmesonde liegt bei ca. 35°C. Damit ergibt sich eine Temperaturdifferenz von 10 K zwischen Fördertemperatur und Rücklauftemperatur. Als Zielvorgabe wurde eine dauerhafte thermische Leistung von ca. 250 kW angesetzt.

Die Ermittlung der Fördertemperaturen sowie der thermischen Leistung der Erdwärmesonde über einen Zeitraum von 25 Jahren erfolgten mit Hilfe von numerischen Simulationsberechnungen. Die Modellrechnungen zeigen, dass eine gute thermische Isolierung des Steigrohres Voraussetzung für eine dauerhafte Bereitstellung von hohen Fördertemperaturen ist. Die Zielvorgaben der Fördertemperatur von 45°C bzw. der resultierenden thermischen Leistung von ca. 250 kW können mit der ursprünglichen Bohrloch- und Sondenkonfiguration nur für einen Zeitraum von ein bis drei Jahren bereitgestellt werden. Daher wird eine Erhöhung der vorgesehenen Endteufe der Bohrung von 2.500 m auf 2.900 m vorgeschlagen. Das auf Basis dieser Ergebnisse erstellte Bohrungs- bzw. Verrohrungsdesign wird in Kapitel 7 näher beschrieben.

Die Berechnungen ergaben weiterhin eine optimale Zirkulationsrate für die tiefe Erdwärmesonde Bad Laer von 6 bis 7 l/s. Diese Rate gewährleistet, dass nachhaltig ausreichend Wärme vom umgebenden Gebirge geliefert wird, so dass das ausgekühlte Wasser im Ringraum der Sonde hinreichend Temperatur aufnehmen kann.

Bei der Untersuchung des zentralen Steigrohres wurden Varianten von gut wärmeisolierten Stahlrohren mit Beschichtung, doppelwandigen Stahlrohren in verschiedenen Ausführungen sowie GFK-Rohren und Kombinationen aus verschiedenen Werkstoffen betrachtet. Nach abschließender Bewertung der untersuchten Systeme unter Berücksichtigung der Kriterien thermodynamische Eigenschaften, mechanische Festigkeit, Kosten und zeitnahe Umsetzung fiel die Entscheidung auf ein System aus Stahlrohren in doppelwandiger Ausführung über die gesamte Bohrlochlänge, bei dem der Zwischenraum vakuumisiert wird, und somit ausreichende Isolationswerte unter Verwendung bewährter Komponenten bietet. Das ausgewählte System besteht aus zwei ineinander gebauten und gegeneinander isolierten Steigrohren. Der Außendurchmesser der äußeren Steigrohre beträgt 114,3 mm, der Innendurchmesser des inneren Steigrohres 77,9 mm. Es kommen hierbei bewährte Komponenten aus dem Erdöl-Bereich zum Einsatz. Um das Vakuum herzustellen werden spezielle Abdichtungen eingesetzt. Diese werden am letzten Rohr im Bohrungstiefsten angebracht. Die Abdichtung am Sondenkopf erfolgt über ein spezielles Hanger-System.

Ein neueres System in doppelwandiger Ausführung mit einem guten Isolationsmaterial im Zwischen-Ringraum (Pulverisolation, Variante 4) bietet zwar noch bessere Isolationswerte, befindet sich jedoch noch in der Entwicklung und ist daher zeitnah noch nicht verfügbar. Es stellt aber eine sehr interessante Option dar, sobald eine Herstellung zu vertretbaren Kosten möglich ist. Erste Gespräche mit potenziellen Herstellungsfirmen haben bereits stattgefunden.

## **7 Bohrtechnisches Konzept**

### **7.1 Allgemeines**

Das bohrtechnische Konzept, das für die Auslegung der technischen Ausrüstung sowie die Vorgehensweise in den einzelnen Bohrabschnitten maßgebend ist, stützt sich auf das prognostizierte geologische Profil für die zu erwartenden Gesteinsabfolge im Bereich des vorgesehenen Bohransatzpunktes (vgl. Kap. 3.1). Es orientiert sich bis in eine Tiefe von ca. 160 m an dem Bohrbericht zur 1973 abgeteufte Neuen Martinsquelle (vgl. Kap. 3.2). Für die tieferen Bereiche konnte auf Erkenntnisse aus der 2.108 m tiefen Erkundungsbohrung Bad Laer Z1 zurückgegriffen werden. Aufgrund der tektonischen Verhältnisse lassen sich die hier erbohrten Teufen jedoch nicht unmittelbar auf den geplanten Bohrstandort übertragen, so dass die zu erwartenden Teufen aus regionalgeologischen Profilen abgeleitet wurden.

Für die Auslegung der Koaxialsonde wurden im Vorfeld umfangreiche Simulationen durchgeführt, die sowohl die nachhaltige Wärmelieferung bzw. den Wärmeentzug aus dem Gebirge untersucht als auch den möglichst verlustfreien Transport der Wärme über das Zirkulationssystem Bohrung an die Erdoberfläche analysiert haben (vgl. Kap. 6). Hierbei wurde eine dauerhafte Wärmelieferung von 200 bis 250 kW aus dem Gebirge im unteren Bereich der Bohrung unterstellt. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen wurden für die Dimensionierung und technische Ausrüstung der tiefen Erdwärmesonde zugrunde gelegt. Die bohrtechnische Planung der tiefen Erdwärmesonde orientiert sich weiterhin an den in der deutschen Erdöl- und Erdgasindustrie üblichen Standards.

### **7.2 Bohrplatz und Bohranlage**

Der vorgesehene Bohrplatz liegt im Bereich der sogenannten „Osning-Schaufäche“ ca. 150 m nördlich des SoleVital und ca. 400 m nordnordwestlich der staatlich anerkannten Heilquelle Neue Martinsquelle innerhalb der Schutzzone B des Heilquellenschutzgebietes Bad Laer (vgl. Anhang 1). Für das Niederbringen der Bohrung ist eine wasserrechtliche Genehmigung (Verbotsbefreiung) erforderlich. Der Bohrplatz wird entsprechend den Empfehlungen der Erdöl- und Erdgaswirtschaft und nach den Vorgaben der zuständigen Genehmigungsbehörde hergestellt. Die Abdichtung des Bohrplatzes zum Untergrund erfolgt, insbesondere im Hinblick auf die Lage des Bohransatzpunktes innerhalb der Schutzzone B des Heilquellenschutzgebietes Bad Laer, mit äußerster Sorgfalt.

Da die maximalen Rohrgewichte 110 to nicht überschreiten, ist eine Bohranlage mit einer maximalen Hakenlastkapazität von 160 to ausreichend. Die Abmessungen für den Bohrplatz liegt bei ca. 70 x 35 m.

### **7.3 Bohrprogramm**

Für den Bohrlochausbau wurde eine auf die lokalen geologischen Gegebenheiten abgestimmte Variante mit zementierten Stahlrohren gewählt. Die Erstellung der ca. 2.900 m tiefen Bohrung für die tiefe Erdwärmesonde Bad Laer ist in vier Bohrungsabschnitten vorgesehen (Abb. 20). Der Durchmesser verjüngt sich dabei von 30" (bis 35 m) auf 17 ½" (bis 200 m), 12 ¼" (bis 800 m) bzw. 8 5/8" bis (2.900 m). Folgendes Verrohrungsschema ist geplant 18 5/8" bis 35 m, 13 3/8" bis 200 m, 9 5/8" bis 800 und 7 5/8" bis 2.900 m.

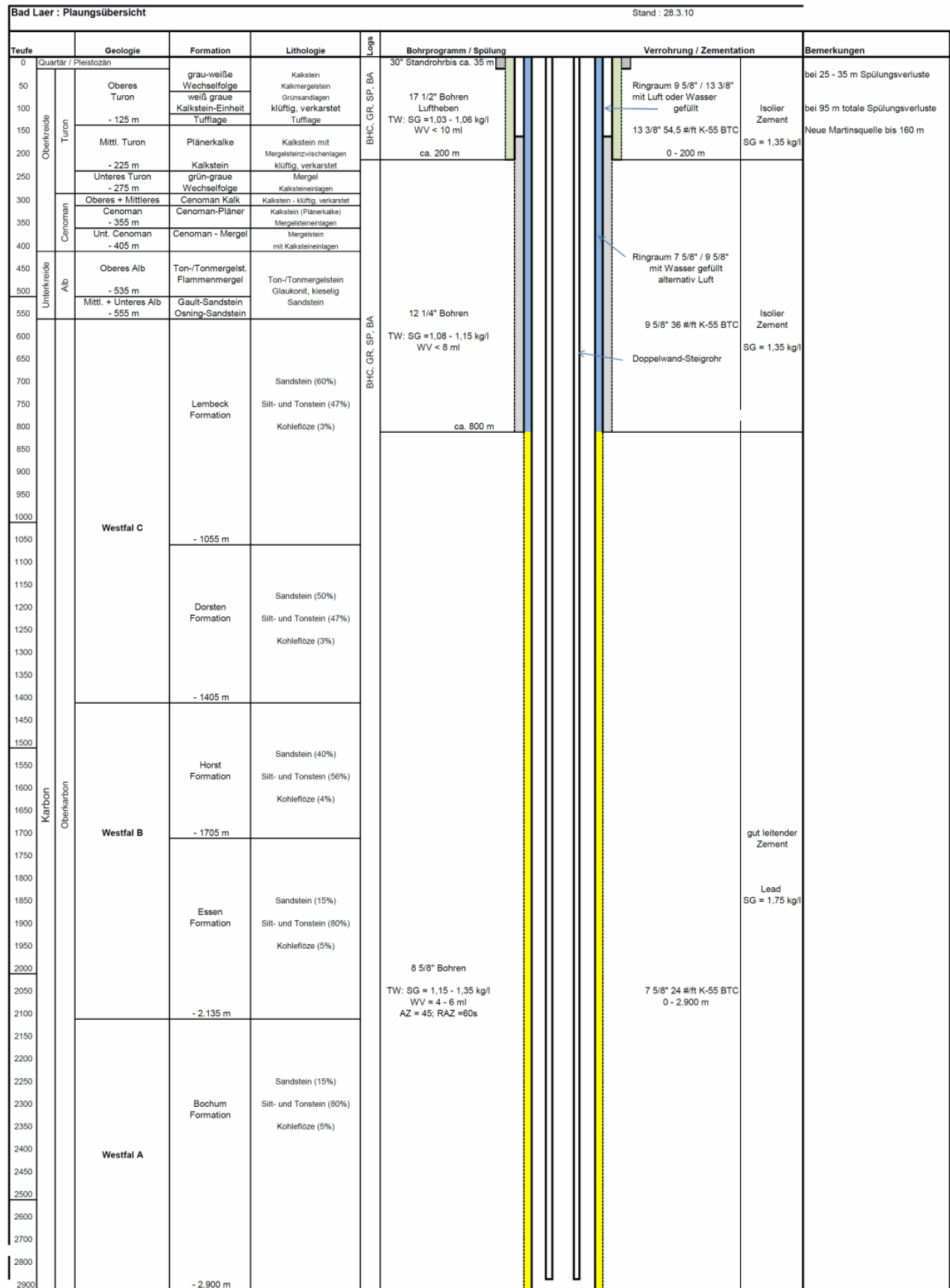


Abb. 20: Bohrtechnisches Konzept für die Erstellung der tiefen Erdwärmesonde ([Ing.-Büro Achilles])

Die Zementation der 13 3/8" sowie der 9 5/8" Rohre erfolgt mit Isolierzement, um die Wärmeverluste aus dem Rücklauf der Beckenheizung so gering wie möglich zu halten, da

die Temperaturen des umgebenden Gebirges in diesem Bereich noch unter der Rücklauf-temperatur des ausgekühlten Thermalwassers liegen. Der Ringraum zwischen den 13 3/8" Rohren und der später einzubauenden 9 5/8" Rohrfahrt von 180 m bis zutage bleibt unzeimentiert und ist lediglich mit Wasser gefüllt, um den Wärmeverlust so gering wie möglich zu halten. Im unteren Bohrlochabschnitt (> 800 m) ist ein guter Wärmeübergang vom Gebirge auf das in der Bohrung zirkulierende Wasser erwünscht. Dies wird bei der Planung durch eine gut wärmeleitende Zementierung realisiert.

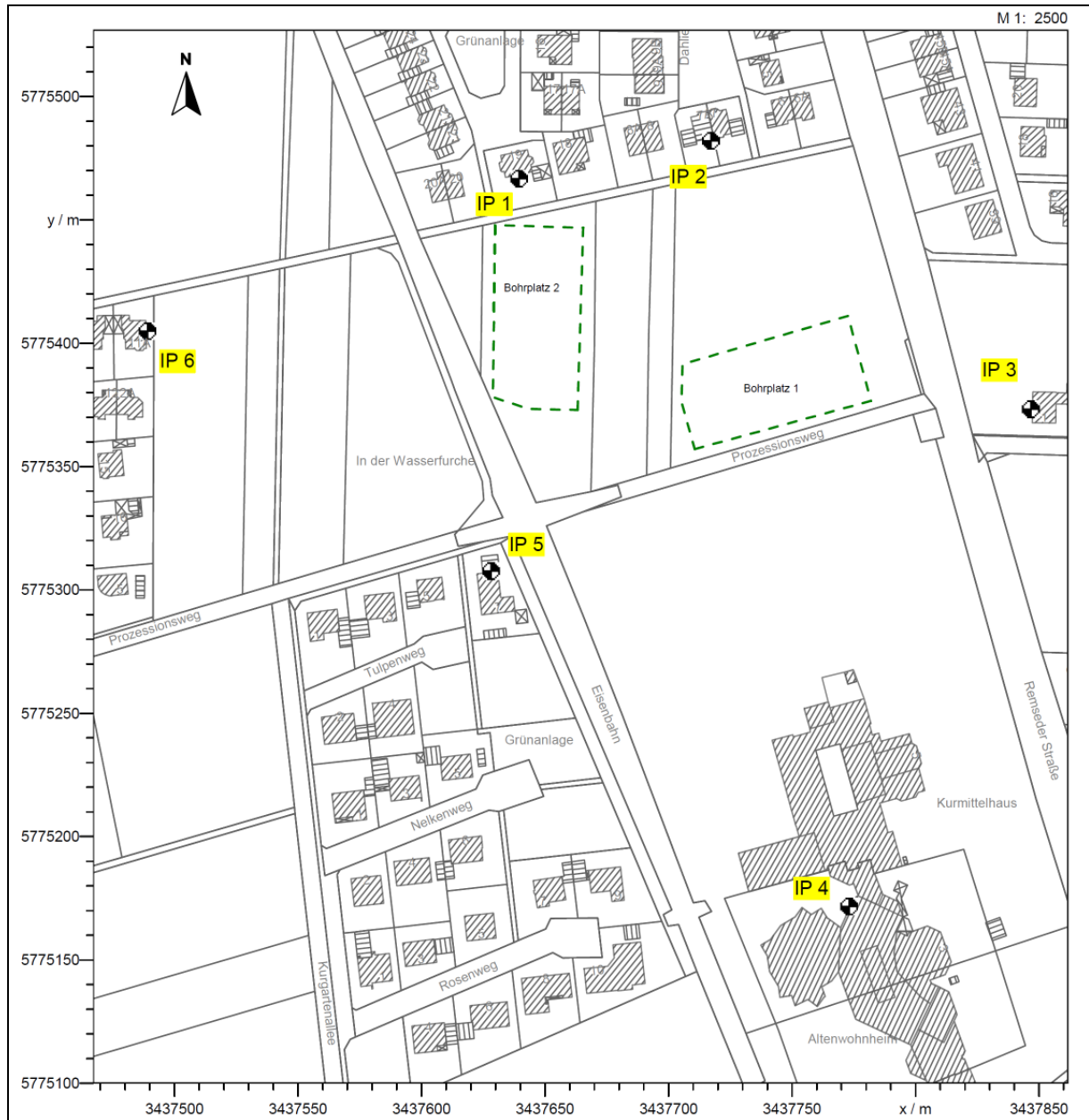
Aufgrund der Nähe des geplanten Bohransatzpunktes zu Wohngebäuden sowie zur Heilquelle Neue Martinsquelle werden besondere Vorkehrungen beim Niederbringen der Bohrung getroffen. Dies sind umfangreiche Schallschutzmaßnahmen, um die Lärmbelästigung der Anwohner während der Bohrphase zu minimieren, sowie eine vorsichtige Vorgehensweise beim Bohren der obersten 200 m, um eine Beeinträchtigung der Neuen Martinsquelle auszuschließen. Es ist das Einzementieren des Standrohres vorgesehen, um eine Kontamination des oberflächennahen Grundwasserleiters zu vermindern bzw. um vertikale Wegsamkeiten dauerhaft zu verschließen. Weiterhin sollen das Absetzen einer zusätzlichen Rohrtour im Tiefenbereich der Filterkiesschüttung der Neuen Martinsquelle (vgl. Kap. 3.2) sowie das Niederbringen des Bohrungsabschnittes von 0 bis 200 m im Lufthebeverfahren erfolgen. Die Erstellung der weiteren Bohrungsabschnitte ist im Direktspülverfahren geplant, wobei eine Spülung ohne weitere chemikalische Zusätze (Ton-Süßwasser-Suspension) zum Einsatz kommt. Als weitere Vorsichtsmaßnahme sollte die Neue Martinsquelle eine Woche vor Bohrbeginn eingeschlossen werden (Einstellung der Förderung).

Die voraussichtliche Dauer der Bohrung beträgt ca. 60 Tage. Die Herstellungskosten inklusive Komplettierung der Bohrung (Steigrohre) belaufen sich auf ca. 3,5 Mio. €.

## 8 Lärmschutzkonzept

### 8.1 Vorbemerkungen

Im Rahmen von schalltechnische Untersuchungen wurden zwei mögliche Bohransatzpunkte auf dem Gelände der „Osning-Schauffläche“, die sich nördlich des SoleVital (Kurmittelhaus) befindet, näher betrachtet.



**Abb. 21: Übersichtskarte mit der Lage der betrachteten Bohrplätze sowie der berücksichtigten Immissionsorte ([GTA]).**

Eine zum Einsatz kommende Tiefbohranlage mit einer Hakenlast von ca. 150 – 175 t, die in der Regel durchgehend über 24 Stunden und an allen Wochentagen in Betrieb ist, hat die örtliche Situation hinsichtlich der Geräuscentwicklung zu berücksichtigen. Es kann daher nur eine möglichst lärmarme Tiefbohranlage eingesetzt werden.

Durch eine schalltechnische Prognose gemäß [TAL98] wurde untersucht, ob die gewählten Standorte hinsichtlich der zu erwartenden Geräuscheinwirkungen überhaupt realisierbar

sind, bzw. welche Geräuscheminderungsmaßnahmen erforderlich werden. Ausgangspunkt der Untersuchung ist das schalltechnische Modell einer typischen 1-zügigen elektrohydraulischen Tiefbohranlage mit Nebenanlagen.

Auf der Basis eines rechnergestützten Gelände- und Hindernismodells wurden die durch den geplanten Betrieb einer Tiefbohranlage der genannten Bauart zu erwartenden Geräuscheinwirkungen auf die nächstgelegene, schutzbedürftige Nachbarschaft (Immissionsorte) durch eine Schallausbreitungsrechnung ermittelt. Die Daten zu den Geräuschemissionen der hier betrachteten Bohranlage sind durch vorhergehende Geräuschemessungen an Anlagen dieses Typs bekannt.

## 8.2 Ergebnisse

Zur Verdeutlichung der Geräuscheinwirkungen in der Nachbarschaft der Bohranlage können die Geräuschpegel in Form von **Lärmkarten** dargestellt werden. In Abbildung 22 sind die Geräuschpegel für die Immissionshöhe von 5,6 m (1. OG) unter Berücksichtigung aller Schallschutzmaßnahmen für den **Betriebszustand Bohren** während der **Nachtzeit** dargestellt. Die Langzeit-Mittelungspegel  $L_{AT}(LT)$  stellen die Beurteilungspegel  $L_r$  der Zusatzbelastung nach TA Lärm für die Tages- und Nachtzeit dar.

Die Untersuchungen zeigen, dass ohne Schallschutzmaßnahmen an beiden alternativ geplanten Standorten die zugrunde zu legenden Immissionsrichtwerte in der nächstgelegenen Wohnnachbarschaft während der Tageszeit teilweise und insbesondere während der Nachtzeit deutlich überschritten werden.

Unter Berücksichtigung einer den Bohrplatz umschließenden 10 m hohen Schallschutzwand, die innen schallabsorbierend ausgekleidet ist, und einer teilweisen Kapselung der Spülpumpen wird für die beiden Betriebszustände Bohren und Roundtrip eine Geräuscheminderung erzielt, die tagsüber eine Einhaltung der Immissionsrichtwerte gewährleistet. Während der Nachtzeit ist jedoch an Bohrplatz 1 eine geringe Richtwertüberschreitung von maximal 3,5 dB(A) und an Bohrplatz 2 von maximal 8,9 dB(A) zu erwarten.

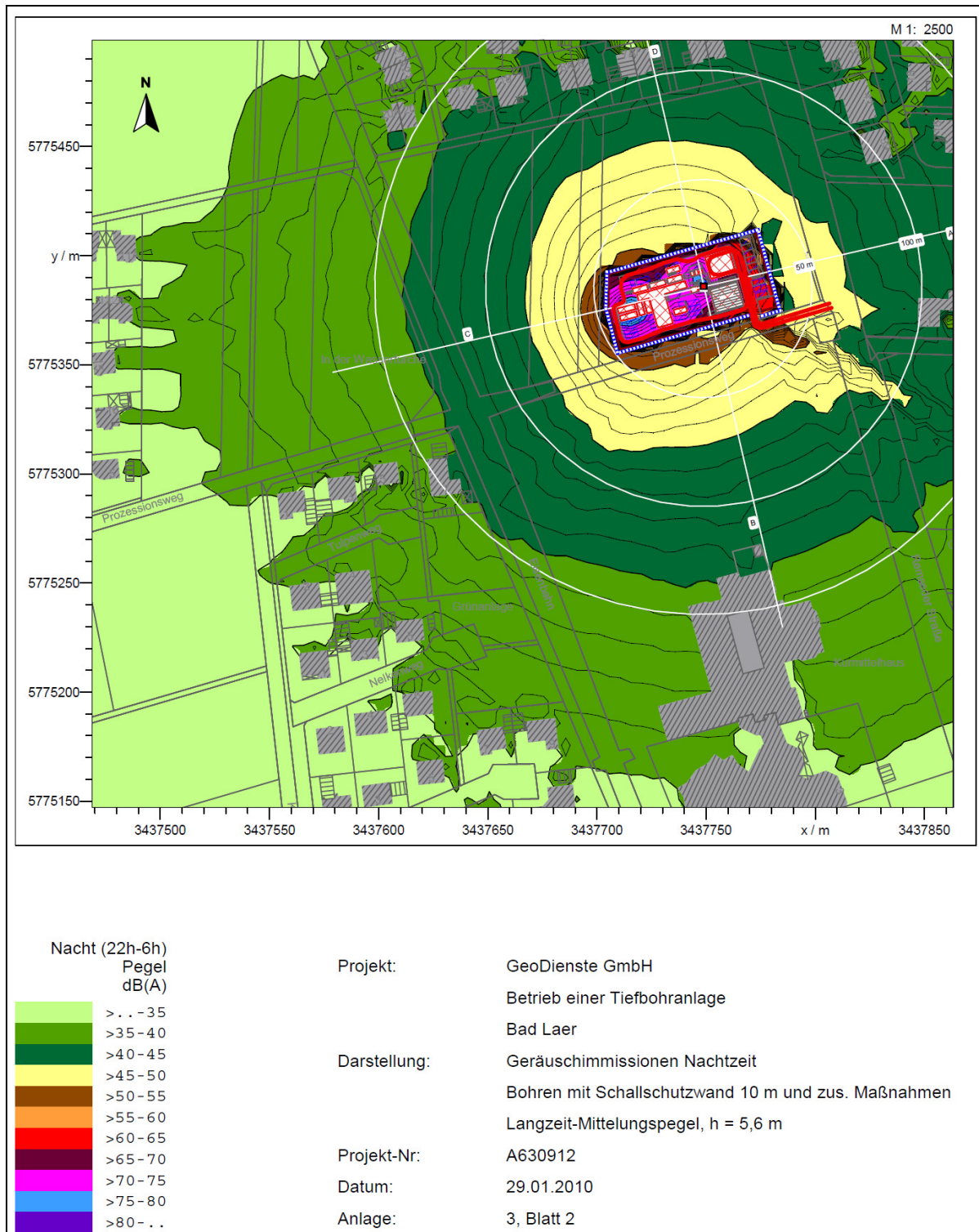
Ein Betrieb einer Bohranlage auf dem Bohrplatz 1 wäre auch während der Nachtzeit möglich, wenn Richtwertüberschreitungen toleriert werden können und für eine begrenzte Zeit ein um 5 dB(A) höherer Immissionsrichtwert (Toleranzwert) für den einzuhaltenden Beurteilungspegel vereinbart wird. Gleichwohl sind die Grundpflichten des Betreibers nach [TAL98] zu beachten.

Für einen Betrieb einer Bohranlage auf Bohrplatz 2 wären weitere Geräuscheminderungsmaßnahmen erforderlich, die dann schnell unverhältnismäßig und wirtschaftlich unvertretbar werden können.

Kurzzeitige Geräuschspitzen während der Tages- und Nachtzeit führen nicht zu einer Überschreitung des Maximalpegelkriteriums der [TAL98]. Es ist weiterhin nicht zu erwarten, dass von der untersuchten Anlage tieffrequente Geräusche ausgehen, die nach [TAL98] besonders beurteilt werden müssten. Anlagenbezogene Verkehrsgeräusche auf öffentlichen Verkehrsflächen führen nicht zu einer relevanten Erhöhung der Verkehrsgeräuscheinwirkungen gemäß [TAL98].

Unter den oben genannten Voraussetzungen kann auf dem Bohrplatz 1 eine Tiefbohranlage, die nach dem Stand der Lärminderungstechnik gebaut ist, bei Berücksichtigung der be-

schriebenen Schallschutzmaßnahmen aus schalltechnischer Sicht errichtet und betrieben werden. Die Kosten für die erläuterten Schallschutzmaßnahmen belaufen sich auf ca. 400.000 €.



**Abb. 22: Geräuschemissionen für die Immissionshöhe von 5,6 m (1. OG) während der Nachtzeit beim Betriebszustand Bohren mit einer 10 m hohen Schallschutzwand und zusätzlichen Maßnahmen, Bohrplatz 1 ([GTA]).**



## **9 Hydrogeologisches Beweissicherungskonzept**

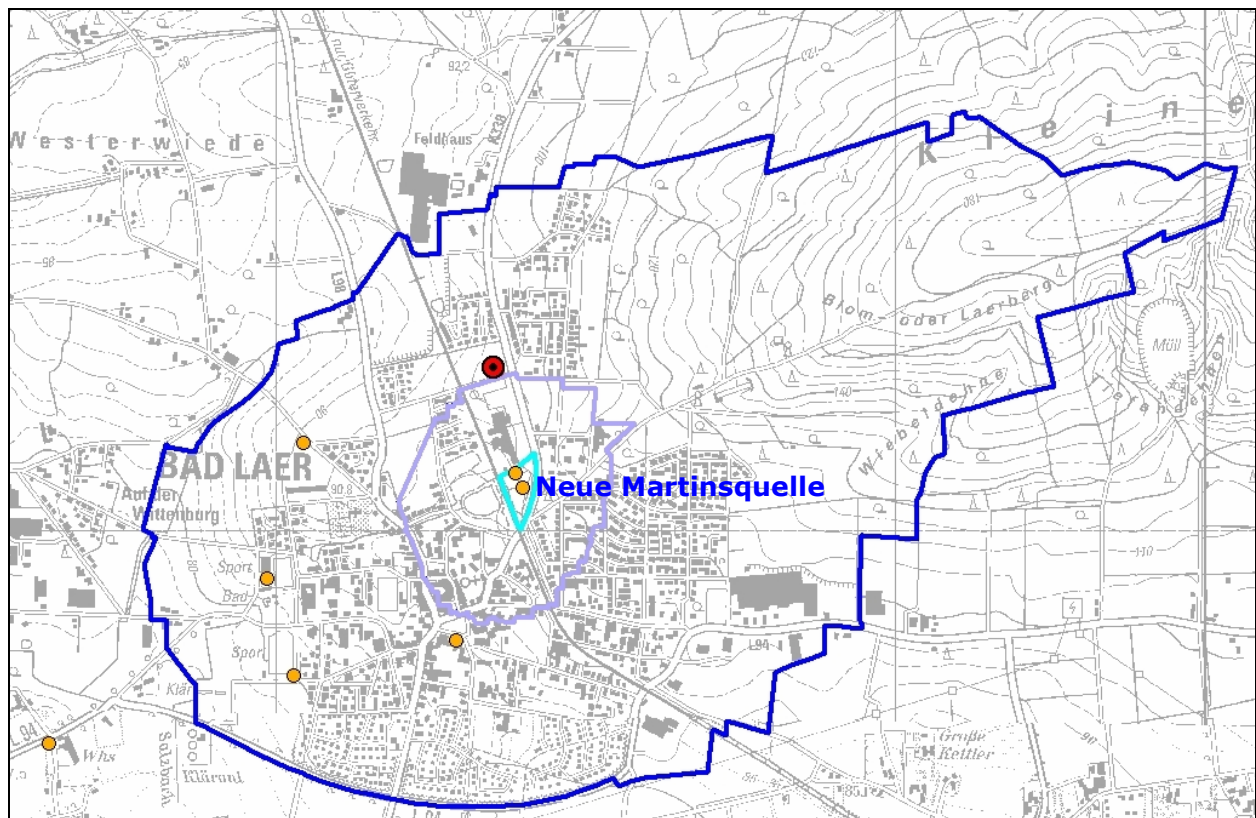
### **9.1 Hintergrund und Zielsetzung**

Aufgrund der räumlichen Nähe des vorgesehenen Bohrplatzes und der hydrogeologischen bzw. hydraulischen Standortgegebenheiten (vgl. Kap. 3.2) kann eine negative quantitative Beeinträchtigung der staatlich anerkannten Heilquelle Neue Martinsquelle durch die Erstellung einer Tiefbohrung nicht völlig ausgeschlossen werden. Die Möglichkeit einer durch den Bohrprozess hervorgerufenen Beeinträchtigung besteht im Hinblick auf qualitative und quantitative Aspekte. Einerseits kann es zu einer Verunreinigung durch vagabundierende Bohrspülung kommen, wodurch sich die Wasserbeschaffenheit verändern oder beispielsweise eine Trübung des Mineralwassers hervorgerufen werden könnte. Andererseits kann das hydraulische System (Fließsystem) gestört werden, was sich in einer Änderung oder gar Zerstörung genutzter Wegsamkeiten (vorrangig Klüfte im kretazischen Aquifer) äußern könnte. Dies würde gegebenenfalls zu einer Änderung der charakteristischen Beschaffenheit des Mineralwassers führen.

Bei der Aufstellung des bohrtechnischen Konzeptes (vgl. Kap. 7) wurde diesen besonderen Rahmenbedingungen bereits Rechnung getragen. Das bestehende Restrisiko der Beeinträchtigung soll durch erhöhte Anforderungen an die Umsetzung der Tiefbohrung und die Durchführung von flankierenden Beweissicherungsmaßnahmen weiter gemindert werden. Wesentliche Zielsetzungen des Beweissicherungskonzeptes sind das frühzeitige Erkennen von negativen Entwicklungen bzw. Beeinträchtigungen des Grund-/Mineralwassers sowie die Entwicklung von Lösungsansätzen. Durch die Dokumentation und laufende Auswertung relevanter Bewegungsdaten können mögliche Beeinträchtigungen durch den Bohrvorgang bewertbar gemacht und ein Spielraum für zeitnahes Handeln geschaffen werden.

### **9.2 Beweissicherungsmaßnahmen**

Um mögliche Einflüsse der Bohrtätigkeiten in Hinblick auf quantitative Aspekte bewertbar zu machen, sollte an ausgesuchten Messstellen eine kontinuierliche Messung des Grundwasserstandes (Standrohrspiegelhöhe) bzw. des Betriebswasserspiegels, sofern möglich mittels Datenlogger, sowie eine wöchentliche bzw. bei Bedarf tägliche Aufzeichnung von Förder- bzw. Schüttungsmengen erfolgen. Die Beweissicherungsmaßnahmen sollten in einem Zeitraum ab sechs Wochen vor Beginn der Bohrtätigkeiten bis einschließlich sechs Wochen nach Beendigung der Bohrtätigkeiten erfolgen. Um den klimatischen Einfluss auf die Entwicklung des Grundwasserspiegels ableiten zu können, sollten Niederschlagshöhen für den genannten Zeitraum beschafft bzw. berücksichtigt werden. Die Lage der im Rahmen des Beweissicherungsprogrammes zu untersuchenden Messstellen geht aus Abbildung 23 hervor.



**Abb. 23: Messstellen (gelb) für das flankierende hydrogeologische Beweissicherungsprogramm, rot = Lage des geplanten Ansatzpunktes der Tiefbohrung Bad Laer Gt1, türkis = Schutzzone 1 des Heilquellenschutzgebietes Bad Laer, violett = Schutzzone A, dunkelblau = Schutzzone B**

Um einen Zusammenhang zwischen einer möglichen negativen Beeinträchtigung der charakteristischen Beschaffenheit des Grund-/Mineralwassers und dem Abteufen der Tiefbohrung ableiten zu können, ist eine Ermittlung der Parameter Temperatur, pH-Wert und elektrische Leitfähigkeit als Maß für die Gesamtmineralisation sinnvoll. Zudem sollte eine organoleptische Beurteilung hinsichtlich Trübung, Farbe und Geruch des Grund-/Mineralwassers erfolgen. Die genannten Parameter sind an den Brunnen Neuen Martinsquelle sowie Augustinusquelle zu bestimmen. Die Erhebung der Daten sollte wiederum wöchentlich in einem Zeitraum von sechs Wochen vor Beginn bis einschließlich sechs Wochen nach Beendigung der Bohrtätigkeiten erfolgen. Während der Durchteufung des kretazischen Aquifers (voraussichtlich ca. 10 bis 14 Tage) sollten die Daten, sofern möglich, täglich ermittelt werden.

Darüber hinaus sollte das Heilwasser der Neuen Martinsquelle auf seine wertbestimmenden Inhaltstoffe Natrium, Chlorid, Fluorid sowie Kohlenstoffdioxid hin analysiert werden. Hierzu wird ein zweiwöchentlicher Turnus im Zeitfenster sechs Wochen vor und nach dem Niederbringen der Tiefbohrung vorgeschlagen.

Der tatsächliche Umfang der quantitativen und qualitativen Beweissicherungsmaßnahmen sollte nach erfolgter Eignungsprüfung der Messstellen sowie Zustimmung der Eigentümer mit den zuständigen Fach- und Genehmigungsbehörden zu gegebener Zeit abgestimmt und in einem Durchführungsplan festgehalten werden.

## 10 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung und Sensitivitätsanalysen

### 10.1 Basisdaten / Eingangsparameter

Die Wirtschaftlichkeit des Erdwärmesondenprojekts Bad Laer wird daran gemessen, ob die Beckenwassertemperierung der Bestandsbecken (Therapie- und Bewegungsbecken) des SoleVital sowie des geplanten Außenbeckens und die Warmwasserbereitung im SoleVital und gegebenenfalls der angrenzenden Blomberg-Klinik oder des geplanten Hotelneubaus günstiger ist, als die herkömmliche Beheizung mit Fernwärme. Um diese Frage zu beantworten, wurde ein Cashflow-Modell für ein „virtuelles“ Erdwärmesonden-Wärmeversorgungsunternehmen entwickelt und durch eine Variation relevanter Eingangsparameter verschiedene Szenarien betrachtet.

In die Wirtschaftlichkeitssimulation haben verschiedene Parameter Eingang gefunden, die nachfolgend erläutert werden. Es wird davon ausgegangen, dass die Investitionen im Jahr 2010 und die Inbetriebnahme ein Jahr versetzt, also im Jahr 2011 erfolgt. Für Kalkulationszwecke beträgt die Nutzungsdauer der tiefen Erdwärmesonde 25 Jahre. Das Gesamtinvestitionsvolumen für den Bau der tiefen Erdwärmesonde Bad Laer, den Schallschutz sowie die Anbindung an die Versorgungstechnik beläuft sich auf ca. 4,5 Mio. €.

Die Leistung der tiefen Erdwärmesonde wird mit 252 kW (Wärmekapazität 4,2 kJ/kg/K) angesetzt. Die Zirkulationsrate beträgt 6 l/s, die Vorlauftemperatur (Fördertemperatur) 45°C und die Rücklauftemperatur 35°C. Die geplante Bohrtiefe beläuft sich gemäß der Ergebnisse der Sondenmodellierung (vgl. Kap. 6) auf 2.900 m.

In den Jahren 2006 bis 2008 schwankte die erforderliche Heizleistung des SoleVital übers Jahr hinweg zwischen ca. 120 kW und ca. 430 kW. Das bedeutet, dass eine Erdwärmesonde mit einer Leistung von 252 kW im Jahresdurchschnitt etwa 85 % Auslastung zeigt, so dass die jährlichen Betriebsstunden der Erdwärmesonde mit 7.450 angesetzt werden. Hieraus folgt, dass die 252 kW-Sonde im Projekt eine Wärmearbeit von 1.877 MWh bereitstellen und insoweit Fernwärme verdrängen bzw. einsparen kann. Der tatsächliche mittlere Wärmebedarf liegt einschließlich eines geplanten Außenbeckens bei ca. 2.200 MWh (vgl. Kap. 4). Dies bedeutet, dass in Zeiten mit hoher Heizlast Fernwärme zu einem Einkaufspreis von 76,20 € zugekauft werden muss. Es wird eine 3%ige Preissteigerung über einen Zeitraum von 25 Jahren unterstellt. Dies ist ein vorsichtiger Wert, denn höhere Preissteigerungsannahmen würden die Projekteinnahmen verbessern (ersparter Fernwärmebezug!).

Die Nennleistung der Umwälzpumpe (Sondenkreislauf) wird mit 5 kW angegeben, woraus sich entsprechend der oben dargelegten Betriebsstunden ein Eigenstrombedarf von 37 MWh jährlich ergibt. Der Strompreis für den Eigenenergiebezug wird mit netto 180,00 € je MWh berücksichtigt. Es wird weiterhin ein Preisanstieg während des 25-jährigen Betrachtungszeitraums von 4% p.a. zu Grunde gelegt. Auch alle sonstigen Aufwandspositionen (insbesondere die Instandhaltung) sollen während des Betrachtungszeitraums inflationär um 2% p.a. steigen.

Das Bad weist derzeit einen Bruttoeintrittspreis von 5,80 € aus, was nach Abzug der 7%igen Umsatzsteuer einem Nettopreis von ca. 5,40 € entspricht. Die Betriebstage des Bades werden mit jährlich 350 Tagen angenommen, da etwa zwei Wochen für Wartung und sonstige Schließzeiten anfallen.

Es wird unterstellt, dass mit der bloßen Umstellung des Heizsystems von Fernwärme auf eine tiefe Erdwärmesonde keine zusätzlichen Verwaltungsaufwendungen verbunden sind.

Die tiefe Erdwärmesonde selbst läuft nahezu „wartungsfrei“. Es wird vorsorglich 0,25 % des Investitionsbetrages als jährliche Instandhaltung einkalkuliert. Dies entspricht anfänglich einem Betrag von etwas über 11.000,00 €, inflationär steigend bis zum Ende des Betrachtungszeitraumes auf ca. 18.000,00 €.

Das Projekt soll mit Ausnahme der Fördermittel der Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) durch klassische Annuitätendarlehen finanziert werden. Bei den KfW-Mitteln handelt es sich um ein zinsgünstiges Darlehen, für das die KfW zusätzlich Darlehensteilerlasse gewährt. Die Darlehenszinsen werden von der KfW risikoangemessen justiert. Im vorliegenden Fall wird von einem Zinssatz von 3,8% ausgegangen. Nach Ablauf der 10-jährigen Zinsbindung wird ein Zinsaufschlag von 1,5% unterstellt.

Der Darlehensteilerlass – steuerlich im Jahr der Zusage AO-Ertrag – berechnet sich über die verschiedenen Teufenlagen zu Fördersätzen von 375,00 € bis 750,00 € je Bohrmeter. Im Falle der 2.900 m tiefen Sonde ist mit einem Darlehensteilerlass von 1.275.000,00 € zu rechnen. Statt der im Beispiel aufzunehmenden 3,6 Mio. € (max. 80% der Investitionen können über das KfW-Darlehen finanziert werden) müssen also nur 2.325.000,00 € getilgt werden.

In allen Szenarien wird unterstellt, dass der Projektinitiator Eigenkapital nicht zuschießt, und die für die Finanzierung erforderliche Projektbonität auf dem bestehenden Bäderkomplex insgesamt beruht. Die fehlenden Mittel müssen durch sonstige Bankdarlehen abgedeckt werden. Es wird ein Zinssatz von 6,5% während einer 10-jährigen Zinsbindung unterstellt, danach erneut eine Verteuerung um 1,5%.

## 10.2 Szenarien

Für die Betrachtung der Wirtschaftlichkeit werden drei verschiedene Szenarien (pessimistisch, konservativ/realistisch, optimistisch) aufgestellt, in denen die Anzahl der Mehrbesucher, der Eintrittspreis des SoleVital sowie ein möglicher Zuschuss Dritter (z.B. durch das Land, den Landkreis etc.) variiert (Tab. 3). Alle zuvor erläuterten Eingangsgrößen blieben unverändert.

**Tab. 3: Im Rahmen der Wirtschaftlichkeitsanalyse betrachtete Szenarien**

<b>Szenarienwahl tiefe Erdwärmesonde Bad Laer</b>			
<b>Parameter</b>	<b>pessimistisch</b>	<b>konservativ/realistisch</b>	<b>optimistisch</b>
<b>Anzahl Mehrbesucher</b>	0	75	150
<b>Eintrittspreis</b>	5,00 €	5,50 €	6,00 €
<b>Zuschuss Dritter (z.B. Land)</b>	0 €	250.000 €	500.000 €

In allen Szenarien wird unterstellt, dass die gewählten Eintrittspreise trotz allgemeiner Preissteigerungen über 25 Projektbetrachtungsjahre konstant bleiben. Es handelt sich insofern um einen sehr vorsichtigen Planungsansatz.

### 10.3 Ergebnisse

In Tabelle 4 sind die betriebswirtschaftlichen Kennzahlen zu den einzelnen Szenarienbetrachtungen zusammengefasst.

**Tab. 4: Szenarienauswertung**

<b>Szenarienauswertung tiefe Erdwärmesonde Bad Laer</b>			
<b>25-jähriger Betrachtungszeitraum (nach Steuern)</b>	<b>pessimistisches Szenario</b>	<b>konservativ/realistisch Szenario</b>	<b>optimistisch Szenario</b>
<b>Interne Verzinsung</b>	-	11,31%	96,83%
<b>Kapitalwert (6%)</b>	-1.330.000 €	520.000 €	2.550.000 €
<b>Projektergebnis</b>	-1.010.000 €	2.120.000 €	5.780.000 €
<b>Amortisation Nominalwert</b>	nach über 25 Jahren	nach 17 Jahren	nach 2 Jahren
<b>Amortisation Barwert (6%)</b>	nach über 25 Jahren	nach 20 Jahren	nach 2 Jahren

Die wirtschaftlichen Ergebnisse der drei Szenarien schwanken zwischen rund 1 Mio. € Unterdeckung, gut 2 Mio. € Überdeckung sowie knapp 6 Mio. € Überdeckung gemessen an den kumulierten Projektergebnissen über den Betrachtungszeitraum von 25 Jahren. Dies drückt sich in Projektbarwerten (Zinssatz von 6 %) von -1,3 Mio. €, ca. 500.000 € sowie ca. 2,5 Mio. € aus. Das pessimistische Szenario zeigt so ein gerade nicht mehr wirtschaftliches, das konservativ/realistische Szenario ein gut wirtschaftliches und das optimistische Szenario ein ungewöhnlich gut wirtschaftliches Projekt. Die Projektergebnisse hängen primär von der Annahme der Veränderung der Besucherzahlen ab.

Beim konservativ/realistischen Szenario muss trotz guter Rentabilität über einen Zeitraum von etwa 12 Jahren noch eine liquide Unterdeckung von insgesamt 630.000 € aus dem sonstigen Solebadbetrieb ausgeglichen werden. Ungeachtet der liquiditätsmäßigen Belastung der ersten 12 Jahre erwirtschaftet das Projekt im konservativ/realistischen Szenario mit einer internen Verzinsung nach Steuern von über 11 % eine interne Verzinsung (Gesamtkapitalrentabilität), die gemessen an der Rendite sonstiger erneuerbarer Energieprojekte (z.B. im Wind- oder Photovoltaikbereich) als sehr gut zu bezeichnen ist. Sie würde in dieser Höhe in anderen tiefen Geothermieprojekten nur schwer zu erzielen sein.

## **11 Risikobetrachtung**

Die Erschließung tiefengeothermischer Energie ist immer mit Risiken verbunden, da hierzu ein hoher technischer Aufwand notwendig ist und sich die tatsächlichen Untergrundverhältnisse erst mit der Erkundungsbohrung erschließen. Generell ist das Risiko bei einer Erschließung mittels geschlossener Systeme (tiefe Erdwärmesonde) gegenüber offenen Systemen (hydrogeothermale Dublette) deutlich geringer.

Ziel der Machbarkeitsstudie ist es, durch die Auswertung aller verfügbaren Detaildaten die vorhandenen geologischen, (bohr-) technischen und wirtschaftlichen Risiken weitgehend zu minimieren. Im Ergebnis kann die grundsätzliche technische und wirtschaftliche Machbarkeit des Projektes bewertet werden.

### **11.1 Geologisches Risiko**

Im Allgemeinen wird unter dem geologischen Risiko verstanden, dass die prognostizierten Parameter für den Erschließungshorizont nicht angetroffen werden. Im Falle einer hydrogeothermischen Erschließung (offene Erschließung vorhandener Thermalwasseraquifere) wird von „Fündigkeitsrisiko“ gesprochen. Die Fündigkeit definiert sich hierbei aus der erwarteten Spanne für Temperatur und Zuflussrate, die letztendlich die erzielbare geothermische Leistung definieren. Liegen die Werte außerhalb dieser Spanne, gilt die Bohrung als „nicht fündig“ und die erwartete Produktivität (geothermische Leistung) wird nicht oder nicht im erwarteten Maße erreicht.

Für das Erschließungsmodell der tiefen Erdwärmesonde entfällt das Fündigkeitsrisiko (i.e.S.), da lediglich die Temperatur bzw. der Wärmefluss und der konvektive bzw. konduktive Wärmetransport von Bedeutung sind. Aufgrund der nach derzeitigem Kenntnisstand eher geringen Abweichungen bei den prognostizierten Temperaturen und der relativ gut bekannten strukturellen Untergrundsituation wird das geologische Risiko als niedrig eingeschätzt.

### **11.2 Allgemeines bohrtechnisches Risiko**

Die Entwicklung der Tiefbohrtechnik wurde und wird besonders von der Erdöl- und Erdgasindustrie intensiv vorangetrieben. In jüngster Zeit werden zudem vermehrt Forschungsvorhaben aufgesetzt, z.B. der Forschungsverbund Geothermie und Hochleistungstechnik (gebo, [FGH10]), die insbesondere auf die besonderen Rahmenbedingungen von Geothermiebohrungen fokussiert sind. Trotzdem ist das Risiko von technischen Havarien auch bei modernen Rotary-Anlagen gegeben, die dann zu kostenrelevanten Verzögerungen oder – im Extremfall – zur Aufgabe der Bohrung führen können.

Neben den materialbedingten Risiken spielt hierbei auch die Geologie eine große Rolle. Probleme treten besonders auf, wenn anlagentechnische Parameter (Meißeldrehzahl, Bohrspülung) nicht oder zu spät den wechselnden geologischen Verhältnissen angepasst werden. Eine falsche Wahl der Bohrspülung kann außerdem zu einer Schädigung vorhandener Grund-, Thermal- oder Solewasserhorizonte führen. Bei tieferen Bohrungen muss der Gefahr von Gaszutritten durch geeignete Maßnahmen Rechnung getragen werden (Blowout Preventer). Bei einem technischen Defekt haftet das Bohrunternehmen. Im Versicherungs-

fall führt die Definition der Ursache der Havarie (Geologie oder Technik) allerdings häufig zu rechtlichen Auseinandersetzungen.

Im Falle einer Tiefbohrung in unmittelbarer Nähe des SoleVital im Stadtgebiet Bad Laer können die anzutreffenden geologischen Untergrundverhältnisse aus der Bohrung Bad Laer Z1 abgeleitet werden. Die anlagentechnischen Parameter sollten daher gut auf die zu erwartenden Veränderungen einstellbar sein. Weiterhin sind alle gängigen Sicherheitsvorkehrungen (z.B. Einbau eines Blowout Preventer) vorgesehen. Aus rein bohrtechnischer Sicht sollte die Durchführung der Tiefbohrung daher problemlos gestaltet werden können.

### **11.3 Bohrtechnisches Risiko in Bezug auf die staatlich anerkannten Heilquelle Neue Martinsquelle**

Aufgrund der räumlichen Nähe und der hydrogeologischen bzw. hydraulischen Standortgegebenheiten (vgl. Kap. 3.2) kann eine negative quantitative bzw. qualitative Beeinträchtigung der staatlich anerkannten Heilquelle Neuen Martinsquelle durch das Niederbringen einer Tiefbohrung zum Neubau einer tiefen Erdwärmesonde nicht völlig ausgeschlossen werden.

Die größte Gefährdung birgt der Bohrvorgang selbst bis zum Einbringen der Verrohrung im Bereich des Kalksteinaquifers (bis ca. 450 m u. GOK) bzw. im Bereich des Erschließungshorizontes der Neuen Martinsquelle (110 – 160 m u. GOK). Das Durchteufen des Oberkarbons, der fachgerechte Ausbau der Bohrung zur tiefen Erdwärmesonde und der spätere ordnungsmäßige Betrieb der Sonde als geschlossenes System sollte keine Gefährdung für die staatlich anerkannte Heilquelle und die weiteren Solebrunnen im Stadtgebiet von Bad Laer darstellen. Als grundsätzlich positiv ist daher zu bewerten, dass die Arbeiten im sensiblen Bereich zeitlich (ca. eine Woche) und hinsichtlich der Teufe (bis ca. 200 m) begrenzt sind.

Bei mehreren Abstimmungsgesprächen unter Beteiligung des Landesamtes für Bergbau, Energie und Geologie wurden bohrtechnische Lösungsansätze zur Umsetzung der geplanten Tiefbohrung diskutiert. Seitens der Fachbehörde wurde die Umsetzbarkeit bzw. Genehmigungsfähigkeit des Vorhabens als positiv eingeschätzt. Die Vorschläge der Fachbehördenvertreter wurden in der bohrtechnischen Planung berücksichtigt (vgl. Kap. 7).

Das bestehende Restrisiko einer Gefährdung der Heilquelle kann durch die vorgesehenen bohrtechnischen Maßnahmen, erhöhte Anforderungen und vorsichtiger Vorgehensweise bei der Umsetzung der Tiefbohrung minimiert werden (vgl. Kap. 7 und 9). Darüber hinaus ist ein flankierendes Beweissicherungsprogramm vorgesehen (vgl. Kap. 9), um mögliche Einflüsse der Bohrarbeiten bewertbar zu machen. Ferner sollen die bohrtechnischen Risiken durch die Wahl eines Bohrunternehmens mit Erfahrungen in hydrogeologisch anspruchsvollen Bereich und hochqualifizierter Servicefirmen (Logging- und Spülservice) weiter reduziert werden.

Bei Einhaltung aller erläuterten bohrtechnischen Maßnahmen und Umsetzungsvorschlägen wird das Risiko einer negativen Beeinträchtigung der staatlich anerkannten Heilquelle Neue Martinsquelle durch die Erstellung der Tiefbohrung als gering erachtet.

#### **11.4 Wirtschaftliches Risiko**

Ein wirtschaftliches Risiko leitet sich hauptsächlich aus einer gegebenenfalls unzureichenden Leistung der tiefen Erdwärmesonde und einer schlechten Wirtschaftlichkeitsberechnung ab. Durch die Aufstellung eines Konzeptes zur effektiven Nutzung der bereitgestellten geothermischen Energie (vgl. Kap. 4), die Entwicklung eines innovativen Bohr- und Sondendesigns (vgl. Kap. 5), die umfangreiche Modellierung der verfügbaren geothermischen Leistung über einen Zeitraum vom 25 Jahren (vgl. Kap. 6) und die Durchführung einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung mit Sensitivitätsanalyse der relevanten Parameter (vgl. Kap. 10) wurde das wirtschaftliche Risiko so weit wie möglich minimiert. Die Ergebnisse der vorliegenden Machbarkeitstudie definierten die Rahmenbedingungen für eine effiziente und wirtschaftliche Umsetzung des Projektes, so dass eine Steuerung der wesentlichen Zielgrößen möglich ist.



## **12 Fazit**

Durch die Machbarkeitsstudie konnten die geologischen und technischen Voraussetzungen für die Realisierung des Projekts geschaffen und die bestehenden geologischen, (bohr-) technischen und wirtschaftlichen Risiken minimiert werden (vgl. Kap. 10). Sowohl die grundsätzliche technische als auch die wirtschaftliche Machbarkeit konnten durch die Auswertung aller verfügbaren Detaildaten nachgewiesen werden.

In der Zusammenschau aller Ergebnisse wird eine Realisierung des Projektes empfohlen. Mit der Machbarkeitsstudie liegen die notwendigen Daten für die Antragstellung zum bergrechtlichen Rahmenbetriebsplanverfahren vor, das unmittelbar nach Abschluss der Machbarkeitsstudie eingeleitet werden soll. In diesem Verfahren wird die generelle Genehmigungsfähigkeit des Vorhabens geprüft. Die Machbarkeitsstudie ist außerdem die Voraussetzung für die Beantragung von Fördermitteln aus dem Marktanreizprogramm und anderen Fördermittelprogrammen. Die Durchführung der Genehmigungsverfahren als auch der flankierenden Fördermaßnahmen erfolgt im 2. und 3. Quartal 2010. Parallel hierzu werden die Arbeiten zum Bau der Erdwärmesonde ausgeschrieben. Unter der Maßgabe, dass die notwendigen Genehmigungen erteilt und die Fördermittel bewilligt werden, wird im 4. Quartal 2010 die Verlängerung der bestehenden befristeten Aufsuchungserlaubnis beantragt. Die Bohrarbeiten sollen im 1. Quartal 2011 durchgeführt werden. Die Inbetriebnahme der Anlage ist für das 3. Quartal 2011 vorgesehen.

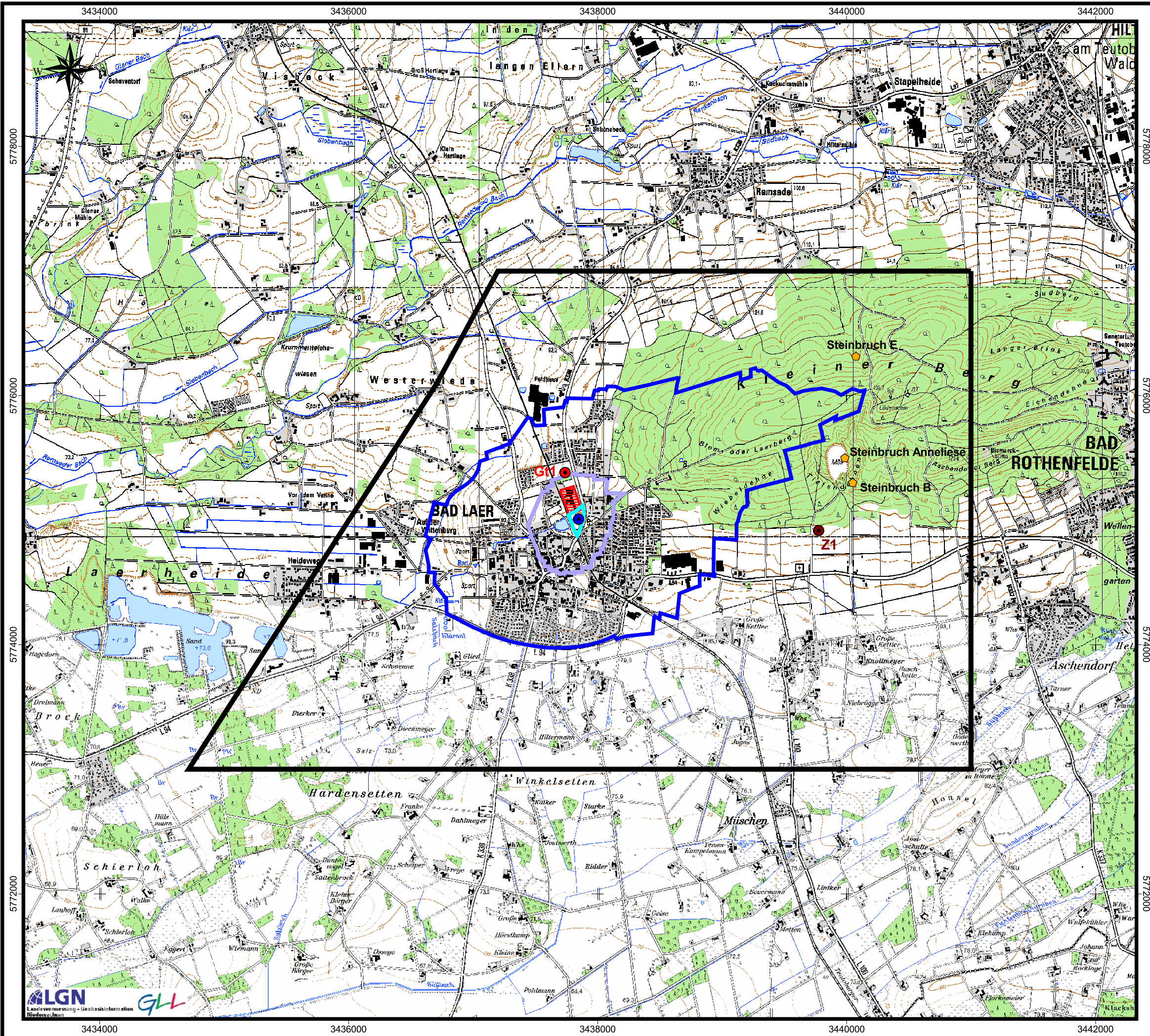
### 13 Literaturverzeichnis

- [AVVB70] AVV BAULÄRM: *Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Schutz gegen Baulärm. Geräuschimmissionen vom 19.08.1970, Beilage zum Bundesanz. Nr. 160 vom 01.09.1970.*
- [BBFK01] BALDSCHUHN, R., BINOT, F., FLEIG, S. UND KOCKEL, F.: *Geotektonischer Atlas von Nordwest-Deutschland und dem deutschen Nordsee-Sektor.* Geologisches Jahrbuch Reihe A Nr. 153, Hannover, 2001.
- [DKM86] DEUTLOFF, O., KÜHN-VELTEN, H. UND MICHEL, G.: *Erläuterungen zu Blatt C 3914 Bielefeld.* Geol. Kt. Nordrh.-Westf. 1 : 100 000, Krefeld, 1986.
- [Dro05] DROZDZEWSKI, G.: *Zur sedimentären Entwicklung des Subvariscikums im Namurium und Westfalium Nordwestdeutschlands.* Cour. Forsch.-Inst. Senckenberg, 254: Seiten 271-320; Frankfurt a. M., 2005.
- [FGH10] FORSCHUNGSVERBUND GEOTHERMIE & HOCHLEISTUNGSTECHNIK: <http://www.gebonds.de>, 29.04.2010.
- [GLNRW95] GEOLOGISCHES LANDESAMT NORDRHEIN-WESTFALEN (HRSG.): *Geologie im Münsterland.* Krefeld, 1995.
- [GLNRW03] GEOLOGISCHES LANDESAMT NORDRHEIN-WESTFALEN (HRSG.): *Geologie im Weser- und Osnabrücker Bergland.* Krefeld, 2003.
- [GDNRW04] GEOLOGISCHER DIENST NORDRHEIN-WESTFALEN: *Geologische Karte von Nordrhein-Westfalen 1 : 500 000.* Krefeld, 2004.
- [GDNRW06] GEOLOGISCHER DIENST NORDRHEIN-WESTFALEN: *Hydrogeologische Karte von Nordrhein-Westfalen 1 : 50 000 Blatt L 3914 Bad Iburg.* Krefeld, 2006.
- [GDH98] GÜNTHER, K., DROZDZEWSKI, G. & HISS, M: *Neue Erkenntnisse zum geologischen Bau des „Kleinen Berges“ zwischen Bad Laer und Bad Rothenfelde (südwestliches Niedersachsen) aufgrund der Ergebnisse der Tiefbohrung Bad Laer Z 1 (1993).* Mitt. Geol. Inst. Univ. Hannover, 38: Seiten 87-113, Hannover, 1998.
- [Gün07] GÜNTHER, K.: *Hydrogeologisches Gutachten zur Ausweisung eines Heilquellenschutzgebietes für die Neue Martinsquelle in Bad Laer.* unveröff., Hannover, 2007.
- [HG30] HAACK, W. UND GÖRZ, G.: *Erläuterungen zu Blatt 3814 Iburg/Osning.* Geologische Karte von Preußen 1 : 25 000, Berlin, 1930.
- [Kes87] KESSELS, W.: *Das Wärmetauschersystem einer Tiefbohrung.* Sitzungsbericht der 17. Sitzung der FKPE-Arbeitsgruppe „Ermittlung der Temperaturverteilung im Erdinneren“, Hannover, 1987.

- [Kes88] KESSELS, W.: *Abschätzung der zu erwartenden Temperaturstörungen im Gebirge durch das Erstellen der Kontinentalen Tiefbohrung der Bundesrepublik Deutschland (KTB)*. KTB-Report 88-4: Seiten 155-177, Hannover, 1988.
- [Kes09a] KESSELS, W.: *Ringraumanregung zur Steigerung der Wärmeentzugsleistung von Erdwärmesonden*. GTV Jahrestagung 2009, Bochum, 2009.
- [Kes09b] KESSELS, W.: *Thermisches und hydraulisches Wärmeentzugspotenzial tiefer Erdwärmesonden*. Energie und Rohstoffe, Goslar, 2009.
- [Kes09c] KESSELS, W.: *Projektskizze Superisolation für Tubings*. unveröff., Burgdorf, 2009.
- [Mic73] MICHEL, G.: *Bericht über die geologisch-hydrogeologischen Ergebnisse der Neuen Martinsquelle*, Hannover, 1973.
- [Mic83] MICHEL, G.: *Die Sole des Münsterländer Kreide-Beckens*. – N. Jb. Geol. Paläont. Abh., 166: Seiten 139-159; Stuttgart, 1992.
- [SDMV92] STAUDE, H., DUBBER, H.-J., MICHEL, G. und VOGLER, H.: *Erläuterungen zu Blatt 3914 Versmold*. Geologische Karte von Nordrhein-Westfalen 1 : 25 000, Krefeld, 1992.
- [Rog08] ROGGE & CO. GMBH: *Vorstudie zu den geologischen und verfahrenstechnischen Möglichkeiten der Erdwärmenutzung am Standort Bad Laer*. unveröff., Garbsen, 2008.
- [Rog08b] ROGGE & CO. GMBH: *Erschließung des geothermischen Potenzials in Bad Laer mittels einer Tiefen Erdwärmesonde - Bewertung möglicher Standorte*. unveröff., Garbsen, 2008.
- [TAL98] TA LÄRM: *Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm*. 6. Allg. Verwaltungsvorschrift zum Bundesimmissionsschutzgesetz vom 26.08.1998, Gem. Min. Bl. Nr. 26, 1998.
- [VGVC06] VDI-GESELLSCHAFT VERFAHRENSTECHNIK UND CHEMIEINGENIEURWESEN (HRSG.): *VDI-Wärmeatlas*. 10. Auflage, 2006.
- [VDI08] VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE: *Thermische Nutzung des Untergrundes – Grundlagen, Genehmigungen, Umweltaspekte, VDI-Richtlinie 4640, Blatt 1 Entwurf*. Düsseldorf, 2008.

## **Anhang 1**

### **Topographische Übersichtskarte**



Gesundheitszentrum Bad Laer GmbH  
 Grüner Weg 1  
 49196 Bad Laer



**Machbarkeitsstudie:  
 Tiefe Erdwärmesonde Bad Laer**  
 Topographische Übersichtskarte

- Zeichenerklärung**
- Aufsuchungsfeld
  - SoleVital (Sole-Therapiebad)
  - Neue Martinsquelle
  - geplanter Bohrstandort Bad Laer Gt1
  - Bad Laer Z1
  - Steinbruch (Probenahme der Handstücke zur Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit.)
- Heilquellenschutzgebiet Bad Laer**
- Schutzzone I
  - Schutzzone A
  - Schutzzone B

Maßstab 1 : 30 000 (Ausgabe DIN A 3)

Kartengrundlage: DTK 25 Blatt 3814 Bad Iburg und 3914 Versmold  
 Auszug aus den Geobasisdaten der Niedersächsischen  
 Vermessungsverwaltung © 2006 LGN GLL

**GeoDienste** GmbH  
 Geologie - Hydrogeologie - Geothermie  
 Leinestraße 33, 30827 Garbsen  
 Telefon (+49) 5131. 45 65-0  
 Telefax (+49) 5131. 46 65 60

Datum: 30.04.2010  
 Bearb.: K. Fromme  
 Proj. Nr.: 0246091  
**Anhang 1**

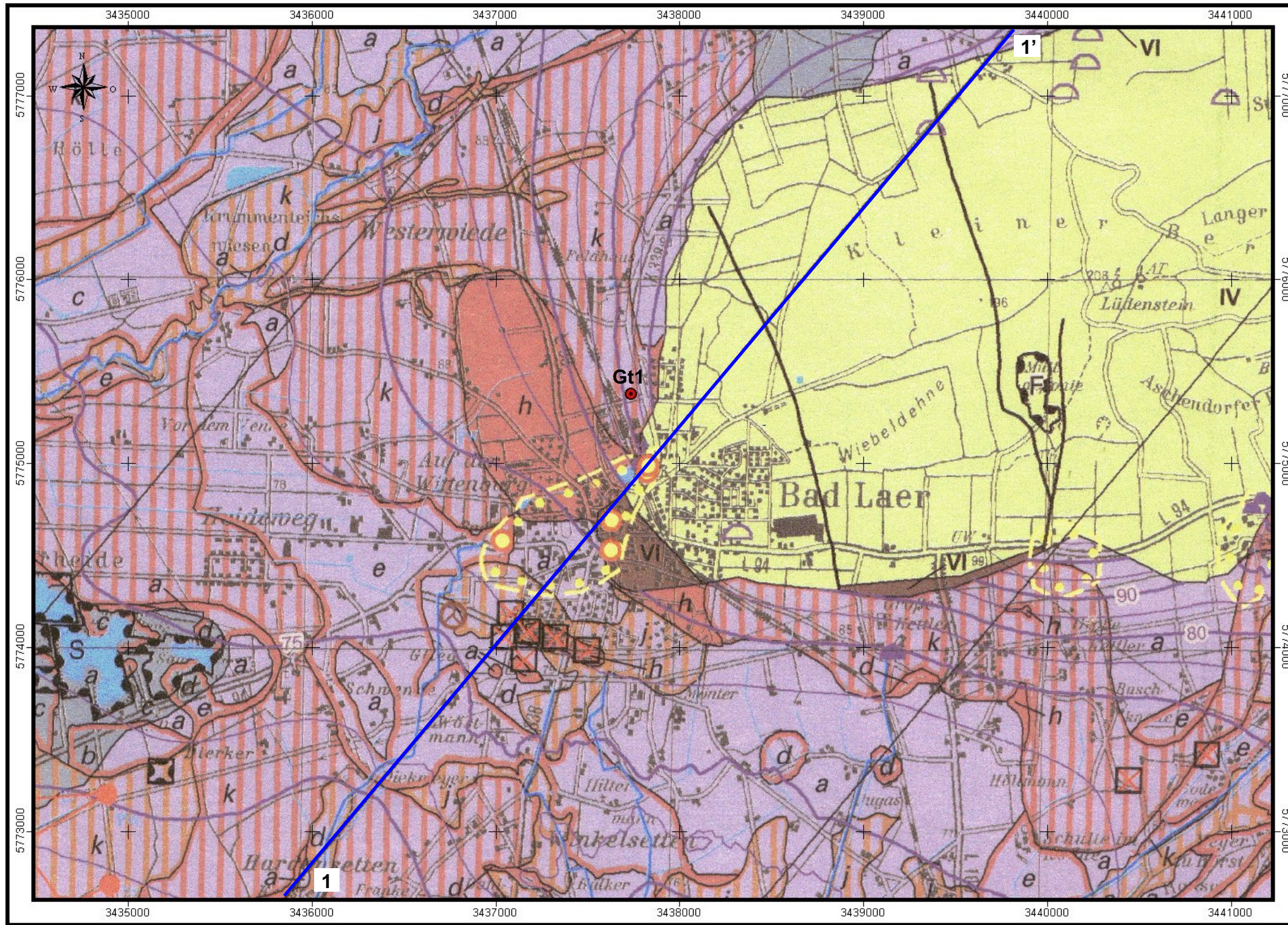
Datei: 0246\_Sanicare\_gt.apr | Layout: Anhang 1



## **Anhang 2**

### **Hydrogeologische Übersichtskarte**





## Machbarkeitsstudie: Tiefe Erdwärmesonde Bad Laer

### Hydrogeologische Übersichtskarte

- #### Zeichenerklärung
- geplanter Bohrstandort Bad Laer Gt1
  - Profilschnitt (HY-Karte von NRW)
  - Verwerfung
  - Grundwassergeringleiter (Durchlässigkeitsklasse 6) im Niveau der Grundwasseroberfläche über Grundwasserleiter (j-m)
  - Grundwassergeringleiter (Durchlässigkeitsklasse 5) im Niveau der Grundwasseroberfläche über Grundwasserleiter (j-m)
  - Grundwassergeringleiter der Klassen 5, 6 und 7 als Einlagerung zwischen Grundwasserleitern (d-g)
  - Grenze zwischen Flächen unterschiedlicher Abfolgen der hydrogeologischen Einheiten (Durchlässigkeitsklassen)
  - Grundwasseroberfläche (nur im Lockergestein)
  - Quelle, intermittierend
  - Quelle, perennierend
  - Quelle, gefasst
  - Quelle mit Mineral-, Thermalwasser oder Sole
  - Kläranlage
  - Steinbruch
  - Künstliche Aufschüttung, kleinräumig
  - Aufstieg von Tiefenwasser

- #### Hydrogeologische Einheiten
- 4-gh/o Fein- bis Mittelsand, z. T. schluffig; Quartär: Holozän bis Oberpleistozän (Auensand, Talsand, Niederterrasse, Dünen, Flugsand (bis ca. 19 m)); mäßiger Grundwasserleiter (4)
  - 3-qmg Mittel- bis Grobsand, vereinzelt feinsandig, Fein- bis Mittelkies, z. T. stark mittelsandig; Quartär: Mittelpleistozän (Kames (bis 38 m), Vorschüttensand (bis ca. 21 m)); mittlerer Grundwasserleiter (3)
  - 6-qmg Ton, schluffig und Schluff, tonig, z. T. sandig und kiesig; Quartär: Mittelpleistozän (Grundmoräne, Beckenton (bis ca. 45 m)); sehr geringer Grundwassergeringleiter (6)
  - VI-koa/c Mergel, Tonmergelstein bis Kalkmergelstein; Oberkreide: Coniac bis Campan ("Tonmergelsteinfazies" (über 500 m)); sehr geringer Grundwassergeringleiter (6)
  - IV-koc/t Mergel- und Kalkstein, Kalkmergelstein, mit lagig eingeschalteten glaukonitischen Detrituskalksteinen, z. T. verkarstet; Oberkreide: Unterconiac bis Turon (östl. Iburg: *schloenbachi*-Schichten und *striatoconcentricus*-Schichten mit "Rothenfelder Grünsand" (bis 145 m)); mäßiger Grundwasserleiter (3)

Maßstab 1 : 25 000 (Ausgabe DIN A 3)

Karte und Profil: Hydrogeologische Karte von Nordrhein-Westfalen 1 : 50.000  
 L 3914 Bad Iburg (GD NRW 2006)

**GeoDienste** GmbH  
 Geologie - Hydrogeologie - Geothermie  
 Leinestraße 33, 30827 Garbsen  
 Telefon (+49) 5131. 46 65-0  
 Telefax (+49) 5131. 46 65-60

Datum: 30.04.2010  
 Bearb.: S. Nowag, K. Fromme  
 Proj.-Nr.: 0246091  
**Anhang 2**

Datei: Anhang\_2.cdr

