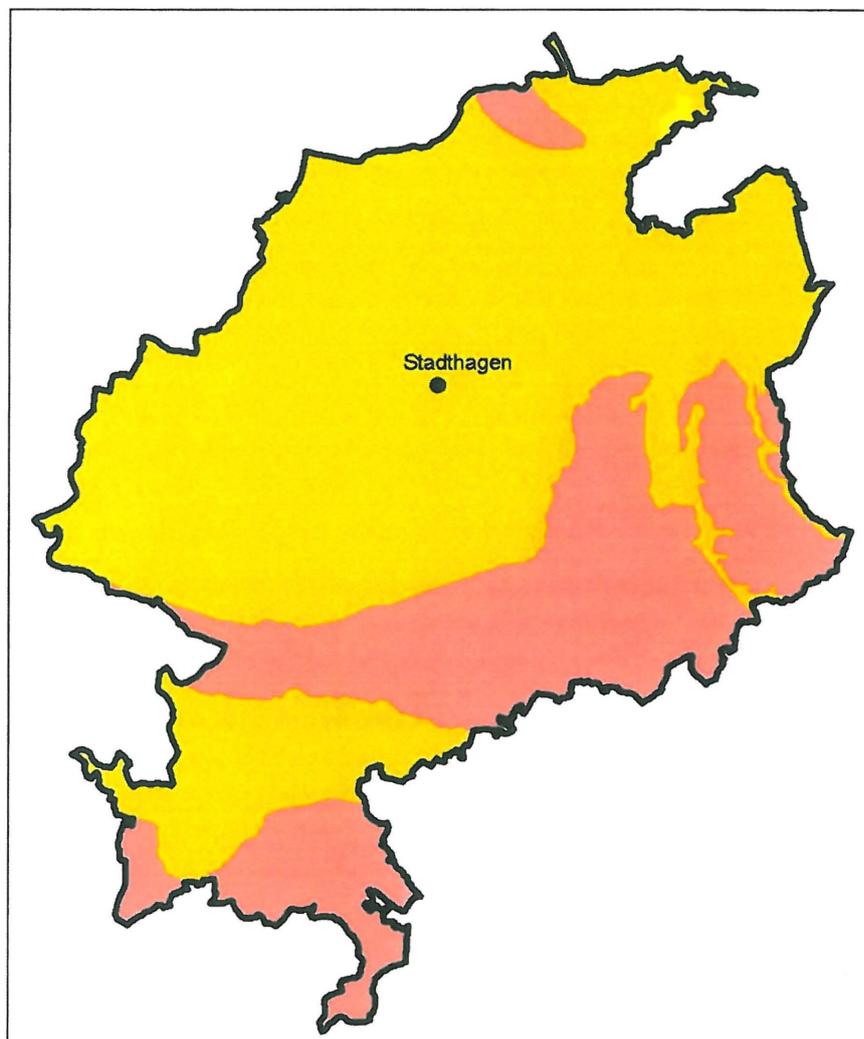


**Potenzialatlas oberflächennahe Geothermie
für den Landkreis Schaumburg**

- Erläuterungsbericht -



Impressum

Auftraggeber:	Kooperationspartner Landkreis Schaumburg, Kirchner Engineering Consultants, EON Westfalen Weser AG
Auftragnehmer:	Kirchner Engineering Consultants GmbH
Projekt:	3120/09/310
Erstellung der Studie:	Kirchner Engineering Consultants GmbH in Zusammenarbeit mit GeoDienste GmbH
Seitenanzahl:	28 (einschl. Titelblatt)
Anlagen:	5
Abbildungen:	7
Tabellen:	4
CD-/DVD:	-
Ausfertigung:	pdf-Version
Datum:	2009-07-13

Inhaltsverzeichnis	Seite
1 Veranlassung und Aufgabenstellung	5
2 Untersuchungsgebiet	6
2.1 Geographischer Überblick	6
2.2 Geologischer Überblick.....	7
2.3 Hydrogeologischer Überblick	10
3 Grundlagen der thermischen Nutzung des Untergrundes	12
3.1 Erschließungsmöglichkeiten	12
3.2 Genehmigungsrechtliche Rahmenbedingungen	13
4 Methodische Vorgehensweise	16
4.1 Datengrundlage	16
4.2 Erstellung einer Wärmeleitfähigkeitskarte	17
4.3 Erstellung einer Entzugsleistungskarte	18
4.4 Nutzungsmöglichkeiten oberflächennaher Geothermie	19
4.5 Datengenauigkeit	20
5 Ergebnisse	22
5.1 Nutzungsmöglichkeiten der oberflächennahen Geothermie	22
5.2 Anwendungsbeispiele des geothermischen Atlas	22
5.3 Aussagegenauigkeit.....	25
6 Zusammenfassung und Ausblick	28
Anhang	Seite
1 Schriften- und Kartenverzeichnis	5
2 Formeln zur Ermittlung der spezifischen Entzugsleistung	1
Anlagenverzeichnis	Seite
1 Karte der Wärmeleitfähigkeiten	1
2 Spezifische Entzugsleistung bei 1800 Jahresbetriebsstunden	1
3 Spezifische Entzugsleistung bei 2400 Jahresbetriebsstunden	1
4 Wasser- und Heilquellenschutzgebiete im Landkreis Schaumburg	1
5 Nutzungsbedingungen der oberflächennahen Geothermie	1

Tabellenverzeichnis

Seite

Tabelle 1: Stratigraphische Gliederung, Gesteinstypen und Mächtigkeiten im Projektgebiet ([2], [4]-[15])	8
Tabelle 2: Wärmeleitfähigkeiten ausgewählter Festgesteine ([23])	17
Tabelle 3: Klassifizierung der spezifischen Entzugsleistung im Landkreis Schaumburg ..	19
Tabelle 4: Genauigkeitsklassen der geothermischen Potenzialbewertung	21

Abbildungsverzeichnis

Seite

Abbildung 1: Übersichtskarte des Untersuchungsgebietes (Quelle: Google Earth)	6
Abbildung 2: Geologische Karte des Projektgebietes (Tertiär und Quartär abgedeckt, Kartengrundlage: [3])	9
Abbildung 3: Geothermische Erschließung mittels Erdwärmesonden ([16])	12
Abbildung 4: Spezifische Entzugsleistung im Bereich Möllenbeck	23
Abbildung 5: Spezifische Entzugsleistungen im Bereich Rodenberg	24
Abbildung 6: Spezifische Entzugsleistungen im Bereich Bad Eilsen.....	25
Abbildung 7: Bewertung der Datengrundlage	26

1 Veranlassung und Aufgabenstellung

Vor dem Hintergrund der verstärkten Nutzung oberflächennaher geothermischer Energie zur Wärme- und Warmwasserversorgung u.a. von Ein- und Mehrfamilienhäusern wurde ein geothermischer Atlas für den Landkreis Schaumburg im Maßstab 1 : 25 000 erstellt. Die in den Potenzialkarten dargestellten Informationen zur Wärmeleitfähigkeit bzw. Wärmeentzugsleistung des Untergrundes und zu genehmigungsrechtlichen Aspekten wie beispielsweise Lage von Wasserschutzgebieten sollen einen allgemeinen Überblick über die Nutzungsbedingungen der oberflächennahen Geothermie im Landkreis Schaumburg liefern. Die Kartenwerke können in der Bauleitplanung (Berücksichtigung erneuerbarer Energien bei der Ausweisung von Baugebieten), als Orientierungshilfe für Planer und Bauherrn sowie zur Information für interessierte Bürger bzw. Bürgerinnen verwendet werden. Sie können jedoch punktuelle und objektbezogene Untersuchungen (Einzelfallprüfung) nicht ersetzen.

Die Bewertung der geothermischen Ergiebigkeit des Untergrundes erfolgt dabei für das Teufenintervall 0 bis 100 m. Hierzu werden die Art, Mächtigkeit und Verbreitung der Gesteine im Untergrund, ihre Grundwasserführung und der Grundwasserflurabstand betrachtet. Durch die Zuweisung der gesteinspezifischen Wärmeleitfähigkeit können gemittelte spezifische Entzugsleistungen für den Wärmebedarf eines Ein- bis Zweifamilienhauses bei 1800 bzw. 2400 Anlagenbetriebsstunden pro Jahr abgeleitet werden. Die ermittelten Werte gelten dabei für Wärmepumpenanlagen, die zur Beheizung einschließlich Warmwasseraufbereitung eingesetzt werden und für den Betrieb von zwei 100 m langen Doppel-U-Erdwärmesonden mit einem Durchmesser von DN 25 oder DN 32 mm bzw. Koaxialsonden mit einem minimalen Durchmesser von 60 mm, die in einem Abstand von mindestens 6 m gesetzt sind.

In dem vorliegenden Erläuterungsbericht zum geothermischen Potenzialatlas werden zunächst die geographischen und geologischen Rahmenbedingungen des Untersuchungsgebietes sowie die Grundlagen der thermischen Nutzung des Untergrundes beschrieben. Danach wird auf die verwendete Datengrundlage und die methodische Vorgehensweise zur Erarbeitung der Potenzialkarten eingegangen. Abschließend folgen Anwendungsbeispiele, Angaben zur Aussagegenauigkeit und eine kurze Zusammenfassung.

2 Untersuchungsgebiet

2.1 Geographischer Überblick

Der Landkreis Schaumburg liegt im Bundesland Niedersachsen, ca. 45 km westlich von Hannover, und wird im Norden vom Landkreis Nienburg/Weser, im Osten von der Region Hannover und im Süden vom Landkreis Hameln-Pyrmont begrenzt. Im Westen grenzt der Landkreis an das Bundesland Nordrhein-Westfalen. Im Landkreis Schaumburg leben auf einer Fläche von 675,59 km² rund 164.000 Einwohner. Der Landkreis umfasst die Städte Sachsenhagen, Bad Nenndorf, Stadthagen, Obernkirchen, Bückeburg und Rinteln. Abbildung 1 zeigt eine Übersichtskarte des Untersuchungsgebietes.



Abbildung 1: Übersichtskarte des Untersuchungsgebietes (Quelle: Google Earth)

Geomorphologisch ist der südliche und zentrale Landkreis Schaumburg dem niedersächsischen Bergland (Leine- und Weserbergland) am Südrand des Norddeutschen Tieflandes zuzuordnen, das aus mehreren unterschiedlich großen Bergzügen und dazwischen liegenden Senken besteht. Im Norden des Untersuchungsgebietes ist allmählich ein Übergang in die Norddeutsche Tiefebene zu erkennen.

Der nördliche Bereich des Landkreises Schaumburg ist durch den schüsselförmigen Höhenrücken der Rehburger Berge bestimmt, der das Umland um 50 bis 100 m überragt. Weiter im Süden erstreckt sich der etwa 20 km lange Südwest-Nordost-verlaufende Höhenzug der Bückeberge. Die höchste Erhebung im Landkreis Schaumburg liegt mit 367 m über NN auf dem Kamm westlich der Ortschaft Altenhagen (Auetal). Südlich der Bückeberge liegt das in Ost-West-Richtung verlaufende Wesergebirge, das nach Norden flach abfällt und nach Süden hingegen steile Hänge ausbildet. Der Süntel erstreckt sich von Nordwesten nach Südosten über etwa 12 km als östliche Fortsetzung des Wesergebirges. Der östliche Teil des Projektgebietes wird durch den Nordwest-Südost-verlaufenden Deister begrenzt. Zwischen den beiden Höhenzügen des Süntels und Deisters erstreckt sich das Deister-Sünteltal in nördliche Richtung.

Die Weser stellt den größten Vorfluter im Landkreis Schaumburg dar. Das Wesertal bildet bei Rinteln einen tiefen Einschnitt zwischen dem Lippischen Bergland im Süden und dem Wesergebirge im Norden.

Neben der Landwirtschaft war in der Vergangenheit der Steinkohlebergbau von Bedeutung. Bis 1961 wurde in den Rehburger Bergen und Bückebergen Steinkohle der Wealden-Formation abgebaut.

2.2 Geologischer Überblick

Regionalgeologisch betrachtet liegt das Untersuchungsgebiet im zentralen Teil des **Niedersächsischen Tektogens**, einem Hauptelement des Norddeutschen Beckens. Innerhalb dieser Groseinheit ist eine Zuordnung des südlichen Bereiches des Projektgebietes zur **Nordwestfälisch-Lippischen Schwelle**, des zentralen und nördlichen Abschnittes zur **Quetzen-Süntel-Scholle** und des nördlichsten Teils zur **Hagenburg-Winzlar-Scholle** möglich. Nach Norden wird das Projektgebiet vom Steinhuder-Meer-Lineament begrenzt.

Das Gebiet des heutigen Niedersächsischen Tektogens stellte vor allem im Jura und in der Kreide als Niedersächsisches Becken einen eigenständigen Sedimentationsraum (Absenkungsraum) dar. Allein im Oberjura und in der Unterkreide nahm dieser 2.000 – 3.000 m Sedimente auf, die aufgrund ihrer lithologischen Ausbildung unterschiedliche Wärmeleitfähigkeiten aufweisen. Im Zuge der Alpenauffaltung (i. w. S.) wurde dieser Senkungsbereich herausgehoben. Die in weiten Teilen des Norddeutschen Beckens mehr oder weniger zeitgleich ablaufenden Vorgänge der Umkehr von Bewegungsrichtungen werden als „Inversion“ oder Inversionstektonik“ bezeichnet.

Tabelle 1 zeigt die im Projektgebiet aufgeschlossenen Fest- und Lockergesteine sowie deren durchschnittliche Mächtigkeiten.

Tabelle 1: Stratigraphische Gliederung, Gesteinstypen und Mächtigkeiten im Projektgebiet ([2], [4]-[15])

Stratigraphische Einheit		Gesteinstyp	Mächtigkeit
Quartär	Holozän	Auenlehm, Flusssand	0 bis 5 m
	Pleistozän	Löss, Geschiebemergel/-lehm, Fluss-/ Schmelzwasserablagerungen	0 bis 70 m
Tertiär		Schluff, Glaukonitsand, Tonstein	0 bis 400 m
Unterkreide	Hauterive	Tonstein	bis 420 m
	Valangin	Tonstein	bis 240 m
	Oberer Wealdenschiefer	Schiefertonstein	über 200 m
	Wealdensandstein	Sandstein	bis 150 m
	Unterer Wealdenschiefer	Schiefertonstein	ca. 100 m
	Unterer Wealdensandstein	Sandstein	2 bis 5 m
Malm	Serpulit	Mergelstein, Anhydrit	50 bis 100 m
	Münder Mergel	Mergelstein, Anhydrit, Gips, Steinsalz	mehrere 100 m
	Eimbeckhäuser Plattenkalke	Kalkstein	20 bis 30 m
	Gigas-Schichten	Kalkstein	25 bis 30 m
	O. Kimmeridge	weiche Mergel	20 bis 25 m
	M. Kimmeridge	Kalkstein, Mergelkalk, Mergel, Tone	12 bis 50 m
	U. Kimmeridge	Kalkstein, Mergelkalkstein, Mergelstein, Tonstein, Sandstein	10 bis 25 m
	Korallenoolith	Kalkoolith	50 m
Dogger	Heersumer S.	Kalksandstein	15 bis 20 m
	Aspidoides-S., Macrocephalen-S., Ornatentone	Schiefertonstein	60 bis 75 m
	Cornbrash	Kalksandstein	30 m
	Württembergicus-S.	Schiefertonstein	20 bis 25 m
	Coronaten-S., Subfurcaten-S., Garantianen-S., Parkinsoni-S.	Schiefer- und Mergeltonstein	mehrere 100 m
Lias	Psilonoten-S., Angulaten-S., Arieten-S.	Mergelstein, schiefrig	ca. 100 m
Keuper	Rhät	Sandsteine, Tonsteine	60 m
	Steinmergelkeuper	Mergelstein, mit Gipsresiduen	30 bis 40 m
	Rote Wand	Mergelstein	15 bis 20 m
	Schilfsandstein	Sandstein	10 m
	Gipskeuper	Mergelstein, mit Gipsresiduen	100 m

In weiten Teilen des Untersuchungsgebietes stehen Festgesteine direkt an der Oberfläche oder unter nur geringmächtiger quartärzeitlicher Lockergesteinsbedeckung an. Im Nordosten des Landkreises Schaumburg stehen die Zechsteinsalinare des Salzstocks Bokeloh unter geringmächtigen tertiär- und quartärzeitlichen Schichten an. Der über einem Sockelhorst entstandene und durch Inversionstektonik deformierte Salzstock ist etwa 11 km lang, 1 bis 2 km breit und streicht NW-SE.

Im Süden des Landkreises Schaumburg sind Mergelsteine und Sandsteine des Mittleren Keupers, die dem Lippischen Bergland angehören, aufgeschlossen (Abbildung 2). Die weiter nördlich folgenden Sandsteine, Schiefertone und Quarzite des Rhät (Oberer Keuper) bilden eine große, sich in nordnordwestlicher Richtung immer mehr einsenkende Mulde, die von zahlreichen Störungen durchzogen wird ([2]).

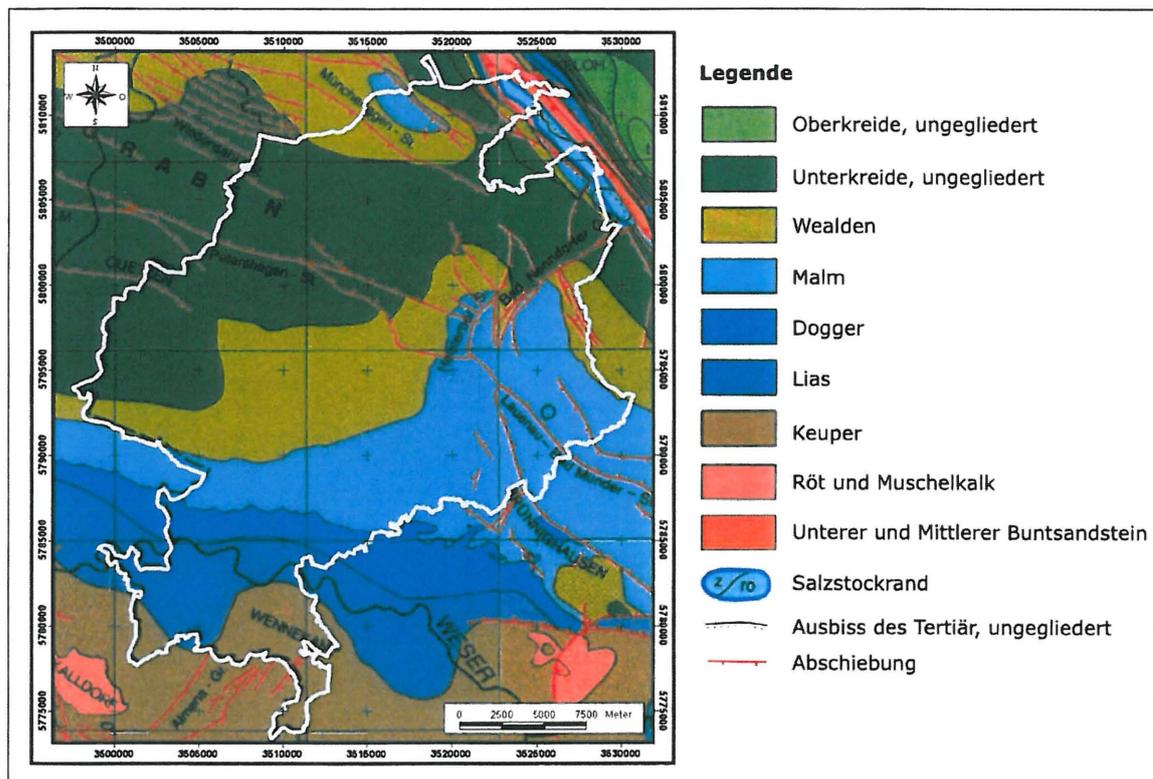


Abbildung 2: Geologische Karte des Projektgebietes (Tertiär und Quartär abgedeckt, Kartengrundlage: [3])

Der Untere Jura (Lias) ist im Landkreis Schaumburg nur vereinzelt aufgeschlossen. Es handelt sich um Mergelsteine, die den Untergrund des Wesertals bilden. Mittlerer und Oberer Jura (Dogger, Malm) sind hauptsächlich im Wesergebirge und Süntel, aber auch östlich des Deisters und am Rehburger Sattel aufgeschlossen.

Das Wesergebirge löst sich in mehrere Einzelkämme auf. Diese morphologische Gliederung entsteht aufgrund eines wiederholten Wechsels härterer und weicherer Gesteinsschichten, die in unterschiedlichem Maße von der Erosion beeinflusst werden. Bei den anstehenden Gesteinen handelt es sich um Schiefertone und Kalksandsteine des Mittleren Jura sowie um Kalksandsteine, Kalksteine und Mergelsteine des Oberen Jura.

Die im zentralen Teil des Landkreises Schaumburg anstehenden weicheren Mürder Mergel bilden zwischen dem Wesergebirge und den nördlich gelegenen aus Schiefertonsteinen und Sandsteinen des Wealden aufgebauten Bückebergen eine flache Niederung. Den Anhydrit-Einschaltungen im Mürder Mergel muss bei einer geothermischen Erschließung besondere Beachtung geschenkt werden, da bei Wasserzutritt unter Volumenzunahme eine Umwandlung zu Gips stattfindet.

Gesteinseinheiten des Wealden sind außerdem am Rehburger Sattel und am Deister (hier kohleführender Wealden) aufgeschlossen. Nördlich der Bückeberge besteht die von einer dünnen Quartärdecke verhüllte Schaumburg-Lippische Kreidemulde aus überwiegend tonig entwickelten Folgen der Unterkreide (Ton- und Schluffsteine des Valangin und Hauterive, [4]).

Im Nordosten des Untersuchungsgebietes sind den mesozoischen Schichten bereichsweise tertiärzeitliche Ablagerungen (überwiegend Schluff) aufgelagert, die jedoch nicht zu Tage treten ([6]). Quartärzeitliche Lockersedimente sind im gesamten Projektgebiet vorhanden. Sie erreichen jedoch nur im Norden und im Süden des Landkreises Schaumburg größere Mächtigkeiten. Bei diesen eiszeitlichen Ablagerungen handelt es sich um Löss, Geschiebemergel und -lehm, Fluss- und Schmelzwasserablagerungen, die die Festgesteine überdecken ([4]). Die jüngsten Sedimente im Projektgebiet stellen die Auenlehme der Weser und Rodenberger Aue dar. Die Lockergesteine sind durchschnittlich 2 bis 5 m, im nördlichen Projektgebiet und im Wesertal durchschnittlich 15 bis 20 m mächtig. In der zwischen Hagenburg und Mardorf verlaufenden Rinne, die 20 bis 50 m in tertiäre Schichten eingesenkt sind, erreichen die Quartärmächtigkeiten sogar 70 m. Diese Rinne ist Teil eines Rinnensystems, das von Garbsen bzw. Bad Nenndorf nach Nienburg verläuft ([4]). Im Süden des Projektgebietes erreichen die Flussschotter der Weser Mächtigkeiten von bis zu 20 m.

2.3 Hydrogeologischer Überblick

Neben der Gesteins- bzw. Sedimentausbildung sind der Grundwasserfluss sowie der Grundwasserflurabstand für die Wärmeleitfähigkeit der Gesteine und die daraus abzuleitende spezifische Entzugsleistung von Bedeutung. Daher soll im Folgenden ein kurzer Überblick über die hydrogeologischen Verhältnisse im Untersuchungsgebiet gegeben werden.

Aufgrund ihrer unterschiedlichen hydraulischen Leitfähigkeit (Wasserdurchlässigkeit) erfolgt eine Einteilung der Untergrundschichten in Grundwasserleiter und Grundwasser-nichtleiter. Je nach der Art des durchflusswirksamen Hohlraumanteils (Poren, Klüfte, Schichtfugen oder Karsthohlräume) kann zwischen Porengrundwasser- und Kluft- (bzw. Karst-)Grundwasserleiter unterschieden werden.

Die auf der überwiegenden Fläche des Untersuchungsgebietes anstehenden Festgesteine besitzen generell nur einen äußerst geringen durchflusswirksamen Porenraum. Ihr Wasserleit- und Wasserspeichervermögen wird von der Anzahl, Erstreckung und Weite auftretender Trennfugen bestimmt. Das Grundwasser bewegt sich vorzugsweise in diesen Klüften und Schichtfugen (Kluftgrundwasserleiter). Aufgrund des Druckes der überla-

gernden Gesteine nehmen die Klüftigkeit und die Kluftweite und damit auch das Wasserleitvermögen der Gesteine jedoch mit zunehmender Tiefe ab.

Die Gesteine des Keuper, Lias und Dogger weisen eine geringe bis mäßige Durchlässigkeit auf, die in Verwerfungs- und Zerrüttungszonen erhöht sein kann. Die Sandsteine des Schilfsandstein und des Cornbrash stellen allerdings aufgrund ihrer guten Klüftigkeit einen Grundwasserleiter dar. Der Übergangsbereich zwischen Ornatentonen und Heersumer Schichten wird ebenfalls als Grundwasserleiter angesehen.

Die Gesteine des Malm (insbesondere der Korallenoolith) sind als ein Grundwasserfließsystem zu betrachten. In den Gesteinsfolgen des Münder Mergel und des Serpilit ist ein Grundwasserkörper ausgebildet, in dem - vorwiegend auf Klüfte, Auslaugungsbereiche und Verwerfungs- bzw. Zerrüttungszonen beschränkt - ein durch die Brunnen/Quellen (Schwefelquellen von Bad Eilsen, Bad Nenndorf, Algesdorf und Soldorf) erschlossenes bzw. zu Tage tretendes „Mineralwasserstockwerk“ (Kluftgrundwasserleiter) ausgebildet ist.

Die überwiegend tonigen Gesteine der marinen Unterkreide stellen wegen ihrer vergleichsweise geringen Wasserwegsamkeit keine nutzbaren Grundwasserleiter im wasserwirtschaftlichen Sinne dar. Nur in Zonen tektonischer Aufrichtung und Zerrüttung ist die Klüftigkeit groß genug, um nennenswerte Mengen von Niederschlagswasser in den Untergrund aufzunehmen und weiterzuleiten. Aufgrund der relativ geringen Verbreitung solcher Zonen können sich hierdurch jedoch keine größeren zusammenhängenden Grundwasservorkommen aufbauen ([5]). Je nach Anzahl, Weite und Verteilung von Trennfugen im Gestein weisen dagegen die sandigen Festgesteine der Bückeberg-Formation („Wealden“) eine mäßige bis gute Wasserwegsamkeit auf (Kluftgrundwasserleiter).

Im Norden des Untersuchungsgebietes bauen die saale- und weichselzeitlichen Ablagerungen einen mehrere 10er Meter mächtigen, mehr oder weniger zusammenhängenden Porengrundwasserleiter auf, der nach Süden zu mit dem Ansteigen der Quartärbasisfläche an den Mittelgebirgsausläufern endet. Bei sandig-kiesiger Ausbildung weisen sie im Allgemeinen eine gute Wasserdurchlässigkeit auf. Durch eine Abnahme der Korngröße wird die Durchlässigkeit herabgesetzt, sodass schluffig-tonige Ablagerungen sehr gering wasserdurchlässig sind. Die Grundwasseroberfläche liegt im Bereich der Porengrundwasserleiter wenige Meter unter der Geländeoberfläche. Im äußersten Nordosten des Untersuchungsgebietes werden allerdings Flurabstände von über 25 m erreicht.

3 Grundlagen der thermischen Nutzung des Untergrundes

3.1 Erschließungsmöglichkeiten

Als geothermische Energie bzw. Erdwärme wird die unterhalb der festen Erdoberfläche gespeicherte Wärmeenergie bezeichnet. Hierbei handelt es sich einerseits um gespeicherte Sonnenenergie (solarer Wärmestrom, direkte Einstrahlung und Niederschläge) und andererseits um Energie aus dem Erdinneren (terrestrischer Wärmestrom, Zerfall radioaktiver Elemente, Restwärme der Erdentstehung).

Die oberflächennahe Geothermie umfasst die thermische Nutzung des Untergrundes bis zu einer Tiefe von ca. 400 m. Die Erschließung der Erdwärme im oberflächennahen Bereich der Erde erfolgt mithilfe von u.a. Erdwärmesonden, Erdwärmekollektoren, Grundwasserbohrungen oder Energiepfählen. Die Auswahl der Wärmequelle und ihre technische Erschließungsvariante richtet sich neben den örtlichen geologischen Untergrundverhältnissen bzw. der hydrogeologischen Situation nach dem oberirdischen Platzangebot und den anwendungsspezifischen Bedürfnissen. Am weitesten verbreitet ist jedoch der Einsatz von Erdwärmesonden, da diese vom solaren Wärmestrom weitgehend unabhängig sind, was sich insbesondere in der sonnenarmen Heizperiode positiv auswirkt (Abbildung 3).

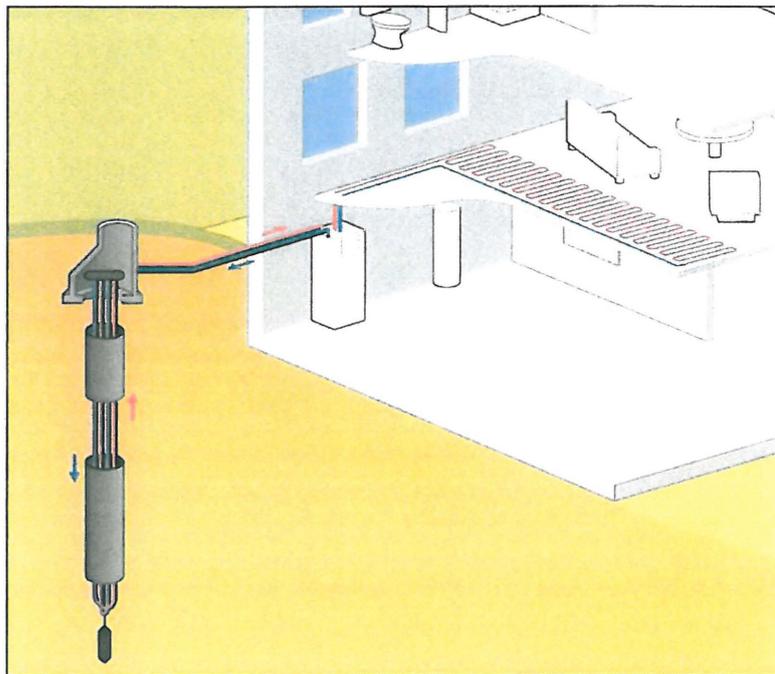


Abbildung 3: Geothermische Erschließung mittels Erdwärmesonden ([16])

Hierbei handelt es sich um geschlossene Rohrsysteme, die in der Regel in ca. 100 m tiefen Bohrungen installiert werden. Die Sonden bestehen oft aus paarweise gebündelten U-förmigen Kunststoffrohrschleifen, die nahe der Erdoberfläche über Sammelleitungen an einer Wärmepumpe angeschlossen sind. Nach dem Einbau der Sonden wird der zwischen den Sondenbündeln und der Bohrlochwand verbleibende Hohlraum mit einer Ton-Zement-Suspension hohlraumfrei verpresst, um einerseits eine durch die Bohrung er-

mögliche hydraulische Verbindung zweier oder mehrerer Grundwasserstockwerke zu verhindern und um andererseits eine thermische Anbindung der Sonden an den Untergrund zu erreichen. In den Sonden zirkuliert ein Wasser-Frostschutz-Gemisch (Wärmeträgerflüssigkeit) und entzieht den umgebenden Untergrundschichten die Wärme. Die Anzahl der Bohrungen, ihr exakter Abstand, ihre Tiefe und Anordnung hängen weitestgehend von den standortspezifischen Untergrundverhältnissen bzw. der Wärmebedarfssituation und dem erforderlichen Temperaturniveau der zu versorgenden Gebäude ab.

Beim Bau von Erdwärmesonden ist zu beachten, dass die Arbeiten von einem qualifizierten Bohrunternehmen durchgeführt werden (Nachweis nach DVGW Arbeitsblatt W 120 G [17] oder gleichwertige Zertifizierung). Für den Anschluss, das Befüllen und die Druckprüfung sowie für die Instandsetzung und Instandhaltung von Erdwärmequellenanlagen für Wärmepumpen ist sachkundiges Fachpersonal erforderlich.

Da der Temperaturbereich des oberflächennahen Untergrundes mit durchschnittlich 7-12 °C für eine direkte Nutzung der Erdwärme zum Heizen und zur Warmwassererzeugung zu niedrig ist, wird zusätzlich eine Wärmepumpe benötigt. Diese erhöht mit Hilfe von mechanischer oder thermischer Antriebsenergie die im Untergrund vorhandenen Temperaturen auf das für die Wärmeversorgung notwendige Niveau von in der Regel 35 bis 55 °C (65°C bei zusätzlicher Warmwassererzeugung).

Als Maß für die Energieeffizienz von elektrischen Wärmepumpen gilt die Jahresarbeitszahl (JAZ). Sie gibt das Verhältnis von gewonnener Heizleistung zur benötigten Antriebsleistung der Wärmepumpe an. Im Normalfall liegt die Leistungszahl zwischen 3 und 4,5. Die Wärmepumpe arbeitet umso effizienter, je geringer die Temperaturdifferenz zwischen Wärmequelle und Wärmeverbraucher ist. Die Erdwärme mit ihrer relativ geringen, aber ganzjährig stabilen Durchschnittstemperatur wird daher am wirtschaftlichsten in Kombination mit einem Niedertemperatur-Heizsystem, z.B. einer Fußbodenheizung, genutzt.

3.2 Genehmigungsrechtliche Rahmenbedingungen

Für den Bau und Betrieb von Anlagen zur Erdwärmenutzung sind insbesondere die gesetzlichen Regelungen des Bundesberggesetzes (BBergG, [18]), des Wasserhaushaltsgesetzes (WHG, [19]) sowie des Niedersächsischen Wassergesetzes (NWG, [20]) und den dazu erlassenen Verwaltungsvorschriften zu beachten. Welche Genehmigungen im Einzelfall erforderlich sind, richten sich nach dem jeweiligem Standort. Ausschlaggebende Merkmale sind weiterhin die Bohrtiefe, die Grundstücksbezogenheit der Erdwärmeer-schließung und -nutzung, die Art des Erschließungskonzeptes (offenes/geschlossenes System) und die Anlagenauslegung.

3.2.1 Wasserrechtliche Genehmigungs- und Anzeigepflichten

Für Bohrungen zur Errichtung von Erdwärmesonden besteht gemäß § 138 NWG eine wasserrechtliche Anzeigepflicht bei der Unteren Wasserbehörde. Das geplante Vorhaben ist mindestens vier Wochen vor Baubeginn durch den Auftraggeber, durch das beauftragte Planungsbüro oder durch den Bohrunternehmer bei der zuständigen Unteren Wasserbehörde (Landkreis Schaumburg, Untere Wasserbehörde) anzuzeigen.

Das Land Niedersachsen hat eine landesweite Einteilung in zulässige, bedingt zulässige

und unzulässige Gebiete für die Nutzung oberflächennaher Geothermie vorgenommen. Die Flächenkategorien beziehen sich ausschließlich auf das dafür vorgesehene Zulassungsverfahren. In den zulässigen Bereichen wird das eingereichte Formular als Anzeige gewertet. Die Nutzung der Erdwärme ist in der Regel erlaubnisfrei.

In den bedingt zulässigen Gebieten wird die Anzeige in der Regel als Antrag angesehen. Die Behörde prüft, ob eine Benutzung gemäß § 3 WHG vorliegt bzw. eine Erlaubnis oder Bewilligung gemäß § 10 NWG oder eine Zulassung mit Auflagen/Maßnahmen nach § 138 Abs. 2 NWG für das Vorhaben erforderlich ist. Die hydrogeologische Beurteilung erfolgt sowohl im Hinblick auf eine mögliche Beeinflussung des Grundwassers bei der Errichtung der Erdwärmeanlage z.B. durch Leckage einzelner Sonden, durch die Bohrarbeiten und den Ausbau der Bohrung/en als auch bei ihrem Betrieb z.B. durch eine mögliche Abkühlung bzw. Erwärmung des Grundwassers. In folgenden Gebieten ist eine wasserrechtliche Zulassung erforderlich:

- Wasserschutzgebiete: Zone IIIa und IIIb
- Heilquellenschutzgebiete: Zone III/1, III/2 und IV
- Trinkwassergewinnungsgebiete: Zone III bzw. alle Gebieten mit 100 bis 1000 m Abstand zu entsprechenden Fassungsanlagen
- Vorranggebiete für die Trinkwassergewinnung, in denen zur Zeit noch keine Grundwasserentnahme erfolgt
- Gebiete mit starker Verkarstung
- Gebiete mit ausgeprägter Stockwerkstrennung
- Gebiete mit häufig auftretendem artesischen Grundwasser
- Altbergbaugebiete
- Gebiete mit Altlasten, schädlichen Bodenveränderungen und Grundwasserschäden
- Gebiete mit hoch liegenden Salzstrukturen

In den unzulässigen Bereichen ist die Nutzung der Erdwärme in der Regel verboten. Unzulässige Gebiete sind hierbei:

- Wasserschutzgebiete: Zone I und II
- Heilquellenschutzgebiete: Zone I und II
- Trinkwassergewinnungsgebiete: in allen Gebieten mit weniger als 100 m Abstand im Anstrom zu entsprechenden Fassungsanlagen

3.2.2 Lagerstättengesetz

Nach § 4 des Gesetzes über die Durchforschung des Reichsgebietes nach nutzbaren Lagerstätten (Lagerstättengesetz, [22]) sind Bohrungen zum Zwecke der Erdwärmenutzung vom beauftragten Bohrunternehmen zwei Wochen vor Beginn der Arbeiten dem Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie in Hannover anzuzeigen. Nach Abschluss der Bohrarbeiten sind die Bohrergebnisse dem Landesamt mitzuteilen. Diese allgemeine Anzeigepflicht gilt unabhängig von möglichen bergrechtlichen oder wasserrechtlichen Genehmigungs- bzw. Anzeigepflichten.

3.2.3 Bergrechtliche Genehmigungen und Anzeigepflichten

Bohrungen, die tiefer als 100 m in den Boden eindringen sollen, sind spätestens zwei Wochen vor Bohrbeginn vom Auftraggeber, dem beauftragten Planungsbüro oder dem Bohrunternehmen gemäß § 127 Abs. 1 BBergG der zuständigen Bergbehörde (im vorliegenden Fall angesiedelt beim Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie) anzuzeigen. Die Bergbehörde entscheidet im Einzelfall, ob für die Bohrung, aus Rücksicht auf den Schutz Beschäftigter oder Dritter oder wegen der Bedeutung der Bohrung, ein Betriebsplan nach § 51 ff. BBergG erforderlich ist. Ein derartiger Betriebsplan, in dem die geplanten Aktivitäten darzulegen sind, bezieht sich nur auf die Niederbringung der Bohrung bzw. Bohrungen, nicht aber auf den Erdwärmeentzug aus dem Untergrund. Da für Erdwärmesonden über 100 m aber nur in Ausnahmefällen eine Betriebsplanpflicht für erforderlich gehalten wird, beschränkt sich die bergbauliche Relevanz dieser Anlagen meist auf die Anzeigepflicht und mit der Bergaufsicht zusammenhängenden Regelungen des BBergG ([21]).

4 Methodische Vorgehensweise

Die Vorgehensweise bei der Erstellung des geothermischen Atlas für den Landkreis Schaumburg erfolgte in enger Abstimmung mit der Geschäftsstelle Geothermie des Landesamts für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG, Geschäftsstelle Geothermie). Aufgrund der bereichsweise geringen Dichte an Bohrpunkten im Untersuchungsgebiet wurde die Potenzialkarte über eine Flächenkartierung erzeugt. Zur Verifizierung der Ergebnisse erfolgte in relevanten Bereichen ein Abgleich mit den zur Verfügung stehenden Bohrungen.

4.1 Datengrundlage

Als Darstellungsgrundlage der geothermischen Potenzialkarte dient die Digitale Topographische Karte 1 : 25 000 (DTK25) der Landesvermessung und Geobasisinformation Niedersachsens (LGN, GLL) und der Bezirksregierung Köln (GEOBasis.nrw) in der aktuell verfügbaren Ausgabe ([25]-[39]). Für die geologische Beurteilung und Interpretation sowie die geothermische Analyse des Projektgebietes stehen neben den in Anhang 1 genannten Unterlagen folgende Grundlagen- und Themenkarten zur Verfügung:

- 13 Geologische Karten 1 : 25 000 (Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung (NLFB), Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen, Preußische Geologische Landesanstalt, [40]-[52]),
- abgedeckte Geologische Karte 1 : 25 000 (NLFB, [41], [42], [44]),
- Geologische Übersichtskarte (Tertiär und Quartär abgedeckt, [3]),
- Profiltypenkarte des Quartär 1 : 25 000 (NLFB, [41], [42], [44]),
- Hydrogeologische Übersichtskarte von Niedersachsen 1 : 500 000 - Nutzungsbedingungen oberflächennaher Geothermie (LBEG, [53]),
- Hydrogeologische Einheiten von Niedersachsen 1 : 500 000 (LBEG, [54]),
- Lage der Grundwasseroberfläche 1 : 50 000 (LBEG, [55]),
- Themenkarte Geothermie: Spezifische Wärmeentzugsleistung (Sondenentzugstiefe 100 m, LBEG, [56]),
- Bohrungsdatenbank des Niedersächsischen Landesamtes für Bergbau, Energie und Geologie,
- Wasserschutzgebietskarten (Stand Oktober 2008, Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN), [57]),
- Heilquellenschutzgebietskarten (Stand Oktober 2008, NLWKN, [58]),
- Trinkwassergewinnungsgebiete (Stand Oktober 2008, NLWKN, [59]),
- Karte der vom Bergbau beeinflussten Gebiete 1 : 25 000 (LBEG, [60]-[70]).

Die Grundlagen- und Themenkarten wurden georeferenziert und in ein GIS-Projekt eingebunden.

4.2 Erstellung einer Wärmeleitfähigkeitskarte

Die derzeit gängigen Berechnungsformeln zur Bestimmung der spezifischen Entzugsleistung (W/m) für kleine Erdwärmesondenanlagen (2 Sonden) basieren weitgehend auf der Wärmeleitfähigkeit des Untergrundes (siehe Anhang 2). Aus diesem Grund wurde in einem ersten Schritt eine Karte erarbeitet, in der die gemittelte Wärmeleitfähigkeit des Untergrundes bis in eine Tiefe von 100 m flächenhaft dargestellt ist (Anlage 1). Sollten sich zukünftig im Zuge neuer Erkenntnisse Änderungen in der verwendeten Berechnungsformel ergeben, gewährleistet diese Vorgehensweise eine schnelle Aktualisierung der Potenzialkarte. Darüber hinaus liefert die Wärmeleitfähigkeitskarte auch Basisdaten für die Planung größerer Erdwärmesondenfelder.

Für die Erstellung einer Wärmeleitfähigkeitskarte wurde zunächst im Untersuchungsgebiet die Art, Mächtigkeit und Verbreitung der Gesteine bis in eine Tiefe von 100 m, ihre Grundwasserführung sowie der Grundwasserflurabstand detailliert betrachtet. Basierend auf den Geologischen Karten wurden Bereiche mit oberflächennah anstehenden Festgesteinen ausgegliedert. Eine Lockergesteinsbedeckung von weniger als zwei Metern wurde hierbei vernachlässigt.

In den Lockergesteinsbereichen (vgl. Kap. 2.2) wurden die lithologische Ausbildung und die Mächtigkeit sowohl der quartärzeitlichen Ablagerungen als auch die der unterlagernden Festgesteine analysiert. Da die Wärmeleitfähigkeit trockener Lockergesteine im Vergleich zu wassergesättigten stark reduziert ist, wurde in den Lockergesteinsarealen mit Hilfe der Software Surfer 8.0 (Golden Software) eine Flurabstandskarte generiert, um die Mächtigkeit der grundwassererfüllten Zone ableiten zu können.

Anschließend wurden die im Untersuchungsgebiet bis zur Betrachtungstiefe von 100 m anstehenden Gesteine hinsichtlich ihrer Wärmeleitfähigkeit gemäß nach VDI-Richtlinie 4640 (Entwurfssfassung Juni 2008, Tabelle 2) bewertet.

Tabelle 2: Wärmeleitfähigkeiten ausgewählter Festgesteine ([23])

Gesteinstyp	Wärmeleitfähigkeit in W/(m*K)
Ton-/Schluffstein	2,2
Sandstein	2,8
Mergelstein	2,3
Kalkstein	2,7
Gips	1,6
Schiefertonstein	2,1
Quarzit	5,5
Kalksandstein	2,7
Mergeltonstein	2,2
Mergelschiefer	2,3
Kalkoolith	2,7

Der in der Entwurfsfassung der VDI-Richtlinie angegebene Wert für Schluff-/Tonstein scheint für die im norddeutschen Raum auftretenden Tonsteine der Unterkreide zu hoch angesetzt zu sein. Erfahrungswerte aus Geothermal Response Tests im Großraum Hannover zeigen, dass die effektive Wärmeleitfähigkeit im Bereich von 1,6 bis 1,8 W / m*K liegt. Durch die Einschaltung von Sandsteinlagen bzw. -bänken kann die Wärmeleitfähigkeit der Unterkreide-Tonsteine jedoch bereichsweise höher liegen.

Die Sandsteine der Bückeberg-Formation weisen eine sehr hohe Wärmeleitfähigkeit auf. Wärmeleitfähigkeitsmessung an fünf Gesteinsproben des Sandsteins (oberflächennahe Probenahmestellen) ergaben einen Durchschnittswert von 5,1 W/m*K. die effektive Wärmeleitfähigkeit des Wealden dürfte aufgrund der eingeschalteten Tonsteinlagen jedoch geringer sein.

Bei den im Untersuchungsgebiet auftretenden Lockersedimenten handelt es sich in erster Linie um Löss, Geschiebemergel und -lehm sowie um sandige Fluss- und Schmelzwasserablagerungen. Diese Einheiten weisen jeweils eine Wärmeleitfähigkeit von 2,4 W/(m*K) auf, so dass eine Zusammenfassung der quartärzeitlichen Einheiten erfolgte. Den lokal auftretenden geringmächtigen Einschaltungen von Kieslagen bzw. -bänken in die Schmelzwasserablagerungen wurde durch eine Reduzierung des in der VDI-Richtlinie 4640 angegebenen Wertes der Wärmeleitfähigkeit für Sand bzw. Geschiebemergel um 0,2 Rechnung getragen. Für trockene Einheiten wird ein Wert von 0,4 W/(m*K) gewählt.

Unter Berücksichtigung der Mächtigkeitsverhältnisse der anstehenden Einheiten wurde die mittlere Wärmeleitfähigkeit der Untergrundschichten bis in 100 m Tiefe berechnet. Auf Grundlage der geothermischen Interpretation wurden Flächen gleicher Wärmeleitfähigkeit auskartiert.

4.3 Erstellung einer Entzugsleistungskarte

Auf Grundlage der zuvor bestimmten Wärmeleitfähigkeit der anstehenden Gesteine bis in eine Tiefe von 100 m wurde die mögliche geothermische Entzugsleistung des Untergrundes für den Wärmebedarf eines Ein- bis Zweifamilienhauses bei 1800 bzw. 2400 Anlagenbetriebsstunden pro Jahr abgeleitet (vgl. Anlage 2 und 3). Die derzeit gängigen Berechnungsformeln sind in Anhang 2 aufgeführt. Nach Abstimmung mit dem LBEG (Geschäftsstelle Geothermie) und dem Geologischen Dienst für Bremen (GDfB) wurde für die Berechnung der spezifischen Entzugsleistung (P [W/m]) für **1800 Jahresbetriebsstunden** ohne fließendes Grundwasser folgende Formel zugrunde gelegt:

$$P = -0,85\lambda^2 + 13,6\lambda + 18,8 \quad \text{Gleichung 1}$$

Für **2400 Jahresbetriebsstunden** ohne fließendes Grundwasser wurde folgende Formel verwendet:

$$P = -0,65\lambda^2 + 12,4\lambda + 16,3 \quad \text{Gleichung 2}$$

Dabei ist zu beachten, dass diese Formeln für Wärmepumpenanlagen gelten, die zur Beheizung einschließlich Warmwasseraufbereitung eingesetzt werden und für den Betrieb von zwei Erdwärmesonden (Doppel-U-Erdwärmesonden mit einem Durchmesser von DN

25 oder DN 32 mm bzw. Koaxialsonden mit mindestens 60 mm Durchmesser), die in einem Abstand von mindestens 6 m gesetzt sind.

Ein starker Grundwasserfluss wirkt sich positiv auf die spezifische Entzugsleistung aus. Da jedoch die hydraulischen Strömungsverhältnisse in den Festgesteinsarealen schwer zu beurteilen sind und in den derzeitig verwendeten analytischen Lösungsansätzen noch Unklarheiten über die Berücksichtigung des Grundwasserflusses bestehen bzw. dieser nicht exakt quantifiziert werden kann, wurde die spezifische Entzugsleistung ohne Grundwasserfluss bestimmt. Die Ergebnisse sind somit konservativ zu verstehen. In Falle einer starken Grundwasserströmung können deutlich höhere Entzugsleistungen als die hier ermittelten erreicht werden. Auch bei der Verwendung einer anderen Berechnungsformel (vgl. Anhang 2) ergeben sich nach oben oder unten abweichende Ergebnisse.

Für die flächenhafte Darstellung wurde die spezifische Wärmeentzugsleistung (P) des Untergrundes in drei Klassen eingeteilt:

Tabelle 3: Klassifizierung der spezifischen Entzugsleistung im Landkreis Schaumburg

Farbe	P bei 1800 Betriebsstunden	P bei 2400 Betriebsstunden
hellgelb	-	30 - 35
gelb	35 - 40	35 - 40
orange	40 - 45	40 - 45
rot	45 - 50	45 - 50

4.4 Nutzungsmöglichkeiten oberflächennaher Geothermie

Für die Planung einer Erdwärmesondenanlage sind neben der Kenntnis der spezifischen geothermischen Entzugsleistung des Untergrundes auch weitere vom hydrogeologischen bzw. geologischen Untergrundaufbau abhängige sowie genehmigungsrechtliche Randbedingungen zu berücksichtigen ([24]). Im Untersuchungsgebiet können vor allem folgende Aspekte einen Einfluss auf die Genehmigungsfähigkeit einer geothermischen Anlage haben (vgl. Kap. 3.2.1):

- Trinkwasser- bzw. Heilquellenschutzgebiete und Trinkwassergewinnungsgebiete, in denen Erdwärme nur eingeschränkt nutzbar ist (Vorrang des Grundwasserschutzes)
- Bereiche mit sulfathaltigen Gesteine (Anhydrit-Vorkommen), in denen beim Zutritt von Wasser z.B. durch den Bohrvorgang eine Volumenveränderung auftreten kann (z.B. Erdwärmesondenbohrungen in Staufen/Breisgau); im Untersuchungsgebiet können vor allem im Münder Mergel Anhydrit-Vorkommen auftreten
- Gebiete mit hochliegenden Salzstrukturen (Salzspiegel und Gipshut Salzstock Boke-loh), in denen es aufgrund der Dichte des Grundwassers zu Schwierigkeiten beim Verpressvorgang kommen kann
- Gebiete mit potenziell verkarstungsfähigen Gesteinen, in denen im Untergrund Hohlräume auftreten können, die beim Verpressen der Bohrungen zu Schwierigkeiten füh-

ren können; bedeutsame Verkarstungserscheinungen treten im Untersuchungsgebiet im Korallenoolith auf

- Flächen mit mächtigen Auffüllungen unbekannter Zusammensetzung, bei denen es einerseits zu bohrtechnischen Problemen und andererseits aufgrund der nicht einschätzbaren thermischen Eigenschaften bei der Einstufung des geothermischen Potenzials zu Ungenauigkeiten kommen kann
- Bergbaueinwirkungsbereiche (Altbergbau), in denen im Untergrund Hohlräume auftreten können, die das Abteufen und die ordnungsgemäße Verpressung möglicherweise stark erschweren

Standorte schützenswerter Mineralwasservorkommen z.B. im Bereich Exten (Firma Wersergold) wurden in den Kartendarstellungen nicht berücksichtigt. Es wird jedoch empfohlen, um die relevanten Mineralwasserfördereinrichtungen Schutzzonen auszukartieren und diese bei einer Aktualisierung des Kartenwerks mit aufzunehmen.

Im Untersuchungsgebiet ist bereichsweise mit drückenden z.T. artesischen Grundwasserhältnissen zu rechnen (z.B. im Raum Bad Nenndorf, Bad Eilsen, Meinsen bei Hülse, bei Möllenbeck, im Riesbachtal u.a.). Diese Situation tritt bevorzugt dort auf, wo ein Grundwasserleiter z.B. Korallenoolith, Cornbrash, Malm-Grundwasserleitersystem oder Wealden von bindigen Schichten überlagert ist und ein morphologisch höher gelegenes Druckaufbauggebiet besitzt (z.B. Auetal und Wesertal). Auf eine explizite Auskartierung der Bereiche mit stark gespannten bis artesischen Grundwasserhältnissen wurde hier verzichtet, diese sollte aber in einem weiteren Arbeitsschritt oder bei einer Aktualisierung des geothermischen Atlas erfolgen.

Unter Berücksichtigung der oben genannten Punkte erfolgte in einem weiteren Arbeitsschritt die Erarbeitung einer Karte, in der die Nutzungsbedingungen für oberflächennahe Geothermie dargestellt sind (vgl. Anlage 4 und 5). Gemäß Kapitel 3.2 erfolgte hierbei eine Einteilung der Flächen in für die Erdwärmenutzung zulässige, bedingt zulässige sowie unzulässige Gebiete.

4.5 Datengenauigkeit

Da die Aussagegenauigkeit der geothermischen Potenzialbewertung, die im Maßstab 1 : 25 000 erfolgte, von der Dichte und Qualität der geowissenschaftlichen Basisdaten abhängt, wurde die zur Verfügung stehende Informationsgrundlage einer Bewertung unterzogen. Hierbei wurde das Projektgebiet in drei Genauigkeitsklassen unterschieden, die sich im Wesentlichen in der Anzahl der vorliegenden Bohrungen und Themen- bzw. Grundlagenkarten unterscheiden (vgl. Tabelle 4). Für die Bewertung der Datenlage wird ein DTK5-Raster als Grundlage ausgewählt (vgl. Abb. 8).

Tabelle 4: Genauigkeitsklassen der geothermischen Potenzialbewertung

Klassifizierung	Farbe	Datengrundlage
zufriedenstellend	gelb	<ul style="list-style-type: none"> - Geologische Karte 1 : 25 000 - Geologische Übersichtskarte (Tertiär und Quartär abgedeckt) - Hydrogeologische Übersichtskarte 1 : 500 000 (Nutzungsbedingungen oberflächennaher Geothermie) - Karte der Hydrogeologischen Einheiten 1 : 500 000 - Wasserschutz-, Heilquellenschutz-, Trinkwassergewinnungsgebietskarten - Karte der vom Bergbau beeinflussten Gebiete
gut	orange	zusätzlich <ul style="list-style-type: none"> - abgedeckte Geologische Karte 1 : 25 000 - Profiltypenkarte des Quartär 1 : 25 000 - Lage der Grundwasseroberfläche 1 : 50 000 - und/oder 1 bis 4 Bohrungen
sehr gut	rot	zusätzlich <ul style="list-style-type: none"> - abgedeckte Geologische Karte 1 : 25 000 - Profiltypenkarte des Quartär 1 : 25 000 - Lage der Grundwasseroberfläche 1 : 50 000 - und/oder 5 bis 10 Bohrungen

5 Ergebnisse

5.1 Nutzungsmöglichkeiten der oberflächennahen Geothermie

Die höchsten Entzugsleistungen können im Bereich der Rehburger Berge, des Wesergebirges, zwischen Bückeberge und Deister und im Lippischen Bergland erzielt werden (45-50 W/m bei 1800 bzw. 40-50 W/m bei 2400 Jahresbetriebsstunden, vgl. Anlage 2 und 3). Das Wesertal um Rinteln sowie der westliche, zentrale und nördliche Teil des Landkreises Schaumburg sind ebenfalls für eine geothermische Nutzung gut geeignet (40-45 W/m bei 1800 bzw. 35-45 W/m bei 2400 Jahresbetriebsstunden). Die Entzugsleistungen sind auf die vergleichsweise hohen Wärmeleitfähigkeiten der Gesteine des Untergrundes zurückzuführen (vgl. Anlage 1). Dies sind hauptsächlich Kalksteine, Mergelsteine und Sandsteine der Trias und des Jura. Im Bereich der Schiefertonsteine und Tonsteine der Unterkreide sind dagegen durchschnittliche Entzugsleistungen zu erwarten.

Die Bedingungen in Bereichen größerer Lockergesteinsmächtigkeit im Norden des Untersuchungsgebietes sind im Allgemeinen als gut einzustufen. Südöstlich von Hagenburg sind dagegen deutliche niedrigere Entzugsleistungen zu erwarten (35-40 W/m bei 1800 bzw. 30-35 W/m bei 2400 Jahresbetriebsstunden), die auf den großen Grundwasserflurabstand in diesem Gebiet zurückzuführen sind.

Der häufig von Bohrunternehmen angesetzte Wert von 50 W/m wird nur in sehr kleinen Arealen erreicht, wo die unterkreidezeitlichen Sandsteine in großen Mächtigkeiten anstehen (Deister). Die Ergebnisse der Potenzialbewertung hängen stark von der verwendeten Berechnungsformal ab (vgl. Kap. 4.3). Im vorliegenden Fall wurde der Grundwasserfluss nicht berücksichtigt. Die möglichen Entzugsleistungen sind somit als konservativ zu betrachten. Bei einem starken Grundwasserfluss können die in der Karte angegebenen Werte von den tatsächlich erzielten Entzugsleistungen deutlich übertroffen werden.

Anlage 4 und 5 enthalten Informationen zur Zulässigkeit der thermischen Nutzung des Untergrundes mittels oberflächennaher Erdwärmesonden sowie Aspekte, die für die Herstellung der Erdwärmesondenbohrungen von Relevanz sind (Anhydrit-Vorkommen, verkarstungsfähige Gesteine etc. vgl. Kap. 4.4). In den auskartierten Bereichen ist die Nutzung der oberflächennahen Geothermie nicht grundsätzlich auszuschließen, es sind nur erhöhte Anforderungen an die Planung (weiterführende Untersuchungen) und die Errichtung der Erdwärmesondenanlage (besondere bohrtechnische Vorkehrungen) zu stellen.

5.2 Anwendungsbeispiele des geothermischen Atlas

Im Folgenden sollen an drei Beispielen die Anwendungsmöglichkeiten des Geothermischen Atlas erläutert werden.

5.2.1 Beispiel 1

In Möllenbeck ist die Errichtung einer Erdwärmesondenanlage geplant. Die Bedingungen für eine geothermische Nutzung des Untergrundes sind als gut einzustufen (Abbildung 4).

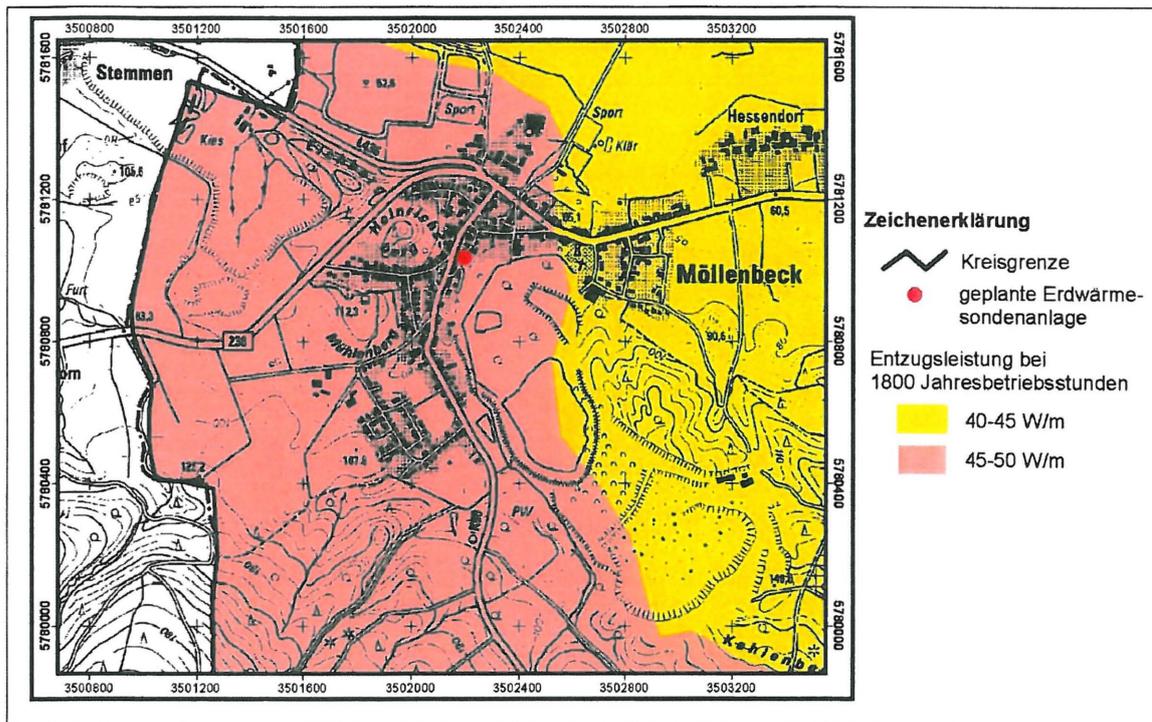


Abbildung 4: Spezifische Entzugsleistung im Bereich Möllenbeck

Bei 1800 Jahresbetriebsstunden sollten Entzugsleistungen von 45 bis 50 W/m möglich sein. Der Untergrund setzt sich hier aus Gesteinen des Unteren Jura und des Oberen Keuper zusammen. Die mittlere Wärmeleitfähigkeit bis in 100 m Tiefe beträgt $2,3 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$. Die Nutzung der oberflächennahen Geothermie sollte am Vorhabensstandort uneingeschränkt möglich sein.

5.2.2 Beispiel 2

Im südlichen Teil von Rodenberg ist die Errichtung einer Erdwärmesondenanlage für ein Einfamilienhaus geplant. Die Bedingungen für eine thermische Nutzung des Untergrundes sind als gut einzustufen (Abbildung 5). Es sollten bei 1800 Jahresbetriebsstunden Entzugsleistungen von 45-50 W/m möglich sein. Der Untergrund setzt sich hier aus Gesteinen des Oberen Jura und der Unterkreide zusammen. Die mittleren Wärmeleitfähigkeiten bis in 100 m Tiefe betragen $2,1$ bis $2,8 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$.

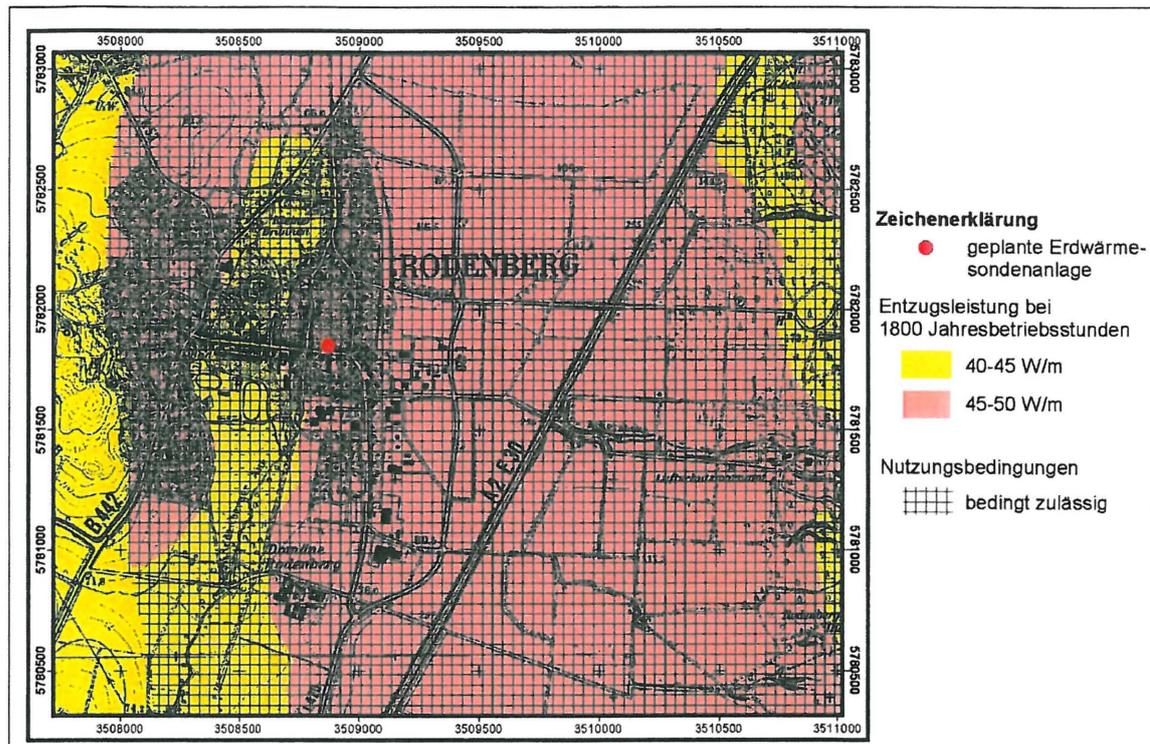


Abbildung 5: Spezifische Entzugsleistungen im Bereich Rodenberg

Das Vorhaben liegt in einem Bereich, in dem Anhydrit-Vorkommen im Untergrund auftreten können. Aus diesem Grund sollte eine objektbezogene Untersuchung durch ein Fachbüro stattfinden. Durch ein geologisches Gutachten kann geprüft werden, in welcher Tiefe die Anhydrit-Vorkommen angetroffen werden. Werden diese erst in größerer Tiefe (z.B. 80 m unter der Geländeoberfläche) angetroffen, kann eine geothermische Erschließung gegebenenfalls durch mehrere Bohrungen mit geringerer Tiefe erfolgen. Hierfür ist eine Bohrbegleitung durch einen mit den örtlichen geologischen Verhältnissen vertrauten Geologen empfehlenswert, da während des Bohrvorganges eine Gesteinsansprache erfolgen und die Endteufe der Bohrung festgelegt werden kann. Darüber hinaus sollte das geologische Gutachten eine Einschätzung zu möglichen artesischen Grundwasserverhältnissen und möglichen bohrtechnischen Vorkehrungen enthalten.

5.2.3 Beispiel 3

In Bad Eilsen ist die Errichtung einer Erdwärmesondenanlage geplant. Die Bedingungen für die Nutzung der oberflächennahen Geothermie sind als durchschnittlich zu betrachten (Abbildung 6). Bei 2400 Jahresbetriebsstunden sollte die mögliche Entzugsleistung 40 bis 45 W/m betragen. Der Untergrund wird hier aus Gesteinen des Oberen Jura aufgebaut. Die durchschnittliche Wärmeleitfähigkeit beträgt $2,3 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$.

Die geplante Erdwärmesondenanlage befindet sich in einem Bereich mit möglichen Anhydrit-Vorkommen und außerdem innerhalb der Zone II des amtlich festgesetzten Heilquellenschutzgebietes Bad Eilsen, etwa 50 m südöstlich des Nordbrunnens (vgl. Anlage 4). Die Nutzung der oberflächennahen Geothermie ist somit unzulässig.

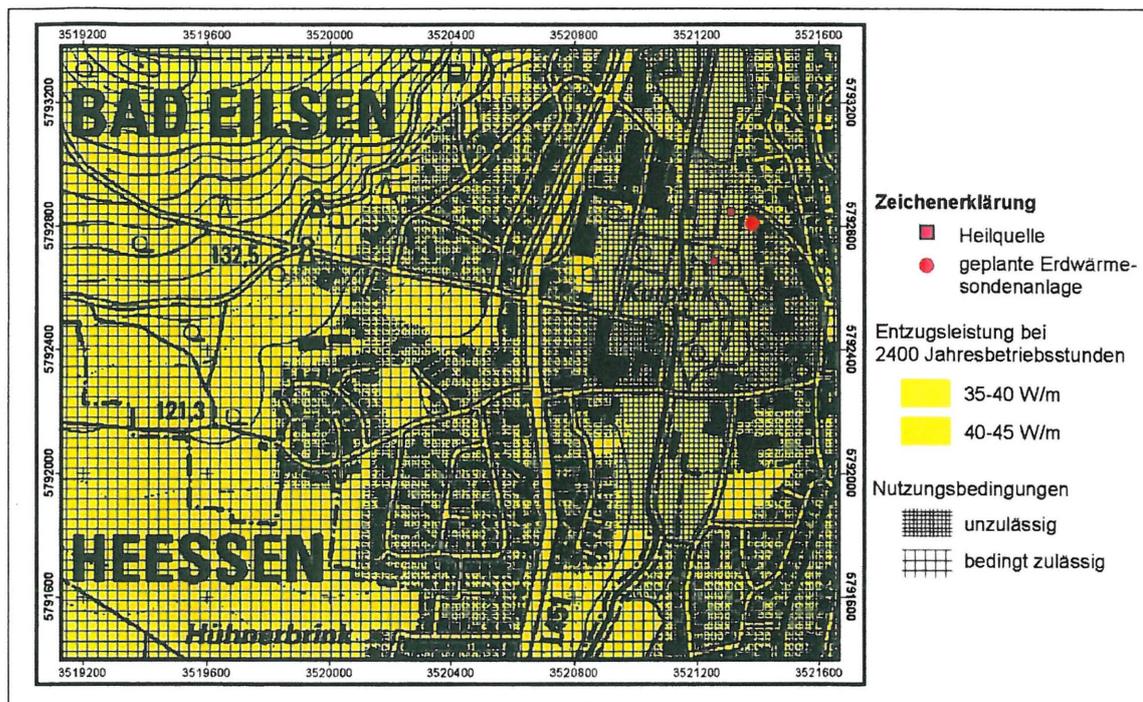


Abbildung 6: Spezifische Entzugsleistungen im Bereich Bad Eilsen

5.3 Aussagegenauigkeit

Die ermittelten Daten dienen einer ersten Abschätzung möglicher Wärmeleitfähigkeiten bzw. Entzugsleistungen sowie der Zulässigkeit der Nutzung oberflächennaher Geothermie, können aber eine konkrete Überprüfung im Rahmen des Anlagenbaus anhand der örtlich angetroffenen Verhältnisse nicht ersetzen. Die in den Karten abgebildeten Wärmeentzugsleistungen sind mit den vor Ort tatsächlich erbohrten Schichtabfolgen und nach der mit der Richtlinie VDI 4640 ermittelten Wärmeleitfähigkeiten bzw. Gleichung 1 oder 2 zu überprüfen und anzupassen.

Bei der Ausführungsplanung größerer Erdwärmesondenfelder wird die in-Situ-Bestimmung der effektiven Wärmeleitfähigkeit des Untergrundes mittels eines Geothermal Response Test empfohlen. Die Anlagenauslegung sollte mittels Spezialsoftware (z.B. Earth Energy Designer oder EWS) erfolgen.

Ebenso kann eine standortspezifische, objektbezogene Untersuchung (Einzelfallprüfung) hinsichtlich möglicher bohrtechnischer Schwierigkeiten (z.B. artesische Grundwasserverhältnisse) oder der grundsätzlichen Genehmigungsfähigkeit der Erdwärmesondenanlage nicht ersetzt werden.

Um die Aussagegenauigkeit der erstellten Kartenwerke, die hauptsächlich von der Datendichte im Untersuchungsgebiet abhängt, abzuleiten zu können, erfolgte eine Bewertung der zur Verfügung stehenden Datengrundlage (Abbildung 7).

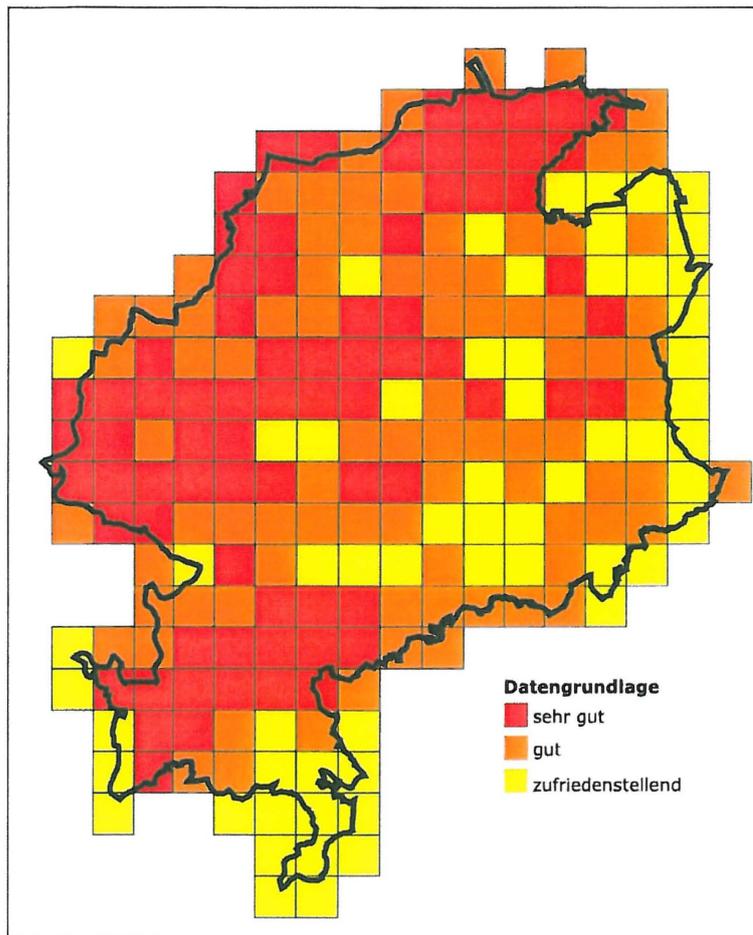


Abbildung 7: Bewertung der Datengrundlage

Die Geologischen Karten 1 : 25 000, die Geologische Übersichtskarte (Tertiär und Quartär abgedeckt), die Hydrogeologische Übersichtskarte 1 : 500 000 mit den Nutzungsbedingungen oberflächennaher Geothermie, die Karte der Hydrogeologischen Einheiten 1 : 500 000 sowie die Wasserschutz-, Heilquellenschutz-, Trinkwassergewinnungsgebietskarten und die Karten der vom Bergbau beeinflussten Gebiete stehen für das gesamte Projektgebiet zur Verfügung.

Die abgedeckten Geologischen Karten 1 : 25 000 und die Profiltypenkarten des Quartär 1 : 25 000 liegen lediglich für die Blätter 3521 Rehburg, 3522 Wunstorf und 3620 Niedernwöhren vor. Die Hydrogeologische Karte „Lage der Grundwasseroberfläche 1 : 50 000“ zeigt die Grundwasseroberfläche in allen Lockergesteinsgebieten. In den Festgesteinsgebieten ist diese Art der Darstellung nicht möglich, da ein flächenhaft verbreiteter, räumlich zusammenhängender Grundwasserkörper dort meist nicht existiert. Das Grundwasser bewegt sich in Klüften und Schichtfugen oder Karsthohlräumen (s. Kapitel 2.3).

Von den 3.003 in der Bohrungsdatenbank des LBEG registrierten Bohrungen im Landkreis Schaumburg gibt es für 1.981 eine Freigabe zur weiteren Nutzung. Für 1.739 dieser Bohrungen liegt ein geologisches Schichtenverzeichnis vor. Aufgrund der großen Anzahl an Bohrungen werden nur diejenigen ausgewertet, die tiefer als 10 m sind oder in geringe-

rer Tiefe Festgestein unter einer quartärzeitlichen Bedeckung antreffen. Bohrungen, die in den auskartierten Festgesteinsbereichen liegen, wurden nur stichprobenartig zur Verifizierung der bereits ermittelten Schichtmächtigkeiten ausgewertet. Insgesamt wurden für die Erstellung der Potenzialkarte 778 Bohrungen berücksichtigt, die ungleichmäßig über den Landkreis Schaumburg verteilt sind. Die Bohrungsdichte ist im Norden, Westen und im Bereich der Weser sehr hoch. Im Osten und im Süden stehen dagegen relativ wenige Bohrungen zur Verfügung. Das hat zur Folge, dass in den Bereichen geringerer Datendichte Unsicherheiten in Bezug auf die Geologie und somit auf die Wärmeleitfähigkeiten und die daraus resultierenden spezifischen Entzugsleistungen bestehen.

Zur Erweiterung der Datengrundlage wird empfohlen, die Schichtenverzeichnisse aller zukünftig im Landkreis Schaumburg durchgeführten Bohrungen zu sammeln und nach der erläuterten Vorgehensweise auszuwerten. Die geothermische Potenzialkarte kann so in regelmäßigen Abständen (z.B. alle 1 bis 2 Jahre) aktualisiert werden.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Die optimale Planung und die korrekte Dimensionierung von Erdwärmesondenanlagen setzt eine möglichst genaue Kenntnis des geologischen Untergrundaufbaus voraus. Daher wurde der Untergrund im Landkreis Schaumburg bis in eine Tiefe von 100 m einer geothermischen Analyse unterzogen und die ermittelte Wärmeleitfähigkeit sowie die Wärmeentzugsleistung des Untergrundes in geothermischen Potenzialkarten im Maßstab 1 : 25 000 flächenhaft dargestellt. Die ermittelten Werte gelten dabei für Wärmepumpenanlagen, die zur Beheizung und Warmwassererzeugung eines Ein- bis Zweifamilienhauses bei 1800 bzw. 2400 Anlagenbetriebsstunden pro Jahr und einer Erdwärmesondenlänge von 100 m eingesetzt werden. Die Karten liefern weiterhin Informationen, die für die Genehmigung und Errichtung (Bohrtechnik) einer Erdwärmesondenanlage von Bedeutung sind.

Im Landkreis Schaumburg herrschen generell durchschnittliche Bedingungen für die Nutzung geothermischer Energie. Die höchsten Entzugsleistungen können im Bereich der Rehburger Berge, des Wesergebirges, zwischen Bückeberge und Deister und im Lippischen Bergland erzielt werden (45 bis 50 W/m bei 1800 h/a, 40 bis 50 W/m bei 2400 h/a, vgl. Anlage 2 und 3). Das Wesertal um Rinteln sowie der westliche, zentrale und nördliche Teil des Landkreises Schaumburg sind ebenfalls für eine geothermische Nutzung geeignet (40 bis 45 W/m bei 1800 h/a bzw. 35 bis 45 W/m bei 2400 h/a). Südöstlich von Hagenburg sind die geringsten Entzugsleistungen im Landkreis Schaumburg zu erwarten (35 bis 40 W/m bei 1800 h/a, 30 bis 35 W/m bei 2400 h/a). Im vorliegenden Fall wurde der Grundwasserfluss nicht berücksichtigt. Die möglichen Entzugsleistungen sind somit als konservativ zu betrachten. Bei einem starken Grundwasserfluss können deutlich höhere Entzugsleistungen als die hier ermittelten erreicht werden.

Die ermittelten Daten dienen einer ersten Abschätzung möglicher Wärmeleitfähigkeiten bzw. Entzugsleistungen und ersetzen nicht die konkrete Überprüfung im Rahmen des Anlagenbaus anhand der örtlich angetroffenen Verhältnisse. Die in den Karten abgebildeten Wärmeentzugsleistungen sind mit den vor Ort tatsächlich erbohrten Schichtabfolgen und nach der mit der Richtlinie VDI 4640 ermittelten Wärmeleitfähigkeiten bzw. Gleichung 1 oder 2 zu überprüfen und anzupassen. Bei der Ausführungsplanung größerer Erdwärmesondenfelder wird die in-Situ-Bestimmung der effektiven Wärmeleitfähigkeit des Untergrundes mittels eines Geothermal Response Test empfohlen. Die Anlagenauslegung sollte mittels Spezialsoftware (z.B. Earth Energy Designer oder EWS) erfolgen.

In einem nächsten Bearbeitungsschritt bzw. bei einer zukünftigen Aktualisierung des geothermischen Atlas sollten die Bereiche, in denen stark gespannte bzw. artesische Grundwasserverhältnisse nicht ausgeschlossen werden können, sowie schützenswerte Gebiete um Mineralwasservorkommen bzw. Mineralwasserfördereinrichtungen detaillierter betrachtet und auskartiert werden.

Um die Informationen den Mitarbeitern der Genehmigungsbehörde und der breiten Öffentlichkeit zugänglich zu machen, wäre eine Implementierung der Karten auf die Intra- bzw. Internetseiten des Landkreises Schaumburg wünschenswert. Über eine Verlinkung könnten zudem der aufbereitete Erläuterungsbericht zum geothermischen Atlas sowie Antragsformulare und Kontaktdaten von Ansprechpartnern bereitgestellt werden.

Anhang 1

Schriftenverzeichnis

- [1] **WALTER, R. (1995):** Geologie von Mitteleuropa. – 566 S., Schweizerbart, Stuttgart.
- [2] **NAUMANN, E. (1922):** Erläuterungen zu Blatt 3820 Rinteln. –Geol. Kt. Preußen 1 : 25 000: 46 S., 1 Abb., 1 Kt., Berlin.
- [3] **BALDSCHUHN, R., BINOT, F., FLEIG, S. & KOCKEL, F. (2001):** Geotektonischer Atlas von Nordwest-Deutschland und dem deutschen Nordsee-Sektor. – Geol. Jb. Reihe A, 153: 88 S., 3 CD-ROMs.
- [4] **ROHDE, P. (1992):** Erläuterungen zu Blatt 3520 Loccum. –Geol. Kt. Nds. 1 : 25 000: 144 S., 28 Abb., 21 Tab., 8 Kt., Hannover.
- [5] **JORDAN, H. (1979):** Erläuterungen zu Blatt 3521 Rehburg. –Geol. Kt. Nds. 1 : 25 000: 134 S., 14 Abb., 8 Tab., 7 Kt., 1 Taf., Hannover.
- [6] **VOSS, H.-H. (1979):** Erläuterungen zu Blatt 3522 Wunstorf. –Geol. Kt. Nds. 1 : 25 000: 102 S., 14 Abb., 8 Tab., 6 Kt., Hannover.
- [7] **WORTMANN, H. (1968):** Erläuterungen zu Blatt 3619 Petershagen. – Geol. Kt. NRW 1 : 25 000: 122 S., 30 Abb., 9 Tab., 1 Kt. , 7 Taf., Krefeld.
- [8] **ROHDE, P. (1985):** Erläuterungen zu Blatt 3620 Niedernwöhren. –Geol. Kt. Nds. 1 : 25 000: 145 S., 38 Abb., 15 Tab., 8 Kt., Hannover.
- [9] **GRUPE O. & STACH, E. (1933):** Erläuterungen zu Blatt 3621 Stadthagen. –Geol. Kt. Preußen 1 : 25 000: 50 S., 2 Abb., 2 Tab., 1 Kt., Berlin.
- [10] **GRUPE O. & EBERT, A. (1927):** Erläuterungen zu Blatt 3622 Rodenberg. –Geol. Kt. Preußen 1 : 25 000: 50 S., 1 Tab., 1 Kt., Berlin.
- [11] **GRUPE O. & IHNEN, K. (1933):** Erläuterungen zu Blatt 3720 Bückeberg. –Geol. Kt. Preußen 1 : 25 000: 69 S., 1 Abb., 4 Tab., 1 Kt., 2 Taf., Berlin.
- [12] **GRUPE O. & IHNEN, K. (1933):** Erläuterungen zu Blatt 3721 Kathrinshagen. –Geol. Kt. Preußen 1 : 25 000: 56 S., 3 Abb., 2 Tab., 1 Kt., 2 Taf., Berlin.
- [13] **GRUPE O. & EBERT, A. (1927):** Erläuterungen zu Blatt 3722 Lauenau. –Geol. Kt. Preußen 1 : 25 000: 48 S., 1 Abb., 2 Kt., Berlin.
- [14] **NAUMANN, E. (1922):** Erläuterungen zu Blatt 3819 Vlotho. –Geol. Kt. Preußen 1 : 25 000: 54 S., 1 Kt., Berlin.
- [15] **NAUMANN, E. (1927):** Erläuterungen zu Blatt 3821 Hessisch-Oldendorf. –Geol. Kt. Preußen 1 : 25 000: 43 S., 1 Abb., 1 Kt., 1 Taf., Berlin.
- [16] **BUNDESVERBAND WÄRMEPUMPEN E.V. MÜNCHEN:** <http://www.waermepumpe.de/end-verbraucher/die-waermepumpe/waermequellen/erdsonde.html>, 16.06.2009

- [17] **DEUTSCHER VEREIN DES GAS- UND WASSERFACHES E.V., DVGW (2001):** Qualifikationskriterien für Bohr-, Brunnenbau- und Brunnenregenerierunternehmen. – Technische Regel, Arbeitsblatt W 120 G, Bonn.
- [18] **BUNDESBERGGESETZ (BBERGG)** vom 13. August 1980 (BGBl. I S. 1310), zuletzt geändert durch Artikel 11 des Gesetzes vom 09. Dezember 2006 (BGBl. I S. 2833), <http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/bbergg/gesamt.pdf>, 16.06.2009.
- [19] **WASSERHAUSHALTSGESETZ (WHG):** vom 19. August 1992 (BGBl. I S. 3245), zuletzt geändert durch Artikel 8 des Gesetzes vom 22. Dezember 2008 (BGBl. I S. 2986), <http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/whg/gesamt.pdf>
- [20] **NIEDERSÄCHSISCHES WASSERGESETZ (NWG)** vom 10. Juni 2004 (Nds. GVBl. Nr. 17/2004, S. 171), zuletzt geändert durch Artikel 1 des Gesetzes vom 26.04.2007 (Nds. GVBl. Nr. 10/2007, S. 144), www.recht-niedersachsen.de/2820003/nwg.htm, 16.06.2009.
- [21] **BENZ, S. (2007):** Rechtliche Rahmenbedingungen für die Nutzung der oberflächennahen Geothermie. – Lüneburger Schriften zum Umwelt- und Energierecht, Band 13.
- [22] **LAGERSTÄTTENGESETZ (LAGERSTG)** vom 01.01.1975 (BGBl. III, 750-1), zuletzt geändert durch Artikel 22 des Gesetzes vom 10.11.2001 (BGBl. I S. 2992), <http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/lagerstg/gesamt.pdf>, 06.07.2009.
- [23] **VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE (2008):** Thermische Nutzung des Untergrundes – Erdgekoppelte Wärmepumpenanlagen, VDI-Richtlinie 4640, Entwurf Blatt 1, Düsseldorf.
- [24] **NIEDERSÄCHSISCHES UMWELTMINISTERIUM (2006):** Leitfaden Erdwärmennutzung in Niedersachsen, http://cdl.niedersachsen.de/blob/images/C33207189_L20.pdf, 17.06.2009.

Kartenwerke

Topographische Karten

- [25] **LANDVERMESSUNG UND GEOBASISINFORMATION NIEDERSACHSEN (LGN):** Topographische Karte 1 : 25 000, Bl. 3519 Uchte Süd, 2002.
- [26] **LANDVERMESSUNG UND GEOBASISINFORMATION NIEDERSACHSEN (LGN):** Topographische Karte 1 : 25 000, Bl. 3520 Loccum, 2003.
- [27] **LANDVERMESSUNG UND GEOBASISINFORMATION NIEDERSACHSEN (LGN):** Topographische Karte 1 : 25 000, Bl. 3521 Rehburg, 2003.
- [28] **LANDVERMESSUNG UND GEOBASISINFORMATION NIEDERSACHSEN (LGN):** Topographische Karte 1 : 25 000, Bl. 3522 Wunstorf, 2005.
- [29] **LANDVERMESSUNG UND GEOBASISINFORMATION NIEDERSACHSEN (LGN):** Topographische Karte 1 : 25 000, Bl. 3620 Niedernwöhren, 2003.

- [30] **LANDVERMESSUNG UND GEOBASISINFORMATION NIEDERSACHSEN (LGN):** Topographische Karte 1 : 25 000, Bl. 3621 Stadthagen, 2003.
- [31] **LANDVERMESSUNG UND GEOBASISINFORMATION NIEDERSACHSEN (LGN):** Topographische Karte 1 : 25 000, Bl. 3622 Barsinghausen, 2005.
- [32] **LANDVERMESSUNG UND GEOBASISINFORMATION NIEDERSACHSEN (LGN):** Topographische Karte 1 : 25 000, Bl. 3720 Bückeberg, 2003.
- [33] **LANDVERMESSUNG UND GEOBASISINFORMATION NIEDERSACHSEN (LGN):** Topographische Karte 1 : 25 000, Bl. 3721 Auetal, 2003.
- [34] **LANDVERMESSUNG UND GEOBASISINFORMATION NIEDERSACHSEN (LGN):** Topographische Karte 1 : 25 000, Bl. 3722 Lauenau, 2005.
- [35] **LANDVERMESSUNG UND GEOBASISINFORMATION NIEDERSACHSEN (LGN):** Topographische Karte 1 : 25 000, Bl. 3820 Rinteln, 2003.
- [36] **LANDVERMESSUNG UND GEOBASISINFORMATION NIEDERSACHSEN (LGN):** Topographische Karte 1 : 25 000, Bl. 3821 Hessisch-Oldendorf, 2003.
- [37] **BEZIRKSREGIERUNG KÖLN (GEOBASIS.NRW):** Topographische Karte 1 : 25 000, Bl. 3619 Petershagen, 2007.
- [38] **BEZIRKSREGIERUNG KÖLN (GEOBASIS.NRW):** Topographische Karte 1 : 25 000, Bl. 3719 Minden, 2007.
- [39] **BEZIRKSREGIERUNG KÖLN (GEOBASIS.NRW):** Topographische Karte 1 : 25 000, Bl. 3819 Vlotho, 2007.

Geologische Karten

- [40] **NIEDERSÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR BODENFORSCHUNG:** Geologische Karte von Niedersachsen 1 : 25 000, Bl. 3520 Loccum, 1992.
- [41] **NIEDERSÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR BODENFORSCHUNG:** Geologische Karte von Niedersachsen 1 : 25 000, Bl. 3521 Rehburg, 1979.
- [42] **NIEDERSÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR BODENFORSCHUNG:** Geologische Karte von Niedersachsen 1 : 25 000, Bl. 3521 Wunstorf, 1979.
- [43] **GEOLOGISCHES LANDESAMT NORDRHEIN-WESTFALEN:** Geologische Karte von Nordrhein-Westfalen 1 : 25 000, Bl. 3619 Petershagen, 1968.
- [44] **NIEDERSÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR BODENFORSCHUNG:** Geologische Karte von Niedersachsen 1 : 25 000, Bl. 3620 Niedernwöhren, 1985.
- [45] **PREUßISCHE GEOLOGISCHE LANDESANSTALT:** Geologische Karte von Preußen 1 : 25 000, Bl. 3621 Stadthagen, 1933.
- [46] **PREUßISCHE GEOLOGISCHE LANDESANSTALT:** Geologische Karte von Preußen 1 : 25 000, Bl. 3622 Rodenberg, 1927.

- [47] **PREUBISCHE GEOLOGISCHE LANDESANSTALT:** Geologische Karte von Preußen
1 : 25 000, Bl. 3720 Bückeberg, 1933.
- [48] **PREUBISCHE GEOLOGISCHE LANDESANSTALT:** Geologische Karte von Preußen
1 : 25 000, Bl. 3721 Kathrinhagen, 1933.
- [49] **PREUBISCHE GEOLOGISCHE LANDESANSTALT:** Geologische Karte von Preußen
1 : 25 000, Bl. 3722 Lauenau, 1927.
- [50] **PREUBISCHE GEOLOGISCHE LANDESANSTALT:** Geologische Karte von Preußen
1 : 25 000, Bl. 3819 Vlotho, 1922.
- [51] **PREUBISCHE GEOLOGISCHE LANDESANSTALT:** Geologische Karte von Preußen
1 : 25 000, Bl. 3820 Rinteln, 1922.
- [52] **PREUBISCHE GEOLOGISCHE LANDESANSTALT:** Geologische Karte von Preußen
1 : 25 000, Bl. 3821 Hessisch-Oldendorf, 1927.

Sonstige Kartenwerke

- [53] **LANDESAMT FÜR BERGBAU, ENERGIE UND GEOLOGIE (LBEG):** Hydrogeologische Übersichtskarte von Niedersachsen 1 : 500 000 - Nutzungsbedingungen oberflächennaher Geothermie, 2009.
- [54] **KARTENSERVER DES NIBIS (2008):** Hydrogeologische Einheiten von Niedersachsen 1 : 500 000. – Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG), Hannover.
- [55] **KARTENSERVER DES NIBIS (2008):** Lage der Grundwasseroberfläche 1 : 50 000 - Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG), Hannover.
- [56] **KARTENSERVER DES NIBIS (2008):** Themenkarte: Spezifische Wärmeentzugsleistung (Sondenentzugstiefe 100 m), Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG), Hannover.
- [57] **NIEDERSÄCHSISCHER LANDESBETRIEB FÜR WASSERWIRTSCHAFT, KÜSTEN- UND NATURSCHUTZ (NLWKN):** Wasserschutzgebiete, 2008.
- [58] **NIEDERSÄCHSISCHER LANDESBETRIEB FÜR WASSERWIRTSCHAFT, KÜSTEN- UND NATURSCHUTZ (NLWKN):** Heilquellenschutzgebiete, 2008.
- [59] **NIEDERSÄCHSISCHER LANDESBETRIEB FÜR WASSERWIRTSCHAFT, KÜSTEN- UND NATURSCHUTZ (NLWKN):** Trinkwassergewinnungsgebiete, 2008.
- [60] **LANDESBERGAMT CLAUSTHAL-ZELLERFELD:** Karte der vom Bergbau beeinflussten Gebiete 1 : 25 000, Bl. 3521 Rehbürg, 2005.
- [61] **LANDESBERGAMT CLAUSTHAL-ZELLERFELD:** Karte der vom Bergbau beeinflussten Gebiete 1 : 25 000, Bl. 3522 Wunstorf, 2005.
- [62] **LANDESBERGAMT CLAUSTHAL-ZELLERFELD:** Karte der vom Bergbau beeinflussten Gebiete 1 : 25 000, Bl. 3620 Niedernwöhren, 2005.

-
- [63] **LANDESBERGAMT CLAUSTHAL-ZELLERFELD:** Karte der vom Bergbau beeinflussten Gebiete 1 : 25 000, Bl. 3621 Stadthagen, 2005.
- [64] **LANDESBERGAMT CLAUSTHAL-ZELLERFELD:** Karte der vom Bergbau beeinflussten Gebiete 1 : 25 000, Bl. 3622 Barsinghausen, 2005.
- [65] **LANDESBERGAMT CLAUSTHAL-ZELLERFELD:** Karte der vom Bergbau beeinflussten Gebiete 1 : 25 000, Bl. 3719 Minden, 2005.
- [66] **LANDESBERGAMT CLAUSTHAL-ZELLERFELD:** Karte der vom Bergbau beeinflussten Gebiete 1 : 25 000, Bl. 3720 Bückeburg, 2005.
- [67] **LANDESBERGAMT CLAUSTHAL-ZELLERFELD:** Karte der vom Bergbau beeinflussten Gebiete 1 : 25 000, Bl. 3721 Auetal, 2005.
- [68] **LANDESBERGAMT CLAUSTHAL-ZELLERFELD:** Karte der vom Bergbau beeinflussten Gebiete 1 : 25 000, Bl. 3722 Lauenau, 2005.
- [69] **LANDESBERGAMT CLAUSTHAL-ZELLERFELD:** Karte der vom Bergbau beeinflussten Gebiete 1 : 25 000, Bl. 3820 Rinteln, 2005.
- [70] **LANDESBERGAMT CLAUSTHAL-ZELLERFELD:** Karte der vom Bergbau beeinflussten Gebiete 1 : 25 000, Bl. 3821 Hessisch-Oldendorf, 2005.

Anhang 2

Formel zur Ermittlung der spezifischen Entzugsleistung

P – spezifische Entzugsleistung in W/m

λ – Wärmeleitfähigkeit in W/(m*K)

Kaltschmitt, M., Huenges, . E., Wolf, H. (1999) 1800 Betriebsstunden	$P = 13\lambda + 10$
Pannike, S. (2005) 1800 Betriebsstunden, ohne Grundwasserfluss	$P = -0,85\lambda^2 + 13,62\lambda + 18,8$
Pannike, S. (2005) 1800 Betriebsstunden, mit Grundwasserfluss	$P = -1,04\lambda^2 + 14,24\lambda + 23,39$
Pannike, S. (2005) 2100 Betriebsstunden, ohne Grundwasserfluss	$P = -0,75\lambda^2 + 12,93\lambda + 17,58$
Pannike, S. (2005) 2100 Betriebsstunden, mit Grundwasserfluss	$P = -0,97\lambda^2 + 13,81\lambda + 22,13$
Wenzel, D. (2008) 1500 Betriebsstunden	$P = -1,02\lambda^2 + 13,21\lambda + 31,72$
Wenzel, D. (2008) 1800 Betriebsstunden	$P = -0,96\lambda^2 + 13,00\lambda + 29,60$
Wenzel, D. (2008) 2100 Betriebsstunden	$P = -0,91\lambda^2 + 12,73\lambda + 27,79$
Wenzel, D. (2008) 2400 Betriebsstunden	$P = -0,85\lambda^2 + 12,39\lambda + 26,26$
Geologischer Dienst für Bremen 1800 Betriebsstunden, mit Grundwasserfluss	$P = -1,08\lambda^2 + 14,45\lambda + 23,35$
Geologischer Dienst für Bremen 2400 Betriebsstunden, mit Grundwasserfluss	$P = -0,88\lambda^2 + 13,25\lambda + 20,85$