

Sachstandsbericht
für einen bundeseinheitlichen Produktkatalog
zur wirtschaftlichen Anwendung
oberflächennaher geothermischer Daten

Bericht des Personenkreises
Oberflächennahe Geothermie (PK OG)
der
Ad-hoc-AG Hydrogeologie
an den
Direktorenkreis der Staatlichen Geologischen Dienste
und den
Bund-Länder-Ausschuss-Bodenforschung

INHALT

I	EINFÜHRUNG	1
II	ANLASS UND AUFTRAG	2
III	GRUNDLAGEN	3
IV	VORGEHENSWEISE	4
V	ERGEBNISSE UND EMPFEHLUNGEN	4
VI	PRODUKTKATALOG	5
VI.1	BASISDATEN	6
VI.1.1	SCHICHTENVERZEICHNISSE	6
VI.1.2	WÄRMELEITFÄHIGKEIT DER GESTEINE	7
VI.1.3	WÄRMEKAPAZITÄT DER GESTEINE	8
VI.1.4	WEITERE PARAMETER	8
VI.2	ABGELEITETE DATEN	8
VI.2.1	SPEZIFISCHE ENTZUGSLEISTUNG	8
VI.2.2	GRUNDWASSERSTAND	9
VI.3	ANWENDUNGEN	9
VI.3.1	DATENBANKABFRAGE „AUTOMATISIERTE ATTRIBUTIERUNG DIGITALER SCHICHTDATEN“ UND VISUALISIERUNG VON PUNKTDATEN	9
VI.3.2	MÖGLICHKEIT DER VISUALISIERUNG	13
VI.3.3	BEISPIELE AUS DEN LÄNDERN FÜR DIE REGIONALISIERUNG	16
VI.4	LEITFÄDEN	21
VII	MÖGLICHKEITEN DER KOOPERATION MIT DER WIRTSCHAFT	22
VIII	AUSBLICK	24
IX	LITERATUR	25
X	ANHANG	25

I EINFÜHRUNG

Die Staatlichen Geologischen Dienste (SGD) verfügen in Deutschland über den qualitativ hochwertigsten Informationsstand über den Untergrund. Das Bundesberggesetz und das Lagerstättengesetz regeln die Behandlung geothermischer Energie sowie den Fluss und die Aufarbeitung von Untergrundinformationen an und durch die SGD. Ziel der Aktivitäten des Personenkreises Oberflächennahe Geothermie (PK OG) war es, einen Vorschlag für einen bundeseinheitlichen Produktkatalog zur wirtschaftlichen Nutzung oberflächennaher geothermi-

scher Daten zu erarbeiten. Kompatibilität zu bereits bestehenden Produkten der SGD wie beispielsweise in Baden-Württemberg, Brandenburg oder Nordrhein-Westfalen ist dabei selbstverständlich.

Im ersten Schritt hat der PK OG die aktuellen untergrundbezogenen Gesetze, Verordnungen, Methoden, Vorschriften, Leitfäden und Datenangebote zur Planung von Erdwärmeanlagen in Deutschland recherchiert. Aufbauend auf diesen Basisdaten wurde eine EDV-gestützte Methodik zur Interpretation, Attributierung und Darstellung von Untergrundinformationen bezüglich geothermischer Parameter erarbeitet. Die Methodik ist modular aufgebaut und ermöglicht mittels Datenbank- und GIS-gesteuerter Verknüpfungen die Berücksichtigung aller zur Ermittlung des Erdwärmepotenzials des Untergrundes erforderlichen geowissenschaftlichen Informationsebenen.

Der Produktkatalog wird wie folgt definiert: Die im Zusammenhang mit den Aktivitäten des PKOG entwickelte modulare Datenbankanwendung mit den zugehörigen geowissenschaftlichen Basisinformationen und bei Bedarf anzufertigenden Fachinformationen bilden gemeinsam den Produktkatalog. Der Produktkatalog beschreibt mithin den Prozess der geothermischen Attributierung unter Berücksichtigung regionaler Besonderheiten, insbesondere bei der Regionalisierungsmethodik. Eine Auflistung einzelner Produkte im klassischen Sinne eines produzierenden Unternehmens ist an dieser Stelle nicht gewollt. Das Attributierungsverfahren, das heißt die Zuweisung der Entzugsleistung auf Grundlage petrographischer Informationen sowie Wärmeleitfähigkeiten sollte Länder übergreifend einheitlich angewendet werden. Die Regionalisierungsmethode und die Interpretations- bzw. Aussagetiefe jedoch obliegt den einzelnen Staatlichen Geologischen Diensten. Ein derartiger modularer Produktkatalog erlaubt es den SGD sehr flexibel und dynamisch zu agieren. Die Informationstiefe kann den verfügbaren Ressourcen angepasst und so in die Aufgabenstrukturen integriert werden.

Die Zusammenstellung der digitalen Bohrdatenbestände der SGD zeigt einerseits, dass die Informationsdichte über die Fläche und Tiefe heterogen ist und andererseits, dass die Güte bzw. Zuverlässigkeit der Information variiert. Der vom PKOG entwickelte Modulansatz stellt die Erweiterung oder Aktualisierung der erforderlichen Informationsmodule jeder Zeit sicher. Darüber hinaus ermöglicht er die Implementierung in moderne Informations- und

Recherchewerkzeuge wie z.B. internetgestützte WebMapServices oder WebFeatureServices. Eine Vernetzung mit weiteren wichtigen Informationen zur Beurteilung des oberflächennahen geothermischen Potenzials aus anderen Einrichtungen (Topographie, Schutzgebiete, Orthophotos etc.) kann unproblematisch erfolgen.

Als wichtige Basisinformation wurde die Hierarchiestufe 7 der bundesweit abgestimmten Gliederung der petrographischen Systematisierung der Ad-hoc-AG Geologie mit den derzeit bekannten Gesteins-Wärmeleitfähigkeiten versehen. Dies erlaubt eine Interpretation der Untergrundinformationen hinsichtlich des Potenzials der oberflächennahen Geothermie für ganz Deutschland.

Die Attributierungsmethodik lehnt sich eng an die Richtlinie 4640 Blatt 2 „Thermische Nutzung des Untergrundes – Erdgekoppelte Wärmepumpenanlagen“ des Vereins Deutscher Ingenieure (VDI) an. Über den Sprecher des Personenkreises wurde ein Informationsaustausch mit dem zuständigen VDI-Richtlinienausschuss aufgebaut, so dass die SGD ihre Kenntnisse in die Weiterentwicklung der VDI-Richtlinie 4640 künftig aktiv einbringen können.

In einigen Ländern wurden, meist basierend auf den automatisierten Attributierungen der Bohrdatenbanken der Länder, bereits Regionalisierungen der geothermischen Informationen vorgenommen, so dass dort flächendeckende Informationen in Form einer Übersichtskarte vorliegen. Bei diesem Prozess ist die Berücksichtigung von Sekundärunterlagen der Geologischen Dienste unabdingbar, um die Regionalisierung den Gegebenheiten vor Ort anzupassen und spezifische Verhältnisse zu berücksichtigen.

Kooperationen mit der Wirtschaft wurden über die Kommission für Geoinformationswirtschaft des Bundeswirtschaftsministeriums eingeleitet. Der Zentralverband des Deutschen Handwerks und der Bundesverband der Deutschen Wohnungs- und Immobilienunternehmen erarbeiten im Moment gemeinsam mit den beteiligten Behörden regional-spezifische Umsetzungsmodelle für Baden-Württemberg, Brandenburg, Bremen und Hamburg.

An dieser Stelle muss festgehalten werden, dass die Kooperationen und Geschäftsmodelle stets vor dem Hintergrund der Gepflogenheiten und Vorgaben in den Ländern in einem iterativen Prozess zwischen Verwaltung und Wirtschaft spezifisch erarbeitet werden müssen.

Im Zuge der Bearbeitung wurde deutlich, dass einige Themenbereiche noch vertieft herausgearbeitet werden müssen, um eine qualitative Beratungsleistung durch die SGD langfristig sicherzustellen und auch dort das Alleinstellungsmerkmal „Untergrundkompetenz“ zu erhalten. Restriktionsgebiete sollten regional erfasst und bundeseinheitlich systematisiert, Wärmeleitfähigkeiten aufgenommen, katalogisiert und interpretiert werden, um die Informationsgrundlage kontinuierlich zu verbessern. Vorgaben zu Bohr- und Verfüllungsverfahren sollten über Ländergrenzen hinweg vereinheitlicht werden, um einheitliche und nachvollziehbare Empfehlungen aussprechen zu können. Diese Themen gehören zu den originären Tätigkeitsfeldern der SGD und stellen somit keine zusätzliche Aktivität dar. Es sollte sicher gestellt werden, dass die Erkenntnisse aus den aktuellen Tätigkeitsfeldern im Sinne einer integrierten Kartierung in den Kompetenzbereich der oberflächennahen Geothermie eingepflegt und unter diesem speziellen Aspekt interpretiert werden.

II ANLASS UND AUFTRAG

Energiegewinnung aus regenerativer Erdwärme hat einen hohen Wert für den Schutz unserer Umwelt. Durch eine verstärkte Nutzung dieser erneuerbaren Energiequelle können fossile Energiequellen wie Erdöl, Erdgas und Kohle substituiert und der CO₂-Ausstoß in die Atmosphäre reduziert werden. Das öffentliche Interesse, die verbrauchs- und umweltfreundliche Energiequelle „Erdwärme“ zu nutzen, sowie steigende Energiekosten haben in den vergangenen Jahren zu einem sprunghaften Anstieg der Anlagen zur Erdwärmennutzung geführt. Allerdings übertrifft die Anlagenanzahl im europäischen Ausland wie z.B. in der Schweiz, in Frankreich oder in einigen skandinavischen Ländern die Anzahl in Deutschland bei weitem.

Die Dimensionierung von Erdwärmesonden (EWS) – dem häufigsten Anlagentyp zur Nutzung der oberflächennahen Geothermie in Deutschland – hängt entscheidend von der jeweiligen geologischen und hydrogeologischen Standortsituation ab. In den Datenbanken der Staatlichen Geologischen Dienste werden alle verfügbaren geologischen und hydrogeologischen Daten archiviert. Somit stehen hier umfangreiche Informationen für eine Abschätzung der Dimensionierung der unterirdischen Teile von EWS-Anlagen zur Verfügung.

Die SGD besitzen in Bezug auf die Kompilation und Interpretation von Untergrundinformationen ein ausgeprägtes Alleinstellungsmerkmal. Sie können Daten für eine große Zahl von Einzelstandorten bereitstellen und aus diesen Informationen gemeinsam mit Erkenntnissen aus anderen Untersuchungen Interpretationen in der Fläche vornehmen.

Auf der BLA-Geo-Sitzung 10/2004 in Oldenburg wurde daher beschlossen, dass durch den Personenkreis „Nutzung des oberflächennahen geothermischen Potenzials“ (nachfolgend als PK OG bezeichnet), der der Ad-hoc-AG Hydrogeologie zugeordnet ist, innerhalb eines Zeitraumes von maximal 2 Jahren ein bundeseinheitlicher Produktkatalog zur wirtschaftlichen Anwendung geothermischer Daten für die oberflächennahe Geothermie erarbeitet werden soll. Der PK OG hat seine Arbeit am 02.02.2005 in Frankfurt am Main mit der konstituierenden Sitzung aufgenommen.

III GRUNDLAGEN

Als Erdwärme bzw. geothermische Energie wird die unterhalb der Oberfläche der festen Erde vorhandene Wärmeenergie bezeichnet. Diese beruht im Wesentlichen auf dem vom Erdinneren zur Erdoberfläche gerichteten terrestrischen Wärmestrom und der von der Sonne eingestrahltene Wärmeenergie. Die von der Sonne eingestrahltene und die von der Erdoberfläche an die Atmosphäre abgegebene Wärmeenergie sind hierbei maßgebend für die Temperaturen in den oberflächennahen Schichten bis zu einer Tiefe von etwa 10 bis 20 m. In den tieferen Schichten ist der terrestrische Wärmestrom maßgebend. Die Quellen des terrestrischen Wärmestroms sind u. a. die bei der Erdentstehung freigeordnete und die durch den Zerfall radioaktiver Isotope freigesetzte Energie. Unterhalb des Einflussbereichs der Sonneneinstrahlung, d.h. unterhalb etwa 10 bis 20 m, nimmt in Deutschland die Temperatur im Mittel um rd. 3 °C pro 100 m Tiefe zu.

Oberflächennahe Geothermie

In Abhängigkeit von der Erschließungstiefe der Erdwärme unterscheidet man zwischen oberflächennahe und tiefer Geothermie. Bei der oberflächennahen Geothermie wird die Wärmeenergie des Untergrundes bis max. 400 m, meist bis jedoch nur bis 150 m z.B. über Erdwärmekollektoren, Erdwärmesonden, Grundwasserbohrungen oder Ener-

giepfähle genutzt. Die Übergänge zur Nutzung der tiefen Geothermie sind fließend.

Die zur Erschließung oberflächennaher Erdwärme am häufigsten genutzten Anlagen in Deutschland sind EWS-Anlagen, die als technisch ausgereift und zuverlässig anzusehen sind. Ein wesentlicher Vorteil der EWS gegenüber anderen Systemen ist ihr geringer Platzbedarf sowie die weitgehende Wartungsfreiheit. EWS werden in Bohrungen mit Tiefen meist oberhalb von 100 m, teils auch tiefer, und Bohrdurchmessern bis 220 mm eingebaut. Die Sonden bestehen in der Regel aus paarweise gebündelten U-förmigen Kunststoffrohrschleifen (Abb. 1). Seltener sind die aus nur einer Kunststoffrohrschleife bestehenden Einfach-U-Sonden und die aus Innen- und Außenrohr bestehenden Koaxialsonden. Bisher nur selten finden sich die seit etwa 6 Jahren auf dem Markt befindlichen, aus flexiblen Kupfer- oder Edelstahlrohr bestehenden CO₂-Sonden. Der nach Einbau der Sonden in das Bohrloch verbleibende Hohlraum zwischen Sondenbündel und Bohrlochwand sollte mit einer Zement-Bentonit-Suspension hohlraumfrei verpresst werden. Dies erfolgt zur Verhinderung eines Austritts des Wärmeträgermittels im Schadensfall und der Verhinderung einer hydraulischen Verbindung zweier oder mehrerer Grundwasserstockwerke. Gleichzeitig wird durch die Verpressung eine gute thermische Anbindung der Sonden an den Untergrund erreicht.



Abb. 1: Erdwärmesonde (Quelle: Bundesverband WärmePumpe e.V.).

Der Anschluss der Sonden an die im Haus befindliche Wärmepumpe erfolgt über nahe der Erdoberfläche verlegte Sammelleitungen. Eine in den Sonden in einem geschlossenen Kreislauf zirkulierende Wärmeträgerflüssigkeit nimmt im Heizfall im Untergrund Wärme auf und transportiert diese zur Wärmepumpe. Die „Erdwärme“ kann ebenso zum Kühlen genutzt werden. Als Wärmeträgermittel werden vorwiegend Gemische aus Wasser und Frostschutzmittel (z.B. Glykol, Ethanol) verwendet. In den letzten Jahren werden zunehmend auch Sonden angeboten, die nach dem Prinzip der Niedertemperaturverdampfung arbeiten.

IV VORGEHENSWEISE

Die Bedingungen und Vorgehensweisen in den Ländern sind bezüglich der Behandlung geothermischer Fragestellungen heterogen ausgebildet. Aus diesem Grund wurden zu Beginn zunächst Rechercharbeiten erforderlich, die die einzelnen Rahmenbedingungen miteinander vergleichen ließen. Die Auswertung der Nutzungsformen der oberflächennahen Geothermie in Deutschland ergab, dass EWS mit einem Anteil von rd. 90% den häufigsten geothermischen Anlagentyp in Deutschland darstellen. Die Arbeiten wurden daher ausschließlich auf diesen Anlagentyp ausgerichtet. Der PK OG hat folgende Themengebiete bearbeitet:

1. Identifikation der für die Planung und Dimensionierung von EWS-Anlagen erforderlichen geologischen und hydrogeologischen Informationen und Parameter unter besonderer Berücksichtigung der in der VDI-Richtlinie 4640 Blatt 2 „Thermische Nutzung des Untergrundes“ beschriebenen und bundesweit am häufigsten genutzten Methode zur Dimensionierung von EWS-Anlagen.
2. Abgleich des Informationsbedarfs auf der Planungsseite mit den bei den SGD vorgehaltenen geologischen/hydrogeologischen Daten. Abfrage des Sachstandes der Bohrdatenbanken der Länder.
3. Abstimmung der Arbeiten des PK OG mit dem VDI-Richtlinienausschuss 4640 bzgl. der Überarbeitung der VDI-Richtlinie 4640.
4. Durchführung einer Recherche der gesteinsphysikalischen Parameter Wärmeleitfähigkeit und Wärmekapazität. Zuweisung von zurzeit vorhandenen Wärmeleitfähigkeitswerten zur

Hierachiestufe 7 der der von der Ad-hoc-AG Geologie abgestimmten Petrographieliste und – soweit erforderlich – zu weiteren, teils geogenetischen Begriffen (z.B. Geschiebemergel) .

5. Erstellung einer Interpretationsmethodik zur Aufbereitung und Darstellung oberflächennaher geothermischer spezifischer Entzugsleistungen, abgeleitet aus den Wärmeleitfähigkeiten der Gesteine über die petrographischen (und bei Erfordernis auch geogenetischen) Angaben in den Schichtenverzeichnissen der Bohrdatenbanken der SGD (siehe VI.3 Anwendungen).
6. Erarbeitung einer GIS-gestützten Datenbankanwendung zur automatisierten Zuweisung gesteinspezifischer Wärmeleitfähigkeiten zu den in den Datenbanken der Länder geführten petrographischen (und bei Erfordernis auch geogenetischen) Einheiten (siehe VI.3 Anwendungen).
7. Beispielhafte Regionalisierung spezifischer Entzugsleistungen aus Punktinformationen von Bohrdatenbanken in Kombination mit sekundären Informationen (z.B. Tektonik, Tiefenkarten).

V ERGEBNISSE UND EMPFEHLUNGEN

Die Planung und Dimensionierung von EWS-Anlagen hängt entscheidend von der geologischen und hydrogeologischen Standortsituation ab. Die wesentlichen geothermischen Randbedingungen sind insbesondere die Wärmeleitfähigkeit des am Standort anstehenden Gesteins und das Vorkommen von Grundwasser und dessen Volumenstrom über die Sondenlänge. Weitere Randbedingungen sind die Wärmekapazität des Gesteins sowie die Oberflächentemperatur, der geothermische Gradient und der terrestrische Wärmestrom.

Eine flächendeckende Erhebung, Aufbereitung und Bereitstellung dieser Daten ist in Deutschland allein durch die SGD möglich. Nur sie verfügen aufgrund ihrer gesetzlichen Aufträge zur geologischen und hydrogeologischen Landesaufnahme über umfangreiche, flächendeckende Datenbestände, die auch im Zusammenhang mit der oberflächennahen Geothermie verwendbar sind.

Die in den meisten Bundesländern fehlenden Informationsangebote haben dazu geführt, dass die Dimensionierung von EWS in der Praxis regelmäßig ohne Berücksichtigung der standörtlichen geologisch-hydrogeologischen Gegebenheiten, sondern

allein anhand von „Faustwerten“ erfolgt. Die Auswertung von rd. 900 hessischen EWS-Anlagen zeigt, dass unabhängig von der jeweiligen geologisch-hydrogeologischen Standortsituation, für vier von zehn Anlagen von einer identischen thermischen Leistung des Untergrundes von 50 W/m ausgegangen wurde. Fehldimensionierungen sind hierdurch vorprogrammiert. Stehen hingegen geothermische Informationen zur Verfügung, wie z.B. in Nordrhein-Westfalen in Form einer landesweiten „Geothermie-CD“ oder in Baden-Württemberg in Form eines über einen MapServer-Dienst angebotenen geothermischen Informationssystems, werden diese von Planern und Bürgern genutzt. Fehlplanungen werden so minimiert.

Die Bereitstellung und Berücksichtigung der den SGD für einen Vorhabensstandort durch nahe liegende Bohraufschlüsse oder durch Regionalisierungen vorliegenden geothermischen Informationen führen in jedem Fall zu einer größeren Planungssicherheit. Mittel- bis langfristig ist so eine noch höhere Akzeptanz der Erdwärmenutzung, der Substitution fossiler Energierohstoffe und der Reduktion von Kohlendioxid zu erwarten. Wichtig ist in diesem Zusammenhang, dass ein Teil der Planer nicht über ausreichende geologische Fachkenntnisse verfügt, um z.B. in Form geologischer oder hydrogeologischer Karten vorliegende Informationen für die Planung auszuwerten. Die Bereitstellung der Informationen in einer für den Kunden verständlichen und nutzbaren Form ist daher für den Erfolg des Angebotes unerlässlich. Durch eine Verknüpfung geothermischer Informationsangebote mit Informationen, z.B. zu Restriktionsflächen wie Wasser- und Heilquellenschutzgebieten oder zu technischen Anforderungen an die Errichtung und den Betrieb von EWS-Anlagen haben die Länder darüber hinaus die Möglichkeit zu einer konfliktarmen Nutzung dieser regenerativen Energie beizutragen.

Der nachfolgende und unter Abschnitt I definierte Produktkatalog ist das Ergebnis der Arbeit des PK OG. In ihm wurden diejenigen geothermisch relevanten Informationen zusammengeführt, die den SGD bereits vorliegen oder durch Datenaufbereitung generiert werden können, um sie dem Bürger bzw. Planer als Produkt der SGD zur Verfügung stellen zu können.

VI PRODUKTKATALOG

Der PK OG hat den im Folgenden beschriebenen modularen digitalen Produktkatalog entwickelt. Im Zentrum des Katalogs steht eine automatische Attributierungsmethodik der Bohrdatenbanken mit geothermischen Informationen. Hierzu wurden die von der Ad-hoc-AG Geologie klassifizierten petrographischen Einheiten und – soweit erforderlich – weitere, teils geogenetische Begriffe (z.B. Geschiebemergel) mit der wichtigsten geothermischen Information, der Wärmeleitfähigkeit der Gesteine, verknüpft.

In weiteren Schritten können diese Informationen, unter Berücksichtigung weiterer hydro-/geologischer Informationsebenen, regionalisiert werden. Auf diese Weise können in übersichtlichen Zeitspannen qualitativ hochwertige Informationen über die Fläche bereitgestellt werden.

Der PK OG empfiehlt aufgrund des großen Bedarfs an geothermisch relevanten Informationen und unter Berücksichtigung der zum Teil unterschiedlichen digitalen Datenbestände der Länder ein abgestuftes Konzept der Daten- und Informationsbereitstellung. Hierbei fußen alle Interpretationen und Ergebnisdarstellungen auf der abgestimmten Attributierungsmethode sowie Einheiten, Skalen und Darstellungsformen. Abstimmungen und Datenaustauschverfahren in Grenzregionen der Länder sind obligatorisch. Die möglichen Produkte lassen sich in die Produktbereiche „Basisdaten“, „Abgeleitete Daten“, „Anwendungen“ und „Leitfäden“ unterteilen.

Während es sich beim Produktbereich „Basisdaten“ um messbare „geothermische“ bzw. geothermisch relevante Daten handelt, umfasst der Produktbereich „Abgeleitete Daten“ die für die Dimensionierung von Erdwärmesonden gemäß VDI-Richtlinie 4640 Blatt 2 benötigten spezifischen Entzugsleistungen und Angaben zum Grundwasserfluss, die aus den Basisdaten abgeleitet werden können. Im Produktbereich „Anwendungen“ sind die Methoden zur Attributierung digitaler Schichtdaten und deren Regionalisierung sowie Visualisierung zusammengefasst. Unter „Leitfäden“ sind Produkte der SGD zur Beratung der Bürger zu verstehen, die im Hinblick auf den Grund- und Trinkwasserschutz zu einer konfliktfreien Nutzung der oberflächennahen Geothermie beitragen.

VI.1 BASISDATEN

Bei den im Produktbereich „Basisdaten“ zusammengefassten Daten handelt es sich um Informationen, die für interne Anwendungen der SGD in digitaler Form vorliegen und im Rahmen der Beratungstätigkeit durch die SGD bereitgestellt werden sollten.

VI.1.1 SCHICHTENVERZEICHNISSE

Schichtenverzeichnisse liefern die Basisinformationen zur Planung und zur Dimensionierung von EWS-Anlagen. Die SGD verfügen als zentrale geowissenschaftliche Einrichtungen der Länder über die umfangreichsten Bohrdatenarchive Deutschlands. Für eine automatisierte Zuordnung und Bewertung sind ausschließlich die durch die SGD bereits in digitale Bohrdatenbanken übertragenen Anteile der Schichtenverzeichnisse von Interesse. Im Rahmen der Methodenentwicklung wurden daher bei den SGD die Anteile digitaler Schichtenverzeichnisse und der geologisch geprüften Schichtenverzeichnisse innerhalb der digitalen Datenbestände der Bohrdatenarchive abgefragt.

Da die Dimensionierung von EWS-Anlagen nach der VDI-Richtlinie 4640 Blatt 2, eine Mindestdiefe der Sonden von mindestens 40 m voraussetzt, wurden zudem die Tiefenverteilungen der digital vorliegenden Schichtenverzeichnisse abgefragt. Die Aufteilung erfolgte in 20 bzw. 40 m-Intervallen (< 20

m, 20 - 40 m, 40 - 60 m, 60 - 80 m, 80 - 120 m, > 120 m). Neben den Angaben zur Lithologie und Tiefe der archivierten Bohrdaten besitzen besonders in den Lockergesteinsbereichen auch die hydrogeologischen Verhältnisse für eine Anlagendimensionierung eine entscheidende Rolle. Daher wurden ergänzend die Angaben über Flurabstand und Grundwasserstand in den Datenbanken ermittelt.

Die Auswertung der Abfrage in Bezug auf den Anteil der digital vorliegenden Schichtenverzeichnisse am Gesamtdatenbestand ergibt ein länderspezifisch stark variiertes Bild (Tab. 1). Die Übertragung der analogen Schichtenverzeichnisse in digitale Datenbanken liegt zwischen 4 und 100 % und beträgt im Mittel 50 %. Ebenso variiert wie der Bestand der digitalen Bohrdaten ist der Anteil der qualitätsgeprüften Schichtenverzeichnisse. Hier variieren die Angaben zwischen 0 und 100 %. Geht man davon aus, dass nur überprüfte Daten für die hier vorgestellte Methodik herangezogen werden dürfen, reduziert sich die Anzahl der für eine automatisierte Bewertung zur Verfügung stehenden Schichtenverzeichnisse dadurch noch einmal deutlich. Um in Zukunft eine möglichst hohe Datendichte bereitstellen zu können, ist es daher notwendig die bereits in allen Ländern existierenden digitalen Datenbestände auf Vollständigkeit und Richtigkeit zu überprüfen.

Keinen Einfluss haben die SGD auf die Verteilung

Tab. 1: Bohrdatenbestände von 10 SGD (Abfrage 01/2006).

	Staatlicher Geologischer Dienst									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Dig. Datenbestand	30%	52%	50%	15%	47%	87%	30%	100%	90%	4%
Geologisch geprüft	30%	40%	30%	95%	50%	91%	5%	0%	100%	k.A.
Prüfung in Planung	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	70%	100%	k.A.	k.A.	0%	k.A.
Tiefenverteilung										
max. 20 m	74%	69%	30%	71%	30,6%	74%	57%	73%	58%	40%
20 - 40 m	15%	18%	13%	14%	31,2%	14%	11%	10%	15%	18%
40 - 80 m	6%	8%	27%	8%	23,7%	6%	21%	6%	10%	19%
80 - 120 m	2%	2%	20%	3%	6,6%	2%	8%	2%	5%	12%
> 120 m	3%	3%	10%	4%	6,7%	5%	3%	7%	6%	11%
< 40 m	89%	87%	43%	85%	61,8%	88%	68%	83%	70%	58%
> 40 m	11%	13%	57%	15%	37%	13%	32%	15%	21%	42%
Hydrogeologie										
Flurabstand	k.A.	k.A.	k.A.	30%	40%	k.A.	40%	0%	k.A.	33%
Grundwasserstand	25%	k.A.	12%	k.A.	40%	30%	40%	100%	k.A.	2,50%

der Bohrtiefen. Hier ergibt die Abfrage ein einheitliches Bild. Der Anteil der Bohrungen mit einer Tiefe von weniger als 40 Metern schwankt bei der Länderabfrage zwischen 43 und 89 %. Der Anteil der für eine Dimensionierung geothermischer Sondenanlagen nach VDI-Richtlinie 4640 zur Verfügung stehenden Schichtenverzeichnisse > 40 m liegt in den einzelnen Ländern zwischen 11 und 57 %.

Die Abfrage ergab auch, dass in vielen Ländern die Flurabstände bzw. Grundwasserstände in den Datenbanken nicht erfasst werden. Dies liegt zu einem Großteil daran, dass den Angaben zum Grundwasser aus den Schichtverzeichnissen nicht vertraut wird. Liegt ein digitales Geländemodell vor, dann reicht für eine geothermische Bewertung auch nur der Grundwasserstand. Bei 8 von den 10 SGD, die die Abfrage durch den PK OG beantwortet haben, liegen Daten zu den Flurabständen bzw. Grundwasserständen vor. Der Anteil an diesen Daten variiert in den Ländern zwischen 12 und 100 %. Der Anteil der überprüften Flurabstände bzw. Grundwasserstände wurde nicht abgefragt.

Zusammenfassend zeigt sich, dass zurzeit nur ein Teil des gesamten Datenpools der Bohrarchive direkt für die hier vorgestellte Methodik zur Verfügung steht. Hier wird ein deutlicher Handlungsbedarf seitens der einzelnen SGD gesehen. Je vollständiger Bohrdaten in die landeseigenen Datenbanken übertragen werden, desto kompetenter können die SGD mittels automatisierter Verfahren, z.B. durch die hier vorgestellte Methode zur oberflächennahe Geothermie, Auskunft geben. Neben der Vervollständigung der Datenbanken durch Übertragung der anlagen Archive ist es möglich, die Datenbestände über die Erstellung von Interpretationsprofilen zu erhöhen. Bei der Erstellung von Interpretationsprofilen werden die vorliegenden Schichtenverzeichnisse überprüft und nach einem definierten und standardisierten Modus je nach Fragestellung auf einen gleichen Qualitätsstandard gebracht. Dies ermöglicht zum Beispiel für die für eine Dimensionierung nach VDI-Richtlinie 4640 zu kurzen Schichtenverzeichnisse (< 40 m) eine geologische Extrapolation. Somit könnte der Anteil der Informationen über den Aufbau in mehr als 40 m Teufe deutlich erhöht werden. Nordrhein-Westfalen beispielsweise erprobt derzeit im Rahmen der integrierten Kartierung die Erstellung und Anwendung solcher Interpretationsprofile sowie eine automatisierte geothermische Bewertung nach der hier vorgestellten Methodik.

VI.1.2 WÄRMELEITFÄHIGKEIT DER GESTEINE

Die Wärmeleitfähigkeit des Gesteins ist der Schlüsselparameter zur Ableitung der spezifischen Entzugsleistung und damit zur Dimensionierung von EWS. Durch die Wärmeleitfähigkeit wird der Wärmetransport aus dem Umgebungsgestein zu den EWS quantifiziert. In der Überarbeitung der allgemein anerkannten VDI-Richtlinie 4640 Blatt 2, wird zukünftig eine stärkere Berücksichtigung der Wärmeleitfähigkeit als messbare Größe bei der Dimensionierung von EWS verlangt.

Die Wärmeleitfähigkeit ist eine Materialeigenschaft der Gesteine und von Zusammensetzung, Geometrie der Gesteinsmatrix bzw. des Porenraumes und der Porenfüllung abhängig. Zusätzlich wird die Wärmeleitfähigkeit von Umgebungsdruck und -Umgebungstemperatur beeinflusst, was jedoch bei der oberflächennahen Geothermie wegen der geringen Veränderung des Druckes und der Temperatur mit der Tiefe vernachlässigt werden kann. Für die Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit sind mehrere Verfahren üblich, die von der direkten Messung des Gesteins (z.B. Bohrkern) bis zur Abschätzung der Wärmeleitfähigkeit aus dem Mineralbestand reichen. Um die Heterogenitäten in einer geologischen Abfolge besser fassen und damit mittlere Wärmeleitfähigkeiten für einen Tiefenbereich angeben zu können, existieren auch Verfahren, die Wärmeleitfähigkeit in-situ im Bohrloch zu messen (Thermal-Response-Test) oder sie indirekt aus geophysikalischen Bohrlochmessungen abzuleiten.

Von den SGD wurden in der Vergangenheit keine regelmäßigen Messungen der Wärmeleitfähigkeit im Rahmen der Landesaufnahme durchgeführt, so dass nur für wenige Standorte bzw. Gesteine SGD-eigene Messwerte vorliegen. Aus Sicht des PK OG ist es daher empfehlenswert, dass die SGD kurz- bis mittelfristig mit der Durchführung eigener Routinemessungen dieses Parameters beginnen. Durch eine Vielzahl von Messungen kann eine Regionalisierung der Wärmeleitfähigkeit unterschiedlicher Gesteine verbessert und so Unsicherheiten durch breite Wertebereiche von Literaturdaten überwunden werden. In den Ländern Baden-Württemberg, Berlin, Bremen, Hessen, Nordrhein-Westfalen, Rheinland-Pfalz und Schleswig-Holstein wurden in jüngerer Zeit bereits einige Messungen der Wärmeleitfähigkeit durchgeführt.

Für die aktuelle Beratungstätigkeit der SGD sollte zunächst auf die in der Literatur dokumentierte Messwerte zurückgegriffen werden. Die Länder

Sachsen und Hessen haben bereits entsprechende Literaturstudien zur Erhebung dieser Daten durchgeführt. Derzeit werden die verfügbaren Werte aufbereitet und im Anschluss an die Mitglieder des PK OG weitergeleitet. Die Zuweisung von Wärmeleitfähigkeiten zu petrographischen Begriffen wurde anhand der von der Ad-hoc-AG Geologie erarbeiteten Petrographieliste und – soweit erforderlich – weiteren, teils geogenetischen Begriffen (z.B. Geschiebemergel) durchgeführt. Die in dieser Liste aufgeführten Gesteinsarten (Hierachiestufe 7) wurden dem VDI-Richtlinienausschuss für die Neubearbeitung der Richtlinie 4640 Blatt 1 vorgeschlagen.

Hinweis: Wird im folgenden Text auf die Attributierung petrographischer Begriffe eingegangen, so gilt die Ausführung auch jeweils für Begriffe, die nicht in der Petrographieliste der Ad-hoc-AG Geologie enthalten sind, z.B. „Feinsand“ oder geogenetische Begriffe wie Geschiebemergel. Diese Begriffe sind für die Umsetzung der Methodik in einzelnen Ländern (z.B. Bremen) erforderlich.

VI.1.3 WÄRMEKAPAZITÄT DER GESTEINE

Die Wärmekapazität quantifiziert das Speichervermögen der Gesteine für Wärme. In der Praxis der Auslegung von Erdwärmesonden (EWS) hat die Wärmekapazität eine geringere Bedeutung als die Wärmeleitfähigkeit. Sie wird in der Regel nur bei größeren Anlagen, für deren Dimensionierung Rechenprogramme wie *Earth Energy Designer (EED)* von ESKILSON et al. (2000) oder *Berechnungsmodul für Erdwärmesonden (EWS)* von HUBER & SCHULER (1997) verwendet werden, berücksichtigt. Eine große Bedeutung hat die Wärmekapazität dagegen bei der saisonalen Speicherung von Wärme im Untergrund mit Erdwärmesonden. Dieser Aspekt der Erdwärmenutzung wird in Zukunft verstärkt an Bedeutung gewinnen.

Wie bei der Wärmeleitfähigkeit spielt bei der Wärmekapazität der Gesteine das Porenwasser eine große Rolle, da die Wärmekapazität von Wasser im Vergleich zur Gesteinsmatrix hoch ist. Hoch poröse Gesteine mit hohem Porenwasseranteil haben daher in der Regel eine höhere Wärmekapazität als gering poröse. Von den SGD wurden in der Vergangenheit - wie bei der Wärmeleitfähigkeit - keine routinemäßigen Messungen der Wärmekapazität durchgeführt, so dass nur für wenige Standorte bzw. Gesteine Messwerte vorliegen.

Aus Sicht des PK OG sollten daher von den SGD gezielt Messungen zur Bestimmung der Wärmekapazität, parallel zur Messung der Wärmeleitfähigkeit durchgeführt werden. Beide Parameter sollten katalogisiert und verfügbar gemacht werden. Entsprechend der Wärmeleitfähigkeit sollten die SGD zunächst auf Literaturwerte zurückgreifen. Für statistische Auswertungen empfiehlt es sich, eine länderübergreifende Datenbank der Basisdaten Wärmeleitfähigkeit, Wärmekapazität aufzubauen.

VI.1.4 WEITERE PARAMETER

Die weiteren Parameter Oberflächentemperatur, Geothermischer Gradient bzw. terrestrischer Wärmestrom können zunächst vereinfachend als weitgehend konstant für die Fläche Deutschlands angesehen werden. Für zukünftige weitergehende geothermische Arbeiten der SGD sollten diese Daten jedoch mittel- bis langfristig flächendeckend erhoben werden. Im Falle der Oberflächentemperatur ist eine Ableitung anhand klimatischer Daten bzw. vermutlich eine Abfrage z.B. bei DWD möglich

VI.2 ABGELEITETE DATEN

VI.2.1 SPEZIFISCHE ENTZUGSLEISTUNG

Die spezifische Entzugsleistung ist in der gängigen Praxis die Bemessungsgröße zur Auslegung der unterirdischen Anlagenteile von EWS-Anlagen. Es handelt sich dabei nicht um eine messbare oder anhand analytischer Lösungsansätze berechenbare Größe, sondern um eine in der Vergangenheit durch Erfahrungen und heute in der Regel durch Rechenmodelle wie EED oder EWS ermittelte Bemessungsgröße. In der spezifischen Entzugsleistung sind unterschiedliche Parameter verknüpft:

- geologische Parameter: Wärmeleitfähigkeit, Wärmekapazität, Untergrundtemperatur etc.,
- sondentechnische Parameter: Bohrlochdurchmesser, Sondentyp, -anordnung und zahl, Verfüllbaustoff,
- haustechnische Parameter: Heizbedarf sowie Zahl und Verteilung der jährlichen Betriebsstunden.

In der VDI-Richtlinie 4640 Blatt 2 sind mögliche spezifische Entzugsleistungen tabellarisch für sog. „einfache Fälle“ und unterschiedliche Betriebsstunden für verschiedene Gesteinsarten angegeben.

Die Wärmeleitfähigkeit des Gesteins als gesteinsphysikalischer Parameter ist bis zu Tiefen von rd.

200 m näherungsweise konstant, nicht aber die spezifische Entzugsleistung. Bedingt durch die Vielfalt unterschiedlicher Anlagenkonstellationen und die technische Weiterentwicklung (z.B. Verpressmaterial mit besserer thermischer Leitfähigkeit) unterliegt diese Veränderungen und kann auch nur bei Kenntnis der jeweiligen Wärmepumpenanlage und des Wärmebedarfs ermittelt werden.

Die SGD können daher grundsätzlich keine eigenen Werte der spezifischen Entzugsleistung generieren bzw. zur Verfügung stellen. Aus diesem Grund ist weiterhin eine enge Zusammenarbeit zwischen den SGD und dem VDI-Richtlinienausschuss 4640 erforderlich.

VI.2.2 GRUNDWASSERSTAND

Im Lockergestein hat neben den gesteinspezifischen Eigenschaften Wärmeleitfähigkeit und Wärmekapazität das Grundwasser einen großen Einfluss auf die spezifische Entzugsleistung und somit auf die Dimensionierung der EWS-Anlagen. Aufgrund seines hohen Porenraumanteils wird in Porengrundwasserleitern die Wärmeleitfähigkeit und Wärmekapazität maßgeblich durch die Wassersättigung und – wenn vorhanden – auch durch die Durchströmung des Porenraumes beeinflusst. Beispielsweise führt ein hoher Volumenstrom bei grundwassererfüllten sandig-kiesigen Ablagerungen gegenüber einem identisch ausgebildeten trockenen Sediment zu einer geringeren Temperaturabsenkung in unmittelbarer Sondenumgebung und somit zu einer deutlichen Erhöhung der gewinnbaren Energiemenge bei gleicher EWS-Länge.

Bei Festgesteinen mit geringer Porosität bzw. Klüftigkeit spielt die Wasserführung eine untergeordnete Rolle. Lediglich bei starker Verkarstung, hoher Porosität und hoher Klüftigkeit werden die geothermischen Eigenschaften ebenfalls durch das Grundwasser beeinflusst.

Grundwasserrelevante Daten wie Grundwasserstandsmessungen, Grundwassergleichenpläne und Flurabstandskarten sind nicht flächendeckend bundesweit in großen Maßstäben verfügbar. Gebiete mit Lockergesteinen können gegenüber Bereichen mit Festgestein deutlich besser erfasst werden und ihre hydraulischen Parameter sollten daher flächendeckend dargestellt werden. Aufgrund der geringeren Datendichte in Gebieten mit anstehendem Festgestein oder geringmächtiger Lockergesteinsüberdeckung ist eine flächendeckende Grundwas-

serstandsdarstellung in vielen Bereichen nicht durchführbar.

VI.3 ANWENDUNGEN

Methodisch erfolgt die Attributierung der Schichtdaten durch die automatisierte Zuweisung geothermischer Parameter zu den in den digitalen Bohrdatenbanken der Länder verzeichneten Schichten.

In den Ländern Baden-Württemberg und Nordrhein-Westfalen erfolgt bereits heute die Regionalisierung geothermischer Einheiten und deren Attributierung auf der Grundlage geologischer Modelle.

VI.3.1 DATENBANKABFRAGE „AUTOMATISIERTE ATTRIBUTIERUNG DIGITALER SCHICHTDATEN“ UND DIE VISUALISIERUNG VON PUNKTDATEN

Die vom PK OG entwickelte und allen SGD bereits vorliegende Access-Datenbankanwendung ermöglicht eine automatische Zuweisung des Parameters Wärmeleitfähigkeit und damit auch der spezifischen Entzugsleistung zu den in den digitalen Bohrdatenbanken der Länder verzeichneten Schichten. Im Falle einer externen Abfrage wird dem Interessenten der interpretierte geothermische Kennwert, nicht hingegen das tatsächliche Schichtenverzeichnis mitgeteilt. Im ersten Schritt werden den Petrographien die entsprechenden Wärmeleitfähigkeiten zugeordnet. Die folgende qualitative Beschreibung der Methodik erfolgt durch das praktische Beispiel einer Umsetzung in ACCESS. Im Moment bezieht sich die VDI 4640 auf empirische Entzugsleistungsdaten. Der Personenkreis zieht für die Berechnung allerdings die Wärmeleitfähigkeiten der Gesteine hinzu. Dies ist in Zukunft auch bei der VDI 4640 geplant. Die Methodik ist in eine Reihe von Unterschritten zu unterteilen. Diese sind in Tab. 2 zusammen gefasst und werden im Folgenden genauer erläutert. Teilweise bilden die Unterschritte eine Auswertung für einen konkreten Standort (Standortabfrage, SA), teilweise eine Auswertung über einen ganzen Bereich (Bereichsabfrage, BA) zur späteren kartographischen Darstellung ab.

Eingabeparameter durch den Nutzer

Als Eingabeparameter sind die Ortsangaben für den auszuwertenden Bereich nötig. Dies sind in der Regel die Koordinaten (Rechts- und Hochwerte), der Liegenschaftsgrenzen oder Adresskoordinaten. In Anlehnung an die VDI-Richtlinie wird die Jahres-

Tab. 2: Durchzuführende Abfrageschritte zur Bohrdatenauswertung hinsichtlich des Entzugspotenzials oberflächennaher Geothermie.

Nutzereingaben	benötigte Datenbasis	durchzuführende Abfrageschritte	
		Standortabfrage	Bereichsabfrage
Angabe der Lagekoordinaten	Suchradienkarte (IRQ, Q-Basis)	1. Verschnitt mit Radienkarte	
	digitale Bohrdatenbank (insbes. korr. Lage, Höhe und Eingabeformat)	2. Suche nach Bohrungen innerhalb des Interpretationsradius (IR) bzw. innerhalb des auszuwertenden Bereichs	
		3. Erstellung der für die Interpretation angepassten Petrographie	
	Interpretationstabelle	4. Zuweisung der geothermischen Eigenschaften	
Angabe der Anlagenkonfiguration (Betriebsstunden)	GW-Gleichenplan bzw. GWFluss ja/nein	5. Zuweisung hydraulischer Parameter zum Standort (Flurabstand, k_f -Wert, Gefälle. Richtung nur bei Standortabfrage)	
		6. Zuweisung der spez. Entzugsleistung gemäß VDI-Richtlinie 4640 Blatt 2	
		7. Berechnung der Entzugsleistungen für die Tiefenschritte 40 m, 50 m, 60 m, 70 m, 80 m, 90 m, 100 m	Berechnung der Entzugsleistungen für die Tiefenschritte 40 m, 60 m, 80 m, 100 m
Optionales Zusatzmodul – Ausgabe verschiedener Sondenauslegungen			
gewünschte Entzugsenergie		8. Berechnung verschiedener Sondenauslegungen zum Erlangen der vorgegebenen Entzugsenergie	
Optionales Zusatzmodul – Ausgabe des Temperaturabsenkungsbereiches			
	Tabelle standardisierter Temperaturabsenkungsbereiche für verschieden Grundwasserfließgeschwindigkeiten	9. Zuordnung verschiedener standardisierter Temperaturabsenkungsbereiche und deren Ausrichtung in Grundwasserfließrichtung	

arbeitsstundenzahl abgefragt.

Interpretationsradienkarte

Für die Auskunft zu einem Standort werden Bohrungen aus einem vorgegebenen Radius herangezogen. Mit Hilfe einer zu erstellenden Interpretationsradienkarte (Tab. 3) kann der Interpretationsradius räumlich (horizontal und vertikal) variiert werden und so regionalen geologischen Strukturen (z.B. Quartäre Rinnen oder Grabenstrukturen, homogenere Ablagerungen unterhalb der Rinnenbasis) angepasst werden. Es entsteht eine Zusatzinformation zur Verdichtung der Datenlage und zur Qualitätserhöhung. Die Interpretationsradienkarte ist ein Rasterdatensatz mit 5 Feldern.

Digitale Bohrdaten

Als Basis sind digitale Bohrdaten (Tab. 4) unabdingbar.

Interpretationstabelle

Die beispielhafte Interpretationstabelle (Tab. 5) beinhaltet die in der VDI-Richtlinie 4640 Blatt 2 angegebenen spezifischen Entzugsleistungen in Abhän-

Tab. 3: Struktur des Rasters zur Interpretationsradienkarte.

X-Wert	Rechtswert des Rasterpunktes
Y-Wert	Hochwert des Rasterpunktes
Z-Wert	Tiefe ab der ein veränderter Interpretationsradius angewendet werden soll
Interpretationsradius	Interpretationsradius oberhalb Z
Z-Interpretationsradius	Interpretationsradius unterhalb Z

Tab. 4: Struktur der Tabelle der digitalen Bohrdaten – Stammdaten.

XCOORD	Rechtswert der Bohrung
YCOORD	Hochwert der Bohrung
ZCOORDB	Höhe des Bohransatzpunktes (mNN)
BohrungsID	eindeutige ID zur Zuordnung der Schichtdaten
Schichtdaten:	
BohrungsID	eindeutige ID zur Zuordnung der Stammdaten
Schicht-ID	ID der Schicht
DEPTHFROM	Tiefe der Schichtoberkante unter Gelände (m)
DEPTHTO	Tiefe der Schichtunterkante unter Gelände (m)
GENESE	Genese der Schicht
PETRO	Petrographie der Schicht

Tab. 5: Beispiel einer Interpretationstabelle zur Zuweisung der spezifischen Entzugsleistungen entsprechend der VDI Richtlinie 4640 Blatt 2 zu ausgewählten petrographischen Lockergesteinsbegriffen. (Wärmeleitfähigkeit WLF nach VDI-Richtlinie 4640, Blatt 1 und Earth Energy Designer EED; Untergrenze = trocken, Obergrenze = gesättigt).

Vereinfachte Lithologie		WLF	beispielhafte spez. Entzugsleistung (W/m)			
			2.400 h/a		1.800 h/a	
Kürzel	Beschreibung	W/(mK)	gesättigt	trocken	gesättigt	trocken
Gesteinsbegriffe der Petrographieliste (vgl. Anlage 2)						
H	Torf	0,2 – 0,7	30		40	
T	Ton	0,4 – 2,2	35		40	
U	Schluff	0,4 – 2,2	35		50	
S	Sand	0,3 – 5,0	60	20	70	25
G	Kies	0,4 – 2,6	65	20	80	25
X	Steine	0,4 – 2,6	65	20	75	25
^s	Sandstein	1,3 – 5,1	70	30	80	40
^t	Tonstein	1,1 – 3,2	60		70	
^k	Kalkstein	2,2 – 4,0	60		65	
^brk	(Hart-) Braunkohle	0,2 – 1,7	35		45	
Weitere (teils geogenetische) Gesteinsbegriffe						
F	Mudde	0,4 – 1,5	30		40	
M	Mergel	1,5 – 3,9	35		45	
Mt	Tonmergel	1,5 – 2,5	35		45	
L	Lehm	0,4 – 2,2	35		45	
Lg	Geschiebelehm	0,4 – 2,4	35		45	
Mg	Geschiebemergel	0,4 – 2,5	35		45	
ffS	Feinstsand	0,3 – 5,2	55	20	65	25
fS	Feinsand	0,3 – 5,2	55	20	70	25
mS	Mittelsand	0,3 – 5,2	60	20	75	25
gS	Grobsand	0,3 – 5,2	65	20	75	25
fG	Feinkies	0,4 – 2,6	65	20	80	25
mG	Mittelkies	0,4 – 2,6	65	20	80	25
gG	Grobkies	0,4 – 2,6	65	20	80	25
fX	Steine, fein	0,4 – 2,6	65	20	80	25
C	Geröll	0,4 – 2,6	60	20	70	25
^mk	Kalkmergelstein	0,4 – 3,4	55		60	
^kr	Schreibkreide	0,4 – 2,8	35		45	

gigkeit der Wärmeleitfähigkeiten der petrographischen Einheiten. Bei einer Überarbeitung der Datengrundlage kann diese Tabelle problemlos kontinuierlich aktualisiert und an den Stand der Technik angepasst werden. Regionale Unterschiede können durch eigene Messungen eingearbeitet werden.

Grundwassergleichenplan

Für die Zuweisung der spez. Entzugsleistung in Lockergesteinen (trocken oder wassergesättigt) ist die Abfrage des Grundwasserstandes nötig (Tab. 6). Bei starkem Grundwasserfluss kann ein

Tab. 6: Rasterdaten des digitalen Grundwassergleichenplans.

GWX	Rechtswert des Rasterpunktes
GWY	Hochwert des Rasterpunktes
GWL	Lage des Grundwassers in Meter über NN (Druckspiegel)
GWR	Fließrichtung des Grundwassers (in Grad gegen Nord)
GWS	Gefälle des Grundwassers (in %)

weiterer Faktor aktiviert werden, der die spez. Entzugsleistung erhöht.

Längentabelle der Kälteausbreitungsfahren (optional)

Die Temperaturabsenkungsbereiche bei verschiedenen Nutzungsszenarien wurden in einer Diplomarbeit bestimmt (PANNIKE 2005, PANNIKE et al. 2006). In dieser Arbeit wurden u.a. für unterschiedliche Nutzungsszenarien Parameter für Reichweiten des Abkühlungsbereichs berechnet (Tab. 7).

Tab. 7: Ausdehnung der Temperaturabsenkungsbereiche bei verschiedenen Grundwasserfließgeschwindigkeiten nach PANNIKE (2005), PANNIKE et al. (2006).

GWFG	Fließgeschwindigkeit des Grundwassers
L1	Länge des Temperaturabsenkungsbereichs in Fließrichtung
L2	Länge entgegen der Fließrichtung
L3	Länge senkrecht zur Fließrichtung

Erläuterung der Abfrageschritte

Schritt 1: Verschnitt mit Interpretationsradienkarte

Um regionale (horizontale wie vertikale) geologische Heterogenitäten zu berücksichtigen und zugleich eine möglichst umfangreiche Datenbasis zu nutzen, kann die Entfernung, innerhalb derer die Bohrungen zur Beurteilung eines Standortes herangezogen werden, räumlich variiert werden. Hierzu wird der dem Standort nächstgelegene Rasterpunkt der Interpretationsradienkarte (s. o.) gesucht.

Schritt 2: Auswahl der Bohrungen

Im zweiten Schritt der Abfrage werden die auszuwertenden Bohrungen innerhalb des gesuchten Bereiches aus der Bohrdatenbank gefiltert.

Schritt 3: Erstellung der zur Interpretation vereinfachten Petrographie

Aus den petrographischen Schichtdaten werden die zur Interpretation benötigten vereinfachten Petrographien erzeugt, die – soweit möglich – den von der Ad-hoc-AG Geologie vorgeschlagenen Oberbegriffen entsprechen (Ausnahme z.B. Geschiebemergel). Bei Vorhandensein mehrere Bestandteile ist bei Locker- wie Festgesteinen der Hauptbestandteil entscheidend. Für optionale Funktionen der Auswertung (z.B. Ausweisung des Temperaturabsenkungsbereiches) ist darüber hinaus die Erfassung von Nebenbestandteilen erforderlich.

Schritt 4: Zuweisung der geothermischen Eigenschaften

Anhand der vereinfachten Petrographie wird jeder Schicht einer Bohrung aus der Interpretationstabelle die ihr entsprechende Wärmeleitfähigkeit zugewiesen, anhand derer dann die spezifische Entzugsleistung zugeordnet wird. Dabei werden zunächst vier Fälle betrachtet: für unterschiedliche Jahresarbeitsstunden der Wärmepumpe (1.800 oder 2.400 h) und trockenes bzw. wassergesättigtes Gestein. Bei ungenauen petrographischen Schichtbeschreibungen werden Angaben zur Genese bei der Zuweisung der Wärmeleitfähigkeit und somit der spez. Entzugsleistung heran gezogen (Beispiel: „Geschiebemergel“).

Schritt 5: Zuweisung hydraulischer Standortparameter

Aus der digitalen Informationsebene „Grundwasserstand“ werden dem Standort die Parameter Grundwasserstand sowie optional das Gefälle und für die Standortabfrage zusätzlich die Fließrichtung zugewiesen. In der Bereichsabfrage erfolgt die Zuweisung zu jeder einzelnen Bohrung. Optional werden jeder Schicht eine Porosität und ein k_f -Wert zugewiesen. Diese sind für die optionale Zuweisung einer erhöhten spez. Entzugsleistung bei starkem Grundwasserfluss und der Ausweisung der Temperaturabsenkungsbereiche erforderlich.

Schritt 6: Berechnung der spez. Entzugsleistung bezogen auf die Mächtigkeit der Schichten

Die Entzugsleistungen der einzelnen Schichten werden durch Multiplikation der spezifischen Entzugsleistung des Gesteins mit der Schichtmächtigkeit berechnet. Für Schichten oberhalb des Grundwasserdruckspiegels wird die spezifische Entzugsleistung der trockenen Gesteine verwendet. In einem gesonderten Feld wird die Entzugsleistung innerhalb der jeweiligen Bohrung bis zur Oberkante der aktuellen Schicht aufsummiert.

Bei Kiesen und Sanden mit starkem Grundwasserfluss wird gemäß der VDI-Richtlinie 4640 Blatt 2 eine spezifische Entzugsleistung von 80 W/m angesetzt. Als starker Grundwasserfluss wird eine Fließgeschwindigkeit von 1 m/d angenommen. Dieser berechnet sich aus den der Schicht zugewiesenen hydraulischen Parametern Porosität und k_f -Wert und dem Gefälle am Standort, wie es aus dem Gleichenplan zugewiesen wurde.

Schritt 7: Berechnung der Entzugsleistungen für Tiefenschritte

Die Entzugsleistungen der Bohrungen werden in einer neuen Tabelle für 10 m Tiefenschritte (beginnend bei 40 m) ausgegeben.

Schritt 8 (optional): Berechnung für verschiedene Sondenlängen

Dieser Teil ist eine optionale Umrechnung der zuvor durchgeführten Auswertung. Hiermit können für verschiedene Standard-Bohrtiefen (40, 60, 80, 100 m) die durchschnittliche spezifische Entzugsleistung

pro Sondenmeter und die jährliche Gesamtentzugenergie (kWh/a) für diese Bohrtiefen berechnet werden. Dies kann vom Planer als Hinweis für die Bemessung der Sondenlänge genutzt werden.

Schritt 9 (optional): Bestimmung des Temperaturabsenkungsbereiches

Bei bekannter Fließrichtung und Geschwindigkeit kann optional der Bereich einer Temperaturabsenkung von mehr als 1 K angegeben werden. Hierfür wird aus der Tabelle mit der Länge der Temperaturabsenkungsfahnen für jede Richtung der innerhalb der Bohrung ungünstigste Fall ausgewählt und ausgegeben. Zu beachten ist, dass für jede Richtung eine andere Schicht den ungünstigsten Fall bilden kann. Der ausgegebene Temperaturabsenkungsbereich kann sich also aus den Längen verschiedener Modellszenarien ergeben.

Ergebnisausgabe der Bereichsabfrage

Für die Bereichsabfrage sollen in 20 m Tiefschritten (beginnend ab 40 m) die durchschnittlichen spezifischen Entzugsleistungen bis zu dieser Tiefe dargestellt werden. Für die Regionalisierung sind in Grenzregionen in dem regional erforderlichen Umfang Bohrungen aus den benachbarten Bundesländern mit hinzuzuziehen um eine versatzfreie Darstellung zu gewährleisten. Die Darstellung soll in folgenden Klassen und Farben erfolgen:

< 35 W/m	blau
35 - 45 W/m	grün
45 - 55 W/m	gelb
55 - 65 W/m	orange
> 65 W/m	rot

Standortabfrage

Für die Standortabfrage werden die Entzugsleistungen bis in verschiedene Tiefen (beginnend bei 40 m alle 10 m) ausgegeben. Zusätzlich erfolgt eine Umrechnung in die durchschnittliche spezifische Entzugsleistung (W/m), um eine einfache Vergleichbarkeit des Standorts mit den Daten der VDI zu ermöglichen. Die farbliche Darstellung einer Bohrsäule sollte dabei in denselben Klassen und Farben erfolgen wie die Kartendarstellung der Bereichsabfrage. Als Zusatzoption kann die benötigte Sondentiefe für verschiedene Entzugsleistungen bei unterschiedlichen Sondenkonfigurationen ausgegeben werden.

Eine weitere Zusatzoption ist die Ausgabe der Temperaturabsenkungsbereiche im direkten Umfeld der Sonde. Notwendig für diese Angabe ist jedoch die Kenntnis der hydraulischen Parameter Gefälle und Fließrichtung.

VI.3.2 MÖGLICHKEIT DER VISUALISIERUNG

Die Akzeptanz und die Bereitschaft die bereitgestellten Informationen zu nutzen, hängt hauptsächlich von ihrer Zugänglichkeit für den Nutzer ab. Begriffe wie beispielsweise Rechts- und Hochwert sind sicherlich für Fachleute oder Fachbehörden geläufig. Dem normalen Nutzer bzw. Bürger sind diese Begriffe in der Regel jedoch fremd. Für diesen Nutzerkreis muss ein einfacher Weg bereitgestellt werden, der entweder über die Abfrage einer Adresse oder die Angabe eines Zielgebietes in einer Karte den Zugang zu den Daten erlaubt.

Solche Zugänge werden in vielen Bundesländern entwickelt oder werden schon jetzt durch die einzelnen Vermessungsbehörden zur Verfügung gestellt. Durch diese dezentralen Entwicklungen ist sichergestellt, dass regionale Unterschiede in der Bereitstellung der Daten berücksichtigt werden können. Diese betreffen in erster Linie Unterschiede zwischen Ballungszentren, wo hauptsächlich die Bohrungsinformationen abgefragt werden, und ländlichen Gebieten, in denen auf Grund der geringen Bohrdichte auf regionalisierte Flächeninformationen zurück gegriffen werden muss. Das Geologische Landesamt Hamburg hat mit dem *Bohrdaten Portal* ein internetfähiges Werkzeug zur Abfrage von Bohrungsinformationen entwickelt. Zurzeit wird dieses für die Nutzung der Abfrage geothermischer Informationen erweitert.

Beispiel Hamburg

Die grundlegende Konzeption dieser Web-Applikation basiert auf einer ArcView Extension die den Zugriff auf etwa 250.000 im GLA Hamburg digital erfassten Bohrungen zulässt. Diese Programme ermöglichen die Kombination von räumlichen Kriterien und den in Datenbanken abgelegten Attributen wie zum Beispiel der geothermischen Entzugsleistung. Für die räumliche Eingrenzung stehen verschiedene Methoden zur Verfügung (Abb. 2):

Abb. 2: Bohrdaten Portal-Abfragemaske nach Straße und Hausnummer.

- Auswahl eines DGK-5 Blattes,
- Auswahl von Straßennamen und Hausnummer sowie eines wählbaren Suchradius,
- freie Wahl eines Zielgebietes durch Aufziehen eines Kartenrahmens in einer Übersichtskarte.

Alle Bohrungen, die der Rechercheanfrage genügen, werden in dem definierten Kartenausschnitt durch verschiedene Symbole, die die Endteufe der Bohrungen verdeutlichen, angezeigt (Abb. 3). Dieser Kartenausschnitt kann mit den üblichen Navigationselementen verändert werden. Die Bohrpunkte werden gemäß den Vorgaben des Datenschutzes in verschiedene Gruppen unterteilt. Private Bohrungen die keine Freigabe besitzen, werden nur als Lagepunkt ohne weitere Attributierung angezeigt.

Zusätzlich zu den Bohrpunkten können verschiedene regionalisierte Karten (z.B. geothermische Ergiebigkeit usw.) als Hintergrundbild geladen werden (Abb. 4). Gemäß der im PK OG erfolgten Abstimmungen werden in das *Bohrdaten Portal* Karten der mittleren spezifischen Entzugsleistung (W/m) in Tiefenschritten von 20 m eingestellt. Diese Karten vermitteln dem Nutzer einen Eindruck über die Möglichkeit der Nutzung von oberflächennaher Geothermie auch abseits der verfügbaren Bohrungen.

Durch die Einstellung weiteren Kartenmaterials können dem Nutzer zusätzliche Informationen, wie z. B. Gebiete, in denen aus rechtlichen Gründen keine Nutzung der Erwärme zulässig ist (Restriktionsgebiete), zur Verfügung gestellt werden. Eine Erweiterung des *Bohrdaten Portals* zu abfragbaren

Karteninformationen ist in Vorbereitung.

Zur Darstellung der Bohrungsinformation können die Bohrungen selektiert werden. Die Bohrsäule wird dynamisch aus der Datenbank generiert und aus maßstäblich dimensionierten und gemäß der DIN 4023 eingefärbten Rechtecken aufgebaut. Weiterhin wird über ein Imagemap die Schichtbeschreibung der Einheiten im Klartext als Tooltip dem entsprechenden Segment zugeordnet.

Ergänzt wird die Bohrsäule durch Teufenangaben, Grundwasserstand und zukünftig den aus der automatisierten Attributierung generierten Werten der spez. Entzugsleistung. (Abb. 5). Die Druckausgabe der Bohrsäule und der Schichtinformationen erfolgt im PDF-Format.

Mit dem Bohrdaten Portal steht eine internetfähige Anwendung zur Verfügung, die durch geringe Anpassungsarbeiten den Nutzern einen einfachen Zugang zu geothermisch attributierten Bohrungen erlaubt. Es ist geplant, dieses Tool zur Visualisierung der im Rahmen des PK OG zu erstellenden geothermischen Karten weiter zu entwickeln.

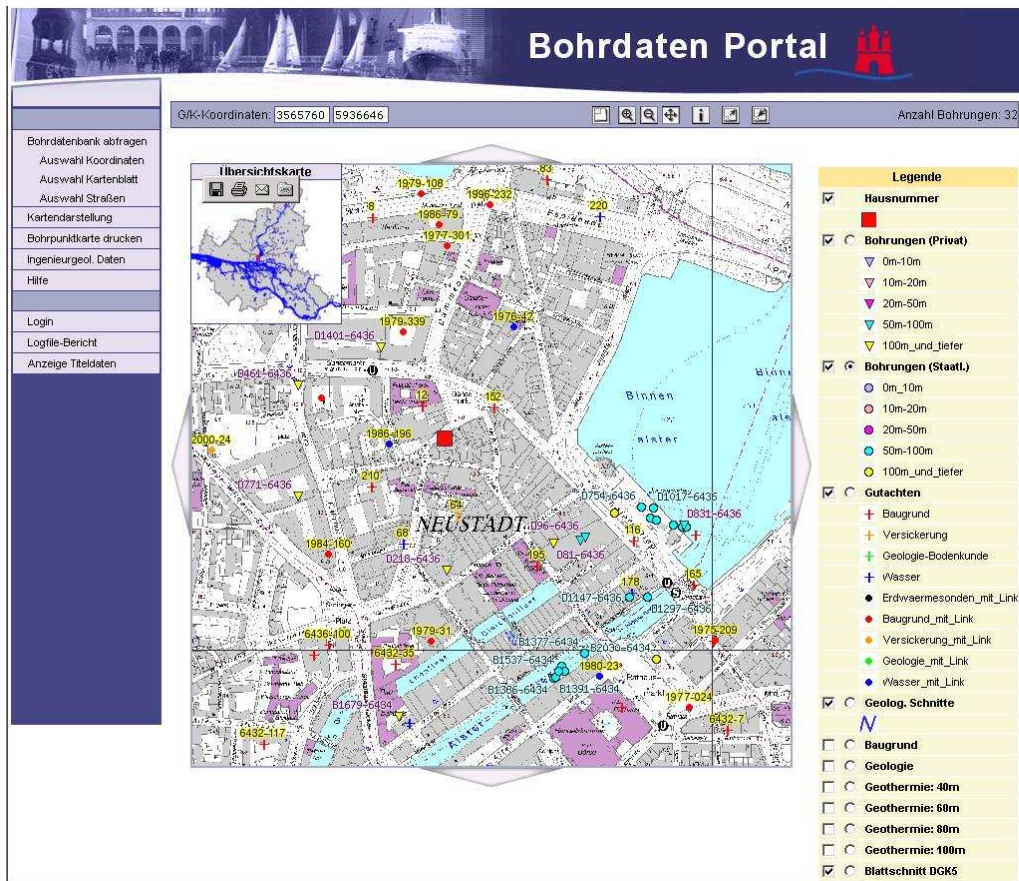


Abb. 3: Anzeige Kartenausschnitt mit den Bohrungen.

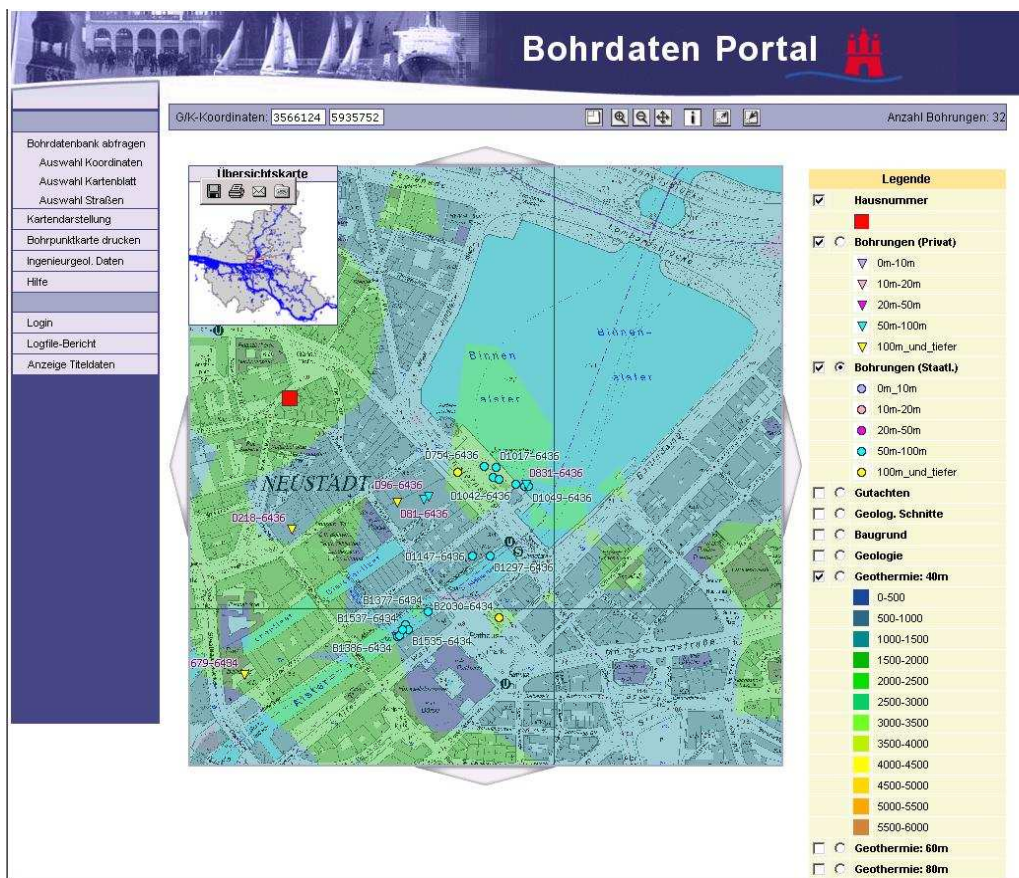


Abb. 4: Anzeige Kartenausschnitt mit den Bohrungen und Karte der geothermischen Ergiebigkeit bis 40 m Tiefe.

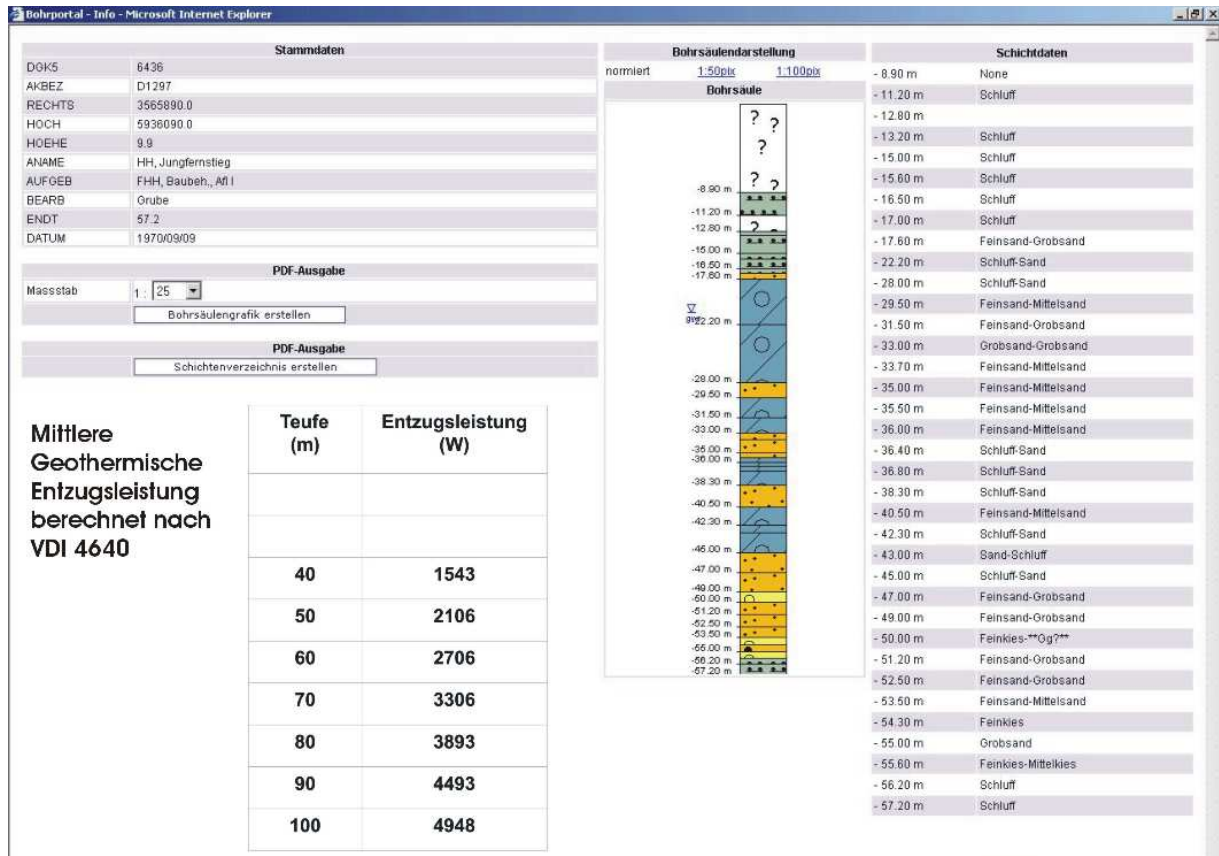


Abb. 5: Abfrage der geothermischen Bohrungsinformationen.

VI.3.3 BEISPIELE AUS DEN LÄNDERN FÜR DIE REGIONALISIERUNG

Um von den Punktdaten in die Fläche zu gehen (Regionalisierung), werden zusätzliche geologische und hydrogeologische Informationen - wie beispielsweise Quartärbasiskarten - zur weiterführenden Interpretation in die Auswertung einbezogen. Eine große Herausforderung stellt die Entwicklung einer Methode zur Regionalisierung von Punktdaten dar. Dazu sind unterschiedliche Verfahren zu testen. Zu berücksichtigen sind dabei u.a. strukturgeologische Einheiten sowie Fazies- und Gesteinswechsel, sowie regionale hydrogeologische Verhältnisse. Ziel dieser Entwicklung soll sein, einerseits Aussagen über das geothermische Potenzial in Gebieten mit geringer Punktdatendichte treffen zu können und andererseits großflächige Darstellungen der geothermischen Verhältnisse in verschiedenen Tiefenschnitten zu ermöglichen.

Als Beispiele für landesspezifische Regionalisierungen werden nachfolgend die Umsetzungen in Baden-Württemberg, Mecklenburg-Vorpommern und Nordrhein-Westfalen skizziert.

Beispiel Baden-Württemberg

Für den baden-württembergischen Teil des Oberrheingraben wurde ein geologisches 3D-Modell erstellt. Mit der Überführung der aus Schichtlagekartens, Verbreitungskarten und Störungen abgeleiteten Schichtflächendaten in Rasterdaten wurden für den Tiefenbereich bis 400 m ein räumliches geologisches Modell mit einer Zellgröße von 100 x 100 m und insgesamt rd. 300.000 Zellen geschaffen. Aus der Vielfalt der petrographisch unterschiedlich ausgebildeten Schichten und dem Grundwasserstand erfolgte vereinfachend die Bildung hydrogeologischer und nachfolgend geothermischer Einheiten, die mit Wärmeleitfähigkeiten sowie für den Tiefenbereich bis 100 m mit aus der VDI-Richtlinie 4640 abgeleiteten spezifischen Entzugsleistungen attribuiert wurden (Abb. 6). Der Interessent erhält auf Anfrage über einen MapServer-Dienst für einen beliebigen Punkt innerhalb des Bearbeitungsgebietes einen interpretierten geothermischen Kennwert und ein vereinfachtes prognostisches Schichtenverzeichnis.

Beispiel Mecklenburg-Vorpommern

Die Bereichsabfrage für einen vorgegebenen Koordinatenbereich liefert die bohrungsbezogene mittlere

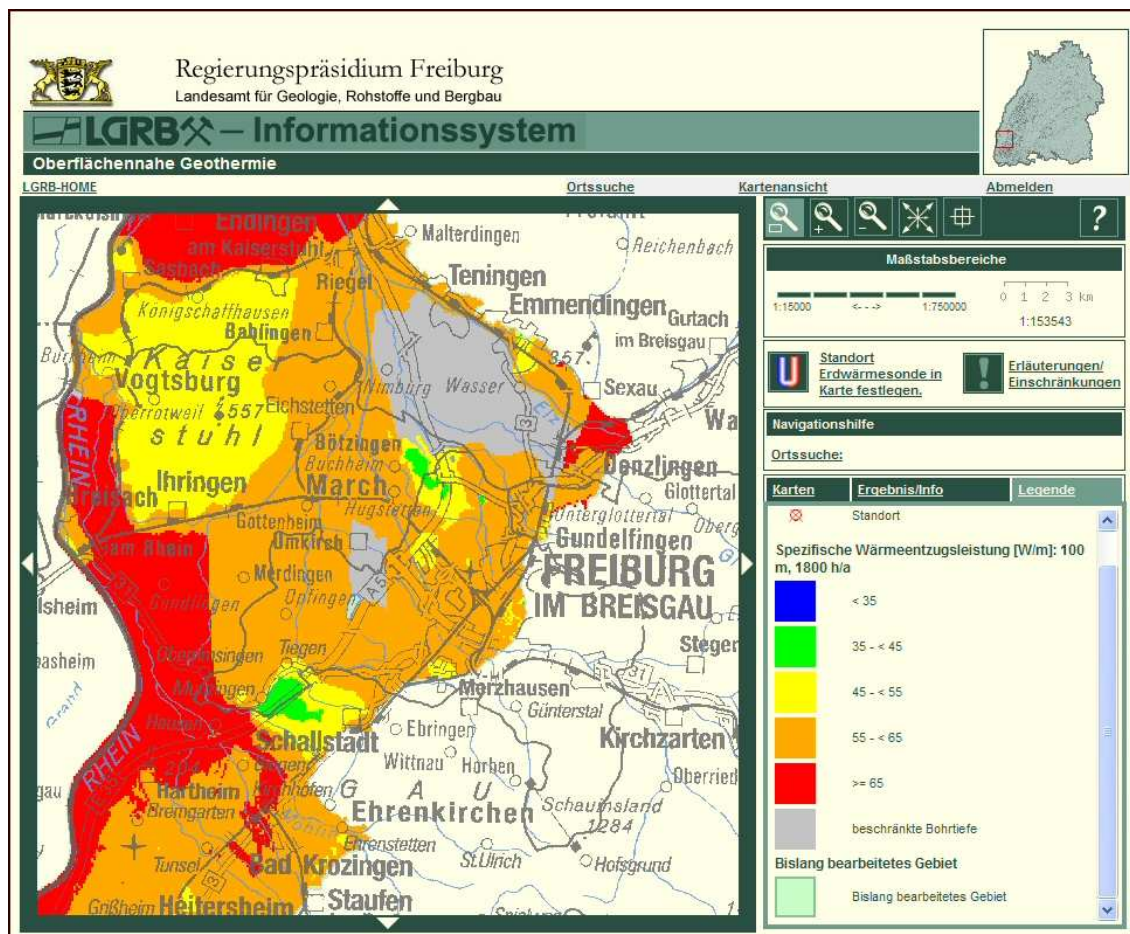


Abb. 6: Durchschnittliche spezifische Wärmeentzugsleistung der oberen 100 m in einem Teilbereich des Oberrheingrabens im Land Baden-Württemberg (Betrieb: 1.800 h/a).

re spezifische Wärmeentzugsleistung für alle in diesem Bereich befindlichen Bohrungen. Pro Bohrung liegen diese Werte, abhängig von ihrer Endtiefe für mehrere Tiefenstufen (in 20 m Schritten, zwischen 40 und 100 m) und zwei Betriebsstundenvarianten (1.800 und 2.400 h/a, siehe VDI 4640, Blatt 2) vor.

Die Bereichsabfrage kann als Sonderfall auch die Gesamtfläche eines Bundeslandes umfassen, wie das entsprechend der vom PK OG entwickelten Methodik für Mecklenburg-Vorpommern auf der Basis von mehr als 15.000 Bohrungen exemplarisch durchgeführt worden ist. Zur Vermeidung von „Randeffekten“ wurden dazu auch Bohrungen aus einem 10 km – Streifen der benachbarten Bundesländer in die Regionalisierung mit einbezogen. Die dadurch erstellten Karten stellen in erster Linie Übersichtskarten dar, die in der Planungsphase von Erdwärmesondenanlagen zur überschlägigen Abschätzung der erforderlichen Sondenlängen genutzt werden können. Sie liefern differenziertere Richtwerte als VDI 4640 (Bl. 2, Tab. 2), solange kein

verlässliches lithologisches Tiefenprofil für den konkreten Nutzungsstandort bekannt ist.

Durch Regionalisierung lässt sich aus diesen bohrungsbezogenen Werten für jede der Tiefenstufen und Betriebsstundenvarianten eine flächenhafte Verteilung der Wärmeentzugsleistung ableiten und in einer Isolinien- oder Isoflächenkarte darstellen. Die Plausibilität der regionalisierten Ergebnisse hängt ganz entscheidend von der Anzahl und der räumlichen Verteilung der Stützstellen ab. Aus wenigen Einzelwerten (kleiner Ausschnitt bei Bereichsabfrage) lassen sich sinnvoller Weise nur Trends berechnen, während bei vielen, relativ gut verteilten Einzelwerten detaillierte Karten erzeugt werden können.

Regionalisierungsverfahren stehen in einer großen Vielzahl zur Verfügung. Hier soll nur auf ein Verfahren verwiesen werden, das in SURFER (Golden Software Inc.) neben etlichen anderen angeboten wird. Es handelt sich dabei um das KRIGING-Verfahren, das zu den geostatistischen Verfahren zählt. Dieses Verfahren wurde bei Erarbeitung von

landesweiten Karten des oberflächennahen geothermischen Potenzials in Mecklenburg-Vorpommern erfolgreich eingesetzt.

Im Ergebnis liefert es eine Fläche, die bei der jeweils zugrunde liegenden Stützstellenverteilung die geringste Varianz (gegenüber anderen Verfahren) aufweist. Der eigentlichen Regionalisierung ist jedoch eine Varianzanalyse (Variographie) voranzustellen, die in SURFER menügeführt leicht möglich ist. Das dabei abgeleitete Variogrammmodell bildet die Grundlage für eine, der tatsächlichen Werteverteilung angepassten Wichtung der Stützstellen während der Erstellung des Grids.

Über die Wahl der Suchkriterien lässt sich das Regionalisierungsergebnis beeinflussen. Dazu gehören als wichtigste der Radius, die Sektoreneinteilung und die minimale Anzahl von Stützstellen pro Sektor. Ein geringer Suchradius und mehrere Sektoren würden zwar wünschenswerter Weise die lokalen Verhältnisse in den Bohrungsdaten besser berücksichtigen, als Nachteil kaufte man sich in Teilbereichen mit „lockerer“ Stützstellenverteilung „weiße Flächen“ innerhalb der Gesamtkarte ein. Deshalb empfiehlt es sich, diese Suchkriterien schrittweise an die konkrete Aufgabe anzupassen.

Für die Bearbeitung landesweiter Karten, die auf den aktuell verfügbaren Gesamtbestand von Boh-

rungsinformationen zurückgreifen und die deshalb zeitlich längeren Bestand haben, sollte man für Teilbereiche mit räumlichen Lücken eine Strategie entwickeln, geologisch oder auch statistisch begründete fiktive Verlängerungen von Bohrprofilen vorzunehmen. Weil bei zunehmender Tiefenstufe auf immer weniger ausreichend tiefe Bohrungen zurückgegriffen werden kann, liegt die Konzentration auf den Bohrungen, die die vorherige Stufe noch sicher belegen, aber die nächste nicht mehr ganz erreichen. Dabei muss sicher gestellt sein, dass der Regionalisierungsfehler unter Einbeziehung solcher fiktiven Stützstellen geringer ist, als ohne diese.

Währenddessen bei der bohrungsbezogenen Berechnung der Wärmeentzugsleistung auf der Basis des lithologischen Profils und der hydrogeologischen Verhältnisse mittels eindeutig definierter Algorithmen gearbeitet wird, kann man bei der Regionalisierung nur Empfehlungen geben. Das liegt vor allem am Umfang sowie der räumlichen und Werteverteilung der Stützstellen, die für jeden konkreten Anwendungsfall sehr unterschiedlich sein kann. Beispiele für einheitliche Flächenkarten geothermischer Entzugsleistungen aus den Ländern Bremen (Abb. 7), Hamburg (Abb. 8) und Mecklenburg-Vorpommern (Abb. 9) sind im Folgenden aufgeführt.

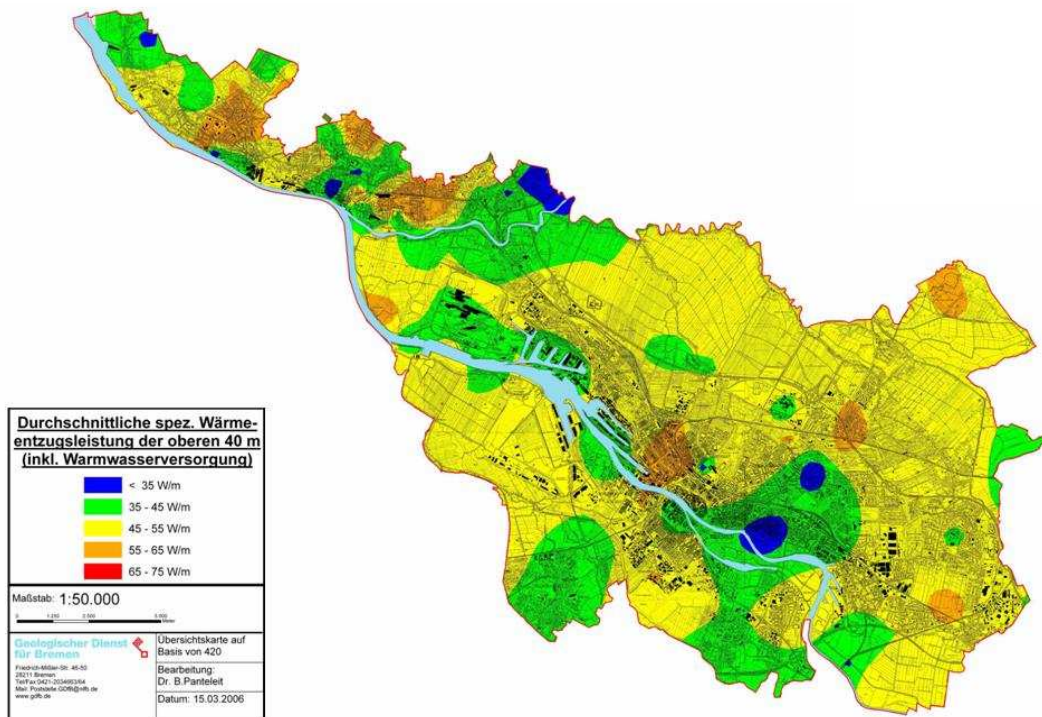


Abb. 7: Durchschnittliche spezifische Wärmeentzugsleistung der oberen 40 m im Land Bremen (Betrieb: 2.400 h/a).

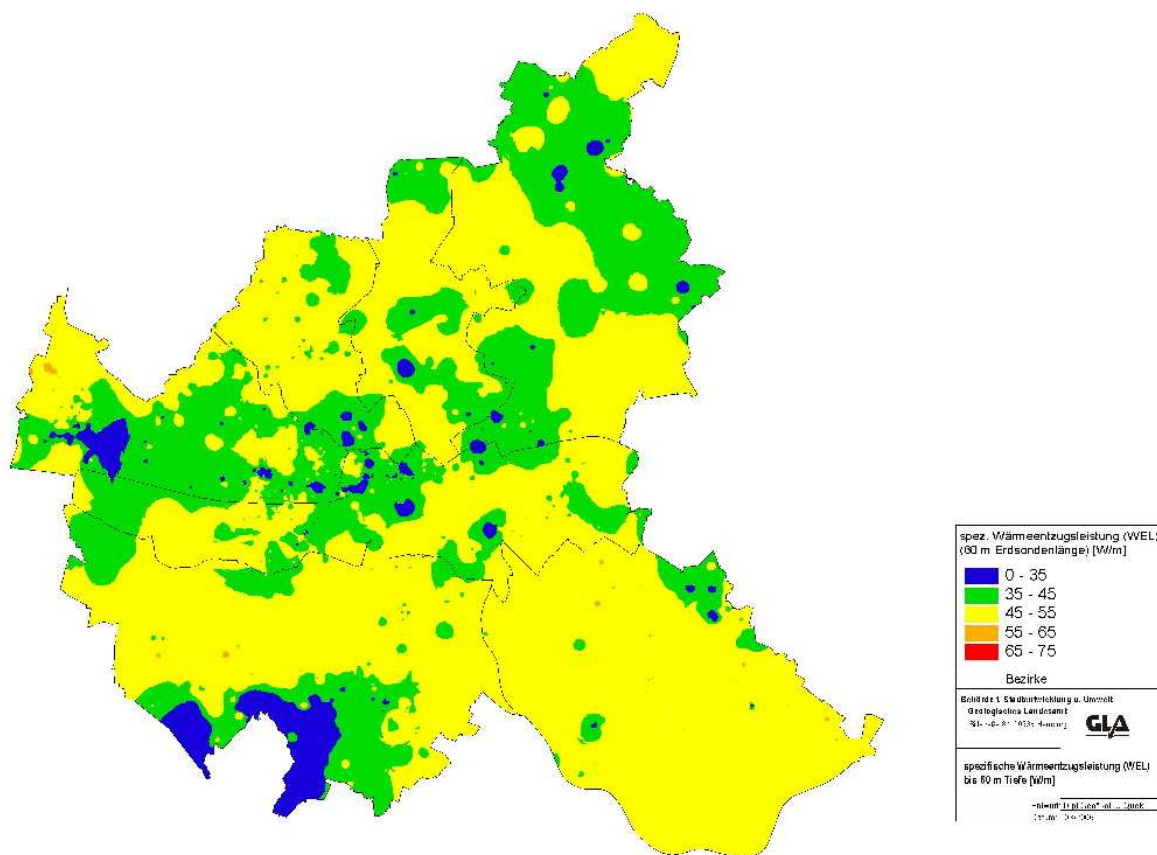


Abb. 8: Durchschnittliche spezifische Wärmeentzugsleistung der oberen 60 m im Land Hamburg (Betrieb: 1.800 h/a).

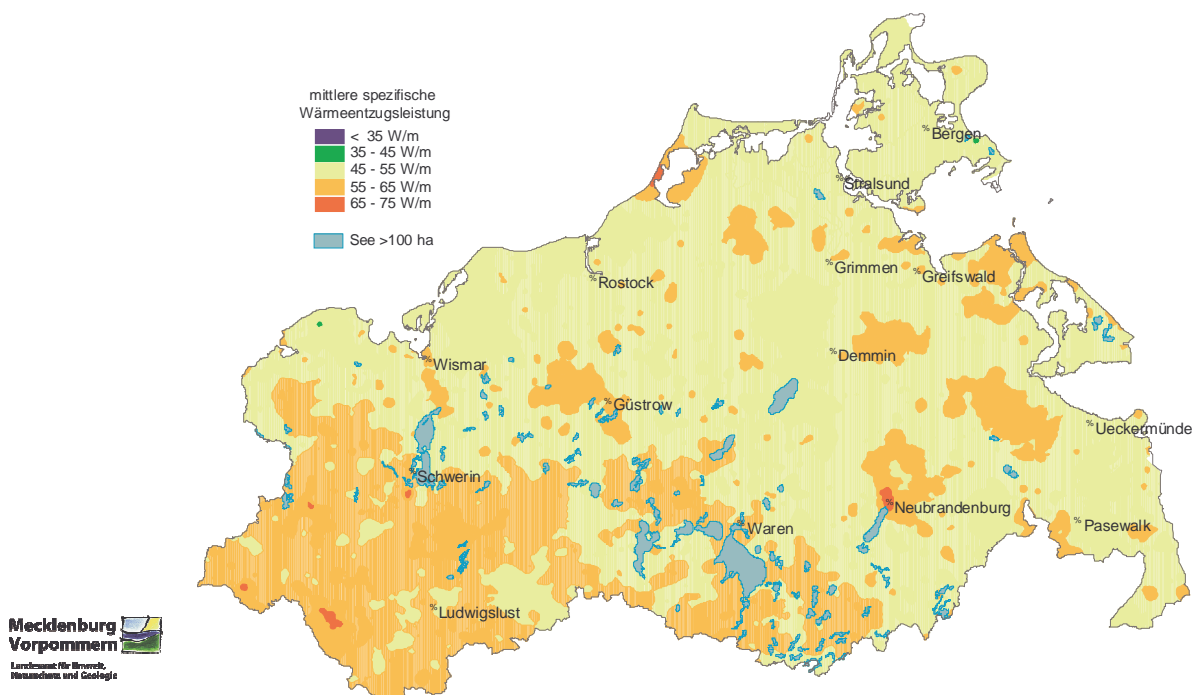


Abb. 9: Durchschnittliche spezifische Wärmeentzugsleistung der oberen 80 m im Land Mecklenburg-Vorpommern (Betrieb: 1.800 h/a).

Gezeigt werden verschiedene Teufenschnitte für Szenarien mit dem Betrieb von Heizungsanlagen allein (1.800 h/a) sowie dem Betrieb von Heizung inklusive Warmwasserbereitung (2.400 h/a).

Beispiel Nordrhein-Westfalen

Damit die Erdwärme für alle Bürger in NRW nutzbar wird sowie zur Ankurbelung des Wärmepumpenmarktes, hat die Landesregierung Nordrhein-Westfalens im Jahr 2000 beim Geologischen Dienst NRW die Studie „Geothermie NRW“ für das oberflächennahe Erdwärmepotenzial in Auftrag gegeben.

Das Herzstück der Studie ist ein landesweites geologisch-geothermisches Modell des Untergrundes bis 100 m Tiefe. Das Modell beinhaltet Angaben über die Art, Verbreitung und Mächtigkeit geothermisch relevanter Einheiten, ihre stratigraphische und hydrogeologische Einstufung sowie Angaben zu mittleren Grundwasserständen in Lockergesteinen. Zur Erfassung des Erdwärmepotenzials wurden den geothermischen Einheiten die so genannte „spezifische geothermische Ergiebigkeit“ [kWh/(m a)] zugeordnet. Da die „spezifische geothermische Ergiebigkeit“ neben geologischen Verhältnissen zusätzlich von mehreren technischen Faktoren abhängig ist, wurde auf Angaben aus der VDI-Richtlinie 4640 „Thermische Nutzung des Untergrundes“ zurückgegriffen. Zur Ermittlung weiterer geothermische Kennwerte wurden zudem an eigenem Bohrkernmaterial Wärmeleitfähigkeiten und Wärmekapazitäten gemessen so wie zahlreiche Thermal-Response-Tests ausgewertet. Die flächenhafte Darstellung des geothermischen Potenzials erfolgt derzeit über die in der geothermischen Datenbank enthaltenden ca. 56 000 fiktive regionalisierte Standardschichtenverzeichnissen. Generiert wurden hieraus beispielhaft die geothermischen Karten für die Tiefenbereiche 40 m, 60 m, 80 m und 100 m (Abb. 10) sowie für 1.800 und 2.400 Jahresbetriebsstunden. Sämtliche Daten werden in der Datenbank weiterhin gesammelt, kontinuierlich gepflegt und über ArcGIS visualisiert. Eine konsistente Datenbankhaltung ermöglicht eine zügige Anpassung an neue technische Vorgaben, wie zum Beispiel einer Änderung von Jahresbetriebsstunden.

Die Ergebnisse werden mittlerweile in der 2. überarbeiteten Auflage auf einer CD-ROM zur Nutzung bereitgestellt (Abb. 11). Hierbei wird zwischen einer vereinfachten Bürgerversion und einer detaillierten Planerversion unterschieden. Es ist geplant, diese Daten den Nutzern zukünftig ebenfalls über eine Internetplattform bereitzustellen.

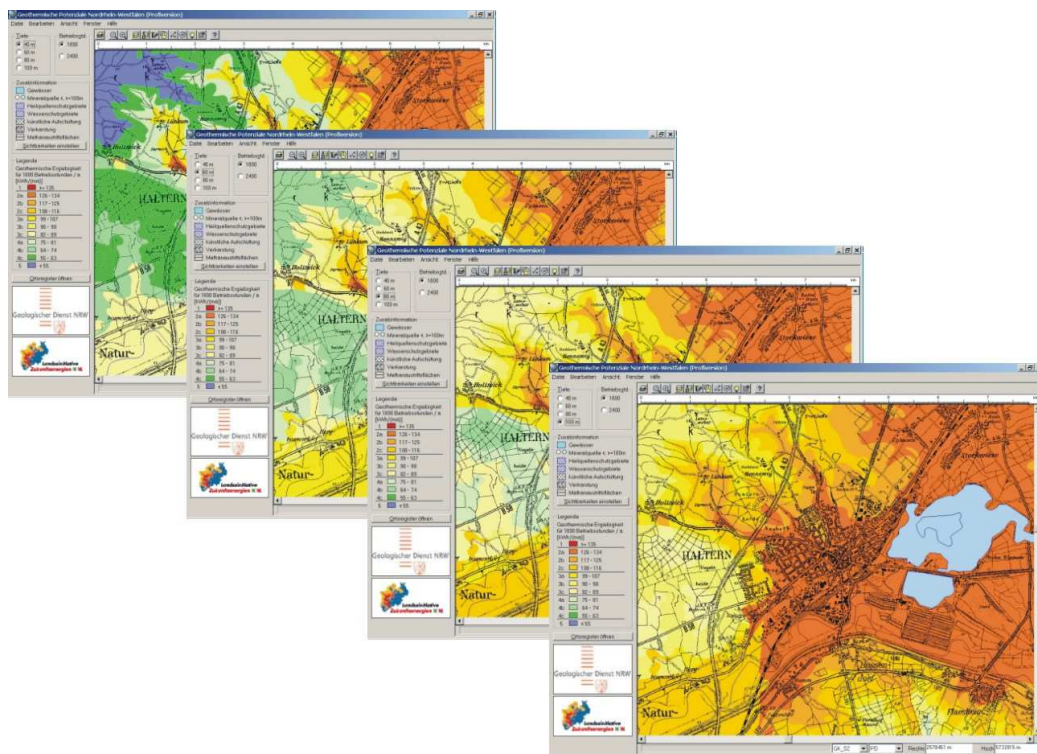


Abb. 10: Geothermische Karten in Nordrhein-Westfalen für die Tiefenbereiche 40 m, 60 m, 80 m und 100 m.

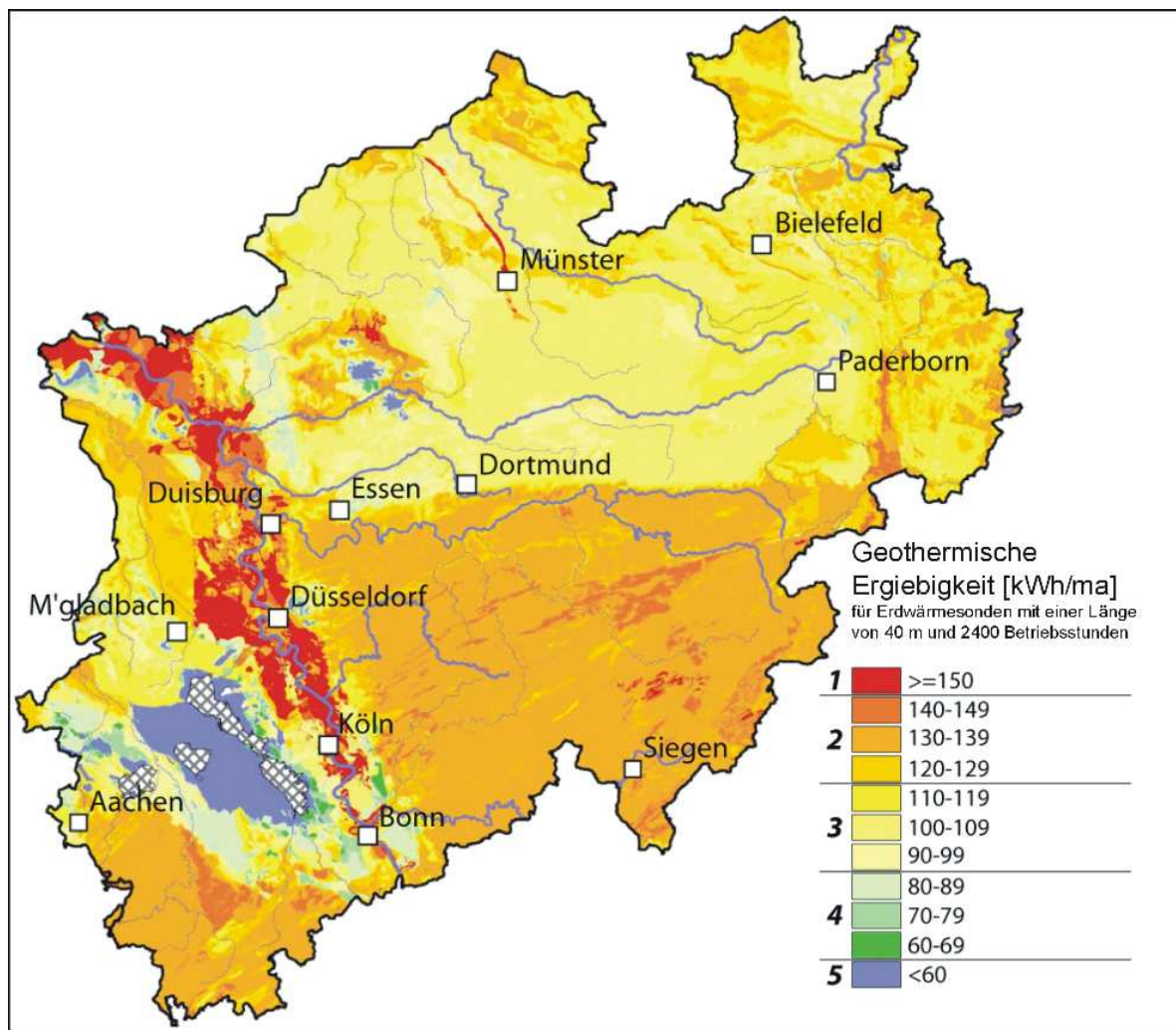


Abb. 11: Geothermische Ergiebigkeit in Nordrhein-Westfalen für Erdwärmesonden mit einer Länge von 40 m und 2.400 Betriebsstunden.

VI.4 LEITFÄDEN

Die SGD verfügen über umfangreiche Erfahrungen zu Fragen des Grundwasserschutzes. Sie sind zudem in den meisten Bundesländern regelmäßig in die wasserrechtlichen Genehmigungsverfahren für geothermische Nutzungen eingebunden. "Produkte" zur Qualitätssicherung bei der Errichtung und dem Betrieb von EWS wurden daher bereits in verschiedenen Ländern durch die SGD z.B. in Form von Leitfäden oder Empfehlungen mit erarbeitet. Es zeigt sich jedoch, dass die Anforderungen der einzelnen Länder zum Teil deutlich voneinander abweichen. Dieses führt bei Planern und Bohrfirmen, die i.d.R. in mehreren Ländern tätig sind, zu Missverständnissen, zu Unverständnis und nicht selten auch zur unbewussten Missachtung länderspezifischer Anforderungen. Aus Sicht des PK OG sollte daher eine Vereinheitlichung der in den Ländern bereits bestehenden Regelungen angestrebt wer-

den und daher einheitliche fachliche Empfehlungen der SGD für die Qualitätssicherung erarbeitet werden.

Im Rahmen der Bearbeitung des aktuellen Auftrags des PK OG, war die inhaltliche Bearbeitung dieses Produktes nicht möglich. Im Folgenden werden daher zunächst nur einige grundsätzliche Aussagen zum Aspekt der Qualitätssicherung gemacht.

Fachliche Anforderungen an die Durchführung

Neben der Wirtschaftlichkeit mit einer möglichst effizienten Nutzung stellt auch der Schutz des Grundwassers hohe Anforderungen an die Qualität von Planung und Bau von EWS-Bohrungen. Der dauerhafte Erhalt der Funktion der natürlichen geologischen Trennhorizonte, der Schutz des Grundwassers vor Verunreinigungen und die optimale Energiegewinnung für die einzelnen Anlagen erfordern eine dem Stand der Technik entsprechende

Ausführung der EWS-Anlagen. Der Stand der Technik wird in den technischen Regelwerken des Deutschen Instituts für Normung e.V. (DIN), den Richtlinien des Vereins Deutscher Ingenieure (VDI) sowie den Schriften der Deutschen Vereinigung des Gas- und Wasserfachs e.V. (DVGW) beschrieben. Als Qualitätsmerkmal und Genehmigungsvoraussetzung für die Durchführung der Bohrarbeiten gilt in einer Reihe von Bundesländern eine Zertifizierung des Bohrunternehmens nach DVGW W 120, das Gütesiegel für EWS-Bohrfirmen oder vergleichbares. Ergänzende Hinweise bzw. Anforderungen finden sich in den Leitfäden einzelner Bundesländer (siehe <http://www.infogeo.de/infogeo/home/geothermie>).

Bohrplanung

Bereits bei der Planung einer EWS-Anlage sind die zu erwartenden geologisch/hydrogeologischen Verhältnisse zu beachten, um die erforderliche Bohrtiefe sowie das geeignete Bohrverfahren festzulegen und mögliche Georisiken zu berücksichtigen. Bei ausreichendem Kenntnisstand kann dies zu einer Optimierung der Anlage (Bohrtiefe; Zahl der Sonden) führen und Unter- bzw. Überdimensionierungen vermeiden. Aus Sicht des Grundwasserschutzes sind die Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung zu erhalten (kein Eintrag von Schadstoffen von der Geländeoberfläche) und hydraulische Kurzschlüsse zwischen verschiedenen Grundwasserstockwerken zu verhindern. Dies erfordert eine sichere Abdichtung mit einem ausreichenden Bohrlochdurchmesser, einem zuverlässigen Einbauverfahren und die Verwendung geeigneter Verpressmaterialien, die u. a. die Kriterien Frostbeständigkeit, Beständigkeit bei aggressiven Wässern, Umweltverträglichkeit, Dichtungseigenschaft, Suspensionsdichte und Druckfestigkeit erfüllen müssen.

Zusätzlich wird eine hohe Wärmeleitfähigkeit des Verpressmaterials zur guten thermischen Anbindung an den Untergrund angestrebt sowie ein Mindestabstand der Bohrungen untereinander gefordert. Bei einem zu erwartenden großen Unterschied der Druckpotenziale zweier oder mehrerer Grundwasserleiter oder bei einem nicht auszuschließenden schwachen Gaszutritt ist die Verwendung bzw. der Einbau von Sperrrohren vorzusehen.

Durchführung der Bohrung

Die fachlichen Anforderungen an die Ausführung der EWS-Bohrungen sind in den o. g. Schriften und Regelwerken aufgeführt. Grundlage für das Erreichen hoher Qualitätsziele ist eine sorgfältige und umsichtige Durchführung der Arbeiten. Dies beinhaltet auch die Aufnahme und Dokumentation von bohrzeitlichen Beobachtungen, um anhand der Ergebnisse das Einzelvorhaben zu beurteilen, aber auch den allgemeinen geologisch/hydrogeologischen Kenntnisstand zu verbessern. Hierzu zählen beispielsweise die petrographische Ansprache des Bohrguts, die Aufzeichnung von Wasserständen, die Dokumentation von Spülungsverlusten sowie die Beschreibung von Klüftigkeit und Hohlräumen. Nach dem möglichst zentrischen Einbau der Sonden sollten dauerhaft stabil abdichtende Zement-Bentonit-Suspensionen (beständig gegenüber Temperaturschwankungen und ggf. aggressiven Grundwässern) eingesetzt werden. Die Verpressung sollte von unten nach oben erfolgen. Das Verpressvolumen und der Verpressdruck sollten dokumentiert werden. Die Qualität des Verpressmaterials kann anhand von Rückstellproben belegt werden.

Die qualifizierte geologische Aufnahme der Bohrungen sollte gefordert werden. Bei unklaren geologischen Verhältnissen sollten ggf. ergänzend geophysikalische Bohrlochmessungen (Gamma-Ray-Log) vorgesehen werden. Für eine eventuelle detaillierte geologische Aufnahme wird eine Aufbewahrung des Bohrguts empfohlen. Grundsätzlich kann sich die Qualitätssicherung aus der Zertifizierung der Bohrfirmen und des zugehörigen Personals ergeben. Bei Bedarf sollte bei einzelnen Bauvorhaben ergänzend zur Qualitätssicherung für die Bauüberwachung ein unabhängiges Fachbüro hinzugezogen werden. Darüber hinaus sollte die Qualitätssicherung in den Ländern auch durch wissenschaftliche Begleitung sowie durch Forschungsvorhaben zu den Aspekten von Bau und Ausbau von EWS-Bohrungen flankiert werden.

VII MÖGLICHKEITEN DER KOOPERATION MIT DER WIRTSCHAFT

Die Aufgabe der Kommission für Geoinformationswirtschaft des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (GIW-Kommission) ist es, die Bedürfnisse der Wirtschaft am Zugang zu staatlichen Geoinformationen zu formulieren und das

Lenkungsgremium Geodateninfrastruktur Deutschland (GDI-DE) diesbezüglich beim Aufbau der Geodateninfrastruktur Deutschland zu beraten. Dies rückt insbesondere vor dem Hintergrund des Informations-Weitergabe-Gesetzes, des Informations-Freiheitsgesetzes, des Umwelt-Informations-Gesetzes und der EU-Richtlinie INSPIRE in den öffentlichen Fokus. Ziel der GIW-Kommission ist es, neue Wertschöpfungsketten und damit neue Geschäftsprozesse oder -modelle zu ermöglichen und damit Arbeitsplätze zu schaffen und den Wirtschaftsstandort Deutschland - auch im internationalen Vergleich - zu stärken.

Für eine wirtschaftsorientierte Nutzung staatlicher Geoinformationen sind bestimmte Voraussetzungen unentbehrlich: Die Daten müssen verfügbar sein. Sie sollten inhaltlich, methodisch und im Format harmonisiert sein, die Abgabebedingungen sollten wirtschaftsorientiert, transparent und homogen gestaltet sein.

Im Falle der Geoinformationen zur Nutzung der oberflächennahen Geothermie wurde vom Zentralverband des Deutschen Handwerks (ZDH) und dem Bundesverband deutscher Wohnungs- und Immobilienunternehmen (GDW) Bedarf angemeldet. Der ZDH möchte seinen Mitgliedsunternehmen die Chance verschaffen, qualitativ hochwertige Beratungsleistung bei der Installation von EWS leisten zu können und auf diese Weise dieses Geschäftsfeld stärken. Parallel werden Schulungsmaßnahmen zur Qualifikation der Unternehmen vorgesehen, bei denen auch die Staatlichen Geologischen Dienste gefragt sein werden. Der GDW betreut bundesweit 5 Mio. Wohneinheiten. Viele dieser Immobilien stehen in den nächsten Jahren vor einer Grundsanierung. Um die Energiekosten von derzeit etwa 4 Mrd. Euro pro Jahr zukünftig signifikant zu reduzieren, möchte der GDW im Sanierungsbereich der Altbau-Erdwärme mit der entsprechenden Haustechnik einsetzen.

Die Wirtschaft hat also starkes Interesse die Kompetenz der Staatlichen Geologischen Dienste zu nutzen. Sie benötigt die verfügbaren Informationen für die Dimensionierung von Erdwärmeanlagen. Hierbei sind bereits bestehende Angebote wie in Baden-Württemberg, Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern oder Nordrhein-Westfalen ebenso von Interesse wie künftige bundesweit einheitliche methodische Vorgehensweisen im Sinne der GDI-DE. Abgestimmte Anwendungen zur Optimierung der

Planung von EWS-Anlagen sollten zukünftig verfügbar sein.

Als Kunden ist hier insbesondere an die Bohrbranche, die Wärmepumpenbranche sowie Unternehmen im Bereich Sanitär, Heizung, Klima oder auch Planungsbüros zu denken. Weiterhin können Energieversorger als weitere Interessenten bezüglich langfristiger Kundenbindung über geeignete Contracting-Modelle in Betracht kommen.

In der GIW-Kommission wurde dieses Thema über die GIW-Geschäftsstelle (GIW GSt.), gemäß oben genanntem Auftrag des BLA-GEO, in die entsprechenden Spitzenverbände der deutschen Wirtschaft sowie in das Lenkungsgremium (LG) Geodateninfrastruktur Deutschland (GDI-DE) hineingetragen, um Partnerschaften für gemeinsame Dienstleistungsportale und Geschäftsmodelle zu gewinnen.

Die vorbereitenden Abstimmungen zwischen der GIW-Geschäftsstelle, dem ZDH und den SGD der Startregionen sind erfolgt. Im März 2006 fand die Auftaktsitzung des Projektes „Geothermie“ der GIW-Kommission beim Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg statt. An diesem Treffen nahm auch der Sprecher des PK OG teil. Als Startregionen sind zunächst die Länder, Baden-Württemberg, Berlin, Brandenburg, Bremen, Hamburg, Mecklenburg-Vorpommern, und Nordrhein-Westfalen beteiligt. Behördenseitig sind für diese Thematik neben den SGD auch die Vermessungsverwaltungen und die Umweltverwaltungen der Länder sowie das Bundesamt für Kartografie und Geodäsie beteiligt. Die Beteiligungsstruktur wird auch an dem Datenspektrum deutlich, das für einen WebMapService oder auch später für einen Web-FeatureService „Geothermie“ der Geschäftspartner in den Regionen erforderlich ist:

- Topografische Informationen in den verschiedensten Maßstäben bis hin zum Maßstab 1:1000 sind die Basis der Web-Anwendungen,
- Orthophotos und DGM sind für die Planungen der Bohrunternehmungen unerlässlich,
- Adresssuche durch Einbindung von Hauskoordinatendiensten erleichtern die Lokationssuche,
- Schutzgebietsinformationen bieten wichtige Entscheidungskriterien,
- genehmigungsrechtliche Unterlagen und Auflagen sind das Gerüst jeder Planung,
- Untergrundinformationen der Staatlichen Geologischen Dienste erlauben eine kompetente Planung der Erdwärmeanlage,

- „Gelbe Seiten“ der anbietenden Unternehmen können das Angebot komplettieren.

Diese Geo-Fachinformationen können in die gemeinsamen Portalanwendungen der Wirtschaft und Behörden, aber beispielsweise auch in das Produktportal der SGD „infogeo.de“ eingebunden werden. Durch die Verknüpfung dieser Daten mit denen der Umweltverwaltungen und denen des GDI-DE Modellprojektes „Schutzgebiete“ findet eine Verknüpfung mit dem Pilotvorhaben „Schutzgebiete“ von GDI-DE statt. In die Projektentwicklung sind von Beginn an die Beteiligten aus Wirtschaft, Behörden und dem Lenkungsgremium GDI-DE operativ eingebunden.

Die grundsätzliche Struktur derartiger Projekte im Rahmen der GDI-DE sieht vor, dass die Daten bei den bereitstellenden Behörden verbleiben. Innerhalb der Anwendungen der Wirtschaft wird lediglich in vernetzten Serverstrukturen auf die Datenbanksysteme der beteiligten Einrichtungen zugegriffen.

In welcher Form die Geschäftsmodelle regional aufgestellt werden und welchen Anteil die jeweiligen Projektpartner an den Geschäftsmodellen haben können, soll in dem Leitprojekt der GIW-Kommission und seinen regionalen Arbeitsgruppen gemeinsam entwickelt. Hier gilt es viele länder- und behördenspezifische Belange zu berücksichtigen. Ergebnisse aus anderen GIW-Leitprojekten können selbstverständlich auch innerhalb dieses Projektes genutzt werden. Beispielsweise werden parallel Studien zu datenschutzrechtlichen Aspekten und Abgabebedingungen behandelt, die bereits jetzt länderübergreifende Harmonisierungen erkennen lassen. Die Mitwirkung des Lenkungsgremiums GDI-DE hilft eine politische Akzeptanz der Projektergebnisse herzustellen.

Das GIW-Leitprojekt „Geothermie“ der GIW-Kommission eröffnet den beteiligten Behörden Möglichkeiten zu einer engen Kooperation mit der Wirtschaft. Unternehmen und staatliche Einrichtungen können ihre Marktposition stärken, und Alleinstellungsmerkmale aufbauen.

VIII AUSBLICK

Es ist davon auszugehen, dass die oberflächennahe Geothermie ein immer wichtiger werdender Teil des zukünftigen Energiemixes sein wird. Die Arbeit des PK OG bestätigt, dass der Bedarf an hochwertig aufbereiteten geowissenschaftlichen Informationen

für die Planung und Dimensionierung von oberflächennahen geothermischen Anlagen steigt. Diese Informationen können ausschließlich durch die SGD bereitgestellt werden. Der Bedarf an diesen hochwertig aufbereiteten Geoinformationen wird gleichermaßen von Bürgern, Behörden, Wirtschaft und Politik formuliert.

Viele der genannten erforderlichen Arbeiten gehören bereits zum regulären Aufgabenspektrum der SGD. Teilweise erfordert die Vertiefung des Themengebietes Geothermie die Berücksichtigung neuer Aspekte, teilweise lediglich die Priorisierung einzelner Aufgaben. Eine hohe Priorität sollte hierbei das Aufbereiten und Übertragen geprüfter Bohrungsinformationen in digitale Bohrdatenbanken erhalten. Des Weiteren sollten die SGD auch der methodischen Vereinheitlichung geothermischer Informationen künftig einen hohen Stellenwert einräumen.

Für die Anwendung der entwickelten Methode auf alle Gesteinsformationen sollten vom PK OG die bei den SGD für verschiedene Regionen und Gesteinsarten vorliegenden Wärmeleitfähigkeiten abgefragt, zusammengetragen und einheitlich ausgewertet werden. Dies umfasst sowohl eigene Messwerte als auch Literaturdaten. Dies unterstützt eine dauerhafte Verankerung der Anzeigepflicht von Bohrungen gemäß Lagerstättengesetz und damit einen besseren Datenfluss von Untergrunddaten an die SGD.

Basierend auf den konkreten Wärmeleitfähigkeitswerten sollten auch Arbeiten zum Einfluss von EWS auf das natürliche Temperaturregime des Untergrundes, ergänzend zu denen von PANNIKE et al. 2006, initiiert werden, um z.B. Empfehlungen zum Abstand von EWS untereinander oder zur Grundstücksgrenze aussprechen zu können. Des Weiteren besteht Erkundungsbedarf zum quantitativen Einfluss des fließenden Grundwassers auf die Entzugsleistung von EWS. Hierzu finden sich in der Literatur keine konkreten Angaben.

Um die Anforderungen in den Genehmigungsverfahren der Länder anzugleichen, sollten die aus (hydro-) geologischer Sicht erforderlichen Anforderungen an Errichtung und Betrieb von EWS-Bohrungen, insbesondere in Restriktionsgebieten (z.B. Gebiete mit Vorkommen mehrerer Grundwasserstockwerke, von Artesern, Salzwässern oder Karst sowie Wasserschutzgebiete), formuliert werden. Die Daten über Wärmeleitfähigkeiten und Wärmekapazitäten sollten in einer zentralen Datenbank gesammelt und ausgewertet werden. Dies

stellt eine größtmögliche statistische Sicherheit der Informationen für eine Attributierung zu den Gesteinseinheiten in Deutschland her.

IX LITERATUR

ESKILSON, P., HELLSTRÖM, G., CLAEISSON, J., BLOMBERG, T. & SANNER, B. (2000): Earth Energy Designer Version 2.0.

HUBER, A., SCHULER O. (1997): Berechnungsmodul für Erdwärmesonden. Forschungsprogramm UAW, Bundesamt für Energiewirtschaft, Bern. ENET Nr. 9658807.

PANNIKE, S. (2005): Ausbreitung der Kältefahnen oberflächennaher EWS in Lockergesteinen. Diplomarbeit. Universität Bremen, Bremen.

PANNIKE, S., KÖLLING, M., PANTELEIT, B. REICHLING, J. SCHEPS, V. & SCHULZ, H. D. (2006): Auswirkungen hydrogeologischer Kenngrößen auf die Kälte- und Wärmefahnen von EWS-Anlagen in Lockersedimenten. Grundwasser.

VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE (VDI) [Hrsg.] (2000): Thermische Nutzung des Untergrundes. – Grundlagen, Genehmigungen, Umweltaspekte. Richtlinie 4640, Blatt 1; Düsseldorf.

VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE (VDI) [Hrsg.] (2001): Thermische Nutzung des Untergrundes – Erdgekoppelte Wärmepumpenanlagen. Richtlinie 4640, Blatt 2; Düsseldorf.

X ANHANG

- 1 Begriffsliste „Petrographische Gesteinsbezeichnung“ der Ad-hoc-AG Geologie
- 2 Auszug der Begriffsliste „Petrographische Gesteinsbezeichnung“ der Ad-hoc-AG Geologie (Hierachiestufe 7) mit zugewiesenen Wärmeleitfähigkeitswerten

Tab. 8: Mitglieder des PK OG.

Andreas Dietze	TLUG, TH
Dr. Jörg Elbracht	LBEG, NI
Dr. Thomas Fritzer	LfU, BY
Tatjana Häntze	LAGB, SA
Joachim Iffland	LUNG, MV
Dr. Reinhard Kirsch	LANU, SH
Jens Kröger	GLA, HH
Dr. Winfried Kuhn	LGB, RLP
Alexander Limberg	SEN, B
Dr. Karsten Obst	LUNG, MV
Dr. Björn Panteleit	GDfB, HB
Michael Pawlitzky	LBGR, BB
Dr. Jörg Reichling	GIW-GSt., BMWi
Dr. Peter Riedel	LfUG, SN
Dr. Sven Rumohr (Sprecher)	HLUG, HE
Ingo Schäfer	GD, NW
Roman Storz	LGB, RLP
Dr. Christian Trapp	LGRB, BW
Thomas Walter	LUA, SL
Doreen Wenzel	LfUG, SN

Begr.-ID alt	Begr.-ID neu	Gesteins-Bezeichnung	Synonym	Begriffserklärung	Literatur	Quelle	Bemerkungen	Klass	Kons
40	40	31	8CS	Karbonat sand					
41	41	40	9KS	Kalksand	Doppler et al. 2002	BY mod		g	
42	42	40	9DS	Dolomitsand	Doppler et al. 2002	BY mod		g	
43	43	3	5Ips	Psephitisches Lockergestein	Fuchsbauer 1988: 130	BY mod		o	x
44	44	43	6GY	Kies bis Blöcke	Doppler et al. 2002	BY mod		g	x
45	45	44	7G	Kies	DIN 4022	BY mod		g	x
46	46	45	8IG	Feinkies	DIN 4022	BY mod		g	x
47	47	45	8mG	Mittl. Kies	DIN 4022	BY mod		g	x
48	48	45	8IG	Grobkies	DIN 4022	BY mod		g	x
49	49	44	7X	Steine	DIN 4022	BY mod		g	x
50	50	44	7Y	Blöcke	DIN 4022	BY mod		g	x
51	51	44	7GYr	Kies bis Blöcke, gerundet	Doppler et al. 2002	BY mod		g	
52	52	51	8rG	Kies, gerundet	Doppler et al. 2002	BY mod		g	
53	53	51	8rX	Steine, gerundet	AG Boden 2005: 150;	BY mod		g	
54	54	51	8rY	Blöcke, gerundet	Doppler et al. 2002	BY mod		g	
55	55	44	7eGY	Grus bis Blockschutt	Doppler et al. 2002	BY mod		g	
56	56	55	8eG	Grus	AG Boden 2005: 150;	BY mod		g	
57	57	55	8eX	Grobschutt	Doppler et al. 2002	BY mod		g	
58	58	55	8eY	Blockschutt	Doppler et al. 2002	BY mod		g	
59	59	44	7sGY	Kies bis Blöcke, siliziklastisch	Doppler et al. 2002	BY mod		g	
60	60	59	8sG	Kies, siliziklastisch	Doppler et al. 2002	BY mod		g	
61	61	59	8sX	Steine, siliziklastisch	Doppler et al. 2002	BY mod		g	
62	62	59	8sY	Blöcke, siliziklastisch	Doppler et al. 2002	BY mod		g	
63	63	44	7GYc	Kies bis Blöcke, karbonatführend	Doppler et al. 2002	BY mod		g	
64	64	44	7CGY	Karbonatkies bis -blöcke	Doppler et al. 2002	BY mod		g	
65	65	64	8CG	Karbonatkies	Doppler et al. 2002	BY mod		g	
66	66	64	8CX	Karbonatsteine	Doppler et al. 2002	BY mod		g	
67	67	64	8CY	Karbonatblöcke	Doppler et al. 2002	BY mod		g	
68	68	3	5IDm	Diamiktisches Lockergestein	Doppler et al. 2002	BY mod		o	x
69	69	68	7Dm	Diamikton	Flirt et al. 1980; Doppler et al. 2002	BY mod		g	x
70	70	69	8sIDm	Diamikton, siliziklastisch	Doppler et al. 2002	BY mod		g	
71	71	69	8Dmc	Diamikton, karbonatisch	Doppler et al. 2002	BY mod		g	
72	72	69	8CDm	Karbonatdiamikton	Doppler et al. 2002	BY mod		g	
73	73	1	4Is	Karbonat-Lockergestein, biogenchemisch	Doppler et al. 2002	BY mod		o	x
74	74	73	5IK	Kalk, biogenchemisch	Doppler et al. 2002	BY mod		o	x
75	75	74	7Kon	Kalkkonkretionen	Doppler et al. 2002	BY mod		g	
76	76	74	7Sch	Schill	Doppler et al. 2002	BY mod		g	
77	77	1	4Isi	Kiesel-Lockergestein, biogenchemisch	Doppler et al. 2002	BY mod		o	x
78	78	77	7Kig	Kieselgur	Fuchsbauer 1988: 513			g	

Petrographische Gesteinsbezeichnung

Begr.-ID	Begr.-ID alt	Vater-ID	Hier. Kürzel	Gesteins-Bezeichnung	Synonym	Begriffserklärung	Literatur	Quelle	Bemerkungen	Klass	Kons
			1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, Hierarchiestufe								
83	79	2	4lo	Organisches Lockergestein	Organisches Lockermaterial	Lockeres Gemenge aus dominierend organischen (= nicht-mineralischen) Bestandteilen.	Doppler et al. 2002	BY mod	Die Bezeichnung "Gestein" erscheint bei organischem Lockermaterial nicht immer passend	o	x
84	80	79	5Pfl	Planzliches Material, locker		Lockeres Gemenge aus humifizierten pflanzlichen Resten.	Doppler et al. 2002	BY mod			x
86	81	80	7Hu	Humus		Lockeres Gemenge aus humifizierten pflanzlichen Resten.	Doppler et al. 2002	BY mod		g	x
87	82	80	7H	Torf		Lockeres Gemenge aus im wasserübersättigten Milieu unvollständig zersetzten pflanzlichen Resten.	AG Boden 1994: 142	BY mod		g	x
88	83	79	5Ko	Kohle, locker		Involkommen verfestigtes oder aufgelockertes Material geringen Inkohlungsgrads.	Doppler et al. 2002	BY mod		g	x
89	84	83	7Bkw	Weich-Braunkohle		Involkommen verfestigtes oder aufgelockertes Material geringen Inkohlungsgrads.	Füchtbauer 1988: 690;	BY mod		g	x
85	1	3le		Erz, locker		Lockergestein mit dominierendem Anteil von Mineralen, die als Rohstoff zur Metallgewinnung dienen können (unabhängig der Wirtschaftlichkeit). Sonstige Gesteinsbezeichnungen dürfen nicht zutreffen.	Doppler et al. 2002		Obwohl für die Lockererze von sedimentärer Genese ausgegangen werden kann, höhere Hierarchiestufe symmetrisch zu festen Erzen	o	
86	85	5lEoz		Oxidisch/hydroxidisches Erz, locker		Locker gelagertes Erz aus Eisen- und/oder Mangan-Oxiden und/oder -hydroxiden				o	
87	86	6lFeox		Oxidisch/hydroxidisches Eisen/Mangan-Erz, locker		Locker gelagertes Erz aus Eisen- und/oder Mangan-Oxiden und/oder -hydroxiden, aus dem Grundwasser ausfällt.				o	
355	88	87	7Ock	Eisenerocker		Locker gelagertes Erz, weitestgehend aus Leichtmetall-Oxiden und/oder -hydroxiden.				g	
89	86	6lMox		Oxidisch/hydroxidisches Leichtmetallerz, locker		Locker gelagertes Erz, weitestgehend aus Leichtmetall-Oxiden und/oder -hydroxiden.				o	
90	89	7lBax		Bauxit, locker		Locker gelagertes Erz, vorwiegend aus Aluminiumhydroxiden (Gibbsit, Diaspor, Böhmil)				g	
92	91	3lm		Magmatisches (auch vulkaniklastisch-sedimentäres) Lockergestein	Magmatit, locker	Lockergestein überwiegend aus Komponenten, die aus einer Gesteinsschmelze (Magma) gebildet wurden, pyroklastischer bis vulkaniklastisch-sedimentärer Entstehung.				o	x
92	91	4lwk		Vulkaniklastisches Lockergestein		Magmatisches Lockergestein aus > ca. 25% vulkanischen Gesteinsbruchstücken, unabhängig von ihrer Entstehung durch explosive vulkanische Eruption entstanden (=pyroklastischen) Komponenten, Untergliederung nach Korngrößen (s. Tephra).	Schmircke 1984: 298; Cas & Wright 1987: 8	HE		o	
93	92	5lvp		Pyroklastisches Lockergestein	Pyroklastit, locker; Tephra	Magmatisches Lockergestein weitgehend aus durch explosive vulkanische Eruption entstanden (=pyroklastischen) Komponenten, Untergliederung nach Korngrößen (s. Tephra).		HE		o	x
94	94	6lTea		Tephra	Pyroklastisches Lockergestein	Pyroklastisches Lockergestein mit > ca. 75% Pyroklasten.				g	x
95	94	7lAsv		Aschen-Tephra	Vulkanische Asche	Tephra, Pyroklasten-Größe vorwiegend < 2 mm.				g	x
96	94	7lLap		Lapilli-Tephra	Lapilli	Tephra, Pyroklasten-Größe vorwiegend 2 bis 64 mm.				g	x
97	94	7lXYv		Bomben-/Block-Tephra	Vulkanische Bomben/Blöcke	Tephra, Pyroklasten-Größe > 64 mm; rundliche Komponenten = Bomben, eckige = Blöcke.				g	x
98	92	5lvs		Vulkaniklastisch-sedimentäres Lockergestein		Vulkaniklastisches Lockergestein mit < 25 % pyroklastischen Komponenten, vorwiegend sedimentär durch Erosions- und Umlagerungsprozesse entstanden; Untergliederung entsprechend der Sedimentklassifikation (z. B. Vulkaniklastischer Sand).	HE			o	
99	98	7lTLK		Vulkaniklastischer Ton/Schluff		Vulkaniklastisches Lockergestein mit dominierender Korngröße < 0,06 mm	HE			g	
100	98	7lSk		Vulkaniklastischer Sand		Vulkaniklastisches Lockergestein mit dominierender Korngröße 0,06-2,0 mm	HE			g	
101	98	7lXYk		Vulkaniklastischer(r) Kies bis Blöcke		Vulkaniklastisches Lockergestein mit dominierender Korngröße > 2,0 mm	HE			g	
98	102	5lvt		Tuffit, locker	Tuffisches Lockergestein	Pyroklastisch-epiklastische Mischablagerung, ca. 75-25 % pyroklastisches bzw. 25-75 % epiklastisches (durch Erosion älterer vulkanischer Ablagerungen ersandenes) Material. Untergliederung entsprechend der Sedimentklassifikation (z. B. Tuffischer Sand).	HE			o	x
103	102	7lTdt		Tuffischer Ton/Schluff		Tuffisches Lockergestein mit dominierender Korngröße < 0,06 mm	HE			g	
104	102	7lSt		Tuffischer Sand		Tuffisches Lockergestein mit dominierender Korngröße 0,06-2,0 mm	HE			g	
105	102	7lXYt		Tuffischer(r) Kies bis Blöcke		Tuffisches Lockergestein mit dominierender Korngröße > 2,0 mm	HE			g	
106	1	3lso		Sonstiges Lockergestein		Lockergestein, nicht sedimentärer Entstehung und nicht aus Erzmineralen zusammengesetzt.	HE		Gruppenbezeichnung zur Wahrung der Symmetrie mit entsprechenden Festgesteins-Bezeichnungen	g	
107	106	4ll		Tektonit, locker	Störungsgestein, locker	Lockergestein, dessen Gesamtcharakter durch Texturen bestimmt ist, die durch Deformation im Rahmen tektonischer Vorgänge hervorgerufen wurden.	Matthes 1996: 356		Nur ein Teil der Tektonite kann als Metamorphit eingestuft werden (siehe dort).	o	x
343	108	107	7lKak	Kalkit	Bruchbreccie, In-situ-Breccie	Lockeres Störungsgestein mit zahlreichen tektonisch erzeugten Rutsch- und Klüfflflächen, polyedrischer (Interkorn-)Zerfall im cm-dm-Bereich.	Murawski 1992: 96; Heitzmann 1985; Matthes 1996: 356			g	x

Begr.-ID alt	Begr.-ID neu	Hier. Kürzel	Gesteins-Bezeichnung									Synonym	Begriffserklärung	Literatur	Quelle	Bemerkungen	Klass	Kons																			
			1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.								Hierarchiestufe																		
136	134	8rGstc																																			
137	134	8rGst																																			
125	138	7eGst																																			
139	138	8sGst																																			
140	138	8eGst																																			
141	138	8CeGst																																			
126	142	4fsc																																			
127	143	5Csti																																			
128	144	7Mst																																			
129	145	7Kst																																			
130	146	7Kstl																																			
131	147	5Cst																																			
132	148	7Kst																																			
133	148	7DKst																																			
134	150	7Dst																																			
135	151	7Mlk																																			
136	152	7Are																																			
137	153	7Spa																																			
138	154	4fss																																			
139	155	5SOst																																			
140	156	7Gyp																																			
141	157	7Ahy																																			
142	158	5Cist																																			
143	159	7NeCl																																			
144	160	7KCl																																			
145	161	4fsl																																			
146	162	5Pz																																			
147	163	7Dia																																			
149	164	5Hor																																			
160	165	7Fst																																			

Petrographische Gesteinsbezeichnung

Begr.-ID alt	Begr.-ID	Vater-ID	Hier.	Kürzel	Gesteins-Bezeichnung									Synonym	Begriffserklärung	Literatur	Quelle	Bemerkungen	Klass	Kons		
					1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.								Hierarchiestufe	
173	198	187	5	lv										Tuffit	Tuffisches Festgestein	Pyroklastisches Mischgestein; ca. 75-25 % pyroklastisches und 25-75% eplaklastisches Material; vorwiegend aus Umlagerungsprozessen entstanden; Gliederung nach der Korngrößenreife der Sedimente (z. B. Tuffischer Sandstein).	Wimmenauer 1985: 218; Fuchsbauer 1988: 735	HE			o	x
	199	198	7	TLVst										Tuffischer Ton/Schluffstein	Tuffisches Festgestein mit dominierender Korngröße < 0,06 mm		HE			g		
	200	198	7	SMst										Tuffischer Sandstein	Tuffisches Festgestein mit dominierender Korngröße 0,06-2,0 mm		HE			g		
	201	198	7	IGVst										Tuffisches Konglomerat	Tuffisches Festgestein mit dominierend gerundeten Komponenten der Korngröße > 2,0 mm		HE			g		
174	202	186	4	lrv										Vulkanit, fest (außer Pyroklastit)	Vulkanisches Festgestein	Maonaisches Festgestein mit feinkörnig bis dichtem Gefüge, vollständig kristall ausgebildet (holokristallin) bis vollständig glasig ausgebildet (holohyalin), meist ungleichförmig (heterogranular) oft porphyrisch (mit bloßem Auge einzelne Kristalle erkennbar); an oder nahe der Oberfläche erstarrt (Le-extrusiv); auch fragmentiert. Die Entmischung kann nach dem Chemismus oder nach dem modalen Mineralbestand (dann: Vorstufe: "Phäno-") erfolgen. Besonders gefürchtet werden die bei explosiven Vulkanausbrüchen geförderten Pyroklastischen Fest- und Lockergesteine (->).	Le Maitre 1989: 3, 127 mod.		der Glasanteil bis 80% ist nicht namensgebend, aber als Merkmal anzugeben, darüber als vulkanisches Glas einzustufen	o	x	
203	202	5	lrvs											Vulkanit, fest, sauer bis intermediär	Vulkanisches Festgestein mit über 52% SiO ₂ .					o	x	
195	204	203	6	vgl										Vulkanisches Glas	Vulkanit, = vollständig glasig ausgebildet (holohyalin) (> 80% Glas), u.U. einzelne Kristalle (Einsprenglinge, Mikrolithe)	Wimmenauer 1985: 53		Wimmenauer 1985: 53, modifiziert	g	x		
196	205	204	7	Bim										Bims	Vulkanisches Glas, äußerst blasenreich (>30%), schaumig, hell, intermediär bis sauer	Wimmenauer 1985: 221; Le Maitre 1989: 108; Murawski 1992: 20			g	x		
197	206	204	7	Obs										Obsidian	Vulkanisches Glas, Zusammensetzung wie Rhyolith oder Dact, dunkel, massiv mit muschelartigem Bruch (< 1% Wasser)	Wimmenauer 1985: 175; Le Maitre 1989: 97			g	x		
198	207	204	7	Pec										Pechstein	Vulkanisches Glas, Zusammensetzung wie Rhyolith oder Dact, durch Wasseraufnahme (> 4% Wasser) verändert, an Pech erinnernder Glanz.	Wimmenauer 1985: 175; Le Maitre 1989: 103, 106			g			
175	208	203	6	ryda										Rhyolith/Dactoid	Vulkanit mit O 20-80 von QAP; QAPF-Klassifikation für Vulkanite, Felder 2, 3a, 3b, 4	Le Maitre 1989: 112			g	x		
176	208	208	7	AlRy										Alkalifeldspath-Rhyolith	Rhyolith mit P 0-10 von AP; QAPF-Klassifikation für Vulkanite, Feld 2	Le Maitre 1989: 43			g			
177	210	208	7	RyW										Rhyolith i.w.S.	Rhyolith mit P 10-85 von AP; QAPF-Klassifikation für Vulkanite, Felder 3a, 3b	Le Maitre 1989: 112		Synonym Liparit nach Le Maitre 1989: 86, laut Wimmenauer (S. 175) aber glasige Matrix	g	x		
178	211	210	8	Rye										Rhyolith i.e.S.	Rhyolith mit P 10-35 von AP; QAPF-Klassifikation für Vulkanite, Feld 3a	Le Maitre 1989: 112			g			
179	212	210	8	Ryd										Rhyodact	Rhyolith mit P 35-65 von AP; QAPF-Klassifikation für Vulkanite, Feld 3b	Le Maitre 1989: 112			g			
180	213	208	7	Dac										Dact	Dactoid mit P 65-100 von AP; QAPF-Klassifikation für Plutonite, Feld 4	Le Maitre 1989: 59			g	x		
181	214	203	6	lra										Trachyoid	Vulkanit mit O 0-20 von QAP bzw. F 0-10 von FAP und P 0-65 von AP; QAPF-Klassifikation für Vulkanite, Felder 6*, 6', 7*, 7', 8*, 8', 8''				g	x		
182	215	214	7	ATr										Alkali-Trachyt	Trachyoid mit P 10-35 von AP; QAPF-Klassifikation für Vulkanite, Felder 6*, 6'	Le Maitre 1989: 124		kann quarz- oder feldspathführend sein	g	x		
183	216	214	7	Tra										Trachyt	Trachyoid mit P 10-35 von AP; QAPF-Klassifikation für Vulkanite, Felder 7*, 7'	Le Maitre 1989: 124		kann quarz- oder feldspathführend sein	g	x		
184	217	214	7	Lat										Lait	Trachyoid mit P 35-65 von AP; QAPF-Klassifikation für Vulkanite, Felder 8*, 8'	Le Maitre 1989: 83		kann quarz- oder feldspathführend sein	g	x		
218	202	5	lrvb											Vulkanit, fest, basisch bis ultrabasisch (außer Pyroklastit)	Vulkanisches Festgestein mit weniger als 52% SiO ₂ .					o	x	

Petrographische Gesteinsbezeichnung

Begr.-ID alt	Begr.-ID neu	Kürzel	Gesteins-Bezeichnung									Synonym	Begriffserklärung	Literatur	Quelle	Bemerkungen	Klass	Kons																
			1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.																							
185	219	6amba																																
186	220	7And																																
187	221	7Bas																																
188	222	6pho																																
189	223	7Pho																																
190	224	6tep																																
191	225	7Tep																																
192	226	7Bsn																																
193	227	6foi																																
194	228	6wa																																
199	229	4mg																																
200	230	5mmag																																
201	231	230																																
202	232	230																																
203	233	230																																
204	234	230																																
205	235	230																																
206	236	230																																
207	237	229																																
208	238	237																																
211	239	237																																

Petrographische Gesteinsbezeichnung

Begr.-ID alt	Begr.-ID	Hier.	Kürzel	Gesteins-Bezeichnung								Synonym	Begriffserklärung	Literatur	Quelle	Bemerkungen	Klass	Kons	
				1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.								9.
251	268	256	6lka																
252	269	185	3lu																
				Metamorphit															
				Karbonatit-Plutonit															
253	270	269	4lun																
				Anchimetamorphit															
				Geringmetamorphes Gestein															
254	271	270	5lus																
				Meta-Sediment															
255	272	271	6luskf																
				Meta-Kieselgestein															
256	273	272	7luskf																
				Meta-Kieselschiefer															
257	274	272	7luskf																
				Quarzschiefer															
258	275	271	6luskf																
				Meta-Pellit															
263	276	275	7luskf																
				Tonschiefer															
264	277	271	6luskf																
				Meta-Psammit															
265	278	277	7luskf																
				Meta-Sandstein															
266	279	277	7luskf																
				Meta-Ankose															
267	280	277	7luskf																
				Meta-Grauwacke															
268	281	271	6luskf																
				Meta-Psephit															
269	282	281	7luskf																
				Meta-Konglomerat															
270	283	270	5luskf																
				Meta-Pyroklastit															
271	284	283	6luskf																
				Meta-Pyroklastit, sauer bis intermediär															
272	285	283	6luskf																
				Meta-Pyroklastit, basisch bis ultrabasisch															
273	286	270	5luskf																
				Meta-Vulkanit															
274	287	286	6luskf																
				Meta-Vulkanit, sauer bis intermediär															
275	288	287	7luskf																
				Meta-Rhyolithoid															
276	289	286	6luskf																
				Meta-Vulkanit, basisch bis ultrabasisch															
277	290	289	7luskf																
				Meta-Basaltoid															
278	291	270	5luskf																
				Meta-Plutonit															
279	292	291	6luskf																
				Meta-Plutonit, sauer bis intermediär															
280	293	292	7luskf																
				Meta-Syenitoid															
281	294	292	7luskf																
				Meta-Granitoid															
282	295	291	6luskf																
				Meta-Plutonit, basisch bis ultrabasisch															
283	296	295	7luskf																
				Meta-Dioritoid/Gabbroid															
284	297	269	4luskf																
				Metamorphit, mittel- bis hochgradig															
285	298	297	5luskf																
				Kontaktmetamorphit, mittel- bis hochgradig															
286	299	298	7luskf																
				Hornfels															

Auszug der Petrographieliste der Ad-hoc-AG Geologie (Hierarchiestufe 7) mit zugewiesenen Wärmeleitfähigkeiten

Begr.-ID alt	Begr.-ID	Vater-ID	Hier	Kürzel		Kürzel										Gesteins- Bezeichnung	Wärmeleitfähigkeit (W/mK)			Bemerkung *
				Kürzel	Kürzel	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	von		bis	empfohlen		
6	6	5	7	T													0,4	1	0,5	
7	7	5	7	U													0,4	1	0,5	
8	8	5	7	siTU													0,4	1	0,5	
15	15	5	7	TUc													0,4	1	0,5	
18	18	5	7	M													1,5	3,5	2,1	
25	25	5	7	CTU													0,4	1	0,5	Ton
31	31	30	7	S													0,3	0,8	0,4	
45	45	44	7	G													0,4	0,5	0,4	
49	49	44	7	X													0,4	0,5	0,4	Kies
50	50	44	7	Y													0,4	0,5	0,4	Kies
51	51	44	7	rGY													0,4	0,5	0,4	Kies
55	55	44	7	eGY													0,4	0,5	0,4	Kies
59	59	44	7	siGY													0,4	0,5	0,4	Kies
65	63	44	7	GYc													0,4	0,5	0,4	Kies
66	64	44	7	CGY													0,4	0,5	0,4	Kies
73	69	68	7	Di													1	2,5	2	Moräne
79	75	74	7	Kkk																
80	76	74	7	Schi																
82	78	77	7	Kig													0,4	1	0,5	Ton
86	81	80	7	Hu																
87	82	80	7	H													0,2	0,7	0,4	
89	84	83	7	IBk													0,2	0,7	0,4	Torf
355	88	87	7	Ock																
90	90	89	7	IBax																
95	95	94	7	HE, mod.																
96	96	94	7	HE, mod.																
97	97	94	7	HE, mod.																
99	99	98	7	TUvk													0,4	1	0,5	Ton
100	100	98	7	Svk													0,3	0,8	0,4	Sand
101	101	98	7	XYvk													0,4	0,5	0,4	Kies
103	103	102	7	TUvt													0,4	1	0,5	
104	104	102	7	Svt													0,3	0,8	0,4	Sand
105	105	102	7	XYvt													0,4	0,5	0,4	Kies
343	108	107	7	SN													0,4	0,5	0,4	Kies
109	109	107	7	BW													0,4	0,5	0,4	Kies
105	116	115	7	Tst													1,1	3,5	2,2	
106	117	115	7	Ust													1,1	3,5	2,2	
107	118	115	7	siTUst													1,1	3,5	2,2	

Begr.-ID alt	Begr.-ID	Vater-ID	Hier	Kürzel	Kürzel	Kürzel	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	Gesteins- Bezeichnung Hierarchiestufe	Wärmeleitfähigkeit (W/mK)			Bemerkung *
																	von	bis	empfohlen	
108	119	115	7	TUstc	7	TUstk										Ton/Schluffstein,	1,1	3,5	2,2	
110	121	120	7	Sst	7	Sst										Sandstein	1,3	5,1	2,3	
123	133	132	7	CGst												Rudit	2,5	4	2,8	Kalkstein
124	134	132	7	rGst	7	Gst										Konglomerat	1,3	5,1	2,3	Sandstein
125	138	132	7	eGst	7	Br										Breccie	1,3	5,1	2,3	Sandstein
128	144	143	7	Mst	7	Mst										Mergelstein	1,5	3,5	2,1	Mergel
129	145	143	7	Kst	7	SKst										Sandkalkstein	1,3	5,1	2,3	Sandstein
130	146	143	7	Kst	7	Kst										Kieselkalkstein	2,5	4	2,8	Kalkstein
132	148	147	7	Kst	7	Kst										Kalkstein	2,5	4	2,8	
133	149	147	7	DKst	7	DKst										Dolomit-Kalkstein	2,5	4	2,8	Kalkstein
134	150	147	7	Dst	7	Dst										Dolomitstein	2,5	4	2,8	Kalkstein
135	151	147	7	Mik												Mikrit/Lutit	2,5	4	2,8	Kalkstein
136	152	147	7	Are												Arenit	2,5	4	2,8	Kalkstein
137	153	147	7	Spa												Sparit	2,5	4	2,8	Kalkstein
140	156	155	7	Gyp	7	Y										Gips	1,3	2,8	1,6	
141	157	155	7	Ahy	7	Ahy										Anhydrit	1,5	7,8	4,1	
143	159	158	7	NaCl	7	NaCl										Steinsalz	5,3	6,4	5,4	
144	160	158	7	KCl	7	KCl										Kalialz	5,3	6,4	5,4	Steinsalz
147	163	162	7	Dia	7	Dia										Diatomit	3,6	6,6	6	Quarzit
150	165	164	7	Fst	7	Feu										Feuerstein	3,6	6,6	6	Quarzit
151	166	164	7	Kar	7	Karn										Karneol	3,6	6,6	6	Quarzit
152	167	164	7	Rad	7	Rad										Radiolarit	3,6	6,6	6	Quarzit
154	169	168	7	Php	7	Php										Phosphorit	1,3	5,1	2,3	Sandstein
158	172	171	7	Bkh	7	Bkh										Hart-Braunkohle	0,2	0,7	0,4	Torf
159	173	171	7	Stk	7	Stk										Steinkohle	0,3	0,6	0,3	
356	177	176	7	Lim												Limonit	1,3	5,1	2,3	Sandstein
358	179	178	7	IBax												Bauxit, fest				
168	189	188	7	Ign												Ignimbrit				
170	191	190	7	HE, mod.	7	HE, mod.										Aschen-Tuff	1,1	1,1	11	Tuff
171	192	190	7	HE, mod.	7	HE, mod.										Lapilli-Tuff	1,1	1,1	11	Tuff
172	193	190	7	HE, mod.	7	HE, mod.										Bomben-/Block-Tuff	1,1	1,1	11	Tuff
	195	194	7	TUvkst	7	TUvkst										Vulkaniklastischer	1,1	3,5	2,2	Ton-/Schluffstein
	196	194	7	SVkst	7	SVkst										Vulkaniklastischer	1,3	5,1	2,3	Sandstein
	197	194	7	eGvkst												Vulkaniklastische Breccie	1,3	5,1	2,3	Sandstein
	199	198	7	TUVtst	7	TUVtst										Tufftischer	1,1	3,5	2,2	Ton-/Schluffstein
	200	198	7	SVtst	7	SVtst										Tufftischer Sandstein	1,3	5,1	2,3	Sandstein
	201	198	7	rGvst	7	rGvst										Tufftisches Konglomerat	1,3	5,1	2,3	Sandstein
196	205	204	7	Blm	7	TH										Bims				
197	206	204	7	Obs	7	TH										Obsidian				
198	207	204	7	Pec	7	TH										Pechstein				

Begr.-ID alt	Begr.-ID	Vater-ID	Hier	Kürzel	Kürzel	Kürzel	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	Gesteins- Bezeichnung	Wärmeleitfähigkeit (W/mK)			Bemerkung *
																	von	bis	empfohlen	
176	209	208	7 TH	7 TH	AIRy												3,1	3,4	3,3	Rhyolith
177	210	208	7 TH, mod.	7 TH, mod.	Ryw												3,1	3,4	3,3	Rhyolith
180	213	208	7 TH, mod.	7 TH, mod.	Dac												3,1	3,4	3,3	Rhyolith
182	215	214	7 TH, mod.	7 TH, mod.	ATr												2,8	2,25	3,55	Trachyt
183	216	214	7 TH, mod.	7 TH, mod.	Tra												2,8	2,25	3,55	Trachyt
184	217	214	7 TH, mod.	7 TH, mod.	Lat												1,3	2,3	1,7	Basalt
186	220	219	7 TH, mod.	7 TH, mod.	And												1,3	2,3	1,7	Basalt
187	221	219	7 TH, mod.	7 TH, mod.	Bas												1,3	2,3	1,7	Basalt
189	223	222	7 TH, mod.	7 TH, mod.	Pho												1,3	2,3	1,7	Basalt
191	225	224	7 TH, mod.	7 TH, mod.	Tep												1,3	2,3	1,7	Basalt
192	226	224	7 TH, mod.	7 TH, mod.	Bsn												1,3	2,3	1,7	Basalt
201	231	230	7 TH	7 TH	MGr												2,1	4,1	3,4	Granit
202	232	230	7 TH	7 TH	MSy												2,1	4,1	3,4	Granit
203	233	230	7 TH	7 TH	MDG												2,1	4,1	3,4	Granit
204	234	230	7 TH	7 TH	MFO												2,1	4,1	3,4	Granit
205	235	230	7 TH	7 TH	MUm												2,1	4,1	3,4	Granit
206	236	230	7 TH	7 TH	MKa												2,1	4,1	3,4	Granit
208	238	237	7 TH	7 TH	Peg												2,1	4,1	3,4	Granit
211	239	237	7 TH	7 TH	Lam												2,1	4,1	3,4	Granit
217	241	240	7	7	Qzg												2,1	4,1	3,4	Granit
227	246	245	7 TH	7 TH	AFGr												2,1	4,1	3,4	Granit
228	247	245	7 TH	7 TH	Gr												2,1	4,1	3,4	Granit
231	250	245	7 TH	7 TH	Grd												2	2,9	2,6	Diorit
232	251	245	7 TH	7 TH	Ton															
234	253	252	7 TH, mod.	7 TH, mod.	AFSy												1,7	3,5	2,6	Syenit
235	254	252	7 TH, mod.	7 TH, mod.	Sy												1,7	3,5	2,6	Syenit
236	255	252	7 TH, mod.	7 TH, mod.	Mz												1,7	3,5	2,6	Syenit
238	258	257	7 TH, mod.	7 TH, mod.	MsDi												2	2,9	2,6	Diorit
239	259	257	7 TH, mod.	7 TH, mod.	Di												2	2,9	2,6	Diorit
240	260	257	7 TH, mod.	7 TH, mod.	Gab												1,7	2,5	1,9	
246	266	265	7 TH	7 TH	Per												3,8	5,3	4	
250	267	265	7 TH	7 TH	Pyx												3,8	5,3	4	Peridotit
256	273	272	7 BW	7 BW	uKisf												5,8	5,8	5,8	Metaquarzit
257	274	272	7 SN	7 SN	Qsf												5,8	5,8	5,8	Metaquarzit
263	276	275	7 SN, NW, NI, BY	7 SN, NW, NI, BY	Tsf												1,5	2,6	2,1	
265	278	277	7	7	uSst												5,8	5,8	5,8	Metaquarzit
266	279	277	7	7	uArk												2,5	3,7	2,9	Arkose
267	280	277	7	7	uGwk												5,8	5,8	5,8	Metaquarzit
269	282	281	7	7	uKgl												5,8	5,8	5,8	Metaquarzit

Begr.-ID alt	Begr.-ID	Vater-ID	Hier	Kürzel	Kürzel	Kürzel	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	Gesteins- Bezeichnung Hierarchiestufe	Wärmeleitfähigkeit (W/mK)			Bemerkung *
																	von	bis	empfohlen	
275	288	287	7	uRyt													3,1	3,4	3,3	Rhyolith
277	290	289	7	uBat													1,3	2,3	1,7	Basalt
280	293	292	7	uSyT													1,7	3,5	2,6	Syenit
281	294	292	7	uGrt													2,1	4,1	3,4	Granit
283	296	295	7	uDiGa													1,7	2,5	1,9	Gabbro
286	299	298	7	NI, SN, Kletti	Hfs												5,8	5,8	5,8	Metaquarzit
289	302	301	7	SN	Mar												1,3	3,1	2,1	
293	304	303	7	Ksfs													5,8	5,8	5,8	Metaquarzit
295	306	305	7	Qzt													3,6	6,6	6	
296	307	305	7	SN	Fpsf												1,5	3,1	2	Glimmerschiefer
297	308	305	7	SN	Fpsfs												1,9	4	2,9	Gneis
299	309	305	7	SN, NW, NI, BY	Phy												1,5	3,1	2	Glimmerschiefer
301	311	305	7	SN, NW, NI, BY	Glsf												1,5	3,1	2	
302	312	305	7	SN, NW, NI, BY	Gn												1,9	4	2,9	
310	313	305	7	Grl													1,9	4	2,9	Gneis
312	315	314	7	SN	Gsf												1,5	2,6	2,1	Tonschiefer
313	316	314	7	SN	Pra												1,5	2,6	2,1	Tonschiefer
314	317	314	7	Gpsf													1,5	3,1	2	Glimmerschiefer
315	318	314	7	BW, SN	Amp												2,1	3,6	2,9	
316	319	314	7	Grlb													1,9	4	2,9	Gneis
317	320	314	7	BY, NI, BW	Ekl												2,3	4,2	2,9	
319	321	314	7	NI, BY, BW	Sep												2,3	4,3	3	
320	322	314	7	BY	Tal															
321	323	314	7	BY	CIAsf												1,5	2,6	2,1	Tonschiefer
325	326	325	7	NI	Mex															
328	327	325	7	BY, SN	Dix															
330	329	328	7	SN	Gifs															
331	330	328	7	BW	Grs															
334	331	328	7	Skr																
338	334	333	7	Sue																
340	336	335	7	Mdv																
343	338	337	7	SN	Kak															
344	339	337	7	BW	Kat															
346	340	337	7	Pmyl																

Begr.-ID alt	Begr.-ID	Vater-ID	Hier	Kürzel	Kürzel	Kürzel	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	Gesteins-Bezeichnung	Wärmeleitfähigkeit (W/mK)			Bemerkung *
																	von	bis	empfohlen	
347	341	337	7 SN	MyI	7 SN											Mylonit				
348	342	337	7 BY	UmyI	7 BY											Ultramylonit				
349	343	337	7 BY	BmyI	7 BY											Blastomylonit				
350	344	337	7 SN	Phyt	7 SN											Phyllonit	1,5	2,6	2,1	Tonschiefer
351	345	337	7	Pst	7											Pseudotachylit				
366	350	349	7 AStb	Ask	7 AStb											Asche/Staub, künstlich				
367	351	349	7 SIm	SIk	7 SIm											Schlamm, künstlich				
368	352	349	7 SIk	Skk	7 SIk											Schlacke, künstlich				
369	353	349	7 Bsch	Bau	7 Bsch											Bauschutt				
370	354	349	7 MüI	Mul	7 MüI											Müll				
397	369	368	7 Was	Was	7 Was											Wasser	0,6	0,6	0,6	bei + 10°C
400	372	371	7 ÖI	Erd	7 ÖI											Erdöl				
91	374	373	7 Ewa	Erdw	7 Ewa											Erdwachs				
405	379	378	7 KI/Sp	KIsp	7 KI/Sp											Kluft/Spalte				
406	380	378	7 Kar	Kast	7 Kar											Karsthohiraum	0,02	0,02	0,02	Luft
408	382	381	7 Scht	Scha	7 Scht											Schacht				
409	383	381	7 Tun	Tun	7 Tun											Tunnel				
411	385	384	7 KV	KV	7 KV											Kernverlust				
412	386	384	7 Inbs	KMat	7 Inbs											Keine				

Die zugewiesenen Wärmeleitfähigkeiten basieren auf verschiedenen Quellen, die wie folgt farblich gekennzeichnet sind:



VDI-Richtlinie 4640, Blatt 1

Earth Energy Designer (EED) 2.0

VDI-Richtlinie 4640, Blatt 1 oder EED 2.0

Bei diesen Gesteinen, für die keine WLF-Angaben vorlagen, wurde hier zunächst auf Werte anderer (vergleichbarer) Gesteine zurückgegriffen.

Bei Gesteinen, die nicht relevant erscheinen, wurde auf eine Angabe verzichtet.