



LEINFELDEN-ECHTERDINGEN

Erdwärme-Potentialkarte Leinfelden-Echterdingen

**Nutzungspotentialkarte oberflächennaher
Erdwärme (Geothermie)**

Projekt-Nr.: **67954**Bericht-Nr.: **01**

Erstellt im Auftrag von:
**Große Kreisstadt
Leinfelden-Echterdingen
Bernhäuser Straße 13
70771 Leinfelden-Echterdingen**

Dr. Claus Heske,
Dipl. Geol. Martin Di Muzio,
Dipl. Geol. Markus Schmieder

2010-07-30

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
1	ZUSAMMENFASSUNG 4
2	VORBEMERKUNG 5
3	UNTERLAGEN 6
4	EINFÜHRUNG GEOTHERMIE..... 7
5	GEOLOGISCH- / HYDROGEOLOGISCHER ÜBERBLICK..... 9
5.1.1	Geographische Lage 9
5.1.2	Geologischer Überblick 10
5.1.3	Hydrogeologische Verhältnisse 12
5.1.4	Lithologie 14
5.1.4.1	Löß / Lößlehm (Filderlehm) 14
5.1.4.2	Tonsteine des Lias und des Keupers 14
5.1.4.3	Mergel des Keupers 14
5.1.4.4	Sandsteine des Keupers 14
5.1.4.5	Dolomit- und Kalksteine des Keupers und des Muschelkalks 15
6	DIE ERDWÄRMEPOTENTIALKARTE..... 15
6.1	Aufbau 15
6.2	Anwendung 16
6.3	Rechenbeispiele 18
6.4	Einschränkungen 19
7	GEOTHERMISCHES POTENTIAL IM STADTGEBIET..... 21

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Seite

Abb. 4.1	Einflussbereiche der Sonnenstrahlung und des Erdwärmestroms [U15]	7
Abb. 4.2	Funktionsweise einer Erdwärmesondenanlage [U11].....	8
Abb. 5.1	Schematisches Querprofil durch den Fildergraben [U15]	10
Abb. 5.2	Grundwassergleichenkarte Region Stuttgart [U13].....	13

ANLAGENVERZEICHNIS

Anlage 1 **Lagepläne**

Anlage 1.1	Übersichtskarte, M 1 : 25.000
Anlage 1.2	Regionale Geologie, M 1 : 25.000 (Schnitte, Aufschlüsse)
Anlage 1.3	Erdwärmepotenzialkarte (60 m Tiefe), M 1 : 10.000
Anlage 1.4	Erdwärmepotenzialkarte (80 m Tiefe), M 1 : 10.000
Anlage 1.5	Erdwärmepotenzialkarte (100 m Tiefe), M 1 : 10.000
Anlage 1.6	Negativkarte, M 1 : 10.000 (Störung, Altlasten, Schichtgrenze km ⁴ /km ³)

Anlage 2 **Geologische Schnitte**

Anlage 2.1	Schnitt A-A, zehnfach überhöht, M 1 : 10.000
Anlage 2.2	Schnitt B-B, zehnfach überhöht, M 1 : 10.000
Anlage 2.3	Schnitt C-C, zehnfach überhöht, M 1 : 10.000
Anlage 2.4	Schnitt D-D, zehnfach überhöht, M 1 : 10.000

1 ZUSAMMENFASSUNG

Die Stadt Leinfelden-Echterdingen hat sich das ambitionierte Ziel gesetzt bis zum Jahre 2020 den Ausstoß klimaschädlicher CO₂-Emissionen zu halbieren. Im Rahmen eines Klimaschutzkonzeptes sollten daher Wege zur Reduktion des CO₂-Ausstoßes sowie Maßnahmen zur Energieoptimierung und Energiekosteneinsparung aufgezeigt werden. Ergänzend zum Klimaschutzkonzept sollte die Nutzungsmöglichkeit oberflächennaher geothermischer Energie in einer gesonderten Erdwärmepotentialkarte für das Stadtgebiet von Leinfelden-Echterdingen betrachtet werden.

Der vorliegende Bericht beschreibt die auf dem Gebiet der Stadt Leinfelden-Echterdingen vorhandenen oberflächennahen geothermischen Potentiale in textlicher und grafischer Form. Der Verwaltung, dem Planer oder Interessierten werden als Erstinformation Karten des Stadtgebietes zur Verfügung gestellt, aus denen sich die durchschnittliche Wärmeentzugsleistung an einem beliebigen Standort im Bereich des Stadtgebiets ermitteln lässt.

Diese Erstinformation soll als grundsätzliche Entscheidungshilfe im Vorfeld notwendiger weiterer Fachplanungen und Investitionen dienen und die Entscheidung erleichtern, ob ein Vorhaben auf der Basis geothermischer Energie weiter verfolgt werden soll oder nicht.

Die geothermische Potentialkarte zeigt die begrenzenden Faktoren bei der Nutzung der Geothermie im Stadtgebiet auf und weist Flächen aus, bei denen eine Nutzung nur mit erhöhtem Aufwand und Begleitung durch einen mit der örtlichen Geologie vertrauten Geologen oder ggf. überhaupt nicht umsetzbar ist.

Anhand von Berechnungsbeispielen wird die Ermittlung der gewinnbaren Wärmenentzugsleistung und die daraus resultierende Anzahl an erforderlichen Erdwärmesonden dargestellt.

Über eine abschließende vereinfachte Potentialstudie werden die möglichen CO₂-Einsparpotentiale durch die Nutzung der oberflächennahen Geothermie im Stadtgebiet aufgezeigt.

2 VORBEMERKUNG

Die Stadt Leinfelden-Echterdingen ist Mitglied im Klimabündnis europäischer Städte und sieht sich in der Verantwortung klimaschützende Maßnahmen einzuleiten. Im Rahmen eines Klimaschutzkonzeptes sollen Wege zur Halbierung des CO₂-Ausstoßes bis 2020 sowie Maßnahmen zur Energieoptimierung und Energiekosteneinsparung aufgezeigt werden.

Der Technische Ausschuss der Stadt Leinfelden-Echterdingen hat daraufhin am 30.6.2009 die CDM Consult, Niederlassung Stuttgart mit der Ausarbeitung eines Klimaschutzkonzeptes für Leinfelden-Echterdingen beauftragt. Das Klimaschutzkonzept sollte ergänzend die Erarbeitung einer Erdwärmepotentialkarte für das Stadtgebiet von Leinfelden-Echterdingen umfassen.

Ziel der Potentialkarte ist es, die oberflächennahe Geothermie in Leinfelden-Echterdingen zu fördern und Bauherren und Interessierten eine Grundlage zur Verfügung zu stellen aus der ersichtlich wird, wo Erdwärme in Leinfelden-Echterdingen erfolgversprechend eingesetzt werden kann.

Geothermie gehört zu den quasi unerschöpflich vorhandenen erneuerbaren Energiequellen. Aufgrund der gegenüber fossilen Energieträgern verringerten CO₂-Emission kann durch die Nutzung dieser Energiequelle ein Beitrag zum Klimaschutz geleistet werden.

Diese Erkenntnis floss auch in gesetzliche Regelungen ein. Auf Bundesebene gilt auf der Basis des „Erneuerbare-Energien-Wärmegesetzes“, dass bei der Errichtung neuer Gebäude ab 2009, anteilig erneuerbare Energien für die Wärmeversorgung zu nutzen sind. Darüber hinaus verpflichtet das „Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz Baden-Württemberg (EWärmeG)“ Eigentümer von bestehenden Wohngebäuden ab 2010, 10 Prozent des jährlichen Wärmebedarfs über erneuerbare Energien zu decken. Diese Pflicht greift jedoch erst, wenn die zentrale Heizungsanlage ausgetauscht wird.

Der vorliegende Bericht beschreibt die auf dem Gebiet der Stadt Leinfelden-Echterdingen vorhandenen oberflächennahen geothermischen Potentiale in textlicher und grafischer Form. Dem Bauherrn oder Planer wird als Erstinformation aufgezeigt mit welcher Wärmeentzugsleistung an einem beliebigen Standort im Bereich des Stadtgebiets gerechnet werden kann. Diese Erstinformation kann allerdings die weiteren Detailplanungen und Berechnungen eines Fachplaners nicht ersetzen.

3 UNTERLAGEN

- [U1] Geologische Karte 1:25.000 von Baden-Württemberg, Blatt 7220 Stuttgart-Südwest (1977)
- [U2] Geologische Karte 1:25.000 von Baden-Württemberg, Blatt 7321 Filderstadt (2004)
- [U3] Geologische Karte 1:25.000 von Baden-Württemberg, Blatt 7320 Böblingen (1994)
- [U4] Hydrogeologie des Stuttgarter Mineralwassersystems, Schriftenreihe des Amtes für Umweltschutz der Landeshauptstadt Stuttgart, Heft 3/2006
- [U5] Geyer, Gwinner: Geologie von Baden-Württemberg, (1991)
- [U6] VDI Richtlinie 4640, Blatt 1, Thermische Nutzung des Untergrundes, Grundlagen, Genehmigungen, Umweltaspekte, Dezember 2000
- [U7] VDI Richtlinie 4640, Blatt 2, Thermische Nutzung des Untergrundes, Erdgekoppelte Wärmepumpenanlagen, September 2001
- [U8] VDI Richtlinie 4640, Blatt 4, Thermische Nutzung des Untergrundes, Direkte Nutzungen, September 2004
- [U9] Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA), Anforderungen an Erdwärmepumpen, 16./17.9.2002
- [U10] Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau, Baden-Württemberg, September 2001, Ergänzende hydrogeologische Hinweise zu Erdwärmesonden
- [U11] Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau, Baden-Württemberg, Leitfaden zur Nutzung von Erdwärme mit Erdwärmesonden für Baden-Württemberg, Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg (2005)
- [U12] SANNER, B. (2001): Potenziale und Nutzungsmöglichkeiten der Erdwärmenutzung, Oberflächennahe Geothermie, Klimatisierung, Energiespeicherung, Erdwärme zum Heizen und Kühlen, Potenziale, Möglichkeiten und Techniken der Oberflächennahen Geothermie, Geothermische Vereinigung e.V., Geeste.
- [U13] Wolfgang Ufrecht (2006): Alter und Entwicklung des Gipskarsts im Stadtgebiet Stuttgart, Laichinger Höhlenfreund, 41 Jahrgang
- [U14] Wärmenutzung aus Boden und Untergrund, Bundesamt für Umwelt der Schweizerischen Eidgenossenschaft, Oktober 2009
- [U15] KAYSER, M. (1999): Energetische Nutzung hydrothermalen Erdwärmevorkommen in Deutschland - Eine energiewirtschaftliche Analyse, Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung, Universität Stuttgart.
- [U16] Integriertes Klimaschutzkonzept Leinfelden-Echterdingen, Teil 1: CO₂-Emissionen, Bericht der CDM Consult GmbH, 20.04.2010

4 EINFÜHRUNG GEOTHERMIE

Die Geothermie befasst sich mit der gesamten unterhalb der Erdoberfläche in Form von Wärme vorhandenen Energie. Sie beschreibt die Temperaturverteilung im Inneren der Erde und die Wärmeleitfähigkeit der Gesteine. In der VDI-Richtlinie 4640 heißt es „Geothermische Energie ist die in Form von Wärme gespeicherte Energie unterhalb der Oberfläche der festen Erde (Syn. Erdwärme)“ [U6].

Während in den oberen 10 – 20 m die Temperaturen mit durchschnittlich 10 – 12 °C noch verhältnismäßig gering sind, macht sich mit zunehmender Tiefe der Einfluss des gewaltigen Wärmestroms aus dem Erdinneren bemerkbar. Pro 100 m Tiefe steigt die Temperatur dabei im Mittel um etwa 3 °C an. Im Erdkern selbst können Temperaturen bis zu ca. 6 000 °C vorliegen. Die Wärme im Erdinneren entsteht durch Zerfallsprozesse radioaktiver Elemente in den dort vorhandenen Gesteinen.

Die Sonneneinstrahlung hat lediglich bis in den Tiefenbereich von ca. 20 m unter der Geländeoberkante (GOK) Einfluss auf die Temperatur des Erdbodens (vgl. Abb. 4.1). Tiefer liegende Schichten werden ausschließlich durch den Wärmestrom aus dem Erdinneren aufgeheizt.

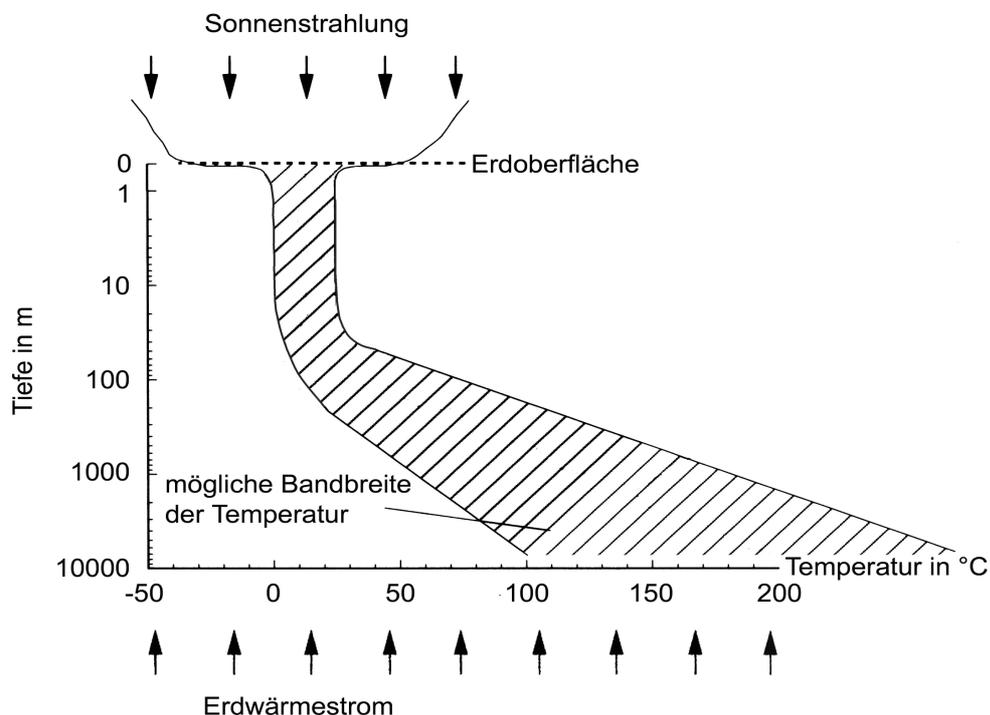


Abb. 4.1 Einflussbereiche der Sonnenstrahlung und des Erdwärmestroms [U15]

Aber schon die relativ niedrigen Temperaturen in den oberen bis ca. 150 Tiefe reichenden Erdschichten lassen sich mit den heute zur Verfügung stehenden Technologien zur Beheizung von Gebäuden aller Art nutzen. In diesem Fall spricht man von der Nutzung „oberflächennaher Geothermie“. Die vorliegende Ausarbeitung befasst sich ausschließlich mit der Möglichkeit zur Nutzung dieser oberflächennahen Erdwärme.

Ziel der „Tiefen-Geothermie“ ist hingegen, hohe Temperaturen in Bohrtiefen > 400 m zu erschließen, um damit entweder Kraftwerke zur Stromerzeugung oder Fernwärmeanlagen betrieben zu können. Die Erschließung dieser Energiequelle erfordert jedoch gegenüber der oberflächennahen Erdwärmenutzung weit aus größere Bohrtiefen (vgl. Abb. 4.1). Wie bereits erwähnt wird diese Form der geothermischen Nutzung hier nicht weiter betrachtet.

Die Technologie zur Nutzung oberflächennaher Geothermie basiert im zumeist auf Erdwärmesonden die in Verbindung mit einer Wärmepumpe betrieben werden. Das sind geschlossene Kunststoffrohrsysteme, die in bis zu max. 400 m tiefen Bohrlöchern installiert werden und in denen ein Wärmeträgermedium (zumeist ein Wasser-Sole- oder Wasser-Glykol Gemisch) zirkuliert, welches dem umgebenden Gestein Wärme entzieht. Der Wärmeentzug spielt sich dabei in einem Temperaturdifferenzbereich von ca. 10°K ab. Mithilfe einer Wärmepumpe wird die gewonnene Erdwärme anschließend durch Verdichtung auf das erforderliche Heiztemperaturniveau angehoben. Erdwärmesonden können sowohl als Einzelsonden bei Einfamilienhäusern oder auch als Sondenfelder für Wohnsiedlungen und größere Einzelgebäudekomplexe gruppiert werden.

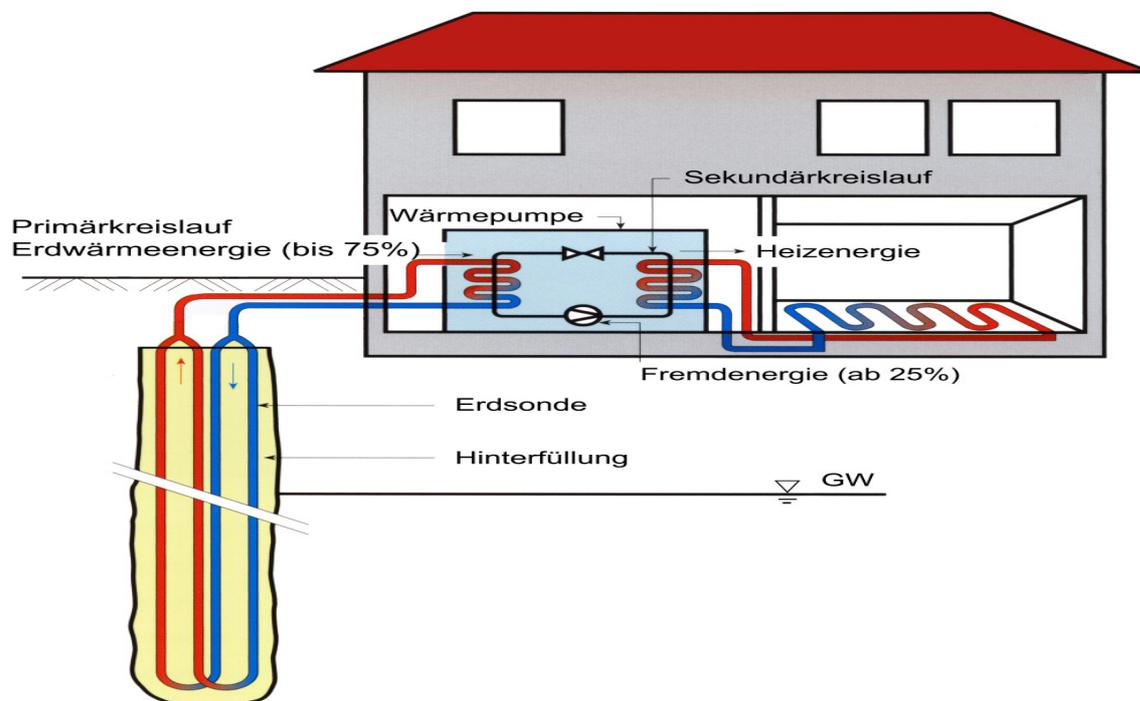


Abb. 4.2 Funktionsweise einer Erdwärmesondenanlage [U11]

Die oberflächennahe Erdwärme stellt insgesamt ein hohes Energiepotential dar. Welches Potential die geothermische Nutzung des Untergrundes besitzt, lässt sich am Beispiel der Schweiz ableiten, wo trotz teilweise komplexer Geologie bereits jeder vierte Neubau mit Erdwärme versorgt wird.

Für die Dimensionierung einer Heizungsanlage auf der Grundlage der Nutzung der oberflächennahen Geothermie werden Daten zur möglichen Wärmeentzugsleistung benötigt. Durch Fehleinschätzung der Wärmeleitfähigkeit können Anlagen über- oder unterdimensioniert geplant werden und dadurch nicht effizient arbeiten. Bei guter Kenntnis der thermischen Eigenschaften des Untergrundes kann die Wärmeleistung einer Sonde genauer vorhergesagt und dadurch die erforderliche Bohrtiefe als wichtigster Kostenfaktor minimiert werden.

Hier setzt die vorliegende Potentialkarte an. Die Nutzungspotentialkarte liefert für die Verwaltung und interessierte Bauherrn eine Erstinformation über die mittlere Wärmeleitfähigkeit des Untergrundes bezogen auf definierte Tiefenbereiche. Daraus kann die potentielle Wärmeentzugsleistung ermittelt werden. Die Potentialkarte bietet somit im Vorfeld einer Investitionsentscheidung eine höhere Planungssicherheit. Sie kann jedoch die weiteren vertieften Planungen, Untersuchungen und Berechnungen, die im Rahmen der Ausführungsplanung einer Heizungsanlage notwendig werden, nicht ersetzen.

5 GEOLOGISCH- / HYDROGEOLOGISCHER ÜBERBLICK

5.1.1 Geographische Lage

Die in Baden-Württemberg gelegene Große Kreisstadt Leinfelden-Echterdingen befindet sich in der Region Stuttgart, ist verwaltungsrechtlich dem Regierungsbezirk Stuttgart und dem Landkreis Esslingen zugeordnet und setzt sich aus den Stadtteilen Echterdingen, Leinfelden, Musberg und Stetten zusammen.

Im Norden grenzt Leinfelden-Echterdingen an die Gemarkung Stuttgart, im Osten und Süden an Filderstadt, im Süden an Filderstadt und Steinenbronn, im Westen an Böblingen und Sindelfingen.

Die höchste Erhebung mit einer Höhe von 495 Metern über dem Meeresspiegel (m ü. NN) liegt ca. 1,5 km südlich des Stadtkerns von Leinfelden im Bereich der Weidacher Höhe. Der tiefste Punkt befindet sich am südlichen Rand des Stadtgebiets, im Reichenbachtal bei der Kochenmühle und besitzt die Höhe 342 m ü. NN. Die östlichen Stadtteile liegen in der Filderebene auf einer Höhe von ca. 430 m ü. NN. Diese mehr als 200 m höher als die Landeshauptstadt Stuttgart gelegene Hochebene (die sog. Filder) besteht aus fruchtbaren Lößlehmböden (Filderlehm).

Die Filderebene geht im Südwesten in die Waldfläche des Schönbuchs über. Die Entwässerung der Filderebene erfolgt hauptsächlich durch die in west-östlicher Richtung zum Neckar fließende Körsch.

5.1.2 Geologischer Überblick

Informationen zu den natürlichen Untergrundverhältnissen des Standortes gehen aus der Geologischen Karte von Baden Württemberg, M 1:25 000, Blatt 7320 Böblingen und Blatt 7321 Neuhausen sowie aus diversen Bohraufschlüssen hervor ([U1] bis [U3]).

Der geologische Aufbau wird im Wesentlichen durch die tektonische Struktur des Fildergrabens bestimmt (vgl. Abb. 5.1), die im Folgenden deshalb zunächst umrissen wird.

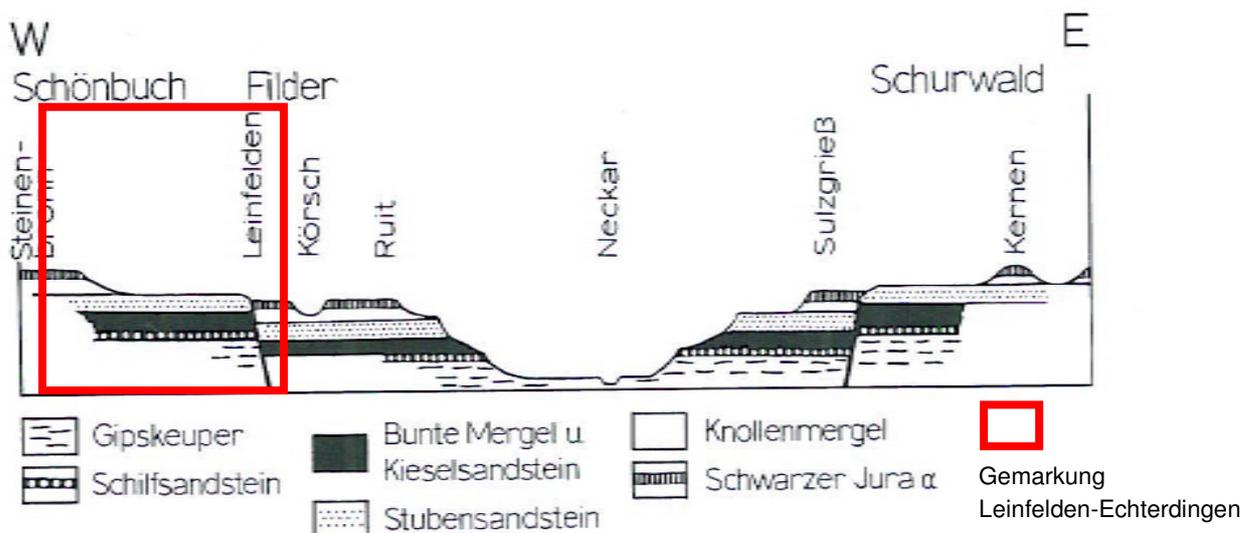


Abb. 5.1 Schematisches Querprofil durch den Fildergraben [U15]

Der Fildergraben erstreckt sich in einer Breite von ca. 10 km vom Schönbuch im Südwesten bis zum Schurwald im Nordosten. Es handelt sich dabei um einen sog. „Grabenbruch“, bei dem ein längs parallel streichender Verwerfungen vorhandener Erdkrustenstreifen gegenüber Nachbarschollen relativ abgesunken ist. Das Stadtgebiet von Leinfelden-Echterdingen befindet sich an der Südwestseite des Fildergrabens (rot umrandet in Abb. 5.1).

Die südwestliche Begrenzung des Fildergrabens ist an der markanten, bis zu 70 m herausgehobenen Bruchstufe des Schönbuchs erkennbar. Entlang der Linie Stetten im Süden und Leinfelden im Norden geht die östlich gelegene Filderebene des schwarzen Jura α in den herausgehobenen Keuper des Schönbuchs im Westen über. Im Bereich des Fildergrabens ist die Schichtfolge teil-

weise noch bis zu den obersten Schichten des Schwarzen Jura vorhanden. Die jünger als Schwarzjura α einzustufenden Schichtglieder, treten allerdings nur in eng begrenzten Vorkommen unmittelbar am Rand der Verwerfungszone auf (vgl. Anlage 1.2 und 2.1).

Die Hochfläche der Filder wird von Lößlehm überdeckt, die Schichten fallen entsprechend dem generellen Schichteinfallen des Baden-Württembergischen Schichtstufenlandes, sanft nach Südost ein.

Die Hochfläche des Schönbuchs wird überwiegend von Knollenmergel und Stubensandstein des Mittleren Keupers gebildet. Teilweise sind vereinzelt noch Sandsteine des Oberen Keupers anzutreffen.

Im Folgenden werden die einzelnen Schichtfolgen östlich und westlich der Filderrandverwerfung (der sog. Vaihinger Verwerfung) näher beschrieben (vgl. geologische Schnitte in Anlage 2).

1. Generalisierter Schichtaufbau östlich der Verwerfung (Filderebene), (von GOK zur Tiefe hin):

- 0 - max. 8 m: Lößlehm, Filderlehm (hellgelber Schluff, schwach sandig, tonig)
- max. 50 m: Schichtpakete des Unteren Jura (Schwarz Jura α bis teilweise β): Reste der Obtususton-Formation (si2) im Hangenden bis zur Psilopotenton-Formation (he1) im Liegenden. Überwiegend dunkle, graue Tonsteine, teilweise geschichtet und teilweise bituminös, nach unten hin glimmerhaltig und teilweise mit einzelnen Kalk- und Sandsteinbänken
- max. 270 m: Formationen des Keupers. Wechselfolge aus Sandsteinen, Tonsteinen, Dolomitsteinen und Mergel.
Je nach Lage beginnt ab einer Tiefe von ca. 60-80 m die Formation der Bunten Mergel (km4) die neben Tonstein- und Dolomitsteinbänken auch Zonen aus Sulfatgestein beinhaltet. Weitere mächtige Sulfatgesteinsschichten finden sich im Gipskeuper (km1) in ca. 170 m Tiefe.
- > 270 m: Kalksteine der Muschelkalkformation.

2. Generalisierter Schichtaufbau westlich der Filderrandverwerfung (Schönbuch):

Vereinzelt sind auf den Höhen des Schönbuchs noch dünnmächtige Restlagen des Schwarzen Jura vorhanden (z.B. Riesenschanze und Weidacher Höhe). Darunter beginnen jedoch die Schichten des Keupers die bis in eine Tiefe von ca. 160 m reichen (vgl. Anlage 2.1). Die Formation der Bunten Mergel (km4), die teilweise sulfathaltige Gesteinsschichten beinhaltet, steht hier bereits an der Oberfläche bzw. unter einer geringmächtigen quartären Überdeckung an.

5.1.3 Hydrogeologische Verhältnisse

Die Oberflächenentwässerung erfolgt östlich der Weidacher Höhe nach Nordosten über Zuflussbäche zur Körsch und im Weiteren zum Neckar. Das Gebiet westlich und nördlich der Weidacher Höhe und damit westlich der Randverwerfung, wird über den Reichenbach im Siebenmühlental nach Süden und anschließend über die Aich ebenfalls in den Neckar entwässert.

Einzelne gering ergebnisreiche Grundwasserhorizonte dürften im Übergangsbereich zwischen den quartären Deckschichten und den Lias Sedimenten vorliegen. Des Weiteren existieren einzelne Grundwasserhorizonte innerhalb der Lias Tonsteine (Kluftgrundwasserleiter). Die meisten Gemeinden des Filderraums bezogen früher ihr Wasser aus den Quellbänken des Lias α [U1-U3].

Entlang der Vaihinger Randverwerfung sind weitere Quellen bekannt. Die Quellen werden vermutlich aus dem Stubensandstein und dem Lias α gespeist. Innerhalb des Keupers sind weitere Grundwasserhorizonte z.B. im Bereich des Kieselsandsteins, des Schilfsandsteins und des Gipskeupers bekannt [U1 bis U3].

Ergiebige, nutzbares Grundwasservorkommen ist erst innerhalb der Muschelkalkformation anzutreffen. Im Bereich des Fildergrabens fließt das Grundwasser innerhalb des Muschelkalks nach neueren Untersuchungen mit einem geringen hydraulischen Gefälle nach Norden zum Neckar und den Cannstatter Mineralquellen zu [U13]. Die Grundwassergleichen befinden sich in Leinfelden-Echterdingen auf einer Höhe von ca. 260 m ü. NN (vgl. Abb. 5.2).

In der westlichen Grabenrandzone (westlich der Vaihinger Verwerfung) hingegen, fließt das Grundwasser im Muschelkalk mit einem deutlich höheren Gradienten nach Südost. In etwa bei Musberg befindet sich zudem eine Grundwasserscheide, die bewirkt, dass Grundwässer nördlich der Gemarkung Beckenhäule nach Norden fließen und südlich davon nach Süden. Die Vaihinger Verwerfungszone wird als wasserstauend angesehen, sodass ein Wasseraustausch zwischen der westlichen Randzone und dem Fildergraben nicht vermutet wird [U13].

Eine Vermischung der hochmineralisierten und kohlenstoffreichen Thermalwässern im zentralen Fildergraben und dem geringmineralisierten Karstwasserstrom aus dem Gäu (Sindelfinger Bucht) wird deshalb nicht angenommen. Für den Bereich Bonlanden ist jedenfalls das Vorkommen von mineralisiertem Thermalwasser bekannt [U13].

Auf dem Gebiet der Stadt Leinfelden-Echterdingen befindet sich kein Grundwasserschutzgebiet.

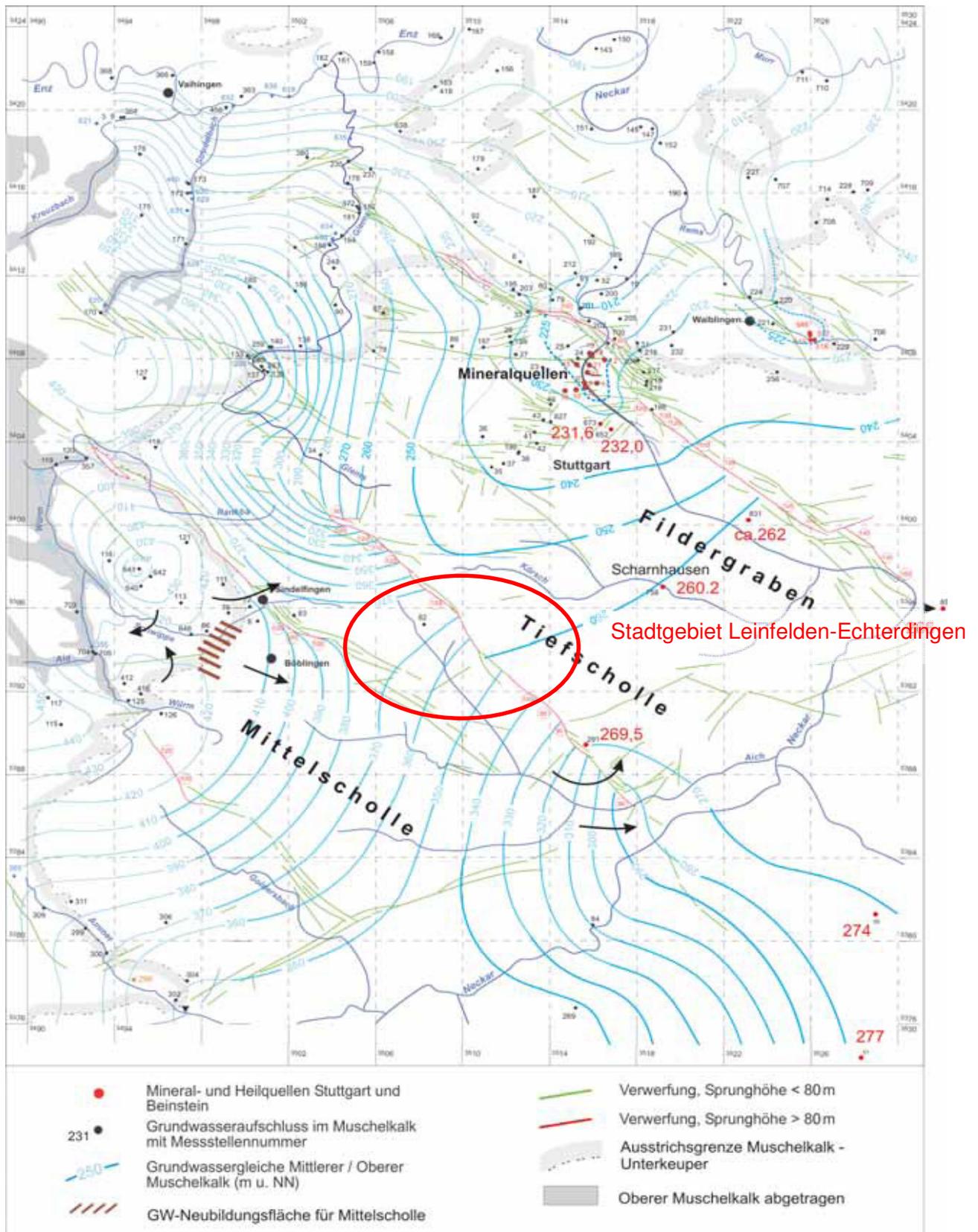


Abb. 5.2 Grundwassergleichenkarte Region Stuttgart [U13]

5.1.4 Lithologie

Nachfolgend werden die bis ca. 200 m Tiefe anstehenden Gesteinsausbildungen unter geothermischen Gesichtspunkten beschrieben (von GOK in die Tiefe).

5.1.4.1 Löß / Lößlehm (Filderlehm)

Feinkörnig, gelbliches ungeschichtetes Lockergestein im Körnungsbereich von 0,001 bis 0,06 mm. Die Trockendichte liegt bei ca. $1,6 \text{ g/cm}^3$. Löß besitzt einen Porenraumanteil von ca. 40 %, wobei unter natürlichen Bedingungen ca. 30 % des Porenraums quasi permanent durch Haftwasser ausgefüllt ist. Die hydraulische Leitfähigkeit k_f liegt im Bereich zwischen 10^{-6} bis 10^{-8} m/s (schwach durchlässig).

Die Wärmeleitfähigkeit λ liegt bei einem trockenen Sediment zwischen $0,4$ und $1,0 \text{ W / (m * K)}$ und bei einem wassergesättigten Material bei $0,9 - 2,3 \text{ W / (m * K)}$.

5.1.4.2 Tonsteine des Lias und des Keupers

Graue bis dunkelgraue (Lias) oder rot-violette (Keuper) Tonsteine (Festgestein der Körnung $< 0,002$), z.T. feinsandig oder karbonatisch, klüftig ausgebildet. Dichte im Bereich $2,5 - 2,6 \text{ g/cm}^3$. Die Wärmeleitfähigkeit λ kann je nach Materialzustand im Bereich zwischen $1,1$ und $3,5 \text{ W / (m * K)}$ liegen. Gemäß VDI 4640 wird ein Rechenwert von $2,2 \text{ W / (m * K)}$ empfohlen.

5.1.4.3 Mergel des Keupers

Weiches, bröckeliges Sedimentgestein aus Ton und Karbonat mit schwankendem Mischungsverhältnis. Z.B. die roten und rotvioletten Mergel der Bunte Mergel Formation km3, z.T. mit dolomitischen Einlagen oder einzelnen Dolomitsteinbänken. Die Dichte liegt bei $2,5 - 2,6 \text{ g/cm}^3$. Die Wärmeleitfähigkeit λ kann je nach Materialzustand im Bereich zwischen $1,5$ und $3,5 \text{ W / (m * K)}$ liegen. Gemäß VDI 4640 wird ein Rechenwert von $2,1 \text{ W / (m * K)}$ empfohlen.

5.1.4.4 Sandsteine des Keupers

Z.B. gelbliche feinkörnige Sandsteine, verkieselt (Rhät) oder glimmerig (Schilfsandstein km2 und Kieselsandstein km3) oder mittel bis grobkörnige Sandsteine (Stubensandstein km4). Die Dichten liegen zwischen $2,2 - 2,7 \text{ g/cm}^3$. Die Wärmeleitfähigkeit λ kann je nach Materialzustand bzw. Verwitterungsgrad im Bereich zwischen $1,3$ und $5,1 \text{ W / (m * K)}$ variieren. Gemäß VDI 4640 wird ein Rechenwert von $2,3 \text{ W / (m * K)}$ empfohlen.

5.1.4.5 Dolomit- und Kalksteine des Keupers und des Muschelkalks

Zu nennen sind die Dolomitsteine z.B. der Lettenkeuperformation (z.B. Lingula- oder Anoplophora Dolomite) oder die grauen Kalksteine der Muschelkalkformation.

Die Dichte liegt bei $2,6 - 2,7 \text{ g/cm}^3$. Die Wärmeleitfähigkeit λ kann je nach Materialzustand im Bereich zwischen $2,5$ und $4,0 \text{ W / (m * K)}$ liegen. Gemäß VDI 4640 wird ein Rechenwert von $2,8 \text{ W / (m * K)}$ empfohlen.

6 DIE ERDWÄRMEPOTENTIALKARTE

6.1 Aufbau

Die Erarbeitung der Erdwärmepotentialkarte erfolgte auf der Basis der Geologischen Karten, Maßstab 1 : 25.000, Blatt 7320 Böblingen, Blatt 7321 Filderstadt und Blatt 7220 Stuttgart Süd-West [U1 bis U3]. Des Weiteren wurden Bohrprofile zahlreicher Bohrungen auf Gemarkung Leinfelden-Echterdingen ausgewertet. Die Bohrprofile entstammen der Aufschlussdatenbank des Landesamtes für Geologie, Rohstoffe und Bergbau Baden-Württemberg (LGRB).

Aus diesen Informationen (Karten und Bohrprofile) wurde für das Stadtgebiet Leinfelden-Echterdingen ein räumliches geologisches und lithologisches Modell entwickelt. Bei diesem Modell wurden Grundwasser erfüllte Schichten vernachlässigt, da Grundwässer im Bereich der Lias- oder der Keuperschichten zum einen gering ergebnisreich und zum anderen an Kluftsysteme einzelner Festgesteinskörper gebunden sind. Die Wärmeleitfähigkeit der einzelnen Bohrlochsequenzen wird dadurch von den Angaben in der VDI 4640 nicht wesentlich abweichen. Die nach neueren Untersuchungen festgestellten mineralisierten Thermalwässer im Muschelkalk des südöstlichen Fildergrabens blieben in dieser Ausarbeitung aufgrund der sehr geringen Datenlage und der für die evt. Erschließung erforderlichen Bohrtiefen von $> 270 \text{ m}$ ebenfalls unberücksichtigt.

Anhand des Modells wurden die in der Anlage 1.3 bis Anlage 1.5 befindlichen geothermischen Karten für die drei Tiefenstufen 60 m , 80 m und 100 m erstellt. Farblich dargestellt in der Fläche sind die über die jeweilige Tiefenstufe im Mittel zu erwartenden integrierten Wärmeleitfähigkeiten. D.h. alle über die Bohrlochtiefe aufgrund der vorliegenden Geologie und Lithologie ermittelbaren Gesteinswärmeleitfähigkeiten wurden erfasst und daraus der Mittelwert unter Berücksichtigung der jeweiligen Gesteinsmächtigkeiten berechnet.

Die Wärmeleitfähigkeit beschreibt den Wärmestrom (in Joule je Sekunde), der bei einem Temperaturgradienten von 1 Kelvin durch einen Querschnitt von 1 m^2 eines 1 m dicken Körpers strömt (Einheit in Watt pro Meter je Temperaturgradient (W / (m * K))).

Die integrierten Wärmeleitfähigkeiten wurden aus den jeweiligen Gesteinformationen und den zu erwartenden Mächtigkeiten anhand der Angaben der VDI 4640 ermittelt. Es sei ausdrücklich erwähnt, dass sich die gesteinspezifischen Wärmeleitfähigkeiten auf Angaben der VDI 4640 stützen und keine eigenen Laborversuche an Originalmaterial durchgeführt wurden. Es wurden auch keine in-situ Bohrlochmessungen (Geothermal Response Test) durchgeführt, mit denen die Wärmeleitfähigkeit des Untergrundes aus Temperaturmessungen direkt abgeleitet werden kann.

Mit der Information der integrierten Wärmeleitfähigkeit des Untergrundes kann die jeweils mögliche Wärmezugsleistung die sich aus einer Bohrung gewinnen lässt, ermittelt werden. Eine Beispielrechnung wird in Kapitel 6.3 erläutert. Mit Hilfe dieser Erstinformation können die Anzahl der erforderlichen Erdwärmesonden bzw. die erforderliche Bohrtiefen abgeschätzt werden, die benötigt werden, damit eine Wärmepumpenanlage die je nach Gebäudetyp erforderliche Heizleistung erbringen kann.

Eine in jedem Fall erforderliche sorgfältige Fach- bzw. Ausführungsplanung kann dadurch allerdings nicht ersetzt werden.

6.2 Anwendung

Im Folgenden wird die Handhabung der geothermischen Potentialkarten beschrieben.

Im Rahmen der Gebäudeenergiebedarfsplanung wird vom TGA Fachplaner der für den jeweiligen Gebäudetyp erforderliche Wärmebedarf, der sich i.d.R. nach den Anforderungen der Energieeinsparverordnung (EnEV) richtet, ermittelt. Von dieser Angabe leitet sich die benötigte Heizleistung der Wärmepumpenanlage ab. Die Heizleistung ist die Größe, die für die erforderliche Wärmeentzugsleistung maßgeblich ist. Mit der standortspezifischen Wärmeleitfähigkeit kann schließlich die Wärmeentzugsleistung und die Konfiguration und Anzahl der geothermischen Sonden ermittelt werden.

Auf der Karte wird das betreffende Grundstück aufgesucht. Anhand der entsprechenden Farbgebung wird die mittlere Wärmeleitfähigkeit λ am Standort abgelesen.

Für durchschnittliche Rahmenbedingungen kann anschließend auf der Basis der nachfolgend beschriebenen empirisch bestimmten Gleichungen die Wärmeentzugsleistung ermittelt werden.

Die durchschnittlichen Rahmenbedingungen beziehen sich u.a. auf folgende Standardsituation:

- Einfamilienhaustyp, erforderlicher Wärmebedarf im Bereich von ca. 12 kW
- Abstand zwischen den Erdwärmesonden mind. 6 m
- Einbau von zwei U-förmigen Polyethylensonden (\varnothing 32 mm) in das Bohrloch (Doppel-U-Sonde)
- Installation einer Wärmepumpe mit einer mittleren Heizleistung von 12 kW

Die Berechnung kann nach folgenden empirischen Gleichungen vorgenommen werden [U12]:

1.a) ohne Grundwasserfluss

$$P_{\text{Entzug}} = -0,85 \cdot \lambda^2 + 13,62 \cdot \lambda + 18,8 \quad \text{in [W/m]}$$

1.b) mit Grundwasserfluss

$$P_{\text{Entzug}} = -1,04 \cdot \lambda^2 + 14,24 \cdot \lambda + 23,39 \quad \text{in [W/m]}$$

Mit den obigen Gleichungen wird die gewinnbare mittlere Wärmeentzugsleistung für die jeweilige jährliche Anlagenbetriebsdauer von 1.800 Stunden in Watt pro Meter Sondenlänge ermittelt. Das Ergebnis aus obigen Gleichungen muss anschließend noch mit der Tiefenstufe der Geothermischen Karte multipliziert werden, sodass die gewinnbare Wärmeentzugsleistung in Watt pro Bohrung bestimmt wird.

Diese Entzugsleistung gilt wie erwähnt nur für den angegebenen Tiefenbereich. Dabei ist die höhere Wärmeentnahme im Winter bereits berücksichtigt. Wird die Anlage jedoch wesentlich länger im Jahr betrieben (z.B. 2100 Jahresbetriebsstunden wenn z.B. zusätzlich Warmwasserbereitung stattfindet) dann ist die tatsächliche Entzugsleistung kleiner. Dies muss durch die entsprechende Fachplanung berücksichtigt werden. Eine überschlägige Ermittlung kann in diesem Fall durch die nachfolgenden modifizierten Gleichungen erfolgen:

2.a) ohne Grundwasserfluss und 2.100 Betriebsstunden

$$P_{\text{Entzug}} = -0,75 \cdot \lambda^2 + 12,93 \cdot \lambda + 17,58 \quad \text{in [W/m]}$$

2.b) mit Grundwasserfluss und 2.100 Betriebsstunden

$$P_{\text{Entzug}} = -0,97 \cdot \lambda^2 + 13,91 \cdot \lambda + 22,13 \quad \text{in [W/m]}$$

Es sei erwähnt, dass gegenüber der Standardsituation durch andere Wärmeträgermedien oder Anlagekonfigurationen und höhere Temperaturspreizungen, die Wärmentszugsleistung durchaus auch höher sein kann.

Die Entzugsleistung einer Bohrung reicht i.d.R. nicht aus um die erforderlichen Heizleistungen eines Standardhaustyps zu erbringen. Deshalb muss durch entsprechende Variation die Anzahl der Bohrungen oder die Sondentiefe so angepasst werden, dass die erforderliche Entzugsleistung erreicht wird.

Aufgrund variierender geologisch-hydrogeologischer Verhältnisse und anderer individueller Rahmenparameter und Unwägbarkeiten, empfiehlt es sich die Planung der Erdwärmesondenanlage mit einem Sicherheitsfaktor zu beaufschlagen und eher großzügig zu bemessen.

6.3 Rechenbeispiele

Als Berechnungsbeispiel wird ein fiktives Einfamilienhaus betrachtet. Das Beispielhaus läge in der Enzianstraße in Leinfelden. Der Wärmebedarf wurde von den Fachplanern ermittelt, die erforderliche Heizleistung einer Wärmepumpe soll wie im vorigen Abschnitt beschrieben 12 kW betragen. Die Jahresbetriebsstundenzahl läge bei 1.800 Stunden (Berechnung ohne Warmwasserbereitung).

Vorgehensweise:

1. Standort in den geothermischen Karten aufsuchen und die gewinnbare Wärmeentzugsleistung ablesen (zunächst bei der Karte der Tiefenstufe 60 m).

Aus der 60 m Karte Anlage 1.3 geht ein Wärmeleitfähigkeitswert λ von $< 1,97 \text{ W/m}^{\circ}\text{K}$ hervor.

2. Der abgelesene Wert λ wird in Gleichung 1.a) eingesetzt. Daraus ergibt sich ein P_{Entzug} von 42,33 W/m. Bei einer Sondentiefe von 60 m sind dies pro Bohrung 2.540 Watt.

Die benötigte Heizleistung von 12 kW könnte somit durch 5 Erdsondenbohrungen zu je 60 m Tiefe erzeugt werden ($5 \times 2,540 \text{ kW} = 12,7 \text{ kW}$).

Bei einer Bohrtiefe von 100 m ist bei dem Beispielstandort ein mittlerer Wärmeleitfähigkeitswert im Bereich von 1,97 bis 2,06 W/m[°]K zu erwarten (siehe Karte Anlage 1.5). Weitergerechnet wird mit dem Mittelwert von 2,015 W/m[°]K.

Diesen Wert in Gleichung 1.a) eingesetzt ergibt ein P_{Entzug} von 42,79 W/m. Bei einer Sondentiefe von 100 m sind dies pro Bohrung 4.279 Watt.

Die benötigte Heizleistung von 12 kW könnte in diesem Falle somit aus 3 Erdsondenbohrungen zu je 100 m Tiefe gewonnen werden ($3 \times 4,279 \text{ kW} = 12,8 \text{ kW}$).

6.4 Einschränkungen

Bei der Erstellung von Erdwärmesonden werden durch den Bohrvorgang unterschiedliche Gesteinsschichten aufgeschlossen und es werden Wegsamkeiten von der Oberfläche in den Untergrund geschaffen. Dadurch können u.U. unerwünschte Verbindungen zwischen Grundwasserstockwerken oder unterschiedlichen Gesteinsschichten geschaffen werden, die letztendlich zu einer Gefährdung des Grundwassers oder des Standorts führen können. Deshalb sind Bohrungen im Bereich der nachfolgend beschriebenen Situationen nur mit Auflagen durchzuführen oder teilweise gänzlich abzulehnen.

Wasser- und Heilquellenschutzgebiete

Die Stadt Leinfelden-Echterdingen liegt nicht im Bereich einer Wasser- oder Heilquellenschutzgebietsausweisung, sodass hieraus keine Einschränkungen bestehen.

Ansonsten ist die Einrichtung von Erdsonden und Bodenkollektoren in den Zonen I, II und III A, teilweise auch in III B, von Wasserschutzgebieten und in den quantitativen Zonen A und B sowie den qualitativen Schutzzonen I, II und III von Heilquellenschutzgebieten i.d.R. unzulässig. Genehmigungsrechtliche Details sind mit den Unteren Wasserrechtsbehörden zu klären.

Mineralisierte Grundwässer

Stark mineralisierte Grundwässer können korrosiv wirken und den Sondenaufbau schädigen. In diesem Fall werden Maßnahmen erforderlich, um entweder die Sondentiefe zu begrenzen oder die Zusammensetzung der Zementation der Sonden muss an das Vorkommen aggressiver Wässer angepasst werden.

Im Bereich des Fildergrabens wurden in Bonlanden und in Scharnhausen (2002) bei Tiefbohrungen bis in den Muschelkalk hochmineralisierte, kohlen säurereiche Thermalwässer angetroffen [U13]. Daher sind hier bei Bohrungen die bis in den Oberen Muschelkalk abgeteuft werden sollen entsprechende Maßnahmen zu ergreifen.

Sulfatgesteinsproblematik

Anhydrithaltige Gesteinsschichten wie sie ab der Tiefenlage der Formation der Bunten Mergel (km3), vor allem aber im Gipskeuper km1 anzutreffen sind, können bei Zutritt von Wasser aufquellen, wodurch es zu einer Volumenvergrößerung kommen kann. Die Volumenzunahme der Gesteinspartien kann an der Oberfläche oder an den Erdwärmesonden zu Schäden führen. Das Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau Baden-Württemberg empfiehlt generell, beim Erreichen des „Gipsspiegels“ (gemeint ist die oberste Lage möglicher Gipsschichten) die Erdwärmehohrung aufgrund der Gefahr aufquellender Bodenpartien zu beenden.

Dies bedeutet für das Gebiet Leinfelden-Echterdingen, dass ohne weitere Schutzmaßnahmen bzw. Auflagen voraussichtlich folgende maximalen Bohrtiefen möglich sind:

- westlich der Vaihinger Randverwerfung je nach Lage bis max. ca. 40 m
- östlich der Randverwerfung je nach Lage bis max. ca. 150 m

Die jeweiligen maximal möglichen Bohrtiefen sind in der sogenannten „Negativ-Karte“ Anlage 1.6 ausgewiesen.

Im Einzelfalle kann ggf. in Abstimmung mit den Genehmigungsbehörden und bei Ergreifen von Schutzmaßnahmen von dieser Vorgehensweise abgewichen werden. Aufgrund unterschiedlicher Auslaugungsgrade der Gips bzw. Anhydrit führenden Schichten sind lokal ggf. tiefere Bohrungen möglich, wenn diese Bohrvorhaben von einem mit der regionalen Geologie vertrauten Sachverständigen / Geologen überwacht / begleitet werden.

Störungszonen

Gebiete, in denen mit geogen bedingten Problemen zu rechnen ist (z. B. bei Störungszonen oder bei Auftreten artesischer Grundwässer, bei Erdgasvorkommen oder ölhaltigen Gesteinen) ist mit erhöhten Auflagen zu rechnen. Die Gefahr dass evt. vorgenommene Bohrungen aufgegeben und wieder verschlossen werden müssen, ist in diesen Fällen gegeben.

Im Bereich Leinfelden-Echterdingen ist vor allem die Vaihinger-Randverwerfung des Fildergrabens zu nennen. Dort liegen geologisch verstürzte Formationen vor. Bei Bohrungen besteht die Gefahr, dass hydrogeologisch abgegrenzte Bereiche miteinander verbunden werden.

Altlastenflächen

Im Bereich von Altlastenflächen ist mit erhöhten Auflagen und Überwachungsaufwand zu rechnen, da Maßnahmen ergriffen werden müssen, um zu verhindern, dass ggf. Schadstoffe ins Grundwasser gelangen können (z.B. Einbringen einer permanenten Sperrverrohrung). Des Weiteren muss mit erhöhten Kosten, aufgrund der Entsorgung des anfallenden Bohrgutes, gerechnet werden.

Die im Bereich von Leinfelden-Echterdingen bekannten Altlastenflächen sind in der Karte in Anlage 1.6 aufgeführt.

Abstände zu Nachbargrundstücken

Um zu verhindern, dass sich angrenzende Erdwärmesondenanlagen negativ beeinflussen und um schädlichen Auswirkungen entgegen zu wirken, sollte die Temperaturveränderung auf dem jeweils eigenen Grundstück weit gehend abklingen. Bei Wärmepumpen mit einer Wärmeleistung bis 30 KW geht man daher von einem Abstand zur Grundstücksgrenze von 5 m aus.

Hinweis: Die Abstandsregelung reicht z.B. bei Ein- oder Zweifamilienhäusern im Allgemeinen aus, den Wärmeentzug in Boden oder Grundwasser so gering zu halten, dass keine nachteilige Veränderung zu besorgen ist, selbst wenn in einem Wohngebiet in jedem Grundstück eine Wärmepumpe mit geothermischer Nutzung eingebaut ist.

7 GEOTHERMISCHES POTENTIAL IM STADTGEBIET

Die Nutzung oberflächennaher geothermischer Energie stellt im Bereich der Stadt Leinfelden-Echterdingen bis auf einige Gebiete mit eingeschränkter Möglichkeit eine durchaus praktikable Methode zur Einsparung fossiler Brennstoffe dar. Einschränkungen ergeben sich in Leinfelden-Echterdingen im Bereich von Altlastenflächen, im Bereich der Vaihinger Randverwerfung und im Gebiet westlich der Randverwerfung durch die Tiefenbeschränkung (vgl. Anlage 1.6). Bei Bohrungen in diesen Bereichen ist mit einem erhöhten Überwachungsaufwand und höheren Auflagen zu rechnen.

Innerhalb großer Bereiche des Stadtgebiets können jedoch vergleichsweise befriedigende bis gute Wärmeleitfähigkeiten in Höhe von bis zu ca. 2,18 W/(m*K) erschlossen werden.

Die Nutzung oberflächennaher Geothermie bietet somit der Stadt Leinfelden-Echterdingen eine Möglichkeit zur weiteren Reduktion von CO₂-Emissionen.

Im Folgenden wird anhand einer vereinfachten Abschätzung versucht, dieses Potential näher zu quantifizieren.

In dieser Abschätzung wird zurückhaltend unterstellt, dass bei rund 10 % des Gebäudebestands in Leinfelden-Echterdingen sowie im Neubau die Nachrüstung bzw. der Einbau einer geothermischen Heizungsanlage möglich und sinnvoll ist. In Frage kommen primär Einfamilienhaustypen aber auch entsprechend umrüstbare Büro- oder Mehrfamilienhäuser, die über ausreichende Grünflächenbereiche verfügen. Der Einbau erfolgt idealerweise in Neubauten, die Umrüstung geschieht sinnvollerweise im Rahmen einer Generalgebäudesanierung.

Ausgehend von der Zahl der Wohngebäude in Leinfelden-Echterdingen in Höhe von 6.699 Stück (gemäß Integriertes Klimaschutzkonzept Teil 1 [U16]) kämen somit rund 670 Gebäude für eine Umrüstmaßnahme in Frage.

Setzt man hierbei einen durchschnittlichen Heizenergiebedarf von ca. 12 kW pro Haus an, beträgt der gesamte Heizenergiebedarf rund 8.040 kW. Bei einer jährlichen Heizperiode von 2.100 Stunden kommen somit rund 16,8 Mio kWh zusammen. Von dieser Summe könnten, abhängig vom Wirkungsgrad der Wärmepumpe, rund $\frac{3}{4}$ aus Erdwärme stammen, also rund 12,6 Mio. kWh.

Geht man davon aus, dass diese Energiemenge bislang herkömmlich durch den Energieträger Erdgas erzeugt wird, dann ergibt sich ein CO₂-Einsparpotential von jährlich rund 2.558 Tonnen (gerechnet mit dem Emissionsfaktor von Erdgas von 202 g/kWh).

Im Vergleich zur Summe der CO₂-Emission aus dem Bereich der privaten Haushalte in Leinfelden-Echterdingen in Höhe von 81.800 t/a (bezogen auf das Berechnungsjahr 2005 [U16]), sind dies rund 3,1 Prozent des Gesamtaufkommens.

CDM Consult GmbH
2010-07-30

i. V. 
Dr. Claus Heske

erstellt:

i. V. 
Dipl.-Geol. Martin Di Muzio

i.A. 
Dipl.-Geol. Markus Schmieder