

1 Vorbemerkungen

Die Gemeinde Weil im Schönbuch beabsichtigt im Rahmen eines geplanten Baugebietes und der innerörtlichen Nahverdichtung den Grundstückseigentümern Grundinformationen zur Erdwärmennutzung zugänglich zu machen.

Die Gungl Bohrgesellschaft mbH wurde im September 2008 von der Gemeinde Weil im Schönbuch beauftragt, eine flächendeckende geothermische Analyse mit Potentialstudie für das Gemeindegebiet durchzuführen.

Zur Bearbeitung des Auftrags standen uns neben den in der Literaturliste aufgeführten Publikationen folgende Unterlagen zur Verfügung:

- Topographische Karte M. 1 : 25 000, Blatt 7320 Böblingen
- Geologische Karte von Baden-Württemberg, M. 1 : 25.000, Blatt 7320 Böblingen mit Erläuterungen, herausgegeben vom Geologischen Landesamt Baden-Württemberg 1984
- Geologische Karte von Baden-Württemberg, M. 1 : 50.000, Stuttgart und Umgebung mit Erläuterungen, herausgegeben vom Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau Baden-Württemberg 1998
- Geologische Karte von Baden-Württemberg, M. 1 : 50.000, Tübingen und Umgebung mit Erläuterungen, herausgegeben vom Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau Baden-Württemberg 1969
- Aufschlussdaten von 12 Erdwärmesondenobjekten, Gungl Bohrgesellschaft, 2003 – 2008
- Ergänzende Aufschlussdaten vom Landratsamt Böblingen und dem Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau Baden-Württemberg
- Ortsplan Gemeinde Weil im Schönbuch, M. 1 : 10.000, sechste verbesserte Auflage, Ramlow Verlag, 70345 Stuttgart
- Bericht zur Durchführung und Auswertung eines Thermal Response Tests an einer Erdwärmesonde, Bauvorhaben Sparke in 71088 Holzgerlingen, 13. Juni 2008, sytherma GmbH, Starzach

Anhand dieser Unterlagen sowie aufgrund der durchgeführten Untersuchungen wurde das vorliegende Gutachten erarbeitet.

2 Einführung in die Nutzung geothermischer Energie

Die Zukunft der Energieversorgung weist auf einen Energiemix aus erneuerbarer und nicht erneuerbarer Energie hin. Einzig die erneuerbaren Energien sind langfristig in der Lage, dezentrale, bezahlbare Energie im globalen Maßstab bereitzustellen. Weltweit liefert die Wasserkraft den größten Anteil an erneuerbarer Energie. An zweiter Stelle folgt bereits die geothermische Energie, die innerhalb der regenerativen Energien eine besondere Stellung einnimmt. Erdwärme ist in Form von Wärme gespeicherte Energie unterhalb der Erdoberfläche, die unabhängig von Tages- und Witterungsbedingungen kontinuierlich zu Verfügung steht. Damit ist geothermische Energie grundlastfähig.

Die obersten 10-15 m unter der Geländeoberkante (GOK) sind noch durch die Lufttemperatur bzw. die Sonnenenergie beeinflusst. In ca. 10-20 m u. GOK befindet sich die sog. Neutrale Zone, die sich durch eine relativ konstante Temperatur zwischen 8° und 12°C auszeichnet. Aus dem Erdinneren steigt ein kontinuierlicher Wärmefluss von 0,040 bis 0,120 W/m² bis zur Erdoberfläche auf und verliert sich schlussendlich im Weltall. Im Raum Böblingen-Weil im Schönbuch kann eine Wärmestromdichte von ca. 0,075 W/m² veranschlagt werden. Die Erde strahlt täglich etwa viermal soviel Energie in den Weltraum ab, wie wir Menschen an Energie verbrauchen. Etwa 30% der Erdwärme resultieren aus Resten der Gravitationsenergie und der Ursprungswärme bei der Erdentstehung. Ca. 70% der an der Erdoberfläche gemessenen Wärmeflussdichte entsteht durch den ständigen Zerfall natürlicher radioaktiver Elemente in Erdmantel und Erdkruste.

Durch den aufwärts gerichteten Wärmefluss nimmt die Temperatur mit der Tiefe kontinuierlich zu. Bei uns in Mitteleuropa nimmt die Temperatur im Mittel um etwa 3,3°C pro 100 Meter Tiefe zu. Dieser sog. Geothermische Gradient unterliegt geologisch bedingten Schwankungen. Der Oberrheingraben und das Gebiet Urach-Bad Boll stellen in diesem Sinne eine geothermische Anomalie dar. Hier beträgt der Geothermische Gradient bis zu 10°C pro 100 m Tiefe. Das Gemeindegebiet Weil im Schönbuch befindet sich im westlichen Randbereich der Wärmeanomalie Urach-Bad Boll (vgl. Abb. 1, S. 4).

Über die Siedlungsfläche von Weil im Schönbuch von knapp. 2 km² werden bei einer Wärmestromdichte von 0,075 W/m² jährlich ca. 1,31 Mio kWh Erdwärme in die Atmosphäre abgegeben.

2.1 Nutzungsarten der Erdwärme

Mit den heute entwickelten Technologien ist es praktisch überall möglich, diese umweltfreundliche und klimaschonende Energiequelle zu nutzen. Es gibt, je nach geologischen Gegebenheiten vielfältige Möglichkeiten, das geothermische Energieangebot in Wärme und / oder Strom umzuwandeln:

- In mehr oder weniger aktiven vulkanischen Regionen nutzt man z.B. **Dampf- und Heisswasserlagerstätten** oder postvulkanische Erscheinungen wie Geysire, Fumarolen und Solfatare (z.B. Island, Toskana)
- **Hydrothermale Erdwärme:** Wasserführende Schichten (Aquifere) gibt es in vielen Bereichen der Erdkruste. Man teilt sie in heisse (über 100°C), warme (40-100 °C) und solche mit Niedrigtemperaturwasser (25-40 °C). Wasser mit > 20°C gilt als Thermalwasser. Hydrothermale Erdwärme wird häufig über eine geothermische Heizzentrale und eine Bohrungsdoulette genutzt. Bei entsprechend hohen Temperaturen ab 80-100°C kommt auch eine Stromerzeugung in Frage (ORC- oder Kalina-Prozess)
- **Oberflächennahe Geothermie** bis 400 m Tiefe. Dezentrale Nutzung der Erdwärme über Erdwärmesonden, Erdkollektoren bzw. –körbe, Energiepfähle, erdberührende Bauteile oder Grundwasserbohrungen in Verbindung mit Wärmepumpen. Daneben kann der Untergrund im Sommer auch als direkte Quelle für Klimakälte genutzt werden, so dass elektrische Energie für aufwändige Kühlanlagen gespart werden kann. Zu den weiteren Nutzungsmöglichkeiten zählt z.B. die Wärmegewinnung aus Bergwerken, Tunneln oder Luftschutzstollen und aus Fließgewässern sowie der Abwasserkanalisation.
- **Tiefe Erdwärmesonden** mit Wärmezirkulation meist über ein isoliertes Steigrohr. Hierzu zählt auch die Nutzung bereits bestehender Altbohrungen.
- **Hot-Dry-Rock-Verfahren (HDR).** Nutzung der im heißen aber trockenen Tiefengestein gespeicherten Wärme über Injektions- und Förderbrunnen zur Stromerzeugung und Fernwärmenutzung. Über eine Injektionsbohrung wird Wasser in den klüftigen Untergrund gedrückt und über eine zweite Bohrung wird das erhitzte Wasser wieder an die Erdoberfläche gefördert (z.B. Soultz, Bad Urach).

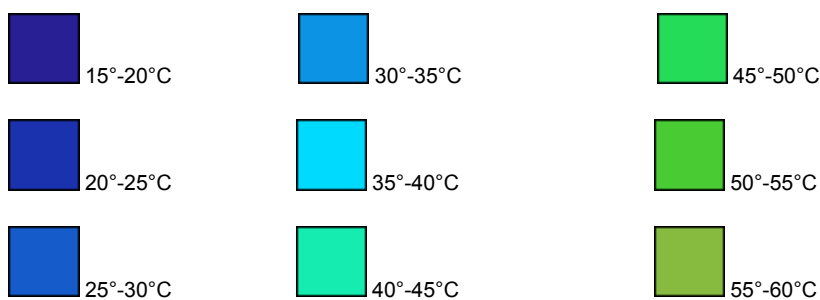
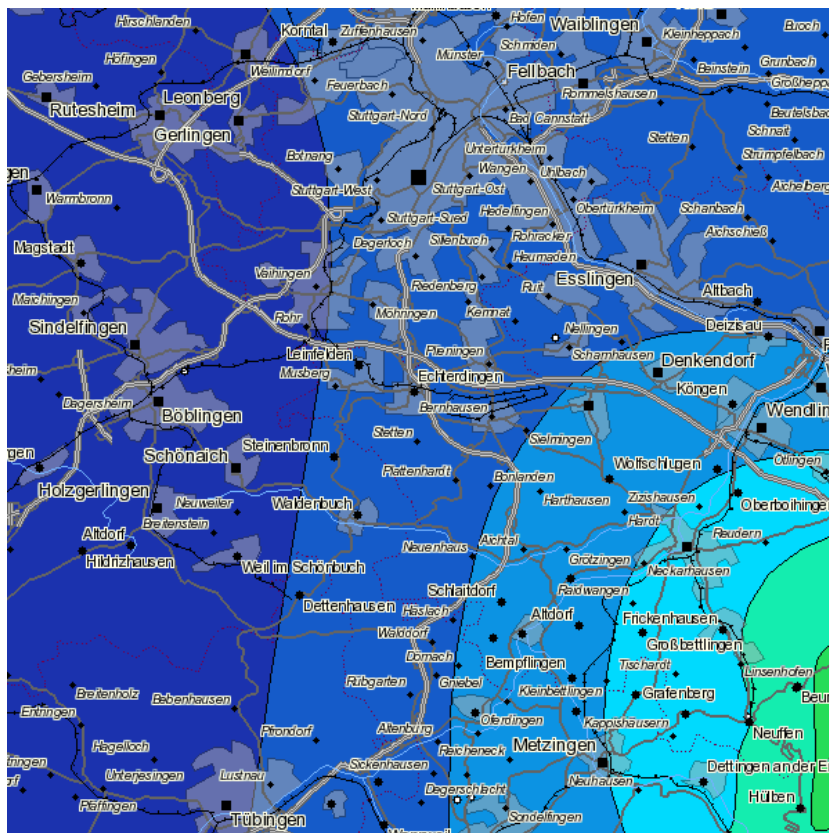
Im Allgemeinen wird in Deutschland zwischen tiefer und oberflächennaher Geothermie unterschieden. Die Grenztiefe verläuft bei 400 m u. GOK und ist vor allem bohrtechnisch bedingt.

3 Oberflächennahe Geothermie

Oberflächennahe Geothermie bis 400 m Tiefe bedeutet die Nutzung der natürlichen thermischen Energiereserven, die konstant im Untergrund zur Verfügung stehen. Bei normalem Geothermischem Gradient beträgt die Untergrundtemperatur in 100 m Tiefe ca. 12-14°. Im Falle oberflächennaher Wärmeanomalien können in ca. 100 m Tiefe auch 14-18°C oder sogar noch höhere Temperaturen erreicht werden. Hier bietet sich für die Wohnraum- und Gebäudeheizung sowie -kühlung eine ideale Nutzung der einzigen konstant verfügbaren, jahreszeiten- und witterungsunabhängigen erneuerbaren Energie mittels Wärmepumpe an. Erdwärmesonden (EWS) mit erdgekoppelten Wärmepumpen werden als technisch ausgereifte Systeme angeboten. Allerdings konnte in Deutschland erst in den letzten 3-4 Jahren ein durchgreifender Markterfolg erzielt werden. Ganz im Gegensatz zur Schweiz, die die größte Nutzungsdichte mit EWS-Anlagen aufweist. Etwa jeder zweite bis dritte Neubau in der

Schweiz wird mit einer Erdwärmesonden-Heisanlage erstellt. Mit ihr kann mittels Wärmepumpe das Gebäude beheizt und das Brauchwasser erhitzt werden sowie im Sommer eine direkte Gebäudekühlung erfolgen. Auch die im Sommer nicht benötigte Wärmeenergie aus Sonnenkollektoren (solarthermischen Anlagen) kann im Untergrund gespeichert werden und im Winter über die EWS- Anlage wieder genutzt werden.

Abb. 1: Lageplan Temperaturen in 300 m u. GOK



Zur Wärmeerzeugung über oberflächennahe Geothermie stehen grundsätzlich folgende Nutzungsverfahren zur Verfügung:

Erdwärmekollektoren:

In der Tiefe von etwa 80-160 cm werden Wärmetauscherrohre aus Kunststoff horizontal im Boden verlegt. Über eine zirkulierende Wärmeträgerflüssigkeit wird dem Boden die Wärme entzogen und mittels einer Wärmepumpe auf das benötigte Temperaturniveau angehoben. Überschlägig werden pro m² beheizte Wohnfläche ca. zwei m² unversiegelte Freifläche benötigt. Daher sind Erdkollektoranlagen für Heiz- und Kühlsysteme mit Warmwasserbereitung oft aus Kapazitätsgründen nicht geeignet.

Generell ist bei Erdwärmekollektoren zu berücksichtigen, dass der geothermische Wärmefluss aus der Tiefe vernachlässigt werden kann. Da hier die Bodenwärme von der direkten oder indirekten Sonnenenergie (Strahlung, Regen) gespeist wird, handelt es sich streng genommen nicht um geothermische Anlagen.

Erdberührende Bauteile; Energiepfähle:

Bei Neubauten können Bauteile und Gründungspfähle sowie Schlitzwände mit Wärmeaustauscherrohren ausgerüstet werden und in Verbindung mit einer Wärmepumpe zum Heizen und Kühlen des Gebäudes eingesetzt werden.

Da die Bodenschichten der obersten 10-20 m von den jahreszeitlichen Temperaturschwankungen bzw. der Sonnenenergie beeinflusst sind, handelt es sich streng genommen nicht um rein geothermische Anlagen.

Erdwärmesonden:

Die Erdwärme wird mit Bohrungen i.A. zwischen 50 und 250 m Tiefe und darin eingebrachten Erdwärmesonden (EWS) erschlossen. Die Wärmeabgabefähigkeit regeneriert sich thermisch durch nachströmende Wärme v.a. in den Sommermonaten bzw. durch Einleitung von Abwärme bei sommerlichem Kühlbetrieb. Die erforderliche Entzugsleistung der Geothermiesonden ist abhängig von den geologischen und klimatischen Bedingungen, von der Technologie des Wärmeentzugs aus dem Erdreich und von dem saisonal schwankenden Wärmebedarf des Verbrauchers.

Geothermiesonden mit Zirkulationspumpe: Bei dieser Technologie wird eine Flüssigkeit mit einer Zirkulationspumpe durch den Wärmetauscher gepumpt. Bei den EWS handelt es sich meist um geschlossene HDPE-Doppel-U-Sonden. Der Rohrdurchmesser beträgt 25-40 mm. Nach ihrer Einbringung in das Bohrloch werden sie mit einem Zement-Bentonit Gemisch verpresst, um eine optimale Wärmeleitung zwischen Sonde und Gebirgskörper zu erreichen. Darüber hinaus werden hierdurch eventuell in verschiedenen Tiefen auftretende Grundwasserstockwerke gegeneinander

abgeschirmt und ihre Vermischung verhindert. Für den Wärmetransport werden Wasser oder Wasser-Frostschutzmittel-Gemische eingesetzt. In der Regel werden die Zirkulationssonden mit einer Temperaturspreizung von 3 bis 4°C zwischen Vor- und Rücklauf ausgelegt. Das erwärmte Fluid gibt seine Energie an den Verdampfer der Wärmepumpe ab. Im abgekühlten Zustand wird die Wärmeträgerflüssigkeit wieder in die Sonde zur Aufnahme neuer Energie gepumpt.

Geothermiesonden mit Phasenwechsel: Diese pumpenlosen Geothermiesonden arbeiten mit einem Kältemittel als Wärmeträger. Eingesetzt werden bisher Kohlendioxid (CO₂), Propan (C₃H₈) oder Ammoniak (NH₃). Die Sonden bestehen aus einem oder mehreren Rohren aus Stahl oder Kupfer. Der Wärmeentzug aus dem Erdreich erfolgt durch Verdampfung des Kältemittels, meist an der Innenwand des Sondenrohres. Die gewonnene Energie wird durch Kondensation über einen Wärmeaustauscher am Sondenkopf an den Kältekreislauf der Wärmepumpe übertragen. Für die Anwendung Heizen und Kühlen scheiden Geothermiesonden mit Phasenwechsel jedoch derzeit noch aus.

Ein optimaler Wirkungsgrad der Wärmepumpe wird durch die Verwendung von Fußbodenheizungen oder großflächigen Wandheizkörpern gewährleistet, die mit niedrigen Vorlauftemperaturen zwischen 30-40°C betrieben werden (sog. Niedertemperaturheizung). Gleichwohl werden zunehmend auch bestehende Gebäude mit Radiatoren-Heizung durch Erdwärmesondensysteme beheizt. EWS-Anlagen für Ein- bis Zweifamilienhäuser verfügen gewöhnlich über eine Entzugsleistung von 6 - 14 kW und vermeiden jährliche Emissionen von ca. 3 - 8 Tonnen CO₂.

Der Strom für die Wärmepumpenanlagen sollte aus ökologischer Sicht weitgehend aus regenerativen Quellen stammen, da mit fossiler Energie erzeugter Strom unter Verlust von ca. 2/3 der Energie erzeugt wird, so dass sich der Gesamtwirkungsgrad entsprechend verschlechtert (Gesamtwirkungsgrad bei 35° Vorlauftemperatur = ca. 1,65; Jahresarbeitszahl 4,5). Bei einer Jahresarbeitszahl von 4,5 liegt der erneuerbare Anteil einer elektrischen betriebenen Kompressionswärmepumpe primärenergetisch betrachtet bei gut 40%. Die Jahresarbeitszahl (JAZ) drückt aus, welcher Anteil am Heizwärmebedarf über die Stromrechnung bezahlt werden muss. Bei einer Jahresarbeitszahl von 4, entfällt ¼ auf den Stromverbrauch, ¾ werden kostenlos als Erdwärme dem Untergrund entnommen (z.B. 20.000 kWh Jahresheizarbeit/5000 kWh Strom = JAZ 4)

Eine Alternative können Wärmepumpen mit Gasmotor darstellen, die im Probetrieb bereits einen Wirkungsgrad von bis zu 1,8 und eine deutliche Verbesserung der CO₂-Bilanz erreichen.

Geothermische Brunnenanlagen bzw. Grundwasserwärmepumpen:

An geeigneten Standorten lässt sich Grundwasser über Brunnen oder ein Fließgewässer entnehmen und direkt zur Wärmepumpe leiten. Es muss jedoch wieder in den Untergrund eingeleitet werden, so dass neben Förderbrunnen auch sogenannte Schluckbrunnen einzurichten sind. Aufgrund der ganzjährig relativ hohen Quelltemperatur von 8-13°C sind geothermische Brunnenanlagen i.d.R. von den beschriebenen Nutzungsarten am effektivsten bzw. sie weisen die größten Jahresarbeitszahlen auf. Bei der direkten Grundwassernutzung erfährt das Wasser jedoch Druck- und Temperaturänderungen; es wird dadurch physikochemisch verändert und mikrobiologisch beeinflusst. Diese Veränderungen führen zu Reaktionen im Grundwasser die z.T. weder aus anlagentechnischer noch aus wasserbehördlicher Sicht erwünscht sind. Daher sind bei dieser Nutzungsart auch die höchsten genehmigungsrechtlichen Hürden gegeben.

3.1 Erdwärme in Deutschland und Baden-Württemberg

Abhängig von der jeweils einsetzbaren Technologie ist in Deutschland die Gewinnung von Wärmeenergie aus geothermischen Ressourcen praktisch überall möglich.

Die ersten Erdwärmesonden in Deutschland bzw. Mitteleuropa wurden nach heutigem Kenntnisstand 1974 von der Gungl Bohrgesellschaft, nur wenige Kilometer nördlich von Weil im Schönbuch, in Schönaich, Kelterweg 43 installiert. Für die Umrüstung eines bestehenden Gebäudes zur Beheizung mit einer erdgekoppelten Wärmepumpe wurden fünf Erdwärmesonden mit 50–55 m Tiefe installiert.

Anlass zu Überlegungen für eine effiziente Möglichkeit zur Gebäudeheizung mit dem Erdreich als Wärmequelle gab die Ölkrise des Jahres 1973. Grundüberlegungen für die monovalente Wärmeversorgung von Gebäuden boten die Lehmhäuser in ariden Gebieten, die über den Lehm als Speichermedium und die Verdunstungskälte für eine angenehme Raumtemperatur auch bei über 40°C Außentemperatur sorgen.

Bereits seit 1972 wurden einige sog. Geothermische Brunnenanlagen durch die Gungl-Bohrgesellschaft im Raum Stuttgart installiert. Am nordwestlichen Ortsrand von Schönaich war jedoch mit ausreichenden Grundwassermengen erst in ca. 40 m Tiefe zu rechnen, so dass ein geschlossenes System mit vertikalen Sondenrohren als Wärmetauscher naheliegend war, um eine konstante Quelltemperatur zu gewährleisten.

Nach aktuellen Zahlen vom Januar 2008 waren Ende 2007 ca. 10.000 Erdwärmesonden in Baden-Württemberg installiert. Bei einer durchschnittlichen Bohrtiefe von 94 m und einer spezifischen Entzugsleistung von 50 W/m ergeben sich rechnerisch 47.000 Kilowatt Entzugsleistung. Bei einer durchschnittlichen Jahresarbeitszahl von 3,8 ergibt sich überschlägig eine installierte Heizleistung von ca. 64.000 Kilowatt. Das technische Potential ist damit bisher zu weniger als 1 %

ausgeschöpft. Insgesamt befinden sich ca. 15% aller Anlagen zur Nutzung oberflächennaher Geothermie (Erdwärmesonden, Kollektoren, Brunnenanlagen u.ä.) in Baden-Württemberg.

Mit den heute bekannten Ressourcen der oberflächennahen Geothermie können knapp 30% des deutschen Wärmebedarfes und mit denen aus der hydrothermalen Geothermie nochmal knapp 30 % gedeckt werden.

In Tiefenbereichen zwischen 3000 und 7000 m steht zur Nutzung für das Hot-Dry-Rock-Verfahren soviel Energie zur Verfügung, dass wir uns damit für ca. 10.000 Jahre komplett mit Strom und Wärme versorgen könnten.

3.2 Erdwärmenutzung in Weil im Schönbuch

Nach Angaben des Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau Freiburg und nach unseren eigenen Aufzeichnungen wurden in Weil im Schönbuch bisher 18 Standorte für oberflächennahe Erdwärmenutzungen ausgeführt.

Es handelt sich um 18 Gebäude mit 36 Erdwärmesonden bzw. insgesamt ca. 3950 m Sondenlänge. Dies entspricht einer installierten Entzugsleistung von ca. 200 Kilowatt bzw. einer jährlichen geothermischen Heizarbeit von ca. 400 MWh (bei 2000 Jahresbetriebsstunden).

Mindestens ein weiteres Objekt befindet sich zur Zeit noch in der Planungsphase.

Die Gemarkung Weil im Schönbuch besitzt ein Wasserschutzgebiet für einen Brunnen im westlichen Randbereich des Gemeindegebietes, im Quellgebiet des Aischbaches. Damit ist das Gemeindegebiet nicht vollständig geothermisch nutzbar. Allerdings befinden sich die Schutzzonen I und II, in denen Erdwärmesonden nicht erlaubnisfähig sind, in nicht besiedeltem Gebiet nördlich des Bäumlesweges. Für die Schutzzone IIIB, im Gewerbegebiet Lachental können Erdwärmesonden nach Einzelfallprüfung und gegebenenfalls mit besonderen Auflagen zugelassen werden.

Für Erdwärmesonden ist eine sinnvolle Nutzung nur im Bereich der Siedlungsflächen umsetzbar. Gleiches gilt für die Nutzung der hydrothermalen Geothermie mittels eines Fernwärmenetzes.

Im Lageplan der Anlage 1 sind die 18 Standorte mit den Kennnummern der unten aufgeführten Tabelle 1 verzeichnet.

Tab. 1: Erdwärmenutzungen in Weil im Schönbuch

Lage	Nutzung	Errichtung
1 Geb. Eichenrain 9	1 EWS je 80 m	2001
2 Geb. Bäumlesweg 2	4 EWS je 93 m 1 EWS je 80 m 1 EWS je 107 m	2001
3 Geb. In den Belzwiesen	3 EWS je 85 m	2003
4 Geb. Schulsteige 28/1	2 EWS je 70 m	2005
5 Geb. In den Belzwiesen 13	2 EWS je 112 m	2006
6 Geb. Falkenstrasse 22	2 EWS je 115 m	2006
7 Geb. Hagäckerstrasse Fl. 426/2	2 EWS je 99 m	2006
8 Geb. Untere Halde 4	1 EWS je 79 m	2006
9 Geb. Wolfgrube 17	1 EWS je 99 m	2007
10 Geb. Berlinerstrasse 16	2 EWS je 130 m	2007
11 Geb. Silcherstrasse 16	1 EWS je 176 m	2007
12 Geb. Meisenweg 7	3 EWS je 80 m	2007
13 Geb. Schubertstrasse 34	2 EWS je 75 m	2007
14 Geb. Forchenweg 2	3 EWS je 127 m	2008
15 Geb. Berthold-Brecht-Strasse 3	1 EWS je 99 m	2008
16 Geb. Nelkenstrasse 20/1	2 EWS je 120 m	2008
17 Geb. Nelkenstrasse 8	1 EWS je 140 m 1 EWS je 134 m	2008
18 Geb. Falkenstrasse 26	2 EWS je 130 m	2008

4 Geologie in Weil im Schönbuch

4.1 Auswertung der geologischen Grunddaten aus geologischen Karten und Erläuterungen

Im Gemeindegebiet Weil im Schönbuch stehen auf der Hochfläche zwischen dem Schaichtal und dem Aischbachtal, bzw. westlich des Totenbachtals unter einer Lößlehmbedeckung die Schichten des Lias α an. Diese sind insgesamt ca. 30 m mächtig und bestehen zuoberst aus den sog. **Arietenschichten des Lias $\alpha 3$** , die sich aus einer Wechsellagerung von grauen Kalksteinen und z.T. bituminösen Tonsteinen zusammensetzen. Die Arietenschichten streichen im westlichen Teil von Weil, westlich der Bergstraße, insbesondere im zentralen und nördlichen Teil der Siedlung „Tropfel“, im Bereich der sog. Schaichhofsiedlung und im Gewerbegebiet „Lachental“ an der Geländeoberfläche aus.

Unter den Arietenschichten folgen die sog. **Angulatenschichten des Lias $\alpha 2$** . Diese bestehen aus einer Wechsellagerung von grauen, z.T. feinsandigen Tonsteinen mit meist graubraunen Kalksandstein- und Kalksteinbänken und streichen im östlichen Teil von Weil mit dem historischen Ortskern und an den oberen Rändern des Aischbach-, Totenbach- und Schaichtales aus. Im nahezu gesamten östlichen Teil von Weil sind die Angulatenschichten mit einer Lößlehmdecke verhüllt.

Die untersten 8 – 10 m des Lias werden von den **Pylonotenschichten des Lias $\alpha 1$** gebildet. Es handelt sich um dunkelgraue Tonsteine und Tonmergel mit 2 - 3 Kalkbänken. Die Pylonotenschichten stehen im Siedlungsgebiet lediglich im oberen Teil des Totenbachtals, im Bereich Herdweg und Teilen der Seewiesenstraße an der Erdoberfläche an.

Stellenweise treten zwischen den Pylonotenschichten und dem Knollenmergel des Mittelkeupers geringmächtige Ablagerungen des Oberen Keupers auf. Diese sog. **Rät-Schichtenfolge** ist meist bis ca. 2,5 m mächtig und setzt sich aus feinkörnigen hellgelblichgrauen und hellgrauen Sandsteinen mit grauen, z.T. stark sandigen Tonsteinen zusammen.

Die Siedlung „Roter Berg“ liegt im Bereich der darunter folgenden roten und violettroten Tonsteine des sog. **Knollenmergels**. Die ca. 30 – 35 m mächtigen Knollenmergel-Schichten des mittleren Keupers bilden die weichen, meist flachgeböschten Hänge unterhalb der Lias-Hochflächen. Die überwiegend violettroten Tonsteine und Tonmergelsteine führen stellenweise Kalkknollen und im unteren Bereich bereichsweise graugrüne und grünfleckige Mergelsteinlagen.

Im Gebiet der Teilgemeinden Breitenstein und Neuweiler stehen überwiegend die unter dem Knollenmergel folgenden **Stubensandstein-Schichten** an. Diese bestehen aus Wechselfolgen von zum Teil karbonatischen und feldspatreichen, beigen Sandsteinen mit überwiegend violettroten Tonsteinen und Tonmergeln.

Die Stubensandstein-Schichten können eine Mächtigkeit von bis zu 60 m erreichen. Im südöstlichen Teil von Breitenstein ist der Stubensandstein von einer Lößlehmdecke überlagert.

Die Stubensandstein-Schichten bedecken die Formation der **Bunten Mergel**, die im Gemeindegebiet Weil im Schönbuch lediglich im Aichtal, im Bereich der Raumühlen-Exklave an der Geländeoberfläche aufgeschlossen vorliegt. Diese Formation ist unterteilt in die Oberen Bunten Mergel und die Unteren Bunten Mergel, bestehend aus düstervioletten und grünlichgrauen Tonsteinen mit eingeschalteten hellgrauen bis graugrünen Dolomitsteinbänken und vereinzelt Gipslagen in den Unteren Bunten Mergeln. Zwischen den Unteren und den Oberen Bunten Mergeln sind die geringmächtigen Kieselsandstein-Schichten eingelagert. Die Formation der Bunten Mergel kann eine Mächtigkeit von ca. 35 m erlangen.

In der Schichtenabfolge darunter befindet sich die **Schilfsandstein**-Formation. Die Gesteine umfassen feinkörnige, stark tonige und glimmerhaltige, dünnplattig zerfallene Sandsteine, sandige Tonsteine und z.T. homogene, massig-bankige Sandsteine. Die Schilfsandstein-Formation weist eine stark wechselnde Mächtigkeit auf, die zwischen 0 und ca. 11,5 m schwanken kann.

Darunter befindet sich die **Gipskeuper**-Formation mit einer Mächtigkeit von 95-110 m. Der Gipskeuper besteht aus Tonsteinen und Sulfatgestein (Gips, Anhydrit), das in Bänken oder Knollenform auftritt. Untergeordnet treten einzelne dolomitische Tonsteine und Dolomitsteinbanke auf. An der Basis befinden sich die 11-18 m mächtigen Grundgipsschichten.

Die Gipskeuper-Formation überlagert den **Lettenkeuper** oder Unterkeuper. Dieser besteht aus einer Wechselfolge von dolomitierten Karbonatgesteinen und Tonsteinen. Sandige Schichten treten hier nur untergeordnet auf. Die Mächtigkeit liegt bei ca. 19 m. Der Lettenkeuper bildet die Basis des Keupers. Darunter befinden sich die Formationen des Muschelkalks.

Der obere **Muschelkalk** wird von grauen, dichten, gut gebankten Kalksteinen aufgebaut. Nur im oberen Teil treten Dolomitsteine auf. Der obere Muschelkalk lässt sich untergliedern in den basalen Trochitenkalk, die Nodosusschichten und den Trigonodusdolomit. Im unteren Teil des Trochitenkalks befinden sich die Haßmersheimer Schichten. Diese bestehen aus einer Wechselfolge von Trochitenbänken und Tonmergelsteinen. Die Schichten des Oberen Muschelkalkes weisen eine Gesamtmächtigkeit von ca. 85 m auf.

Tektonische Störungszonen sind im Siedlungsbereich nicht verzeichnet. Lediglich an der südlichen Gemarkungsgrenze im Schönbuch ist eine NW-SO-orientierte Störungszone im Bereich der Altdorfer Heusteige bzw. deren südlicher Fortsetzung bekannt. Der Versatz der nordöstlichen Hochscholle gegen die südwestliche Tiefscholle beträgt ca. 20 m.

4.2 Hydrogeologie und Geothermie

Oberflächennah gibt es mehrere lokale Grundwasserleiter in den Kalk- und Kalksandsteinlagen des Lias sowie in den Sandsteinhorizonten der Stubensandsteinschichten.

Im tieferen Untergrund gibt es 3 weitere Kluftgrundwasserleiter, die Thermal- bzw. Mineralwasser enthalten. Von oben nach unten sind dies laut den Erläuterungen zur geologischen Karte Blatt 7320 Böblingen:

- | | | |
|-----------------------------|---------------|------------------------|
| - Oberer Muschelkalk (mo) | Temp. 17 °C | Mineralisation 1,1g/kg |
| - Buntsandstein (so/sm) | Temp. 29 °C | Mineralisation 5,4g/kg |
| - Kristallines Grundgebirge | Temp. 37,8 °C | Mineralisation 6,5g/kg |

Das geförderte Wasser wird als Trink-, Bade- und Brauchwasser verwendet. Darüber hinaus wird es von der Mineraltherme Böblingen auch für geothermische Zwecke genutzt.

Im oberen Teil des Totenbachtals liegen Temperaturangaben für den Fieberbrunnen vor. Grundwasserleiter ist dort der sog. Pylonotenkalk an der Basis des Lias. Die Quelltemperatur weist nach Messungen aus 1984 eine Temperatur von 10,6°C auf.

Neben den grundwasserführenden Schichten des Lias ist in Breitenstein und Neuweiler der Stubensandstein ein wichtiger Grundwasserleiter. Er zeichnet sich durch einen mehrfachen Wechsel von grob- bis mittelkörnigen Sandsteinen und Tonsteinhorizonten aus. Dadurch sind mehrere Grundwasserstockwerke in den Schichten des Stubensandsteins ausgebildet, die teilweise miteinander in Verbindung stehen.

Nahe der nördlichen Gemarkungsgrenze, bereits auf schönaicher Gemeindegebiet, tritt das Quellwasser aus dem Stubensandstein u. a. im Siechenbrunnen (Aichtal) aus. Das Wasser hat dort nach Messungen aus dem Jahr 1984 eine Temperatur von 11,1°C.

Bei den Thermalwasserbohrungen Böblingen 1 und 2 erreichte man die tieferen Grundwasserstockwerke. In ca. 130 - 148 m Tiefe wurde dort Mineralwasser des Oberen Muschelkalks angetroffen, das eine Temperatur von 17°C hatte.

Im Buntsandstein ist das Grundwasser vor allem im mittleren Teil der Schichtfolge anzutreffen. In ca. 400 m Tiefe wurde Thermalwasser erbohrt, das eine Temperatur von 29°C und einen hohen Gehalt an Natrium und Chlorid aufwies.

Bei 775 m u. GOK erschloss die Bohrung hochmineralisiertes Thermalwasser, das eine Auslauftemperatur von 37,8°C besaß.

Das Untersuchungsgelände ist nach dem „Leitfaden zur Nutzung von Erdwärme mit Erdwärmesonden“ des Ministeriums für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg der Fallgruppe B1: „Gebiete, denen die Anlage von Erdwärmesonden aus hydrologischer Sicht bis zu einer bestimmten Tiefe günstig ist“ (200 m) zuzuordnen. In den

hydrologisch günstigen Gebieten kann davon ausgegangen werden, dass keine schädlichen Veränderungen des Grundwassers zu erwarten sind. Laut Leitfaden besteht damit keine wasserrechtliche Erlaubnispflicht. Für Bohrungen tiefer als 100 m u. GOK ist eine bergrechtliche Erlaubnis erforderlich.

Leistungsfähige Erdwärmesondenanlagen entziehen dem Gebirge umgerechnet ca.45-60 W thermischer Energie pro Tiefenmeter.

Da im Zuge der winterlichen Heizperiode der Untergrund durch Wärmeentzug abkühlt, kann im Sommer Überschusswärme aus solarthermischen Anlagen oder Gebäudekühlung in den Untergrund abgegeben und dort gespeichert werden. Hierdurch wird der Untergrund über den natürlichen geothermischen Wärmefluss hinaus für die nächste Heizperiode wieder aufgeladen.

4.3 Abweichende Ergebnisse aus eigenen und weiteren Aufschlussdaten

Beim Vergleich der uns vorliegenden Bohrdaten mit den Grunddaten aus den geologischen Karten 1:25.000, 7320 Böblingen und 1:50.000 Stuttgart und Umgebung, fallen folgende Unterschiede auf:

Anhand der gut verfolgbaren Kiesel sandsteine sowie der Grenze Lias/Keuper erkennt man insbesondere in östlichen Teil von Weil im Schönbuch, dass die Schichtgrenzen in den Bohrungen Meisenweg/Berlinerstraße, nördlich des Totenbaches und Berthold-Brecht-Straße, südlich des Totenbaches, höher liegen als in der dazwischenliegenden Bohrung Falkenstrasse. Der Kiesel sandstein und auch die Grenze Lias/Keuper liegen bei den Bohrungen Meisenweg/Berlinerstraße und Berthold-Brecht-Strasse 10 – 15 m höher als in der Bohrung Falkenstrasse.

Dies lässt darauf schließen, dass es sich hier wohl um eine **tektonische Grabenstruktur**, in der westlichen Fortsetzung der sog. Totenbach-Mulde, mit einem Versatz von ca. 10 -15 m handeln könnte, die aufgrund der Lößlehmbedeckung in der geologischen Karte 1:50.000 Stuttgart und Umgebung und der geologischen Karte 1:25.000 Böblingen nicht vermerkt ist.

Aus den Bohrdaten lässt sich auch auf das Einfallen der Schichten schließen. Sie fallen, nördlich der beschriebenen Graben- bzw. Muldenstruktur nach SO bzw. SSO und südlich davon nach NO ein. Die Schichtneigung beträgt 1- 3°.

5 Geologisches Normalprofil für Weil im Schönbuch

Nach dem Ergebnissen der geologischen Grunddaten sowie der spezifischen Aufschlussdaten für Weil im Schönbuch, kann für weite Teile des Siedlungsgebietes

das folgende generalisierte Schichtenprofil abgeleitet bzw. zur Vorbemessung von Erdwärmesonden zugrundegelegt werden:

bis ca. 20 m u. GOK Lias α :

Lias α : graue und dunkelgraue Tonstein bzw. Tonmergelsteine mit Kalkstein- und Kalksandsteinbänken

bis ca. 55 m u. GOK Knollenmergel:

Knollenmergel: violettrote und ziegelrote Tonstein bzw. Tonmergelsteine, bereichsweise mit grauen Kalkknollen

bis ca. 105 m u. GOK Stubensandstein:

Stubensandstein (km4): rauhe meist grobkörnige Sandsteine in Wechsellagerung mit lockeren Sanden (Fegsand, Stubensand) und rotbraunen sowie grünlichgrauen Tonmergeln

bis ca. 140 m u. GOK Bunte Mergel:

Bunte Mergel (km3): düsterviolette, rote und dunkelgrünlichgraue Tone, Tonsteine und Tonmergelsteine mit einer etwa zentral eingeschalteten Zone mit grauen bis grünlichgrauen verkieselten Sandsteinbänken (Kieselsandstein)

bis ca. 145 - 150 m u. GOK Schilfsandstein:

Schilfsandstein (km2): meist grünlichgraue bis grünlichbraune Feinsandsteine mit sandigen, siltigen oder sandfreien Tonsteinen in lateral stark wechselnden Mächtigkeiten (3 – 15 m)

bis ca. 245 - 250 m u. GOK Gipskeuper:

Gipskeuper (km1): meist graugrüne und rotbunte Tone und Tonmergel mit Steinmergellagen und Gipslagen. Etwa 15 – 20 m sogenannter Grundgips an der Basis, z. T. ausgelaut.

bis ca. 265 - 270 m u. GOK Lettenkeuper:

Lettenkeuper (ku): meist graue und graugrüne Tone und Tonmergel mit grauen oder graubraunen Dolomitbänken und z.T. dunkelgrauen und graubraunen Sandsteinlagen

bis ca. 350 - 355 m u. GOK Oberer Muschelkalk:

Oberer Muschelkalk (mo): oben ca. 10 m Dolomite u. dolomitische Kalksteine, darunter graue Kalksteine mit einzelnen dünnplattigen Tonmergelsteinlagen

Wie bereits in Kapitel 4 beschrieben, beginnt die Schichtenfolge in den Teilgemeinden Breitenstein und Neuweiler mit dem Stubensandstein, der dort bis in Tiefen zwischen 40 u. 50 m reicht. Im Bereich der Siedlung „Roter Berg“ beginnt die Schichtenfolge mit den roten Tonsteinen des Knollenmergels, die dort je nach Höhenlage am Schaichtalhang Restmächtigkeiten zwischen 20 m und wenigen Metern aufweisen. Unter der Talauflage des Schaichtales stehen bereits die Schichten des Stubensandsteines an.

Erste Grundwasserzutritte treten bereits in den oberflächennahen Kalksteinen und Kalksandsteinen des Lias in ca. 5 – 15 m u. GOK auf. Weitere Grundwasserzutritte sind in den Sandsteinlagen der Stubensandsteinschichten zu erwarten.

Weitere geringfügige Wasserführungen können im Kieselsandstein (km³s) und den Schilfsandsteinschichten (km²) auftreten.

Im unterlagernden Gipskeuper fließt das Grundwasser bevorzugt auf klüftigen Dolomitsteinbänken sowie in Bereichen von Gipsauslaugungszonen (Gipskarst). Bei ausgeprägtem Gipskarst ist mit starken Grundwasserzutritten zu rechnen.

Im Lettenkeuper ist ebenfalls überwiegend im Bereich klüftiger Dolomitsteinlagen sowie innerhalb der Sandsteine Grundwasser zu erwarten.

Tieferliegende Mineralwasser- und Thermalwasservorkommen im Muschelkalk, Buntsandstein und im kristallinen Grundgebirge wurden bereits im Kapitel 4.2 beschrieben. Gleichwohl sind diese für Nutzungen der oberflächennahen Geothermie weniger relevant.

6 Ermittlung der mittleren Wärmeleitfähigkeit im Untergrund

Die Wärmeenergieversorgung mit der Niedrigtemperaturwärme des Untergrundes ist im wesentlichen von den Wärmeleitfähigkeiten der anstehenden Gesteine (Konduktion) sowie vom Wärmetransport durch fließendes Grundwasser (Konvektion) abhängig.

Für die beschriebenen Gesteinsformationen können folgende überschlägig ermittelten Wärmeleitfähigkeiten angesetzt werden (konduktiv).

Tab. 2: Abschätzung der mittleren Wärmeleitfähigkeiten

Schichtlagerung	mittlere Wärmeleitfähigkeit
-----------------	-----------------------------

20 m Lias α	ca. 2.30 W/mK
35 m Knollenmergel	ca. 2.15 W/mK
50 m Stubensandstein (km4)	ca. 2.25 W/mK
40 m Bunte Mergel (km3)	ca. 2.20 W/mK
5-10 m Schilfsandstein (km2)	ca. 2.25 W/mK
95-105 m Gipskeuper (km1)	ca. 2.15 W/mK
15-20 m Lettenkeuper (ku1)	ca. 2.30 W/mK
75-85 m oberer Muschelkalk (mo)	ca. 2.80 W/mK

Die mittleren Wärmeleitfähigkeiten für die Schichtlagerung in Weil im Schönbuch liegen rechnerisch:

- Bis etwa 100 m Tiefe bei ca. 2.23 W/mK
- Bis etwa 150 m Tiefe bei ca. 2.22 W/mK
- Bis etwa 200 m Tiefe bei ca. 2.20 W/mK
- Bis etwa 300 m Tiefe bei ca. 2,26 W/mK
- Bis etwa 350 m Tiefe bei ca. 2,34 W/mK

Der Einfluss von Grundwasser verbessert die Entzugsleistungen von Erdwärmesonden durch konvektiven Wärmetransport. Bei 10 m anströmender Grundwassersäule pro 100 m Sondenlänge erhöht sich die Wärmeleitfähigkeit um ca. 10%. Bei 20 m um ca. 20%. In Weil im Schönbuch kann durchschnittlich mit 10% anströmendem Grundwasser gerechnet werden.

Dadurch verbessern sich die mittleren Wärmeleitfähigkeiten wie folgt:

- Bis etwa 100 m Tiefe: ca. 2.45 W/mK
- Bis etwa 150 m Tiefe: ca. 2.44 W/mK
- Bis etwa 200 m Tiefe: ca. 2.42 W/mK
- Bis etwa 300 m Tiefe: ca. 2,49 W/mK
- Bis etwa 300 m Tiefe: ca. 2,57 W/mK

Die genannten Werte entsprechen annähernd den Meßergebnissen eines Thermal Response Testes vom Juni 2008, der ca. 3500 m nordwestlich von Weil im Schönbuch, an einer 100 m tiefen Erdwärmesonde der Gungl-Bohrergesellschaft durchgeführt wurde.

6.1 Vorbemessung von Erdwärmesonden mit Earth Energy Designer für Gebäude mit 10 kW Heizwärmebedarf

Für die Dimensionierung von Erdwärmesondenanlagen ist in Deutschland die VDI 4640 Blatt 2 maßgebend. Nach dieser Richtlinie soll die Temperatur des zu den Erdwärmesonden zurückkehrenden Wärmeträgermediums (Vorlauf) im Wochenmittel den Grenzbereich von +/- 11 K Temperaturänderung gegenüber der ungestörten Erdreichtemperatur nicht überschreiten. Bei Spitzenlast (Dauerbetrieb an extrem kalten Tagen) soll +/- 17 K Temperaturdifferenz nicht überschritten werden.

Für Weil im Schönbuch kann für die obersten 100 – 150 m eine mittlere ungestörte Untergrundtemperatur von ca. 11-13°C angesetzt werden. Für die Zielvorgaben nach der derzeitigen Fassung der VDI 4640 Blatt 2 bedeutet dies, dass im Heizbetrieb bei Spitzenlast kurzfristig Temperaturen von -6° und im Grundlastbetrieb von 0° VDI-konform sind.

Exemplarisch wurde ein Einfamilienhaus mit 10 kW Heizwärmebedarf zugrundegelegt. Bei üblicherweise verwendeten Bemessungswerten für die überschlägige Ermittlung des Heizwärmebedarfes von 50 W/m² für Neubauten und 80W/m² für Bestandsbauten ergibt sich eine beheizbare Fläche von 200m² im Neubau und 125 m² im Bestandsbau.

Für die Heiz- und Kühllastprofile wurden standardisierte Parameter zugrundegelegt. Zunächst wurden für die Bemessung 1800 jährliche Volllaststunden bzw. eine Heizarbeit von 18 MWh zugrunde gelegt.

Zur Ermittlung der notwendigen Erdwärmesondenlängen wurde das Programm „Earth Energy Designer“ eingesetzt. Damit lassen sich die zu erwartenden Temperaturverläufe in der Erdwärmesonde in Abhängigkeit der Zeit berechnen. Um eine nachhaltige geothermische Bewirtschaftung des Untergrundes sicherzustellen, wurde ein Zeitraum von 25 Jahren angesetzt.

Auf Grundlage des geologischen Normalprofils für Weil im Schönbuch und den gebäudeseitigen Anforderungen wurden mehrere Modellbeispiele optimiert.

Folgende Eingangswerte wurden hierbei zugrunde gelegt:

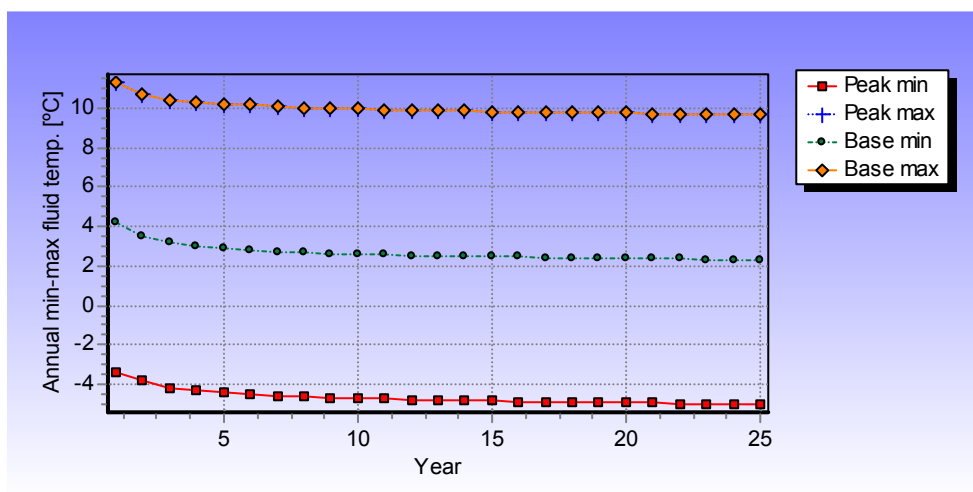
- Eine Doppel-U-Erdwärmesonde aus HDPE, Durchmesser 32 mm
- Borlochdurchmesser 114 mm
- Abstandshalter mit 70 mm zwischen einzelnen PE-Rohrsträngen
- Wärmeträgermedium: 75 % Wasser und 25 % Glykol
- Betrieb der Wärmepumpe (10kW) kontinuierlich bis zu 21 Stunden (Spitzenlast)

- Jahresarbeitszahl 4.0
- Volumenstrom Wärmeträgermedium durch die Erdwärmesonde mit $0.002\text{m}^3/\text{s}$
- Die minimale Soletemperatur im Verlauf der Wärmepumpe erreicht -5°C
- Spezifische Wärmeleitfähigkeit $2,2\text{ W/mK}$
- Spezifische Wärmekapazität $2,3\text{ MJ/m}^3\text{K}$

Modellbeispiel 1: Heizleistung 10kW, 1800 Volllaststunden, Standardverfüllung

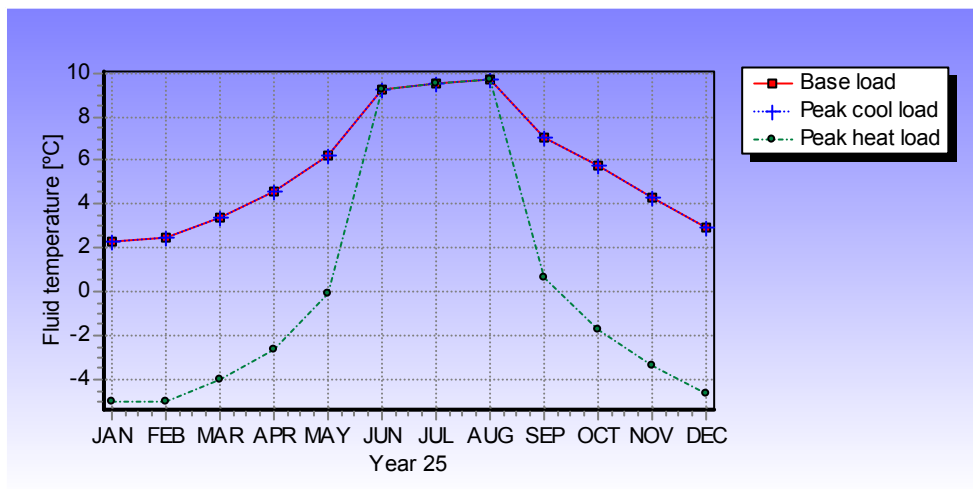
Eine jährliche Betriebsdauer von 1800 Volllaststunden reicht im Neubau häufig aus, um das Gebäude zu beheizen und das notwendige Warmwasser zu bereiten. Zur Deckung der beschriebenen Gebäudeanforderungen unter Einhaltung der Temperaturvorgaben der VDI 4640, Blatt 2 (bzw. der gewählten Minimaltemperatur von -5°C) ist **eine Bohrung mit 150 m Länge** notwendig. Der zeitliche Verlauf der Minimal- und Maximalwerte der mittleren Wärmeträgertemperatur ist in Abb. 2 dargestellt. Die Kurvenverläufe der Minimalwerte im Grundlast- (Grün) und Spitzenlastbetrieb (Rot) verdeutlichen, dass auch nach 25 Jahren Betrieb die Vorgaben der VDI 4640 eingehalten werden. **Die spezifische Entzugsleistung beträgt $49,9\text{ W/m}$.**

Abb. 2: Temperaturverlauf der Sole über 25 Betriebsjahre



Der Jahresgang der mittleren Wärmeträgertemperatur im 25. Betriebsjahr ist in Abb. 3 dargestellt. Die rote Kurve zeigt den Temperaturverlauf für die Grundlast, die grüne Kurve für die Spitzenlast.

Abb. 3: Temperaturverlauf der Sole im 25. Betriebsjahr



Modellbeispiel 2: Verbessertes Verfüllmaterial, Heizleistung 10kW, 1800 Volllaststunden

Nachteil des Standard-Verpressmaterials ist die verhältnismäßig schlechte Wärmeleitfähigkeit der Bentonit-Zement-Mischung von ca. 0,6 W/mK. Hierdurch entstehen Temperaturdifferenzen bzw. Temperaturverluste von ca. 6°C zwischen der Bohrlochwand bzw. dem Gebirge und dem Wärmeträgermedium in der Erdwärmesonde. Um diesen unerwünschten Effekt zu minimieren, geht man vermehrt dazu über sog. thermisch verbessertes Verfüllmaterial zu verwenden, das eine Wärmeleitfähigkeit von ca. 2,0 W/mK aufweist.

Mit verbessertem Verfüllmaterial reduziert sich die Sondenlänge um knapp 13% von 150 m auf **131 m**. Die **spezifische Entzugsleistung beträgt nun 57,2 W/m**.

Modellbeispiele 3 u. 4: Modellbeispiele 1 u. 2 mit zusätzlichem sommerlichen Kühlbetrieb, Kühllast 3,4 kW, 800 Volllaststunden

Ein Vorteil der Erdwärmenutzung über Zirkulationserdwärmesonden besteht darin, dass die Technologie gleichermaßen zum Heizen und Kühlen geeignet ist. Erfahrungsgemäß liegt die jährliche Kühlarbeit für ein Einfamilienhaus etwa bei 15% der jährlichen Heizarbeit. Bei standardisierten ca. 800 Jahresbetriebsstunden für den Kühlbetrieb ergibt sich eine Kühllast von ca. 3,4 kW.

Bei zusätzlicher Kühlung im Sommer ergeben sich ca. 2-3 Bohrmeter weniger als bei reinem Heizbetrieb. Die direkte geothermische Kühlung, ohne Einsatz der Wärmepumpe, erhöht allerdings deutlich den Anteil erneuerbarer Energie, den Erdwärmesondenanlagen nutzen und trägt zur besseren Regeneration des Untergrundes im Sommer bei. Darüberhinaus ist die sog. direkte Kühlung sehr günstig, da an Kosten lediglich geringe Stromkosten für die Umwälzpumpe anfallen.

Modellbeispiele 5 u. 6: 2400 Volllaststunden, Heizleistung 10kW, Standardverfüllung bzw. thermisch verbessertes Verfüllmaterial

Im Gebäudebestand werden zur Beheizung und Warmwasserbereitung häufig 2400 jährliche Volllaststunden angesetzt. Für diesen Fall ergibt sich für die Standardverfüllung eine notwendige **Sondenlänge von knapp 163 m**. Die **spezifische Entzugsleistung beträgt 46 W/m**.

Mit verbessertem Verfüllmaterial reduziert sich die Sondenlänge um knapp 12% von 163 m auf **144 m**. Die **spezifische Entzugsleistung beträgt nun 52,2 W/m**.

Um die Auswirkungen von Verfüllmaterialien und Jahresbetriebsstunden auf die notwendige Erdwärmesondenlänge darzustellen, wurden mehrere Simulationsberechnungen mit Earth Energy Designer durchgeführt. Ausgehend von einem Basisszenario (Modellbeispiel 1, 1800 h), für das eine 150 m tiefe Sonde benötigt wird, wurden um ca. 12-13% geringere Sondenlängen für verbessertes Verfüllmaterial und 8 – 10 % höhere Sondenlängen für 2400 Jahresbetriebsstunden ermittelt. Die spezifischen Entzugsleistungen liegen zwischen 46 und 57 W/m.

Die Erdwärmesonde, die als Wärmetauscher dient, ist für zwei grundlegende Erfordernisse auszulegen:

- Maximale Heizlast/Kühlleistung für eine kurze Zeit an extrem kalten bzw. extrem heißen Tagen. Hierbei darf die maximale Temperaturabsenkung (Heizbetrieb) bzw. der maximale Temperaturanstieg (Kühlbetrieb) nach VDI 4640 nicht überschritten werden.
- Langfristige Stabilität des Systems bzw. nachhaltige thermische Bewirtschaftung des Untergrundes. Der natürliche Wärmetransport im Untergrund ist entscheidend für die Thermische Regeneration im Untergrund.

Bei der Auslegung von Erdwärmesondenfeldern für größere Anlagen oder ganze Wohngebiete kommen essentielle zusätzliche Parameter wie Abstand zwischen den einzelnen Sonden und Anordnung der Sonden hinzu, deren Einfluss nur durch detaillierte EDV-Simulationen z.B. mit Earth Energy Designer zu ermitteln sind.

Die exemplarischen Untersuchungsergebnisse zeigen, dass der Untergrund in Weil im Schönbuch zur Nutzung der Erdwärme über Erdwärmesonden geeignet ist.

7 Fördermittel für Erdwärmennutzungen

Die Nutzung geothermischer Anlagen und die Installation von Wärmepumpen und Wärmetauschern wird über diverse KfW-Programme, teils mit Zuschüssen und teils mit zinsgünstigen Darlehen gefördert (CO₂-Gebäudesanierung, Niedrigenergiehaus im Bestand, Wohnraum modernisieren, Öko plus, Ökologisch Bauen).

Darüber hinaus können über das Landesprogramm „Wohnen mit Zukunft – Erneuerbare Energien“ die Zinssätze der KfW-Programme „Ökologisch Bauen“ und „Wohnraum modernisieren“ nochmals verbilligt werden.

Im Rahmen des Marktanreizprogrammes **„Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien im Wärmemarkt“** werden Sole-Wasser- und Wasser-Wasser-Wärmepumpenanlagen (Erdwärmesonden- u. Brunnenanlagen) in Neubau mit bis zu EUR 2000,-- und im Gebäudebestand mit bis zu EUR 3000,-- je Wohneinheit gefördert (Basisförderung). Bei Wohngebäuden mit mehr als zwei Wohneinheiten und bei Nichtwohngebäuden ist die Förderung für Neubauten auf 10% und für den Gebäudebestand auf 15% der Nettoinvestitionskosten begrenzt. Wenn Jahresarbeitszahlen von mindestens 4,7 in Neubau bzw. 4,5 im Bestandsbau nachgewiesen werden, so erhöhen sich die Fördersätze und Fördergrenzen um 50%. Eine Kumulierung mit anderen öffentlichen Fördermitteln ist zulässig. Für Kombinationen mit Solarthermieanlagen wird ein sog. Kombinationsbonus von pauschal EUR 750,-- gewährt.

Die EnBW Energie Baden-Württemberg AG fördert Eigentümer von Ein- bis Zweifamilienhäusern (Heizwärmebedarf bis 17 kW) mit EUR 510,-- pauschal. Hierbei ist es unerheblich, ob der Antragsteller Kunde bei der EnBW ist oder nicht. Darüber hinaus werden z.T. herstellereitig Zuschüsse gewährt. Als weiterer Anreiz geothermische Energie einzusetzen bzw. als Lenkungsmittel für den bevorzugten Einsatz geothermischer Energie kann eine eventuelle kommunale Förderung in Betracht gezogen werden.

Die Gemeinde Weil im Schönbuch hat die Möglichkeit u.a. über das Landessonderprogramm „Der Jugend Räume schaffen“ (für Sporthallen, Jugendzentren etc.) oder das Bund-Länder Programm „Investitionspaket energetische Erneuerung sozialer Infrastruktur“ (z.B. für Kindergärten, Schulen) Fördermittel zu erhalten.

Daneben werden durch das o.g. Marktanreizprogramm die Erschließung und Nutzung der Tiefengeothermie für die thermische Nutzung (ab 400 m Bohrtiefe) über vier voneinander unabhängige Förderbausteine sowie die Errichtung von Nahwärmenetzen, sofern Wärme aus Wärmepumpen und/oder solarunterstützten Erdwärmespeichern gespeist wird, gefördert.

8 Kostenabschätzung einer Erdwärmesondenanlage für ein EFH mit ca. 200 m² Wohnfläche

Nach den derzeitigen Marktpreisen ist für einen Neubau mit ca. 200 m² beheizter Wohnfläche bei einem Heizwärmebedarf von ca. 10 kW und einer Entzugsleistung von ca. 7,5 – 8 kW mit Kosten von ca. EUR 10.500 – 12.000 (inkl. MwSt.) für die kompletten Geländearbeiten zu rechnen (Bohrarbeiten, Sondeneinbau u. Verpressung, Queranbindung, Verteiler mit Schacht). Für eine entsprechend dimensionierte Wärmepumpe sind Kosten von ca. EUR 10.000 anzusetzen.

Berücksichtigt man für einen Neubau die Einsparung des Kamins und im Falle einer Ölheizung des Tankraums (bzw. eventuell Gasanschluss) sowie die deutliche Verkleinerung des üblichen Heizraumes, ist mit Mehrkosten von ca. EUR 6.500 – 7000,-- gegenüber einer Ölheizung zu rechnen.

Die Betriebskosten schwanken deutlich zwischen vollgedämmten Neubauten und nachgerüsteten Altbauten. Für einen wärmegeprägten Neubau werden häufig jährliche Stromkosten von max. ca. EUR 600,-- genannt. Die Stromkosten für Heizung und Warmwasser betragen für einen nachgerüsteten Altbau ca. EUR 700,--.

Gegenüber einer Ölheizung ergeben sich im Neubau jährliche Einsparungen von ca. EUR 1100 bis 1150,--, so dass sich eine Erdwärmesondenanlage in ca. 6 Jahren amortisiert hat (Ölpreis EUR 0,75/l). Hierbei sind die EUR 2000,-- Förderung des Marktanreizprogrammes und die pauschal EUR 510,-- von der EnBW noch nicht berücksichtigt.

Bei bestehenden Gebäuden mit einem Heizwärmebedarf von ca. 10 kW (bei 80 W/m² = 125m²) können Einsparungen z.B. für den Bau eines Kamines – wie im Neubau – nicht berücksichtigt werden, so dass die Mehrkosten mit etwa EUR 8500 – 9000,-- zu veranschlagen sind. Daher beträgt die Amortisationszeit in diesem Fall ca. 9 Jahre. Berücksichtigt man die entsprechenden Fördermittel von insgesamt ca. EUR 3000,-- verkürzt sich die Zeitspanne entsprechend.

Für nachhaltige Wirtschaftlichkeitsanalysen ist der gesamte Lebenszyklus einzelner Versorgungsvarianten zu berücksichtigen. Entscheidend für eine angemessene Bewertung ist die Wahl eines hinreichend langen Betrachtungszeitraumes sowie die Berücksichtigung von Energiepreissteigerungen.

9 Potentialstudie Gemarkung Weil im Schönbuch

9.1 Technische Potentiale der oberflächennahen Geothermie

Die Energiedichte pro Fläche kann sinnvollerweise nur auf die Siedlungsfläche in Weil im Schönbuch angewendet werden, da eine Nutzung der oberflächennahen geothermischen Potentiale nur in unmittelbarer Nähe des Verbrauchers sinnvoll ist.

Daher wird im Folgenden nicht auf das theoretische Potential, bezogen auf die Gesamtfläche der Weiler Gemarkung, eingegangen (26,13 km²).

Wie viel Energie dem Untergrund entzogen werden kann, hängt im Wesentlichen vom Nutzungsverfahren, der Wärmeleitfähigkeit des Gesteins, den Grundwasser-Verhältnissen und dem geothermischen Gradienten ab.

Die ermittelten spezifischen Entzugsleistungen für Weil im Schönbuch liegen nach den Modellrechnungen aus Kapitel 6.1 zwischen 46 und 57 W/m. Bei der Nutzung über Grundwasserwärmepumpen kann bei einer Entnahmemenge von 0,50 l/s mit einem Wärmeentzug von ca. 6 kW kalkuliert werden. Im Folgenden werden die Potentiale auf der Grundlage der häufigsten Nutzungsart, den Erdwärmesonden berechnet. Für eine konservative Abschätzung der Potentiale wird von einem Mittelwert der Wärmeentzugsleistung von 50 W/m ausgegangen.

Die Siedlungsfläche beträgt in Weil im Schönbuch ca. 1,9 km². Wollte man das gesamte nutzbare Potential dem oberflächennahen Gestein entziehen, müsste die gesamte Siedlungsfläche mit EWS in einem Raster von ca. 20 m versehen werden. Hieraus errechnen sich 4.850 Erdwärmesonden (ca. 3400 Weil inkl. Roter Berg und Bild; ca. 650 Neuweiler; ca. 800 Breitenstein). Bei einer Entzugsleistung von 50 W/m ergibt sich ein **jährliches Potential** (2000 Volllaststunden) von **48,50 Mio. kWh** bei Sondenlängen von 100 m bzw. bis zu 194 Mio. kWh bei Sondenlängen von 400m.

Hier zeigt sich die spezifische Schwierigkeit der Potentialabschätzung für geothermische Energie. Die Länge der Sonde bzw. die Anzahl der Sondenmeter wird für einen konkreten Standort aus dem Heizwärmebedarf, den Untergrundtemperaturen und den Wärmeleitfähigkeiten der anstehenden Gesteinsschichten berechnet. Die Sondenlängen sind folglich variabel. Darüberhinaus wird die Abgrenzung der oberflächennahen Geothermie zu sog. Mittleren Tiefen nicht einheitlich geregelt. In Anlehnung an die Definition der Geothermischen Vereinigung wird in der vorliegenden Studie die Erdwärmennutzung bis 400 m Tiefe als oberflächennah betrachtet.

Analog zur Potentialübersicht der erneuerbaren Energien in der Region Hegau/Bodensee bzw. für die Gemarkungen Metzingen und Schönaich, soll hier der Versuch einer realistischen Potentialabschätzung unter bestimmten Vorannahmen getroffen werden.

Praktische Herangehensweise: In der Schweiz wurden innerhalb weniger Jahre mehr als 20.000 EWS installiert. Dies zeigt, dass in relativ kurzer Zeit oberflächennahe geothermische Potentiale erschlossen werden können. Umgerechnet über die Einwohnerzahl (Nov. 2007 = 10002) würde das für Weil im Schönbuch ca. 27 EWS entsprechen. Bei einer Länge von 100 m und einer Entzugsleistung von 50 W/m sowie 2.000 Volllaststunden ergibt dies ein Potential von **270.000 kWh**. Tatsächlich wurden in den letzten knapp 3 Jahren in Weil im Schönbuch 26 Erdwärmesonden installiert.

Theoretische Herangehensweise: In Weil im Schönbuch gibt es ca. 2150 Wohngebäude. Mit dem geplanten Neubaugebiet „Steinweg-Süd“ und der Neubebauung des ehem. Sägewerk Braun kommen noch ca. 55 Wohngebäude dazu und es dürften somit ca. 2205 Wohngebäude sein. Dazu kommen noch ca. 70 Betriebsgebäude und ca. 40 öffentliche Gebäude.

Da die Beheizung mittels Erdwärmesonde nur in Gebäuden mit relativ geringem Heizwärmebedarf bzw. in modern gedämmten Gebäuden Sinn macht, wird davon ausgegangen, dass nur jedes 10. Gebäude entsprechend nachgerüstet wird und vorwiegend Neubauten für eine Erdwärmenutzung in Frage kommen. Aus den bestehenden Erdwärmenutzungen der Tabelle 1, S. 9 ergeben sich durchschnittlich ca. 220 Sondenmeter bzw. zwei Sonden pro Gebäude. Gebäude mit mehreren Wohnungen bzw. Betriebsgebäude werden entsprechend mit mehreren Sonden versehen. Demnach werden ca. 450 Erdwärmesonden mit den vorgenannten Annahmen eingebaut (100 m Sondenlänge), was einem Potential von **4,5 Mio kWh** entspricht.

Das in absehbarer Zeit realistische Potential dürfte für das **bestehende Siedlungsgebiet** irgendwo dazwischen liegen. In der Potentialübersicht wird ein Wert von **2,3 Mio kWh** aufgenommen.

Legt man für das geplante Neubaugebiet „Steinweg-Süd“ 44 Wohngebäude mit je 150 m² beheizter Wohnfläche zugrunde, so ergibt sich bei einer Beheizung der Gebäude mit Erdwärme eine Entzugsleistung von 264 kW bzw. eine jährliche Entzugsarbeit von **528.000 kWh**.

Allein durch eine eventuelle Umsetzung der Wärmeversorgung für das geplante Wohngebiet Steinweg-Süd mit Erdwärme erhöht sich das ermittelte Potential von ca. **2,3 Mio kWh** auf ca. **2,8 Mio kWh**.

Eine Nachrüstung der 64 Gebäude der „Schaichhofsiedlung“ mit Erdwärme ergibt bei einer geschätzten durchschnittlichen Wohnfläche von 120 m² pro Gebäude und einem Heizwärmebedarf von 80 W/m² beheizte Wohnfläche (Voraussetzung: gedämmtes Dach und neue Fenster) eine potentielle Entzugsleistung von 491 kW bzw. eine jährliche Entzugsarbeit von **982.000 kWh**.

9.2 Tiefe Erdwärmesonden

Das Prinzip der mehr als 400 m tiefen Erdwärmesonde wurde Anfang der 90er Jahre erstmals in der Schweiz erprobt. Damals wollte man alte Bohrungen z.B. aus der Erdöl- und Erdgassuche weiternutzen.

Im Rietberg-Varendel/ Ostwestfalen wurde 1997 in einer 490 m tiefen Bohrung eine Erdsonde eingebracht und mit einem geschlossenen Rohrleitungssystem verbunden. Am tiefsten Punkt der Bohrung beträgt die Temperatur 27°C. In der Erdsonde wird das zirkulierende Wasser ohne chemische Zusätze vorerwärmt und in Verbindung mit einer 45 kW-Wärmepumpe auf das zur Beheizung notwendige Temperaturniveau angehoben.

Seit 1994 wird in Prezlau (Brandenburg) eine fast 3000 m tiefe EWS unter Nutzung einer schon vorhandenen Bohrung betrieben. Die gewonnene Energie wird in das Fernwärmenetz der Stadtwerke eingespeist. Um das Temperaturniveau auf das der Fernwärme anzuheben ist eine Wärmepumpe zwischengeschaltet.

In Verbindung mit Niedertemperaturheizungen kann ab Temperaturen von 35-40°C auf eine Wärmepumpe verzichtet werden. Das in der tiefen EWS erhitzte Wasser liefert seine Energie über Wärmetauscher in den Gebäuden ab und kehrt dann abgekühlt in die Tiefe zurück, um sich dort erneut zu erwärmen und den Kreislauf zu wiederholen.

In Weil im Schönbuch ist in ca. 500 m Tiefe eine Temperatur von ca. 30°C und in 1000 m Tiefe von ca. 55°C zu erwarten, so dass eine Erdwärmennutzung mit tiefen Erdwärmesonden zwischen 500 und 1000 m Tiefe über Wärmetauscher möglich ist. Das technische Potential tiefer Erdwärmesonden dürfte in der Größenordnung der oberflächennahen Erdwärmesonden liegen.

In der Potentialübersicht (Tab. 3, S. 28) wird ein Wert von **2,3 Mio kWh** aufgenommen.

9.3 Hydrothermale Geothermie

In 800 bis 2500 m Tiefe findet man in Deutschland vielerorts warmes bis heißes Wasser mit Temperaturen von 30 bis 100°C. Mit den Verfahren der hydrothermalen Geothermie können diese Thermalwasserlagerstätten genutzt werden.

Geothermische Heizzentralen können überall dort betrieben werden, wo es Thermalwasservorkommen gibt. Am häufigsten wird das System einer Doublette angewendet. Hierzu wird aus dem Grundwasser (Aquifer) über eine Bohrung heißes Wasser entnommen, an der Oberfläche ausgekühlt und wieder in die Grundwasser führende Schicht zurückgepresst. Die gewonnene Wärmeenergie wird in Fern- oder Nahwärmenetze eingespeist.

Eine derartige Anlage nahm im November 2007 im rheinland-pfälzischen Landau ihre Arbeit auf. Dort sind die Bedingungen für die Nutzung der Erdwärme besonders günstig. Schon ab Tiefen von 2500 m hat das Wasser eine Temperatur von 150°C. Basis der Anlage sind zwei Bohrungen, die bis in eine Tiefe von knapp 3000m reichen. Daraus wird Thermalwasser von ca. 160°C gefördert. Dieses Wasser wird zuerst zur Stromerzeugung verwendet. Die restliche Wärme, 70 – 80°C, wird anschließend in das Fernwärmenetz eingespeist.

Um eine geothermische Heizzentrale wirtschaftlich betreiben zu können, braucht man möglichst hohe Fördermengen und Temperaturen des Thermalwassers sowie Abnehmer vor Ort, da ein Transport der Wärme über längere Strecken unwirtschaftlich wird. Neben der normalen Gebäudeheizung sollten weitere Nutzungen des geförderten Wassers als Trinkwasser und Heilwasser oder zum Betrieb von Gewächshäusern o.ä. angestrebt werden.

Wie bereits erwähnt ist in Weil im Schönbuch mit einer Temperatur von mindestens 50°C in 1000 m Tiefe u. Geländeoberkante zu rechnen.

Die günstigsten Bedingungen zur Nutzung einer geothermischen Heizzentrale in Weil im Schönbuch bestehen, aufgrund des meist höheren Grundwasserdargebotes in der Nähe von Zerrüttungszonen, im Bereich der westlichen Fortsetzung der sog. Totenbachmulde, beispielsweise im südlichen Teil des geplanten Baugebietes Steinweg-Süd.

In ca. 320 – 340 m unter Geländeoberkante ist mit Thermalwasser aus dem oberen Muschelkalk zu rechnen. Aufgrund der Tiefenlage kann eine Wassertemperatur von ca. 23-25°C prognostiziert werden. In ca. 540 m bis 700 m unter Geländeoberkante ist mit Thermalwasser aus den Schichten des Buntsandsteines zu rechnen. Analog zur Thermalwasserbohrung Böblingen kann in der Nähe einer Zerrüttungszone, im Vergleich zu anderen Buntsandstein-Bohrungen mit relativ hohen Ergiebigkeiten von bis zu ca. 20 l/s gerechnet werden. Die Wassertemperatur beträgt ca. 36°C. In ca. 970 m u. GOK kann etwa 50°C warmes Thermalwasser aus dem kristallinen Grundgebirge erwartet werden.

In Analogie zu den Potentialstudien Hegau/Bodensee und Metzingen wird die seit Mitte 1999 bestehende geothermische Heizzentrale in Straubing als Maßstab zur Abschätzung des Potentials in Weil im Schönbuch herangezogen. Die Doublettenbohrung in Straubing fördert aus 800 m Tiefe 38° warmes Thermalwasser, das durch Wärmepumpen auf das dort erforderliche Temperaturniveau von 70°C gebracht wird.

Orientiert man sich an dem erfolgreichen Vorbild Straubing (6 MW Heizleistung), so kann mit einer oder mehreren Doublettenbohrungen eine Wärmeleistung von 5 – 10 MW installiert werden. Dies entspricht bei 2000 Volllaststunden pro Jahr einer Entzugsarbeit von 10.000 bis 20.000 MWh. Falls neben der Gebäudeheizung weitere Nutzungsmöglichkeiten bestehen, wie z.B. die Nutzung in Treibhäusern, die direkte

Nutzung als Thermalwasser bzw. die Beheizung von Schwimmbädern und als Prozesswärme, erhöht sich der Jahresnutzungsgrad (ca. 4000 Volllaststunden) und damit die Entzugsarbeit auf 20.000 bis 40.000 MWh.

In die Übersicht aufgenommen wird ein Potential von 15.000 MWh = 15 GWh.

9.4 Tiefe Geothermie, Hot-Dry-Rock Verfahren

Ein Kubikkilometer heißes Gestein liefert bei Abkühlung von 200 auf 100°C genug Energie, um 30 Jahre lang ein Heizkraftwerk mit einer thermischen Leistung von 300 MW zu bedienen. Der dabei erzeugte Strom reicht für eine Stadt mit 150.000 Einwohnern.

Ein Verfahren zur Wärme- und Stromgewinnung aus den heißen, meist trockenen Tiefengesteinen ist das Hot-Dry-Rock Verfahren (HDR). Dabei wird durch eine Injektionsbohrung kaltes Wasser in den heißen Untergrund gepresst. Dort heizt es sich auf und wird durch eine zweite Bohrung an die Erdoberfläche und schließlich zu einer Turbine geleitet. Zwischen den Bohrungen werden mit Wasserdruck Fließwege aufgebrochen oder vorhandene aufgeweitet. Die Zirkulation in HDR-Systemen erfolgt in einem geschlossenen Kreislauf. Dieser steht so unter Druck, dass das Sieden des Wassers verhindert wird. Dampf entsteht in einem zweiten Kreislauf erst an der Turbine.

Das HDR-Verfahren entscheidend voran gebracht haben die Forscher 1994 – 1997 im europäischen HDR-Projekt Soultz sous Forêts im Elsaß. Über zwei 450 m entfernte Bohrungen konnte in einer Tiefe zwischen 2800 und 3800 m eine wasserwegsame Verbindung auf Rissen und Klüften geschaffen und eine grundsätzliche Eignung des Verfahrens nachgewiesen werden. In dieser Tiefe wurde ein unterirdischer Wärmetauscher mit einer Größe von mehr als 3 km² in Betrieb genommen. Im Verlauf der viermonatigen Testzirkulation konnte eine maximale thermische Leistung von 11 MW erbracht werden. 1999 wurden in einer Tiefe von 5000 m Gesteinstemperaturen von 200°C erreicht.

Die Wärmeanomalie mit Zentrum bei Bad Urach war der Grund, dort bereits ab Ende der siebziger Jahre Forschungsarbeiten zur Entwicklung des Hot-Dry-Rock Verfahrens aufzunehmen. 1992 wurde die 1977/78 begonnene Bohrung Urach 3 auf 4400 m vertieft und man erreichte damit Temperaturbereiche um 175°C. Die Tiefbohrung Urach 3 ist der bisher am besten untersuchte HDR-Standort in Deutschland in großen Tiefen.

Zur Errichtung einer HDR-Pilotanlage in Bad Urach mit ca. 1 MW Leistung wurde bereits 2003 der erste Teil des für die Errichtung eines HDR-Kraftwerkes notwendigen unterirdischen Kluftsystemes erfolgreich getestet. Die zweite Bohrung (Urach 4) wurde Anfang Mai 2004 bei rund 2800 m Tiefe aus Geldmangel unterbrochen.

Eine eventuelle geothermische Anlage mit HDR-Technologie in Weil im Schönbuch sollte im Verbund mit Böblingen-Sindelfingen angedacht werden.

Tab. 3: Übersicht der geothermischen Potentiale in der Region

	Oberflächennah	Niedrigthermal	HDR-Verfahren
Einsatzzweck	Wärme Wärmespeicher	Wärme	Strom Wärme
Technologie	Erdwärmesonden erdberührende Bauteile Grundwasser- wärmepumpe	Tiefbohrung tiefe Erdwärmesonde Doublette Wärmetauscher Wärmepumpe Erdwärmenetz	Tiefbohrung Wärmetauscher Turbine Erdwärmenetz
Geologische Voraussetzungen	wärmeleitfähiges Gestein oberflächennahe Grundwasserleiter	Grundwasserleiter	kristallines Grundgebirge
Teufenniveau	geringe Teufen bis 400 m	mittlere Teufen 400 m – 1000 m	große Teufen 3000 m – 5000 m
Temperatur	10 – 35°C	30 – 65°C	160 – 200°C
Nutzungsmöglichkeit	nahezu standort- unabhängig, Siedlungsflächen	geeignete Standorte nachfrageseitig	nahezu standort- unabhängig nachfrageseitig
Potentiale	2 - 3 GWh	15 GWh (zzgl. 2,3 GWh tiefe EWS)	200 GWh und 40 GWh elektr.

10 Zusammenfassung und abschließende Bemerkungen

Die geothermischen Verhältnisse wurden auf der Grundlage der geologischen Grunddaten, der eigenen Bohrerergebnisse und ergänzenden Schichtenverzeichnissen des LGRB sowie aufgrund von EDV-Simulationsberechnungen beschrieben und beurteilt. Die Angaben beruhen daher auf dem erarbeiteten geologischen Normalprofil für Weil im Schönbuch und den festgelegten Rand- bzw. Grundbedingungen.

Die exemplarischen Untersuchungsergebnisse zeigen, dass der Untergrund in Weil im Schönbuch zur Nutzung der Erdwärme über Erdwärmesonden geeignet ist.

Die mittleren Wärmeleitfähigkeiten bis 300 m unter Geländeoberkante für die Schichtlagerung in Weil liegen rein konduktiv zwischen 2,20 und 2,34 W/mK.

Um die Auswirkungen von Verfüllmaterialien und Jahresbetriebsstunden auf die Erdwärmesondenlängen darzustellen, wurden mehrere EDV-Simulationsberechnungen mit „Earth Energy Designer“ durchgeführt. Ausgehend von einem Basisszenario (10 kW Heizleistung, 1800 Jahresbetriebsstunden), für das eine 150 m tiefe Sonde benötigt wird, wurden um ca. 12-13% geringere Sondenlängen für verbessertes Verfüllmaterial und 8 – 10 % höhere Sondenlängen für 2400 Jahresbetriebsstunden ermittelt. Die ermittelten spezifischen Entzugsleistungen liegen zwischen 46 und 57 W/m.

Das in absehbarer Zeit realistische Potential der oberflächennahen Geothermie dürfte für das **bestehende Siedlungsgebiet** bei ca. **2,3 Mio kWh** jährlicher Entzugsarbeit liegen.

Legt man für das geplante Neubaugebiet „Steinweg-Süd“ 44 Wohngebäude mit je 150 m² beheizter Wohnfläche zugrunde, so ergibt sich bei einer Beheizung der Gebäude mit Erdwärme eine Entzugsleistung von 264 kW bzw. eine jährliche Entzugsarbeit von **0,53 Mio. kWh**.

Allein durch eine eventuelle Umsetzung der Wärmeversorgung für das geplante Wohngebiet Steinweg-Süd mit Erdwärme erhöht sich das ermittelte Potential von ca. **2,3 Mio. kWh** auf etwas über **2,8 Mio. kWh**.

Eine Nachrüstung der 64 Gebäude der „Schaichhofsiedlung“ mit Erdwärme ergibt bei einer geschätzten durchschnittlichen Wohnfläche von 120 m² pro Gebäude und einem Heizwärmebedarf von 80 W/m² beheizte Wohnfläche (Voraussetzung: gedämmtes Dach und neue Fenster) eine potentielle Entzugsleistung von 491 kW bzw. eine jährliche Entzugsarbeit von knapp **1,0 Mio. kWh**. Dieses Potential wurde nicht zum übrigen Potential hinzuaddiert, da eine komplette Umrüstung auf Erdwärme nicht realistisch erscheint.

Bei der Auslegung von Erdwärmesondenfeldern für ganze Wohngebiete kommen grundlegende zusätzliche Parameter wie Abstand zwischen den einzelnen Sonden und

Anordnung der Sonden zum Tragen, deren Einfluss nur durch detaillierte EDV-Simulationen z.B. mit „Earth Energy Designer“ zu ermitteln sind. Falls eine Versorgung des Neubaugebietes „Steinweg-Süd“ mit Erdwärme präferiert wird, sollten für konkrete Vorplanungen des Gebietes bei zwei Baufenstern in den Eckbereichen als Planungsgrundlage Bohrungen zur Vor-Ort-Bestimmung der vorhandenen effektiven Wärmeleitfähigkeiten und der ungestörten Untergrundtemperaturen durchgeführt werden. Da die Messungen an fertig eingebauten und verpressten Erdwärmesonden durchgeführt werden, die später Bestandteil des Sondenfeldes sind, muss hierfür keine zusätzliche Bohrung ausgeführt werden.

Sollten sich während der weiteren Planungen Verhältnisse ergeben, die von den im Gutachten beschriebenen abweichen, so ist der Gutachter erneut zu einer Beurteilung aufzufordern. Darüberhinaus ist der Gutachter zu einer ergänzenden Stellungnahme aufzufordern, wenn sich Fragen ergeben, die im vorliegenden Gutachten nicht oder aber abweichend erörtert wurden.

Gungl Bohrgesellschaft mbH

Schönaich, den 03. November- 2008

Dipl.-Geol. Eric. Moegle

Erwin Gungl (Geschäftsführer)

Sebastiano Ragusa (Geschäftsführer)

Quellen- und Literaturübersicht:

Erneuerbare Energien in der Region Hegau/Bodensee, Übersicht der technisch verfügbaren Potentiale.- solarcomplex GmbH, Singen, 2002

IKZ Energie Heft 1/2, Strobel Verlag (Februar 2008);
Jürgen Brück: Perspektiven der tiefen Geothermie

Leitfaden zur Nutzung von Erdwärme mit Erdwärmesonden.- Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg, Stuttgart, Mai 2005

Loose, Peter (2007): Erdwärmenutzung, Versorgungstechnische Planung und Berechnung, C.F. Müller Verlag, Heidelberg

Moegle, E. (2009): Erd- und gebäudeseitige Rahmenbedingungen eines 1974 in Schönaich (Kreis Böblingen) errichteten Erdwärmesondenfeldes mit fünf Koaxialsonden – ein Beitrag zur Geschichte der oberflächennahen Geothermie in Europa.- Jber. Mitt. Oberrhein. Geol. Ver., N. F. **91**, Stgt. (im Druck)

Moegle, E. & Ragusa, S. (2008): Flächendeckende geothermische Analyse mit Potentialstudie für die Gemarkung Schönaich. – 30 S.; Schönaich (unveröffentlicht)

Paschen, H.; Oertel, D. & Grünwald, R. (2003): TAB- Arbeitsbericht Nr. 84; Möglichkeiten geothermischer Stromerzeugung in Deutschland –Sachstandsbericht.- Deutscher Bundestag; Ausschuss für Bildung, Forschung und Technikfolgenabschätzung, Berlin

Potentialstudie Erneuerbare Energien Metzingen.- Arbeitskreis Klima und Energie Metzingen, 2004

Reuß, M. & Sanner, B. (2002): Planung und Auslegung von Erdwärmesondenanlagen: Basis einer nachhaltigen Erdwärmenutzung, VDI- Richtlinien 4640 und Berechnungsverfahren

Symposium Geothermie – Erdwärme; Chancen und Grenzen einer regenerativen Energie.-Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg, Stuttgart 1997

Tenzer, H. (1998): Auf dem Weg zu neuen Kraftwerken: Machbarkeitsstudie zur Durchführung eines Hot-Dry-Rock-Erdwärme-Demonstrationsvorhabens am Standort Bad Urach (HDR-Projekt).-Geothermische Energie 22/23, 6. Jahrgang / Heft 2/3, Geeste

Tholen, M. & Walker-Hertkorn, S.: Arbeitshilfen Geothermie – Grundlagen für oberflächennahe Erdwärmesondenbohrungen.- wvgw, Bonn, 2008

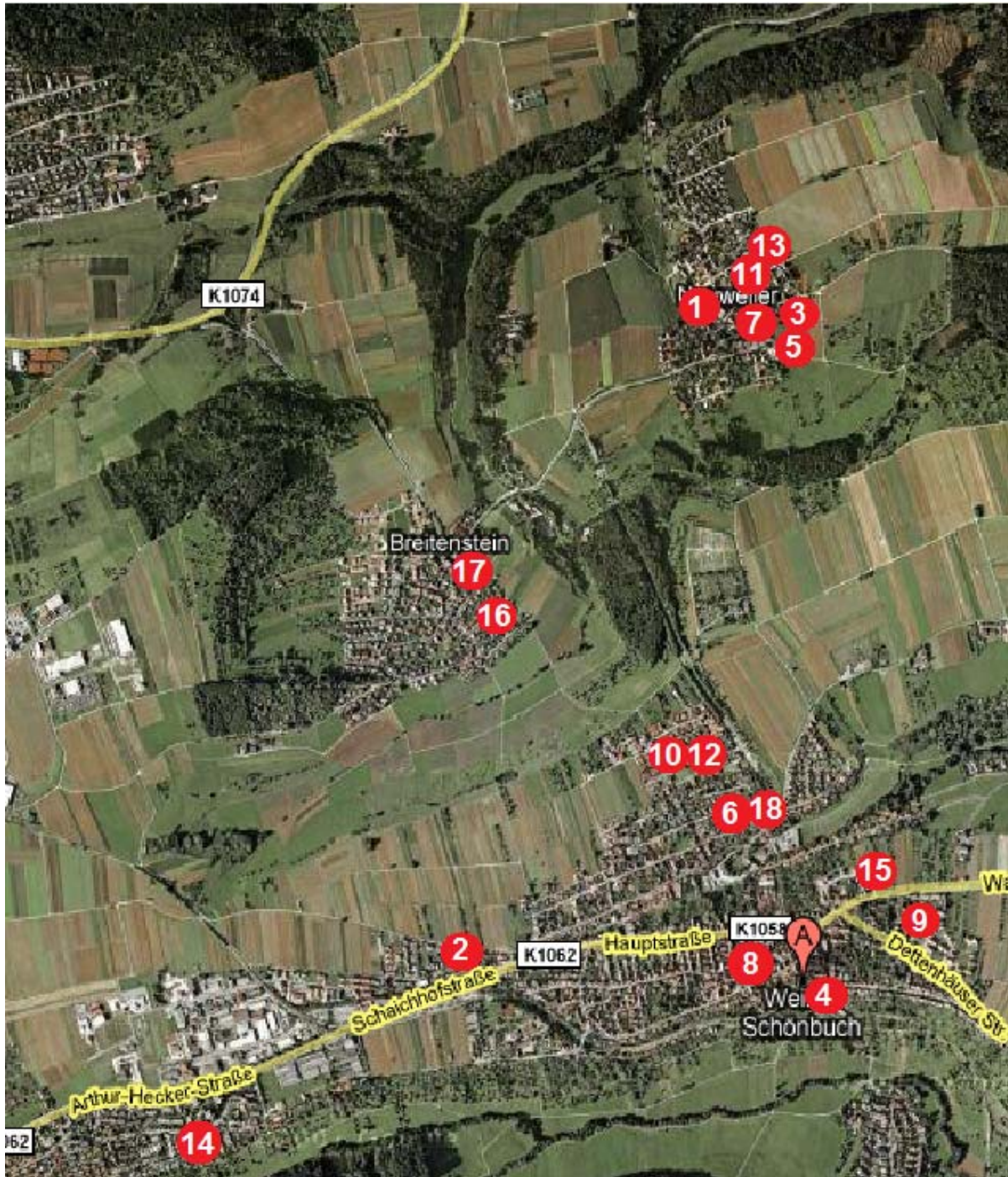
Verband Beratender Ingenieure: VBI-Leitfaden Oberflächennahe Geothermie.- VBI Schriftenreihe Band 18, 1. Auflage Oktober 2008, Berlin

Verzeichnis der Anlagen

Anlage 1: Lageplan der Erdwärmesonden in Weil im Schönbuch

Anlage 1

Lageplan der Erdwärmesonden in Weil im Schönbuch



Notizen:

**Flächendeckende Geothermische
Analyse
mit Potentialstudie
für die
Gemarkung Weil im Schönbuch**

November 2008

Auftraggeber:

Gemeinde Weil im Schönbuch
Bürgermeisteramt
Marktplatz 3

71 093 Weil im Schönbuch

Auftragnehmer:

Gungl Bohrgesellschaft mbH
Humboldtstraße 2/1
71 272 Renningen

Zweigbüro Schönaich
Robert-Bosch-Straße 10
71101 Schönaich
Telefon: 0 70 31 / 46 64 01
Telefax: 0 70 31 / 46 77 51
info@gungl-gmbh.de

Inhaltsverzeichnis	Seite
1	Vorbemerkungen 1
2	Einführung in die Nutzung geothermischer Energie 2
2.1	Nutzungsarten der Erdwärme 2
3	Oberflächennahe Geothermie 3
3.1	Erdwärme in Deutschland und Baden-Württemberg 7
3.2	Erdwärmennutzung in Weil im Schönbuch 8
4	Geologie in Weil im Schönbuch 10
4.1	Auswertung der geologischen Grunddaten aus geologischen Karten und Erläuterungen 10
4.2	Hydrogeologie und Geothermie 12
4.3	Abweichende Ergebnisse aus eigenen und weiteren Aufschlussdaten 13
5	Geologisches Normalprofil für Weil im Schönbuch 13
6	Ermittlung der mittleren Wärmeleitfähigkeit im Untergrund 15
6.1	Vorbemessung von Erdwärmesonden mit Earth Energy Designer für Gebäude mit 10 kW Heizwärmebedarf 17
7	Fördermittel für Erdwärmennutzungen 21
8	Kostenabschätzung einer Erdwärmesondenanlage für ein EFH mit ca. 200 m² Wohnfläche 22
9	Potentialstudie Gemarkung Weil im Schönbuch 23
9.1	Technische Potentiale der oberflächennahen Geothermie 23
9.2	Tiefe Erdwärmesonden 25
9.3	Hydrothermale Geothermie 25
9.4	Tiefe Geothermie, Hot-Dry-Rock Verfahren 27

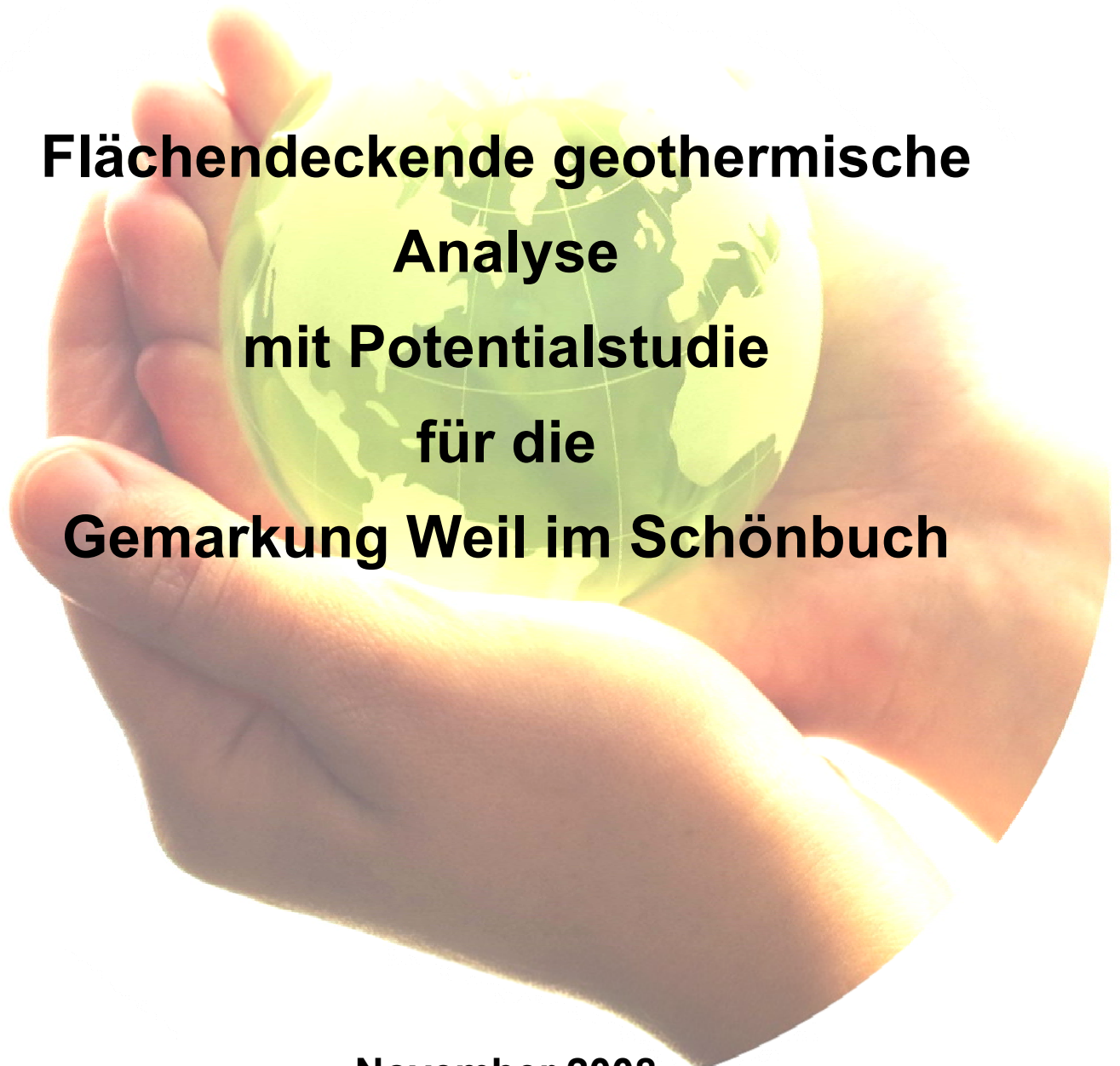
10 Zusammenfassung und abschließende Bemerkungen	29
---	-----------

Verzeichnis der Abbildungen	Seite
Abb. 1: Lageplan Temperaturen in 300 m u. GOK	4
Abb. 2: Temperaturverlauf der Sole über 25 Betriebsjahre	18
Abb. 3: Temperaturverlauf der Sole im 25. Betriebsjahr	18

Verzeichnis der Tabellen	Seite
Tab. 1: Erdwärmennutzungen in Weil im Schönbuch	8
Tab. 2: Abschätzung der mittleren Wärmeleitfähigkeiten	15
Tab. 3: Übersicht der geothermischen Potentiale in der Region	28

Verzeichnis der Anlagen

Anlage 1: Lageplan der Erdwärmesonden in Weil im Schönbuch



**Flächendeckende geothermische
Analyse
mit Potentialstudie
für die
Gemarkung Weil im Schönbuch**

November 2008
