

„Kaltes Nahwärmenetz“
für das Neubauwohngelbiet „Bachtobel“ in der
Gemeinde Kressbronn am Bodensee

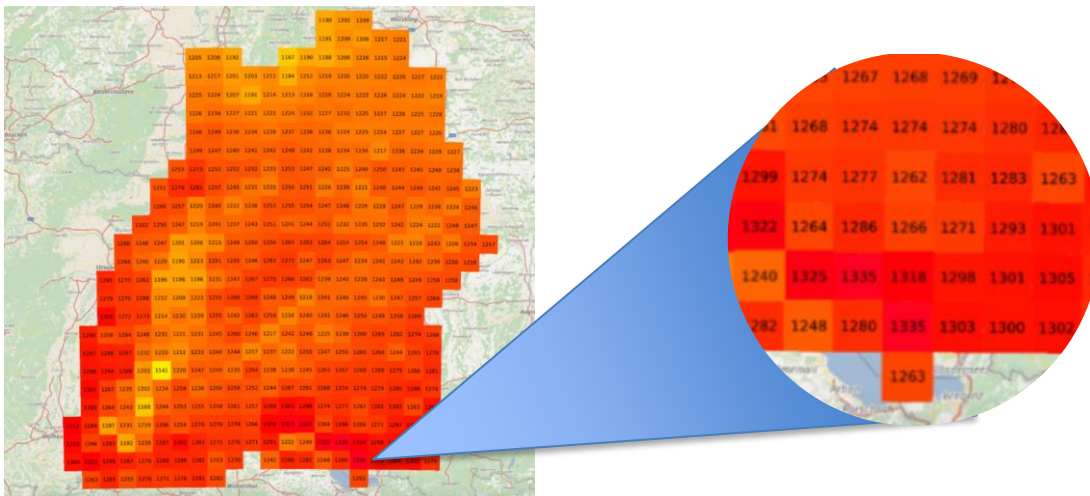
regenerative Energiequellen und Gegebenheiten
vor Ort (Erzeugerseite)

Terra Consulting GmbH
Wilhelmstr. 19
73230 Kirchheim unter Teck

solare Strahlungsenergie

Ziel der Gemeinde Kressbronn ist es, eine nachhaltige und CO₂-freie bzw. möglichst CO₂-arme Energieversorgung im Neubaugebiet sicherzustellen. Das Energiekonzept sieht deshalb die Nutzung der solaren Strahlungsenergie vor.

Die zur Verfügung stehende Strahlungsenergie ergibt sich im ersten Schritt aus dem Energieatlas des Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft des Land Baden-Württemberg.¹ Der Solaratlas ergibt für das nordöstliche Bodenseeufer eine maximale jährliche Solareinstrahlung von ca. 1.300 kWh/m² (siehe nachfolgende Abbildung) aus. In den weiteren Berechnungen wird konservativ von einer mittleren jährlichen Solareinstrahlung von 1.000 kWh/m² ausgegangen.



Laut Bebauungsplan (Fassung vom 24.11.2021, Arbeitsstand 29.10.2021) sind sämtliche im Neubaugebiet errichtete Gebäude mit Flachdächern zu realisieren.

Es ist außerdem vorgesehen, dass im allgemeinen Wohngebiet und in allen weiteren wohnlich genutzten Gebäuden des vorliegenden Bebauungsplans die nutzbaren Dachflächen der Gebäude und baulichen Anlagen innerhalb der überbaubaren Grundstücksflächen (ausgenommen Tiefgaragen) zu mindestens 80% mit Photovoltaikmodulen zur Nutzung der einfallenden solaren Strahlungsenergie auszustatten (Solarmindestfläche) sind. Die im Gebiet festgesetzte Solarpflicht ist vorrangig auf die lokale Stromerzeugung ausgerichtet. Ersatzweise können anstelle von Photovoltaikmodulen zur Belegung der verbindlichen Solarmindestfläche ganz oder teilweise Solarwärmekollektoren errichtet werden.

Zur Bestimmung der Dachflächen, die für die Nutzung von Solarenergie zur Verfügung steht, wird von der aus dem aktuellen Stand des Bebauungsplans ermittelten Grundfläche der Gebäude ausgegangen. Durch Dachaufbauten wie Lüftungsanlagen, Aufzugschächte, Schornsteine sowie die technischen Rahmenbedingungen bei der Installation der Module kann nicht die gesamte Dachfläche genutzt werden. Es wird deshalb von einer technisch nutzbaren Dachfläche von 80 % der Gesamtdachfläche bzw. der Gebäudegrundfläche ausgegangen. Dies entspricht auch den Mindestanforderungen der im Bebauungsplan vorgeschriebenen Fläche.

Die folgende Tabelle zeigt die zur Verfügung stehende nutzbare Fläche, die sich für die unterschiedlichen Gebäudetypen und das gesamte Quartier ergibt.

	Bezeichnung	Anzahl Gebäude im Quartier	Solare Nutzung vorgeschrieben	Dachfläche / Gebäudegrundfläche	nutzbare Dachfläche 80 %
G1	Kinder- und Familienzentrum	1	nein	1.065 m ²	852 m ²
G2	Ärztehaus	1	nein	386 m ²	309 m ²
G3	Feuerwehr, DRK	1	nein	1.429 m ²	1.143 m ²
W1	Einfamilienhäuser / Kettenhäuser	29	ja	97 m ²	78 m ²
W2	Mehrfamilienhäuser / gen. WB	11	ja	310 m ²	248 m ²
W3	EG Gewerbe, OG Wohnen	1	ja	357 m ²	286 m ²
	Summe Quartier	44		9.460 m²	7.568 m²

Tabelle: nutzbare Dachflächen im Quartier

Zur Nutzung der Solarenergie kommen verschiedene Technologien und damit verbundene Nutzungsformen in Frage.

Photovoltaik:

Mittels Photovoltaik-Anlagen (PV-Anlagen) wird die solare Strahlungsenergie in elektrischen Strom umgewandelt. Hierzu werden PV-Module auf den Dächern der Gebäude installiert. Da die solare Einstrahlung nicht regelbar ist, unterliegt die Stromerzeugung starken jahres- und tageszeitlichen Schwankungen. Über Einstrahlungsprofile muss dies in einer Simulation entsprechend berücksichtigt werden.

Bei der Planung sind des Weiteren die Anforderungen des Bebauungsplans zum Beispiel in Bezug auf die Dachbegrünung, Abstände zu Dachkanten und Beschaffenheit der Module zu berücksichtigen.

Eine zusätzliche Option, um die installierte PV-Leistung und somit die Stromerzeugung zu erhöhen, stellen Fassadenmodule dar, welche an den Gebäudefassaden, an Geländern oder Balkonen befestigt werden.

Weiteres und auch weitaus größeres PV-Potenzial könnte sich aus der Erschließung einer landwirtschaftlichen Fläche ergeben, die unmittelbar an das Neubaugebiet grenzt. Hier könnten Photovoltaik-Freiflächenanlagen entstehen. Die Frage, ob und in welchem Umfang dies möglich ist, befindet sich noch in der Klärung.

Geothermie

Geothermie bezeichnet thermische Energie, die innerhalb der Erde gespeichert ist. Daher ist sie auch als Erdwärme bekannt. Im Bereich der Gebäudeversorgung ist zu unterscheiden zwischen Geothermie aus oberflächennahen Bereichen in ca. 10 bis 15 m Tiefe und tieferliegenden Bereichen in ca. 120 bis 150 m Tiefe.

Oberflächennahe Geothermie

Zur Wärmegewinnung aus oberflächennahen Bereichen kommen Flächenkollektoren oder Brunnenanlage in Frage.

Flächenkollektoren

Flächenkollektoren sollten nach der VDI 4640 in 1,2 - 1,5 Metern Tiefe und mit einem Abstand von 50-80 cm eingebaut werden. Da die Regeneration von Erdwärmekollektoren hauptsächlich durch Sonneneinstrahlung und Niederschlag erfolgt, sollten die Kollektoren auch grundsätzlich nicht überbaut werden oder unter versiegelten Flächen liegen. Die Wärmegewinnung aus Flächenkollektoren kommt im Neubaugebiet Bachtobel nicht in Frage, da ein Großteil der zur Verfügung stehenden Fläche mit Gebäuden bebaut wird und des keine ausreichende Fläche zur Verlegung der Kollektoren verbleibt. Auch ansonsten stehen in der näheren Umgebung keine langfristig nutzbaren größeren Flächen zur Verfügung.

Brunnen

Die oberflächennahen geologischen Verhältnisse sind hinreichend bekannt, da Baugrund Süd auf besagtem Areal bereits eine Baugrunderkundung durchgeführt hat. Hierbei wurden u.a. zwei Grundwassermessstellen auf einer Höhe von 414,8 m ü. NN und 413,4 m ü. NN mit Tiefen von jeweils 12 m u. GOK hergestellt.

Der geologische Schichtenaufbau ist wie folgt zusammen zu fassen:

Unter einer geringmächtigen Verwitterungsdecke aus größtenteils Schluff liegen Talkiese. Hierbei handelt es sich um gut durchlässige Kiese mit einer relativ geringen Mächtigkeit von ca. 1 - 2,6 m. Die Oberkante der Talkiese befindet sich ca. 412,7 – 413,5 m ü. NN. Unterlagend folgen ca. 1 m mächtige Talsande und bis mindestens zur Erkundungstiefe Beckensande und -schluffe, deren Oberkante auf 410,7 – 412,1 m ü. NN liegt. Deren Durchlässigkeit ist aufgrund des hohen Schluffanteils als eher mäßig bis gering einzustufen.

Der Grundwasserspiegel lag zum Zeitpunkt der Erkundung bei 411,8 m ü. NN und 411,4 m ü. NN. Die Tertiäroberkante wurde in keiner der Bohrungen erkundet. Diese ist einer Tiefe von ca. 358 – 370 m ü. NN zu erwarten. Der Grundwasserfluss wird nach Südwesten

gerichtet eingeschätzt. Allgemein sind in Kressbronn eher Grundwassergeringleiter mit lokalen grundwasserführenden Einschaltungen zu erwarten.

Vor diesem Hintergrund, und insbesondere der geringen Mächtigkeit der gut durchlässigen Kiesschichten, wird von einem erhöhten Erschließungsrisiko ausgegangen. Es ist wahrscheinlich, dass die vorhandene Grundwasserführung nicht ausreichend ist, um eine thermische Brunnenanlage zu betreiben. Ein weiteres Risiko, das sich auf den Betrieb der Anlage bezieht, stellt die Hydrochemie des Grundwassers dar. Bei ungünstigen Bedingungen kann es zu einer frühzeitigen Alterung der Brunnenanlage durch beispielsweise Verockerung kommen.

Aus energetischer Sicht interessanter als die oberflächennahen Bereiche sind die etwas tiefer liegenden Schichten. Aus diesen Bereichen lassen sich höhere Temperaturen gewinnen und es treten deutlich geringere jahreszeitliche Schwankungen der Temperatur auf.

Tieferliegende Geothermie

Erdsonden

Für die Gewinnung von Wärme aus tieferliegenden Bereichen kommen Erdsonden zum Einsatz. Um die mögliche Quellenleistung solcher Sonden im Baugebiet zu untersuchen, wurde im Dezember 2021 eine Probebohrung in Verbindung mit einem so genannten Thermal Response Test (TRT) und einer Simulation durchgeführt. Müssen, wie im vorliegenden Vorhaben, Heizlasten von mehr als 30 kW abgedeckt werden, sollte laut VDI 4640 ein TRT durchgeführt werden, die die spezifische Entzugsleistung einer Erdwärmesonde stark von den vorhandenen Standortbedingungen wie Gesteinsart und Grundwasserregime beeinflusst wird. Gemäß den Leitlinien „Qualitätssicherung Erdwärmesonden“ vom Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg ist die Erdwärmesonde so zu betreiben, dass ein Einfrieren des Untergrunds und damit eine Frost-Tauwechsel-Beanspruchung der Ringraumabdichtung nicht erfolgt². Die Einhaltung dieser Vorgaben kann ebenfalls mit dem TRT nachgewiesen werden.

Der TRT ist ein Messverfahren gemäß DIN EN ISO 17628 zur Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit von Boden und Fels als Grundlage für die Dimensionierung und Auslegung von Erdwärmeanlagen. Zusätzlich werden die ungestörte Untergrundtemperatur und der thermische Bohrlochwiderstand bestimmt. Die ungestörte Untergrundtemperatur besitzt einen signifikanten Einfluss für die zu planende geothermische Anlage. Bei der Anlagendimensionierung stellt sie den Ausgangswert zur Bestimmung der relevanten zulässigen Fluidtemperaturen einer Anlage dar. Anhand des Temperaturprofils können des Weiteren Bereiche im Untergrund erkannt werden, welche durch den Zustrom von Grundwasser beeinflusst werden.

Für die Durchführung des TRT wurde eine 140 m tiefe Probebohrung auf dem Untersuchungsgebiet durchgeführt und eine Erdwärmesonde platziert. Diese kann später in das Sondenfeld integriert werden, sodass dadurch kaum Mehrkosten entstehen.

Während des Tests wurden eine Umwälzpumpe und ein Heizelement sowie Sensoren zur Aufzeichnung der Vor- und Rucklauftemperaturen an die in die Probebohrung abgeteufte Sonde angeschlossen. So konnte über einen Messzeitraum von 3 Tagen eine definierte Wärmemenge über die Erdwärmesonde auf das umgebende Gestein übertragen werden.

² (Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg 2018)

Die „Antwort“ des Erdreichs (thermal response) wurde dann gemessen. Diese ist charakteristisch für die anstehenden Gesteine und ermöglicht die Berechnung verschiedener thermodynamischer Parameter für das Umfeld der Erdwärmesonde. Dazu zählen z.B. die Wärmeleitfähigkeit, die spezifische Wärmekapazität, die ungestörte mittlere Erdreichtemperatur und der thermische Bohrlochwiderstand. Diese dienen als wichtigste Eingangsparameter in Simulationsprogrammen zur Berechnung des thermischen Verhaltens von Sondenfeldern. Außerdem kann die spezifische Entzugsleistung sowie das saisonale Verhalten der Soletemperatur über einen Simulationszeitraum von z.B. 25 Jahren ermittelt werden.

Im Ergebnis der Testarbeiten konnte über die Sondenlänge von 140 m eine effektive Wärmeleitfähigkeit von 2,2 W/mK ermittelt werden, welche dem Erwartungswert der tiefengemittelten Wärmeleitfähigkeit für das Bohrprofil entspricht. Die Wärmeleitfähigkeit ist der entscheidende geothermische Parameter, nach welchem Anlagen konzipiert werden. Sie ist die wesentliche Einflussgröße auf die Größe der Erdwärmeanlage. In der nachfolgenden Abbildung sind die Literaturwerte für die Wärmeleitfähigkeit der angetroffenen Gesteine gemäß dem Schichtverzeichnis (grau) am Standort dargestellt. Des Weiteren ist die tiefengemittelte Wärmeleitfähigkeit (türkis) sowie das Ergebnis der TRT (rot) vergleichend gegenübergestellt.

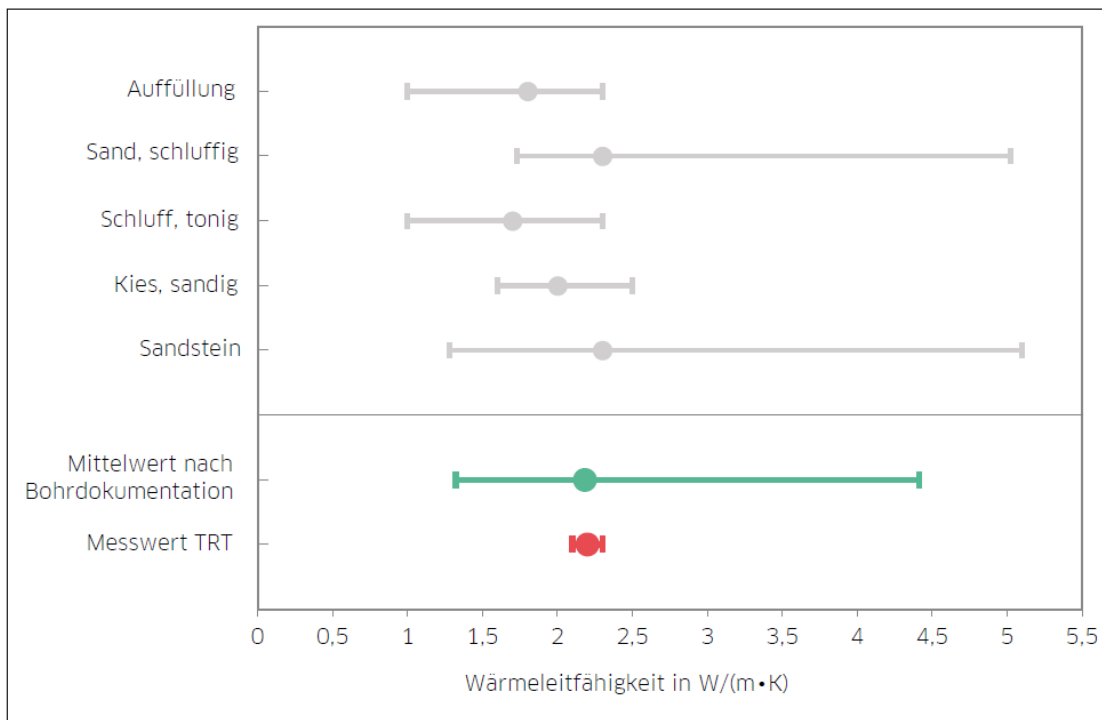


Abbildung: Wärmeleitfähigkeit und Vergleich in Bezug auf die Bodenbeschaffenheit

Für die Sondenanlage wurde des Weiteren unter Berücksichtigung der Testergebnisse ein thermischer Bohrlochwiderstand von 0,08 K/W/m ermittelt. Der thermische Bohrlochwiderstand beschreibt den Wärmeübergang zwischen dem Fluid in der Sonde und der Bohrlochwand. Der Bohrlochwiderstand ermöglicht eine qualitative Aussage zur Güte der Anbindung der Erdwärmesonde an das umgebende Erdreich. Dies lässt Rückschlüsse auf die Qualität der Verpressung zu.

Die vor Testbeginn erfasste mittlere ungestörte Untergrundtemperatur beträgt am Standort 13,2 °C. Diese wurde über eine Tiefe von 133 m erfasst. Die ungestörte Untergrundtemperatur wird zur Dimensionierung des Sondenfeldes und zur Bestimmung des thermischen

Bohrlochwiderstandes benötigt. Eine hohe Untergrundtemperatur ermöglicht eine größere Temperaturabsenkung und damit eine Effektivitätssteigerung im Betrieb der Anlage.³

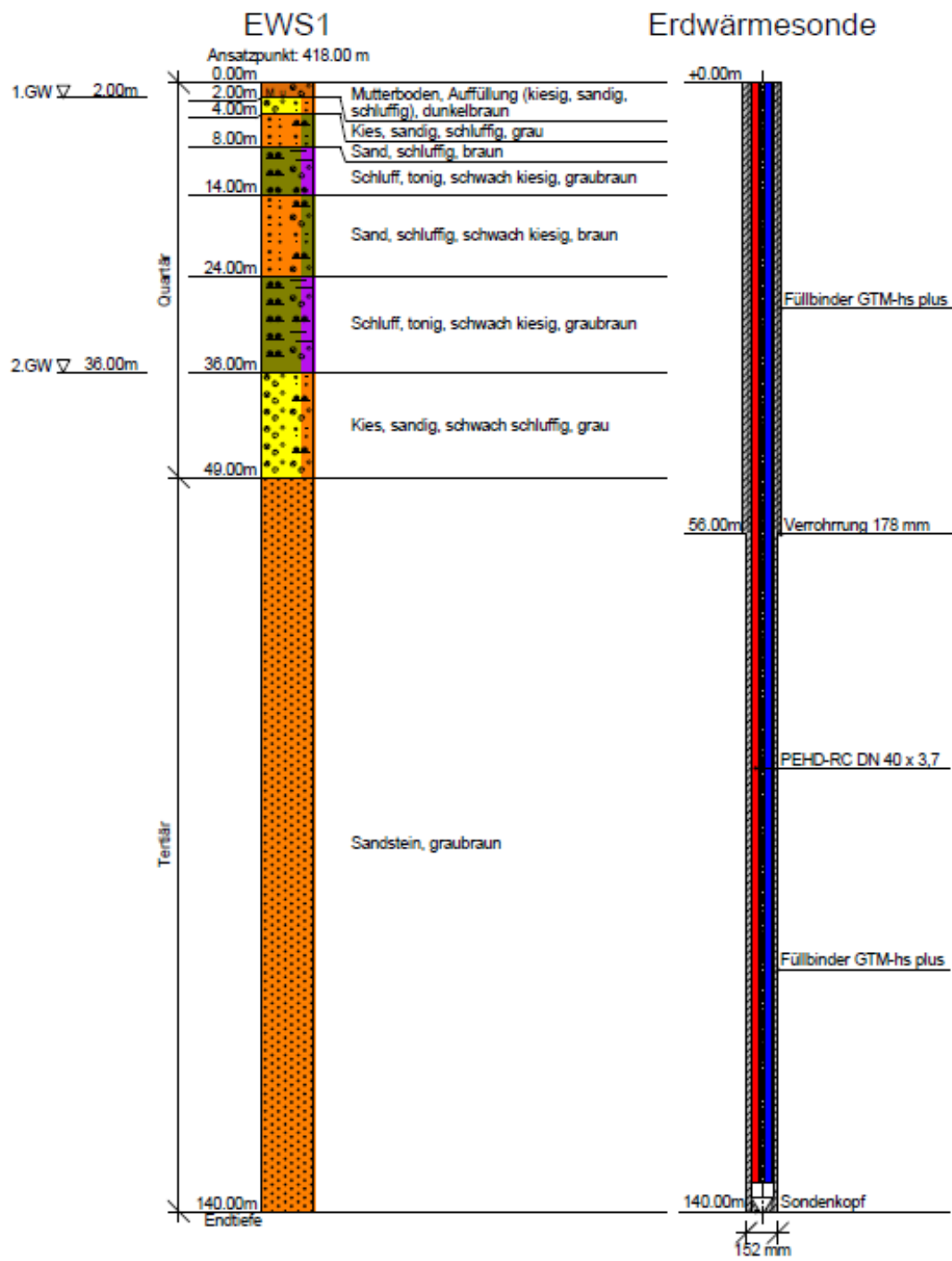
Als abschließendes Ergebnis des TRT lässt sich festhalten, dass die Gewinnung von Erdwärme über Erdwärmesonden im untersuchten Gebiet sehr gut möglich ist. Aus diesem Grund erfolgt in einer Simulation und weiteren Berechnungen eine Auslegung des Erdwärmesondenfeldes. Die Simulation gibt des weiteren Rückschlüsse zu den Vor- und Rücklauf-temperaturen sowie zur Wärmemenge, die dem Erdreich entzogen werden kann.

Folgende Abbildung zeigt den Schichtenaufbau im Boden, in welchem die Probebohrung sowie der TRT stattgefunden haben. In den oberen Schichten des Erdreichs finden sich der Mutterboden und darunterliegend Schichten aus Kies, Sand und Schluff. Ab einer Bodentiefe von 50 m besteht der Boden aus reinem graubraunen Sandstein.

³ (geoENERGIE Konzept GmbH 2021)

BauGrund Süd
 Gesellschaft für Geothermie mbH
 Zeppelinstraße 10
 88410 Bad Wurzach

Projekt : Tettlinger Straße / Friedrichshafener Straße, 88079 Kressbronn
 AZG 2102020/EMa/MP
 Anlage: 2
 Maßstab: 1: 650 / 1: 25



GW nach Bohrende nicht feststellbar - abverbohrt

Abbildung: Schichtenaufbau des untersuchten Erdreichs