

iBEG-mbH · Pfortenteich 5 · 99974 Mühlhausen

Unsere Leistungen:

- Geotechnische Untersuchungen im Labor und in situ
- Erkundung und Beschreibung des Baugrundes
- Prüfleistungen im Erd-, Grund- und Straßenbau, RAP-Zulassung: A1, A3, A4, H1, H3, I3
- Grundbaustatik
- Geotechnisches Messwesen
- Erschütterungsmessungen nach DIN 4150
- Bodendynamische Untersuchungen und Beratung
- Anker- und Verpresspfahlprüfungen
- Geohydrolog. und geothermische Untersuchung

Ihr Zeichen, Ihre Nachricht vom

Unser Zeichen, unsere Nachricht vom
17911/24/igTelefon, Name
GoA/LudDatum
14.03.2025

Hydrogeologisches Gutachten

Auftr.-Nr. 17911/24/ig

Bericht Nr. 01 - Vorbericht

Bauvorhaben: Vorhabenbezogener Bebauungsplan Nr. VEP - 38
„Solarthermie und Geothermie nordwestlich der Stadtwerke“
99974 Mühlhausen

Auftraggeber: Stadtwerke Mühlhausen GmbH
Windeberger Landstraße 73
99974 Mühlhausen

Planungsbüro: Planungsbüro Dr. Weise
Kräuterstraße 6
99974 Mühlhausen

Dieser Bericht umfasst die Seiten 1 bis 10.

Geschäftsführer:
Dr.-Ing. A. Gotschol
Dipl.-Ing. Steffen Stolze
Amtsgericht Jena, HRB 405587

Sparkasse Unstrut-Hainich
Konto: 511025874; BLZ: 82056060
IBAN: DE61 8205 6060 0511 025874
BIC: HELADEF 1 MUE

Commerzbank Mühlhausen
Konto: 559303300; BLZ: 82040000
IBAN: DE36 8204 0000 0559 3033 00
BIC: COBADEFFXXX

Inhaltsverzeichnis

Unterlagenverzeichnis.....	2
1 Veranlassung.....	3
2 Topographische Einordnung des B-Plan Gebietes.....	4
2.1 Geologie	4
2.2 Hydrogeologie	6
3 Bewertung der hydrogeologischen Situation im Hinblick auf die Errichtung von Erdwärmesonden	8
3.1 Grundwasserstände und Bohrtiefe	8
3.2 Sulfathaltiges Gebirge vs. Verpressmaterial	8
3.3 Ableitung und Versickerung von Niederschlagswasser	9
4 Empfehlungen zu weitergehenden Untersuchungen.....	10

Unterlagenverzeichnis

Für die Erstellung des vorliegenden Berichtes wurden folgende Unterlagen verwendet:

- [U 1] Topographische Karte, Blatt 4728-SO Mühlhausen (Thüringen), Maßstab 1:10.000
- [U 2] Geologische Karte Blatt 4728 Mühlhausen, Maßstab 1:25.000
- [U 3] Planungsbüro Dr. Weise
- Vorentwurf: Städtebauliche Begründung nach §9 Abs. 8 BauGB, Begründung Teil I, Stand Juni 2024
 - Vorentwurf: Städtebauliche Begründung nach §9 Abs. 8 BauGB, Begründung Teil II, Umweltbericht mit integriertem Grünordnungsplan und Artenschutzbeitrag Stand März 2024
- [U 4] Stadtwerke Mühlhausen
- Vorstellung Vorentwurf Solarthermie nordwestlich der Stadtwerke, Stand August 2024
 - Ergebnis der frühzeitigen Beteiligung VEP Nr. 38 gesamt, Stand September 2024
- [U 5] www.thueringenviewer.de
- [U 6] www.atares.thueringen.de
- [U 7] www.bgr.bund.de

1 Veranlassung

Die Stadtwerke Mühlhausen GmbH plant die Errichtung einer Solarthermieranlage inklusive Geothermie im nordwestlichen Stadtrandgebiet. In diesem Zuge ist für den Standort eine Umnutzung der betroffenen, überwiegend als landwirtschaftliche genutzte Flächen hin zu einem Sondergebiet „Großsolarthermieranlage inklusive Geothermie“ vorzunehmen. Planungsseitig wurde dazu bereits der Vorhabenbezogener Bebauungsplan Nr. VEP-38 als Vorentwurf erstellt [U 3]. Der Geltungsbereich umfasst die Flurstücke 109/6 tlw., 82/2; 82/3; 83/3; 83/2; 84; 85; 86; 87; 88; 110/2 tlw. der Flur 16 der Gemarkung Mühlhausen. Die gesamte Vorhabensfläche beträgt 34.560 m². Im Sondergebiet ist neben der Errichtung der Solarmodule die Errichtung von Erdwärmesonden mit Tiefen von bis zu 140 m vorgesehen.

Im Rahmen der Beteiligung der Träger öffentlicher Belange wurde die in Unterlage [U4] aufgeführten Stellungnahmen des Thüringer Landesamtes für Umwelt, Bergbau und Naturschutz vorgelegt. In den Stellungnahmen wird die hydrogeologische Begutachtung zum Standort gefordert. Mit der Erarbeitung des hydrogeologischen Gutachtens wurde die iBEG mbH von der Stadtwerke Mühlhausen GmbH beauftragt.

Das vorliegende Gutachten wurde zum überwiegenden Teil auf der Grundlage einer Kartenrecherche zu den geologischen und den hydrogeologischen Verhältnissen sowie über online Abfragen von öffentlichen Bohrdatenbanken erarbeitet.

In Ermangelung direkter Aufschlussbohrungen, welche die geplante Tiefe der Erdwärmesonden erschließen, ist das vorliegende hydrogeologische Gutachten als Vorbericht anzusehen. Planungsseitig ist zur direkten Erschließung der geologischen und hydrogeologischen Situation das Abteufen mehrerer Probebohrungen vorgesehen.

2 Topographische Einordnung des B-Plan Gebietes

Der geplante Standort des B-Plan Nr. VEP-38 liegt im nordöstlichen Stadtrandgebiet von Mühlhausen und wird aktuell überwiegend landwirtschaftlich genutzt. Darüber hinaus teilt sich die restliche Vorhabensfläche in Gartengrundstücke und Wegeparzellen auf. Der Standort grenzt im Süden an eine ehemalige Deponie an. Östlich befinden sich überwiegend Gartenparzellen sowie ein Neubauwohngebiet. Im Norden sowie im Westen grenzen landwirtschaftliche Nutzflächen (Acker) an den Standort an.

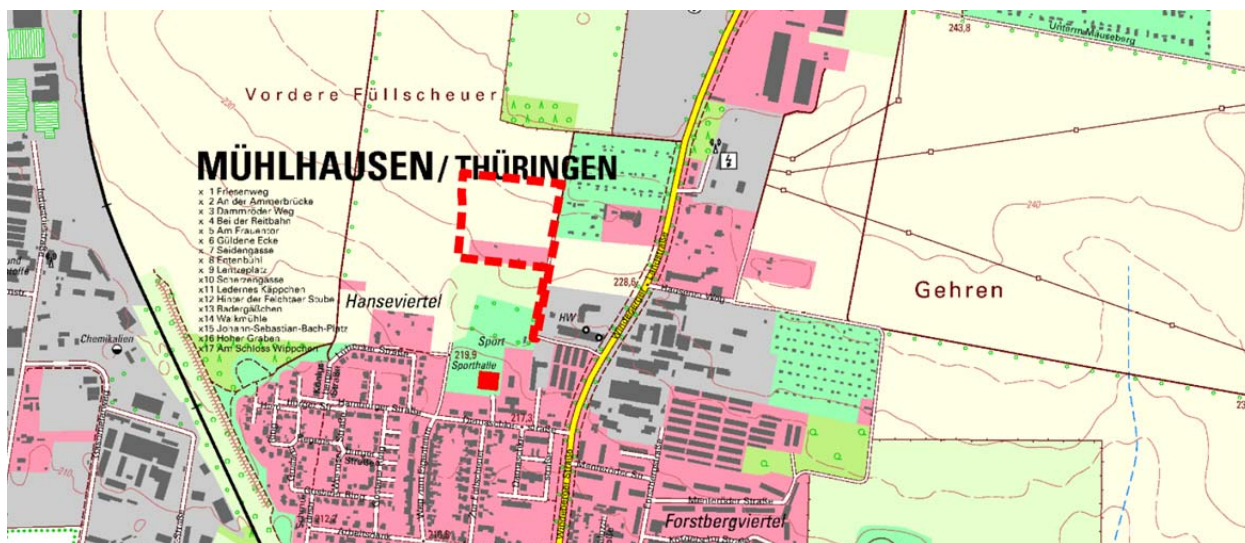


Abbildung 2: Lageplan des B-Plan Gebietes VEP-38 [U 4]

Weitere Angaben zum Standort:

- Topographische Karte Blatt 4728-SO Mühlhausen (Thüringen)
- Koordinaten (UTM) bezogen auf den ungefähren Standortmittelpunkt
 - Ost = 32 60 26 30 Nord = 56 75 970
- das Gelände am Standort fällt von Nordost nach Südwest leicht ein
- die Geländehöhe am Standort beträgt zwischen ca. 225 bis 240 m NHN
- als nächstgelegener Vorfluter fließt die „Unstrut“ ca. 1200 m südlich von West nach Ost

2.1 Geologie

Zur Bewertung der geologischen Situation im Untergrund wurden geologische Karten mit Erläuterungen [U 2], online Kartenwerke [U 6] sowie Bohrdaten angrenzender Aufschlussbohrungen aus öffentlichen Bohrdatenbanken [U 7] ausgewertet.

Die oberflächennahe Geologie zeichnet sich durch pleistozäne Lockergesteinssedimente aus zunächst bindigem Lößlehm sowie nachfolgend Terrassenschotter ab. Unterlagert werden diese Schichten von den Sedimenten des **Mittleren Keupers**, bestehend aus Tonstein bzw. Tonmergelstein sowie Gipssedimenten der Grabenfeld Formation (Unterer Gipskeuper). Die innerhalb dieses Schichtkomplexes anzutreffenden sulfathaltigen Gesteine sind als stark lösungsfähig einzustufen. Dies begünstigt Auslaugungen sowie die Bildung von unterirdischen Hohlräumen bzw. Auflockerungszonen.

In der weiteren Abfolge wird der Mittlere Keuper vom **Unteren Keuper**, bestehend aus Ton- und Mergelsteinen mit Kalk- und Dolomitsteinen sowie untergeordnet Sandstein, abgelöst.

Im Liegenden des Unteren Keupers folgen die Ceratiten- und Trochitenkalksteine des **Oberen Muschelkalks** an die sich die Schichten des **Mittleren Muschelkalks** anschließen. Die Schichten des Mittlere Muschelkalks sind gips- und anhydrithaltig sowie z.T. salzhaltig, sodass infolge von Subrossionsvorgängen Karsthohlräume wahrscheinlich sind.

Die in Tabelle 1 aufgeführten Bohrdaten einiger an das Projektgebiet angrenzender Aufschlüsse [U 7] zeigen die maximale Aufschlusstiefe und soweit erkundet die Unterkanten der jeweiligen stratigraphischen Einheiten.

Tabelle 1 Schichtdaten umliegender Bohrung [U 7]

Bezeichnung Bohrung	Entfernung zum Baufeld	Höhe [m NHN]	Endtiefe [m] / [m NHN]	Mittlerer Keuper bis [m] / [m NHN]	Unterer Keuper bis [m] / [m NHN]	Oberer Muschelkalk bis [m] / [m NHN]	Mittlerer Muschelkalk bis [m] / [m NHN]
Ig Mh 1/1982	350 m südöstl.	225,56	20,0 / 205,56	> 20,0 / < 205,56	n.a.		
Gt Mh 1/2009	550 m südwestl.	214,81	67,0 / 147,81	> 67,0 / < 147,81	n.a.		
HY MH 1/1973	1100 m nordöstl.	247,00	45,0 / 202,00	> 45,0 / < 202,00	n.a.		
HY MH 3/1975	1100 m nordwestl.	224,00	43,5 / 180,50	30,0 / 194,00	> 43,5 / < 180,50	n.a.	
GT Mh 2/2022	1250 m westlich	215,48	100,0 / 115,48	28,0 / 187,48	80,0 / 135,48	> 100 / < 115,48	n.a.
Kal Amr 1/1976	1600 m nordwestl.	224,00	1061,5 / -837,5	k.A.	41,5 / 182,5	106,0 / 118,0	177,5 / 46,5
E Mh 19/1959	1900 m nordöstl.	268,3	1105 / -836,7	n.a.	42,0 / 226,3	107,0 / 161,3	186,0 / 82,3

n.a. – nicht aufgeschlossen; k.A. – keine Angaben

Die ausgewählten Bohrungen besitzen bereits einen relativ hohen Abstand zum Baufeld. Daher ist eine Ableitung der Schichtgrenzen am unmittelbaren Standort nur schätzungsweise abzugeben.

Bei Betrachtung der beiden Tiefenbohrung (>1000m) fällt eine vergleichsweise hohe Übereinstimmung der Schichtmächtigkeit der jeweiligen Einheiten auf. Unter schätzungsweiser Annahme der Unterkante des Mittleren Keupers am direkten Standort zwischen 140 und 215 m NHN kann mittels der Mächtigkeiten der unterlagernden geologischen Einheiten nachfolgendes Untergrundmodell abgeleitet werden.

Schichtunterkante in m NHN	stratigrafische Einheit
<u>untere bis obere Schätzung</u>	<u>(Mächtigkeit am Standort)</u>
140 bis 215	Mittlerer Keuper (ca. 25 bis 100 m)
90 bis 165	Unterer Keuper (ca. 50 m)
25 bis 100	Oberer Muschelkalk (ca. 65 m)
-50 bis 25	Mittlerer Muschelkalk (ca. 75 m)

Bei einer Planungsseitig vorgegeben maximalen Einbindetiefe der Erdwärmesonden von 140 m unter GOK ergibt sich eine Absetztiefe von ca. 85 bis 100 m NHN. Daraus ergibt sich eine wahrscheinliche Einbindung der Erdwärmesonden bis in die Schichten des Unteren Keupers bzw. des Oberen Muschelkalks. Aufgrund der nur groben Abschätzung ist jedoch das Erreichen der Schichten des Mittleren Muschelkalks ebenso möglich, wenn auch unwahrscheinlicher. Eine genauere Einschätzung kann erst nach dem Abteufen der vorgesehenen Probebohrungen vorgenommen werden. Entscheidend ist die Mächtigkeit des Mittleren Keupers am Standort. Mit der oder den Probebohrungen sollte die Unterkante des Mittleren Keupers sowie des Unteren Keupers im direkten Aufschluss mindestens erkundet werden. Sollte Beim Erreichen der Unterkante des Unteren Keupers die Teufe von 140 m noch nicht erreicht sein, können die Ceratitenkalksteine mittels Hammerbohrung in Kombination mit einem Strukturlog untersucht werden.

2.2 Hydrogeologie

Die hydrogeologische Situation ist durch die Lage des Standorts in der Hanglage geprägt. In dieser ist ein ausgepegelter oberflächennaher Grundwasserhorizont generell nicht vorhanden. Dieser ist erst weiter südwestlich / südlich mit dem Einsetzen der Unstrut-Aue zu erwarten.

Ein tieferliegender Grundwasserhorizont ist nach der Karte der Grundwassergleichen in einer Tiefe von ca. 212 bis 219 m NHN zu erwarten. Im Bereich des geplanten Sondengebietes ist danach mit einem Grundwasseranschnitt in einer Tiefe von 15m bis 25 m unter der Geländeoberfläche zu rechnen. [U 6]



Abbildung 2: Karte der Grundwassergleichen mit Grundwasserfließrichtung [U7]

Die Grundwasserfließrichtung folgt der Morphologie am Standort und ist nach Südwest gerichtet, siehe Abbildung 2. Die Grundwasserführung ist dabei von dem vorherrschenden Kluft- und Trennflächengefüge, wie auch von möglichen Auflockerungen und Karsthohlräumen im Festgestein abhängig und kann kleinräumig stark variieren. Aufgrund der gering durchlässigen Ton- und Mergelsteinschichten ist mit gespannten Grundwasserständen zu rechnen. In den tieferen Schichten des Oberen Muschelkalks und im Mitterlen Muschelkalk, können sogar artesisch gespannte Grundwasserstände auftreten.

Als ergiebiger Grundwasserleiter können die geringmächtigen Trochitenkalksteine (Oberer Muschelkalk) angesehen werden. Die Mächtigkeit dieser Schicht beträgt nur wenige Meter. Das Grundwasservorkommen innerhalb dieses Horizontes wird in der Region zur Trinkwassergewinnung verwendet. Das Grundwasser des im Liegenden des Oberen Muschelkalks anstehenden Mittleren Muschelkalks ist aufgrund der Salinität des Festgesteins stark salzhaltig. Die zwingende Einhaltung der Stockwerkstrennung ist hier wesentliche Grundvoraussetzung

Zu den unter 2.1 aufgeführten Bohrungen [U 7] lagen keine Angaben zu Wasserständen vor.

Für das Grundwasser des Mittleren Keupers sind erhöhte bis stark erhöhte Konzentrationen des Parameters Sulfat und eine damit verbundene erhöhte elektrische Leitfähigkeit zu erwarten. Darüber hinaus können lokal sowie insbesondere innerhalb des Mittleren Muschelkalks salinare Grundwasserverhältnisse vorherrschen

3 Bewertung der hydrogeologischen Situation im Hinblick auf die Errichtung von Erdwärmesonden

3.1 Grundwasserstände und Bohrtiefe

Nach Auswertung der Kartenrecherche sowie der vorliegenden Brunnendokumentation kann mit dem ersten Grundwasserstockwerk innerhalb des Mittleren Keupers zwischen ca. 15 und 25 m unter GOK gerechnet werden. Erfahrungsgemäß sind die Grundwasserführenden Schichten des Mittleren wie auch des Unteren Keupers als nur gering bis mäßig ergiebig einzuschätzen. Erst die unterlagernden Trochitenkalksteine des Oberen Muschelkalks bilden einen sehr ergiebig Grundwasserhorizont.

Der ergiebige Grundwasserleiter der Trochitenkalksteine darf mit den Erdwärmebohrungen nicht angebohrt werden. Die Gefahr des Durchbohrens dieser nur wenige Meter mächtigen Schicht ist sehr hoch und somit das Vermischen mit salzhaltigem Wasser aus dem salinaren Schichtkomplex des unterlagernden Mittleren Muschelkalks. Zudem steht Grundwasser dieser Schichten erfahrungsgemäß stärker gespannt bzw. lokal auch artesisch an. Das Anschneiden dieses Grundwasserstockwerks ist daher zwingend zu verhindern.

Aufgrund der vorgenannten komplexen Grundwassersituation innerhalb der tiefer liegenden Schichten wird empfohlen, die maximale Absetztiefe der Erdwärmesonden auf ein Niveau von ca. 20 m oberhalb des Trochitenkalks, innerhalb der Ceratitenschichten des Oberen Muschelkalks zu begrenzen. Zur genaueren Teufenangabe sind zwingend direkte Aufschlussbohrungen vorzusehen (siehe Abschnitt 4).

3.2 Sulfathaltiges Gebirge vs. Verpressmaterial

In den Schichten des Unteren Keupers sowie innerhalb der Ceratitenkalksteinen des Oberen Muschelkalks sind nur geringe Konzentrationen an Sulfat zu erwarten. Die Verpressung der Erdwärmesonden in diesen Schichtpaketen lässt sich technisch derart herstellen, dass eine Stockwerkstrennung gegeben ist.

In den gipshaltigen Schichten des oberflächennah anstehenden Mittleren Keupers ist selbst bei Verwendung von sulfatresistentem Verpressmaterial die Gefahr der Ettringit- und Thumasitbildung gegeben. Diese Vorgänge werden auch mit Sulfatreiben beschrieben und führen zu einer Auflockerung der Mantelfläche des Verpresskörpers im gipshaltigen Gebirge.

In Bezug der Stockwerkstrennung kann unterstellt werden, dass diese gegeben ist, da im Unteren Keuper die Verpressung dauerhaft hergestellt werden kann.

Für den Betrieb der Erdwärmesonden besteht jedoch die Gefahr, dass im Fall des Auftretens von Sulfatreiben an der Mantelfläche der Verpresskörper es zu einer thermischen Dämpfung kommt,

und somit die Entzugsleistung der Erdwärmesonden mit der Zeit abnehmen. Bei der Wahl des Verpresmaterials sollte daher höchste Priorität auf Sulfatresistenz gelegt werden um die genannten schädigenden Vorgänge weitestgehend zu minimieren.

3.3 Ableitung und Versickerung von Niederschlagswasser

Voraussetzung für eine funktionstüchtige Versickerungsanlage ist das Vorhandensein einer wasseraufnehmenden Schicht mit genügender Mächtigkeit und ausreichendem Wasserschluckvermögen. Darüber hinaus muss ein Grundwasserflurabstand von mindestens einem Meter vorhanden sein. Für Versickerungsanlagen gem. DWA Arbeitsblatt DWA-A 138 kommen Lockergesteine infrage, deren Wasserdurchlässigkeitsbeiwerte im Bereich von $k = 5 \times 10^{-3}$ bis 1×10^{-6} m/s liegen. Außerdem soll die Mächtigkeit des Sickerraumes mindestens 1,0 m, bezogen auf den „Mittleren höchsten Grundwasserstand“, betragen.

Eine Versickerung nach diesen Vorgaben kann grundsätzlich innerhalb der oberflächennah anstehenden pleistozänen Terrassenschottern vorgenommen werden. Diese Schichten besitzen grundsätzlich eine ausreichende Wasserdurchlässigkeit, sofern ein nur geringer Anteil bindiger Beimengungen vorliegt. Zur genauen Einschätzung und Bemessung sind zwingend direkte Aufschlussbohrungen zur Quantifizierung des wasseraufnehmenden Schichtpaketes sowie darüber hinaus Versickerungsversuche auszuführen.

Die Wasserdurchlässigkeitsbeiwerte k der oberflächennah anstehenden Lehm Böden und der vollständig zu Ton zersetzten Tonsteine des Mittleren Keupers sind erfahrungsgemäß mit $k \leq 1 \times 10^{-7}$ m/s anzunehmen. Eine Versickerung des anfallenden Niederschlagswassers innerhalb dieser Schichten ist aus technischer Sicht nicht möglich.

Aufgrund der vorherrschenden Subrosionsproblematik im auslaugungsfähigen Festgesteinshorizont im Mittleren Keuper ist eine punktueller Einleitung von Oberflächenwasser auch aus ingenieurgeologischer Sicht nicht möglich.

Eine oberflächennahe Versickerung des anfallenden Oberflächenwassers ist nur verteilt auf die gesamte Fläche vorzunehmen. Oberflächenwasser, welches nicht innerhalb der Oberbodenschicht versickern kann, beispielsweise während Starkregenereignissen, ist in Mulden oder Entwässerungsgräben zu sammeln und einer Verdunstung oder Vorflut zuzuführen.

Darüber hinaus sind die benötigten Leitungsgräben zum Anschluss der Erdwärmesonden wie auch jene für die PV-Module mit bindigem, schwach durchlässigem Bodenmaterial $k \leq 1 \times 10^{-7}$ auszuführen um eine Wasserführung innerhalb des Rohrgrabensystems zu vermeiden. Dies gilt insbesondere für den direkten Anschlussbereich der Sonden, sodass der Zufluss von Sickerwasser in den Untergrund über die Mantelfläche der Sonden in jedem Fall vermieden wird.

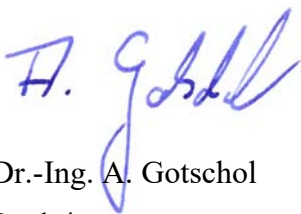
4 Empfehlungen zu weitergehenden Untersuchungen

Bezüglich der Schichtgrenzen sowie der am Standort ausgebildet Grundwasserstockwerke liegen nur Erkenntnisse aus den geologischen und hydrogeologischen Karten sowie Bohrdaten aus weiter entfernten Aufschlüssen vor.

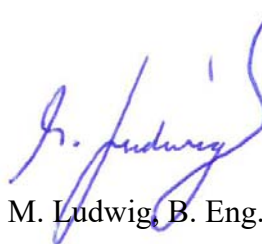
Zur Absicherung und Optimierung der Planung des Sondenfeldes wird das Niederbringen von einer Kernbohrung bis 150 m unter GOK mit ingenieurgeologischer Aufnahme sowie vier Imlochhammerbohrungen mit Strukturlog und geophysikalischen Bohrlochmessungen empfohlen. Nach dem Abteufen der Aufschlussbohrungen können diese zu Erdwärmesonden ausgebaut werden.

Die Herstellung der Erdwärmesonden sollte ingenieurgeologisch begleitet werden. Das Bohrklein ist während der Bohrarbeiten anzusprechen um ein zu tiefes Absetzen der Sonden zu verhindern. Während der Bohrarbeiten ist beim Antreffen von Grundwasser die Leitfähigkeit des zu Tage geförderten Wassers permanent zu messen. Bei einem sprunghaften Anstieg der Leitfähigkeit sind die Bohrarbeiten umgehend zu stoppen.

Mühlhausen, den 14.03.2025



Dr.-Ing. A. Gotschol
Bearbeiter



M. Ludwig, B. Eng.
Bearbeiter