

EnBW Energie Baden-Württemberg AG

Neubau Reallabor H2 Wyhlen

Baugrunderkundung
29.06.2022

RBS-Auftrags-Nr. 005322-0251

Die vorliegenden Unterlagen sind unser Eigentum und als solches urheberrechtlich geschützt. Die Veröffentlichung und Vervielfältigung bedarf unserer vorherigen schriftlichen Zustimmung. Wir weisen darauf hin, dass eine Verletzung unseres Urheberrechts zivilrechtliche Schritte bis hin zum Schadensersatzanspruch zur Folge hat.

Inhalt

1.	Aufgabenstellung	5
1.1	Untersuchungsumfang	5
1.2	Bauwerksbeschreibung	6
2.	Datengrundlagen	7
3.	Standort	7
3.1	Geografische Einordnung	7
3.2	Geologischer Rahmen	7
3.3	Ingenieurgeologische Gefahrenhinweise	8
3.4	Erdbebenzone	8
3.5	Hochwasserrisiko	9
3.6	Kampfmittel	9
4.	Baugrund	10
4.1	Lage und Art der Sondierungen und Untersuchungen	10
4.2	Angetroffene Bodenschichten	11
4.3	Frosteinwirkung	11
4.4	Lagerungsdichte (Auswertung der Rammsondierungen DPH)	12
4.5	Grundwassersituation und Bemessungswasserstand	13
4.6	Durchlässigkeit und Versickerung	13
4.7	Betonaggressivität und Stahlkorrosivität (Boden und Grundwasser)	14
4.8	Korngrößenverteilung (nicht bindiger Boden)	15
4.9	Zustandsgrenzen (bindiger Boden)	15
4.10	Klassifizierung der angetroffenen Schichten	16
4.11	Bodenmechanische Kennwerte	16
5.	Grundbruch- und Setzungsberechnungen	17
6.	Gründungs- und Ausführungshinweise	18
6.1	Gründungshinweise	18
6.2	Ausführungshinweise	18
6.2.1	Oberboden	18
6.2.2	Baugrubengestaltung	19
6.2.3	Aushub und Aushubsohlen	19
6.2.4	Bodenaustausch, Einbau Schotterschicht	20
6.2.5	Verfüllung der Arbeitsräume	20
6.2.6	Verkehrsflächen	21
	Gering bis mäßig tragfähiger Untergrund	21
7.	Umweltechnische Untersuchungen	22
7.1	Abfallrechtliche Einstufung	22
8.	Sonstiges	22

Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 1 – Lage Bohrpunkte mit Untersuchungsumfang	10
Tabelle 2 – Ergebnis der Korngrößenanalyse nach DIN 17892-4	15
Tabelle 3 – Ergebnis der Zustandsgrenzen-Bestimmung nach DIN 17892-12	15
Tabelle 4 – Bodengruppen, Bodenklassen und Frostempfindlichkeitsklassen	16
Tabelle 5 – Bodenkennwerte der Homogenbereiche	16
Tabelle 6: Bemessungswerte des Sohlwiderstands exemplarisch für 22 m lange Streifenfundamente	17

Verzeichnis der Anlagen

Anlage 1: Lageplan mit Sondierpunkten
Anlage 2: Sondierprofile nach DIN 4023
Anlage 3: Schichtenverzeichnisse nach DIN 4022
Anlage 4: Rammdiagramme nach DIN 4094
Anlage 5: Versickerungsversuche (Open-End-Test)
Anlage 6: Bodenmechanische Laboruntersuchungen
Anlage 7: Bodenchemische Laboruntersuchungen
Anlage 8: Grundbruch- und Setzungsberechnungen

Datengrundlage

- [1] Vorläufige Aufbauzeichnungen zum Anlagenlayout (H2-Wy_Lageplan_V1_210823.dwg, H2-Wy_Lageplan_V2_210823.dwg), Stand 23.08.2021
- [2] Erkundung der Grundwasserleiter und der Böden im Hochrheintal zwischen Schaffhausen und Basel, INTERREG II–Projekt, <https://www.grundwasserleiter-hochrhein.de/>
- [3] Online Kartenviewer - Geologische Karte 1:50.000 (GeoLa HK50), Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau LGRB
- [4] Online Kartenviewer – Ingenieurgeologische Gefahrenhinweiskarte 1:50.000 (IGHK50), Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau LGRB
- [5] Hochwassergefahrenkarte und Schutzgebietsverzeichnis, Online Daten- und Kartendienst der LUBW, Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg
- [6] Karte der Frosteinwirkungszonen (Ausgabe 2012), Bundesanstalt für Straßenwesen
- [7] Onlinedienst - Zuordnung von Orten zu Erdbebenzonen, Geoforschungszentrum Potsdam GFZ
- [8] Verwaltungsvorschrift des Umweltministeriums für die Verwertung von als Abfall eingestuftem Bodenmaterial, Az.: 25-8980.08M20 Land 3, 14. März 2007 (Version 01/2018)
- [9] LAGA PN 98 - Richtlinie für das Vorgehen bei physikalischen, chemischen und biologischen Untersuchungen im Zusammenhang mit der Verwertung/Beseitigung von Abfällen; Stand 05/2019
- [10] DIN- und ISO-Normen, Vorschriften, Technische Regelwerke und Richtlinien: diese werden im Text an entsprechender Stelle genannt

1. Aufgabenstellung

Die EnBW plant am Kraftwerksstandort Wyhlen (Am Wasserkraftwerk 50, 79639 Grenzach-Wyhlen) den Neubau einer Power-to-Gas-Anlage.

Der folgende Bericht stellt die Ergebnisse der Untersuchungen vom 04.05.2022 dar und umfasst u.a. Aussagen zur Tragfähigkeit des Bodens mit den relevanten bodenmechanischen Kennwerten, Angaben zur Versickerungsfähigkeit sowie zur Schadstoffbelastung des Bodens.

Mit der Baugrunderkundung wurde die RBS wave GmbH beauftragt.

1.1 Untersuchungsumfang

Zur Erstellung dieses Berichts wurden folgende Untersuchungen¹ vorgenommen:

- Niederbringen von 3 Rammkernsondierungen (RKS), Bohrdurchmesser 60-80 mm bis max. 6,0 m Tiefe unter GOK und schichtenspezifische Aufnahme der aufgeschlossenen Böden. Anlage 2-3
- Niederbringen von 2 schweren Rammsondierungen (DPH) bis max. 8,4 m Tiefe unter GOK zur Feststellung der Lagerungsdichte bzw. Konsistenz der Bodenschichten Anlage 4
- Durchführung eines Versickerungsversuch in 1,0 m Tiefe im sohloffenen Vollrohr (Open End Test) Anlage 5
- Bodenmechanische Laborversuche zur Bestimmung der Konsistenzgrenzen und Kornverteilung unterhalb des Gründungsbereichs Anlage 6
- Laboruntersuchung gemäß VwV Boden zur Feststellung der Bodenbelastung im Aushubbereich. Feststellung der Betonaggressivität und Stahlkorrosivität Anlage 7
- Grundbruch- und Setzungsberechnungen für die einzelnen Bauobjekte Anlage 8

¹ Nach Einholen der Wasserrechtlichen Erlaubnis (erhalten mit Schreiben 13.04.2022, Landratsamt Lörrach, Fachbereich Umwelt, Sachgebiet Wasser & Abwasser)

1.2 Bauwerksbeschreibung

Eine abschließende Bauwerksbeschreibung liegt in der aktuellen Planungsphase noch nicht vor. Die beiden aktuellen Entwurfsvarianten aus [1] sind in Abbildung 1 skizziert.

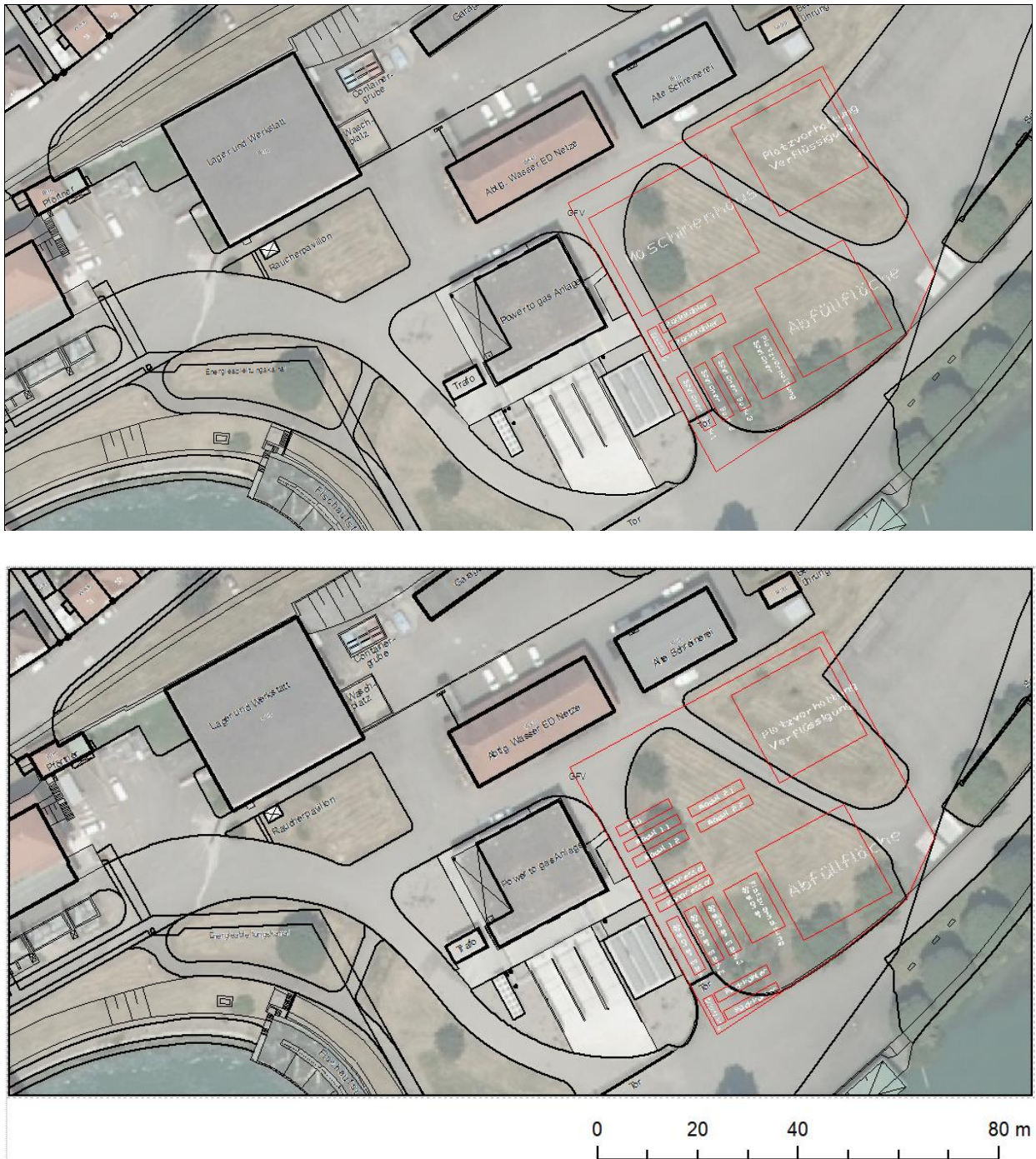


Abbildung 1: Anlagenslayout Variante 1 (oben), Variante 2 (unten)

2. Datengrundlagen

3. Standort

3.1 Geografische Einordnung

Der Standort für das neue Reallabor „H₂-Wyhlen“ befindet sich auf dem Betriebsgelände von Energiedienst beim Wasserkraftwerk Wyhlen auf einer flachen Wiesenfläche. Die Entfernung zum Rheinufer beträgt etwa 40 m. Lageplan s. Anlage 1.

Kreis: Lörrach
Postleitzahl: 79639
Straße : Am Wasserkraftwerk 50 Kapellenstraße
Gemeinde: Grenzach-Wyhlen
Gemarkung: 7401 (Wyhlen)
Flurstück: 3486
UTM Koordinaten: E 402861 N 5265960
Geländehöhe : ca. 262 m ü. NN

3.2 Geologischer Rahmen

Laut geologischer Karte 1:50.000 [2] standen beim Baugrundstück ursprünglich Auenlehme (sandige, kiesige Tonen und Schluffen) an, darunter sind Niederterrassenschotter (Kiese, gerundet) zu erwarten. Mit dem Bau des Wasserkraftwerkes wurde das Gelände erheblich verändert und mit kiesigem Material aufgefüllt.



	Anthropogene Ablagerungen (qhy) Aufschüttung, Auffüllung
Holozän	Älterer Auenlehm (Lfs) Ton und Schluff, sandig, meist schwach kiesig bis kiesig, schwach humos, graubraun Petrographie Ton (40%), Schluff (40%), Kies [gerundet] (10%), Sand [allgemein] (10%) Bildungsprozess: Stillwasserablagerung (limnisch) Bildungsraum: Überschwemmungsbereich (Aue)

□ Lage Baugrundstück

Abbildung 2: Auszug aus der Geologischen Karte 1:50.000

3.3 Ingenieurgeologische Gefahrenhinweise

Gemäß der Ingenieurgeologische Gefahrenhinweiskarte von Baden-Württemberg 1:50.000 IGHK50 [4] besteht im Untersuchungsgebiet Setzungsgefahr auf Grund bindiger, kompressibler Lockergesteine.



Abbildung 3: Auszug aus der Ingenieurgeologische Gefahrenhinweiskarte 1:50.000

3.4 Erdbebenzone

Anhand der neuen, aktualisierten Gefahrenkarte, erstellt durch das GeoForschungsZentrum (GFZ) im Auftrag des Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBt), ergeben sich für das Baufeld entsprechend des neuen nationalen Anhangs der DIN EN 1998-1/NA:2021-07 nachfolgende Bemessungsparameter.

Mittlere spektrale Antwortbeschleunigung $S_{ap,R} = 2,72 \text{ m/s}^2$

Referenz-Spitzenwert der Bodenbeschleunigung $a_{gR} = S_{ap,R}/2,5 = 1,09 \text{ m/s}^2$

Die mittlere spektrale Antwortbeschleunigung bezieht sich hierbei auf eine Referenz-Wiederkehrperiode (T_{NCR}) von 475 Jahren, was einer Auftretenswahrscheinlichkeit (P_{NCR}) von 10% in 50 Jahren entspricht.

Ergänzend ist nachfolgend in roter Farbe die entsprechenden Erdbebenzone und Untergrundklasse nach DIN 4149 bzw. DIN EN 1998-1/NA:2011 (veraltet) und der Karte der Erdbebenzonen (veraltet) beschrieben [7],.

Tabelle 3 – Bemessungskriterien für Erdbeben nach DIN 4149 bzw. DIN EN 1998-1/NA:2011 (veraltet).

Erdbebenzone	Intensitätsintervalle	Untergrundklassen		
keine	$I < 6,0$	-	-	-
0	$6,0 \leq I < 6,5$	R	T	S
1	$6,5 \leq I < 7,0$	R	T	S
2	$7,0 \leq I < 7,5$	R	T	S
3	$7,5 \leq I$	R	T	S

3.5 Hochwasserrisiko

Der Rheinpegel wird im Bereich des Baugrundstücks durch das Kraftwerk/Stauwehr geregelt.

Laut Hochwassergefahrenkarte Baden-Württemberg [5] ist das Baugrundstück im Falle von Hochwasser nicht gefährdet.

3.6 Kampfmittel

Für das Baugrundstück wurde vom KMBD² eine multitemporale Luftbildauswertung durchgeführt. Im Ergebnis gibt es keine Anhaltspunkte für das Vorhandensein von Bombenblindgänger. Nach derzeitigem Kenntnisstand sind insoweit keine weiteren Maßnahmen erforderlich. Gleichwohl gilt: eine Garantie auf Kampfmittelfreiheit ist damit nicht gegeben.

² Kampfmittelbeseitigungsdienst Baden-Württemberg beim Regierungspräsidium Stuttgart, Aktenzeichen 16-1115.8/ LÖ-1610, Schreiben vom 18.11.2021

4. Baugrund

4.1 Lage und Art der Sondierungen und Untersuchungen

Insgesamt wurden 3 Rammkernsondierungen (RKS) und 2 schwere Rammsondierungen (DPH) abgeteuft. Ergänzt werden die Feldversuche durch grundlegende umwelt- und geotechnische Laboruntersuchungen.

Tabelle 1 – Lage Bohrpunkte mit Untersuchungsumfang

Bez.	Höhe m ü NN	X (UTM)	Y (UTM)	Tiefe m	Labor- und Feldversuche	
RKS1	261,8	402856	5265954	6,0	- Lichtlotmessung Grundwasserstand - Probenahme Grundwasser - 2 x Kombinierte Sieb- und Schlämmanalyse - 1 x Zustandsgrenzen	Mischprobe aus dem Aushubbereich 0,5 m – 1,0 m zur Bestimmung des Zuordnungswertes nach VwV Boden sowie Stahlkorrosivität und Betonaggressivität
RKS2	262,0	402846	5265973	6,0	1 x Nasssiebung 1 x Zustandsgrenzen	
RKS VV	262,0	402885	5265972	1,0	Versickerungsversuch (Open End Test) in 1 m Tiefe	
DPH1	261,8	402857	5265953	8,4	Bestimmung Lagerungsdichte bis Erreichen der Schlagzahl N10 = 100	
DPH2	262,0	402846	5265972	7,8		

4.2 Angetroffene Bodenschichten

Aus dem Ergebnis der Sondierarbeiten (Anlage 2, Anlage 3) ist vereinfacht folgender Schichtenaufbau abzuleiten:

- Oberboden
- Auffüllungen (Kies-Feinkorn-Gemisch)
- Auenlehm (Sand-Schluff-Gemisch)
- Niederterrassenschotter

Oberboden

Die oberste humose, dunkelbraune Einheit besteht aus Feinsand, schluffig, schwach kiesig. Die Mächtigkeit liegt bei ca. 30 bis 40 cm.

Auffüllungen (Kies-Feinkorn-Gemisch)

Unterhalb des Oberbodens folgende graue, kalkhaltige Kiese, schluffig, sandig. Dazwischen sind stellenweise Ton-/Schlufflinsen in steifer Konsistenz eingeschaltet. Insgesamt ist die Lagerungsdichte dieser Bodenschicht locker bis mitteldicht.

Auenlehm (Sand-Schluff-Gemisch)

In einer Tiefenlage ab ca. 4,7 m unter OK Gelände folgt eine lehmige Schicht aus Feinsand, Schluff und Ton. Die Konsistenz der etwa 1,5 m mächtigen Schicht ist sehr weich (RKS2) oder flüssig (RKS1).

Niederterrassenschotter

Ab einer Tiefenlage zwischen 7,3 m – 7,8 m u. GOK ist der Untergrund gemäß ausgeführter DPH zunehmend fest und dicht gelagert. Vermutlich liegt hier der Übergang zu den vom Rhein sedimentierten Niederterrassenschottern.

4.3 Frosteinwirkung

Die Gründung von Bauwerken muss frostsicher erfolgen. Gemäß der Karte der Frosteinwirkungszonen [6] liegt das Baufeld innerhalb der Frosteinwirkungszone I mit einer mit einer maximal zu erwartenden Frosteindringtiefe von 1,2 m u. GOK. Für diese Zone I eine maximale frostsichere Gründungstiefe von $\geq 0,8$ m u. GOK empfohlen.

4.4 Lagerungsdichte (Auswertung der Rammsondierungen DPH)

Zusätzlich zu den direkten Aufschlussbohrungen wurde an 2 Punkten ein indirektes Aufschlussverfahren in Form der schweren Rammsondierung (DPH) angewandt (s. Rammdiagramme Anlage 4). Mittels der DPH kann eine zusätzliche Einschätzung zur Konsistenz (bei bindigen Böden) und zur Lagerungsdichte (bei nichtbindigen Böden) des Bodens getroffen werden. Lagerungsdichte und Konsistenz werden in Abhängigkeit von der Schlagzahl je 10 cm (N_{10}) nach DIN EN ISO 22476-2 abgeleitet.

Die im Gründungsbereich zwischen 1,0 – 2,0 m u. GOK angetroffenen Kies-Feinkorngemische sind überwiegend locker gelagert (d.h. geringe Schlagzahlen zwischen 1 und 4).

In der Tiefenlage von 2,0 m bis ca. 6,0 m sind abschnittsweise sehr geringen Schlagzahlen (0 bis 1) aufgezeichnet. Diese bautechnisch ungünstigen Schichten sind auf breiige, weiche Konsistenzen bzw. auf eine geringe Konsolidierung (locker Lagerung) zurückzuführen.

Eine Zunahme der Lagerungsdichte (mitteldicht-bis dicht) ist gemäß Rammdiagramm ab ca. 6,0 m u. GOK zu beobachten.

Mit Erreichen der Schlagzahl $N_{10}=100$ zwischen 7,8 m (DPH2) bis 8,4 m u. GOK (DPH1) wurden die Sondierungen abgebrochen. Dies zeigt den festen Untergrund an bzw. deutet auf das verstärkte Auftreten von Grobkies, Steinen oder Blöcke in diesen Tiefenhorizonten hin.

4.5 Grundwassersituation und Bemessungswasserstand

Im Rahmen der Baugrunderkundung am 16.05.2022 wurde bei RKS1 Grundwasser in 2,6 m Tiefe u. GOK angetroffen; Ruhewasserspiegel 259,2 m ü NN. Die geplante Baugrubensohle befindet sich nach diesem Stand oberhalb des Grundwasserspiegels.

Bei RKS2 konnte die Lichtlotmessung aufgrund des Zufallens des Bohrlochs nicht ausgeführt werden; das Bohrgut war ab etwa 2 m u. GOK nass.

Die Grundwasserverhältnisse nach Stichtagsmessungen 11/2000 aus [2] sind in Abbildung 5 dargestellt. Die Grundwassergleichen zeigen im Bereich des Baugrundstücks einen höheren Grundwasserstand bei etwa 261 m ü NN.

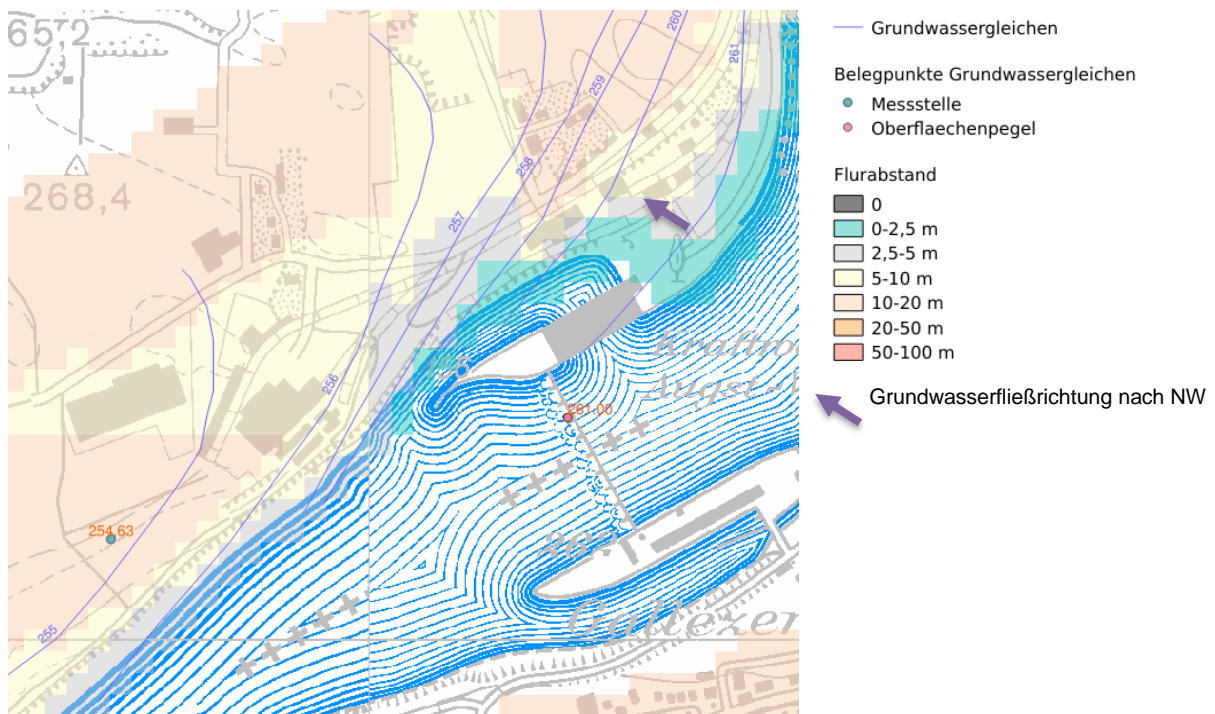


Abbildung 5: Grundwassergleichen und Flurabstand im Umfeld des Kraftwerksgeländes [2]

Der Bemessungswasserstand (höchster zu erwartende Pegel drückenden Wassers) ist bei 261 m ü NN anzusetzen.

4.6 Durchlässigkeit und Versickerung

Zur Bestimmung des Durchlässigkeitsbeiwertes (k_f -Wert) wurde beim Sondierungspunkt RKS VV ein Versickerungsversuch in der ungesättigten Bodenzone im sohloffenen Vollrohr (Open End Test) ausgeführt.

Im Ergebnis wurde in einer Versuchstiefe von 1 m u. GOK ein **kf-Werte** von **$2,61 \times 10^{-4}$ m/s** ermittelt. Die Böden sind im Sohlbereich der geplanten Sickermulde somit stark durchlässig (Versuchsergebnisse Anlage 5).

Für die Regenwasserversickerung (Dachentwässerung Betriebsgebäude) wird eine begrünte Versickerungsmulde mit einer maximalen Einstauhöhe von 30 cm empfohlen. Planung und Bau soll nach dem DWA-Regelwerk A 138 erfolgen. Demnach sollte für eine Versickerung von Oberflächenwasser der Untergrund eine Durchlässigkeit zwischen 1×10^{-3} m/s bis 1×10^{-6} m/s aufweisen. Die anstehenden Böden erfüllen nach den vorliegenden Untersuchungsergebnissen diese Anforderungen und sind demnach für eine Versickerung im Sinne des o. g. Arbeitsblattes geeignet.

Im Hinblick auf Durchlässigkeit der angetroffenen Bodenschichten ist die Umsetzung an diesem Standort aus hydraulischer Sicht möglich.

Die Mächtigkeit des Sickerraums sollte, bezogen auf den Grundwasserstand mindestens 1 m betragen. Dies wäre zumindest zum Zeitpunkt der Stichtagsmessung (4.5.2022) erfüllt (GW-Stand bei 2,6, m u. GOK).

Zu beachten ist, dass das gezielte Ableiten von Niederschlagwasser in den Untergrund über Versickerungsanlagen ein Einleiten in das Grundwasser im wasserrechtlichen Sinne darstellt. Versickerungsmaßnahmen bedürfen somit einer behördlichen Genehmigung.

4.7 Betonaggressivität und Stahlkorrosivität (Boden und Grundwasser)

Aus dem Gründungsbereich (0,5 – 1,5 m u. GOK) wurde eine Bodenmischprobe (Entnahme aus RKS1, RKS2, RKS3) und eine Grundwasserprobe (Entnahme aus RKS 1) hinsichtlich ihrer Betonaggressivität nach DIN 4030 analysiert (Laborbericht Anlage 7)

Im Ergebnis gilt der Boden gilt als nicht betonangreifend (<XA1). Die Proben wurden zusätzlich hinsichtlich ihrer Korrosionswahrscheinlichkeit auf metallische Werkstoffe nach DIN 50929 beurteilt. Der Boden ist in die Bodenklasse II einzuordnen, die Korrosionsbelastung ist mittel (aggressiv). Die Korrosionswahrscheinlichkeit bei freier Korrosion von unlegierten und niedriglegierten Eisenwerkstoffen ist mittel bezüglich der Mulden und Lochkorrosion und gering bezüglich der Flächenkorrosion.

Das Grundwasser gilt als nicht betonangreifend. Die Korrosionswahrscheinlichkeit für freie Korrosion von unlegierten und niedriglegierten Eisenwerkstoffen ist im Unterwasserbereich und an der Wasser/Luft-Grenze bezüglich der Mulden- Lochkorrosion und Flächenkorrosion sehr gering.

4.8 Korngrößenverteilung (nicht bindiger Boden)

Ergänzend zur Bodenansprache am Bohrgut im Gelände wurden zur genaueren Bestimmung der Bodengruppen unterhalb des Gründungsniveaus an 3 Bodenproben die Körnungslinie mittels kombinierter Sieb-/Schlammmanalyse bzw. Naßsiegung nach DIN 17892-4 bestimmt, zusammengefasst in Tabelle 2 (Vgl. Anlage 6).

Tabelle 2 – Ergebnis der Korngrößenanalyse nach DIN 17892-4

Bohrloch	Tiefenbereich [m]	Bodenart	Durchlässigkeit	T/U/S/G	Bodengruppe Nach DIN 18196
			k[m/s]	[%]	
RKS1	2,0 – 4,0 m	G, u', fs', ms', gs'	$1.4 \cdot 10^{-5}$	5.0/13.1/17.8/64.2	GU*
RKS1	4,0 – 5,0 m	G, u, fs', ms', gs'	$1.7 \cdot 10^{-5}$	- /17.2/18.4/64.4	GU*
RKS2	2,0 – 4,7 m	G, u', fs'	$1,7 \cdot 10^{-2}$	- /7.5/12.5/79.9	GU

4.9 Zustandsgrenzen (bindiger Boden)

Zustandsform, Wassergehalt und Bodengruppe wurde an 2 Bodenproben nach „Atterberg“ DIN 17892 8 im Labor bestimmt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 3 zusammengefasst, vollständige Laborauswertung s. Anlage 6.

Tabelle 3 – Ergebnis der Zustandsgrenzen-Bestimmung nach DIN 17892-12

Bohrloch	RKS1	RKS2
Tiefenbereich [m]	5,0 – 6,0 m	4,7 – 6,0 m
Bodengruppe DIN 18196	Sand-Schluff-Gemisch UL	Leicht plastischer Ton TL
nat. Wassergehalt [%]	27,21	25,91
Konsistenz/Zustandsform	flüssig	sehr weich

4.10 Klassifizierung der angetroffenen Schichten

Die aufgeschlossenen Schichten, die anhand der Feldbefunde beschrieben wurden, werden in der nachfolgenden Tabelle den jeweiligen Bodengruppen nach DIN 18196 und Bodenklassen nach DIN 18300 (alt) und DIN 18301 (neu) zugeordnet. Weiterhin erfolgte eine Einstufung der Schichten in die Frostempfindlichkeitsklassen gemäß ZTV E-StB 17 [17].

Tabelle 4 – Bodengruppen, Bodenklassen und Frostempfindlichkeitsklassen

Bodenart Homogenbereich		Bodengruppe DIN 18196	Bodenklassen DIN 18300	Bodenklassen DIN 18301	Frostempfindlichkeitsklasse ZTV E-StB 17
-	Oberboden	OH	BK 1	-	F2
1	Kies-Feinkorn-Gemisch (Feinkornanteil > Gew. 15%)	GU*	BK 4, BK 2*	BN 2	F3
2	Kies-Feinkorn-Gemisch	GU	BK 3	BN 1	F1
3	Lehm (sehr weich)	UL, TL	BK 2	BB 1	F3

* Böden mit einem Feinkorngehalt ($d < 0,063 \text{ mm}$) > 15 Gew. % sind in die Bodenklasse BK 2 einzuordnen, wenn sie breiige oder flüssige Konsistenz aufweisen. Dies kann infolge mechanischer Beanspruchung (Aushub, Befahrung) in Verbindung mit Grund- oder Tagwasser eintreten.

4.11 Bodenmechanische Kennwerte

Für die Gründungsrelevanten Bodenschichten werden in Tabelle 5 Bodenkennwerte angegeben. Diese Werte³ bilden die Grundlage für die geotechnischen Berechnungen (Grundbruch- und Setzungsberechnung, Anlage 8).

Tabelle 5 – Bodenkennwerte der Homogenbereiche

Homogenbereiche Bodenart		Wichte	Wichte unter Auftrieb	Schерparameter		Steifemodul
		γ_k (kN/m ³)	γ'_k (kN/m ³)	Reibungswinkel φ'_k (°)	Kohäsion c'_k (kN/m ²)	$E_{s,k}$ (MN/m ²)
1	Kies-Feinkorn-Gemisch (GU*) Feinkornanteil > Gew. 15% Locker gelagert	19,5	12,0	35,0	0	50
2	Kies-Feinkorn-Gemisch (GU) Locker gelagert	16,5	9,0	30,0	0	20
3	Lehm (UL, TM) sehr weich	19,0	9,0	27,5	0	2,0
-	Rheinkies	16,0	10,0	32,5	0	80

³ Werte aus EAU 2012 Tab E.9-1 bzw. GGU-Footing V9 und weitere Literaturwerte

5. Grundbruch- und Setzungsberechnungen

Über die geplanten Gebäudekonstruktionen, insbesondere deren Gründungsart, sowie die Gebäudelasten und Verteilung liegen uns keine Angaben vor. Für die geotechnischen Berechnungen werden daher Annahmen zugrunde gelegt, welche nach Vorliegen der abschließenden Planung ggf. abzugleichen sind.

Für die Grundbruch- und Setzungsberechnungen werden folgende Annahmen getroffen:

- Betriebsgebäudeneubau (Vgl. Maschinenhaus Variante 1) mit Grundfläche 22 m x 26 m, gegründet auf Streifenfundamenten, Gründungstiefe 1,2 m, Grundwasser 1 m u. GOK
- div. Anlageneinheiten wie Rückkühler, Kompressor, Speicher mit Grundflächen von ca. 2,5 m x 12 m, Gründungstiefe 1,2 m, Grundwasser 1 m u. GOK

Auf Grundlage der in Tabelle 5 genannten Bodenkennwerte ergeben sich die in Tabelle 6 aufgeführten, charakteristischen Bemessungswerte des Sohlwiderstands (EC-7) in Abhängigkeit der Fundamentegeometrie:

Tabelle 6: Bemessungswerte des Sohlwiderstands exemplarisch für div. Streifenfundamente

Fundamentlänge	22 m (Anlage 8.1)			12 m (Anlage 8.2)
	0,6 m	0,8 m	1,0 m	2,5 m
Bemessungswert des Sohlwiderstands $\sigma_{R,d}$ nach EC-7	420 kN/m ²	330 kN/m ²	280 kN/m ²	150 kN/m ²
Zulässige Bodenpressung	300 kN/m ²	220 kN/m ²	190 kN/m ²	100 kN/m ²
Setzung	2 cm			

Die hier errechneten Bemessungswerte gelten für senkrecht mittig belastete Fundamente; bei Setzungsbeträgen von max. 2 cm. Der Nachweis zur Grundbruchsicherheit wurde hierbei erbracht. Weitere Bemessungswerte können Anlage 8 entnommen werden.

6. Gründungs- und Ausführungshinweise

Im Bearbeitungsgebiet ist entsprechend der Bohrbefunde ein heterogener Schichtenaufbau des Untergrunds zu erwarten. Es ist damit zu rechnen, dass es lokal zu Abweichungen von den nächstgelegenen, punktuellen Aufschlüssen kommen kann.

Die Angaben des Baugrundgutachtens beziehen sich auf den gegenwärtigen Planungsstand und sind in dieser Hinsicht als vorläufig anzusehen. Bei Vorliegen der endgültigen Ausführungsplanung sind die bauwerksspezifischen Bodenpressungen in Abstimmung zwischen Tragwerksplaner und Gutachter festzulegen. Der zuständige Tragwerksplaner wird gebeten, hierzu unverzüglich mit dem Gutachter Kontakt aufzunehmen.

Eine Baubegleitung durch einen erfahrenen Ingenieurgeologen beim Aushub der Gründungssohlen wird empfohlen.

6.1 Gründungshinweise

Nach aktuellem Planungsstand ist die Gründungstiefe der Betriebsgebäude bei 1,2, m u. GOK vorgesehen. Der Gründungshorizont liegt somit in den uneinheitlichen und gering konsolidierten Auffüllungen aus natürlichen Lockergesteinen. Es handelt sich insgesamt überwiegend um mäßig guten Baugrund. Aufgrund bindiger, kompressibler Lockergesteine sind Setzungen möglich.

Grundsätzlich besteht hier dennoch die Möglichkeit, die Bauwerkslasten über Flachgründungen (Einzel- und Streifenfundamente) in den Baugrund abzutragen.

Sollten weiche Schichten in der Gründungssohle anstehen, so sind diese auszubauen und die Gründungssohle entsprechend zu vertiefen. Generell empfiehlt sich für die Ausgleichsschicht ein gut verdichtbares Kies-Sand-Gemisch oder Schotter (z.B. FSK 0/45) Bodengruppe GW o.ä. mit geringem Feinkornanteil <5%.

6.2 Ausführungshinweise

6.2.1 Oberboden

Empfohlen wird den Oberboden durch einen Kettenbagger mit glattem Schneidlöffel im „Vor-Kopf“-Verfahren abzuheben. Schiebendes Gerät sollte nicht zum Einsatz kommen.

Die Mieten können auf Geotextil auf den Oberboden auflagernd seitlich gelagert werden. Die Oberboden-Mieten (maximal 2 m hoch in steiler Trapezform) dürfen nicht durch Fahrzeuge befahren werden. Es sollte umgehend für eine Begrünung der Mieten, durch tiefwurzeln- und wasserzehrende Pflanzenarten, gesorgt werden.

Wird Material im Untergrund angetroffen, welches nicht dem kulturfähigen Untergrund entspricht, wird dieses Material separiert. Nach Abschluss der Rückbauarbeiten sollte der seitlich gelagerte Oberboden wieder verwendet werden.

6.2.2 Baugrubengestaltung

Beim Anlegen der Baugrube werden rollige Böden angetroffen. Gemäß DIN 4124 ist bei Aushubtiefen von mehr als 1,25 m Tiefe bei rolligen Böden unter max. 45° zu böschen.

Oberhalb der Böschung sind folgende Streifenbreiten lastfrei zu halten: $\geq 0,6$ m für Baustoffe oder Aushubmaterial; $\geq 1,0$ m für Baugeräte bis 12 t ; $\geq 2,0$ m für Baugeräte über 12 bis 40 t. Bei Gräben bis zu einer Tiefe von 0,8 m darf nach DIN 4124 einseitig auf den Schutzstreifen verzichtet werden.

Ab etwa 3 m Baugrubentiefe sind Bermen als Abtreppung vorzusehen. Entsprechend den deutschen Unfallverhütungsvorschriften müssen diese $\geq 0,6$ m (zum Begehen) bzw. $\geq 1,5$ m (zum Auffangen abrutschender Materialien) sein. Abgerutschter Boden ist unverzüglich zu entfernen.

Zusätzlicher Raum, welcher durch Böschungen (Bermen, lastfreie Streifen, etc.) eingenommen wird, ist bei der Planung zu berücksichtigen. Es wird empfohlen die Böschungen in die Planunterlagen einzutragen, um Konflikte mit benachbarten Bauten/Leitungen frühzeitig zu vermeiden oder kenntlich zu machen.

Der Erdaushub sollte im rückschreitenden Verfahren erfolgen.

6.2.3 Aushub und Aushubsohlen

Auf der Baustelle zwischengelagerter Erdaushub ist in Form von Tafelmieten oder Haufwerken auf Folien zu lagern.

Ausgehobene Homogenbereiche sollten, wenn möglich, auf getrennten Haufwerken/Tafelmieten gelagert werden, falls zuvor nicht anders mit dem AG abgesprochen. Sollten organoleptische auffällige Materialien angetroffen werden, so sind diese zu separieren und der Gutachter bzw. die örtliche Bauleitung unverzüglich zu informieren.

Entstandene Haufwerke sind nach LAGA PN98 zu beproben und entsprechend der Deklarationsanalyse der passenden Verwertung zuzuführen. Bei einem Wiedereinbau an anderer Stelle ist hierfür zumeist eine Analyse nach Bundeslandvorgaben (z.B. VwVBoden BW, LAGA M20) ausreichend. Bei der Ablagerung auf einer Deponie sind für gewöhnlich noch Zusatzparameter nach Deponieverordnung (DepV, Anhang 3) nötig. Zur Beschleunigung des Ablaufs sollte der benötigte Analysenumfang vor Beauftragung der Probenahme bei der zuständigen Verwertungsstelle daher geklärt werden. Für die Laboranalysen und finale Deklaration sind für gewöhnlich min. 3-4 Tage (Express) bis min. 2 Wochen (Standard) einzuplanen.

Anmerkung: Das beprobte Haufwerk, darf nach der Beprobung nicht mehr stofflich verändert werden, da die Probennahme nach PN98 sonst ihr Gültigkeit verlieren kann. Beprobt wird das finale Haufwerk, welches anschließend entsorgt wird.

Der anfallende Oberboden ist aufgrund möglichen Humuszersatzes und geringen Eigensteifigkeit nur für die Rekultivierung bzw. Modellierung künftiger Grünflächen vorzusehen. Mit zunehmender Mächtigkeit des wiedereingebauten Oberbodens sind kleinere Nachsackungen möglich, welche ggf. nachgearbeitet werden müssen.

Die anfallenden bindig, tonigen Böden sind für einen Wiedereinbau im geplanten Baugebiet nicht bis mäßig geeignet. Als Möglichkeit für eine Wiederverwendung kommen z.B. in Frage: Bereiche ohne besondere Anforderungen an Durchlässigkeit, Verdichtungsgrad, Frostempfindlichkeit usw. als Auffüllmaterial.

6.2.4 Bodenaustausch, Einbau Schotterschicht

Sofern ein Bodenaustausch erforderlich wird, empfiehlt sich generell für den Bodenersatzkörper bzw. Ausgleichsschicht ein gut kornabgestuftes, hochverdichtbares Kies-Sand-Gemisch oder Schotter (z.B. FSK 0/45) Bodengruppe GW o.ä. mit einem Feinkornanteil <5%.

Der Einbau und die Verdichtung des Bodenersatzkörpers hat lagenweise (Mächtigkeit $\leq 0,3$ m) zu erfolgen. Hierbei ist ein Verdichtungsgrad (Proctordichte) von $D_{Pr} \geq 100$ % im Mittel (entspricht in etwa einem Verformungsmodul von $E_{V2} = 100$ MN/m²), mindestens jedoch 98 % anzustreben. Als Nachweis-Methode dienen hierfür statische Lastplattendruckversuche.

Zwischen dem anstehenden Baugrund und dem Bodenersatzkörper kann zudem ein geotextiles Filtervlies (GRK3 bei Kies-Sand, GRK4 bei Schotter) verlegt werden.

6.2.5 Verfüllung der Arbeitsräume

Zum Wiedereinbau in die Arbeitsräume empfiehlt sich der Einbau gut verdichtbarem Material der Bodengruppen GU/SU mit ausreichendem Feinkornanteil, um eine qualifizierte Rückverdichtung zu erhalten und einen möglichst dichten Anschluss vom Bauwerk zum umgebenden Boden zu bilden. Die rückverfüllten Arbeitsräume sollten keine wesentlich größere oder geringere Wasserdurchlässigkeit aufweisen als die umgebenden anstehenden Böden.

Das gemischtkörnige Aushubmaterial ist tendenziell für en Wiedereinbau geeignet. Hierbei muss jedoch sichergestellt werden, dass das Aushubmaterial während der Lagerung vor Witterungseinflüssen (Nässe, Trockenheit) ausreichend geschützt wird.

6.2.6 Verkehrsflächen

Für die Ausbildung des Oberbaus von Verkehrsflächen können die Vorgaben der Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen, Ausgabe 2012 (RStO 12), und ZTV E-StB 17 der Planung zugrunde gelegt werden.

Mögliche Verkehrswege sollten entsprechend RStO 12 der Belastungsklasse Bk32 (entspricht der Belastung von Industriestraßen) zugeordnet werden.

Ausgehend von einer Belastungsklasse BK32, ergibt sich hier (Frosteinwirkungszone I, F3-Böden) eine Mindestdicke des frostsicheren Oberbaus von 70 cm

Bei Vorliegen der endgültigen Ausführungsplanung sind die spezifischen Belastungsklassen den einzelnen Verkehrsflächen (falls vorhanden) ggf. anzupassen. Der zuständige Planer wird hierbei gebeten, bei Unklarheiten rechtzeitig mit dem Gutachter Kontakt aufzunehmen.

Gering bis mäßig tragfähiger Untergrund

Auf dem Erdplanum ist ein Verformungsmodul von $E_{v2} = 45 \text{ MN/m}^2$ erforderlich. Stehen im Bereich des Erdplanums schlecht konsolidierte bzw. bindige Böden an, so ist das Erreichen u. a. auch vom aktuellen Konsistenzzustand abhängig. Es wird empfohlen, repräsentative statische Plattendruckversuche durchzuführen, um das erforderliche Verformungsmodul nachzuweisen.

Voraussichtlich wird hier die geforderte Tragfähigkeit von $E_{v2} = 45 \text{ MN/m}^2$ auf OK Erdplanum erreicht. Andernfalls ist - nach Absprache mit dem AG - eine qualifizierte Bodenverbesserung durch Bindemittel (nur bei bindigen Böden) oder ein Bodenaustausch zu empfehlen. Auf jeden Fall ist der AG rechtzeitig über die angetroffenen Verformungsmoduln zu unterrichten, um die erforderlichen Folgemaßnahmen ggf. durch den Gutachter prüfen zu lassen.

7. Umwelttechnische Untersuchungen

7.1 Abfallrechtliche Einstufung

Bei den Rammkernsondierungen (RKS 1, RKS 2, RKS VV) wurden für eine orientierende Deklaration aus dem Aushubbereich in einer Tiefenlage 0,5 bis 1,5 m u. GOK Bodenproben entnommen und in einer Mischprobe (MP1) zur umwelttechnischen Untersuchung gemäß VwV-Boden BW dem Labor SGS Analytics Germany GmbH Fellbach übergeben. Im Ergebnis können die geplanten Aushubmassen wie folgt deklariert werden:

- Das untersuchte Bodenmaterial der Mischprobe MP1 ist nahezu unbelastet. Aufgrund der Parameter Nickel (im Feststoff 17,7 mg/kg TS) und Arsen (im Eluat 2 µg/l). Nach VwVBoden [8] ist die Qualitätsstufe und Einbauklasse Z0*IIIA zuzuordnen (bedingter, uneingeschränkter Einbau).

Werden im Zuge der Aushubarbeiten organoleptisch auffällige Materialien angetroffen, so sind diese zu separieren und durch den Gutachter gemäß LAGA PN98 zu beproben.

Die detaillierten Analysenergebnisse finden sich in Anlage 7 Prüfbericht UST-22-0051595/02-1.

8. Sonstiges

Das ingenieurgeologische Modell des Baugrunds, welches die Grundlage der bau- bzw. umwelttechnischen Empfehlungen bildet, resultiert aus punktuellen Aufschlüssen. Es kann daher lokal zu Abweichungen des Schichtverlaufs kommen. Außerdem können zeitliche Änderungen des Baugrunds (z.B. durch Witterungseinflüsse), insbesondere bei längeren Abständen zwischen Untersuchung und Baumaßnahme, nicht ausgeschlossen werden.

Im Zuge der Erd- und Gründungsarbeiten ist daher sorgfältig zu überprüfen, ob die angetroffenen Baugrundverhältnisse mit den im Gutachten erfassten übereinstimmen. Sollte dies nicht der Fall sein oder Zweifel bestehen, so ist der Gutachter unverzüglich zur weiteren Beratung heranzuziehen. Generell ist zu empfehlen, eine Abnahme von Baugruben bzw. der Gründungssohle durchführen zu lassen.

Die Angaben des Baugrundgutachtens beziehen sich auf den gegenwärtigen Planungsstand und sind in dieser Hinsicht als vorläufig anzusehen. Bei Planungsänderungen ist der Gutachter einzubeziehen.

Aufgestellt:
Ettlingen, den 29.06.2022
RBS wave GmbH



i. V. Daniel Lorch



i. A. Jörg Strittmatter