

BÜRO FÜR INGENIEURGEOLOGIE

Dipl.-Ing. G. Zeiser, Dipl.-Ing. (FH) K. Deis



BFI ZEISER GmbH & Co. KG
MÜHLGRABEN 34
73479 ELLWANGEN

Telefon 0 79 61/933 89-0
Telefax 0 79 61/933 89-29
e-mail bfi@bfi-zeiser.de
Internet www.bfi-zeiser.de

Baugrunduntersuchung
Altlastenerkundung
Labor- und Feldversuche
Beweissicherung
Erschütterungsmessungen
Erdstatische Nachweise
Wasserbau
Fachplanung/Bauleitung
Aufschlussbohrungen
Kleinbohrpfähle
Brunnen/Geothermie

BFI ZEISER GmbH & Co. KG · Mühlgraben 34 · 73479 Ellwangen

Stauch Projektbau GmbH
Im Bild 13
74635 Kupferzell

Ihre Zeichen

Unsere Zeichen

Datum

gz-sr-seb/ Az. 120158 11.05.2020

Schwäbisch Hall, Stadtquartier „Im Lehen“

hier: Baugrunduntersuchung mit Gründungsberatung

Auftraggeber:

Stauch Projektbau GmbH
Im Bild 13
74635 Kupferzell

Planung:

Yonder – Architektur und Design
Falbenhennenstr. 15
70180 Stuttgart

Ingenieurgeologische
Beratung und
Untersuchung:

Büro für Ingenieurgeologie
BFI Zeiser GmbH & Co. KG
Mühlgraben 34
73479 Ellwangen

INHALTSVERZEICHNIS

Textteil	Seite
1. Unterlagen	4
2. Allgemeines und Lage	4
3. Bauvorhaben	4
4. Untergrund	5
4.1 Baugrundgeologische Situation	5
4.2 Stratigrafie	9
4.3 Wasserverhältnisse	9
4.4 Laborversuche	10
4.5 Geotechnische Kategorie	12
4.6 Homogenbereiche	12
4.7 Frostempfindlichkeit	15
4.8 Bodenkennwerte	15
5. Chemische Untersuchungen	17
5.1 Untersuchung nach VwV	17
5.2 Sulfatanalyse	19
6. Erdbebenzone	20
7. Konstruktive und gründungstechnische Maßnahmen	21
7.1 Erdarbeiten	21
7.2 Lastabtragung Tiefgarage A	22
7.3 Lastabtragung Tiefgarage B	23
7.4 Lastabtragung Tiefgarage C und D	24
7.5 Tiefgaragenfußboden	26
7.6 Sicherung der Baugruben	27
7.7 Wasserhaltung	28
7.8 Trockenhaltung der ins Erdreich einschneidenden Bauteile	28

7.9	Arbeitsraumverfüllung.....	30
7.10	Bodenverbesserung.....	31
8.	Abnahme und Haftung	33

Anlagenteil

Anlage 1.1:	Geologische Karte	M. 1 : 10.000
Anlage 1.2:	Lageplan mit Lage der Bohrungen B 1 bis B 11 und der Bohrungen B 1 bis B 15 (Az 116468)	M 1 : 500
Anlage 2.1:	Schnitt Tiefgarage A Darstellung der Bohrungen B 6, B 7, B 8 und B 10 (Az 116468)	M 1 : 75
Anlage 2.2:	Schnitt Tiefgarage A Darstellung der Bohrungen B 11, B 13, B 14 und B 15 (Az 116468)	M 1 : 75
Anlage 2.3:	Schnitt Tiefgarage B Darstellung der Bohrungen B 1, B 9 und B 12 (Az 116468)	M 1 : 75
Anlage 2.4:	Schnitt Tiefgarage B Darstellung der Bohrungen B 6 bis B 11	M 1 : 75
Anlage 2.5:	Schnitt Tiefgarage C Darstellung der Bohrungen B 3, B 5 und B 6	M 1 : 75
Anlage 2.6:	Schnitt Tiefgarage C Darstellung der Bohrungen B 2, B 4 und B 1 und B 2 (Az 116468)	M 1 : 75
Anlage 2.7:	Schnitt Tiefgarage D Darstellung der Bohrungen B 1 und B 4 – B 6 (Az 116468)	M 1 : 75
Anlage 2.8:	Schnitt Tiefgarage D Darstellung der Bohrungen B 2 und B 3, B 8 (Az 116468)	M 1 : 75
Anlage 3:	Zustandsgrenzen	
Anlage 4:	Analyseergebnis nach VwV	

1. Unterlagen

Zur Ausarbeitung des Gutachtens standen dem BFI folgende Planunterlagen zur Verfügung:

- | | | |
|---------------------------|------------|----------------|
| – Lageplan | M. 1 : 500 | vom 02.2020 |
| – Grundriss TG | M. 1 : 500 | vom 18.02.2020 |
| – BFI Gutachten Az 116468 | | vom 19.09.2018 |

Die Pläne der Telekommunikation sowie der öffentlichen Leitungen (Gas, Wasser, Strom) wurden vom BFI eingeholt.

2. Allgemeines und Lage

Die Stauch Projektbau GmbH beabsichtigt die Bebauung des Stadtquartiers „Im Lehen“ in Schwäbisch Hall.

Das Stadtquartier liegt im Nordosten von Schwäbisch Hall zwischen dem Gräterweg, der Crailsheimer Straße und der Straße „Im Lehen“ auf den Flurstücken Nr. 594/1, 594/2, 594/3, 594/4 und 595.

Die für die Bebauung vorgesehene Fläche fällt von 375 mNN auf 366 mNN nach Westen ein. Die auf dem Grundstück vorhandenen Bestandsgebäude werden im Zuge der Baumaßnahme rückgebaut.

Das BFI wurde von der Stauch Projektbau GmbH mit der Baugrunduntersuchung und Gründungsberatung für die geplante Baumaßnahme beauftragt.

3. Bauvorhaben

Bei der geplanten Bebauung handelt es sich um vier unterkellerte Wohngebäude (Haus A bis Haus D).

Nach der vorliegenden Entwurfsplanung sind vier Tiefgaragen (A, B, C und D) vorgesehen, wobei die Tiefgaragen C und D miteinander verbunden sind.

Folgende Fußbodenhöhen sind nach den aktuellen Planunterlagen vorgesehen:

Tiefgarage A:

FFB TG = 366,40 mNN

Tiefgarage B:

FFB TG = 369,90 mNN

Tiefgarage C:

FFB TG = 364,40mNN

Tiefgarage D:

FFB TG = 363,40 mNN

Nach Auskunft von Frau Sponsel, Stauch Projektbau GmbH, kann sich die Planung jedoch noch ändern.

4. Untergrund

4.1 Baugrundgeologische Situation

Zur Erkundung der Untergrundverhältnisse wurden am 26. und 27.03.2020 auftragsgemäß elf Bohrungen (B 1 - B 11) bis in Tiefen zwischen 3,00 m und 10,50 m unter GOK angelegt.

Ergänzend werden die Bohrungen B 1 bis B 15 (Az 116468), die bereits auf dem Grundstück angelegt wurden, mit herangezogen.

Da mit den Bohrungen der Anschnitt von Grundwasser zu erwarten war, wurde am 20.03.2020 eine wasserrechtliche Erlaubnis beim Landratsamt beantragt.

Die wasserrechtliche Erlaubnis wurde vom Landratsamt mit Entscheidung vom 23.03.2020 unter Auflagen erteilt.

Die Ansatzhöhen der Bohrungen wurden auf nahegelegene Kanaldeckel eingemessen.

Die Lage der Bohrungen kann dem Lageplan in Anlage 1.2 entnommen werden.

Anhand der Aufschlüsse ergibt sich folgendes Bild des Untergrundes (siehe auch Anlage 2):

Bei den Bohrungen B 7, B 8 und B 9 sowie B 8 (Az 116468) wurde mit einer Stärke zwischen 0,10 m und 0,20 m ermittelt.

In den restlichen Bohrungen wurde größtenteils eine Asphaltschicht auf einer Schottererschicht durchteuft. Die Stärken des Fahrbahnoberbaus sind in folgender Tabelle 1 zusammengefasst.

Tabelle 1: bestehender Oberbau nach Schichtstärken

Bohrung	Probe	Schichtaufbau	Schichtstärke (cm)	Tiefe (m. u. GOK)
B 1	P 1/1	Asphalttragschicht	4	0,04
	P 1/2	Schottertragschicht	26	0,30
B 2	P 2/1	Asphalttragschicht	4	0,04
	P 2/2	Schottertragschicht	36	0,40
B 3	P 3/1	Asphalttragschicht	5	0,05
	P 3/2	Schottertragschicht	35	0,35
B 5	P 5/1	Asphalttragschicht	5	0,05
	P 5/2	Schottertragschicht	35	0,40
B 6	P 6/1	Asphalttragschicht	12	0,12
	P 6/2	Schottertragschicht	18	0,30
B 10	P 10/1	Asphalttragschicht	12	0,12

Bohrung	Probe	Schichtaufbau	Schicht-	Tiefe
	P 10/2	Schottertragschicht	38	0,50
B 11	-	Asphalttragschicht	12	0,12
	-	Schottertragschicht	38	0,50
B 1 (Az 116468)	P 1/1	Asphalttragschicht	14	0,14
	-	Schottertragschicht	56	0,70
B 2 (Az 116468)	P 1/2	Asphalttragschicht	10	0,10
	-	Schottertragschicht	20	0,30
B 3 (Az 116468)	-	Asphalttragschicht	4	0,04
	-	Schottertragschicht	66	0,70
B 5 (Az 116468)	P 1/5	Asphalttragschicht	3	0,03
	P 2/5	Schottertragschicht	57	0,60
B 6 (Az 116468)	P 1/6	Asphalttragschicht	2	0,02
	-	Schottertragschicht	28	0,30
B 9 (Az 116468)	-	Asphalttragschicht	13	0,13
	P 1/9	Schottertragschicht	77	0,90
B 10 (Az 116468)	-	Asphalttragschicht	10	0,10
	-	Schottertragschicht	20	0,30
B 11 (Az 116468)	-	Asphalttragschicht	13	0,13
	-	Schottertragschicht	27	0,40
B 13 (Az 116468)	-	Asphalttragschicht	14	0,14
	-	Schottertragschicht	31	0,45
B 15 (Az 116468)	-	Asphalttragschicht	12	0,12
	P 1/15	Schottertragschicht	1,38	0,50

Unter dem Oberbau bzw. dem Mutterboden bzw. ab GOK wurden lokal Auffüllungen aus schluffigen, sandigen, kiesigen Tonen und kiesigen, tonigen sanden erkundet.

Die Auffüllungen reichen im südöstlichen Bereich des Grundstücks teilweise bis in Tiefen von 10,20 m unter GOK. Hierbei handelt es sich um Verfüllungen im Bereich einer ehemaligen Abbaufäche.

Unter den Auffüllungen stehen größtenteils noch weiche bis steife, steife und halbfeste schluffige, sandige Tone und tonige Kiese an.

Ab einer Tiefe zwischen 0,90 m und 10,20 m unter GOK stehen Ton-/ Mergel-/ Dolomit- und Kalksteine mit Gebirgsfestigkeiten zwischen sehr mürb und hart an.

Die Tiefen, in denen OK der Festgesteine angetroffen wurden, sind in Tabelle 2 dargestellt.

Tabelle 2: OK Festgesteine

Bohrung	Ansatzhöhe [mNN]	OK Festgesteine	
		[m u. GOK]	[mNN]
B 1	366,13	2,50	363,63
B 2	367,70	6,00	361,70
B 3	368,00	6,20	361,80
B 4	367,63	6,20	361,43
B 5	367,15	5,20	361,95
B 6	372,63	10,20	362,43
B 7	373,25	2,20	371,05
B 8	374,15	3,40	370,75
B 9	374,31	1,90	372,41
B 10	373,09	2,30	370,79
B 11	372,91	2,80	370,11
B 1 (Az 116468)	372,56	4,00	368,56
B 2 (Az 116468)	364,26	2,00	362,26
B 3 (Az 116468)	364,06	1,40	362,66
B 4 (Az 116468)	366,85	5,20	361,65
B 5 (Az 116468)	366,16	2,20	363,96
B 6 (Az 116468)	366,80	2,00	364,80
B 7 (Az 116468)	363,77	0,90	362,87
B 8 (Az 116468)	363,83	1,80	362,03
B 9 (Az 116468)	372,89	3,20	369,69

Bohrung	Ansatzhöhe [mNN]	OK Festgesteine	
		[m u. GOK]	[mNN]
B 10 (Az 116468)	371,82	3,50	368,29
B 11 (Az 116468)	366,97	3,30	363,67
B 12 (Az 116468)	372,48	3,70	368,78
B 13 (Az 116468)	371,74	2,60	369,14
B 14 (Az 116468)	370,31	2,30	368,01
B 15 (Az 116468)	368,07	1,50	366,57

4.2 Stratigrafie

Stratigrafisch liegt das Bauvorhaben im Übergangsbereich zwischen der Erfurt-Formation (Lettenkeuper) und dem Oberen Muschelkalk. Die anstehenden Tone und Kiese sind deren quartäre Verwitterungsprodukte.

4.3 Wasserverhältnisse

In den Bohrungen B 6, B 7 und B 8 wurden während der Bohrarbeiten Schicht-/Sickerwasserzutritte in Tiefen zwischen 2,20 m und 10,20 m unter GOK verzeichnet. Bis Abschluss der Arbeiten waren alle Bohrungen trocken. In Abhängigkeit von jahreszeitlich schwankenden Niederschlagsmengen muss jedoch lokal und temporär mit Schicht- und Sickerwasserzutritten in den Deckschichten sowie an den Festgesteinen gerechnet werden.

Wasserstandsmessungen im offenen Bohrloch zeigen lediglich die Wasserstände an, die sich im Zeitraum zwischen dem Abteufen und dem Verschließen der Bohrlöcher eingestellt haben. In Abhängigkeit von der Porosität und der Klüftigkeit und somit der Durchlässigkeit der aufgeschlossenen Bodenschichten, können die Wasserstände jedoch im Bohrloch zeitverzögert ansteigen, so dass die Wasserstandsmessungen nicht zwangsläufig den Ruhewasserspiegel repräsentieren. Genaue Messungen des Ruhewasserspiegels und langfristige Beobachtungen der Grundwasserganglinie sind daher nur in Grundwassermessstellen, die in den Grundwasser führenden Schichten verfiltert sind, möglich.

4.4 Laborversuche

4.4.1 Natürlicher Wassergehalt

Aus den neuen Bohrungen wurden insgesamt 53 gestörte Proben entnommen. Von den aus dem Boden entnommenen Proben wurden 7 auf ihren natürlichen Wassergehalt untersucht. Dabei wurden die in Tabelle 3 aufgeführten Werte ermittelt.

Ergänzen werden die Wassergehalte der alten Bohrungen mit aufgeführt.

Tabelle 3: Natürlicher Wassergehalt

Probe P	Entnahmestelle B	Entnahme- tiefe [m]	Bodenart (Konsistenz)	natürlicher Wassergehalt [Gew.-%]
1/3	B 1	1,50	A: T,u,g (st)	19,60
2/3	B 2	1,20	A: T,u,g (st)	17,88
4/2	B 4	3,50	A: T,s*,g* (st)	15,73
7/2	B 7	1,20	A: T,u,g' (st)	20,11
8/2	B 8	1,00	T (st-hf)	25,47
9/3	B 9	1,40	A: T,u,g (st)	19,87
10/3	B 10	1,20	A: T,u,g,s' (st-hf)	16,54
3/1	B 1 (Az 116468)	1,70	T,u,s,g* (st)	13,77
1/3	B 3 (Az 116468)	1,05	A: T,g*,s* (st)	17,89
4/5	B 5 (Az 116468)	1,85	T,u*,g,s' (st-hf)	15,56
2/6	B 6 (Az 116468)	1,00	A: T,u,g,s' (w-st)	20,00
1/7	B 7 (Az 116468)	0,45	T,u*,s',g (w-st)	16,48
1/8	B 8 (Az 116468)	0,85	A: T,s*,g (st-hf)	16,93
2/9	B 9 (Az 116468)	1,40	T,u,g',s (st)	28,45
4/9	B 9 (Az 116468)	2,80	Tst,t,u	9,80
1/10	B 10 (Az 116468)	0,75	T,u (st)	26,27
1/11	B 11 (Az 116468)	1,05	T,u,g,s' (w-st)	18,73

Probe P	Entnahmestelle B	Entnahme- tiefe [m]	Bodenart (Konsistenz)	natürlicher Wassergehalt [Gew.-%]
2/12	B 12 (Az 116468)	1,35	T,u',s',g' (st-hf)	21,19
1/13	B 13 (Az 116468)	0,93	T,u (st)	22,61
2/13	B 13 (Az 116468)	2,00	T,u,g (w)	28,98
1/14	B 14 (Az 116468)	0,45	T,u',s,g (st)	29,26

4.4.2 Zustandsgrenzen

Zur Ermittlung der Wasserempfindlichkeit wurden an den Proben P 2/3 und P 8/2 nach DIN 18122 die Fließ- und Ausrollgrenzen bestimmt und daraus die Plastizitätszahlen errechnet. Im Einzelnen können die Versuchsergebnisse der Anlage 3 sowie der Tabelle 4 entnommen werden.

Tabelle 4: Zustandsgrenzen

Probe	P 2/3	P 8/2
Wassergehalt w_N [%]	17,9	25,5
Fließgrenze w_L [%]	46,7	54,2
Ausrollgrenze w_P [%]	13,8	21,1
Plastizitätszahl I_P [%]	32,9	33,1
Konsistenzzahl I_C	0,875	0,867
Gruppensymbol	TM	TA
Konsistenz	steif	steif

Für die Zustandsform der Tone ergab sich eine Konsistenzzahl I_C von 0,875 bzw. 0,867. Damit ist die Konsistenz der untersuchten Proben als steif zu bezeichnen.

4.5 Geotechnische Kategorie

Die bautechnischen Maßnahmen sind nach DIN 1054 in die Geotechnischen Kategorien GK 1, GK 2 oder GK 3 einzustufen. Maßgebend für die Einstufung ist dabei jenes Merkmal, das die höchste Geotechnische Kategorie ergibt. Für Baugrund und Grundwasser ergibt sich dabei folgende Einstufung:

Baugrund	GK 3 (tiefreichende Auffüllungen)
Grundwasser:	GK 2 (Wasserzutritte in Einschnitten möglich)

Hieraus ergibt sich für die baugrund- und hydrogeologische Situation eine Einstufung in die **Geotechnische Kategorie 3**.

4.6 Homogenbereiche

Die in den Bohrungen angetroffenen Bodenarten wurden zu Homogenbereichen zusammengefasst. Die Homogenbereiche (1 – 6) sind den in Anlage 2 dargestellten Bodenprofilen zu entnehmen. Sie sind am rechten Rand der Profile, hinter der Schichtbeschreibung dargestellt. Die Einteilung erfolgte auf Grundlage der Bodenansprache und der Laborversuche, wobei die Schichten entsprechend ihrer Eigenschaften zu Homogenbereichen zusammengefasst wurden.

Dabei wurde der **Mutterboden** gemäß **DIN 18320 – Landschaftsbauarbeiten** als **Homogenbereich 1** bezeichnet.

Entsprechend der **DIN 18300 – Erdarbeiten** wurden die oberflächennah lokal angetroffenen Schotter unter dem **Homogenbereich 2** erfasst. Die aufgeschlossenen Auffüllungen aus Tonen, Sanden und Kiesen wurden dem **Homogenbereich 3** zugeordnet.

Die anstehenden Tone und Kiese wurden unter dem **Homogenbereich 4** zusammengefasst. Die darunter anstehenden Ton-/ Mergel- und Dolomitsteine wurden unter dem **Homogenbereich 5** und die harten Kalksteine unter dem **Homogenbereich 6** erfasst.

Die innerhalb der festgelegten Homogenbereiche zu erwartende Bandbreite der Eigenschaften wird auf Grundlage von Erfahrungswerten und den durchgeführten Laborversuchen angegeben und kann der Tabelle 5 entnommen werden. Aufgrund der inhomogenen und engräumig wechselnden Zusammensetzung wurden auch wechsellagernde rollige und bindige Böden zusammengefasst, sodass in der Tabelle innerhalb eines Homogenbereiches Eigenschaften beider Bodenarten wie bspw. Konsistenz und Lagerungsdichte aufgeführt sind. Wo Erfahrungswerte durch Laborversuche belegt sind, wurden diese Werte mit einer ¹⁾ gekennzeichnet.

Für Bohrarbeiten zur geotechnischen Erkundung wurden die Bodenarten nach **DIN 18301 - Bohrarbeiten** in der letzten Zeile der Tabelle 5 zusammengefasst.

Tabelle 5: Homogenbereiche

	Homogenbereich				
Bezeichnung	2 (Tragschicht- schotter)	3 (Auffüllungen)	4 (Tone und Kiese)	5 (Tonstein, Mergelstein, Dolomitstein)	6 (Kalkstein)
Bodengruppe nach DIN 18196	GI, GW, GE, GU, GU*, GT, GT*	TA, TL, TM, SI, SW, SE, SU, SU*, ST, ST*, GI, GW, GE, GU, GU*, GT, GT*	TA, TL, TM, GI, GW, GE, GU, GU*, GT, GT*	-	-
Bodengruppe nach DIN 18915	2, 4	2, 4, 6, 8	2, 4, 6, 8		
Stein- und Blockanteil nach DIN EN ISO 14688-2	-	gering - mittel < 5 % - 20 %	gering - mittel < 5 % - 20 %	-	-
Korngrößenverteilung nach DIN 18123 mit Körnungsbändern	-	-	-	-	-
Wassergehalt nach DIN EN ISO 17892-1	4 % – 15 %	4 % – 40 % (16,54 % - 20,11 %) ¹⁾	4 % – 40 % (13,77 % - 29,26 %) ¹⁾	-	-

	Homogenbereich				
Bezeichnung	2 (Tragschicht- schotter)	3 (Auffüllungen)	4 (Tone und Kiese)	5 (Tonstein, Mergelstein, Dolomitstein)	6 (Kalkstein)
Konsistenz nach DIN 18122 und DIN EN ISO 14688-1	-	weich – halbfest Ic 0,5 – > 1,0 Ip 4% - > 20 % (bindige Bereiche)	weich – halbfest Ic 0,5 – > 1,0 Ip 4% - > 20 % (bindige Bereiche)	-	-
undränierete Scherfestigkeit nach DIN 4094-4, DIN 18136, DIN 18137 und DIN EN ISO 14688-2	-	25 kN/m ² - 600 kN/m ² (bindige Bereiche)	25 kN/m ² - 600 kN/m ² (bindige Bereiche)	-	-
Kohäsion nach DIN 18137-1, 2, 3	-	0 – 15 kN/m ²	0 – 15 kN/m ²	-	-
organischer Anteil nach DIN 18128 und DIN EN ISO 14688-2	-	nicht vorhanden V _{GI} < 2 %	nicht vorhanden V _{GI} < 2 %	-	-
Lagerungsdichte nach DIN 18126, DIN EN ISO 14688-2	mitteldicht - dicht, I _D 35 – 85 %	locker - mitteldicht, I _D 15 – 65 % (rollige Bereiche)	locker - mitteldicht, I _D 15 – 65 % (rollige Bereiche)	-	-
Dichte nach DIN 18125-2	2,00 g/cm ³ - 2,50 g/cm ³	1,55 g/cm ³ – 2,20 g/cm ³	1,55 g/cm ³ – 2,20 g/cm ³	2,30 g/cm ³ – 2,85 g/cm ³	2,30 g/cm ³ – 2,85 g/cm ³
Benennung von Fels nach DIN EN ISO 14689-1	-	-	-	Tonstein, Mergelstein, Dolomitstein	Kalkstein
Einaxiale Druckfestigkeit nach DGGT-Empfehlung Nr. 1	-	-	-	bis 120 MN/m ²	bis 160 MN/m ²
Trennflächen, DIN EN ISO 14689-1	-	-	-	geschiefert - mittelbankig	mittelbankig – sehr dickbankig
Verwitterung DIN EN ISO 14689-1	-	-	-	frisch – mäßig verwittert	frisch – mäßig verwittert
Veränderlichkeit DIN EN ISO 14689-1	-	-	-	veränderlich	veränderlich
Homogenbereiche für Bohrungen zur geotechnischen Erkundung und Untersuchung nach DIN 18301	bindige, nicht bindige oder organische Böden	bindige, nicht bindige oder organische Böden	bindige, nicht bindige oder organische Böden	Fels oder Stufen des verwitterten Fels	Fels oder Stufen des verwitterten Fels

1) durch Laborversuche belegt

4.7 Frostempfindlichkeit

Nach ZTVE-StB 17 erfolgt die Klassifikation der Frostempfindlichkeit von Bodengruppen in 3 Frostempfindlichkeitsklassen:

F 1	nicht frostempfindlich
F 2	gering- bis mittelfrostempfindlich
F 3	sehr frostempfindlich

Nach dieser Einteilung sind die anstehenden und aufgefüllten Tone, Sande und Kiese der **Frostempfindlichkeitsklasse F 3** zuzuordnen.

Die lokal angetroffenen Schotter sind in Abhängigkeit von ihren Bindigkeitsanteilen den **Frostempfindlichkeitsklassen F 1 und F 2** zuzuordnen.

4.8 Bodenkennwerte

Für erdstatische Berechnungen können folgende Bodenkennwerte angesetzt werden:

Hinterfüllung/ Tragschicht:

Sandiger Kies bzw. Schotter,	cal γ	=	21	kN/m ³
bindigkeitsarm, $D_{Pr} \geq 100$ %	cal γ'	=	12	kN/m ³
	cal φ'	=	37	°
	cal c'	=	0	kN/m ²

Auffüllung:

Ton, schluffig, kiesig	cal γ	=	19	kN/m ³
steif	cal γ'	=	9	kN/m ³
	cal φ'	=	28	° (Ersatzreibungswinkel)

Sand, kiesig, tonig	$\text{cal } \gamma$	=	20	kN/m^3
	$\text{cal } \gamma'$	=	11	kN/m^3
	$\text{cal } \varphi'$	=	27	$^\circ$ (Ersatzreibungswinkel)

Kies, tonig, sandig	$\text{cal } \gamma$	=	20	kN/m^3
	$\text{cal } \gamma'$	=	12	kN/m^3
	$\text{cal } \varphi'$	=	32	$^\circ$ (Ersatzreibungswinkel)

Anstehend:

Ton, schluffig, sandig, kiesig weich, weich-steif	$\text{cal } \gamma$	=	19	kN/m^3
	$\text{cal } \gamma'$	=	9	kN/m^3
	$\text{cal } \varphi'$	=	25	$^\circ$
	$\text{cal } c'$	=	3	kN/m^2

Ton, schluffig, sandig, kiesig steif, steif-halbfest	$\text{cal } \gamma$	=	19	kN/m^3
	$\text{cal } \gamma'$	=	9	kN/m^3
	$\text{cal } \varphi'$	=	25	$^\circ$
	$\text{cal } c'$	=	5	kN/m^2

Kies, tonig, sandig	$\text{cal } \gamma$	=	20	kN/m^3
	$\text{cal } \gamma'$	=	12	kN/m^3
	$\text{cal } \varphi'$	=	32	$^\circ$
	$\text{cal } c'$	=	3	kN/m^2

Ton-/ Mergel-/ Dolomitstein sehr mürb, mäßig mürb	$\text{cal } \gamma$	=	23	kN/m^3
	$\text{cal } \gamma'$	=	13	kN/m^3
	$\text{cal } \varphi'$	=	35	$^\circ$
	$\text{cal } c'$	=	25	kN/m^2

Kalkstein hart	$\text{cal } \gamma$	=	23	kN/m^3
	$\text{cal } \gamma'$	=	13	kN/m^3
	$\text{cal } \varphi'$	=	38	$^\circ$
	$\text{cal } c'$	=	40	kN/m^2

Dabei sind:

cal γ	=	Feuchtwichte
cal γ'	=	Wichte unter Auftrieb
cal φ'	=	Reibungswinkel
cal c'	=	Kohäsion

Hinsichtlich Hinterfüllung und Erddruckbeanspruchung ist das "Merkblatt über den Einfluss der Hinterfüllung auf Bauwerke" zu beachten.

5. Chemische Untersuchungen

5.1 Untersuchung nach VwV

Die Auffüllung und der anstehende Boden wurde auftragsgemäß im Hinblick auf eine Verwertung außerhalb durchwurzelbarer Bodenschichten nach dem Parameterumfang der "Verwaltungsvorschrift des Umweltministeriums für die Verwertung von als Abfall eingestuftem Bodenmaterial" (VwV Boden) analysiert.

Bei der Auswahl der Laborproben wurden hinsichtlich Bodenart und Aussehen ähnliche Proben zu folgenden Mischproben zusammengefasst:

Ergänzend werden die bereits durchgeführten Analysen (Az 116468) mit aufgeführt.

Tabelle 6: Zusammensetzung der Mischproben mit abfalltechnischer Einstufung

Material	Mischprobe	Bohrungen	Proben	Einstufung	wegen
Auffüllung	-	B 1	P 1/3	Z 0	-
Auffüllung	MP 1	B 2, B 4	P 2/3, P 2/4, P 4/1, P 4/2	Z 1.2	Cyanide
Auffüllung	MP 2	B 3, B 5, B 6, B 7, B 9, B 10, B 11	P 3/3, P 3/4, P 5/3, P 5/4, P 6/3, P 6/4, P 6/5, P 7/2, P 9/2, P 9/3, P 10/3, P 11/1	Z 1.2	Cyanide

Die Analyseergebnisse sind in Anlage 4 mit den Zuordnungswerten nach VwV Boden dargestellt.

Danach weist das Material der **MP 1** und **MP 2** einen erhöhten PAK -Wert bzw. Cyanid-Wert auf. Das Material fällt daher in die Qualitätsstufe Z 1.2 und kann somit nach Kapitel 5.3 der VwV Boden, die zum Aufbringen außerhalb durchwurzelbarer Bodenschichten gilt, bei günstigen hydrogeologischen Verhältnissen in technischen Bauwerken ohne definierte technische Sicherungsmaßnahmen verwendet werden. Dabei muss zwischen der Schüttkörperbasis und dem Grundwasser eine mindestens 2,00 m starke Deckschicht vorhanden sein.

Im Falle einer Entsorgung kann das Material z. B. auf einer nach VwV Boden genehmigten Erddeponie abgelagert werden, sofern diese Z 1.2-Material annehmen darf. Ansonsten ist eine Ablagerung auf einer nach Deponieverordnung genehmigten Deponie möglich. Dabei werden jedoch vom Deponiebetreiber weitere Analysen nach dem Parameterumfang der Deponieverordnung anhand Haufwerksbeprobungen nach LAGA PN 98 gefordert; in Abstimmung mit dem Entsorger können ggfs. auch Schurfbeprobungen durchgeführt werden.

Das Material der **P 1/3** weist keine erhöhten Gehalte auf. Alle Parameter unterschreiten die Z 0-Zuordnungswerte der VwV Boden, die zum Aufbringen außerhalb durchwurzelbarer Bodenschichten gilt. Das Material kann daher außerhalb durchwurzelbarer Bodenschichten frei verwendet werden.

Im Falle einer Entsorgung kann das Material z. B. auf einer nach VwV Boden genehmigten Erddeponie (Z 0) abgelagert werden. Bei einer nach Deponieverordnung genehmigten Deponie werden vom Deponiebetreiber weitere Analysen nach dem Parameterumfang der Deponieverordnung anhand Haufwerksbeprobungen nach LAGA PN 98 gefordert; in Abstimmung mit dem Entsorger können ggfs. auch Schurfbeprobungen durchgeführt werden.

Die vorgenommenen Einstufungen basieren auf Mischproben aus punktuellen Bohrungen, die aufgrund inhomogener Verteilung nicht zwangsläufig repräsentativ für das spätere Aushubmaterial sein müssen. Sie dienen lediglich als Vorab-Information z. B. für Ausschreibungen. Beim Aushub anfallendes Material kann aufgrund inhomogener Zusammensetzung u. U. auch höher belastet sein.

5.2 Sulfatanalyse

Das Bauvorhaben liegt stratigraphisch im Übergangsbereich zwischen dem Lettenkeuper und dem Oberen Muschelkalk. Hier sind lokal erhöhte Sulfatgehalte zu erwarten. Bei sulfathaltigen Untergrundverhältnissen kann es durch das Einarbeiten von Bindemitteln zu Quellprozessen kommen, die zu Aufwölbungen und Schäden an Bauwerken und Fahrbahnen führen können. Daher wurden die Proben P 1/4, P 4/2 und P 8/6 auf Sulfat untersucht. Ergänzend werden die bereits durchgeführten Analysen (Az 116468) mit aufgeführt.

Tabelle 7: Sulfatanalyse

Probe-Nr.	P 1/4	P 4/2	P 8/6	P 4/1	P 3/4	P 2/10	P 2/11
Bohrung	B 1	B 4	B 8	B 4 (Az 116468)	B 3 (Az 116468)	B 2 (Az 116468)	B 2 (Az 116468)
Bodenart	A: Ton	A: Ton	Tst	Ton	Ton	Ton	Ton
mg/kg	826	615	1020	2010	2230	2340	805

Die Sulfatgehalte der Proben liegen unter dem nach ZTV E-StB 17 vorgegebenen Grenzwert von 0,3 % der Trockenmasse ($\triangleq$ 3000 mg/kg), welcher als unkritisch für bodenstabilisierende Maßnahmen erachtet wird. Nach den Ergebnissen der Laborversuche ist eine Bodenverbesserung somit möglich.

Sofern im Boden lokal höhere Sulfatgehalte vorliegen, die durch die Probenahme nicht erfasst sind, können Quellhebungen aber nicht mit Sicherheit ausgeschlossen werden.

Wegen der Lage im Übergangsbereich zwischen der Erfurt-Formation (Lettenkeuper) und dem Oberen Muschelkalk empfehlen wir jedoch dringend, bei einer Bodenverbesserung im Zuge der Ausführung weitere verdachtspezifische Proben untersuchen zu lassen.

Wir weisen darauf hin, dass es beim Einbau von RC-Materialien in Sulfat führenden Böden oder auf verbesserten Schichten zu Hebungen und Bauschäden kommen kann. Wir raten daher von einem Einbau von RC-Material auf entsprechend behandelten Böden bzw. in Böden mit erhöhten Sulfatgehalten dringend ab.

6. Erdbebenzone

Das Bauvorhaben liegt nach der Karte der Erdbebenzonen und geologischen Untergrundklassen nach DIN EN 1998-1 in **keiner Erdbebenzone**.

7. Konstruktive und gründungstechnische Maßnahmen

7.1 Erdarbeiten

Die für die Bebauung vorgesehene Fläche fällt von 375 mNN auf 366 mNN nach Westen ein. Nach dem Abschieben des Mutterbodens bzw. des Oberbaus werden lokal noch Geländeanschüttungen erforderlich sein.

Wir schlagen vor, zunächst die in den Einschnittsbereichen anfallenden Tone sowie die Festgesteine bis Steinkorngröße für die Anschüttungen zu nutzen. Diese sind für einen Wiedereinbau unter überbauten Flächen nur dann geeignet, wenn sie mit Bindemittel verbessert werden. Bei einer Verbesserung sind die in Kapitel 5.2 beschriebenen Risiken eines Sulfatreibens zu beachten. Die erforderlichen Bindemittelmengen und die Bindemittelart müssen im Vorfeld durch eine Eignungsuntersuchung ermittelt werden. Vorab kann in der Ausschreibung von den in Kapitel 7.10 angegebenen überschlägigen Bindemittelmengen ausgegangen werden.

Sofern die im Abtragsbereich anfallenden Massen nicht für die Anschüttungen ausreichen, wird entsprechendes Fremdmaterial angefahren werden müssen. Bindiges Fremdmaterial (Tone und Schluffe), ist i.d.R. für einen unverbesserten Einbau nicht geeignet. In diesem Falle sind daher auch eine Verbesserung des Materials mit Bindemittel und eine Eignungsuntersuchung vorzusehen. Auch hier ist darauf zu achten, dass sulfathaltiges Material nicht verwendet werden kann. Alternativ kann bindigkeitsarmes, gut abgestuftes Material, z. B. Baustoffgemisch 0/56 mm oder ein gut abgestufter Vorsiebschotter (GW-Boden) eingebaut werden.

Sofern für die Anschüttungen unterschiedliche Materialien genutzt werden, ist darauf zu achten, dass diese jeweils im gesamten Bereich in einer Schicht verbaut werden. Das Herstellen der Anschüttungen in einem Teilbereich nur mit Schotter, in einem anderen nur mit verbessertem, bindigem Boden ist nicht zulässig.

Überbaute Anschüttungen sind grundsätzlich in Lagen $\leq 0,40$ m mit einem Verdichtungsgrad $D_{Pr} \geq 100$ % einzubauen. Bei Einbau von bindigem Material (T- und U-Boden) ist dabei auf jeder Einbaulage ein E_{v2} -Wert ≥ 30 MPa, bei einem Verhältniswert von $E_{v2}/E_{v1} \leq 2,0$ durch Plattendruckversuche nachzuweisen. Bei

Einbau von Baustoffgemischen ist auf jeder Einbaulage ein E_{v2} -Wert ≥ 100 MPa, bei einem Verhältniswert von $E_{v2}/E_{v1} \leq 2,3$ durch Plattendruckversuche nachzuweisen.

Die Aufstandsfläche ist nach dem Abschieben des Mutterbodens ebenfalls auf einer Stärke von 0,40 m zu verbessern. Hier gelten die gleichen Anforderungen wie für die Anschüttungen.

Die Anschüttungen sind bis mindestens 1,00 m über die Außenkante der Bodenplatte herzustellen. Die Böschungen sind mit 1:2 herzustellen.

Die im Untergrund verbleibenden Auffüllungen sind durch Rammsondierungen zu überprüfen. Anhand der Ergebnisse ist festzulegen, ob die Auffüllungen im Untergrund verbleiben können oder ob und bis zu welcher Tiefe ein Bodenaustausch mit einem bindigkeitsarmen gut verdichtungsfähigen Material z.B. BG 0/56 mm durchzuführen ist.

Alternativ können die Bereiche, in den Auffüllungen anstehen auch lastfrei überbaut werden. An die Anschüttungen werden hier dann keine besonderen Anforderungen gestellt.

7.2 Lastabtragung Tiefgarage A

Nach den aktuellen Planunterlagen liegt die FFB der Tiefgarage bei 366,40 mNN. Nach den Ergebnissen der Bohrungen liegen die Gründungssohlen lokal in den hergestellten Anschüttungen, lokal in den Auffüllungen, lokal in den weichen bis steifen Tonen und lokal bereits in den harten Kalksteinen.

Die vorhandenen Auffüllungen sind für die Gründung des Gebäudes nicht geeignet, da diese inhomogen zusammengesetzt und unzureichend verdichtet sein können. Bei einer Überbauung sind daher unkalkulierbare Setzungen zu erwarten, die zu Bauwerksschäden führen werden. Die Auffüllungen sind daher zu durchgründen.

Bei einer Gründung z. T. auf dem Kalkstein und z. T. auf den Anschüttungen/Tonen sind Setzungsunterschiede zu erwarten, die durch die Konstruktion schadlos aufgenommen werden müssen. Um Setzungsdifferenzen auszuschließen, muss die Gründung daher einheitlich auf den Kalksteinen erfolgen. Hierzu erforderliche Fundamentvertiefungen können als lokale Plomben mit Magerbeton ausgeführt werden.

Bei der Bemessung der Fundamente und Fundamentvertiefungen kann auf den harten Kalksteinen ein **Bemessungswert für den Sohlwiderstand $\sigma_{R,d}$ von 1400 kN/m²** nach DIN 1054:2010-12 angesetzt werden (entspricht einem aufnehmbaren Sohldruck σ_{zul} von 1000 kN/m² nach DIN 1054:2005-01).

Voraussetzung für den Ansatz der o. g. Sohlwiderstände ist die Einhaltung einer Mindestbreite von 0,40 m bei Streifen- und 0,50 m bei Einzelfundamenten.

Sofern Reste des alten Bestandes unterhalb des Aushubniveaus liegen, sind diese im Fundamentbereich restlos zu entfernen und unterhalb von Bodenplatten bis 0,50 m unter UK der Platte abzuspitzen.

Unter der Bodenplatte in nicht gepflasterten Bereichen eine 0,15 m starke Dränschicht (z. B. Kies oder Schotter 11/22 mm) einzubauen.

Auf eine frostsichere Gründung der außenliegenden Fundamente > 1,00 m unter GOK ist zu achten.

7.3 Lastabtragung Tiefgarage B

Nach den aktuellen Planunterlagen liegt die FFB der Tiefgarage bei 369,90 mNN. Nach den Ergebnissen der Bohrungen liegen die Gründungssohlen lokal in den Auffüllungen, lokal in den weichen bis steifen und steifen Tonen und lokal bereits in den Ton-/ Mergel-/ Dolomit- und Kalksteinen.

Die vorhandenen Auffüllungen sind für die Gründung des Gebäudes nicht geeignet, da diese inhomogen zusammengesetzt und unzureichend verdichtet sein können.

Bei einer Überbauung sind daher unkalkulierbare Setzungen zu erwarten, die zu Bauwerksschäden führen werden. Die Auffüllungen sind daher zu durchgründen.

Bei einer Gründung z. T. auf den Festgesteinen und z. T. auf den Anschüttungen/Tonen sind Setzungsunterschiede zu erwarten, die durch die Konstruktion schadlos aufgenommen werden müssen. Um Setzungsdifferenzen auszuschließen, muss die Gründung daher einheitlich auf den mindestens sehr mürben Festgesteinen erfolgen. Hierzu erforderliche Fundamentvertiefungen können als lokale Plomben mit Magerbeton ausgeführt werden.

Bei der Bemessung der Fundamente und Fundamentvertiefungen kann auf den mindestens sehr mürben Festgesteinen ein **Bemessungswert für den Sohlwiderstand $\sigma_{R,d}$ von 980 kN/m²** nach DIN 1054:2010-12 angesetzt werden (entspricht einem aufnehmbaren Sohldruck σ_{zul} von 700 kN/m² nach DIN 1054:2005-01).

Voraussetzung für den Ansatz der o. g. Sohlwiderstände ist die Einhaltung einer Mindestbreite von 0,40 m bei Streifen- und 0,50 m bei Einzelfundamenten.

Sofern Reste des alten Bestandes unterhalb des Aushubniveaus liegen, sind diese im Fundamentbereich restlos zu entfernen und unterhalb von Bodenplatten bis 0,50 m unter UK der Platte abzuspitzen.

Unter der Bodenplatte in nicht gepflasterten Bereichen eine 0,15 m starke Dränschicht (z. B. Kies oder Schotter 11/22 mm) einzubauen.

Auf eine frostsichere Gründung der außenliegenden Fundamente > 1,00 m unter GOK ist zu achten.

7.4 Lastabtragung Tiefgarage C und D

Nach den aktuellen Planunterlagen liegt die FFB der Tiefgarage C 364,40 und der Tiefgarage D bei 363,40 mNN. Nach den Ergebnissen der Bohrungen liegen die

Gründungssohlen lokal in den Auffüllungen, lokal in den Kiesen und lokal bereits in den Kalksteinen.

Die vorhandenen Auffüllungen sind für die Gründung des Gebäudes nicht geeignet, da diese inhomogen zusammengesetzt und unzureichend verdichtet sein können. Bei einer Überbauung sind daher unkalkulierbare Setzungen zu erwarten, die zu Bauwerksschäden führen werden. Die Auffüllungen sind daher zu durchgründen.

Bei einer Gründung z. T. auf den Kalksteinen und z. T. auf den Kiesen sind Setzungsunterschiede zu erwarten, die durch die Konstruktion schadlos aufgenommen werden müssen. Um Setzungsdifferenzen auszuschließen, muss die Gründung daher einheitlich auf den Kalksteinen erfolgen. Hierzu erforderliche Fundamentvertiefungen können als lokale Plomben mit Magerbeton ausgeführt werden.

Bei der Bemessung der Fundamente und Fundamentvertiefungen kann auf den harten Kalksteinen ein **Bemessungswert für den Sohlwiderstand $\sigma_{R,d}$ von 1400 kN/m²** nach DIN 1054:2010-12 angesetzt werden (entspricht einem aufnehmbaren Sohldruck σ_{zul} von 1000 kN/m² nach DIN 1054:2005-01).

Voraussetzung für den Ansatz der o. g. Sohlwiderstände ist die Einhaltung einer Mindestbreite von 0,40 m bei Streifen- und 0,50 m bei Einzelfundamenten.

Sofern Reste des alten Bestandes unterhalb des Aushubniveaus liegen, sind diese im Fundamentbereich restlos zu entfernen und unterhalb von Bodenplatten bis 0,50 m unter UK der Platte abzuspitzen.

Unter der Bodenplatte in nicht gepflasterten Bereichen eine 0,15 m starke Dränschicht (z. B. Kies oder Schotter 11/22 mm) einzubauen.

Auf eine frostsichere Gründung der außenliegenden Fundamente > 1,00 m unter GOK ist zu achten.

7.5 Tiefgaragenfußboden

Sofern eine Pflasterung des Tiefgaragenbodens vorgesehen ist, empfehlen wir, den Unterbau gemäß den Vorgaben der RStO für PKW-Parkflächen zu dimensionieren.

Nach den Ergebnissen der Bohrungen werden auf Niveau Planum des Tiefgaragenbodens lokal Auffüllungen, lokal weiche und steife Tone, lokal Kiese und lokal bereits Festgesteine anstehen.

In Bereichen, in denen auf Planum noch Auffüllungen anstehen, sind diese durch Rammsondierungen zu prüfen. Anhand der Ergebnisse ist festzulegen, ob die Auffüllungen im Untergrund verbleiben können oder ob eine Überbauung der Auffüllungen nicht möglich ist.

Sofern die Auffüllungen nicht ausreichend verdichtet sind, empfehlen wir, diese Bereiche freitragend zu überbauen. Alternativ kann im Bereich der Auffüllungen ein Bodenaustausch durchgeführt werden.

Der nach ZTVE bzw. RStO auf Planum geforderte Verformungsmodul $E_{v2} \geq 45 \text{ MN/m}^2$ wird insbesondere bei ungünstigen Witterungsverhältnissen auf den anstehenden Tönen erfahrungsgemäß nicht zu erreichen sein. Wir schlagen deshalb vor, in diesen Bereichen einen ca. 0,30 m starken Bodenaustausch mit bindigkeitsarmem, gut abgestuftem und verdichtungsfähigem Material, z. B. Baustoffgemisch 0/56 mm, durchzuführen.

In Bereichen, in denen bereits Kiese und Festgesteine anstehen, kann die Stärke des Bodenaustausches reduziert bzw. darauf verzichtet werden wenn eine ausreichende Tragfähigkeit gegeben ist. Wir weisen jedoch darauf hin, dass sich die Kalksteine nicht maßhaltig lösen lassen. Wir empfehlen daher, der Ausschreibung eine 0,15 m - 0,20 m starke Ausgleichsschicht mit Baustoffgemisch 0/56 mm, vorzusehen.

Um den auf OK Tragschicht geforderten Verformungsmodul $E_{v2} \geq 120 \text{ MN/m}^2$ zu erreichen, ist die Tragschicht mit Baustoffgemisch 0/45 mm nach ZTV-SoB 0,35 m

stark vorzusehen. Im Bereich der Festgesteine kann die Tragschichtstärke auf 0,15 m reduziert werden.

Die Tragfähigkeit von Planum und Tragschicht ist durch Plattendruckversuche nachzuweisen.

7.6 Sicherung der Baugruben

Böschungen können gemäß DIN 4124 bis $\leq 5,00$ m oberhalb des Grundwassers im Bereich der mindestens steifen Tone mit einer Böschungsneigung von $\beta \leq 60^\circ$ hergestellt werden. In weichen Tonen sowie in den Auffüllungen und Kiesen ist die Böschungsneigung auf $\beta \leq 45^\circ$ abzuflachen. Im Bereich der Festgesteine kann mit $\beta \leq 80^\circ$ geböscht werden.

Die Böschungsschulter muss auf einer Breite von mindestens 2,00 m frei von Lasten sein. Bei Lasten an der Böschungsschulter, auch jenseits der 2,00 m, aus Baubetrieb (z.B. Kranstellflächen, Schwerlastverkehr, Zwischenlager) oder angrenzenden Gebäuden sind die Böschungen rechnerisch nachzuweisen.

Um Erosionsschäden zu vermeiden und um die Böschungswände vor Witterungseinflüssen bzw. dem Zutritt von Oberflächenwasser zu schützen, sind die Böschungen gegen überfließendes Niederschlagswasser sowie gegen Austrocknung zu sichern und mit Kunststoffolie abzuhängen. Die Kunststoffolie muss so angebracht werden, dass kein Niederschlagswasser unter die Folie gelangen und die Folie nicht vom Wind weggeklappt werden kann.

Böschungen die $> 5,00$ m in das Gelände einschneiden sind gemäß DIN 4124 über einen Standsicherheitsnachweis zu prüfen. Sofern ein Böschchen mit den oben angegebenen Böschungswinkeln aufgrund der beengten Platzverhältnisse zur Grenze nicht möglich ist, ist ebenfalls ein rechnerischer Nachweis erforderlich.

Gegebenenfalls ist ein Verbau erforderlich. Der Verbau muss rechnerisch nachgewiesen und die Baustoffe dimensioniert werden. Bei der Dimensionierung des Verbaus sind vorhandene Lasten zu beachten und die Leitungsfreiheit im Falle

einer Verankerung/Vernagelung zu prüfen. Die Dimensionierung der Verbaumaßnahmen können durch das BFI vorgenommen werden.

Im Übrigen sind die Empfehlungen des Arbeitskreises Baugruben (EAB) sowie die DIN 4124 zu berücksichtigen.

7.7 Wasserhaltung

Grundwasser wurde bei den Bohrungen nicht angetroffen. Jedoch muss mit Tagwasser sowie mit temporären Schicht- und Sickerwasserzutritten gerechnet werden.

Lokal und temporär in die Baugrube zutretende Schichtwässer können über eine offene Wasserhaltung abgezogen werden.

7.8 Trockenhaltung der ins Erdreich einschneidenden Bauteile

Grundwasser wurde bei den Bohrungen nicht angetroffen. In Abhängigkeit von den jahreszeitlich schwankenden Niederschlagsmengen muss jedoch temporär mit Sickerwasserzutritten gerechnet werden. Zudem werden verfüllte Baugruben nach starken Niederschlägen allmählich mit Wasser gefüllt.

Zum Schutz der ins Erdreich einschneidenden Bauteile gegen Staunässe und Sickerwasser ist daher entlang der erdberührenden Außenwände gemäß DIN 4095 eine Dränage einzubauen. Als Dränrohr empfiehlt sich ein geschlitztes PVC-Rohr, $\varnothing \geq 100 \text{ mm}$, über dem eine Dränschicht ausgebildet wird (Hinterfüllung mit sandigem Kies oder Anbringen von Dränplatten bzw. Sickersteinen). Zudem empfehlen wir, gegen das Erdreich ein Filtervlies (Klasse 3) einzulegen, um ein Einspülen von Feinteilen in die Dränage zu verhindern. Die Dränage ist durch den Einbau von Spülschächten so auszubilden, dass sie gespült werden kann. Die Dränage ist an eine rückstaufreie Vorflut anzuschließen. Die Abdichtung ist dann nach DIN 18533 gemäß Wassereinwirkungsklasse W 1.2 E herzustellen.

Unter der Bodenplatte ist in nicht gepflasterten Bereichen eine 0,15 m starke, kapillARBrechende Schicht (z. B. Kies oder Schotter 11/22 mm) einzubauen und an die Ringdränage anzuschließen. Zudem sind für den gepflastert vorgesehenen Tiefgaragenfußboden im Abstand von 10 m - 15 m Dränagestränge anzuordnen und an die Ringdränage anzuschließen.

Über die Dränage findet keine permanente Absenkung des Grundwassers statt. Sie dient der Absicherung gegen temporär aufstauendes Sickerwasser bzw. zusickerndem Oberflächenwasser in der verfüllten Baugrube.

Nach den Ergebnissen der Bohrungen schneidet die Bodenplatte nicht in das Grundwasser ein. Wir empfehlen jedoch im Vorfeld der weiteren Planung mit dem Landratsamt abzustimmen, ob Dränagen im vorliegenden Fall genehmigt werden.

Ist die Ausbildung einer Dränage genehmigungsrechtlich, aus Platzgründen oder wegen der fehlenden Vorflut nicht machbar, ist eine wasserdichte Ausführung vorzusehen.

Das Gebäude ist entsprechend bis zum Niveau einer Begrenzungsdränage, die an eine rückstaufreie Vorflut angeschlossen wird, auftriebssicher und wasserdicht herzustellen. Alternativ kann das Gebäude bis GOK auftriebssicher und wasserdicht ausgeführt werden.

Bei Ausführung von wasserundurchlässigen Bauteilen gemäß der DafStb-Richtlinie „Wasserundurchlässige Baukörper aus Beton“ ist der **Bemessungswasserstand** dann auf das Niveau der Begrenzungsdränage bzw. auf OK Gelände anzusetzen. Weiterhin gilt die **Beanspruchungsklasse 1** (ständig und zeitweise drückendes Wasser).

Wird nicht gemäß der o.g. DafStb-Richtlinie gebaut, so sind Abdichtungsmaßnahmen der erdberührenden Bauteile gemäß DIN 18533 vorzusehen. Für diese gilt im vorliegenden Fall ohne Dränagen die **Wassereinwirkungsklasse 2.1.E** (bis 3 m Einschnittstiefe) bzw. **2.2.E** (über 3 m Einschnittstiefe).

7.9 Arbeitsraumverfüllung

Die in den Bohrungen angetroffenen und beim Aushub anfallenden, mindestens steifen Tone sowie die Kiese und die Festgesteine bis Steinkorngröße ($< 200 \text{ mm}$) können zum Verfüllen der Arbeitsräume verwendet werden, wenn Setzungen an der Geländeoberfläche toleriert werden (z.B. in Grünflächen). Steinblöcke müssen entweder separiert oder zerkleinert werden, um sie zum Verfüllen der Arbeitsräume verwenden zu können. Es ist darauf zu achten, dass das Material gut kornabgestuft ist und hohlraumfrei verdichtet werden kann.

Alternativ kann das beim Abbruch der Bestandsgebäude anfallende RC-Material für die Arbeitsraumverfüllungen verwendet werden. Hierbei ist darauf zu achten, dass das Material nicht belastet ist. Auch hier ist auf eine gute Kornabstufung zu achten. Bis 1,00 m unter GOK ist die Arbeitsraumverfüllung jedoch mit einem bindigen Material (Tone oder Schluffe) dicht herzustellen.

Es ist jedoch auf eine trockene, witterungsgeschützte Zwischenlagerung zu achten, um ein Aufweichen des Materials zu verhindern. Wird weiches oder aufgeweichtes Material eingebaut, so muss mit starken Setzungen gerechnet werden, da die Verdichtbarkeit des Bodens mit zunehmendem Wassergehalt abfällt und eine ausreichende Verdichtung bei sehr hohen Wassergehalten des Bodens dann nicht mehr möglich ist.

Überbaute Arbeitsräume, in denen keine Setzungen auftreten dürfen, wie bspw. unter höheren Gebäudeteilen, Zufahrten, Terrassen oder PKW-Stellflächen, sind mit bindigkeitsarmem, gut abgestuftem Material, z. B. Baustoffgemisch 0/56 mm zu verfüllen und mit einem Verdichtungsgrad $D_{Pr} \geq 100 \%$ zu verdichten. Es sind entsprechende Verdichtungsnachweise zu erbringen.

Sofern die Festgesteine gebrochen werden gut kornabgestuft sind, kann hier bei Bedarf eine Eignungsuntersuchung durchgeführt werden, um zu prüfen, ob diese auch im Bereich überbauter Arbeitsräume eingebaut werden können.

7.10 Bodenverbesserung

Ausgehend von den Laborversuchsergebnissen kann in der Ausschreibung von den in Tabelle 8 angegebenen Bindemittelmengen auf 100 Gew.-% des trockenen Bodens ausgegangen werden. Ausgehend von einer geschätzten Trockendichte der Tone von im Mittel $1,75 \text{ t/m}^3$ ergeben sich folgende Bindemittelmengen:

Tabelle 8: Bindemittelmengen

Bereich	Menge [%]	[kg/m ³]	Frästiefe: 0,30 m [kg/m ²]	Frästiefe: 0,40 m [kg/m ²]
Planum:	3,0 – 4,0	52,5 – 70,0	15,8 – 21,0	21,0 – 28,0

Das Bauvorhaben liegt stratigraphisch im Übergangsbereich zwischen der Erfurt-Formation (Lettenkeuper) und dem Oberen Muschelkalk. Hier muss mit erhöhten Sulfatwerten gerechnet werden. Bei einer ersten Analyse wurden leicht erhöhte Sulfatgehalte festgestellt (siehe Kapitel 5.2). Im Zuge der Eignungsuntersuchung, wenn die Fläche einsehbar ist, sind ergänzend verdachtspezifische Beprobungen durchzuführen.

Eine exakte Angabe über erforderliche Zugabemengen an Bindemittel und die Art des Bindemittels kann erst nach Durchführung einer Eignungsprüfung erfolgen. Im Zuge der Eignungsprüfung ist auch der Sulfatgehalt des Bodens im Feststoff zu bestimmen. Bei sulfathaltigen Böden kann es durch das Einarbeiten von Bindemitteln zu Schäden infolge von Baugrundhebungen kommen.

In weichen Bereichen oder bei Niederschlägen muss mit Mehrmengen an Bindemitteln gerechnet werden, um eine ausreichende Verdichtbarkeit und Tragfähigkeit zu erzielen.

Für die Verbesserung eignet sich z.B. Bodenbinder 500 oder ein gleichwertiges Mischbindemittel. Als gleichwertig sind Bindemittel zu sehen, mit denen sich

gleiche einaxiale Druckfestigkeiten bzw. E_{v2} -Werte bei gleicher Bindemittelmenge erzielen lassen.

Wir weisen darauf hin, dass es durch die Staubentwicklung beim Einfräsen und Verdriftung der aggressiven Bindemittel durch den Wind zu Schäden an Fahrzeugen und Gebäuden kommen kann. Im Falle eines Bindemittleinsatzes ist daher auf geeignete Windverhältnisse zu achten. Zudem ist bei Bedarf eine Fräse vorzuhalten, die das Einbringen des Bindemittels unter einer Staubschutzschürze ermöglicht.

8. Abnahme und Haftung

Haftungsvoraussetzungen sind:

- die Zusendung der Ausführungspläne
- die Prüfung der Auffüllungen im Falle einer Überbauung durch Rammsondierungen
- die Durchführung einer Eignungsuntersuchung im Falle einer Bodenverbesserung
- die lageweise Abnahme von überbauten Anschüttungen durch Plattendruckversuche
- der rechnerische Nachweis für Böschungen $> 5,00$ m
- rechnerische Nachweise für Verbaumaßnahmen
- die Abnahme der Gründungssohlen
- die Abnahme überbauter Arbeitsräume
- die Abnahme von Planum und Tragschicht in gepflasterten Bereichen durch Plattendruckversuche

Für das BFI:



Dipl.-Ing. G. Zeiser

Sachbearbeiter:



B.Eng. S. Reeb

gez. Borota

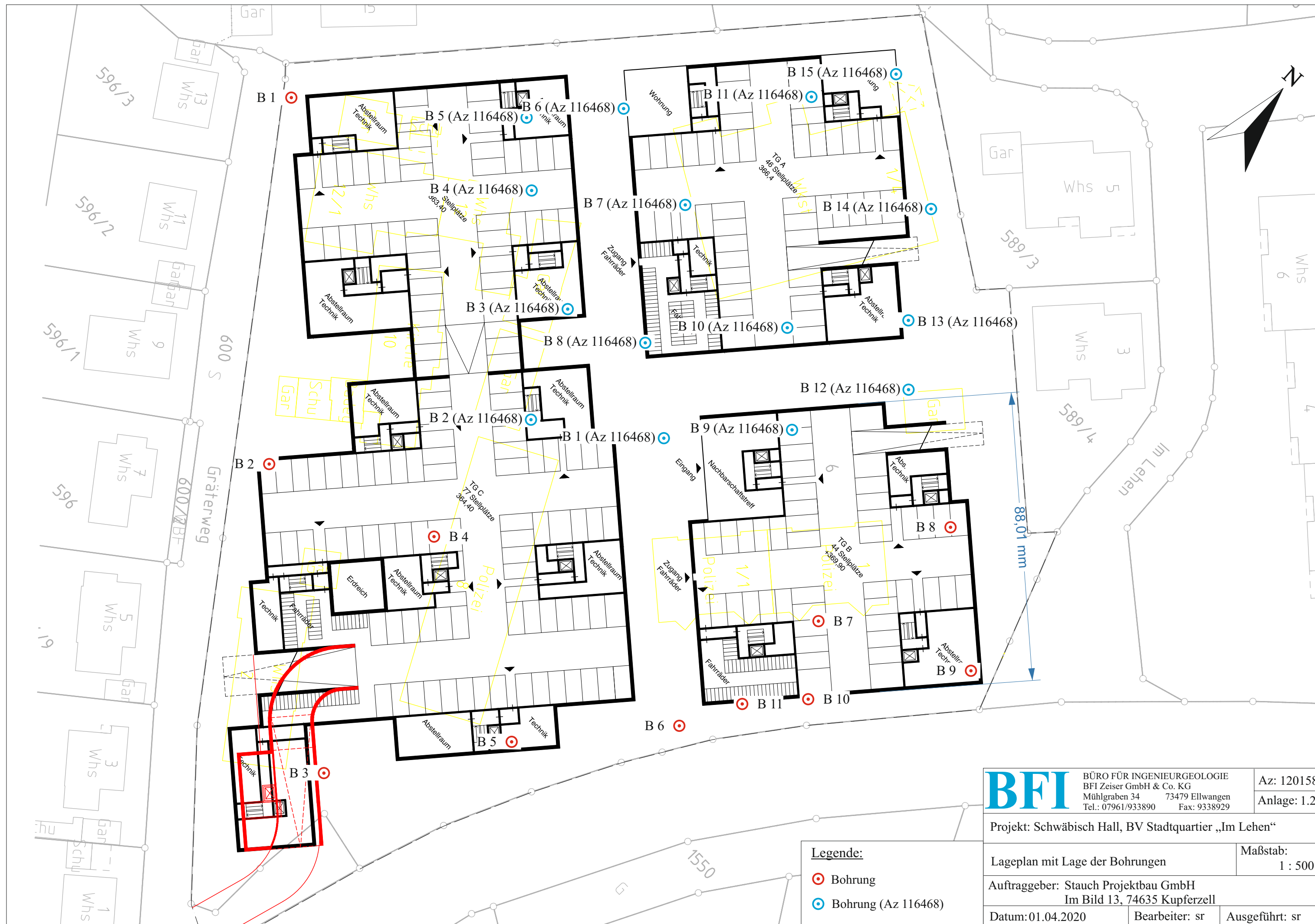
Dipl.-Geol. S. Borota



GK50: Geologische Einheiten (Flächen)

- Anthropogene Ablagerungen (Aufschüttung, Auffüllung) (qhy)
- Verwitterungs-/Umlagerungsbildung (qum)
- Lössführende Fließerde (qfL)
- Lösslehm (Lol)
- Holozäne Abschwemmmassen (qhz)
- Auenlehm (Lf)
- Grabfeld-Formation (Gipskeuper) (kmGr)
- Erfurt-Formation (Lettenkeuper) (kuE)
- Oberer Muschelkalk (mo)
- Meißner-Formation (moM)
- Trochitenkalk-Formation (moTK)
- Mittlerer Muschelkalk (mm)

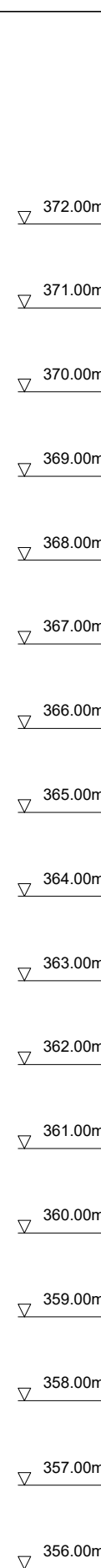
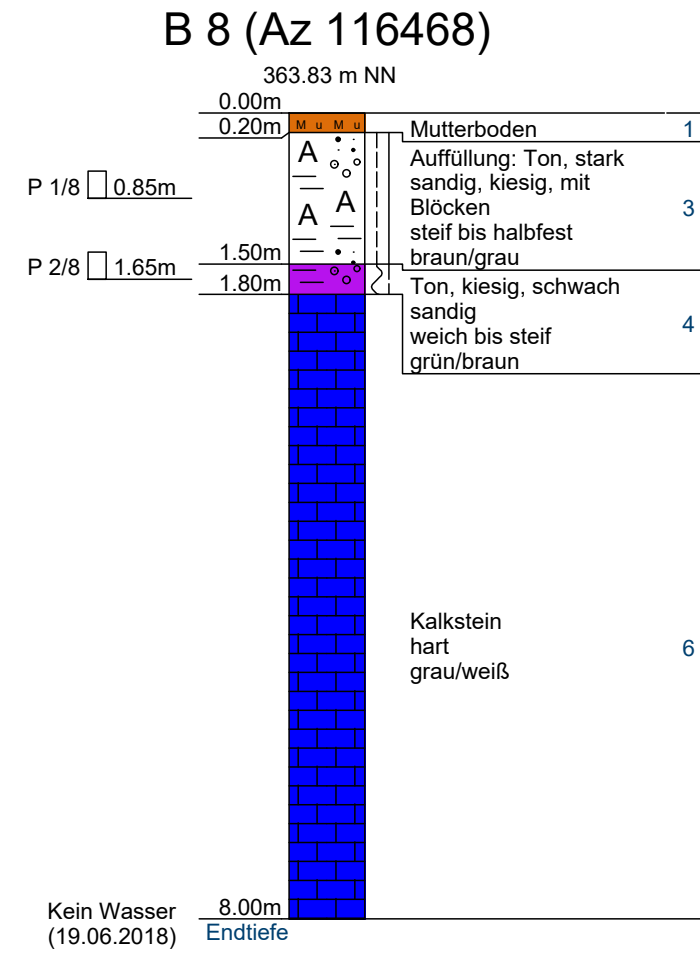
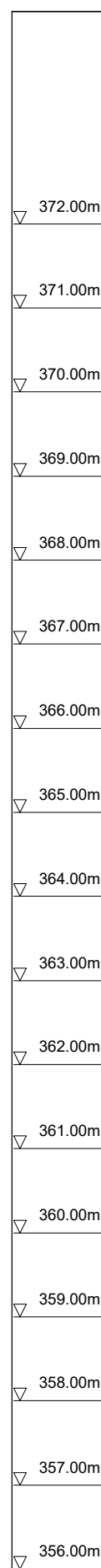
BFI BÜRO FÜR INGENIEURGEOLOGIE BFI Zeiser GmbH & Co. KG Mühlgraben 34 73479 Ellwangen Tel.: 07961/933890 Fax: 9338929	Az: 120158
	Anlage: 1.1
Projekt: Schwäbisch Hall, BV Stadtquartier „Im Lehen“	
Geologische Karte	Maßstab: 1 : 10.000
Auftraggeber: Stauch Projektbau GmbH Im Bild 13, 74653 Kupferzell	
Datum: 02.04.2020	Bearbeiter: sr Ausgeführt: sr

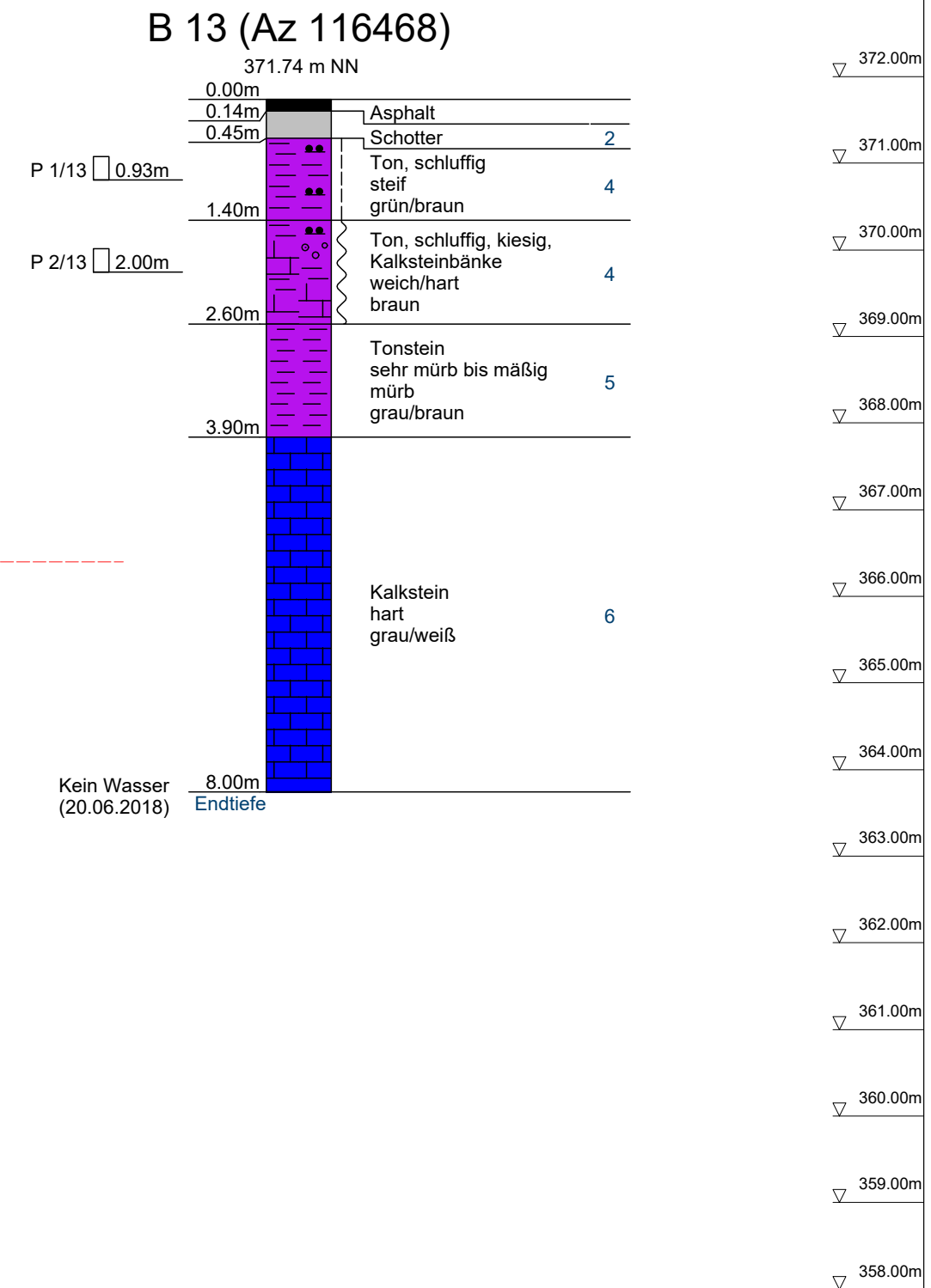
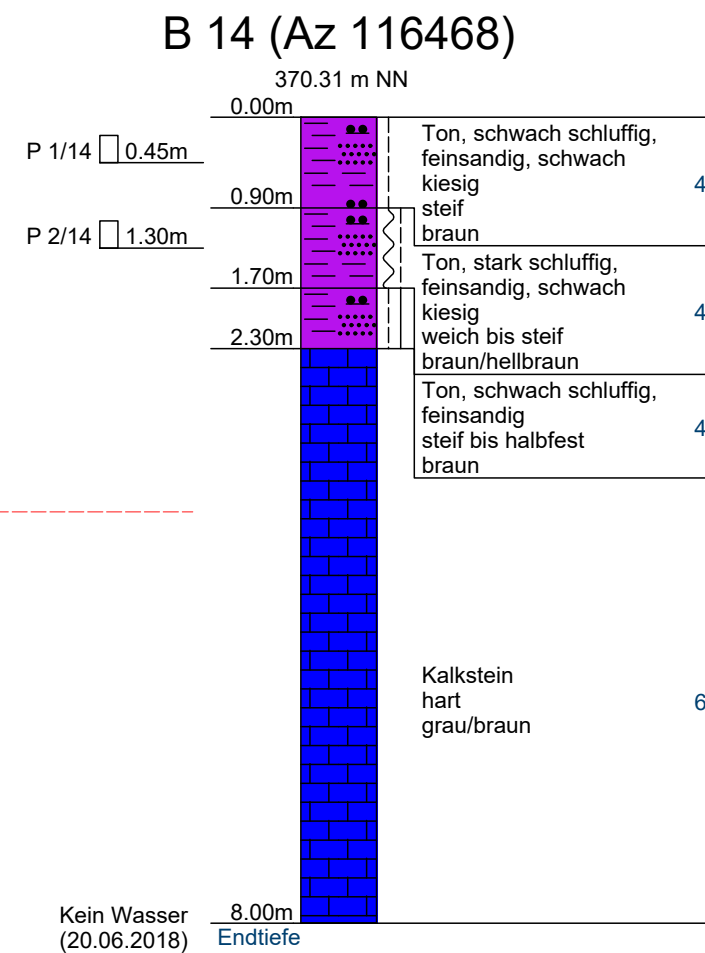
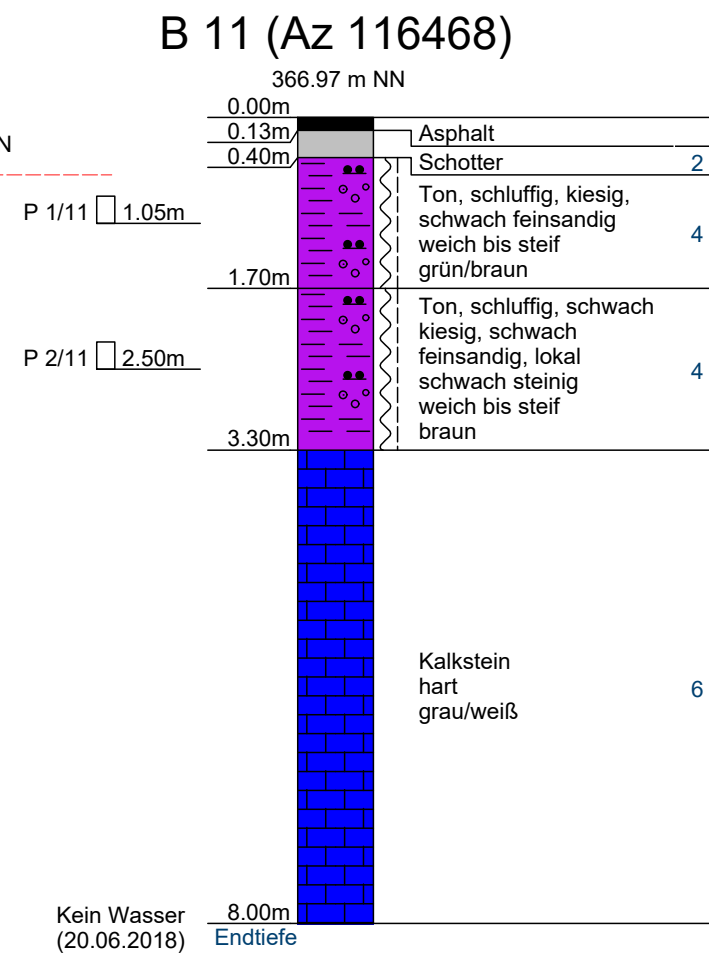
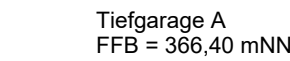
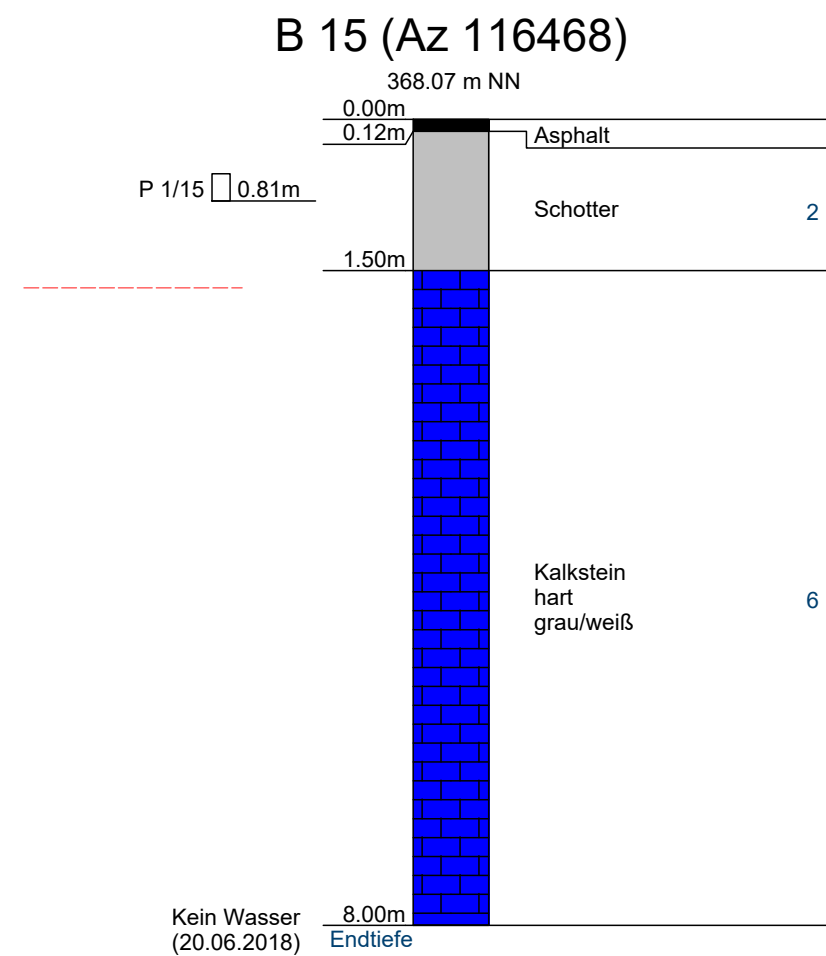
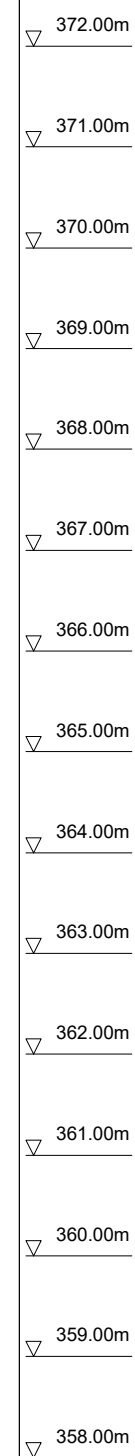


Legende:

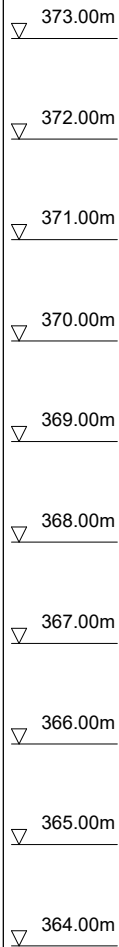
- Bohrung
- Bohrung (Az 116468)

	BÜRO FÜR INGENIEURGEOLOGIE BFI Zeiser GmbH & Co. KG Mühlgraben 34 73479 Ellwangen Tel.: 07961/933890 Fax: 9338929	Az: 120158
		Anlage: 1.2
Projekt: Schwäbisch Hall, BV Stadtquartier „Im Lehen“		
Lageplan mit Lage der Bohrungen		Maßstab: 1 : 500
Auftraggeber: Stauch Projektbau GmbH Im Bild 13, 74635 Kupferzell		
Datum: 01.04.2020	Bearbeiter: sr	Ausgeführt: sr

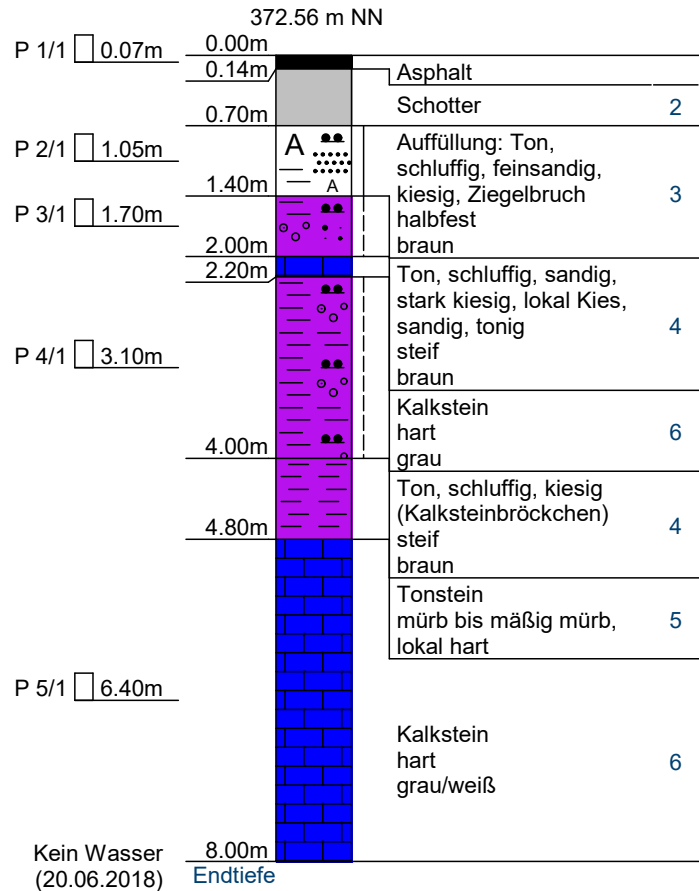




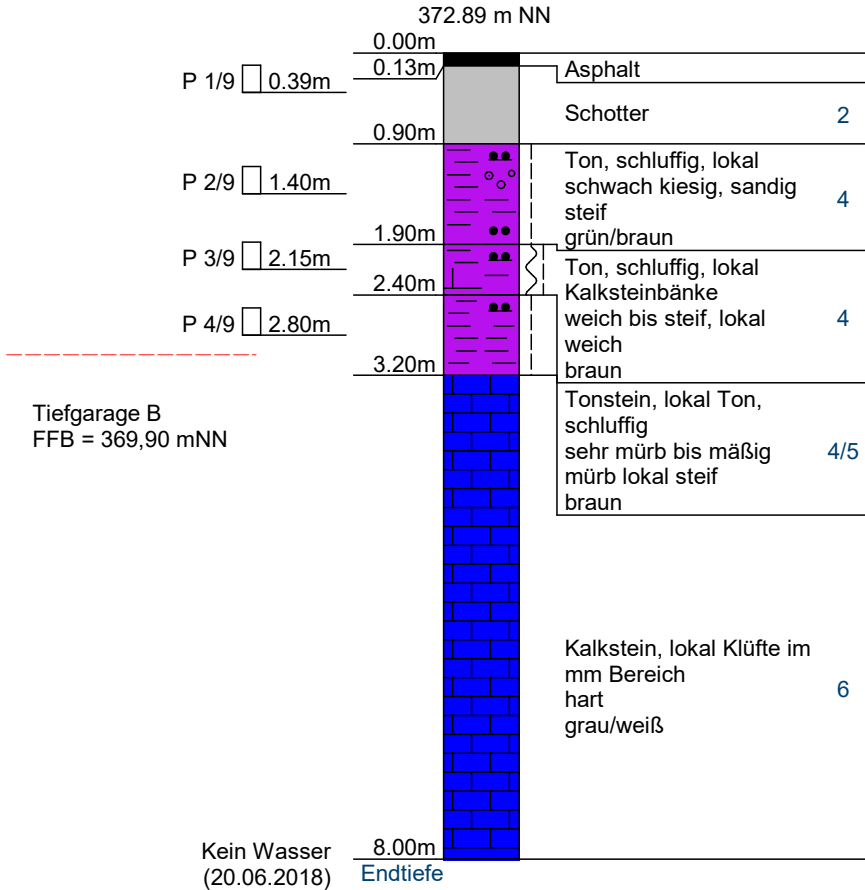
BÜRO FÜR INGENIEURGEOLOGIE	Az:	120158
BFI Zeiser GmbH & Co. KG	Anlage:	2.2
Mühlgraben 34 - 73479 Ellwangen	Schnitt:	
Tel. 07961/93389-0 Fax 93389-29	Maßstab:	1:75
bfi@bfi-zeiser.de	Datum:	27.04.2020
Internet: www.bfi-zeiser.de	aufgenommen:	20.06.2018
Projekt: Schwäbisch Hall, BV Stadtquartier "Im Lehen"		



B 1 (Az 116468)

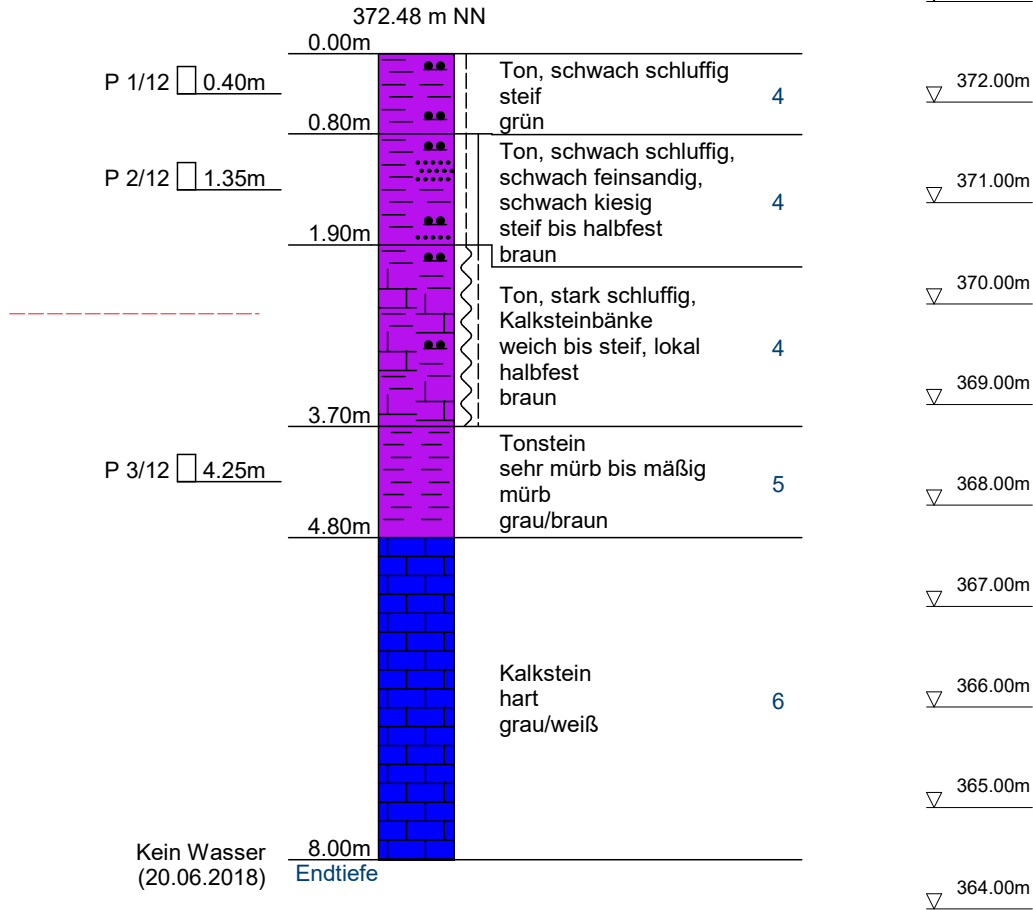


B 9 (Az 116468)

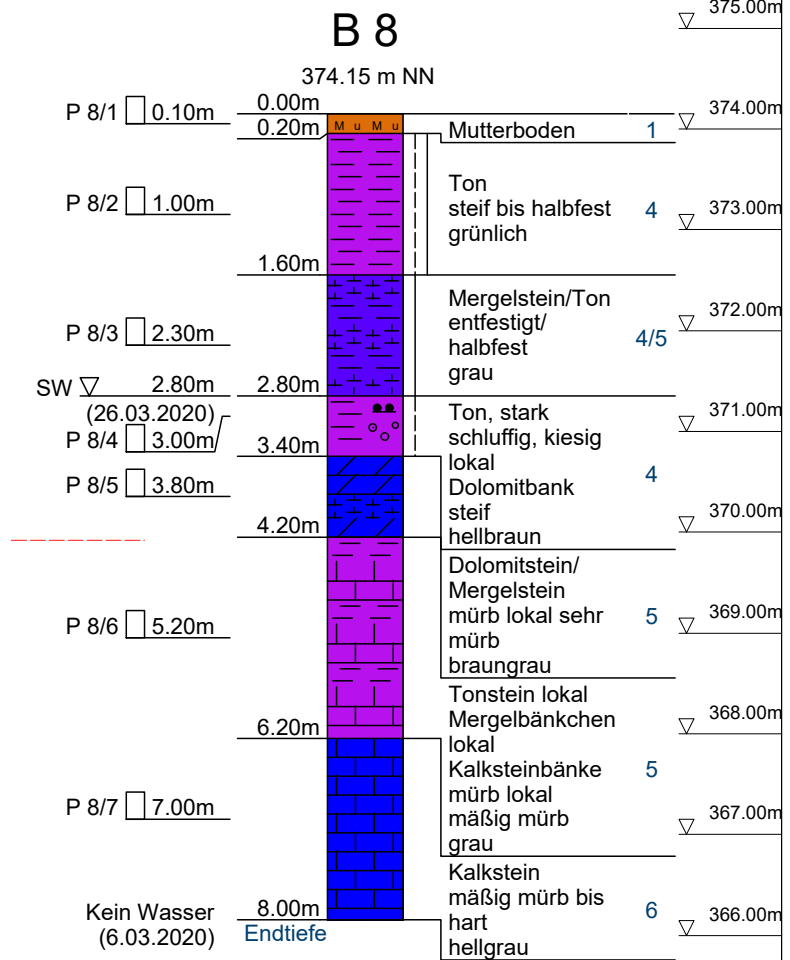
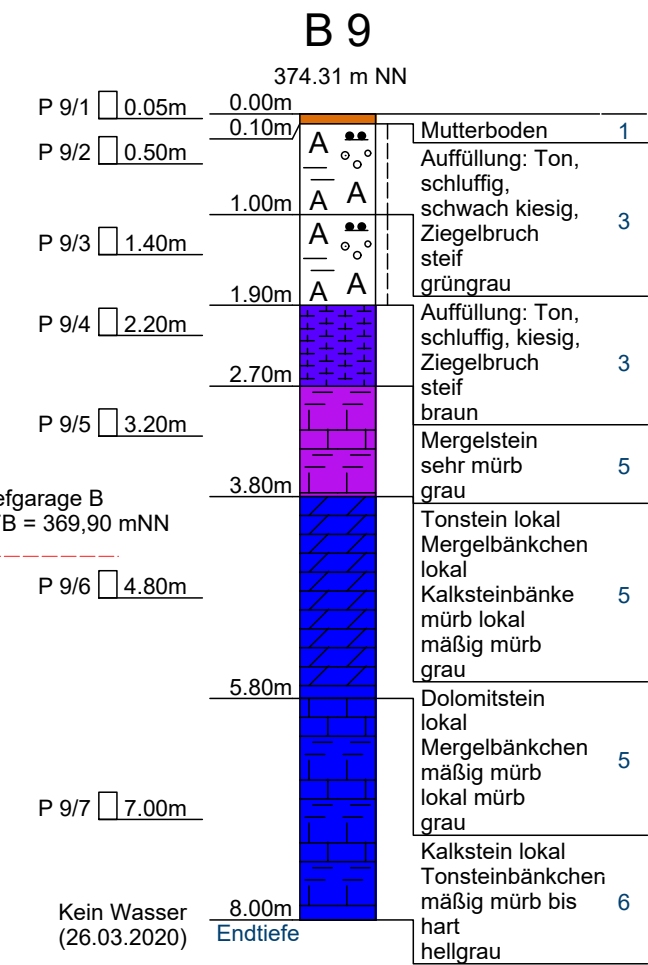
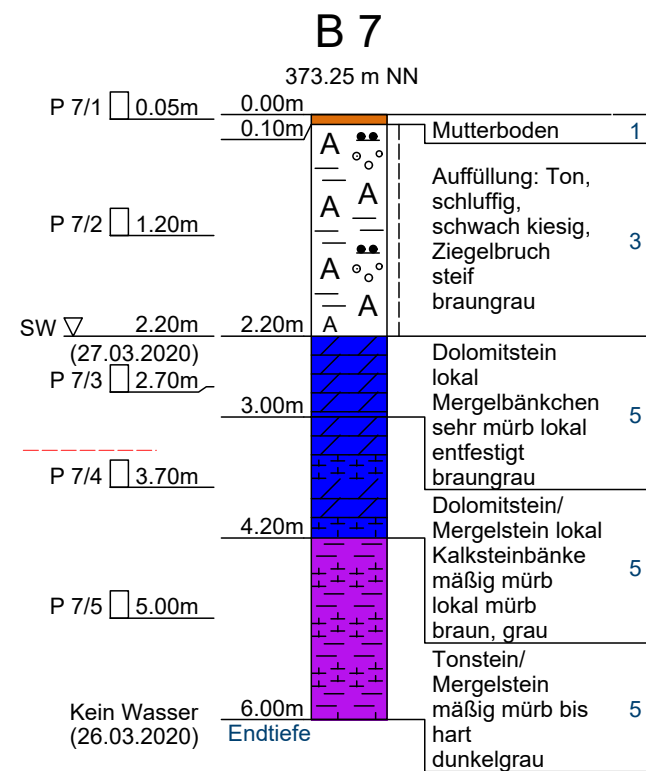
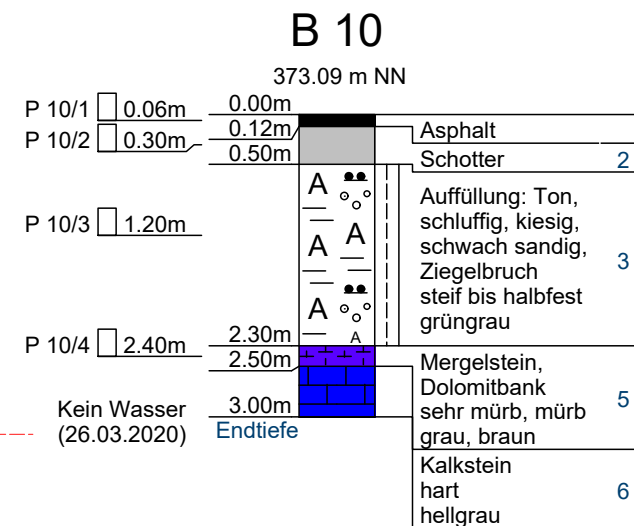
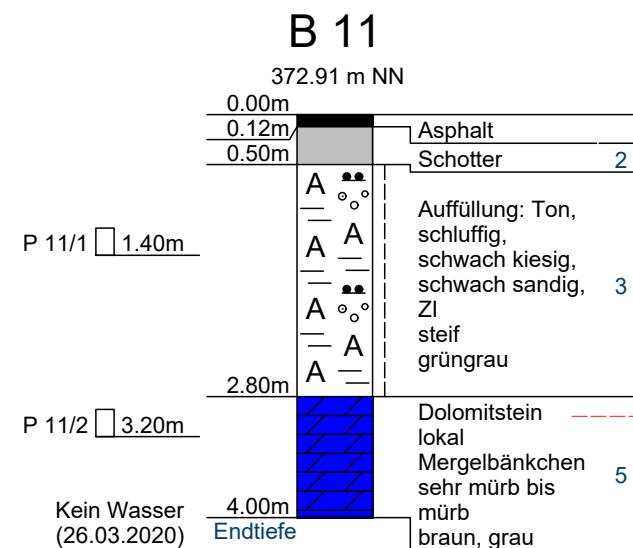
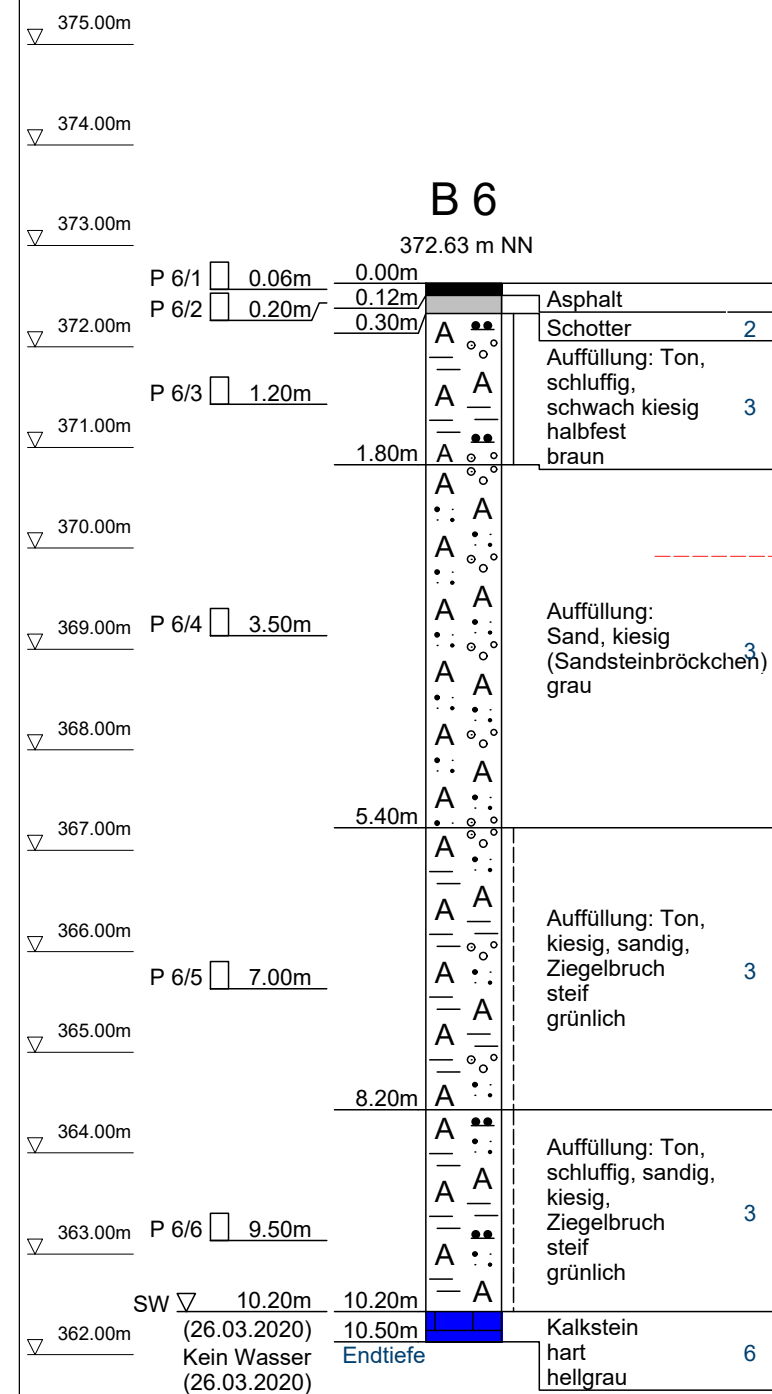


Tiefgarage B
FFB = 369,90 mNN

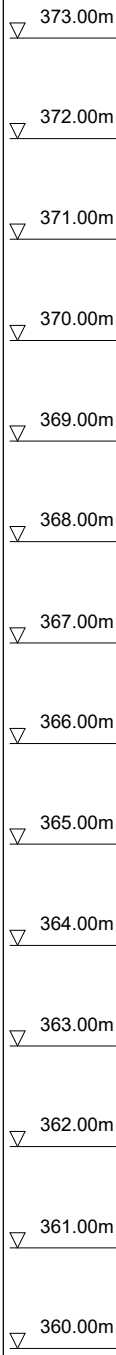
B 12 (Az 116468)



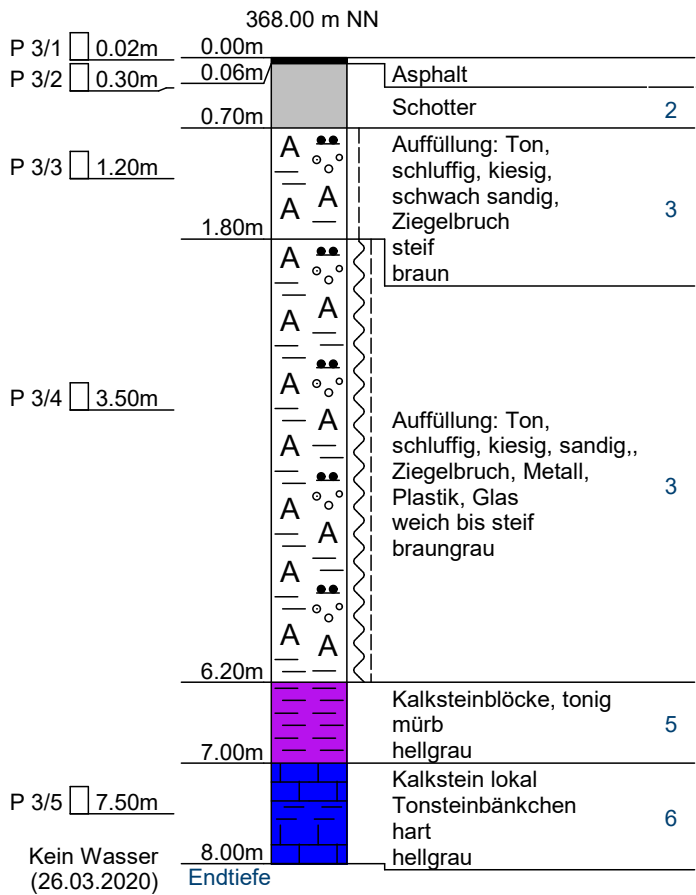
BÜRO FÜR INGENIEURGEOLOGIE BFI Zeiser GmbH & Co. KG Mühlgraben 34 - 73479 Ellwangen Tel. 07961/93389-0 Fax 93389-29 bfi@bfi-zeiser.de Internet: www.bfi-zeiser.de	Az:	120158
	Anlage:	2.3
	Schnitt:	
	Maßstab:	1:75
	Datum:	27.04.2020
	aufgenommen:	20.06.2018
Projekt: Schwäbisch Hall, BV Stadtquartier "Im Lehen"		



BÜRO FÜR INGENIEURGEOLOGIE	Az:	120158
BFI Zeiser GmbH & Co. KG	Anlage:	2.4
Mühlgraben 34 - 73479 Ellwangen	Schnitt:	
Tel. 07961/93389-0 Fax 93389-29	Maßstab:	1:75
bfi@bfi-zeiser.de	Datum:	27.04.2020
Internet: www.bfi-zeiser.de	aufgenommen:	27.03.2020, seb
Projekt: Schwäbisch Hall, BV Stadtquartier "Im Lehen"		

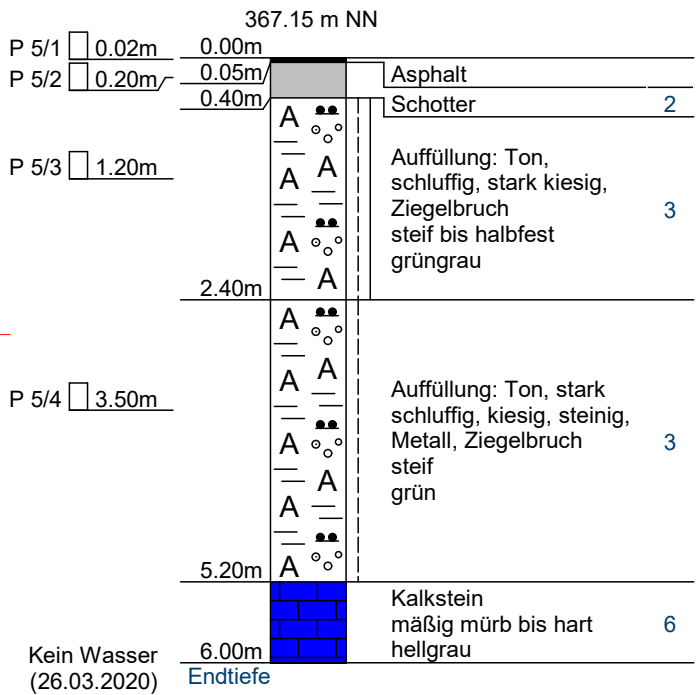


B 3

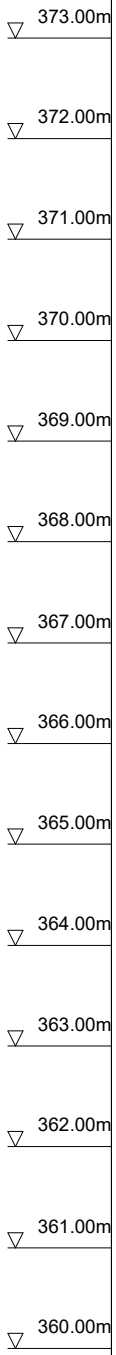
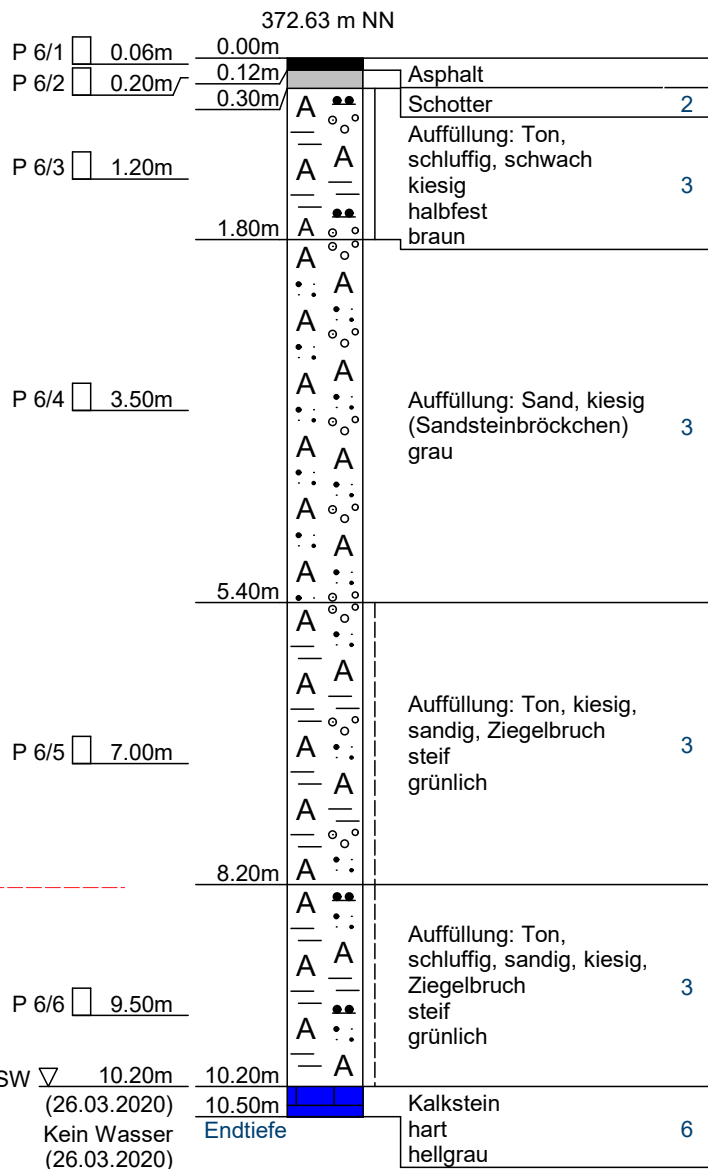


Tiefgarage C
FFB = 364,40 mNN

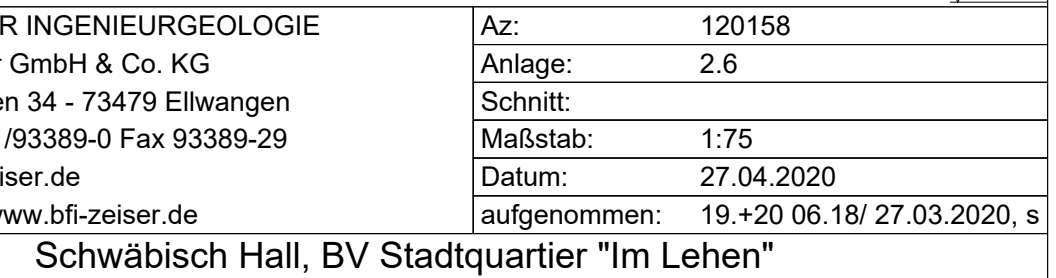
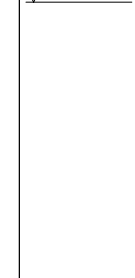
B 5



B 6

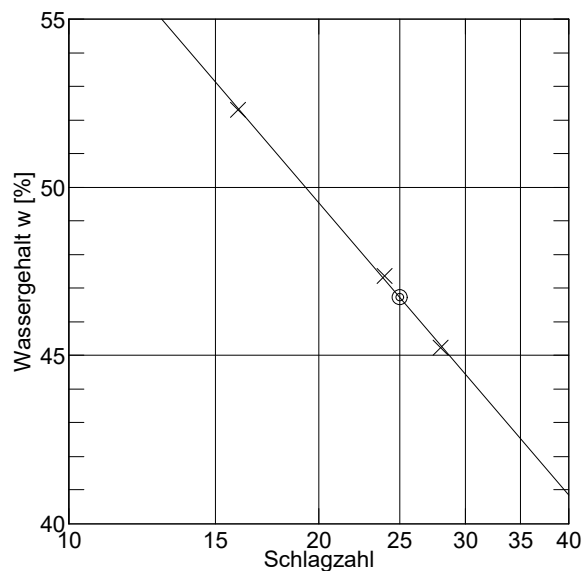


BÜRO FÜR INGENIEURGEOLOGIE BFI Zeiser GmbH & Co. KG Mühlgraben 34 - 73479 Ellwangen Tel. 07961/93389-0 Fax 93389-29 bfi@bfi-zeiser.de Internet: www.bfi-zeiser.de	Az:	120158
	Anlage:	2.5
	Schnitt:	
	Maßstab:	1:75
	Datum:	27.04.2020
	aufgenommen:	27.03.2020, seb
Projekt: Schwäbisch Hall, BV Stadtquartier "Im Lehen"		

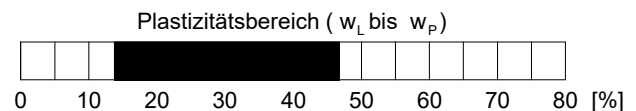


BFI	Projekt : Schwäbisch Hall, Stadtquartier "Im Lehen"
BÜRO FÜR INGENIEURGEOLOGIE	Projektnr.: 120158
Mühlgraben 34 - 73479 Ellwangen	Anlage : 3.1
Tel. 07961/565776-0 Fax 55603	Datum : 02.04.2020
Zustandsgrenzen DIN 18 122	Probe Nr.: P 2/3
	Entnahmestelle: B 2
	Entnahmetiefe: 1,20 m
Ausgef. durch : seb	Bodenart: A: T,u,g

	Fließgrenze					Ausrollgrenze				
Behälter-Nr.	32	01	68			63	78			
Zahl der Schläge	28	24	16							
Feuchte Probe + Behälter $m_f + m_B$ [g]	125.70	122.70	130.05			122.40	120.40			
Trockene Probe + Behälter $m_t + m_B$ [g]	116.20	113.70	117.60			119.30	117.30			
Behälter m_B [g]	95.20	94.70	93.80			95.70	95.80			
Wasser $m_f - m_t = m_w$ [g]	9.50	9.00	12.45			3.10	3.10			
Trockene Probe m_t [g]	21.00	19.00	23.80			23.60	21.50	Mittel		
Wassergehalt $\frac{m_w}{m_t} = w$ [%]	45.2	47.4	52.3			13.1	14.4	13.8		



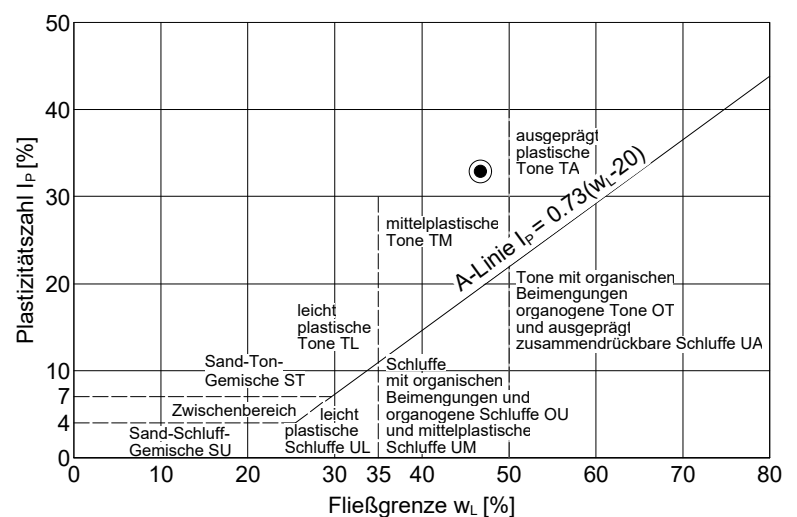
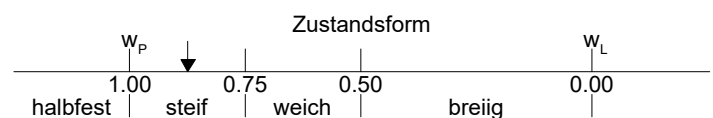
Wassergehalt $w_N = 17.9 \%$
 Fließgrenze $w_L = 46.7 \%$
 Ausrollgrenze $w_P = 13.8 \%$



Plastizitätszahl $I_P = w_L - w_P = 32.9 \%$

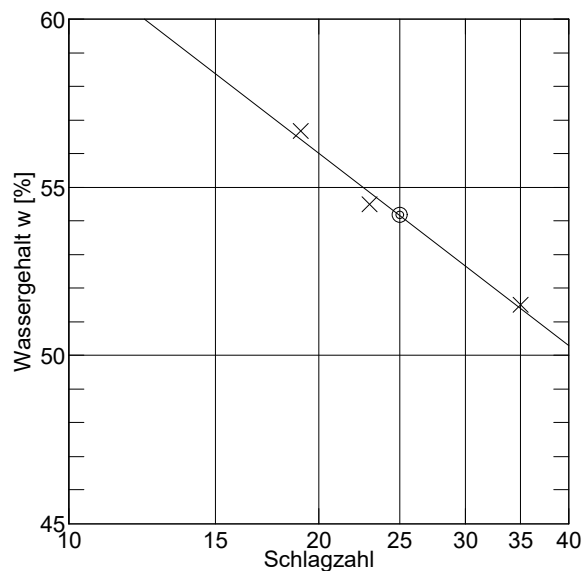
Liquiditätsindex $I_L = \frac{w_N - w_P}{I_P} = 0.125$

Konsistenzzahl $I_C = \frac{w_L - w_N}{I_P} = 0.875$

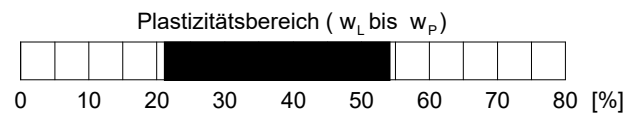
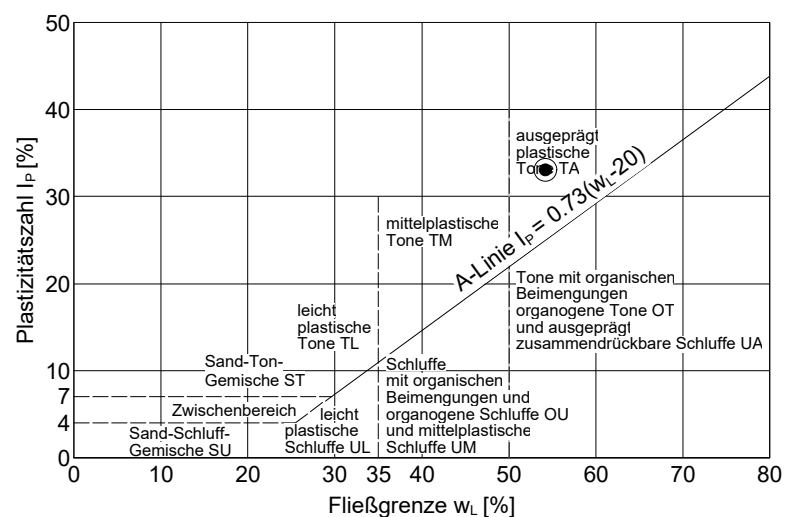
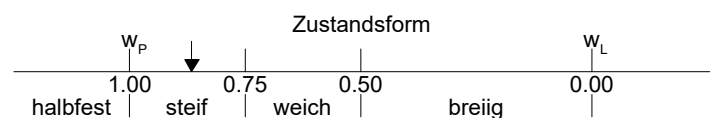


BFI	Projekt : Schwäbisch Hall, Stadtquartier "Im Lehen"
BÜRO FÜR INGENIEURGEOLOGIE	Projektnr.: 120158
Mühlgraben 34 - 73479 Ellwangen	Anlage : 3.2
Tel. 07961/565776-0 Fax 55603	Datum : 02.04.2020
Zustandsgrenzen DIN 18 122	Probe Nr.: P 8/2
	Entnahmestelle: P 8/2
	Entnahmetiefe: 1,00
Ausgef. durch : seb	Bodenart: T

		Fließgrenze					Ausrollgrenze				
Behälter-Nr.		13	88	54			22	06			
Zahl der Schläge		35	23	19							
Feuchte Probe + Behälter	$m_f + m_B$ [g]	135.50	125.70	133.80			122.50	125.30			
Trockene Probe + Behälter	$m_t + m_B$ [g]	121.90	114.80	119.80			117.60	120.20			
Behälter	m_B [g]	95.50	94.80	95.10			94.70	95.70			
Wasser	$m_f - m_t = m_w$ [g]	13.60	10.90	14.00			4.90	5.10			
Trockene Probe	m_t [g]	26.40	20.00	24.70			22.90	24.50	Mittel		
Wassergehalt $\frac{m_w}{m_t} = w$	[%]	51.5	54.5	56.7			21.4	20.8	21.1		



Wassergehalt	$w_N = 25.5 \%$
Fließgrenze	$w_L = 54.2 \%$
Ausrollgrenze	$w_P = 21.1 \%$

Plastizitätszahl $I_p = w_L - w_P = 33.1 \%$
$$\text{Liquiditätsindex } I_L = \frac{W_N - W_P}{I_P} = 0.133$$
$$\text{Konsistenzzahl } I_C = \frac{W_L - W_N}{I_P} = 0.867$$


angewendete Vergleichstabelle: BFI: VwV Boden (29.12.2017)

Bezeichnung	Einheit	MP 1	MP 2	P 1/3	Z0 Ton	Z0* IIIA	Z0*	Z1.1	Z1.2	Z2
Probennummer		020068011	020068012	020068013						
Anzuwendende Klasse(n):		Z1.2	Z1.2	Z0 Ton						
Anionen aus der Originalsubstanz										
Cyanide, gesamt	mg/kg TS	< 0,5	< 0,5	< 0,5				3	3	10
Elemente aus dem Königswasseraufschluss nach										
Arsen (As)	mg/kg TS	10,4	9,9	10,4	20	15	15	45	45	150
Blei (Pb)	mg/kg TS	96	51	19	100	100	140	210	210	700
Cadmium (Cd)	mg/kg TS	0,7	0,4	0,4	1,5	1	1	3	3	10
Chrom (Cr)	mg/kg TS	31	36	42	100	100	120	180	180	600
Kupfer (Cu)	mg/kg TS	37	46	31	60	60	80	120	120	400
Nickel (Ni)	mg/kg TS	43	51	55	70	70	100	150	150	500
Quecksilber (Hg)	mg/kg TS	0,37	0,19	0,07	1	1	1	1,5	1,5	5
Thallium (Tl)	mg/kg TS	< 0,2	< 0,2	< 0,2	1	0,7	0,7	2,1	2,1	7
Zink (Zn)	mg/kg TS	312	113	102	200	200	300	450	450	1500
Organische Summenparameter aus der Originals										
EOX	mg/kg TS	< 1,0	< 1,0	< 1,0	1	1	1	3	3	10
Kohlenwasserstoffe C10-C22	mg/kg TS	< 40	< 40	< 40			200	300	300	1000
Kohlenwasserstoffe C10-C40	mg/kg TS	58	< 40	< 40	100	100	400	600	600	2000
BTEX und aromatische Kohlenwasserstoffe aus d										
Summe BTEX	mg/kg TS	(n. b.)	(n. b.)	(n. b.)	1	1	1	1	1	1
LHKW aus der Originalsubstanz										
Summe LHKW (10 Parameter)	mg/kg TS	(n. b.)	(n. b.)	(n. b.)	1	1	1	1	1	1
PAK aus der Originalsubstanz										
Benzo[a]pyren	mg/kg TS	0,12	0,20	0,14	0,3	0,3	0,6	0,9	0,9	3
Summe 16 EPA-PAK exkl.BG	mg/kg TS	1,78	2,79	1,44	3	3	3	3	9	30
PCB aus der Originalsubstanz										
Summe 6 DIN-PCB exkl. BG	mg/kg TS	(n. b.)	(n. b.)	(n. b.)	0,05	0,05	0,1	0,15	0,15	0,5
Physikalisch-chemische Kenngrößen aus dem 10:										
pH-Wert		8,5	8,0	8,4	6,5 - 9,5	6,5 - 9,5	6,5 - 9,5	6,5 - 9,5	6 - 12	5,5 - 12
Leitfähigkeit bei 25°C	µS/cm	110	181	103	250	250	250	250	1500	2000
Anionen aus dem 10:1-Schütteleluat nach DIN EN										
Chlorid (Cl)	mg/l	< 1,0	4,9	< 1,0	30	30	30	30	50	100
Sulfat (SO4)	mg/l	9,7	13	3,1	50	50	50	50	100	150
Cyanide, gesamt	µg/l	6	9	< 5	5	5	5	5	10	20
Elemente aus dem 10:1-Schütteleluat nach DIN E										
Arsen (As)	µg/l	< 1	1	< 1		14	14	14	20	60
Blei (Pb)	µg/l	< 1	< 1	< 1		40	40	40	80	200
Cadmium (Cd)	µg/l	< 0,3	< 0,3	< 0,3		1,5	1,5	1,5	3	6
Chrom (Cr)	µg/l	< 1	1	3		12,5	12,5	12,5	25	60
Kupfer (Cu)	µg/l	< 5	< 5	< 5		20	20	20	60	100
Nickel (Ni)	µg/l	< 1	1	1		15	15	15	20	70
Quecksilber (Hg)	µg/l	< 0,2	< 0,2	< 0,2		0,5	0,5	0,5	1	2
Zink (Zn)	µg/l	< 10	< 10	< 10		150	150	150	200	600
Organische Summenparameter aus dem 10:1-Sch										
Phenolindex, wasserdampflich	µg/l	< 10	< 10	< 10	20	20	20	20	40	100

- n.b. : nicht berechenbar (Messwerte der Einzelsubstanzen sind < Bestimmungsgrenze)
- n.u. : nicht untersucht
- Detaillierte Informationen zu den verwendeten Grenz-, Zuordnungs-, Parameter-, Maßnahme- oder Richtwerten sind dem Original-Regelwerk zu entnehmen
- Eine Überschreitung der Parameter pH-Wert und Leitfähigkeit allein ist kein Ausschlusskriterium

	BÜRO FÜR INGENIEURGEOLOGIE BFI Zeiser GmbH & Co. KG Mühlgraben 34 73479 Ellwangen Tel.: 07961/933890 Fax: 9338929	Az: 120158
		Anlage: 4
Projekt: Schwäbisch Hall, BV Stadtquartier „Im Lehen“		
Analyseergebnisse nach VwV Boden		
Auftraggeber: Stauch Projektbau GmbH Im Bild 13, 74653 Kupferzell		
Datum: 02.04.2020	Bearbeiter: sr	Ausgeführt: sr