 Ingenieurbüro Heinloth GmbH, Horchstraße 4, 91161 Hilpoltstein

Gemeinde Denkendorf

Wassertal 2

85095 Denkendorf

**Ingenieurbüro  
Heinloth GmbH**

Ingenieurbüro für  
Geotechnik

- Baugrundgutachten
- Altlastenerkundung
- Kontrollprüfungen
- Bodenmechanik
- Spezialtiefbaustatik
- Geoconsulting

## Aktennotiz

**Projekt:** Erschließung Baugebiet "Am Prominentenweg", 85095 Denkendorf, Ortsteil Bitz

**Projektnummer:** 697-1

**Datum:** 19.07.2023

**Bauteil/Anlass:** Beurteilung der Versickerungsfähigkeit – ergänzende Untersuchungen

Dipl.-Ing. (FH)  
**Martin Heinloth**  
Geschäftsführer  
Sachverständiger für Geotechnik  
Beratender Ingenieur  
Beratender Geowissenschaftler BDG  
Weitere Geschäftsführer:  
**Marina Meixner**  
Bachelor of Engineering  
Horchstraße 4  
91161 Hilpoltstein  
t: 09174 / 71 998-50  
f: 09174 / 71 998-51  
m: mail@ib-heinloth.de  
i: www.ib-heinloth.de  
Bankverbindung  
Sparkasse Mittelfranken-Süd  
IBAN: DE25 7645 0000 0231 5955 39  
BIC: BYLADEM1SRS  
HRB 32762 Amtsgericht Nürnberg  
USt-IdNr. DE305246174

## 1 Anlass und Vorgaben

Zum o.g. Bauvorhaben liegt bereits ein Geotechnischer Bericht mit Datum vom 25.11.2020 vor (Projekt-Nr. 697).

Das Baugebiet soll im Trennsystem entwässert und das Regenwasser versickert werden. Aufgrund der im o.g. Geotechnischen Bericht festgestellten Untergrundverhältnisse (keine Versickerung möglich aufgrund anstehender sehr schwach wasserdurchlässiger Böden) sollen ergänzende tiefere Bohrungen ausgeführt werden, um ggf. mit der Tiefe anstehende durchlässige Bodenschichten zu erkunden.

Die Ingenieurbüro Heinloth GmbH wurde daraufhin beauftragt, anhand der tieferen Bodenaufschlüsse eine erneute Beurteilung der Versickerungsfähigkeit des anstehenden Untergrundes vorzunehmen.

## 2 Baugrunderkundung

Zur Baugrunderkundung wurden ergänzend zu den bisher ausgeführten Bohrungen BS1 bis BS3 zwei weitere Rammkernbohrungen (Kleinbohrungen) mit den Bezeichnungen BS4 und BS5 ausgeführt.

Die Lage der Untersuchungspunkte kann der Anlage 1 entnommen werden. Die Ergebnisse sind in den Anlagen 2 und 3 graphisch in Form von Bodenprofilen dargestellt.

Die Bohrpunkte wurden lage- und höhenmäßig eingemessen.

Höhenbezugspunkte:

- Schachtdeckeloberkante C12 028M mit einer Höhe von 536,22 mNN (siehe Anlage 1); Höhenangabe aus Kanalbestandsplan
- Schachtdeckeloberkante C12 021M mit einer Höhe von 535,63 mNN (siehe Anlage 1); Höhenangabe aus Kanalbestandsplan

Die Baugrundsituation stellt sich anhand der Aufschlussergebnisse wie folgt dar:

Unterhalb der Oberbodenauflage und der Oberflächenbefestigung aus Mineralgemischen werden in beiden Bohrungen bis zu den Bohrendtiefen Tone/Schluffe, stw. mit sandigen und kiesigen Anteilen angetroffen. Die Konsistenz der Tone/Schluffe wurde im Feldversuch mittels Taschenpenetrometer ermittelt und variiert zwischen den Grenzen steif und halbfest/fest. In der Bohrung BS4 sind den Tonen ab 5,6 m Tiefe schluffige und stark schluffige Feinsande mit Mächtigkeiten von etwa 0,3...0,4 m zwischengelagert.

In 7,2...8,0 m unter Gelände mussten die Bohrungen aufgrund des hohen Bohrwiderstandes abgebrochen werden (verfahrensbedingte Endteufe). Ab dieser Tiefe stehen

festen Tone sowie Kalksteinfels an. Im weiteren Verlauf muss mit festen Tonen, mürben bis mittelharten Tonsteinen sowie hartem Kalkstein gerechnet werden. Die Kornbindung, Verwitterung, Härte und damit die Gesteinsfestigkeiten können vertikal und in der Fläche stark wechseln.

Grundwasser wurde in den Bohrungen bis zu den Bohrendtiefen nicht angetroffen.

### 3 Beurteilung der Versickerungsfähigkeit

Die anstehenden Schluffe/Tone weisen erfahrungsgemäß Wasserdurchlässigkeiten in der Größenordnung von  $k \ll 1 \times 10^{-8}$  m/s auf und sind nach DIN 18130 als schwach bis sehr schwach durchlässig zu klassifizieren.

Im Labor wurde an ausgewählten Bodenproben die Bestimmung des Durchlässigkeitsbeiwertes nach DIN EN ISO 17892-11 durchgeführt. Die Zusammenstellung der bodenmechanischen Versuchsergebnisse sind in der Anlage 5 enthalten und in der nachfolgenden Tabelle 1 zusammenfassend dargestellt.

**Tabelle 1:** Zusammenfassung der Laborergebnisse

Bohrung	Entnahmetiefe [m]	Bodenbeschreibung	Wasserdurchlässigkeitsbeiwert (k-Wert)
BS4	4,0-8,0	Ton, schwach sandig mit Feinsandzwischenlagen	$5,3 \times 10^{-11}$ m/s
BS5	0,58-4,0	Ton, schwach sandig mit Feinsandzwischenlagen	$4,4 \times 10^{-11}$ m/s

Die anstehenden Tone sind nach DIN 18130 als sehr schwach durchlässig zu klassifizieren.

Die Durchlässigkeit des Kalksteins ist abhängig vom Verwitterungsgrad und von seiner Klüftigkeit. Harter, unverwitterter Kalkstein kann als nahezu wasserundurchlässig mit einem Wert von  $k \ll 1 \times 10^{-6}$  m/s bewertet werden.

Nach dem Arbeitsblatt DWA-A 138 „Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser“ kommen für eine Versickerung von Niederschlagswasser vor allem Lockerböden in Frage, deren Wasserdurchlässigkeitsbeiwert in einem k-Bereich von  $1 \times 10^{-3}$  bis  $1 \times 10^{-6}$  m/s liegt. Im Wesentlichen sind dies Kiese, Sande sowie stark eingeschränkt sandige Schluffe.

Die bis zu den Bohrendtiefen anstehenden Böden weisen Wasserdurchlässigkeiten von  $k \ll 1 \times 10^{-6}$  m/s auf.

Aufgrund der dargestellten Untersuchungsergebnisse ist eine Versickerung von Oberflächenwasser – auch in den tieferen Bodenschichten – **nicht möglich**.

Für weitere Fragen stehen wir Ihnen jederzeit zur Verfügung.



**Marina Meixner**

Bachelor of Engineering  
Beratende Ingenieurin



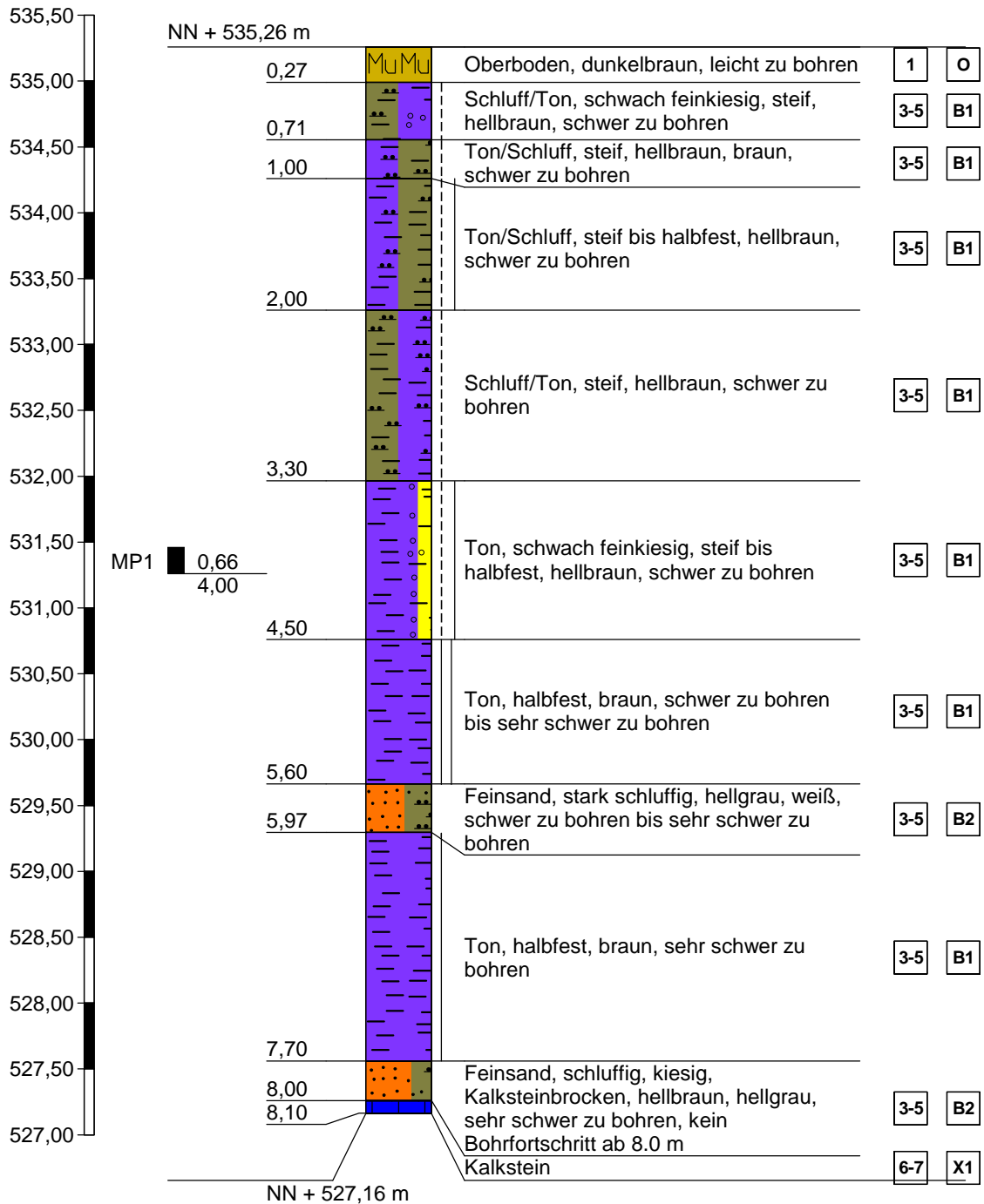
**Martin Heinloth**

Diplom-Ingenieur (FH)  
Sachverständiger für Geotechnik  
Beratender Ingenieur  
Beratender Geowissenschaftler BDG



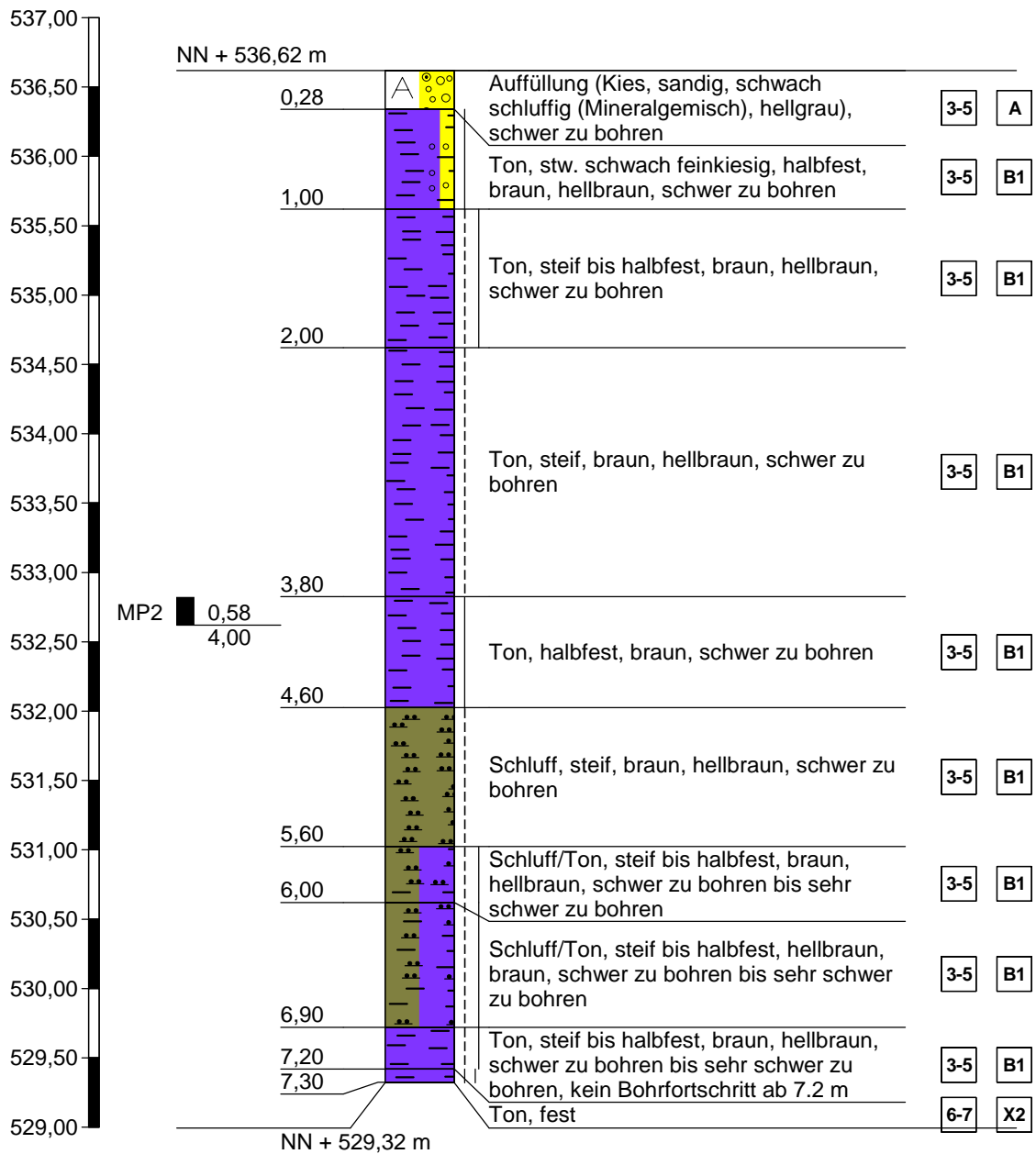


**BS4**

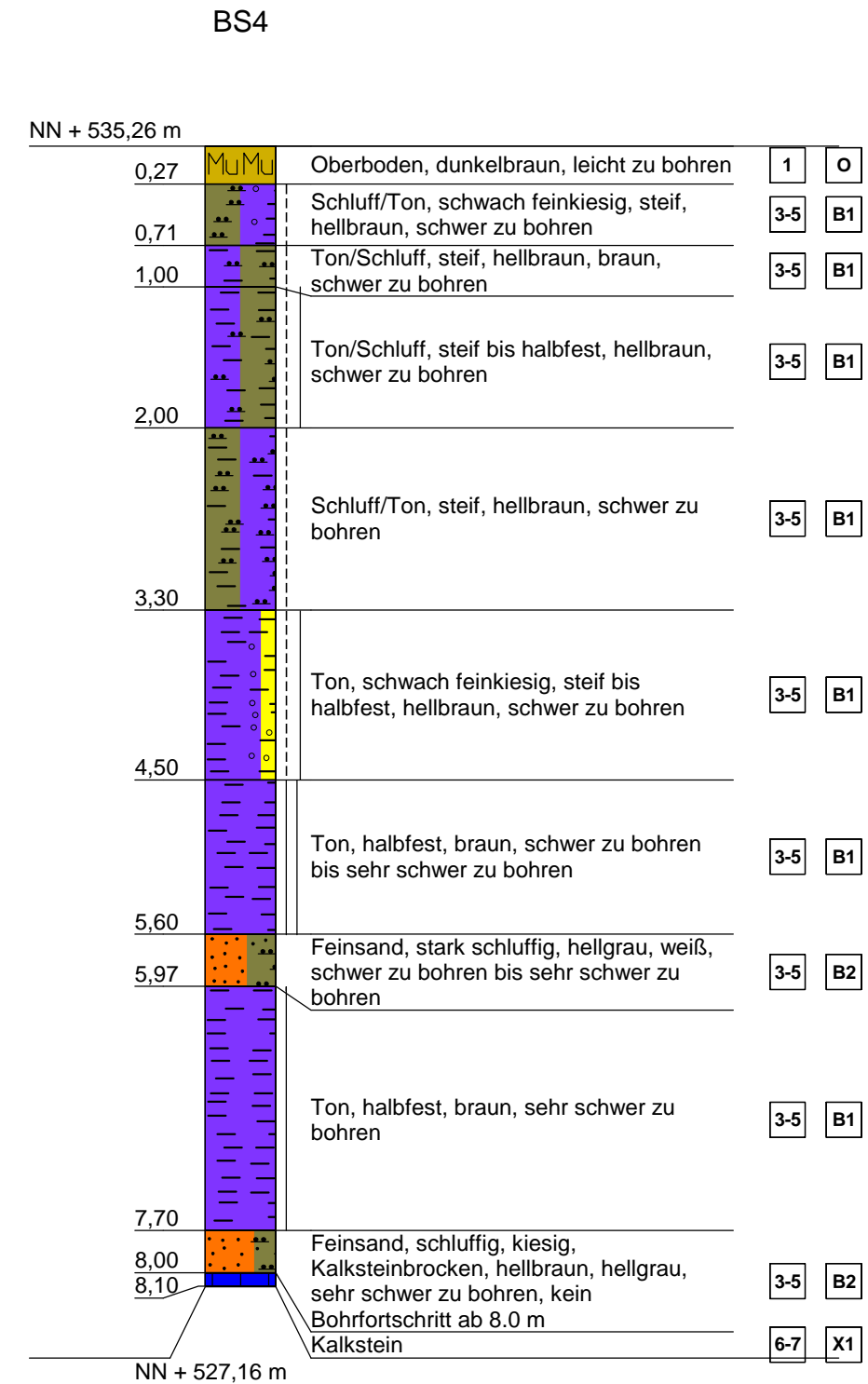
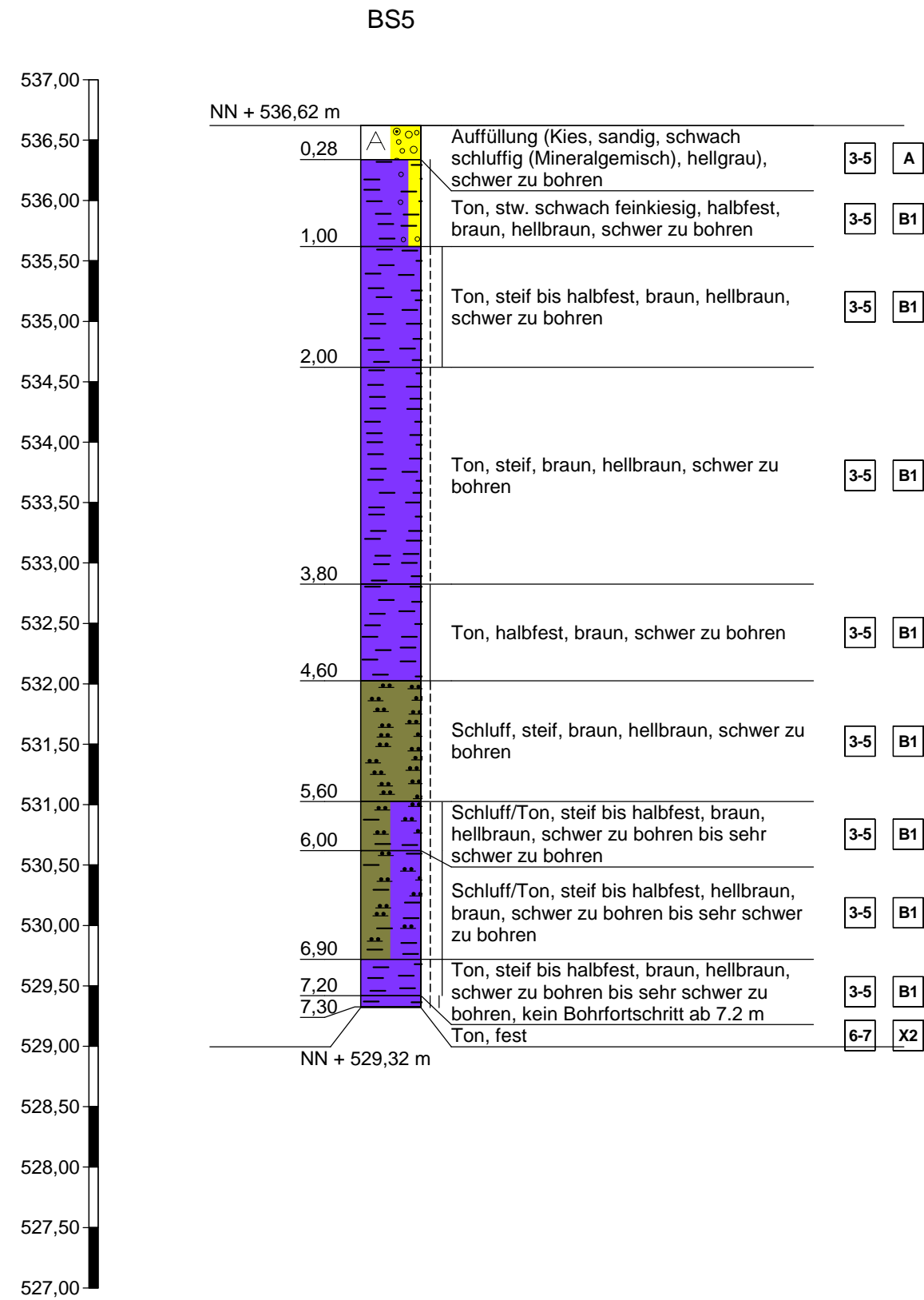


Höhenmaßstab 1:50

**BS5**



Höhenmaßstab 1:50



Boden- und Felsarten



Auffüllung, A



Kalkstein, Kst



Mutterboden, Mu



Feinkies, fG, feinkiesig, fg



Kies, G, kiesig, g



Feinsand, fS, feinsandig, fs



Schluff, U, schluffig, u



Ton, T, tonig, t

Korngrößenbereich f - fein  
m - mittel  
g - grob

Nebenanteile ' - schwach (<15%)  
- - stark (30-40%)

Homogenbereiche nach DIN 18300



Homogenbereich Oberboden



Homogenbereich Auffüllung



Homogenbereich Boden 1 (Ton/Schluff)



Homogenbereich Boden 2 (Sand)



Homogenbereich Fels 1 (Kalkstein)



Homogenbereich Fels 2 (Ton, fest)

Bodenklasse nach DIN 18300 (veraltet)



Oberboden (Mutterboden)



Fließende Bodenarten



Leicht lösbare Bodenarten



Mittelschwer lösbare Bodenarten



Schwer lösbare Bodenarten



Leicht lösbarer Fels und vergleichbare  
Bodenarten



Schwer lösbarer Fels

Konsistenz



breiig



weich



steif





halbfest





fest

Proben

A1  1,00 Probe Nr 1, entnommen mit einem  
Verfahren der Entnahmekategorie A aus  
1,00 m Tiefe

C1  1,00 Probe Nr 1, entnommen mit einem  
Verfahren der Entnahmekategorie C aus  
1,00 m Tiefe

B1  1,00 Probe Nr 1, entnommen mit einem  
Verfahren der Entnahmekategorie B aus  
1,00 m Tiefe

W1  1,00 Wasserprobe Nr 1 aus 1,00 m Tiefe

## Zusammenstellung der geomechanischen Versuchsergebnisse

Entnahmedaten			Zeilen-Nr.:	BS4	BS5					
Proben-Nr.										
Entnahmestelle										
Zusätzliche Angaben										
Entnahmetiefe von m bis m				<b>4,00</b> <b>8,00</b>	<b>0,58</b> <b>4,00</b>					
Entnahmeart			<b>gestört</b>	<b>gestört</b>						
Probenbeschreibung			<b>T,s'</b>	<b>T,s'</b>						
Bodengruppe nach DIN18196			<b>TA</b>	<b>TA</b>						
Penetrometerablesung $q_p$ MN/m <sup>2</sup>										
Stratigraphie										
Kom- vertig.	Kennziffer = T/U/S/G/X - Anteil % bzw. --T/U--/S/G/X Vers.-Typ		1							
	Dichte- bestimmung	Korndichte $\rho_s$ t/m <sup>3</sup>	2							
Feuchtdichte $\rho$ t/m <sup>3</sup>		3								
Wassergehalt $w$ %		4	<b>19,9</b>	<b>15,3</b>						
Trockendichte $\rho_d$ t/m <sup>3</sup>		5								
Verdichtungsg. / Lagerungsd. $D_{Pr} / I_D$ % / -			6							
Atterberg Grenzen	w-Feinteile $w$ %	7								
	Fließ- / Ausrollgrenze $w_L / w_p$ % / %	8								
	Plastizitätsz. / Konsistenz. $I_p / I_c$ % / -	8								
Aktivitätsz. / Schrumpfg. $I_A / w_s$ - / %										
Glühverlust $V_{gl}$ %			9							
Kalkgehalt nach SCHEIBLER $V_{Ca}$ %			9							
Durchlässigkeitsbeiwert $k_{10^\circ}$ m/s			10	<b>5,3E-11 ( <sup>x</sup> )</b>	<b>4,4E-11 ( <sup>x</sup> )</b>					
Versuchsspannung $\sigma$ MN/m <sup>2</sup>			10	<b>0,050 ( <sup>+</sup> )</b>	<b>0,050 ( <sup>+</sup> )</b>					
KD-Versuch	Vorhandene Erdauflast $p_n$ MN/m <sup>2</sup>		11							
	Steifemodul $E_s (p_n, \Delta p) / \Delta p$ MN/m <sup>2</sup>		11							
	Konsolidierungsbeiwert $c_v$ cm <sup>2</sup> /s		11							
Anzahl Lastst. / Zeit-Setzungs-Kurven			12							
Quellversuche	Quellspannung $\sigma_q$ MN/m <sup>2</sup>		13							
	Versuchsdauer $d$		14							
	Quelldehnung $\varepsilon_{q,0}$ %		15							
	Versuchsdauer $d$		16							
	Quellversuch nach Huder und Amberg $K$ % $\sigma_0$ MN/m <sup>2</sup>		17							
Versuchsdauer $d$			18							
Einaxiale Druckfestigk./-modul $q_u / E_u$ MN/m <sup>2</sup>			19							
Probendurchmesser $d$ cm			19							
Scher- versuche	Scherwiderst. d. Flügelsonde $\tau_{FS}$ MN/m <sup>2</sup>		20							
	Vers.Typ/Probendurchm. - / cm		21							
	Reibungswinkel $\varphi$ °		22							
Kohäsion $c$ MN/m <sup>2</sup>			22							
Einfache Proctordichte $\rho_{Pr}$ t/m <sup>3</sup>			23							
Optimaler Wassergehalt $W_{Pr}$ %			23							
LAK g/t			23							
LCPC Abrasivität Bezeichnung -			24							
LBR %			24							
Lockerste Lagerung $\rho_{d \min}$ t/m <sup>3</sup>			25							
Dichteste Lagerung $\rho_{d \max}$ t/m <sup>3</sup>			25							
Versuchsgerät / Durchmesser -/cm			25							
CBR-Versuch	Versuchstyp (Feld/Labor) F/L		26							
	W-Geh. Einbau/n. W.-Lagerg. % / %		26							
	Schwellmaß / Dauer % / d		26							
	CBR <sub>0</sub> ohne Wasserlagerung %		26							
CBR <sub>w</sub> mit Wasserlagerung %			27							
PDV	Verformungs- modul $E_{v1}$ MN/m <sup>2</sup>		28							
	$E_{v2}$ MN/m <sup>2</sup>		28							
	Verhältnis $E_{v2} / E_{v1}$ -		28							
dyn. Verformungsmodul $E_{vd}$ MN/m <sup>2</sup>			28							

Bemerkungen: ( <sup>x</sup> = gestörter Einbau ( <sup>+</sup> = in der Triaxialzelle

<b>Bestimmung des Durchlässigkeitsbeiwertes</b> Bestimmung nach DIN EN ISO 17892-11 in der Triaxialzelle			Entnahmestelle		
			BS4		
			Tiefe unter GOK: 4,00 - 8,00 m		
			Entnahmeart: gestört		
Ausgeführt von: Seitz		am: 13.06.2023	Gepr.:	Probenbeschreibung: T,s'	
Ausgewertet von: Kosar		am: 20.06.2023		Bodengruppe: TA	
Stratigraphie:			Entn. am:		von: ibh Heinloth
Probenhöhe beim Einbau: h = 6,97 cm			Feuchtdichte beim Einbau: ρ = 2,062 t/m³		
Probenquerschnittsfläche: A = 72,38 cm²			Wassergehalt beim Einbau/Ausbau: 19,9/ %		
Probeneinbau: gestört			Trockendichte beim Einbau: ρ <sub>d</sub> = 1,720 t/m³		

Formel zur Berechnung des Durchlässigkeitsbeiwertes k für veränderliche hydraulische Gradienten:

$$k_{10} \text{ (m/s)} = [\alpha \cdot a \cdot l_0 / (A \cdot t \cdot 100)] \cdot \ln(h_1 / h_2)$$

mit α = Korrekturbeiwert zur Berücksichtigung der temperaturabhängigen Zähigkeit des Wassers, nach folgender Tabelle:

Temperatur	θ (°C)	5	10	15	20	25
Korrekturbeiwert	α	1,158	1,000	0,874	0,771	0,686

- a = Querschnittsfläche des Standrohres = 0,2827 cm²
- l<sub>0</sub> = durchströmte Länge der Probe = Probenhöhe beim Einbau - Setzung = 6,970 cm
- A = Querschnittsfläche der Probe in cm²
- t = Zeit ab Versuchsbeginn in Sekunden
- h<sub>1</sub> = Druckhöhe bei Versuchsbeginn in cm Wassersäule (WS)
- h<sub>2</sub> = Druckhöhe zur Zeit t in cm Wassersäule (WS)

- Auflast σ = MN/m²
- Seitendruck σ<sub>3</sub> = 0,050 MN/m²
- Druck an OK Probe p<sub>o</sub> = 0,800 MN/m²
- Druck an UK Probe p<sub>u</sub> = 0,8211 MN/m²
- Sättigungsdruck u<sub>o</sub> = 0,800 MN/m²
- Sättigungsphase von: 13.06.23, 12.00 Uhr  
bis: 14.06.23, 16.00 Uhr
- Versuchstemperatur θ = 20 °C

Zeit t	Druckhöhe in cm WS		Hydraulischer Gradient bei		Durchlässigkeitsbeiwert k <sub>10</sub>
	h <sub>1</sub>	h <sub>2</sub>	Versuchsbeginn i <sub>A</sub> = h <sub>1</sub> / l <sub>0</sub>	Versuchsende i <sub>E</sub> = h <sub>2</sub> / l <sub>0</sub>	
s	cm	cm			m/s
39600	211,0	208,9	30,27	29,97	5,30E-11
37800	211,0	209,0	30,27	29,99	5,29E-11
56700	211,0	208,0	30,27	29,84	5,30E-11
43200	211,0	208,7	30,27	29,94	5,33E-11
56700	211,0	208,0	30,27	29,84	5,30E-11
Mittelwert:					5,3E-11

Bemerkungen: gestörter Einbau mit 100 % Proctorenergie

**Bestimmung des Durchlässigkeitsbeiwertes**  
Bestimmung nach DIN EN ISO 17892-11  
in der Triaxialzelle

Entnahmestelle BS5		
Tiefe unter GOK: 0,58 - 4,00 m		
Entnahmeart: gestört		
Probenbeschreibung: T,s'	Bodengruppe: TA	Stratigraphie:
Entrn. am:	von: ibh Heinloth	

Ausgeführt von: Seitz	am: 13.06.2023	Gepr.:
Ausgewertet von: Kosar	am: 20.06.2023	

Probenhöhe beim Einbau: h = 6,97 cm	Feuchtdichte beim Einbau: ρ = 2,146 t/m³
Probenquerschnittsfläche: A = 72,38 cm²	Wassergehalt beim Einbau/Ausbau: 15,3/ %
Probeneinbau: gestört	Trockendichte beim Einbau: ρ <sub>d</sub> = 1,861 t/m³

Formel zur Berechnung des Durchlässigkeitsbeiwertes k für veränderliche hydraulische Gradienten:

$$k_{10} \text{ (m/s)} = [\alpha \cdot a \cdot l_0 / (A \cdot t \cdot 100)] \cdot \ln(h_1 / h_2)$$

mit α = Korrekturbeiwert zur Berücksichtigung der temperaturabhängigen Zähigkeit des Wassers, nach folgender Tabelle:

Temperatur θ (°C)	5	10	15	20	25
Korrekturbeiwert α	1,158	1,000	0,874	0,771	0,686

- a = Querschnittsfläche des Standrohres = 0,2827 cm²
- l<sub>0</sub> = durchströmte Länge der Probe = Probenhöhe beim Einbau - Setzung = 6,970 cm
- A = Querschnittsfläche der Probe in cm²
- t = Zeit ab Versuchsbeginn in Sekunden
- h<sub>1</sub> = Druckhöhe bei Versuchsbeginn in cm Wassersäule (WS)
- h<sub>2</sub> = Druckhöhe zur Zeit t in cm Wassersäule (WS)

- Auflast σ = MN/m²
- Seitendruck σ<sub>3</sub> = 0,050 MN/m²
- Druck an OK Probe p<sub>o</sub> = 0,800 MN/m²
- Druck an UK Probe p<sub>u</sub> = 0,8211 MN/m²
- Sättigungsdruck u<sub>o</sub> = 0,800 MN/m²
- Sättigungsphase von: 13.06.23, 12.00 Uhr  
bis: 14.06.23, 12.00 Uhr
- Versuchstemperatur θ = 20 °C

Zeit t	Druckhöhe in cm WS		Hydraulischer Gradient bei		Durchlässigkeitsbeiwert k <sub>10</sub>
	h <sub>1</sub>	h <sub>2</sub>	Versuchsbeginn i <sub>A</sub> = h <sub>1</sub> / l <sub>0</sub>	Versuchsende i <sub>E</sub> = h <sub>2</sub> / l <sub>0</sub>	
s	cm	cm			m/s
52200	211,0	208,7	30,27	29,94	4,41E-11
51600	211,0	208,7	30,27	29,94	4,46E-11
56700	211,0	208,5	30,27	29,91	4,41E-11
45000	211,0	209,0	30,27	29,99	4,44E-11
45000	211,0	209,0	30,27	29,99	4,44E-11
Mittelwert:					4,4E-11

Bemerkungen: gestörter Einbau mit 100% Proctorenergie