DR.-ING. HABIL. HERMANN SCHAD
REINSBURGSTRASSE 111 B
70197 STUTTGART

IfGS Ingenieurbüro für Geotechnik Schad

USt-IdNr.: DE271386873
Fon: 0711 / 615 06 82
Mobil: 0172 / 727 70 46
Fax: 0711 / 78 78 16-10
E-Mail: info@ifgs-schad.de
Datum: 11.06.19

78532 Tuttlingen, Bodenseestraße 51 – 53
2 Mehrfamilienhäuser mit Tiefgarage
Geotechnischer Bericht

Bauherr: Die Wohnbau Tuttlinger Wohnbau GmbH
In Wöhrden 2 – 4 78532 Tuttlingen
Tel.: 07461 / 1705-0 Fax: 07461 / 1705-48
E-Mail: info@wohnbau-tuttlingen.de

Planung: Dipl.-Ing. Eva Zepf (Arch.Kam.BW 59216)
in Tuttlinger Wohnbau GmbH
In Wöhrden 2 – 4 78532 Tuttlingen
E-Mail: E.Zepf@wohnbau-tuttlingen.de

Tragwerksplaner: Ingenieurgesellschaft für Bauwesen mbH
Schweickhardt & Erchinger
In Wöhrden 2 – 4 78532 Tuttlingen
Kanalstraße 1 – 4 78532 Tuttlingen
Tel.: 07461 / 9666-0 Fax: 07461 / 9666-50
E-Mail: info@se-ingenieure.de

Datum des Berichts: 11.06.19
Umfang des Berichts: 7 Texseiten und 7 Beilagen
Textfile: tut-bodenseestrasse1902-bericht

Die Veröffentlichung des Berichts in gekürztem Wortlaut sowie die Verwendung zur Werbung ist nur mit der schriftlichen Genehmigung des IfGS zulässig. Gerichtsstand und Erfüllungsort Stuttgart.

Inhalt

1 Allgemeines **2**

2 Baugrund **3**

3 Gründung **4**

4 Erdarbeiten **5**

5 Baugrubenböschungen **6**

6 Erddruck bei UG-Wänden und kapillarbrechende Schicht **6**

7 Versickerungsversuch **6**

8 Weiteres Vorgehen **7**

Beilagen

Bild		**Beilage**
1	Ausschnitt aus der Baugrundkarte *Tuttlingen* 1:10.000 vergrößert auf M 1:5.000	1
2	Geologischer Schnitt aus der Baugrundkarte und Legende der Schichten . .	2
3	Lageplan mit den Schürfgruben (M 1:1.000)	3
4	Fotoaufnahmen der Schürfgruben	4
5	Nachweis der Böschungsstandsicherheit für 6,5 m Böschungshöhe	5
6	Prinzipskizze (M 1:50) zur Abdeckung von Böschungen mit über 4 m Höhe	6
7	Versickerungsversuch	7

1 Allgemeines

Von der Tuttlinger Wohnbau GmbH wurde ich beauftragt, für die Errichtung des Bauvorhabens in Tuttlingen an der Bodenseestraße einen geotechnischen Bericht anzufertigen.

2 Baugrund

Zur Erkundung des Baugrundes wurden am 06.03.09 von der Fa. Georg Schwarz aus Tuttlingen-Nendingen fünf Schürfgruben ausgehoben. (Lage der Schürfgruben Beilage 3, Fotoaufnahmen der Schürfgruben Beilagen 4.)

TABELLE 1: Ergebnisse der Baugrunderkundung

Schurf	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
Geländehöhe ca. [mNN]	681,8	679,8	682,5	682,5	681,0
Schurftiefe [m]	4,1	4,0	4,5	3,4	4,4
Oberboden/Mutterboden dunkelbraun, steif	0,0 – 0,3	0,0 – 0,3	0,0 – 0,2	0,0 – 0,3	0,0 – 0,3
Hanglehm (U, t'', s', g'), braun, schwach kiesig, steif, Talschutt/Tallehm (qbf)	0,3 – 3,3	0,3 – 1,4	0,2 – 4,2	0,3 – 2,7	0,3 – 3,0
verwitterter Mergel/Kalkst., grau, *Lacunosamergel, k1)* (ki1)	3,3 – 4,1 ab 678,5	3,6 – 4,0 ab 676,2	4,2 – 4,5 ab 678,0	2,7 – 3,4 ab 679,8	3,0 – 4,4 ab 678,0
	kein Wasser	kein Wasser	kein Wasser	kein Wasser	kein Wasser

Der erkundete Baugrund entspricht der Beschreibung auf der Baugrundkarte (Beilagen 1 und 2). Unter Mutterboden und einer kiesig-lehmigen Schicht aus Talschutt und Tallehm folgen die *Lacunosamergel*, die als mürber, verwitterter Fels auftreten. In der Schürfgruben 4 wurde an der Sohle der Übergang zu den *Wohlgeschichteten Kalken, ox2* erreicht. Grundwasser wurde bei der Erkundung nicht angetroffen.

Für erdstatische Berechnungen kann mit den charakteristischen Werten der folgenden Tabelle gerechnet werden:

TABELLE 2: Charakteristische Kennwerte für erdstatische Berechnungen

Schicht	Wichte		Reibungsw.	Kohäsion	E-Modul	Querdehnz.
	γ	γ'	φ'	c'	E	ν
	$[\frac{\text{kN}}{\text{m}^3}]$	$[\frac{\text{kN}}{\text{m}^3}]$	$[^o]$	$[\frac{\text{kN}}{\text{m}^2}]$	$[\frac{\text{kN}}{\text{m}^2}]$	$[1]$
Talschutt/Tallehm	20	10	25	10	10.000	0,25
verwitterte Mergel	22	12	25	15*	30.000	0,25

Steifemodul $E_s = E\,\frac{1-\nu}{(1+\nu)\,(1-2\,\nu)}$

* für Grundbruch $c' = 20\,\text{kN/m}^2$

Das Baugelände liegt nach DIN 4149 (2005-04) in Erdbebenzone 2, Untergrundklasse R. Da die Gründung durchweg in den Mergeln erfolgt, können die Mittelwerte von Baugrundklasse A und Baugrundklasse B angesetzt werden.

3 Gründung

Die Gebäude können mit Einzel- und Streinfundamenten in den grauen Mergeln (Laconosamergel, ki1) gegründet werden.

Für Fundamente, bei denen die Horizontalbelastung in der Bemessungssituation BS-P weniger als 3 % der entsprechenden Vertikalbelastung beträgt, können die Sohlpressungen der Tabelle 3 angesetzt werden.

TABELLE 3: Zulässige Sohlpressungen bezogen auf die charakteristischen Einwirkungen bei einer Gründung in den hellgrauen Mergeln

Quadratische Einzelfundamente				**Streifenfundamente**			
Kantenlänge a [m]	zul. Sohlpressung [kN/m^2]	Grundbruchsicherheit η[1]	Setzung [cm]	Breite b [m]	zul. Sohlpressung [kN/m^2]	Grundbruchsicherheit η[1]	Setzung [cm]
≤0,8	490	2,0	0,9	≤0,5	350	2,0	0,9
1,1	490	2,0	1,1	0,7	370	2,0	1,3
1,5	490	2,1	1,5	0,9	380	2,0	1,6
1,9	490	2,2	1,9	1,2	380	2,1	2,0
≥2,5	410	2,7	2,0	≥ 1,5	340	2,4	2,0

Der Sicherheitsfaktor η bei der Grundbruchsicherheit entspricht in Etwa dem Produkt aus dem Sicherheitsfaktor für die Einwirkungen und dem Sicherheitsfaktor für Widerstände

Bei der Verwendung der Tabellenwerte ist zu beachten:

1. Die Werte gelten für die char. Einwirkungen des Bemessungszustandes BS-P (Lastfall 1).
2. Wenn mit Bemessungslasten gerechnet wird, können die Werte von Tabelle 3 mit dem Faktor 1,4 multipliziert werden.
3. Für den Lastfall *mit Erdbebeneinwirkung* können die Werte um 50 % erhöht werden.
4. Die Einbindetiefe der Fundamente darf, bezogen auf die Geländeoberfläche bzw. die Oberfläche von Bodenplatte oder Pflasterung 1 m nicht unterschreiten.
5. Fundamente mit einem Verhältnis Länge/Breite ≤ 4 können wie flächengleiche quadratische Fundamente behandelt werden.

Bei Haus 1 können an der Westseite (Schurf 2) die Unterfütterungstiefen 3 m bis 4 m betragen, so dass insgesamt mit relativ viel Magerbeton für die Unterfütterung gerechnet werden muss. Die Größenordnung der Kubaruren beträgt etwa:

- Haus 1: 250 m^3,
- Haus 2: 100 m^3,

- Keine relevanten Unterfütterungen.

Damit könnte die Unterfütterung bis zu 70.000 EUR kosten (netto, eischließlich Aushub und Abfuhr), so dass die Frage nach Pfählen gestellt werden könnte. Eine Pfahlgründung ist nur bedingt geeignet, da in der unter den Mergeln folgenden Kalksteinschicht das Dolinenrisiko relativ hoch ist, so dass Zusatzmaßnahmen notwendig werden.

Eine Reduzierung der Kosten könnet sich bei Haus 1 durch eine der folgenden Maßnahmen ergeben:

- Eine kombinierte Platten-Plomben-Gründung, bei der der etwa 1/3 der Lasten der Platte zugewiesen werden können. Es kann günstig sein, das Erdplanum zur Erhöhung der Tragfähigkeit der Bodenplatte auf 40 cm Tiefe mit einem Bindemittel zu verbessern.
- Statt Magerbetonunterfütterungen ein Bodenaustausch durch mit einem Bindemittel verfestigten/verbesserten Boden. Z. B. 100 kg/m^3 Dorosol C30 oder dgl. mit Zugabe von Wasser.

Wenn eine der genannten Maßnahmen im Zuge der weiteren Gründungsplanung günstig erscheint, werde ich hierzu eine ergänzende Stellungnahme verfassen.

4 Erdarbeiten

Im Hinblick auf DIN 18 300 ergibt sich folgende Zuordnung:

- Der Oberboden bildet einen Homogenbereich 1.
- Die Lehme und der Mergel sind leicht bis mittelschwer lösbar und können zu einem Homogenbereich 2 zusammen gefasst werden.
- Für harte, kompakte Kalksteinbänke mit einer Lagenstärke der Kalksteine von über 30 cm sollte ein Felszuschlag für eine Kubatur von 300 m^3 abgefragt werden.

Unter bewehrten Bodenplatten ist eine kapillarbrechende Schicht von 20 cm Stärke herzustellen. Hierfür kann ein Splittgemisch 4/32 oder dgl. verwendet werden.

Wenn die Tiefgarage gepflastert wird, sollte eine Mineralbetonschicht aus güteüberwachtem Material mit mind. 30 cm Stärke eingebaut werden, um eine gleichmäßige Bettung der Pflastersteine zu erhalten.

Die eingebauten Kiessande bzw. der Mineralbeton sind auf 100 % des Proctoroptimums zu verdichten. Die Schürfgruben sind im Zuge der Erdarbeiten nachzuverdichten.

Die Verkehrsflächen sind entsprechend dem Regelwerk des Straßenbaus auszuführen. Wenn das Planum aus Talschutt/Tallehm nicht mit Bindemittel verbessert wird, dürfte nur ein E_{v2}-Wert von etwa 25 MN/m^2 erreicht werden, so dass die Frostschutzschicht um 10 cm verstärkt werden muss.

Der Lehm weicht bei Wasserzutritt rasch auf. Daher sollte auf dem Erdplanum zunächst eine Schutzschicht von 30 cm Stärke belassen werden, die erst kurz vor dem Aufbringen der kapillarbrechenden Schicht entfernt wird.

5 Baugrubenböschungen

Böschungen, die für die Herstellung des Bauwerks erforderlich sind und die nicht länger als 1 Jahr standsicher sein sollen, können in Anlehnung an DIN 4124 unter 60° geböscht werden, wenn die Böschungshöhe weniger als 4 m beträgt; bei einer Böschungshöhe von 5 m ist eine Neigung von $51{,}3^o$ (1,25:1) zu wählen. Bis zu einer Höhe von 6,5 m finden sich auf den Beilagen 5 und 6 die rechnerischen Nachweise und die erforderlichen Maßnahmen.

Neben der Böschungsschulter soll ein 2 m breiter lastfreier Streifen vorhanden sein.

Bei starken Wasserzutritten, wie sie bei extremen Witterungsverhältnissen auftreten können, müssen ggf. Stützschlitze aus Einkornbeton hergestellt werden.

6 Erddruck bei UG-Wänden und kapillarbrechende Schicht

Für die **Erddruckbelastung** ist der erhöhte aktive Erddruck anzusetzen. Vereinfacht kann mit $k_h = 0,4$ gerechnet werden. Die dreiecks- oder trapezförmige Belastung kann zu einem flächengleichen Rechteck umgelagert werden. Die Verdichtungswirkung ist durch einen Bemessungswert des Mindesterddrucks von 20 kN/m^2 zu berücksichtigen. D. h. dass dort, wo der Bemessungswert des COULOMBschen Erddrucks weniger als 20 kN/m^2 beträgt, ein Bemessungswert von 20 kN/m^2 anzusetzen ist. Beträgt der Bemessungswert ohnehin 20 kN/m^2, braucht kein Verdichtungserddruck angesetzt zu werden.

Es ist kein Grund- oder Schichtwasser zu erwarten. Für Extremsituationen – z. B. offene Baugrube und Starkniederschlag, Schneeschmelze, beschädigte Leitungen und Kanäle – ist es notwendig, die **kapillarbrechende Schicht** unter der Bodenplatte gezielt zu entwässern. Dafür ist eine Hebeanlage notwendig, da die kapillarbrechende Schicht der Tiefgarage unter dem Niveau der Kanalisation liegt. Die Hebeanlage ist für eine Wassermenge von mind. 20 l/s auszulegen.

7 Versickerungsversuch

Die Eindringfläche des Wassers in den Baugrund besteht aus dem Querschnitt des Schurfs von 2,5 m^2 und der Flankenfläche von $0,7\,m \cdot (2 \cdot 1,0 + 2 \cdot 2,5) = 3,5\,\text{m}^2$. Die Eindringfläche des Wassers von 7,4 m^2 entspricht einem Kreis mit einem Radius von $r_0 = 1,53$ m.

Der Versuch kann nach der Gleichung (Halbraumbedingung, Seite 20 von DIN 18130-02,2003-

10)

$$k_f = \frac{r_{St}^2 \cdot F_H}{2\, r_0\, (t_2 - t_1)} \ln \frac{h_1}{h_2} \tag{1}$$

ausgewertet werden.

Der Radius r_0 der Eindringfläche beträgt also 1,53 m. Wenn der Schurf selbst das Standrohr darstellt ergibt sich $r_{St} = 0,89$ m. Der Formfaktor beträgt $F_H = 1,57 = \frac{\pi}{2}$, so dass:

$$k_f = \frac{0,89^2 \cdot 1,57}{2 \cdot 1,5\,(t_2 - t_1)} \ln \frac{h_1}{h_2} = \frac{0,41}{(t_2 - t_1)} \ln \frac{h_1}{h_2}$$

Ablesung Nr.	Wasserstand im Schurf [cm]	Zeit t_i [s]	Δt $t_{i+1} - t_i$ [s]	$\frac{0,41}{\Delta t}$ [m/s]	$\ln \frac{h_i}{h_{i+1}}$	k_f $t_{i+1} - t_i$ [m/s]
1	75,5	0				
			60	0,006.8	0,0093	$6,3 \cdot 10^{-5}$
2	74,8	60				
			120	0,003.4	0,0012	$1,1 \cdot 10^{-5}$
3	74,7	180				
			480	0,000.85	0,02	$1,7 \cdot 10^{-5}$
4	73,2	660				
			840	0,000.49	0,023	$1,1 \cdot 10^{-5}$
5	71,5	1.500				
			1.200	0,000.34	0,021	$7,2 \cdot 10^{-6}$
6	70,0	2.700				

Maßgebender Versuchswert ist der Wert, der sich zwischen den Ablesungen 1 und 6 ergibt: $k_f = 1,14 \cdot 10^{-5}$ m/s.

Für die Berechnung einer Versickerungsmulde ist der Versuchswert um den Faktor 10 abzumindern, so dass mit $k_{f,cal} = 10^{-6}$ m/s zu rechnen ist.

Der k_f-Wert entspricht in etwa dem, der 2014 für das Sportgelände ermittelt wurde. Es ist also kein Zufallswert, sondern man muss davon ausgehen, dass der Baugrund für eine konzentrierte Versickerung wenig geeignet ist. Ggf. müsste die gesamte kapillarbrechende Schicht unter der Tiefgarage für die Versickerung genutzt werden.

8 Weiteres Vorgehen

Die Empfehlungen basieren auf den Ergebnissen punktueller Erkundungen. Im Zuge des Erdbaus oder der Fundierungsarbeiten ist eine gutachterliche Baugrundüberprüfung notwendig, um die Unterfütterungen und die Böschungssicherungen detailliert festzulegen.

H. Schad

Dr.-Ing. habil. Hermann Schad

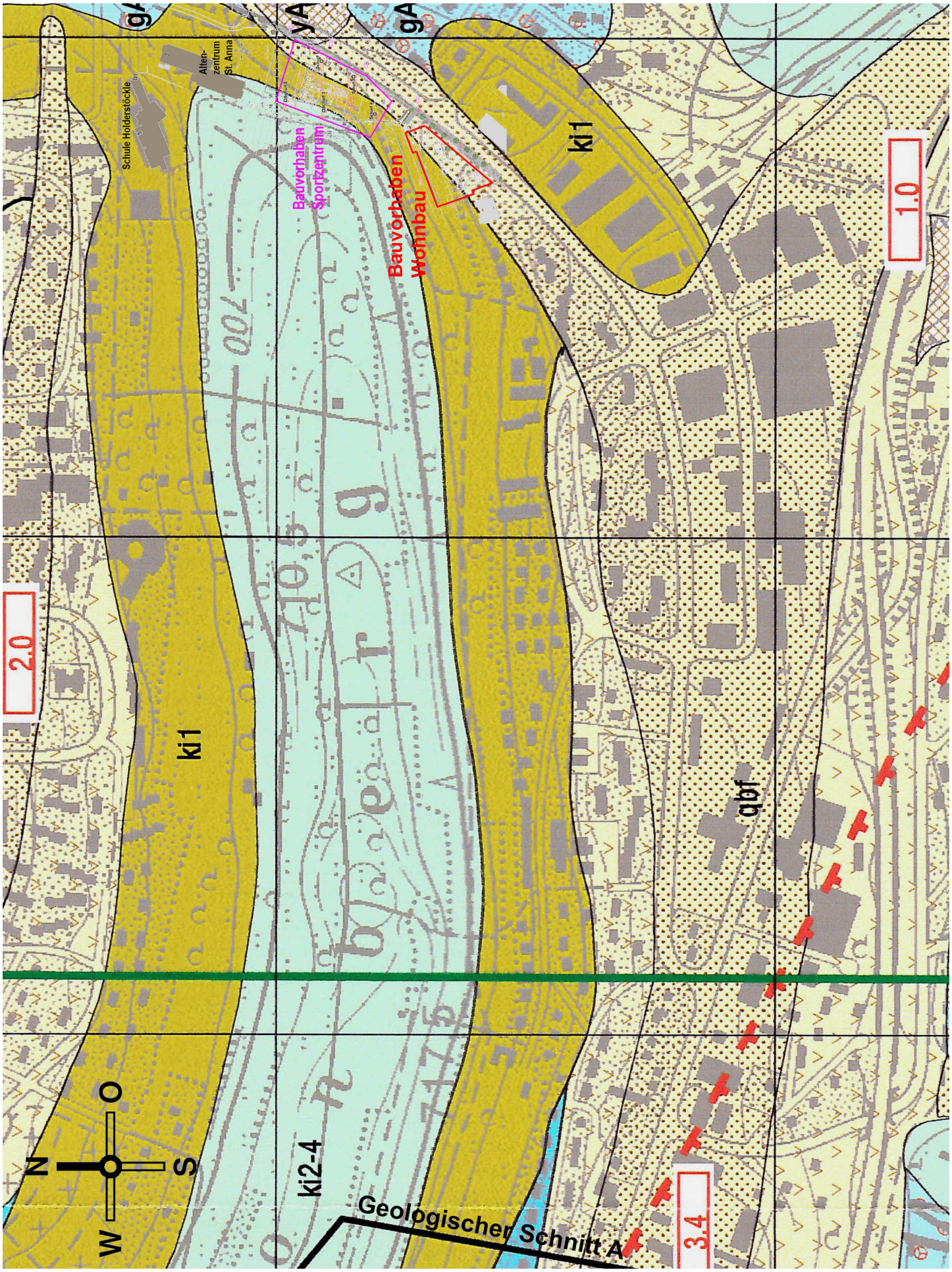
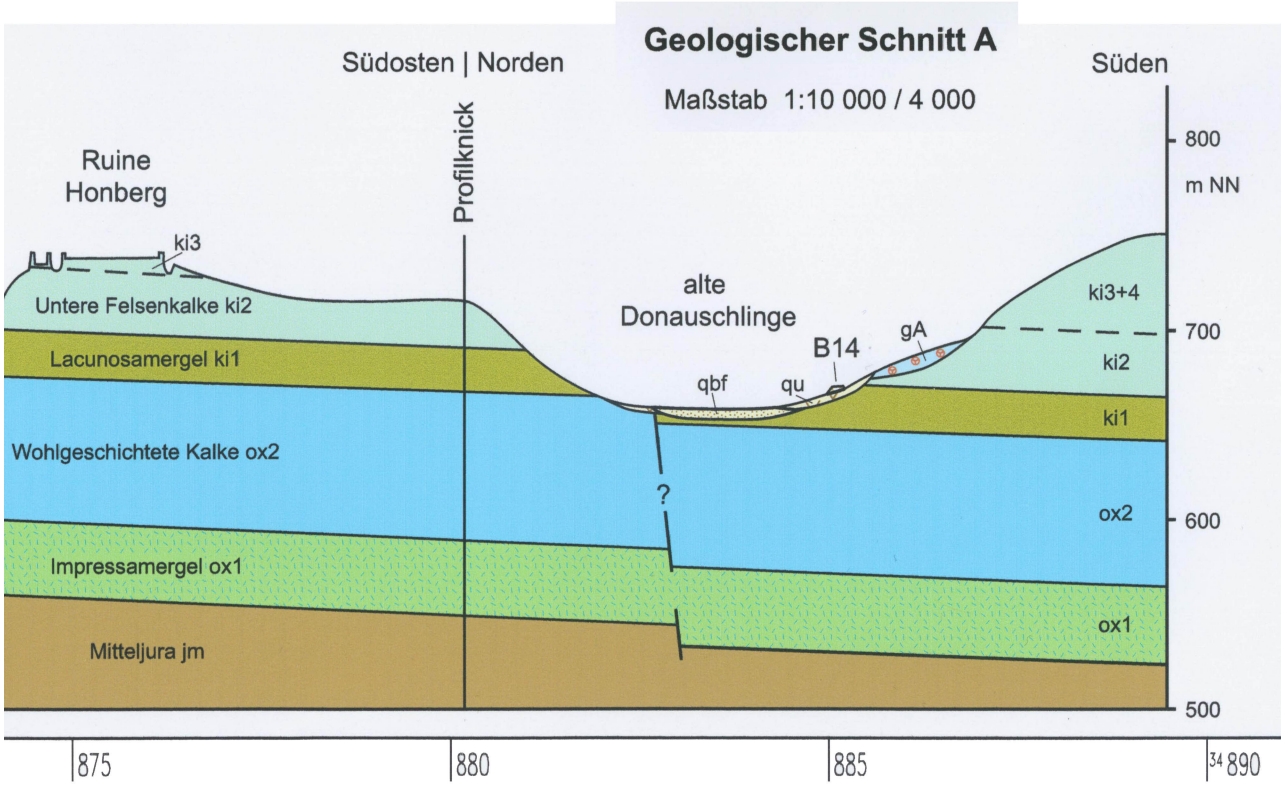


BILD 1: Ausschnitt aus der Baugrundkarte *Tuttlingen* 1:10.000 vergrößert auf M 1:5.000



Lockergestein

yA	Anthropogene Aufschüttung	Kies, schluffig bis Schluff, tonig, braun oder grau, locker gelagert, inhomogen, z.T. mit Holzresten u.Ä.
qu	Hangschutt	Kies, sandig, schluffig, braun, mit schluffigen Linsen
qvs	Hanglehm	auf Hangschutt
qbf	Talschutt und Tallehm	Kies, schluffig, braun, mit Lehmlagen
gA	Alte Donauschotter (Altpleistozän)	Kies, braun, selten grau, örtlich mit torfigen Lagen oder Sandlag

Festgestein

ki2-4	Liegende Bankkalke Obere Felsenkalke Untere Felsenkalke	Kalkstein, gelblich oder grau, dickbankig, im mittleren Teil massig, einzelne Mergelfugen, im oberen Teil dünne Mergelsteinbänke, lokal verkarstet
ki1	Lacunosamergel	Mergelsteine, Kalkmergelsteine, Kalkstein, grau, im oberen Teil häufig massige Schwammstotzen, fossilreich
ox2	Wohlgeschichtete Kalke im untersten Bereich z.T. Lochenfazies	Kalkstein, hellgrau-gelblich, gut gebankt, stark geklüftet, lokal verkarstet mit einzelnen geringmächtigen Mergellagen, lokal Schwammkalk
ox1	Impressamergel z.T. in Lochenfazies (Schwammkalke)	Mergelsteine mit Kalksteinbänken, grau, im Südwesten knollig-mergelige Schwammkalke

BILD 2: Geologischer Schnitt aus der Baugrundkarte und Legende der Schichten

BILD 3: Lageplan mit den Schürfgruben (M 1:1.000)

BILD 4: Fotoaufnahmen der Schürfgruben

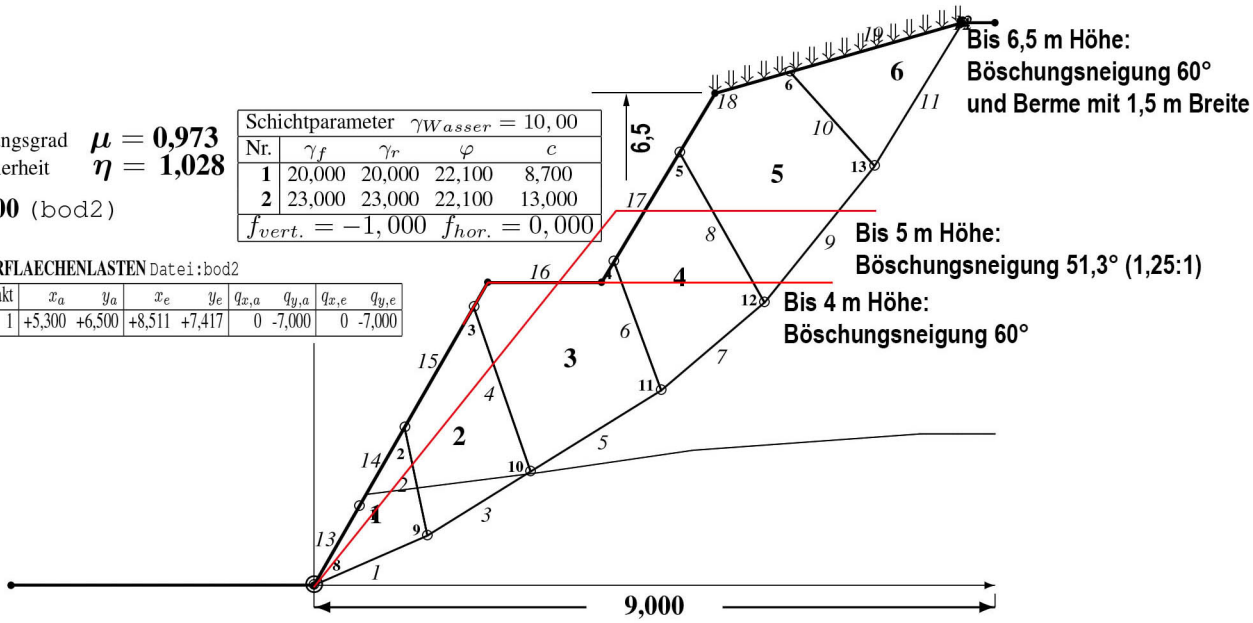
Ausnutzungsgrad $\mu = 0{,}973$
Standsicherheit $\eta = 1{,}028$

M 1: 100 (bod2)

Schichtparameter $\gamma_{Wasser} = 10,00$				
Nr.	γ_f	γ_r	φ	c
1	20,000	20,000	22,100	8,700
2	23,000	23,000	22,100	13,000
$f_{vert.} = -1,000$	$f_{hor.} = 0,000$			

OBERFLAECHENLASTEN Datei:bod2

Nr.	iakt	x_a	y_a	x_e	y_e	$q_{x,a}$	$q_{y,a}$	$q_{x,e}$	$q_{y,e}$
1	1	+5,300	+6,500	+8,511	+7,417	0	-7,000	0	-7,000



RAENDER Datei:bod2 Zielfunktion bei der Optimierung ist Standsicherheit/Ausnutzungsgrad

Rand	Typ	Knoten i	Knoten j	Scherparameter φ	Scherparameter c	Kraefte ⊥ zum Rand N'	Kraefte ⊥ zum Rand U	Kraefte = zum Rand $N' \cdot \tan\varphi_{mob}$	Kraefte = zum Rand $c_{mob} \cdot l$	Komp. von Q Q_x	Komp. von Q Q_y	U_{gof}
1	umg	8	9	22,1	13,0	+42,759	0	-16,889	-20,686	0	0	0
2	int	2	9	22,1	10,599	+22,744	0	+8,983	+15,033	0	0	0
3	umg	9	10	22,1	12,825	+51,708	0	-20,423	-20,025	0	0	0
4	int	3	10	22,1	8,7	+35,547	0	+11,833	+16,376	0	0	0
5	umg	10	11	22,1	8,7	+71,619	0	-28,287	-17,191	0	0	0
6	int	4	11	22,1	8,7	+37,990	0	+15,005	+15,319	0	0	0
7	umg	11	12	22,1	8,7	+59,835	0	-23,633	-15,171	0	0	0
8	int	5	12	22,1	8,7	+37,847	0	+14,948	+19,278	0	0	0
9	umg	12	13	22,1	8,7	+57,585	0	-22,744	-19,606	0	0	0
10	int	6	13	22,1	8,7	+15,060	0	+5,948	+14,148	0	0	0
11	umg	13	14	22,1	8,7	+11,724	0	-4,630	-18,791	0	0	0
12	ver	14	7	0	0	1,563E-13	0	0	0	0	0	0
13	gof	1	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	gof	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	gof	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	gof	4	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	gof	5	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	gof	6	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	gof	7	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ELEMENTE Datei:bod2

El.	Knoten i	j	k	l	m	n	Verschieb. v_x	Verschieb. v_y	Flaeche	Gewicht	Wichte γ	Anker $A_{x,mob}$	Anker $A_{y,mob}$	Kraefte P_x	P_y	O_x	O_y
1	1	8	9	2			-1,14	-0,50	+1,17	-26,03	+22,29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	2	9	10	3			-1,11	-0,69	+2,69	-55,18	+20,52	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	3	10	11	4			-1,11	-0,69	+4,08	-81,56	+20,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4	4	11	12	5			-1,03	-0,88	+3,19	-63,84	+20,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5	5	12	13	6			-0,90	-1,12	+4,28	-85,60	+20,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-6,94
6	6	13	14	7			-0,77	-1,26	+1,78	-35,57	+20,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-15,54

KOORDINATEN Datei:bod2

KEM-PUNKTE															
x	0,599	1,197	2,112	3,964	4,830	6,291	8,567	0,000	1,499	2,862	4,588	5,954	7,408	8,567	
y	1,041	2,082	3,672	4,274	5,717	6,783	7,433	0,000	0,656	1,503	2,574	3,735	5,539	7,433	
OBERFLAECHE VON SCHICHT 1															
x	0,000	2,300	3,800	5,300	8,567										
y	0,000	4,000	4,000	6,500	7,433										
OBERFLAECHE VON SCHICHT 2															
x	0,000	0,690	3,045	5,022	8,000										
y	0,000	1,200	1,498	1,784	2,000										

BILD 5: Nachweis der Böschungsstandsicherheit für 6,5 m Böschungshöhe

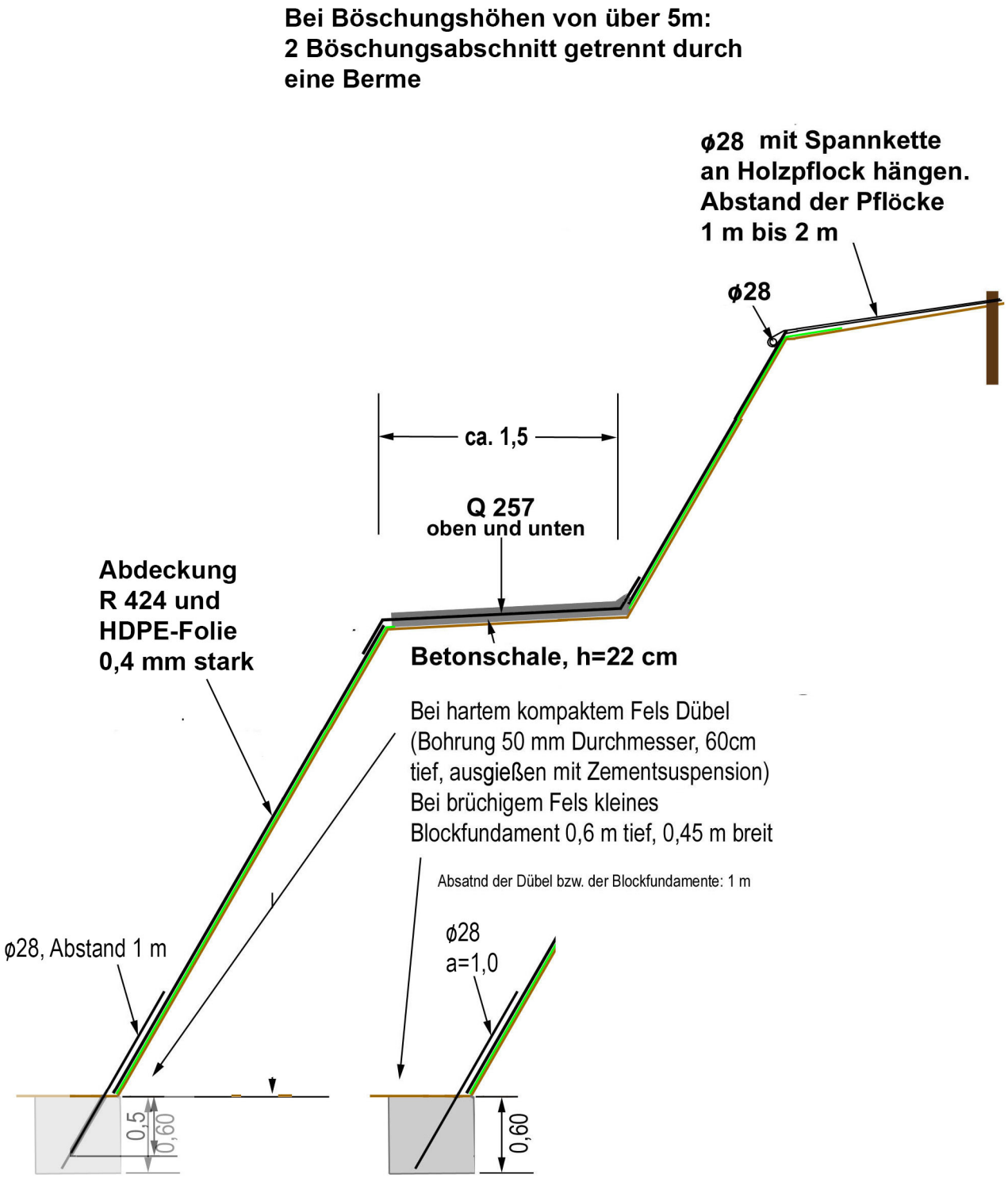


BILD 6: Prinzipskizze (M 1:50) zur Abdeckung von Böschungen mit über 4 m Höhe

BILD 7: Versickerungsversuch