

Ingenieurgesellschaft Kärcher GmbH & Co. KG · Heidengass 16 · 76356 Weingarten

Gemeinde Weingarten (Baden)
Marktplatz 2
76356 Weingarten

Anerkanntes Institut
nach DIN 1054
Beratende Ingenieure

Dr. techn. K. Kärcher
Dipl.-Ing. K.-M. Gotthel
Dipl.-Geol. D. Klaiber
Dipl.-Ing. J. Santo

Baugrunduntersuchungen
Erd- und Grundbau
Boden- und Felsmechanik
Damm- und Deichbau
Ingenieur- u. Hydrogeologie
Deponietechnik
Grundwasserhydraulik
Bodenmechanisches Labor

Ihr Zeichen

Unser Zeichen
E 8680 A04 G

Bearbeiter
Gu ☎ 07244/7013-25
m.gutberlet@kaercher-geotechnik.de

Datum
8. Juni 2016

GEOTECHNISCHES GUTACHTEN

Erschließung Gewerbegebiet Sandfeld

- Projekt-Nr.:** E 8680
- Projekt:** Erschließung des Gewerbegebietes Sandfeld in Weingarten (Baden)
- Kanalbau
 - Straßenbau, Kreisverkehr
 - Radwegunterführung
 - Versickerung
- Auftraggeber:** Beauftragung durch die Gemeinde Weingarten auf Grundlage unserer Honorarofferte vom 17. Juli 2015

INHALT

	Seite
1 Vorbemerkungen	4
1.1 Allgemeines	4
2 Baugrund	4
2.1 Geologische Übersicht	4
2.2 Durchgeführte Baugrunderkundung	5
2.3 Baugrundbeschreibung	6
2.4 Abfalltechnische Einstufung	8
2.5 Grundwasser	9
2.6 Bodenmechanische Kennwerte und Klassifikationen	11
3 Radwegunterführung	12
3.1 Allgemeines	12
3.2 Wasserhaltung	12
3.3 Baugrubensicherung	12
3.4 Gründung	13
3.5 Bauwerksabdichtung	13
3.6 Arbeitsraumverfüllung	13
3.7 Erddruck	13
4 Bachverlegung	14
4.1 Allgemeines	14
4.2 Gerinne	14
4.3 Verdolungen	15
5 Dammschüttungen für den Kreisverkehr	15
6 Kanalbau	16
6.1 Allgemeines	16
6.2 Gründung der Rohrleitungen	16
6.3 Sicherung und Trockenhaltung der Rohrgräben	17
6.4 Sicherung der Kanalgräben	17
7 Straßenbau	18
7.1 Allgemeines	18
7.2 Planum	18
7.3 Tragschichten	19
7.4 Dammschüttung	19

8 Versickerung von Niederschlagswasser

20

ANLAGEN

1. Lageplan mit Bohransatzpunkten, M 1 : 1.000

- 1.1 Lageplan Bohrungen BK 1, BK 2, BS 5 und Rammsondierungen DPH 1 bis 3 (Kreisverkehr)
- 1.2 Lageplan Kleinbohrungen BS 1 bis BS 9 (Erschließungsgebiet)

2. Bohrungen in Profildarstellung

- 2.1 BK 1, BK 2, BS 5 und Rammsondierungen DPH 1 bis 3 (Kreisverkehr)
- 2.2 Kleinbohrungen BS 1 bis 4 (Versickerungsanlagen)
- 2.3 Kleinbohrungen BS 5 bis 7 (Erschließungsstraßen)
- 2.4 Kleinbohrungen BS 8 bis 10 (Erschließungsstraßen)

3. Bodenmechanische Laborversuche

- 3.1 Kornverteilungsanalysen Kiessande Bereich Kreiverkehr
- 3.2 Kornverteilungsanalysen Kiessande Versickerungshorizont
- 3.3 Bestimmungen der Konsistenzgrenzen nach DIN 18122-2
- 3.4 Durchlässigkeitsversuche im Standrohr

4. Chemische Analysen – Bericht Labor Fader

5. Geotechnische Berechnungen

- 5.1 Böschungsbruch Uferböschung (schnelle Spiegelsenkung)
- 5.2 Vordimensionierung Grundwasserhaltung
 - 5.2.1 Kanalgraben, Absenktiefe 0,5 m
 - 5.2.2 Kanalgraben, Absenktiefe 1,0 m
 - 5.2.3 Kanalgraben, Absenktiefe 1,5 m

1 Vorbemerkungen

1.1 Allgemeines

Die Gemeinde Weingarten beabsichtigt eine etwa 13 Hektar große Fläche nordöstlich der Einmündung der K 3539 in die L 559 als Gewerbegebiet zu erschließen. Die Straßenkreuzung soll als Kreisverkehr ausgebaut werden, für den Radweg Weingarten – Blankenloch wird der Bau einer Radwegunterführung erwogen. Neben der Anlage des Straßen- und Kanalnetz soll die Möglichkeit einer dezentralen Versickerung von Regenwasser untersucht werden.

Mit im Untersuchungsgebiet liegt die Robert-Bosch-Straße und die Werner-von-Siemens-Straße. Hier steht noch nicht fest, ob eine Erneuerung der Straße oder eine Kanalverlegung erfolgen muss.

Die Ingenieurgesellschaft Kärcher wurde mit der Durchführung der Baugrunderkundung und dem Erstellen des vorliegenden Geotechnischen Gutachtens beauftragt. Dem vorliegenden Gutachten liegen folgende Unterlagen zugrunde:

- [U1] Bebauungsplan „Gewerbegebiet Sandfeld“, Bebauungsplanentwurf und Strukturkonzept, Bresch Henne Mühlinghaus Planungsgesellschaft, 2015
- [U2] Grundwasserauskunft quantitativ – Weingarten (Baden); Ldkrs KA / Grundwasserganglinien langfristig, Hauptzahlentabellen, Regierungspräsidium Karlsruhe, Abt.5-Ref.53.2 Gewässerkunde vom 02.10.2015
- [U3] Leitungspläne: Kanal und Wasser (Gemeinde Weingarten), Gas (Erdgas Südwest), Strom (Netze BW), Kabel (Unitymedia) und Telefon (Telekom)
- [U4] Geologische Spezialkarte von Baden-Württemberg, M 1 : 25.000, Blatt 6917 Weingarten, herausgegeben vom Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau.

2 Baugrund

2.1 Geologische Übersicht

Das Untersuchungsgebiet liegt in der Rheinebene. Hier stehen tiefgründig Kiessande an, die von einer meist geringmächtigen Lehmdecke überlagert sind. Unweit östlich setzen die verlandeten Flussarme der sog. Kinzig-Murg-Rinne ein, hier sind tiefgründig organische Böden (Torf, Auelehm) abgelagert. Vereinzelt Rinnen dieses Flusssystemes können auch noch im Planungsgebiet angetroffen werden.

2.2 Durchgeführte Baugrunderkundung

Zur Erkundung des Untergrundes wurden 2 maschinelle Kernbohrungen à 10 m Tiefe im Bereich Kreisverkehr / Radwegunterführung und 13 Kleinbohrungen (Rammkernsondierungen) mit einer Endtiefe von jeweils 5 m im Bereich der Erschließungsstraßen und Versickerungsflächen abgeteuft. Zur Abschätzung der Lagerungsdichte im Kiessand wurden zusätzlich 3 schwere Rammsondierungen (DPH) à 12 m Tiefe im Bereich Kreisverkehr niedergebracht. Die Lage der Aufschlüsse ist in Anlage 1 dargestellt, die Bohrprofile liegen in den Anlage 2.1 bis 2.4 bei.

Im bodenmechanischen Labor wurden folgende Untersuchungen durchgeführt (Ergebnisse in Anlage 3):

- 6 Kornverteilungsanalysen
- 2 Bestimmungen der Konsistenzgrenzen nach DIN 18122-2
- 3 Durchlässigkeitsversuche

Zur abfalltechnischen Einstufung des Erdaushubs wurden vom Labor Wessling 2 chemische Analysen mit Parameterumfang nach VwV-Boden¹ und 6 Asphaltuntersuchungen auf Teerstämmigkeit durchgeführt (Ergebnisse in Anlage 4).

¹

"Verwaltungsvorschrift des Umweltministeriums Baden-Württemberg für die Verwertung von als Abfall eingestuftem Bodenmaterial" vom 14. März 2007

2.3 Baugrundbeschreibung

In den Bohrungen wurden folgende Modellschichten aufgeschlossen:

- Künstliche Auffüllungen
- Mutterboden
- Lehmdecke
- Auelehm und Torf
- Kiessand

Die **künstlichen Auffüllungen** sind dabei zu unterteilen in:

- Fahrbahndecken und Tragschichten
- Dammschüttungen

Auffüllungen

- **Fahrbahndecken und Tragschichten:**

Der vorhandene Straßenoberbau in der Karl-Benz-Straße und deren Verlängerung Richtung Baggersee wurde durch die Kleinbohrungen BS 4 bis BS 8 erkundet. Die **Tragschicht** ist hier 30 bis 60 cm stark und teilweise verlehmt. Die Asphaltdecke ist in Abschnitt 2.4 beschrieben

- **Dammschüttungen**

Der Kreuzungsbereich der K 3539 und der L 559 liegt etwa 2 m höher als das ebene Gelände. Hier sind Straßendammschüttungen vorhanden, die in den Bohrungen BK 1, BK 2 und BS 5 erkundet wurden. Die Schüttung besteht überwiegend aus sandigen Schluffen, in BS 5 auch aus Sand. Die Konsistenz ist steif oder besser, Anlage 3.3 zeigt eine Konsistenzgrenzenbestimmung aus BK 1.

Ein Unterschied zwischen den darunter folgenden Schluff- Sandgemisch der Lehmdecke ist kaum zu erkennen. Bodenmechanisch werden die beiden Schichten nicht unterschieden (s. Tabelle in Abschnitt 2.6).

Die Dammschüttungen werden im Zuge der Bachumlegung und der Radwegunterführung als Aushub anfallen und wurden zusammen mit der Lehmdecke hinsichtlich ihrer abfalltechnischen Einstufung (nach VwV-Boden) untersucht.

Weitere Auffüllungen wurden nicht angetroffen. Insbesondere im Bereich alter bzw. ehemaliger Bebauung muss aber mit lokalen Ablagerungen gerechnet werden.

Mutterboden

Die Bohrungen, die in natürlich anstehenden Bodenverhältnissen niedergebracht wurden, wiesen Mutterbodenstärken i. d. R. 0,3 m auf. Die über der Straßendammschüttung aufgebrachte

Mutterbodenschicht ist wurde in 0,2 und 0,5 m Stärke angetroffen. Es sollte zur Massenkalkulation sicherheitshalber von 0,4 m ausgegangen werden. Der humose, sandige Schluff hebt sich durch seine dunkelbraune Farbe von den darunter folgenden Böden meist deutlich ab.

Lehmdecke

Die Schichtunterkante liegt nahe am Kreisverkehr (BK 1 / 2, BS1 / 5) und in Richtung Bahnlinie (BS 9 / 10) bei etwa 111 m+NN, dies entspricht im Mittel 2 m unter dem natürlichen Gelände. In der übrigen Fläche ist die Lehmschicht nur geringmächtig – meist weniger als 1 m unter Gelände – und reicht somit etwa bis 112 m+NN.

Die Zusammensetzung variiert zwischen tonigem und sandigen Schluff. Die Konsistenz ist weich-steif oder steif, oberflächennahe Aufweichungen (BS 1 bis 3) sind dabei witterungsbeeinflusst und werden bei anhaltend trockener Witterung in steife Konsistenz übergehen. Im Übergang zum Sand können auch weiche Konsistenzen auftreten (BK 1, BS 5).

Die leichtplastischen bindigen Böden sind wasserempfindlich und neigen bei Wasserzutritt zur Verbreitung bzw. Verflüssigung (Übergang zur Bodenklasse 2 nach DIN 18300, s. Tabelle in Abschnitt 2.6). Die Durchlässigkeit ist gering.

Auelehm und Torf

In der Bohrung BS 9 wurde anstelle der Lehmdecke Auelehm und Torf bis 2,2 m Tiefe angetroffen. In allen anderen Bohrungen ist dieser Boden nicht anzutreffen. Die Bohrung liegt im bereits bebauten Teil des Erschließungsgebietes in Richtung Bahnhof. Hier setzen offensichtlich die organischen Rinnenfüllungen der Kinzig-Murg-Rinne ein.

Die Torfe und weichen Tone sind extrem setzungsfähig und weisen eine geringe Scherfestigkeit auf.

Kiessand

Der Kiessand setzt unter der Lehmdecke zwischen 111 und 112 m+NN ein. Die Schichtunterkante liegt bei mindestens 30 m unter Gelände.

In den Bohrungen BS 2 bis BS 4 ist der Kiessand auf dem obersten Meter schluffig verbacken, in den anderen Bohrungen ist diese Lage dünner ausgebildet oder sie fehlt. Der schluffige Kiessand weist eine auffällige Ockerfärbung auf. Die Durchlässigkeit des schluffigen Kiessands ist geringer als die des feinkornfreien Bodens darunter. An 3 Bodenproben führten wir Durchlässigkeitsversuche (Anlage 3.4) durch, die Werte zwischen $k_f = 2 \cdot 10^{-5}$ für schluffigen Kiessand und $k_f = 2 \cdot 10^{-4}$ m/s für feinkornfreien Kiessand lieferten.

Der feinkornfreie Kiessand besteht aus wechselnd sandigem Kies mit Sandzwischenlagen. An Proben der Bohrungen BK 1 und BK 2 führten wir Kornverteilungsanalysen durch. Aus diesen können Durchlässigkeiten zwischen $9 \cdot 10^{-4}$ und $2 \cdot 10^{-3}$ m/s abgeschätzt werden.

Die am geplanten Kreisverkehr durchgeführten Rammsondierungen lieferten im Mittel Schlagzahlen um $n_{10} = 10$, was einer mitteldichten Lagerung entspricht. Einige Abschnitte erreichen aber Schlagzahlen um $n_{10} = 20$, das Maximum bei DPH 1, 9,5 m und DPH 2, 7,7 m beträgt $n_{10} = 30$, hier herrscht eine dichte, lagenweise sehr dichte Lagerung vor.

2.4 Abfalltechnische Einstufung

Asphalt

Der Asphalt ist zwischen 3 und 14 cm stark. Er besteht aus verschiedenen Generationen. Im Abschnitt zwischen der Werner-von-Siemens-Straße und dem Bauende Richtung Baggersee wurde in den Bohrungen KB 11 (nur Asphalt) und BS 4 eine Teerspritzdecke angetroffen. Die darunter befindliche Tragschicht weist ebenfalls einen deutlichen Teergeruch auf. Gemäß der chemischen Analyse (Anlage 4) beträgt der PAK-Gehalt 1740 bzw. 3130 mg/kg. Diese Werte überschreiten den Grenzwert für Ausbauasphalt (nach RuVa-StB: 25 mg/kg) und den Grenzwert der Zuordnungsklasse Z2 für Bauschutt (Dihlmann-Erlass: 35 mg/kg) deutlich. Der Straßenaufbruch muss samt der Tragschicht als teerhaltiger Straßenaufbruch entsorgt werden.

Die übrigen PAK-Gehalte sind mit BS 5:16,7, BS 7: 3,4 und BS 9:4,4 mg/kg deutlich niedriger und lassen eine Einstufung als Ausbauasphalt nach RuVa-StB zu. Der Asphalt in BS 5 (Auffahrt zur L559) ist mit 16,7 mg/kg der Klasse Z1.2 für Recyclingbaustoffe zuzuordnen, die übrigen Gehalte lassen eine Zuordnung in die Klasse Z1.1 zu.

Nähere Angaben liegen im Laborbericht in Anlage 4 bei.

Aushub Bereich Kreisverkehr

Beim Bau der Radwegunterführung und bei der Verlegung des Walzbaches fällt Boden der Auffüllungen und der Lehmdecke als Aushub an. Am Bohrgut der Bohrungen BK 1 und BK 2 zwischen 0 und 4 m wurde eine Mischprobe erstellt und hinsichtlich Ihrer abfalltechnischen Einstufung nach VwV-Boden² untersucht. Die Mischprobe weist keine relevant erhöhten Parameter auf und wird der Qualitätsstufe Z0 zugeordnet.

Aushub Erschließungsgebiet

Beim Herstellen des Planums und beim Kanalbau wird Aushubboden der Lehmdecke abzufahren sein. Eine Mischprobe des Bodens aus den Kleinbohrungen (bis 1 m Tiefe) wurde ebenfalls nach VwV-Boden untersucht. Anlage 4 enthält den Laborbericht. Die Mischprobe weist keine relevant erhöhten Parameter auf und wird der Qualitätsstufe Z0 zugeordnet.

Der ebenfalls im Kanalgrabenaushub anfallende Sand und Kiessand kann im Rohrgraben wiedereingebaut werden und wurde deshalb nicht untersucht.

²

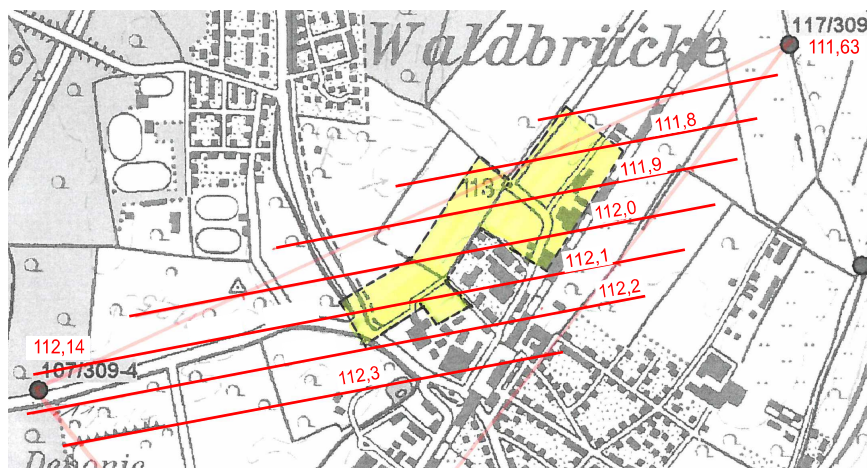
Verwaltungsvorschrift für die Verwertung von als Abfall eingestuftem Bodenmaterial, Tab. 6-1

2.5 Grundwasser

Das Grundwasser steht großflächig im Porenaquifer der Rheinschotter an. In den Bohrungen stellten sich Wasserstände zwischen 110,7 und 111,35 m+NN ein. Zu den nächstliegenden Grundwassermessstellen liegen uns Datenreihen des Regierungspräsidiums Karlsruhe vor. Diese liefern folgende Maximal- und Mittelwasserstände:

Grundwasser- messstelle	Beobachtungs- zeitraum	Entfernung (zur Mitte)	HGW ³ [m u. GOK]	MHGW ⁴ [m u. GOK]	Mittel (ca.) [m u. GOK]
107/309-4	1946 - 2015	550 m (WNW)	112,14 (2013)	111,71	111,18
108/309-9	1913 - 1988	550 m (OSO)	113,04 (191 9)	112,25	111,75
116/309-5	1976 - 2014	850 (O)	112,08 (2013)	111,43	110,78
117/309-0	1976 - 2007	1300 m (WSW)	111,63 (1983)	111,02	110,48

Aufgrund der Größe des Untersuchungsgebietes ist das Gefälle der Grundwasseroberfläche zu berücksichtigen. Die nachstehenden Skizzen zeigen das Gefälle des HGW und des MHGW als Isolinien.



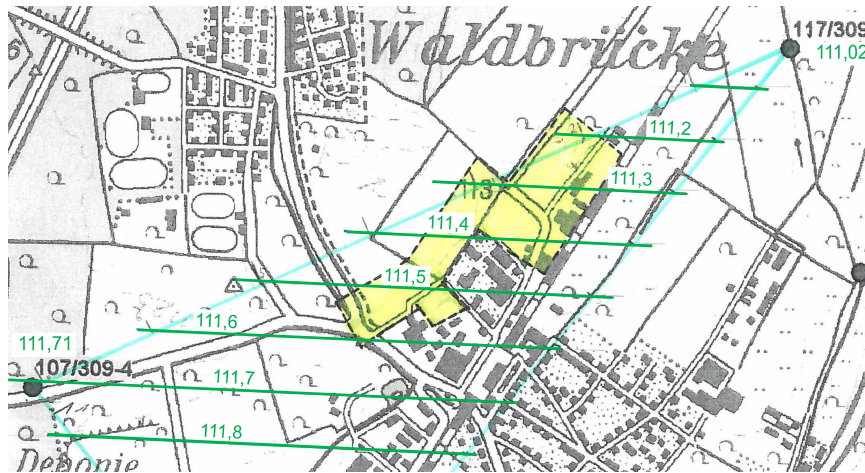
Skizze: Isolinien HGW

³

Gemessener Höchstgrundwasserstand im Beobachtungszeitraum

⁴

Mittlerer höchster Grundwasserstand: Arithmetisches Mittel der Jahreshöchstwerte im Beobachtungszeitraum



Skizze: Isolinien MHGW

Unter Berücksichtigung der in Nordrichtung ausgerichteten Grundwasserströmungsrichtung sind folgende Höchstgrundwasser- bzw. Bemessungswasserstände anzusetzen, Zwischenwerte können entsprechend der Abbildungen interpoliert werden:

Lage	MW (ca.) [m u. GOK]	MHW [m u. GOK]	HGW [m u. GOK]	Bauwasserstand ⁵ [m u. GOK]	Bemessungswasserstand ⁶ [m u. GOK]
Süden (Kreisverkehr)	111,1	111,6	112,2	111,6	112,7
Norden	110,8	111,25	111,7	111,3	112,2

Die in den Bohrungen gemessenen Wasserstände stimmen mit dem Mittelwasser weitgehend überein. Die Höchstgrundwasserstände reichen wenige Dezimeter bis 1,0 m unter Gelände.

Zur Dimensionierung von Versickerungsanlagen ist der MHW ohne Zuschlag anzusetzen.

Der Weingarter Bach quert den Kreuzungsbereich L559 / K3539. Bei Mittelwasser liegt dessen Wasserspiegel etwa bei 112,9 m+NN. Das Gewässer liegt damit fast 2 Meter über dem mittleren Grundwasserstand. Gewässer und Grundwasseraquifer sind daher hydraulisch getrennt. Durch die nahezu undurchlässige Gewässersohle (Kolmation) findet nur eine minimale Absickerung des Bachwassers in den Aquifer statt. Dieses Phänomen ist regional typisch und auch bei den Gewässern Pfinz und Saalbach zu beobachten.

⁵ HGW + Sicherheitszuschlag (0,5 m)
⁶ MW + Sicherheitszuschlag (0,5 m)

2.6 Bodenmechanische Kennwerte und Klassifikationen

In der folgenden Tabelle sind die bautechnischen Klassifizierungen und die für erdstatische Berechnungen und Nachweise erforderlichen charakteristischen Kennwerte der angetroffenen Böden aufgelistet.

Modellschicht	Lehmdecke und bindige Auffüllungen		Auelehm [Torf]	Kiessand und grobkörnige Auffüllungen	
	Schluff, teilw. tonig schwach bis stark sandig		Ton, schluffig [Torf]	Kies, Sand, (schwach) tonig/schluffig	Kies, Sand
Lagerungsdichte/ Konsistenz	weich, weich - steif	steif oder besser	weich	überwiegend mitteldicht	
Bodengruppe DIN 18196	TL, TM, UL, ST*, SU*		TM, OT, [HN, HZ, F]	GT, ST, GU, SU	GW
Bodenklasse DIN 18300 (alt)	4 (2) ⁷		4, 2	3, 4	3
Frostempfindlichkeit (ZTVE)	F 3			F 2	F 1
Bodenklasse (ATV-M 127)	G3 / G4		-	G2	G1
Wichte γ / γ' [kN/m ³]	20 / 10		19 / 9 [15 / 5]	20 / 10	
Reibungswinkel φ_k [°]	25		20	33	35
Kohäsion c_k [kN/m ²]	3 - 5	5 - 8	2 - 4 [0]	0	0
Steifemodul ⁸ $E_{s,k}$ [MN/m ²]	5 - 8	8 - 12	2 - 4 [≤ 1]	25 - 40	40 - 60
Durchlässigkeit k_f [m/s]	$< 10^{-7}$			10^{-5} bis 10^{-4}	10^{-3} bis $3 \cdot 10^{-3}$

Die o. a. Modellschichten können gemäß der DIN 18300 als Homogenbereiche definiert werden.

7 Beim Kontakt der Böden mit Wasser können diese verbleiben und somit in fließende Bodenarten (BKI 2) übergehen.
8 Steifemodul für Erstbelastung im Bereich $0 \leq \sigma \leq 200$ kN/m²

3 Radwegunterführung

3.1 Allgemeines

Bauwerkspläne zur geplanten Unterführung liegen uns noch nicht vor. Von entscheidender Bedeutung ist die Tiefenlage der Bauwerkssohle, von der die Notwendigkeit bzw. das Ausmaß von Verbau- und Wasserhaltungsmaßnahmen abhängt. Die nachstehenden Angaben sind daher allgemeingültig und müssen anhand der Planung präzisiert werden.

3.2 Wasserhaltung

Der Bauwasserstand liegt bei 111,6 m+NN, das Straßenniveau grob zwischen 115,0 bis 115,5. Kann die Radwegunterführung ausreichend niedrig geplant werden, kann auf Grundwasserhaltungsmaßnahmen verzichtet werden.

Liegt die Aushubsohle unter dem Bauwasserstand, muss eine Wasserhaltung betrieben werden oder die Baugrube erhält eine Sohlabdichtung (Trograugrube). Bei einer Absenktiefe bis zu 1,5 Meter ist eine Wasserhaltung mittels einer Schwerkraftbrunnenanlage sinnvoll. Bei einer tieferen Absenkung sollte eine Trograugrube mit Unterwasserbetonsohle (als Schwergewichtssohle oder sohlverankert) erwogen werden.

Bei der Dimensionierung der Wasserhaltung ist die Untergrunddurchlässigkeit im Kies zwischen $5 \cdot 10^{-4}$ und $3 \cdot 10^{-3}$ m/s zu variieren.

3.3 Baugrubensicherung

Die Platzverhältnisse werden keine abgeböschte Baugrube zulassen. Als Verbau ist eine Spundwand geeignet. Bei einer flacheren Baugrube, die nicht in den Kies (und das Grundwasser) reicht, wäre alternativ ein Trägerbohlverbau möglich.

Zur Stützung bietet sich eine gegenseitige Aussteifung der gegenüberliegenden Wände im Kopfbereich an. Wird eine weitere Stützung im Fußbereich erforderlich, kommt hier nur eine Verankerung mit vorgespannten Temporärankern in Betracht. Diese können nach Ostermayer (Grundbautaschenbuch) für mitteldichtgelagerten Kies dimensioniert werden, die Verpressstrecke muss vollständig unterhalb 110,0 m+NN liegen.

Bei der Einbringung der Spundwände und der Profilwahl sind die Ergebnisse der Rammsondierungen zu berücksichtigen. Diese zeigen in verschiedener Höhe schwer rambbare Zwischenlagen mit Schlagzahlen um $n_{10} = 30$.

3.4 Gründung

Wir gehen von einem geschlossenen Rahmenbauwerk aus. Für dieses bietet sich eine Gründung auf einer elastisch gebetteten Bodenplatte an.

Bei sehr niedriger Bauhöhe (Gründungssohle oberhalb 111,0 m+NN) stehen unter dem Bauwerk noch Böden der bindigen Deckschicht an. Verbleiben nur wenige Dezimeter des bindigen Bodens, empfehlen wir diesen auszuheben und gegen Tragschichtenmaterial oder Kiessand zu ersetzen. Eine Flachgründung im bindigen Boden ist aber bei entsprechender Anpassung des Bettungsmoduls prinzipiell möglich.

Die Auftriebssicherheit ist für den Bemessungswasserstand nachzuweisen.

3.5 Bauwerksabdichtung

Das Bauwerk wird auch bei niedriger Bauhöhe noch unter den Bemessungswasserstand reichen. Eine wasserdichte Ausführung wird daher erforderlich.

Der Unterführung zutretendes Tagwasser muss über eine Hebeanlage gefördert werden.

3.6 Arbeitsraumverfüllung

Unter den Verkehrsflächen muss der Arbeitsraum mit gut verdichtbarem Boden verfüllt werden. Wir empfehlen hier Kiessand oder ein Schottergemisch der Körnung 0/45 mm zu verwenden. Recyclingschotter darf nur oberhalb des Bemessungswasserstandes verwendet werden. Gemäß ZTVE ist ein Verdichtungsgrad von $D_{Pr} \geq 100\%$ zu erzielen. Dieser ist mittels Plattendruckversuchen nachzuweisen, hier gilt (gemäß Korrelation der ZTVE) $E_{V2} \geq 100 \text{ MN/m}^2$.

Im Bereich von Grünflächen kann – sofern diese Bereiche vorhanden sind – auch mit dem bindigen Aushub verfüllt werden, hier können Sackungen in der Größenordnung einiger Zentimeter toleriert werden.

3.7 Erddruck

Das Bauwerk ist nahezu unverschieblich und muss auf einen erhöhten aktiven Erddruck gemäß $e = \frac{1}{2} \cdot (e_0 + e_a)$ bemessen werden. Bei einer verbauten Baugrube mit schmalen Arbeitsraum sind zur Erddruckberechnung die Kennwerte der angrenzenden Bodenschichten (bindige Deckschichten / Kiessand) gemäß Abschnitt 2.6 zu verwenden. Der Erddruckfigur ist der Verdichtungserddruck zu überlagern.

4 Bachverlegung

4.1 Allgemeines

Gemäß den bisher vorliegenden Planunterlagen muss der Weingarter Bach dauerhaft verlegt werden. Es sind sowohl offene Gerinnestrecken als auch Verdolungen (Rohrleitungen) vorgesehen.

Im Zuge der Bauausführung wird eventuell noch eine temporäre Verlegung des Baches erforderlich.

Das Gewässer ist vom Grundwasseraquifer hydraulisch getrennt, der Gewässerspiegel liegt deutlich über dem Grundwasserstand (s. Abschnitt 2.5). Bei allen Gewässerumbaumaßnahmen muss darauf geachtet werden, dass keine unkontrollierte Einsickerung des Bachwassers in den Untergrund (Kiesaquifer) erfolgt.

4.2 Gerinne

Die Uferböschungen des Bachbettes müssen dauerhaft standsicher sein. Dies kann über eine ausreichend flache Böschungsneigung oder eine Sicherung der Böschung erfolgen. Denkbar ist auch eine Kombination aus Beidem.

Bei der Ausbildung ungesicherter Böschungen ist die hydraulische Beanspruchung, z. B. bei Strömungsangriff oder einem schnell ablaufendem Hochwasser zu berücksichtigen. Für eine standsichere Böschung in bindigen Boden sind Böschungsneigungen von maximal 1 : 2,2 und einem lastfreien Streifen von 1,5 m möglich. Anlage 5.1 enthält eine Standsicherheitsberechnung für den maßgebenden Lastfall einer schnellen Spiegelsenkung (schnell ablaufendes Hochwasser, Annahme: HW = 114,5 m+NN).

Als Böschungssicherungen kommen Flussmatratzen, ein Steinsatz oder andere Stützkonstruktionen in Betracht. Diese sind statisch nachzuweisen.

Die Gewässersohle und die Böschungen (hinter einer eventuellen Böschungssicherung) dürfen nicht wasserdurchlässig sein, Die Geländeaufschüttung für den Kreisverkehr ist im Bereich der Gewässerführung aus bindigem Boden herzustellen oder die Böschungsflächen werden abgedichtet. Um eine Aufsättigung des Bodens möglichst zu vermeiden, empfehlen wir das Mittelwasserbett in jedem Fall mit einer Bentonitmatte auszukleiden.

Temporäre Gewässerumleitungen können in einem Rohr oder in einem Gerinne, das mit einer Bentonitmatte ausgekleidet wird geführt werden.

4.3 Verdolungen

Die Rohrsohlen werden bei etwa 112,5 bis 113,0 m +NN liegen, die Gründungssohlen der Rohre wird voraussichtlich bei etwa 112,0 bis 112,5 m +NN in der bindigen Deckschicht, 0,5 bis 1,0 m über dem Übergang zum Kiessand, liegen.

Die Rohrleitungen können in dieser Schicht gegründet werden. Dabei ist eine Bettung nach DIN EN 1610 als Typ 1 mit einer unteren Bettungsschicht $a \geq 150$ mm zu wählen. Im Übergang zum Kiessand können teilweise auch weiche Böden anstehen. Werden diese in der Gründungssohle angetroffen, ist eine Bodenverbesserung durch Einfräsen eines hydraulischen Bindemittels oder einem Bodenaustausch erforderlich.

Aus Platzgründen ist von einem Verbau der maximal 3 m tiefen Gräben auszugehen. Der Aushub liegt voraussichtlich noch oberhalb des Bauwasserstandes, es muss aber im Nahbereich des Walzbaches mit wassergesättigten Böden gerechnet werden, die bei senkrechtem Abgraben nachbrechen werden. Geeignet ist daher entweder ein Spundwandverbau oder ein Systemverbau, der parallel zum Aushub oder dem Aushubvorausgehend eingebracht werden kann. Ein geeigneter Systemverbau wäre z. B. ein Gleitschienen- oder Dielenpressverbau.

5 Dammschüttungen für den Kreisverkehr

Zur Höhenanpassung des Kreisverkehrsplatzes sind Schüttungen erforderlich. Die Höhe und Ausdehnung der Schüttung hängt von der Lage des Kreisverkehrs ab, die derzeit noch nicht feststeht. Bei der in Anlage 1.1 dargestellten vorläufigen Lage ragt der Kreisverkehr in die Wiesenfläche südlich der Kreuzung (bei DPH 3). Unter der Annahme, dass die Höhenkote des Kreisverkehrs ungefähr dem jetzigen Fahrbahnniveau entspricht, müsste das Wiesengelände um etwa 2 m aufgeschüttet werden.

Die Aufschüttungen sind gemäß der ZTVE StB als Fahrbahnunterbau herzustellen. Folgende Bodenarten sind grundsätzlich geeignet:

- a) **Feinkorngehalt bis 5 % – Kies-Sandgemisch** (gut verdichtbar)
z. B. Kiessand, Tragschichtenmaterial nach ZTVT StB 95/98 bzw. ZTV SOB StB 04, güteüberwachter Recyclingschotter.
- b) **Feinkorngehalt 5 bis 15 % – Kies-Sandgemisch, tonig/schluffig** (mäßig verdichtbar)
z. B. Vorsiebmaterial, Siebschutt, nicht güteüberwachter Recyclingschotter.
- c) **bindige und gemischtkörnige Böden über 15 % Feinkorngehalt** (schwer verdichtbar)
mit folgenden Eigenschaften:
 - Konsistenz besser als steif oder durch hydraulische Bindemittel verbessert
 - leichte bis mittlere Plastizitätz. B. Lösslehm, Verwitterungslehm, Schwemmlehm.

Gemäß der ZTVE StB sind die Bodenarten (a) und (b) bis 1 m unter Planum auf $D_{Pr} \geq 98 \%$ und darüber auf 100 % zu verdichten.

Bindige Böden (c) sind auf $D_{Pr} \geq 97 \%$ zu verdichten. Der Verdichtungserfolg ist nachzuweisen. Derartige Lehme weisen im natürlichen Vorkommen häufig für ausreichende Verdichtung zu hohe Wassergehalte auf. Hier besteht die Möglichkeit einer Bodenverbesserung mit hydraulischen Bindemitteln.

Grundsätzlich empfehlen wir den Einbau von grobkörnigen Boden (a). Im Nahbereich zum Gerinne des Walzbaches müssen jedoch geringdurchlässige bindige Böden (c) eingebaut werden. Der Nahbereich kann mit jeweils 2 m Abstand zum Gewässerbett definiert werden. Wir empfehlen hier eine Bindemittelverbesserung des Bodens einzuplanen.

Damböschungen können unter der Regelneigung von 1 : 1,5 hergestellt werden. Lokale Rutschungen sind möglich, solange sich noch keine durchwurzelte Oberbodendecke gebildet hat.

Das Untergrundplanum ist vom Mutterboden und ungeeigneten Böden (s. Abschnitt 7.1) zu befreien. Vorhandene Böschungen, gegen die geschüttet werden muss, sind abzutrepfen, um eine möglichst gute Verzahnung zu erzielen.

6 Kanalbau

6.1 Allgemeines

Planunterlagen zum Kanalnetz liegen noch nicht vor. Die Kanaltiefen der (voraussichtlichen) Anschlussknoten liegen bei 110,12 m+NN in der Robert-Bosch-Straße und 110,55 m+NN in der Werner-Siemens-Straße. Wir gehen davon aus, dass eine Freispiegelentwässerung zu diesen Anschlüssen geplant wird und die Kanaltiefen maximal dieses Niveau erreichen.

Die Kanallauftiefen werden somit voraussichtlich zwischen 1,2 und 2,5 m unter Gelände liegen.

6.2 Gründung der Rohrleitungen

Die Gründungssohlen der Rohrleitungen werden überwiegend im Kiessand liegen, bei flach liegenden Kanälen kann insbesondere in Richtung Kreisverkehr die Sohle auch Lehm anstehen. Der Kanalanschluss in der Robert-Bosch-Straße liegt zwischen unseren Bohrungen BS 6 und BS 9. In BS 9 wurde Auelehm und eine Torflage angetroffen, in BS 6 fehlen diese gering tragfähigen Schichten bereits. Im Anschlussbereich können Restmächtigkeiten an Auelehm und Torf in der Gründungssohle der Rohrleitung nicht ausgeschlossen werden.

Im Kiessand und in Lehmböden einer Konsistenz besser als weich können die Rohrleitungen nach DIN EN 1610 auf einer unteren Bettungsschicht nach Typ 1 mit einer Stärke von

a \geq 100 mm gegründet werden. Im Sand kann evtl. auf eine untere Bettungsschicht verzichtet werden und eine Bettung nach Typ 2 oder 3 erfolgen.

Stehen in der Aushubsohle weiche (bzw. aufgeweichte) Lehmböden oder Auelehme (s. o.) an, ist eine zusätzliche Bodenverbesserung durch Einbau eines 0,3 m starken Schotterpolsters vorzusehen.

6.3 Sicherung und Trockenhaltung der Rohrgräben

Die Rohrstrecken werden zumindest teilweise unterhalb des Grundwasserstandes liegen. Am Anschlussknoten in der Robert-Bosch-Straße ist mit der tiefsten Grundwasserabsenktiefe zu rechnen. Der Bauwasserstand ist hier gemäß Abschnitt 2.5 mit 111,5 m+NN zu wählen, bei einer Aushubsohle von 110,0 m+NN beträgt die erforderliche Absenkung rund 1,5 m. Sollten während der Bauausführung Niedrigwasserstände vorherrschen, reduziert sich die Absenktiefe und die Strecke, für die eine Absenkung erforderlich wird, deutlich.

Zur Grundwasserabsenkung bietet sich eine Schwerkraftbrunnenanlage an. Die Anlagen 5.2.1 bis 5.2.3 enthalten Vordimensionierungen für Absenkmaße von 0,5 m, 1,0 m und 1,5 m, wobei jeweils ein 30 m langer Kanalabschnitt betrachtet wurde. Den Berechnungen liegt ein Wert von $k_f = 3 \cdot 10^{-3}$ m/s. Es ergeben sich folgende Brunnenanordnungen und Fördermengen:

Absenkmaß	Anzahl Brunnen	Abstand Brunnen	Brunnentiefe ab GW	Wassermenge pro Brunnen	Wassermenge pro lfd m	Gesamtwassermenge (30 m)
0,5 m	2	20 m	3,5 m	12 l/s	0,8 l/s/m	24 l/s
1,0 m	2	20 m	5,0 m	24 l/s	1,6 l/s/m	47 l/s
1,5 m	3	15 m	5,0 m	19 l/s	1,8 l/s/m	55 l/s

Die Berechnungen der Anlage 5.2 sind Vordimensionierungen zur vorläufigen Abschätzung des Aufwandes. Für die Ausführung der Absenkung sind eigene Bemessungen des Brunnenbauunternehmens erforderlich.

6.4 Sicherung der Kanalgräben

Die Anforderungen der DIN EN 1600 sind hier zu beachten. Demnach können Gräben die tiefer als 1,2 m sind im Lehm unter 60° und im Sand und Kiessand unter 45° geböscht angelegt werden. Da Lehme nur in der Nähe des Kreisverkehrs etwas tiefer reichen, sollte generell von 45° ausgegangen werden. Wir gehen aber davon aus, dass ohnehin verbaut wird.

Bei flacheren Gräben, die nicht in das Grundwasser reichen – d. h. einer Tiefe von maximal etwa 2 m – kann ein konventioneller Grabenverbau eingesetzt werden. Es ist aber zu berücksichtigen dass feinkornfreie Sande und Kiessande Nachbrechen können. Beim konventionellen Grabenverbau werden Verbaufeln in den kurzzeitig offenstehenden Grabenabschnitt

eingestellt. Sand und Kiessand neigt auch bei senkrechtem Abgraben zu Nachbrüchen. Es sind daher folgende Randbedingungen zu beachten:

- Der Aushubabschnitt ist auf die Länge eines Verbauelementes zu beschränken
- Es muss mit Mehraushub gerechnet werden
- Die Verbaufeln müssen unmittelbar nach Erreichen der planmäßigen Aushubsohle eingestellt werden
- **Die kurzzeitig offenstehenden Gräben und die Grabenschultern dürfen auf keinen Fall betreten werden**
- Nachbrüche hinter den Verbaufeln sind verdichtet aufzufüllen
- Nach Einbau der Leitung ist der Verbau schrittweise mit den Verfülllagen anzuheben

Für Gräben, die tiefer als 2 m werden, wird ein Grabenverbau erforderlich, der parallel zum Aushub oder dem Aushub vorausseilend abgesenkt werden kann. Ein entsprechendes Verbausystem wäre zum Beispiel ein Kanaldielen-, Gleitschienen- oder Dielenpressverbau.

7 Straßenbau

7.1 Allgemeines

Generell sind die Erdarbeiten aufgrund der hochgradig wasserempfindlichen Böden nur bei trockener Witterung auszuführen.

Der Mutterboden ist unter den geplanten Verkehrsflächen vollständig abzuschleifen. Sollten darunter ungeeignete Böden, wie z. B. weiche oder aufgeweichte Lehme oder Auffüllungen anstehen, sind diese ebenfalls auszutauschen, im Zweifelsfall sind wir hinzuzuziehen.

Freigelegte Abtragsflächen sind unverzüglich mit den vorgesehenen Tragschichten oder Bodenverbesserungen zu versiegeln.

7.2 Planum

Die Dimensionierung des Oberbaus hat nach RStO 12, Abschnitt 5.2 für einen frostempfindlichen Untergrund (F 3) zu erfolgen. Auf dem Planum ist ein Verformungsmodul von $E_{V2} \geq 45 \text{ MN/m}^2$ nachzuweisen. Dieser Wert wird in der Lehmdecke nur bei einer Konsistenz besser als steif erreicht. Die auf Planumsniveau anstehenden Lehme sind zumeist steif, bereichsweise aber auch weich bis steif. Die oberflächennahen Schichten können zudem witterungsbedingt aufgeweicht sein.

Es muss daher davon ausgegangen werden, dass eine **Bodenverbesserung** erforderlich wird. Dort wo eine Anhebung des Straßenniveaus gegenüber dem jetzigen Geländeniveau erfolgt, übernimmt die Dammschüttung (Unterbau) die Funktion der Bodenverbesserung.

Als Bodenverbesserung kommt das Einfräsen eines hydraulischen Bindemittels oder ein Bodenaustausch in Betracht:

Einfräsen eines hydraulischen Bindemittels

Geeignet sind Mischbinder mit einem hohen Kalkgehalt, von reinem Weißfeinkalk raten wir aufgrund der teilweise sehr gering plastischen Böden ab. Der Bindemittelanteil hängt von den örtlich anzutreffenden Verhältnissen, insbesondere auch den Witterungsverhältnissen ab und muss während des Baus den Verhältnissen angepasst werden. Vorläufig sollte von einer Frästiefe von 0,3 m und einem Anteil von 2,5 % (bezogen auf das Bodentrockengewicht) ausgegangen werden, dies entspricht 10 bis 15 kg/m².

Bodenaustausch

Als Austauschmaterial sind die Böden geeignet, die wir in Kapitel 5 auch zur Dammschüttung empfehlen. Bei scharfkantigem Schotter oder Siebschutt genügen voraussichtlich 0,3 m Austauschstärke bei rundkörnigem oder sandigem Material sollten 0,4 m vorgesehen werden. Auch hier muss die endgültige Austauschstärke den vorzufindenden Verhältnissen angepasst werden.

Wir empfehlen, zunächst ein Probefeld anzulegen, an dem die Wirksamkeit der Bodenverbesserung getestet und der erforderliche Aufbau dimensioniert werden kann.

7.3 Tragschichten

Bei der Wahl des Oberbaus gemäß der RStO wird auf der Oberkante der Tragschicht in der Regel ein Verformungsmodul von $E_{V2} \geq 150 \text{ MN/m}^2$ gefordert. Wird rundkörniges Material oder Recyclingschotter für die Tragschicht verwendet, kann die geforderte Tragfähigkeit unter Umständen nicht erreicht werden. Wir empfehlen daher, Natursteinschotter der Körnung 0/45 mm nach TL SoB zu verwenden.

7.4 Dammschüttung

Die Höhenlage der Fahrbahn steht noch nicht fest. Wegen des nötigen Gefälles des geplanten Regenwasserkanals wird erwogen, die Straßen gegenüber dem Urgelände etwas erhöht anzulegen. Hierzu wären dann niedrige Dammschüttungen erforderlich. Weitere Dammschüttungen werden im Bereich der Auffahrten zum Kreisverkehr erforderlich.

Für die Schüttungen gelten die Materialanforderungen gemäß Kapitel 5, wobei wir hier die Verwendung von grobkörnigen Böden (a) empfehlen.

8 Versickerung von Niederschlagswasser

Das anfallende Niederschlagswasser soll dezentral in mehreren grabenförmigen Mulden versickert werden. Die Höhenlage der Grabensohlen steht noch nicht fest.

Eine wirksame Versickerung kann nur in gut durchlässigen Böden erzielt werden. Das Arbeitsblatt "DWA-A 138 - Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser" gibt hier einen Mindestdurchlässigkeitsbeiwert von $k_f = 5 \cdot 10^{-6}$ m/s an. Die Böden der bindigen Deckschicht sowie schluffige Kiessande unterschreiten diesen Wert, feinkornfreie Kiessande halten diese Bedingung ein (s. Tabelle in Abschnitt 2.6).

Wir empfehlen daher, die Lehmdecke und die schluffigen Kiessande zu durchstoßen und einen hydraulischen Kontakt zum feinkornfreien Kiessand herzustellen. In den Bohrprofilen in Anlage 2 sind die möglichen Versickerungshorizonte eingezeichnet. Diese liegen bei den meisten Bohrungen zwischen 111,0 und 112,0 m+NN bzw. zwischen 1 und 2 m unter Gelände.

Nimmt man eine Sohlage der Versickerungsmulden unterhalb der jetzigen Geländeoberkante und zudem einen Aufbau der Mulde von 1,2 m Stärke an (in Anlehnung an das Merkblatt der Stadt Karlsruhe⁹), wird teilweise bereits der feinkornfreie Kiessand erreicht, so dass nur noch in Teilbereichen ein zusätzlicher Austausch erforderlich wird. Für den Austausch ist feinkornfreier Kiessand zu verwenden.

Zur Bemessung der Mulde ist zunächst der Mutterboden maßgebend, für den in der Regel eine Durchlässigkeit von $k_f = 1 \cdot 10^{-5}$ angenommen wird. Für die Kiessande sollte unterschieden werden ob die Versickerung an deren Schichtoberkante erfolgt oder in den feinkornfreien Boden sicher eingebunden wird.

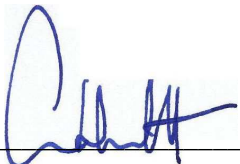
Im ersten Fall empfehlen wir ebenfalls einen k_f -Wert von $1 \cdot 10^{-5}$ m/s anzusetzen, da der Kiessand nahe der Schichtoberkante zumeist noch schwach schluffig ist oder noch schluffige Zwischenschichten folgen können.

Wird einige Dezimeter in den feinkornfreien Kiessand eingebunden, kann gemäß den Laboruntersuchungen ein k_f -Wert von $1 \cdot 10^{-4}$ m/s angesetzt werden. Dies kann vor allem dann ausgenutzt werden, wenn nicht die gesamte Muldensohle an den Kiessand angeschlossen wird, sondern in der Mulde Versickerungsfenster angelegt werden, in denen konzentriert versickert wird.

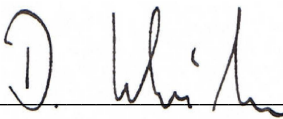
⁹

"Regen bringt Segen, Versickern statt ableiten", Informationsbroschüre der Stadt Karlsruhe, Amt für Umwelt- und Arbeitsschutz

Bei der Planung ist zu beachten, dass die Muldensohle nach DWA-A 138 einen Meter über dem mittleren Höchstgrundwasserstand liegen muss. Dieser ist gemäß Abschnitt 2.5 zwischen 111,2 m+NN (Mulden nah am Kreisverkehr) und 111,6 m+NN (Mulden Richtung Baggersee) anzunehmen. Daraus resultieren insbesondere im Bereich der Bohrungen BS 2 und BS 3 sehr flache Mulden.



(Dipl.-Ing. M. Gutberlet)



(Dipl.-Geol. D. Klaiber)