

6.2 Ergebnisse der analytischen Laboruntersuchungen

Untersuchung der Asphaltdecke (Flurstück-Nr.: 160/9 und 160/10)

Hinsichtlich einer späteren Entsorgung und/oder Wiederverwertung des anfallenden Straßen- aufbruchs wurden aus dem Bereich des Zufahrtswegs (Flurstück-Nr.: 160/9 und 160/10) Einzel- proben gewonnen, zu einer Mischprobe (MP1) zusammengestellt und laboranalytisch im akkre- ditierten Prüfinstitut synlab Umweltinstitut auf den Summenparameter Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) im Feststoff untersucht. Die Ergebnisse der laboranaly- tischen Untersuchungen sind in der Tabelle 6.4 zusammengefasst.

Tabelle 6-4: Laborergebnisse der untersuchten Asphaltproben

Probe	Benzo[a]pyren-Gehalt [mg/kg]	PAK-Gehalt [mg/kg]	Lage/ Flur-Nr.
MP1	2,0	36,0	160/9, 160/10

Für eine abfallrechtliche Einstufung des untersuchten Asphaltmaterials sind die anzuwenden- den Regelwerke nachfolgend in Tabelle 6.5 zusammengefasst.

Tabelle 6-5: Regelwerke zur abfallrechtlichen Einstufungen mit Grenzwerten

Regelwerk	PAK-Grenzwerte	Benzo[a]pyren- Grenzwerte
Zuordnungswert Z1.1 [U21]	10 mg/kg	---
RuVA-StB 01/05 [U23]	25 mg/kg	---
AVV 17 03 02 [U22]	200 mg/kg	50 mg/kg

Nach den Ergebnissen der PAK-Gehaltsbestimmung ist das untersuchte Asphaltmaterial aus der Mischprobe MP1 bei einem PAK-Gehalt im Feststoff von 36,0 mg/kg gemäß RuVA-StB 01/05 als teerhaltiger Straßenaufbruch zu bewerten und darf nur im Kaltmischverfah- ren aufbereitet werden oder ggf. auf einer Deponie der Klasse I (DKI) entsorgt werden.

Das Asphaltmaterial der o.g. Mischproben ist unter Verwendung der Abfallschlüsselnummer 17 03 02 (Bitumengemisch) als „ungefährlicher Abfall“ zu entsorgen, da der ermittelte PAK- Gehalt < 200 mg/kg und der Benzo[a]pyren-Gehalt < 50 mg/kg beträgt.

Untersuchung der aufgefüllten Böden (Flurstück-Nr.: 160/9, 160/10, 160/11, 160/20 und 160/21)

Zur abfallrechtlichen Einstufung des aufgefüllten Bodenmaterials aus dem Bereich der Wiese (Flurstück-Nr.: 160/9, 160/10, 160/11, 160/20 und 160/21) wurde aus den entnommenen Ein- zelproben RKS2-UP1, RKS3-UP1, B7-BP1 und RKS4-UP1 die Mischprobe MP erstellt und la- boranalytisch auf den Parameterumfang nach VwV Boden [U21] im Feststoff und Eluat unter- sucht.

Das Bodenmaterial der Mischprobe MP ist unauffällig und in die Verwertungsklasse Z0 nach [U21] einzustufen. Das Bodenmaterial darf in bodenähnlichen Anwendungen uneingeschränkt wieder verwendet werden.

Untersuchung der aufgefüllten Böden (Flurstück-Nr.: 160/3)

Zur abfallrechtlichen Einstufung des aufgefüllten Bodenmaterials aus dem östlichen Teilbereichs des ehem. Sägewerks Bühler wurde die Einzelproben RKS1A-UP1 laboranalytisch auf den Parameterumfang nach VwV Boden [U21] im Feststoff und Eluat untersucht.

In der Probe RKS1A-UP1 wurde ein PAK-Gehalt von 3,4 mg/kg im Feststoff ermittelt. Das Bodenmaterial ist in die Verwertungsklasse Z1.2 gemäß VwV Boden (Baden-Württemberg) [U21] einzustufen und darf in technischen Bauwerken offen aber nur bei günstigen hydrogeologischen Verhältnissen eingebaut werden.

Untersuchung der Wasserprobe RKS1-WP1

Aus dem Bereich des Altstandorts „Sägewerk Bühler“ (Flurstück-Nr. 160/3) wurde aus dem offenen Bohrloch eine Grundwasserprobe mittels Fußventilpumpe entnommen und auf die Parameter MKW, PAK, LHKW und BTX gemäß [U3] laboranalytisch untersucht. Die Ergebnisse der Laboranalytik sind in der Tabelle 6-6 zusammengefasst. Die für die Wasserprobe ermittelten Feldparameter sind in Tabelle 5.2 dargestellt.

Tabelle 6-6: Ergebnisse der laboranalytischen Untersuchungen an der Wasserprobe RKS1-WP1

Parameter	MKW [mg/l]	PAK 15 [µg/l]	Naphthalin [µg/l]	LHKW [µg/l]	Benzol [µg/l]	BTEX [µg/l]
Prüfwerte gem. BBodSchV	0,2	0,2	2	10	1	20
RKS1A - WP1	< 0,10	< BG	0,011	0,3	< 0,5	< BG

BG = Bestimmungsgrenze

In der aus der Erkundungsbohrung entnommenen Grundwasserprobe wurden keine Schadstoffgehalte oberhalb der Prüfwerte nach BBodSchV festgestellt. Mit Ausnahme der Parameter Naphthalin und LHKW (Tetrachlorethen) liegen die Schadstoffgehalte unterhalb der laboranalytischen Bestimmungsgrenze.

Da die Wasserprobe RKS1-WP1 am östlichen Rand der Altlastenverdachtsfläche „Sägewerk Bühler“ entnommen wurde, ist eine abschließende Bewertung des Wirkungspfad Boden-Grundwasser für die Verdachtsfläche auf Basis dieses Untersuchungsumfangs nicht möglich.

Die detaillierten Ergebnisse der analytischen Untersuchungen sind den Labor-Prüfberichten und der Einstufungstabellen der **Anlage 4** zu entnehmen.

7 BEWERTUNG

7.1 Bodenmechanische Kennwerte und Klassifikation

Den angetroffenen Schichteinheiten werden die in der Tabelle 7.1 zusammengestellten Bodenkennwerte zugewiesen. Die Festlegung der Werte erfolgt auf Grundlage der Ergebnisse aus den Kleinrammbohrungen und der schweren Rammsondierungen, den bodenmechanischen Laborversuchen sowie anhand der CDM Smith vorliegenden Erfahrungen mit vergleichbaren Baugrundverhältnissen.

Grundbruchnachweise sind mit den ungünstigeren genannten Werten durchzuführen. Setzungsberechnungen sollten, um einen Überblick über die Schwankungsbreite von wahrscheinlichen und von möglichen Setzungen zu erlangen, sowie zur Bewertung möglicher Setzungsunterschiede, grundsätzlich mit beiden Grenzwerten durchgeführt werden.

Der Oberboden ist für die Nachweise, aufgrund der geringeren Mächtigkeit und der Lage innerhalb der Baugrundsichten nicht von Bedeutung und wird in diesem Abschnitt nicht behandelt.

Tabelle 7-1: Charakteristische bodenmechanische Kennwerte für erdstatische Berechnungen

Schichteinheit	Wichte γ [kN/m ³]	Wichte γ' [kN/m ³]	Reibungswinkel ϕ' [°]	Kohäsion c' [kN/m ²]	Steifemodul E_s [MN/m ²]
Auffüllung (Schicht 1.1)	20,0 – 24,0	10,5 – 14,5	28 – 42	0 – 3	15 – 60
Auffüllung (Schicht 1.2)	17,5 – 19,5	7,5 – 9,5	15,0 – 27,5	5 – 15	3 – 15
Anstehende bindige Böden (Schicht 2)	17,5 – 18,5	7,5 – 8,5	15,0 – 22,5	2,5 – 10	2 – 10
Anstehende nicht bindige Böden (Schicht 3)	20,0 – 22,5	10,5 – 12,5	28 – 35	0 – 2	15 – 40

Nachstehend sind in Tabelle 7.2 die aufgeschlossenen Schichteinheiten unterhalb der GOK entsprechend der gültigen Normen klassifiziert.

Tabelle 7-2: Einstufung der angetroffenen Schichteinheiten nach DIN 18300 : 2012, DIN 18196 und ZTVE-StB und in Homogenbereiche nach DIN 18300 : 2015

Schichteinheit	Bodenklasse nach DIN 18300:2012	Homogenbereich nach DIN 18300 : 2015	Bodengruppe nach DIN 18196	Frostempfindlichkeitsklasse nach ZTVE-StB
Auffüllung (Schicht 1)	4, 5	Homogenbereich 1	GU, (GU*), TM, TA	F2, F3
Anstehende bindige Böden (Schicht 2)	4, 5	Homogenbereich 2	TM, TA	F2, F3
Anstehende nicht bindige Böden (Schicht 3)	4, (3), (5)	Homogenbereich 3	GU* (GU), (SW/SI), (GW/GI)	F2, F3, (F1)

(...): untergeordnet möglich

7.2 Bewertung der Frostempfindlichkeit/Tragfähigkeit des Untergrundes

Auffüllung (Schicht 1)

Die erkundete Auffüllung besteht überwiegend aus Böden der Gruppe TM/TA nach DIN 18196 (Schicht 1.2) und untergeordnet aus Böden der Gruppe GU/GU* (Schicht 1.1).

Nach ZTV-StB handelt es sich um gering bis mittel frostempfindliche und sehr frostempfindliche Böden (Frostempfindlichkeitsklasse F2 und F3), die für eine Gründung gemäß Tabelle 4 der DIN 18196 als mäßig brauchbar bis brauchbar einzustufen sind.

Ausgehend von einer erkundeten und labortechnisch belegten weichen und weichen bis steifen Konsistenz sind die aufgefüllten bindigen Böden als nicht tragfähig bis bedingt tragfähig zu bezeichnen. Dies setzt allerdings voraus, dass im Zuge der Baumaßnahme die vorhandene Konsistenz nicht herabgesetzt wird und die ursprüngliche Konsistenz mindestens steif vorliegt. Sollte eine weiche Konsistenz vorliegen, sind die bindigen Auffüllungen für eine Gründung nicht geeignet.

Die nicht bindige Auffüllung ist für eine Gründung gemäß Tabelle 4 der DIN 18196 gut geeignet. Bei einer mitteldichten bis dichten Lagerung sind diese Böden als tragfähig zu bezeichnen. Die Verdichtbarkeit ist gemäß Tabelle 4 der DIN 18196 mittel gut bis gut. Die Frosteinwirkung ist zu berücksichtigen.

Anstehende bindige Böden (Schicht 2)

Die anstehenden bindigen Böden gehören der Gruppe TA/TM nach DIN 18196.

Nach ZTV-StB handelt es sich um gering bis mittel frostempfindliche und sehr frostempfindliche Böden (Frostempfindlichkeitsklasse F2 und F3), die für eine Gründung gemäß Tabelle 4 der DIN 18196 als mäßig brauchbar bis brauchbar einzustufen sind.

Bereiche mit breiiger bis weicher, weicher oder weicher bis steifer Konsistenz sind als nicht tragfähig zu bezeichnen und für eine Gründung nicht geeignet. Haben diese Böden mindestens eine steife Konsistenz, sind diese als bedingt tragfähig zu bezeichnen. Dies setzt voraus, dass im Zuge der Baumaßnahme die vorhandene Konsistenz nicht herabgesetzt bzw. verschlechtert wird.

Die Verdichtbarkeit dieser Böden ist gemäß Tabelle 4 der DIN 18196 sehr schlecht bis schlecht.

Anstehende nicht bindige Böden (Schicht 3)

Die anstehenden nicht bindigen Böden gehören der Gruppe GU*/GU nach DIN 18196.

Nach ZTV-StB handelt es sich um gering bis mittel frostempfindliche bis sehr frostempfindliche Böden (Frostempfindlichkeitsklasse F2, F3).

Böden der Gruppe GU*/GU sind für eine Gründung gemäß Tabelle 4 der DIN 18196 gut geeignet. Bei einer mitteldichten bis dichten Lagerung sind diese Böden als tragfähig zu bezeichnen. Die Verdichtbarkeit ist gemäß Tabelle 4 der DIN 18196 mittel gut bis gut. Die Frosteinwirkung ist zu berücksichtigen.

7.3 Beurteilung der Versickerungsfähigkeit des Untergrunds

Die Versickerungsfähigkeit des Niederschlagswassers hängt von der Durchlässigkeit der anstehenden Bodenschichten ab.

Bei der Beurteilung der Durchlässigkeit (k_f) wurden Erfahrungswerte zugrunde gelegt. Die Durchlässigkeit wurde auch anhand der im Labor bestimmten Körnungslinien nach dem Verfahren von Beyer und/oder Hazen festgelegt.

Für die im Abschnitt 5.1 beschriebenen Bodenschichten können folgende Durchlässigkeitswerte zugeordnet werden:

- nicht bindige Auffüllung (Schicht 1.1): $k_f = 10^{-5} - 10^{-9} \text{ m/s}$
- bindige Auffüllung (Schicht 1.2): $k_f = 10^{-8} - 10^{-11} \text{ m/s}$
- anstehende bindige Böden (Schicht 2): $k_f = 10^{-8} - 10^{-11} \text{ m/s}$
- anstehende nicht bindige Böden (Schicht 3): $k_f = 10^{-5} - 10^{-9} \text{ m/s}$

Nach DIN 18130 handelt es sich bei den bindigen Auffüllungen (Schicht 1.2) und bindigen anstehenden Böden (Schicht 2) um schwach bis sehr schwach durchlässige Böden. Nach dem

Arbeitsblatt DWA-A 138¹ liegen die Durchlässigkeitswerte außerhalb des entwässerungstechnisch wirksamen Durchlässigkeitsbereichs.

Bei den nicht bindigen Auffüllungen (Schicht 1.1) und anstehenden Böden (Schicht 3) handelt es sich um durchlässige bis schwach durchlässige Böden. Nach dem Arbeitsblatt DWA-A 138 liegen die Durchlässigkeitswerte dieser Böden z.T. innerhalb des entwässerungstechnisch wirksamen Durchlässigkeitsbereichs von $10^{-3} < k_f < 10^{-6}$ m/s. Die anstehenden nicht bindigen Böden sind für die Versickerung von Niederschlagswasser bedingt geeignet.

¹ Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser, DWA, April 2005

8 BAUGRUNDRISIKO

8.1 Erdbebenrisiko

Der untersuchte Baugrund gehört nach DIN EN 1998-1/NA:2011-01 (ehemals DIN 4149:2005-04) zu keiner Erdbebenzone.

8.2 Frosteinwirkung

Nach [U19] Bild 6 (Frosteinwirkungszonen) liegt das Erschließungsareal im Übergangsbereich der Frosteinwirkungszone I / II. Dies geht von einer maximal zu erwartenden Frosteindringtiefe von 1,2 / 1,3 m unter GOK aus und ist bei der Bemessung des Straßenoberbaus und der Gründungssohlen zu berücksichtigen.

9 GRÜNDUNGSTECHNISCHE EMPFEHLUNGEN

Gemäß [U1] werden im Bereich des geplanten Wohngebiets Waschwiesen Ein- und/oder Mehrfamilienhäuser mit oberirdischen Parkplätzen gebaut. Die Wohnhäuser werden nach mündlicher Mitteilung des Auftraggebers flach ohne Kellergeschoß gegründet. Weiterhin sind Erschließungsstraßen und Entwässerungskanäle geplant.

Dieser Abschnitt gibt auf Grundlage der im Baufeld erkundeten und bewerteten Baugrund-/Grundwasserverhältnissen Empfehlungen für die Gründung und Durchführung von Erdarbeiten zu o.g. Baumaßnahme an.

9.1 Gründung von Gebäuden

Uns liegen keine konkreten Baupläne zur Gründung der geplanten Wohnhäuser vor. Unsere Gründungsempfehlungen basieren auf die Annahme, dass die späteren Bodenplatten nach Abtrag des Oberbodens auf dem Niveau der bestehenden GOK angeordnet werden und dass die Gründungssohlen der Einzel-/ Streifenfundamente in einer frostfreien Einbindungstiefe von $\geq 1,2$ m liegen werden.

Einzel- und Streifenfundamente

Ausgehend von einer frostfreien Einbindung der Fundamente von $\geq 1,2$ m (Frosteinwirkungszone I/II) liegen die Gründungsebenen innerhalb der bindigen Böden der Schicht 1.2 und Schicht 2. Beide Schichten wurden anhand der erkundeten weichen und weichen bis halbfesten Konsistenzen als nicht tragfähig oder bedingt tragfähig eingestuft.

Aus geotechnischer und baupraktischer Sicht wird eine Flachgründung der Einzel-/ Streifenfundamente auf einen Bodenaustausch $d = 0,8 - 1,0$ m empfohlen. Sind die anstehenden Böden in der Aushubsohle aufgeweicht, ist die Bodenaustauschdicke entsprechend anzupassen. Die letztendlich erforderliche Austauschmächtigkeit hängt vom Wassergehalt der angeschnittenen Böden zum Zeitpunkt der Bauausführung ab und muss durch eine Einsichtnahme der Aushubsohle durch einen Bodengutachter festgelegt werden. Als Austauschmaterial sind vorzugsweise gut verdichtbare, gemischtkörnige Böden (z.B. Bodengruppen GW, GI gemäß DIN 18196 mit einem Feinkornanteil $< 5\%$) zu verwenden. Die Bodenaustauschschicht ist in Lagen verdichtet (Verdichtungsgrad $D_{Pr} \geq 100\%$) einzubauen.

Für die Vorbemessung einer Flachgründung können für mittig und lotrecht belastete Streifenfundamente mit einer Breite von b' bzw. $b = 0,8$ bis $1,2$ m, eine Länge $a = 10$ m und einer Einbindetiefe von $d \geq 1,2$ m, die in der Tabelle 9.1 dargestellten Bemessungswerte des Sohlwiderstands ($\sigma_{R,d}$) angesetzt werden (Bemessungssituation BS-P: ständige Bemessungssituation nach EC 7).

Tabelle 9-1: Bemessungswert des Sohlwiderstands ($\sigma_{R,d}$) und des Grundbruchwiderstands ($R_{n,d}$) für Streifenfundamente in Abhängigkeit der Fundamentgeometrie (Gründungstiefe: 1,2 m unter GOK, Grundwasser: 1,5 m unter GOK)

Streifenfundament a x b [m]	$\sigma_{R,d}$ [kN/m ²]	$R_{n,d}$ [kN/m]	s [cm]	zul. δ [kN/m ²]
10 x 0,8	136	109	1,6	99
10 x 1,0	133	133	1,8	96
10 x 1,2	130	157	2,0	95

$\sigma_{R,d}$ –Bemessungswert des Sohlwiderstand, $R_{n,d}$ –Bemessungswert des Grundbruchwiderstandes, s – Setzung, zul. δ - zulässige Bodenpressung gemäß DIN 1054 : 2005

Für die in der Tabelle 9-1 angegebenen Bemessungswerte des Sohlwiderstands ($\sigma_{R,d}$), des Grundbruchwiderstandes ($R_{n,d}$) und für die zulässigen Bodenpressungen (zul. δ) wurden die Mittelwerte der Bodenkenngrößen der Tabelle 7-1 zugrunde gelegt.

Für die Vorbemessung der Einzelfundamente mit einer Breite von b = 0,8 bis 1,2 m und Länge von a = 0,8 bis 1,2 m sind die Bemessungswerte des Sohlwiderstands ($\sigma_{R,d}$) der Tabelle 9.2 anzusetzen.

Tabelle 9-2: Bemessungswert des Sohlwiderstands ($\sigma_{R,d}$) und des Grundbruchwiderstandes ($R_{n,d}$) für Einzelfundamente in Abhängigkeit der Fundamentgeometrie (Gründungstiefe: 1,2 m unter GOK, Grundwasser: 1,5 m unter GOK)

Streifenfundament a x b [m]	$\sigma_{R,d}$ [kN/m ²]	$R_{n,d}$ [kN/m]	s [cm]	zul. δ [kN/m ²]
0,8 x 0,8	175	112	1,0	127
1,0 x 1,0	168	168	1,2	122
1,2 x 1,2	163	235	1,5	118

$\sigma_{R,d}$ –Bemessungswert des Sohlwiderstand, $R_{n,d}$ –Bemessungswert des Grundbruchwiderstandes, s – Setzung, zul. δ - zulässige Bodenpressung gemäß DIN 1054 : 2005

Es wird darauf hingewiesen, dass Ausmittigkeiten bzw. Horizontalbelastungen die Bemessungswerte des Sohlwiderstands reduzieren werden.

Des Weiteren wurde bei der Angabe der o.g. Bemessungswerte des Sohlwiderstands die gegenseitige Beeinflussung von benachbarten Gründungskörpern nicht berücksichtigt.

Unter Ausnutzung der o.g. Spannung sind mögliche Setzungen in der Größenordnung von etwa s = 1,5 – 2,0 cm für Streifenfundamente und s = 1,0 – 1,5 cm für Einzelfundamente zu erwarten.

Der Planer hat die zulässigen Setzungen für das jeweilige Bauwerk festzulegen. Im Zuge der weiteren Planung sind die Nachweise nach EC 7 bzw. DIN 1054:2010 zu führen!

Sollten die Bodenplatten auf die Streifen-/ Einzelfundamente aufgelegt werden, ist unterhalb der Bodenplatte eine Tragschicht aus gut verdichtbarem Bodenmaterial der Körnung 0/45 oder 0/56 (z.B. GW, GI - Böden) lagenweise einzubauen und auf $D_{Pr} \geq 100\%$ zu verdichten. Auf den obersten 10-15 cm der Tragschicht ist eine kapillarbrechende Schicht der Körnung 2/32 einzubauen. Die Stärke der Tragschicht ist den Nutzlasten anzupassen.

9.1.1 Baugruben

Die Baugrubenwände können bis zur einer Aushubtiefe von 1,25 m senkrecht abgebösch werden. Bei größeren Aushubtiefen kann eine Abböschung der Baugrubenwände bei anstehenden bindigen Bodenschichten bis zu 45° vorgenommen werden. Die weiche Konsistenz der bindigen Böden ist hier zu berücksichtigen. Grundsätzlich sind die Hinweise der DIN 4124 "Baugruben und Gräben, Böschungen, Arbeitsraumbreiten, Verbau" einzuhalten.

Bei der Gründung von nicht unterkellerten Gewerken ist nach dem aktuellen Stand der Erkundung davon auszugehen, dass die Erdarbeiten nicht im Einflussbereich des Grundwassers stattfinden. Nur am südwestlichen Rand des Baufelds steht das Grundwasser ca. 1,5 m, unter GOK an. Ein geringer Wasserandrang in der Baugrube ist hier nicht auszuschließen.

Jahreszeitlich bedingt ist mit Schicht- oder Stauwasser zu rechnen. Für die Trockenhaltung der Baugruben ist eine offene Wasserhaltung mittels Pumpensümpfe und Längsdrainage einzuplanen.

Die Böschungen und die Gründungssohlen sind gegen Witterung/Erosion und mechanische Beanspruchung durch Folienabdeckung zu schützen.

Die Baugrubensohlen sollten unmittelbar nach dem Aushub durch den Bodengutachter abgenommen werden. Unmittelbar nach Abnahme ist die Baugrubensohle durch Einbau des Bodenaustausches zu schützen.

9.1.2 Schutz gegen Grundwasser

Die Gründungssohle der geplanten Wohnhäuser kommt am südwestlichen Rand des Baufelds im Schwankungsbereich des Grundwassers zu liegen (vgl. Anlage 1.3). Sofern eine „schwarze Wanne“ ausgeführt wird, sind die Anforderungen der DIN 18195-6, Abschnitt 9 zu beachten.

Zum Schutz vor Schicht- oder Stauwasser wird in den betroffenen Baufeldbereichen die Herstellung der erdberührenden Bauteile der Wohnhäuser in WU-Beton („weiße Wanne“) empfohlen.

Rechnerische Nachweise gegen Auftrieb sind seitens des Planers gegebenenfalls durchzuführen.

9.2 Straßenbau

9.2.1 Planum

Der genaue Verlauf der Straßengradiente ist uns nicht bekannt. Die geplante Fahrbahnoberfläche liegt nach [U1] auf ca. 304,9 m ü.NN in Bau-km 0+050, ca. 304,4 m ü.NN in Bau-km 0+080 und auf ca. 303,9 m ü.NN in Bau-km 0+120. Ausgehend von der bestehenden Geländemorphologie ergibt sich für die Fahrbahnoberfläche eine geländegleiche Lage im Osten und eine leichte Dammlage (Aufschüttung von 0,5 – 0,9 m) im zentralen und westlichen Bereich.

Ausgehend von einem standardisierten Straßenoberbau und nach Abtrag des Oberbodens wird das Planum überwiegend innerhalb der bindigen Auffüllung der Schicht 1.2 liegen.

Nach [U18] handelt es sich um gering bis mittel frostempfindliche und sehr frostempfindliche Böden (Frostempfindlichkeitsklasse F2 und F3), die bei Wasserzutritt und mechanischer Beanspruchung zur Verbreitung neigen. Die nach ZTVE-StB erforderliche Tragfähigkeit von $E_{v2} \geq 45$ MN/m² ist nur bedingt gegeben. Dies hängt von der Konsistenz bzw. Wassergehalt der bindigen Böden zum Zeitpunkt der Bauausführung ab. Für die Erhöhung der Tragfähigkeit sind evtl. Er-tüchtigungsmaßnahmen des Planums erforderlich.

Grundsätzlich stehen zwei Möglichkeiten zur Verfügung:

- Bodenverfestigung und/oder
- Bodenaustausch

Für die Verfestigung von mittelplastischen bis ausgeprägt plastischen Tonen (Bodengruppe TM und TA nach DIN 18196) bzw. von mittel frostempfindlichen bis sehr frostempfindlichen Böden sind Bindemittel aus Feinkalk und/oder Kalkhydrate nach DIN EN 459-1 gemäß [U25] bedingt geeignet bis geeignet.

Ausgeprägt plastische Tone mit weicher bis steifer Konsistenz können mit Feinkalk verfestigt werden, soweit sie ausreichend puzzolanische Bestandteile haben. Hierbei wird vorausgesetzt, dass die Böden mit den üblichen Geräten ausreichend zerkleinert werden können und verdichtbar sind und die Verdichtung in der erforderlichen Zeit abgeschlossen werden kann. Es wird auf den erhöhten Arbeitsaufwand hingewiesen.

Mittelplastische Tone können mit Kalk behandelt werden, wenn ein entsprechender Aufwand für das Homogenisieren des Boden-Bindemittelgemisches vorgesehen wird.

Sofern die natürlichen Wassergehalte des unbehandelten bindigen Bodens im Bereich des optimalen Verdichtungswassergehaltes liegen, ist die Verwendung eines Kalkhydrates zweckmäßig. Wird dieser Bereich überschritten, so ist ein Feinkalk erforderlich.

Sollte eine Bodenverfestigung mit Feinkalk durchgeführt werden, ist von einer Feinkalkmenge von 4 – 6 M.-% auszugehen (Kalkmenge bezogen auf das Trockengewicht des Bodens). Bei dem Einsatz von Kalkhydrat wird die erforderliche Kalkhydratmenge vorab auf 4 – 8 M.-% abgeschätzt.

Für den Erfolg der Bodenverfestigung ist es notwendig, ständig die im Baufeld angetroffenen Bodenarten mit den bei der Eignungsprüfung verwendeten Bodenarten zu vergleichen und ferner die Wassergehalte des Bodens zu ermitteln. Hierfür empfehlen wir die Anfertigung von bodenspezifischen Tabellen oder Diagrammen mit einer Gegenüberstellung der verwendeten Kalkmengen, der errechneten optimalen Wassergehalte und der Proctordichten. Die Werte unter Berücksichtigung der Austrocknung müssen zu Beginn der Bauarbeiten festgelegt werden, weil sie im Wesentlichen die örtlichen Verhältnisse wiedergeben.

Die Ergebnisse der Eignungsprüfungen für eine Bodenverfestigung mit Kalk sollten Aufschluss geben über die Brauchbarkeit des Bodens, die Anwendbarkeit des Verfahrens, die Kalkart und Kalkmenge.

Die Witterungseinflüsse sind unbedingt zu berücksichtigen um ggf. witterungsbedingte Maßnahmen rechtzeitig treffen zu können.

Für die Bauausführung der Bodenverfestigung weisen wir auf die Angaben nach ZTVE-StB und nach dem Merkblatt für Bodenverfestigungen mit Bindemitteln [U25] hin.

Eine Bodenverfestigung mit reinem Zement nach DIN EN 197-1 und DIN 1164-10 ist für die Bodengruppe TA ungeeignet und für die Bodengruppe TM nur bedingt geeignet.

Die erforderliche Bindemittelrezeptur (z.B. Kalk-Zement-Gemisch oder reiner Kalk) und Bindemittelmenge ist im Vorfeld der Baumaßnahme durch seitens der ausführenden Baufirma durchgeführte Eignungsprüfungen (d.h. Laborversuche und Probefelder) festzulegen.

Nach Beendigung der Bodenverfestigung ist auf der Höhe des Planums durchgehend ein gleichmäßig vorhandener Verformungsmodul von $E_{v2} \geq 45 \text{ MN/m}^2$ nachzuweisen.

Sollte eine Planumsertüchtigung mit Bindemitteln technisch nicht realisierbar sein, ist für die betroffenen Bereiche des Planums ein Bodenaustausch vorzunehmen.

Als Austauschmaterial sind vorzugsweise gut verdichtbare, Sand-Kies-Gemische (z.B. Boden-
gruppen GW, GI gemäß DIN 18196 mit einem Feinkornanteil < 5%) zu verwenden. Alternativ kann auch ein technisch geeignetes Recyclingmaterial (RC-Stoffe) eingebaut werden. Neben den technischen Lieferbedingungen ist die Umweltverträglichkeit nachzuweisen und zu prüfen.

Der Bodenaustauschkörper ist in Lagen verdichtet (Verdichtungsgrad $D_{Pr} > 100 \%$) einzubauen. Eine Austauschmächtigkeit von ca. 50 cm erscheint als ausreichend. Im Vorfeld der Baumaßnahme ist ein Probefeld zur Optimierung der Austauschdicke anzulegen.

Die erforderliche Tragfähigkeit des Planums ist nach Einbau des Austauschkörpers zum einen durch die Eigenüberwachung und zum anderen, stichpunktartig durch die Fremdüberwachung nachzuweisen.

Das anstehende Planum ist vor der Baumaßnahme durch einen Baugrundgutachter abzunehmen und für die ausgewählte Ertüchtigungsmaßnahme freizugeben.

Die erforderliche Tragfähigkeit des Planums ist nach Einbau des Austauschkörpers zum einen durch die Eigenüberwachung und zum anderen, stichpunktartig durch die Fremdüberwachung nachzuweisen.

Bei der Wahl der Ertüchtigungsmaßnahme ist neben dem finanziellen Faktor auch der jahreszeitlich bedingte Einfluss der Witterung zu berücksichtigen. In niederschlagsreichen Jahreszeiten ist eine Bodenverbesserung mit hydraulischem Bindemittel voranzuziehen. In niederschlagsarmen Jahreszeiten ist ein Bodenaustausch besser geeignet.

9.2.2 Mindestdicke des Oberbaus

Bei der Festlegung der Mindestdicke des Straßenoberbaus sind die Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen, RStO 12 [U19] zu berücksichtigen.

Gemäß Tabelle 2 der RStO 12 (Mögliche Belastungsklassen für die typischen Entwurfsituationen nach den RASt) sind die Erschließungsstraßen als Wohnstraßen anzunehmen. Daraus resultiert die Straßenkategorie / Belastungsklasse ES V / Bk 0,3 - 1,0. Da im Planum frostempfindliche Böden der Klasse F2 und F3 anstehen, ist gemäß Tabelle 6 (Ausgangswerte für die Bestimmung der Mindestdicke des frostsicheren Oberbaus) der RStO 12 eine Dicke von 50 - 60 cm für die Belastungsklasse Bk 0,3 bis Bk 1,0 erforderlich.

Das Baufeld liegt in der Frosteinwirkungszone I bis II unter keinen besonderen Klimaeinflüssen. Die Gradienten verlaufen überwiegend in geländegleicher Lage bis leichter Dammlage (0,5 – 0,9 m) verlaufen. Mit Schichtwasser in einer Tiefe von 1,5 m unter Planum oder höher ist zeitweise zu rechnen. Die Entwässerung der Fahrbahn wird vmtl. über Rohrleitungen erfolgen.

Unter Berücksichtigung der o.g. Faktoren und der erforderlichen Tragfähigkeiten auf dem Planum und der Tragschicht ohne Bindemittel (ToB) wird gemäß Tafel 1 RStO 12 eine Mindestdicke des frostsicheren Oberbaus von 65 cm für die Erschließungsstraße als erforderlich angenommen.

9.2.3 Bauausführung

Jahreszeitlich bedingt ist mit Schicht- oder Stauwasser zu rechnen. Um die Aushubsole des Planums zu schützen ist das Schicht- oder Niederschlagswasser durch eine offene Wasserhaltung zu fassen und in die Vorflut abzuleiten.

Die Wasser- und Frostempfindlichkeit der feinkörnigen Böden müssen beim Lösen, Laden, Fördern, Einbauen und Verdichten beachtet werden.

Weiche und/oder durch Baubetrieb gestörte Bereiche der Aushubsohlen sind gegen gut verdichtbares Material (z.B. GW-Böden) auszutauschen.

Falls erforderlich ist die Dicke der Bodenaustauschschicht anzupassen.

Ausgehobene Bereiche sind umgehend gegen Witterung zu schützen. Bei nasser Witterung sind befestigte ggf. Baustraßen erforderlich.

9.3 Kanalbau

Zwischen Bau-km 0+050 - 0+120 sind unterhalb der Fahrbahn ein Regenwasserkanal DN 300 PP und ein Schmutz-/ Mischwasserkanal DN 200 PP als Entwässerungsmaßnahme vorgesehen.

Der Schmutz-/ Mischwasserkanal schließt im Bereich der Hessentaler Straße dem besten Kanal DN 500 B an.

Der Regenwasserkanal mündet südlich der Hessentaler Straße im Waschbach mit Auslauf bei 300,03 m ü.NN ein.

Die Kanalsohlen werden nach [U1] ca. 2,0 – 2,5 m unter GOK liegen.

9.3.1 Bettung und Grabenverfüllung

Ausgehend von einer Kanaltiefe von max. ca. 2,5 m unter GOK, werden die Kanalsohlen innerhalb der anstehenden bindigen Böden der Schicht 2 liegen.

Diese Böden sind nach ZTVE-StB als mittel frostempfindlich bis sehr frostempfindlich anzunehmen (Frostempfindlichkeitsklasse F2 und F3) und neigen bei Wasserzutritt und mechanischer Beanspruchung zur Verbreiung. Es wurde z.T. eine breiige bis weiche oder weiche Konsistenz dieser Böden festgestellt.

Zur Gewährleistung einer gleichmäßigen Tragfähigkeit in der Bettungssohle wird empfohlen, ein Rohraufleger gemäß Bettung **Typ 1** ($a = 100 \text{ mm}$) nach DIN EN 1610 (1997) auszuführen.

Sollten breiige oder weiche Bereiche in der Aushubsohle vorliegen, sind diese gegen ein Sand-Splitt-Schotter-Gemisch auszutauschen. Eine Austauschtiefe von 0,5 m scheint als ausreichend. Vor dem Bodenaustausch wird bei aufgeweichter Sohle der Einbau einer Grobkornlage (z.B. Körnung 80/120) durch Einwalzen empfohlen. Die Kanalsohle ist bei bindigem Untergrund mit einem Glatträdelloffel abzuziehen. Der Bodenaustausch sollte bei trockenen Witterungsbedingungen vorgenommen werden. Ausgehobene Bereiche sind umgehend gegen Witterung zu schützen.

Die Stärke des Auflagers ist auf den vorgesehenen Kanaldurchmesser abzustimmen ($S = 100 \text{ mm} + 1/10 \times \text{Nennweite des Kanalrohrs}$).

Im Bereich der Leitungszone ist generell ein gut verdichtbares Ersatzmaterial (V1-Böden: GW, GI, GE, SW, SI, SE nach DIN 18196) einzubauen und auf eine Proctordichte $D_{Pr} \geq 97 \%$ zu verdichten. Innerhalb der Hauptverfüllzone ist das VB1-Material auf eine Proctordichte $D_{Pr} \geq 98 \%$ zu verdichten. Im Tiefenbereich bis 0,5 m unter Straßenplanum (außer Geh- und Radwege) ist die Verdichtung auf $D_{Pr} \geq 100 \%$ zu erhöhen. Es sind Dichteproofungen vorzunehmen.

Die im Zuge des Kanalaushubs anfallenden bindigen Böden (Bodengruppe TM, TA nach DIN 18196) sind für eine qualifizierte Grabenverfüllung ohne Zusatzmaßnahmen (z.B. Bodenverbesserung) nicht geeignet. Nach DIN EN 1610 handelt es sich um V3-Böden.

Für die Verbesserung von mittelplastischen bis ausgeprägt plastischen Tonen sind Bindemittel aus Feinkalk und/oder Kalkhydrate nach DIN EN 459-1 gemäß [U25] bedingt geeignet bis geeignet.

Sollte eine Bodenverbesserung mit Feinkalk durchgeführt werden, ist von einer Feinkalkmenge von 3 – 4 M.-% auszugehen (Kalkmenge bezogen auf das Trockengewicht des Bodens). Bei dem Einsatz von Kalkhydrat wird die erforderliche Kalkhydratmenge vorab auf 3 – 5 M.-% abgeschätzt.

Bei dem Einsatz von Mischbindemitteln ist von einer Bindemittelmenge von ca. 3 – 6 M.-% vorab auszugehen.

Die erforderliche Bindemittelrezeptur (z.B. Kalk-Zement-Gemisch oder reiner Kalk) und Bindemittelmenge ist im Vorfeld der Baumaßnahme durch seitens der ausführenden Baufirma durchgeführte Eignungsproofungen (d.h. Laborversuche und Probefelder) festzulegen.

9.3.2 Erdarbeiten

Für die Verlegung der Kanäle sind bei einer angenommenen Tiefe der Kanalsohlen von 2,5 m unter GOK Baugruben bis 3,0 m unter GOK erforderlich. Aufgrund der ausreichenden Platzverhältnisse können die Baugrubenwände in den bindigen Böden der Schicht 2 unter einem Winkel von 45° (1:1) angelegt werden. Gegenfalls sind Bermen anzuordnen.

Bis zu einer Tiefe von 5 m dürfen Böschungen unter 45° ohne rechnerischen Nachweis in grundwasserfreien Böden ausgeführt werden.

Für die Sicherung der Grabenwände ist bei einer mindestens steifen Konsistenz der bindigen Böden sowohl ein waagerechter als auch ein senkrechter Normverbau des Kanalgrabens möglich. In weichen bindigen Böden müssen die Bohlen oder Kanaldielen in jedem Bauzustand mindestens 0,3 m in den Boden einbinden. Hier weisen wir auf die DIN 4124 hin.

Zur Herstellung der Kanalgräben kann alternativ der Einsatz von Grabenverbaugeräten (Verbau-platten) herangezogen werden.

Die Kanalsohlen werden oberhalb des anstehenden Grundwassers liegen. Für die Trockenhaltung der Baugruben gegen Schicht- oder Niederschlagswasser wird eine offene Wasserhaltung ausreichend sein.

10 SCHLUSSBEMERKUNG

Der vorliegende Bericht basiert auf den Ergebnissen einer Baugrunduntersuchung mit Feld- und Laborversuchen. Aufgrund der punktuellen Erkundung sind Abweichungen der Untergrundverhältnisse von den im Bericht enthaltenen Aussagen in der Fläche nicht auszuschließen.

Eine sorgfältige Überwachung der Erdarbeiten und eine laufende Überprüfung der angetroffenen Untergrundverhältnisse im Vergleich mit den im Bericht enthaltenen Angaben sind im Zuge der Erd- und Aushubarbeiten dringend empfohlen.

Für ergänzende Erläuterungen, sowie zur Klärung der im weiteren Verlauf der Planung und der Ausführung auftretenden Fragen stehen wir gerne zur Verfügung.

CDM Smith Consult GmbH
2016-05-31

erstellt:



Dipl.-Ing (FH). Bernd Gosolits
Projektmanager



Dipl.-Geol. Armin Renk-Kolozsvari
Projektingenieur