

Gutachten
über
Baugrund und Gründung
(Geotechnischer Bericht)

Molsdorf, Am Zwetschenberg
Erschließung Wohngebiet

Auftraggeber: Schöner Wohnen Immobiliengesellschaft mbH
Sorge 31
07545 Gera

vgs-Projekt-Nr.: 220106

Dieser Bericht umfasst 50 Seiten und 4 Anlagenkomplexe.

Erfurt, den 30.11.2022


Dipl.-Ing. M. Kirschstein
Geschäftsführer


Dipl.-Geol. M. Stolle
Projektbearbeiterin

INHALTSVERZEICHNIS

1. ALLGEMEINES	8
1.1 BAUVORHABEN UND GEGENSTAND DES GUTACHTENS	8
1.2 GEOTECHNISCHE KATEGORIE NACH DIN 1054: 2010-12	8
2. ÖRTLICHE VERHÄLTNISSE	9
3. BAUGRUNDERKUNDUNG	12
3.1 FELDUNTERSUCHUNGEN	12
3.2 LABORUNTERSUCHUNGEN	14
4. BAUGRUNDVERHÄLTNISSE	16
4.1 GEOLOGISCHE SITUATION	16
4.2 BAUGRUNDSCHICHTUNG, SCHICHTEIGENSCHAFTEN	16
4.3 KENNWERTE UND EIGENSCHAFTEN GEMÄß VOB, TEIL C - HOMOGENBEREICHE	25
4.4 RECHENWERTE	26
4.5 GRUNDWASSERVERHÄLTNISSE / VERSICKERUNG	27
5. GRÜNDUNGSTECHNISCHE SCHLUSSFOLGERUNGEN LEITUNGSBAU	29
5.1 ALLGEMEINES	29
5.2 ROHRGRABEN	29
5.2.1 <i>Grabenaushub und Verbauarten</i>	29
5.2.2 <i>Grabensohle</i>	32
5.2.3 <i>Wasserhaltung</i>	33
5.2.4 <i>Leitungszone</i>	34
5.2.5 <i>Hauptverfüllung</i>	34
5.3 HINWEIS ZUR VERDICHTUNG	36
5.4 FILTERSTABILITÄT	37
5.5 SCHÄCHTE	37
5.6 NACHBARBEBAUUNG	37
6. GRÜNDUNGSTECHNISCHE SCHLUSSFOLGERUNGEN STRAßENBAU	38
6.1 PLANUMSTRAGFÄHIGKEIT	38
6.2 PLANUMSNEIGUNG UND -ENTWÄSSERUNG	41
6.3 FROSTSICHERER STRAßENAUFBAU	42
6.4 FILTERSTABILITÄT	43
6.5 EIGNUNGSUNTERSUCHUNGEN / PRÜFUNGEN	43
6.6 BANKETTBEREICHE	44
6.7 DÄMME	45
7. UMWELTRELEVANTE UNTERSUCHUNGEN	46
7.1 ALLGEMEINES	46
7.2 ASPHALT	47
7.3 AUFFÜLLUNGEN > 10 VOL.-% FREMDBESTANDTEILE	48
7.4 BODEN / UNTERGRUND	48
7.5 HINWEISE ZUR VERWERTUNG / BESEITIGUNG VON AUSBAUSTOFFEN	49
8. ANMERKUNGEN	50

Unterlagen- und Quellenverzeichnis

Projektbezogene Unterlagen und Quellen

- UP 1 Angebotsanfrage FAB Grundbesitz vom 16.05.2022
- UP 2 Angebot vgs 220115 vom 30.05.2022
- UP 3 Auftrag Schöner Wohnen Immobilien mbH vom 01.06.2022
- UP 4 Geoproxy Thüringen (Internet, Stand Juni 2022)
- UP 5 Kartendienste der TLUBN (Internet, Stand September 2022)
- UP 6 FAB: Lageplan mit Planung, M 1:250 (digital, Stand Juni 2022)
- UP 7 Bebauungsplan MOL463 Am Zwetschenberg“, 2. Vorentwurf, Maßstab 1:500, Stand 04.03.2020 einschl. Begründung
- UP 8 Ingenieurgeologische Karte, M 1:100.000, M 32 – 46 (Gotha)
- UP 9 Baugrundgutachten mit grundbautechnischen Empfehlungen – Kanalbauarbeiten im Bereich des Hauptsammlers 20, Erfurt, Ortsnetz Molsdorf. – GNW GmbH, Weimar, August 2007

Bautechnische Unterlagen und Quellen (Auswahl)

- UT 1 Handbuch DIN EN 1997-1:2009-09, Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik - Teil 1: Allgemeine Regeln, einschließlich Nationaler Anhang DIN EN 1997-1/NA:2010-12 und DIN 1054:2010-12, Baugrund - Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau – ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-1
- UT 2 Handbuch DIN EN 1997-1:2010-10, Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik - Teil 2: Erkundung und Untersuchung des Baugrunds, einschließlich Nationaler Anhang DIN EN 1997-2/NA:2010-12 und DIN 4020:2010-12, Geotechnische Untersuchungen für bautechnische Zwecke - ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-2
- UT 3 DIN EN ISO 14688-1/-11:2020 Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Benennung, Beschreibung und Klassifikation von Boden – Teil 1: Benennung und Beschreibung und Teil 2: Grundlagen der Bodenklassifizierungen
- UT 4 DIN EN ISO 14689:2018 - Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Benennung, Beschreibung und Klassifikation von Fels
- UT 5 Merkblatt zur Felsbeschreibung für den Straßenbau, FGSV, Ausgabe 2016
- UT 6 Merkblatt über die Anwendung von Geokunststoffen im Erdbau des Straßenbaus (M Geok E), FGSV, Ausgabe 2016
- UT 7 Merkblatt über Bodenverfestigungen und Bodenverbesserungen mit Bindemitteln, FGSV, Ausgabe 2004
- UT 8 Merkblatt über geotechnische Untersuchungen und geotechnische Berechnungen im Straßenbau, M GUB, FGSV, Ausgabe 2004
- UT 9 Merkblatt über geotechnische Untersuchungen und geotechnische Berechnungen im Straßenbau, Ergänzung für den Um- und Ausbau von Straßen, M GUB UA, FGSV, Ausgabe 2013
- UT 10 Merkblatt für die Verdichtung des Untergrundes und Unterbaues im Straßenbau, FGSV, Ausgabe 2003
- UT 11 Merkblatt über Straßenbau auf wenig tragfähigem Untergrund, FGSV, Ausgabe 2010
- UT 12 Merkblatt über die Verhütung von Frostschäden an Straßen, FGSV, Ausgabe 2013

- UT 13 Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen, RStO 12 einschließlich des allgemeinen Rundschreibens Straßenbau Nr. 30/2012 zur Einführung der RStO 12 des Freistaates Thüringen, Ministerium für Bau, Landesentwicklung und Verkehr vom 08.05.2013
- UT 14 Richtlinien für bautechnische Maßnahmen an Straßen in Trinkwasserschutzgebieten, RiStWag, Ausgabe 2016
- UT 15 Richtlinien für die Entwässerung von Straße, REwS, FGSV, Ausgabe 2021
- UT 16 Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Aufgrabungen in Verkehrsflächen, FGSV, ZTV A-StB 12
- UT 17 Arbeitsanleitung für die Bemessung des Bodenaustauschs bei nicht dauerhaft tragfähigem, frostempfindlichem Planum in Thüringen (ABemBo), Thür. Landesamt für Straßenbau, 2004
- UT 18 Dienstanweisung „Straßenbau“ Nr. 02/2014-33/2, Fachgebiet: Straßenbautechnik, Qualitätssicherung, Dimensionierung von Rad- und Gehwegen, die nicht von Kraftfahrzeugen befahren werden, Thür. Landesamt für Straßenbau
- UT 19 Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Erdarbeiten im Straßenbau, FGSV, Ausgabe 2017 (ZTV E-StB 17), einschl. allgemeines Rundschreiben des Thüringer Ministeriums für Infrastruktur und Landwirtschaft vom 28.06.2018 zur Einführung des ARS Nr. 17/2017 mit Änderungen und Ergänzungen für Thüringen, Bekanntgabe des Landesamtes für Bau und Verkehr vom 20.07.2018
- UT 20 Gesamtausgabe VOB 2019, Teil C, Allgemeine Technische Vertragsbedingungen
- UT 21 Hettler, Triantafyllidis, Weißenbach: Baugruben, Verlag W. Ernst & Sohn, Berlin, 3. Auflage 2018
- UT 22 Arbeitsblatt DWA-A 138 Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser, DWA, April 2005, einschließlich DWA-Kommentar vom August 2008

Umweltrelevante Unterlagen und Quellen (Auswahl)

- UU 1 Richtlinien für die umweltverträgliche Verwertung von Ausbaustoffen mit teer-/pechtypischen Bestandteilen sowie für die Verwertung von Ausbauasphalt im Straßenbau, FGSV, Ausgabe 2001/Fassung 2005 (RuVA-StB 01)
- UU 2 FGSV-Arbeitspapier Nr. 27/2: Prüfung von Straßenausbaumaterial auf carbonstämmige Bindemittel – Schnellverfahren -, Ausgabe 2000
- UU 3 Mitteilungen der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (TR LAGA), Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Abfällen – Technische Regeln (Merkblatt M20), Teil I – Allgemeiner Teil, Stand 06.11.2003
- UU 4 Mitteilungen der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) 20, Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Reststoffen / Abfällen – Technische Regeln - Stand 06.11.1997
- UU 5 Mitteilungen der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (TR LAGA), Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Abfällen, Teil III: Probenahme und Analytik, Stand 05.11.2004
- UU 6 Übergangsempfehlungen zur Anpassung des LAGA M 20 „Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Reststoffen/Abfällen – Technische Regeln – (Stand: 6. November 1997)“ an die diesbezügliche ACK/UMK-Beschlusslage, TMLNU, Stand 11.02.2004
- UU 7 Verordnung über Deponien und Langzeitlager (Deponieverordnung – DepV) vom 27.04.2009, zuletzt geändert am 27.09.2017

- UU 8 Verordnung über das europäische Abfallverzeichnis (Abfallverzeichnis-Verordnung – AVV), 10.12.2001, zuletzt geändert am 15.07.2006
- UU 9 Hinweise zur Anwendung der Abfallverzeichnis-Verordnung vom 10. Dezember 2001, BGBl. I S. 3379, BM für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
- UU 10 Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten (Bundes-Bodenschutzgesetz – BBodSchG) vom 17.03.1998, Stand 24.02.2012
- UU 11 Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) vom 12.07.1999, geändert durch Artikel 2 der Verordnung vom 24.02.2012
- UU 12 Leitfaden für den Umgang mit Boden und ungebundenen/gebundenen Straßenausbaustoffen hinsichtlich Verwertung oder Beseitigung der Thüringer Straßenbauverwaltung, Ausgabe 2008, Stand 24.11. 2008
- UU 13 Ergänzungen und Änderungen zum „Leitfaden für den Umgang mit Boden und ungebundenen / gebundenen Straßenausbaustoffen hinsichtlich Verwertung oder Beseitigung“ der Thüringer Straßenbauverwaltung, Stand März 2012
- UU 14 Dienstanweisung Nr. 12/2015-33/1; Nachweisführung zur Entsorgung von Abfällen für den gemeinsamen Geltungsbereich der Straßenbauverwaltung und des Hochbaues, TLBV, Dezember 2015
- UU 15 Verwertung mineralischer Abfälle in technischen Bauwerken - Vollzugshinweise, TMLFUN, 30.06.2010
- UU 16 Hinweise zur Zuordnung von Abfällen zu den Abfallarten eines Spiegeleintrages, TLBV, 06/2010, eingeführt mit Dienstanweisung Nr. 12/2010-33/3 vom 13.07.2010
- UU 17 Informationsblätter Abfall Nr.1 bis Nr. 12 des TLBV
- UU 18 Hinweise zur Einstufung von Abfällen TLUBN, 21.10.2020
- UU 19 Verwertung von mineralischen Abfällen, Leitfähigkeit von Betonbruch, Vollzugshinweise des TLVwA, 18.07.2016
- UU 20 ARS Nr. 16/2015: Regelungen zur Verwertung von Straßenausbaustoffen mit teer-/ pechtypischen Bestandteilen in Bundesfernstraßen. – TmfIL, Erfurt, 24.03.2017
- UU 21 Nachweisführung bei der Annahme von Fremderdstoffen, Vollständigkeit der Einzelparameter bei der Analytik. – Thüringer Landesbergamt, Referat 3, Gera, 16.05.2018
- UU 22 Mantelverordnung zur Einführung einer Ersatzbaustoffverordnung (ErsatzbaustoffV), zur Neufassung der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) und zur Änderung der Deponieverordnung (DepV) und der Gewerbeabfallverordnung (GewAbfV), BGBl. Nr. 43 vom 16.07.2021

TABELLENVERZEICHNIS

Tab. 1:	Felduntersuchungen	13
Tab. 2:	Laboruntersuchungen	15
Tab. 3:	Beschreibung Oberboden gemäß DIN 18915:2018-06	17
Tab. 4:	Oberbau (Schicht 1.1) und sonstige Auffüllungen	18
Tab. 5:	Klassifizierung / Eigenschaften Schicht 1.1 – ungebundene Tragschicht	19
Tab. 6:	Klassifizierung / Eigenschaften Schicht 1.2 – Auffüllung, feinkörnig	20
Tab. 7:	Klassifizierung / Eigenschaften Schicht 2 – Schwarzerde	21
Tab. 8:	Eigenschaften / Klassifizierungen Schicht 3 – Löss	22
Tab. 9:	Klassifizierung / Eigenschaften Schicht 4 – Hanglehm	23
Tab. 10:	Klassifizierung / Eigenschaften Schicht 5 – Verwitterungslehm	24
Tab. 11:	Eigenschaften / Klassifizierungen Schicht 6 – Verwitterungsschutt	25
Tab. 12:	Rechenwerte	27
Tab. 13:	Durchlässigkeiten aus Versickerungsversuchen	28
Tab. 14:	Graben-/ Baugrubenböschungen	30
Tab. 15:	Anforderungen an die Grabenhauptverfüllung entspr. ZTV E-StB 17	35
Tab. 16:	Anforderungen an den Planumbereich entspr. ZTVE-StB 17	38
Tab. 17:	Mehr- oder Minderdicken infolge örtlicher Verhältnisse (RStO 12, Tab. 7)	42
Tab. 18:	Ergebnisse der quantitativen Asphaltuntersuchungen	47
Tab. 19:	Probenbildung Auffüllungen >10 Vol.-% Fremdbestandteile	48
Tab. 20:	Einstufung Auffüllungen >10 Vol.-% Fremdbestandteile	48
Tab. 21:	Probenbildung Boden / Untergrund	48
Tab. 22:	Einstufung Bodenmaterial / Baggergut	49

ANLAGENVERZEICHNIS

- A 1 Lagepläne
 - A 1.1 Übersichtslageplan M 1:100.000 (Auszug aus UP4)
 - A 1.2 Lageplan M 1:10.000 (Auszug aus UP4)
 - A 1.3 Aufschlussplan M 1:500 (gemäß UP6)
- A 2 Ergebnisse der Felduntersuchungen
 - A 2.1 Aufschlussprofil RKS 1
 - A 2.2 Aufschlussprofile und Rammdiagramme RKS 2, RKS 3, DPH R3
 - A 2.3 Aufschlussprofile und Rammdiagramme RKS 4, RKS 5, DPH R5
 - A 2.4 Schurfdokumentation SCH 1
 - A 2.5 Schurfdokumentation SCH 2
- A 3 Laborergebnisse
 - A 3.1 Wassergehalte, Glühverlust (2 Blatt)
 - A 3.2 Kornverteilungskurven (2 Blatt)
 - A 3.3 Zustandsgrenzenbestimmung (2 Blatt)
 - A 3.4 Versickerungsversuche im Schurf (4 Blatt)
 - A 3.5 Qualitative Asphaltuntersuchung (1 Blatt)
 - A 3.6 Quantitative Asphaltuntersuchung (2 Blatt)
 - A 3.7 Auswertung der chemischen Untersuchungen Boden (1 Blatt)
 - A 3.8 Prüfbericht der chemischen Untersuchungen Boden (7 Blatt)
- A 4 Kennwerte / Eigenschaften Boden und Fels / Homogenbereiche gemäß VOB-Normen

1. ALLGEMEINES

1.1 Bauvorhaben und Gegenstand des Gutachtens

Die Schöner Wohnen Immobilien mbH aus Gera plant in

**Molsdorf
die Erschließung des
Wohngebietes „Am Zwetschenberg“.**

Die Erschließungsstraße (Länge ca. 300 m) im Wohngebiet wird als Mischverkehrsfläche ohne weitere Gliederung in Asphalt gebaut. Zwischen Station 0+200 und 0+220 wird auf der östlichen Seite der Straße einseitig eine Wendeanlage (Wendehammer) angeordnet. Gehwege sind nicht vorgesehen.

Auf der Westseite der Erschließungsstraße werden 10 Parzellen und auf der Ostseite 5 Parzellen zur Bebauung mit Einfamilienhäusern angeordnet. Die Grundstücksgrößen schwanken gemäß /UP 7/ zwischen ca. 704 m² und ca. 1.220 m². Die Gesamtfläche des Wohngebietes beträgt ca. 1,5 ha.

Im Zusammenhang mit der Erschließung wird auch die Verlegung von Ver- und Entsorgungsleitungen zum Anschluss an die bestehenden Netze erforderlich. Im Zusammenhang mit der Entsorgung von Regenwasser sind Möglichkeiten der Versickerung / zwischen Speicherung zu prüfen, da eine Direkteinleitung in den nächst gelegenen Vorfluter nicht möglich ist.

Eine detaillierte Planung lag zum Zeitpunkt der Gutachtenerstellung hierzu noch nicht vor. Für nähere Angaben wird daher auf die entsprechenden Planungsunterlagen verwiesen.

Die vgs InGeo GmbH wurde mit der Erarbeitung eines Baugrundgutachtens für das o. g. Bauvorhaben beauftragt, beinhaltend:

- Kurzcharakteristik der Standortverhältnisse,
- Darstellung der Baugrundverhältnisse,
- die Angaben der bodenmechanischen Eigenschaften und Berechnungswerte der einzelnen Bodenschichten,
- Schlussfolgerungen und Empfehlungen für die Erschließung des Wohngebietes,
- umwelttechnische Untersuchungen und Einstufungen der Ausbaustoffe,
- Ableitung der Kennwerte und Eigenschaften und Empfehlungen zur Homogenbereichsbildung gemäß VOB 2019 für das Gewerk:
 - Erdarbeiten (DIN 18300), Geotechnische Kategorie GK 2
 - Landschaftsbauarbeiten (DIN 18320).

1.2 Geotechnische Kategorie nach DIN 1054: 2010-12

Gemäß DIN 4020 sind die Art und der Umfang geotechnischer Untersuchungen anhand der Schwierigkeit von baulichen Anlagen und dem Baugrund unter Berücksichtigung von bestimmten Randbedingungen festzulegen. Diesbezüglich hat im Vorfeld der Erstellung eines Geotechnischen Untersuchungsberichtes eine Einstufung in Geotechnische Kategorien (GK) zu erfolgen.

Die zu untersuchende Maßnahme ist unter Berücksichtigung der in der DIN 4020 angeführten Klassifizierungsmerkmale in die Geotechnische Kategorie GK 2 (Bauwerke mit mittlerem Schwierigkeitsgrad im Hinblick auf Bauwerke und Baugrund) einzustufen.

Im Ergebnis der Baugrunderkundung ergibt sich keine Änderung der Einstufung.

2. ÖRTLICHE VERHÄLTNISSE

Das Bauvorhaben befindet sich im Freistaat Thüringen, im Südwesten der Landeshauptstadt Erfurt im Ortsteil Molsdorf im Geratal.



Abb. 1: Blick von der Einmündung „Am Zwetschenberg“ in Richtung Osten zur Einmündung in die Marienthalstraße



Abb. 2: Blick nach Norden entlang der vorhandenen Straße „Am Zwetschenberg“



Abb. 3: Blick nach Süden entlang der vorhandenen Straße „Am Zwetschenberg“ von RKS5 /SCH1 mit vorhandener Bausubstanz



Abb. 4: Fläche der geplanten Grundstückspartellen westlich der Straße (Blickrichtung Süden)

Das geplante Wohngebiet liegt am westlichen Ortsrand von Molsdorf und grenzt dort an die Bebauung der Marienthalstraße. Im Süden wird es von der vorhandenen Straße Am Zwetschenberg, welche nach Westen in einen mit Schotter befestigten Wirtschaftsweg übergeht, begrenzt. Straßen-/ Wegbegleitend verläuft auf der Südseite der Entwässerungsgraben „Mückeborn“. Im Westen schließen sich landwirtschaftlich genutzte Flächen an. Im Norden grenzt das Bebauungsgebiet an Obstgärten und im Weiteren an die Flächen des dort befindlichen Hotels „Burgblick“.

Das geplante Erschließungsgebiet umfasst folgende Bestandsgrundstücke der Gemarkung Molsdorf:

Flur 7:	440/1, 441/1, 442/1, 443/1, 443/3, 445 anteilig, 446/1 anteilig, 446/7 anteilig, 622 anteilig, 645
Flur 2	128/1 anteilig.

Die bereits vorhandene, schmale Straße im Erschließungsgebiet dient derzeit als Zufahrt zu einem Hotel. Sie ist bis zur Anbindung an die Marienthalstraße mit Asphalt befestigt. Die vorhandene Decke ist rissig mit Spurrillen und im südlichen Bereich mit vielen „Flicken“ versehen.

Im Süden der Straße Zwetschenberg grenzt im Westen ein ebenfalls mit Asphalt befestigter Platz an, welcher einer vorhandenen Bebauung bestehend aus einem Hallenbau (ehem. Stallanlage, Lagerhalle, o.ä.) zuzuordnen ist. Die Halle wird vermutlich von einem landwirtschaftlichen Betrieb genutzt. Der Zustand dieser Fläche ist mit dem der Straße vergleichbar.

Gemäß /UP 7/ liegt das Erschließungsgebiet im Bereich von Wohnbauflächen und Grünflächen ohne Zweckbestimmung. Zu beachten ist weiterhin die Lage in der Trinkwasserschutzzone III. Das geplante Erschließungsgebiet liegt im Bereich einer nach Osten zur Gera geneigten Hanglage.

Die Ansatzhöhen der Aufschlüsse schwanken zwischen 229,9 m NHN bei RKS 1 und 240,9 m NHN bei RKS 5.

Außerhalb der befestigten Flächen und der Bebauung handelt es sich um Wiesen (Grünland). Im Nordosten grenzt ein Gehölzstreifen an.

3. BAUGRUNDERKUNDUNG

3.1 Felduntersuchungen

Im Rahmen der Erkundung der Baugrundverhältnisse wurden durch vgs 5 Rammkernsondierungen (RKS), 2 schwere Rammsondierungen (DPH) und 2 Baggerschürfe (SCH) abgeteuft.

Am Standort von RKS 1 musste aufgrund der Leitungsdichte in Verbindung mit unklaren Leitungslagen eine Handschachtung ausgeführt werden. Dabei wurde zunächst die vorhandene Asphaltdecke in größerem Durchmesser (2x 300 mm) ausgebohrt werden. Unterhalb der 9 cm Starken Asphaltdecke wurden zunächst Auffüllungen des Straßenaufbaus (Tragschicht) angetroffen. In einer Tiefe von 32 cm wurde Beton festgestellt. Zum Aufbruch des Betons waren Meisel- / Stemmarbeiten erforderlich. In einer Tiefe von 48 cm war in den Beton eine nicht verzeichnete Rohrleitung eingebettet. Diese konnte keinem Leitungsträger zugeordnet werden. Zum Schutz der Leitung wurde diese bis 0,7 m zur Instandsetzung freigelegt. Anschließend mussten die Schachtarbeiten in einer abgebrochen werden.

Die an der Leitung, in Folge der Stemmarbeiten aufgetretenen Beschädigungen wurden repariert und die Leitung wieder in Beton eingebettet. Im Anschluss wurde die Handschachtung entsprechend des vorgefundenen Aufbaus verfüllt und der Deckenschluss wiederhergestellt. Nachfolgend wird der Verschluss der Handschachtung fotografisch dokumentiert.



Abb. 5: Bei Stemmarbeiten im Beton beschädigte, nicht zuordenbare Rohrleitung



Abb. 6: Instandgesetzte Rohrleitung



Abb. 7: Einbetten der Rohrleitung in Beton gem. Ausgangszustand



Abb. 8: Verschluss der Aufschachtung mit Kaltasphalt

Ein weiteres Verschieben der geplanten Rammkernsondierung RKS 1 war aufgrund des Leitungsbestandes nicht möglich.

In der nachfolgenden Tabelle sind die ausgeführten Felduntersuchungen zusammengefasst aufgeführt.

Tab. 1: Felduntersuchungen

Ifd. Nr.	Bezeichnung	Tiefe [m]			DPH N ₁₀ > 30	Datum
		RKS	SCH	DPH		
1	RKS 1*	0,70				19.08.2022
2	RKS 2	5,00		7,00	0	18.08.2022
3	RKS 3	6,00				18.08.2022
4	RKS 4	5,00				18.08.2022
5	RKS 5	7,00		10,00	0	18.08.2022
6	SCH 1		3,00			07.07.2022
7	SCH 2		2,80			07.07.2022
Summe:		23,70	5,80	17,00	0	

* Handschachtung wie vor beschrieben

In den Schürfen wurden jeweils 2 Versickerungsversuche mit Versickerung über die Schurfsohle und -wände ausgeführt. Die Ergebnisse sind in Anlage 3.4 dokumentiert.

Nach Abschluss der Erkundungsarbeiten wurde der ursprüngliche Zustand des Geländes weitestgehend wiederhergestellt. Die Sondierungen wurden soweit möglich mit Sondiergut verfüllt. Die Schürfe wurden schichtgetreu mit dem seitlich gelagerten Schürfgut rückverfüllt und lagenweise verdichtet.

Die Aufschlüsse wurden lage- und höhenmäßig (m NHN) durch vgs mittels GPS System SP 60 S6 GNSS Spektra abgesteckt bzw. eingemessen.

Lage und Höhe der Aufschlussansatzpunkte dienen nur deren räumlicher Einordnung und sind nicht im Sinne einer Ingenieurvermessung etwa für Projektierungszwecke zu verwenden.

Die Lage der Aufschlüsse ist dem Aufschlussplan Anlage 1.3 zu entnehmen.

3.2 Laboruntersuchungen

Aus den Aufschlüssen wurden insgesamt 25 gestörte Becherproben, 2 Eimerproben und 3 Asphaltkerne entnommen. An den Aufschlussprofilen sind die Proben entsprechend ihrer Entnahmetiefe (diese ist noch einmal gesondert aufgeführt) angetragen.

Die Bezeichnung beginnt entsprechend der Probenart /-menge mit:

- K = Asphaltkern (ungestört)
- B = Becherprobe bis 1 l (gestört)
- E = Eimerprobe bis 10l (gestört)

Anschließend folgen die vgs-Projektnummer und z. B. R1 für Rammkernsondierung Nummer 1. Dabei erfolgt die Nummerierung der Proben jeweils von oben / Geländeoberkante nach unten/ Endteufe. Bei der Bildung von Mischproben zur Durchführung umwelttechnischer Untersuchungen werden die verwendeten Einzelproben in den Tabellen in Abschnitt 7 aufgeführt.

An ausgewählten Proben wurden im vgs-eigenen boden-/felsmechanischen Labor die in Tabelle 2, Zeilen 1 bis 5 aufgeführten Laborversuche/-untersuchungen vorgenommen.

Die chemischen Untersuchungen Zeilen 6 bis 8 führte das Thüringer Umweltinstitut Henterich GmbH durch.

Tab. 2: Laboruntersuchungen

Zeile	Versuchsart	Vorschrift	Anzahl
1	Wassergehalt	DIN 18 121, Teil 1	2 (4)
2	Glühverlust	DIN 18 128	2
3	Kombinierte Siebung	DIN 18 123	4
4	Zustandsgrenzen	DIN 18 122	2
5	qualitative Asphaltuntersuchung	Lacksprühmethode	3
6	quantitative Asphaltuntersuchung	DIN ISO 13877 / DIN EN ISO 14402	1
7	chemische Untersuchung Boden	Ersatzbaustoffverordnung BM-F0, Anlage 1, Tab.3 + ph-Wert im FS und Eluat	1
8	chemische Untersuchung Boden	Ersatzbaustoffverordnung BM0*, Anlage 1, Tab.3 + ph-Wert im FS und Eluat	1

(...) Wassergehalte aus Kombiniertes Siebung

Die Ergebnisse der Laboruntersuchungen und die Prüfprotokolle sind in Anlage 3 enthalten.

Hinsichtlich der in Anlage 3.2 dargestellten Kornverteilungskurven ist zu beachten, dass aus den Rammkernsondierungen nur Probenmaterial maximal bis zum Innendurchmesser der Aufschlüsse (29,1 mm für Außendurchmesser RKS 36 mm und 36,7 mm für Außendurchmesser RKS 50 mm) entnommen werden kann. Somit ist das Korngrößenspektrum (einschließlich der Kornverteilungslinien) von Proben aus Rammkernsondierungen auf den Bereich Ton bis Grobkies beschränkt.

Dies schließt nicht aus, dass hier auch gröberes Korn vorhanden sein kann.

An den Bohrprofilen erfolgt die Schichtbeschreibung entsprechend des gewonnenen Probeninventars in der Regel ohne weitergehende Interpretation.

Maßgeblich sind die textliche Schichtbeschreibung, die unter Punkt 4.3 vorgenommenen Einstufungen sowie die Angaben in der Tabelle Homogenbereiche, Anlage 4.

4. BAUGRUNDVERHÄLTNISSE

4.1 Geologische Situation

Das Untersuchungsgebiet befindet sich regionalgeologisch im südlichen Zentralbereich der mit triassischem Tafeldeckgebirge ausgekleideten Thüringer Mulde, am westlichen Rand der Geraaue.

Als oberste von der Erosion verschont gebliebene Stufe des Tafeldeckgebirges streichen am Standort die Schichten des Oberen Muschelkalkes (mo) im Grenzbereich zum Unteren Keuper (ku) aus. Verbreitet sind Ton-/ Schluffsteine mit z. T. sandigen Kalkstein-/ Dolomitplatten. Während im Westen die Kalksteine dominieren, steigt nach Osten der Dolomit- und Sandsteinanteil an. Die Schichten sind grau bzw. gelblichgraubraun, z. T. ocker gefärbt.

Die Verwitterung hat einen unterschiedlichen Einfluss auf die angetroffenen Festgesteinschichten. Während die Kalksteine eine generell hohe Verwitterungsbeständigkeit besitzen, sind die Ton-/ Schluffsteine i. d. R. tiefgründig entfestigt und zersetzt. Das verdeutlicht sich darin, dass innerhalb der völlig zu Lockergestein zersetzten Ton-/ Schluffsteine oft lediglich an Klüften entfestigte (grobstückige) Kalksteinplatten bzw. -bänke anzutreffen sind.

Das Untersuchungsgebiet befindet sich in einem Territorium, wo auslaugbare Gesteine in Form des Salinars des Mittleren Muschelkalkes im Untergrund vorhanden sind. Nach /UP 8/ sind *Erdfälle und Senkungen möglich*, treten unter natürlichen Bedingungen allerdings nur selten auf (Rayon B-b-l-2).

Das Festgestein wird durch ein mächtiges quartäres Lockergesteinspaket variabler Zusammensetzung und Mächtigkeit überlagert. Zunächst lagert dem Festgestein der ortständige Zersatz / Verwitterungsstufe V5) in Form von Verwitterungslehm und Verwitterungsschutt auf. Darüber folgen in unterschiedlichem Maße verzahnt Hanglehm und Lösslehm. Im oberen Bereich kann der Lösslehm im Zuge der Bodenbildung überprägt und zu Schwarzerde umgewandelt sein.

Darüber hinaus ist die Verbreitung von Terrassenschottern der saalekaltzeitlichen Hauptmittelterrasse möglich, wobei sie im Rahmen der Baugrunduntersuchung nicht erkundet wurde.

Die natürliche Schichtenfolge ist im Untersuchungsgebiet infolge von Baumaßnahmen anthropogen überprägt worden, wodurch i. w. die oberflächigen Deckschichten in ihrer Mächtigkeit reduziert und durch Auffüllung überlagert worden sind.

Nach DIN EN 1998-1/NA:2011-01, Erdbebenzonenkarte (ehemals DIN 4149:2005-04), liegt der Standort in keiner Erdbebenzone, so dass bei der Bemessung von Bauwerkskonstruktionen keine Zusatzbeanspruchungen infolge Erdbeben berücksichtigt werden müssen.

4.2 Baugrundsichtung, Schichteigenschaften

Auf der Grundlage der ingenieurgeologischen Situation, der durchgeführten Baugrundaufschlüsse und ihrer Interpretation werden nachfolgend aufgeführte Schichten mit jeweils ähnlichem bodenmechanisch-/ grund-/ erdbautechnischen Verhalten unterschieden.

<u>Schicht 0:</u>	Oberboden
<u>Schicht 1:</u>	Auffüllung
<u>Schicht 2:</u>	Schwarzerde
<u>Schicht 3:</u>	Löss
<u>Schicht 4:</u>	Hanglehm
<u>Schicht 5:</u>	Verwitterungslehm
<u>Schicht 6:</u>	Verwitterungsschutt

Die **Klassifizierung der Lockergesteine** gemäß DIN EN ISO 14688-1 erfolgt bei grob- und gemischtkörnigen Böden (einschl. GU*/GT* bis < 40 % Feinkorn) nach der Korngrößenverteilung und bei feinkörnigen Böden nach den bestimmenden plastischen Eigenschaften.

Zusätzlich wird bei gemischtkörnigen Böden die Unterscheidung des Feinkorns nach Ton- und Schluffkorn sowohl nach der Korngröße als auch den plastischen Eigenschaften gewichtet. Hierzu ist anzumerken, dass bereits ab Feinkorngehalten von ca. 15 ... 20 % diese zunehmend die Bodeneigenschaften dominieren.

Die Genauigkeit der anhand des Aufschlussverfahrens mittels Rammkernsondierung festgelegten Schichtgrenzen kann verfahrensbedingt maximal im Dezimeterbereich liegen.

Den Schichten werden anhand der Ergebnisse der Felduntersuchungen, der bodenmechanischen Laboruntersuchungen sowie aufgrund von Analogie- bzw. Erfahrungswerten die nachfolgend beschriebenen bzw. tabellarisch zusammengefassten bodenmechanischen Eigenschaften und Klassifizierungen zugeordnet.

Eingeklammerte Angaben in den Tabellen bedeuten untergeordnet vorhanden / gegeben oder möglich, d. h. kalkulatorisch, planerisch und ausführungseitig zu berücksichtigen.

Schicht 0: Oberboden

Oberboden, natürlich anstehend bzw. aufgefüllt / verunreinigt, wurde mit 20 bis 25 cm Stärke erkundet.

Er steht in Form eines Tones, schwach feinsandig bis feinsandig, sehr schwach kiesig, humos an und ist nach DIN 18196 als TL zu klassifizieren.

Tab. 3: Beschreibung Oberboden gemäß DIN 18915:2018-06

Boden- gruppe	Benennung	Körnung M %			Kurzzzeichen DIN 18 196
		≤ 0,063 mm	> 2 bis 63 mm	> 63 bis ≤ 200 mm	
B5a	stark bindiger (sandig/kiesiger) Boden	> 40	≤ 60	≤ 5	TL

Oberboden ist ein schützenswertes Gut, gemäß BauGB in nutzbarem Zustand zu erhalten und vor der Vernichtung oder Vergeudung zu schützen.

Er ist gesondert vor Beginn der Bautätigkeit abzuschleppen und fachgerecht (unverdichtete Bodenmieten von maximal 1,5 Höhe) zu lagern.

Mutterboden / Oberboden ist entsprechend seiner Einstufung zu verwerten.

Schicht 1: Auffüllung

Bei den unter Schicht 1 zusammengefassten Böden handelt es sich um anthropogene, also nicht natürlich abgelagerte Schichten. Sie wurden nur im Straßenbereich nachgewiesen und werden im Rahmen der Begutachtung unterteilt in:

Schicht 1.1: Oberbau

Schicht 1.2: Auffüllungen, feinkörnig

Schicht 1.3: Beton

Mit Auffüllungen ist grundsätzlich im Bereich von bestehenden Kabel- und Leitungstrassen sowie im Bereich vorhandener und rückgebauter Bausubstanz (alte Baugruben usw.) zu rechnen.

Insbesondere ist auf mögliche unterschiedliche Leitungsgrabenverfüllungen hinzuweisen, die z. B. Hindernisse (Rohre / Leitungen / Kabel, Steine / Blöcke, „sperrige“ Bestandteile) und / oder Stabilitätsprobleme (z. B. Nachbrechen kohäsionsarmer Böden) bei Aushubarbeiten mit sich bringen können.

Schicht 1.1: Oberbau

Die Straße „Am Zwetschenberg“ ist mit einer weitgehend einlagigen 7 cm bis 10 cm mächtigen Asphaltdecke der Körnung 0/16 befestigt. Nach Westen geht die Straße in einen mittels Schotterdecke befestigten Wirtschaftsweg über.

Mächtigkeit und Verbreitung von Oberbauschichten und sonstigen Auffüllungen an den Aufschlusspunkten kann der nachstehenden Tabelle entnommen werden.

Tab. 4: Oberbau (Schicht 1.1) und sonstige Auffüllungen

Bezeichnung	Asphalt (Lagen) [cm]	ungebundene Tragschicht [cm]	Gesamt- mächtigkeit Oberbau [cm]	Beton [cm]	Auffüllung, feinkörnig [m]
RKS 1	9 (1)	23	32	38	-
RKS 2	-	80	80	-	-
RKS 3	10 (1)	20	30	-	0,7
RKS 5	7 (1)	18	25	-	0,35

Die Mächtigkeit der ungebundenen Tragschicht schwankt zwischen 18 und 23 cm. Im Bereich des unbefestigten Abschnittes wurde eine 80 cm mächtige Schotterdecke erkundet.

Die ungebundene Tragschicht wurde in Form eines schwach schluffigen bis schluffigen, sandigen, sehr schwach steinigen Kieses in i. M. lockerer bis mitteldichter Lagerung angetroffen. In Abschnitten ohne gebundene Deckschichten ist die Schotterdecke lokal schwach humos durchsetzt.

Mineralische Fremdbestandteile und Störstoffe wurden lokal in Anteilen von ca. 10 Vol.-% und mehr in Form von Ziegel-, Beton- und Asphaltresten erkundet.

Die Tragschicht ist in unterschiedlichen Grau- und Brauntönen gefärbt.

Tab. 5: Klassifizierung / Eigenschaften Schicht 1.1 – ungebundene Tragschicht

Schichtbeschreibung		
Bodenart	(Kurzzeichen lt. DIN EN ISO 14688-1)	si'-si sa co'' (h') Gr
Lagerungsdichte		i. M. locker - mitteldicht
Bautechnische Eigenschaften		
Scherfestigkeit	(DIN 18 196)	hoch
Zusammendrückbarkeit	(DIN 18 196)	gering
Durchlässigkeit	(Bereiche nach DIN 18130)	stark durchlässig
Verdichtbarkeit	(DIN 18 196)	gut
Witterungs-, Wasser- und Erosionsempfindlichkeit	(DIN 18 196)	gering
Erdbautechnische Eignung	(DIN 18 196)	geeignet
Bautechnische Klassifizierung		
Bodengruppe	(DIN 18 196)	[GW, GU] A
Frostempfindlichkeitsklasse	(ZTV E-StB)	GW = F1 GU = F2
Bodengruppen	(ZTV A-StB)	grob-/ gemischtkörnige Böden
Bodenarten	(ATV-DVWK-A 127)	G1-G2

Schicht 1.2: Auffüllung, feinkörnig

Die Schicht 1.2 wurde nur im Bereich der RKS 3 und RKS 5 im Straßenbereich in einer Tiefe von 0,25 m bis 0,3 m unter Geländeoberkante unterhalb des Oberbaus nachgewiesen. Die Mächtigkeit erreicht Werte von 0,35 bis 0,7 m. Die Tiefenlage der Schichtunterkante befindet sich demnach 0,6 bis 1,0 m unter Sondieransatzpunkt.

Es ist nicht auszuschließen bzw. eher wahrscheinlich, dass die Schicht 1.2 auch an anderen Stellen des Untersuchungsgebietes auftreten kann.

Die feinkörnige Auffüllung setzt sich aus schwach sandigen und sehr schwach kiesigen, lokal schwach humosen, leicht- bis mittelplastischen Tonen zusammen.

Zum Erkundungszeitpunkt konnte die feinkörnige Auffüllung in steifer bis halbfester und halbfester Konsistenz erkundet werden.

Die Färbung umfasst Grau- und Brauntöne.

Mineralische Fremdbestandteile wurden innerhalb der Auffüllungen der Schicht 1.2 in Anteilen von ca. 10 Vol.-% in Form von Ziegelsplintern angetroffen.

Der Erdstoff ist generell stark wasserempfindlich und neigt insbesondere bei mechanischer Beanspruchung (z. B. Befahrung oder Verdichtung) in Verbindung mit Wasser zu rascher Konsistenzverschlechterung.

Tab. 6: Klassifizierung / Eigenschaften Schicht 1.2 – Auffüllung, feinkörnig

Schichtbeschreibung		
Bodenart	(Kurzzeichen lt. DIN EN ISO 14688-1)	sa' gr''(h') Cl
Plastizität		leicht bis mittelplastisch
Konsistenz	(zum Erkundungszeitpunkt)	steif – halbfest, halbfest
Bautechnische Eigenschaften		
Scherfestigkeit	(DIN 18 196)	gering
Zusammendrückbarkeit	(DIN 18 196)	groß
Durchlässigkeit	(Bereiche nach DIN 18130)	schwach bis sehr schwach durchlässig
Verdichtbarkeit	(DIN 18 196)	schlecht
Witterungs-, Wasser- und Erosionsempfindlichkeit	(DIN 18 196)	groß
Erdbautechnische Eignung	(DIN 18 196)	bedingt geeignet (<i>Wasserempfindlichkeit beachten!</i>)
Bautechnische Klassifizierungen		
Bodengruppe	(DIN 18 196)	[TL-TM] A
Frostempfindlichkeitsklasse	(ZTV E-StB)	F3
Bodengruppen	(ZTV A-StB)	feinkörnige Böden
Bodenarten	(ATV-DVWK-A 127)	G4

Schicht 1.3: Beton

Beton wurde im Zuge der Handschachtung zu RKS 1 in einer Tiefe von 0,32 m unter der Geländeoberkante unter dem Straßenoberbau angetroffen. Bis 0,7 m unter der Ansatzhöhe der Handschachtung wurde der Beton mittels Stemmarbeiten aufgebrochen, was allerdings nicht der Schichtunterkante entspricht. Vielmehr mussten die Arbeiten aufgrund des vorgefundenen Leitungsbestandes abgebrochen werden.

Über die Verbreitung der Betonschicht über RKS 1 hinaus kann keine Aussage gemacht werden. Unter Umständen handelt es sich um eine frühere Befestigung (Wirtschaftsweg) oder es handelt sich um eine engbegrenzte Auffüllung im Zusammenhang mit dem bis dato unbekanntem Leitungsbestand.

Schicht 2: Schwarzerde

Im Untersuchungsgebiet steht über weite Flächen unter natürlichen Verhältnissen Löss (Schicht 3) oberflächlich an. In seinem obersten Abschnitt reichen die an der dunkel- bis schwarzbraunen Färbung erkennbaren organischen Beimengungen i. d. R. noch einige Dezimeter tiefer als der eigentliche Oberboden. Dieser Horizont wird als Schwarzerde bezeichnet.

Erfahrungsgemäß übersteigt der organische Anteil i. d. R. 6 M.-% (Glühverlust), so dass der Boden als organogen zu bezeichnen ist. Der organische Anteil kann zudem in gewisser Weise die erdbautechnischen Eigenschaften des Bodens (z. B. Verdichtungsfähigkeit, Eignung für Bindemittelverbesserungen) verschlechtern, so dass die Schwarzerde als gesonderte Schicht ausgehalten wird. Dort, wo über dem Löss keine Schwarzerde ausgehalten wurde, reicht die Mächtigkeit des humifizierten Bereiches nicht über den Oberboden hinaus. Ursache dafür sind vermutlich nachträgliche Abschwemmungen / Umlagerungen.

Die als Schwarzerde bezeichnete Schicht 2 wurde in den Aufschlüssen RKS 2, RKS 4, und SCH 1 unterhalb des Oberbodens bzw. unterhalb von Auffüllungen ab einer Tiefe von 0,2 bis 0,8 m Tiefe mit einer Mächtigkeit von 0,8 bis 1,0 m erkundet. Die Schichtunterkante liegt bei 0,8 bis 1,0 m unter der Geländeoberkante.

Die Schicht 2 liegt in Form eines schwach feinsandigen bis feinsandigen, schwach humosen bzw. schwach organischen, leichtplastischen Ton vor.

Zum Zeitpunkt der Erkundung lag die festgestellte Konsistenz i. M. im halbfesten, lokal im steifen bis halbfesten Bereich.

Die Färbung der Schicht 2 ist durch die organischen Bestandteile geprägt und ist daher (dunkel-) braun, dunkelgrau bis schwarz. Zur Schichtbasis mit Übergang zum Löss (Schicht 3) tritt auch eine hellbraune Färbung auf.

Der Erdstoff ist generell wasserempfindlich und neigt insbesondere bei mechanischer Beanspruchung in Verbindung mit Wasser zu rascher Konsistenzverschlechterung verbunden mit einer Verschlechterung seiner geotechnischen Eigenschaften.

Tab. 7: Klassifizierung / Eigenschaften Schicht 2 – Schwarzerde

Schichtbeschreibung		
Bodenart	(Kurzzeichen lt. DIN EN ISO 14688-1)	fsa'-fsa h' bzw. or' Cl
Plastizität		leichtplastisch
Konsistenz	(zum Erkundungszeitpunkt)	i. M. halbfest, z. T. steif-halbfest
Bautechnische Eigenschaften		
Scherfestigkeit	(DIN 18 196)	gering
Zusammendrückbarkeit	(DIN 18 196)	sehr groß
Durchlässigkeit	(Bereiche nach DIN 18130)	schwach bis sehr schwach durchlässig
Verdichtungsfähigkeit	(DIN 18 196)	sehr schlecht
Witterungs-, Wasser- und Erosionsempfindlichkeit	(DIN 18 196)	groß
Erdbautechnische Eignung	(DIN 18 196)	ungeeignet (sehr wasserempfindlich, teils hohe Organikanteil)
Bautechnische Klassifizierungen		
Bodengruppe	(DIN 18 196)	TL
Frostempfindlichkeitsklasse	(ZTV E-StB)	F3
Bodengruppen	(ZTV A-StB)	feinkörnige Böden
Bodenarten	(ATV-DVWK-A 127)	G4

Schicht 3: Löss

Unterhalb der Schwarzerde aber auch darüber hinaus steht über weite Flächen des Untersuchungsgebietes weichseleiszeitlicher, äolischer Löss an. Er ist an seiner (hell-) braunen Färbung erkennbar.

Die Schichtoberkante wurde 0,25 m bis 1,1 m unter der Geländeoberkante erkundet. Innerhalb der Aufschlüsse wurden Mächtigkeiten von 1,0 bis 3,3 m nachgewiesen, wobei die Schicht 3 nicht überall durchteuft wurde. Die Schichtunterkante kommt in Tiefen von 2,0 bis 3,9 m unter der Geländeoberkante zu liegen.

Unter der Schicht 3 – Löss werden überwiegend strukturgestörte / solifluktiv umgelagerte und zumindest teilentkalkte Lössderivate bzw. Lösslehm zusammengefasst. Löss ist primär ein äolisches (d. h. vom Wind transportiertes) Sediment, welches sich i. W. auf dem Wind abgewandten Seiten von Hügeln / Geländewellen und in Senken akkumuliert hat.

Löss besteht i. d. R. aus leichtplastischem Ton, sandig bis stark sandig, gelegentlich schwach feinkiesig. Dabei ist der Kiesanteil i. d. R. auf die Einlagerung von Kalkkonkretionen (sog. Lösskindeln) zurückzuführen bzw. konzentriert sich auf die Schichtbasis. Typisch ist ein hoher Grobschluffanteil.

Zum Erkundungszeitpunkt lag die Schicht 3 i. M. in halbfester, selten steifer bis halbfester Konsistenz bei lockerer Lagerung (hohes Porenvolumen) vor.

Insbesondere bei größeren Schichtmächtigkeiten kann die ursprüngliche „poröse“ Struktur des Löss anteilig noch vorhanden sein, d. h. der Boden kann bei konzentriertem Wassereintrag ggf. eine gewisse Sackungsneigung aufweisen. Generell ist Löss als (sehr) wasserempfindlich zu bezeichnen und neigt unter Wassereinfluss, insbesondere bei mechanischer Beanspruchung, zur raschen Konsistenzverschlechterung verbunden mit einer deutlichen Verschlechterung seiner bautechnischen Eigenschaften.

Tab. 8: Eigenschaften / Klassifizierungen Schicht 3 – Löss

Schichtbeschreibung		
Bodenart	(Kurzzeichen lt. DIN EN ISO 14688-1)	sa-sa* fgr' Cl
Plastizität		leichtplastisch
Konsistenz	(zum Erkundungszeitpunkt)	i. M. halbfest, z. T. steif-halbfest
Bautechnische Eigenschaften		
Scherfestigkeit	(DIN 18 196)	gering
Zusammendrückbarkeit	(DIN 18 196)	groß
Durchlässigkeit	(Bereiche nach DIN 18130)	schwach durchlässig
Verdichtungsfähigkeit	(DIN 18 196)	schlecht
Witterungs-, Wasser- und Erosionsempfindlichkeit	(DIN 18 196)	groß
Erdbautechnische Eignung	(DIN 18 196)	mäßig brauchbar bis weniger geeignet (sehr wasserempfindlich)
Bautechnische Klassifizierungen		
Bodengruppen	(DIN 18 196)	TL
Frostempfindlichkeitsklasse	(ZTV E-StB)	F3
Bodengruppen	(ZTV A-StB)	feinkörnige Böden
Bodenarten	(ATV-DVWK-A 127)	G4

Schicht 4: Hanglehm

Schicht 4 umfasst den solifluktiven Hanglehm. Er wurde im Bereich der Aufschlüsse RKS 2 bis RKS 5 ab einer Tiefe von 1,0 m bis 3,9 m unter Geländeoberkante angetroffen. Die Schicht konnte bis zur geplanten Endteufe der Sondierungen nicht an allen Aufschlusspunkten durchteuft werden. Die erkundete Mächtigkeit schwankt zwischen 1,1 m bis 4,5 m. Die Schichtunterkante konnte in RKS 2 und RKS 3 zwischen 2,9 m und 5,5 m unter Geländeoberkante ermittelt werden. Die Schicht 4 lagert dann dem Festgesteinszersatz (Schicht 5 – Verwitterungslehm, Schicht 6 – Verwitterungsschutt) auf.

Der Hanglehm steht in Form eines schwach feinsandigen bis sandigen, sehr schwach kiesigen bis kiesigen, leicht- bis mittelplastischen Tons an. Der Kiesanteil lässt sich lokal auf eingelagerte Terrassenschotterreste der saalekaltzeitlichen Hauptmittelterrasse zurückführen.

Es dominieren braune und graue Farbtöne, selten treten auch gelbe Farben auf.

Die zum Zeitpunkt der Erkundung festgestellte Konsistenz lag im steifen, steifen bis halbfesten oder halbfesten Bereich.

Der Erdstoff ist generell wasserempfindlich und neigt insbesondere bei mechanischer Beanspruchung in Verbindung mit Wasser zu rascher Konsistenzverschlechterung.

Tab. 9: Klassifizierung / Eigenschaften Schicht 4 – Hanglehm

Schichtbeschreibung		
Bodenart	(Kurzzeichen lt. DIN EN ISO 14688-1)	fsa' – sa gr''-gr Cl
Plastizität		leicht- bis mittelplastisch
Konsistenz	(zum Erkundungszeitpunkt)	steif, steif – halbfest, halbfest
Bautechnische Eigenschaften		
Scherfestigkeit	(DIN 18 196)	gering bis mittel
Zusammendrückbarkeit	(DIN 18 196)	groß bis mittel
Durchlässigkeit	(Bereiche nach DIN 18130)	schwach durchlässig
Verdichtbarkeit	(DIN 18 196)	schlecht
Witterungs-, Wasser- und Erosionsempfindlichkeit	(DIN 18 196)	groß bis mittel
Erdbautechnische Eignung	(DIN 18 196)	wenig geeignet (wasserempfindlich)
Bautechnische Klassifikation		
Bodengruppe	(DIN 18 196)	TL-TM
Frostempfindlichkeitsklasse	(ZTV E-StB)	F3
Bodengruppen	(ZTV A-StB)	feinkörnige Böden
Bodenarten	(ATV-DVWK-A 127)	G4

Schicht 5: Verwitterungslehm

Die Schicht 5 umfasst den oberhalb der Festgesteine anstehenden Verwitterungslehm (Zersatzmaterial V5) bestehend aus Muschelkalk- und Keupermaterial.

Der Übergang zum vollständig verwitterten Festgestein (V4) erfolgt mit der Tiefe mehr oder weniger allmählich. Eine eindeutige Grenzziehung zum Festgestein ist aufgrund der Gleichartigkeit der Materialien anhand der Baugrundaufschlüsse sehr schwierig und oft nur unter Zuhilfenahme der Schlagzahlen der Schweren Rammsondierungen möglich (Schlagzahl $N_{10} > 10$).

Die Schicht 5 nur in RKS 2 eingelagert in grob-/ gemischtkörnigen Verwitterungsschutt der Schicht 6 zwischen 3,2 m und 4,5 m unter Geländeoberkante mit einer Mächtigkeit von 0,7 m erkundet.

Entsprechend seiner Korngrößenzusammensetzung und plastischen Eigenschaften ist der Verwitterungslehm als schwach feinsandiger, mittel- bis ausgeprägt plastischer Ton zu klassifizieren.

Zum Erkundungszeitpunkt lag die Schicht in steifer bis halbfester Konsistenz vor. Die Färbung schwankt zwischen grau und rotbraun.

Der Erdstoff ist generell stark wasserempfindlich und neigt insbesondere bei mechanischer Beanspruchung in Verbindung mit Wasser zu rascher Konsistenzverschlechterung.

Tab. 10: Klassifizierung / Eigenschaften Schicht 5 – Verwitterungslehm

Schichtbeschreibung		
Bodenart	(DIN 14688-1)	fsa' Cl
Plastizität		mittel- bis ausgeprägt plastisch
Konsistenz	zum Erkundungszeitpunkt	steif-halbfest
Bautechnische Eigenschaften		
Scherfestigkeit	(DIN 18196)	gering
Zusammendrückbarkeit	(DIN 18196)	hoch (mittel)
Durchlässigkeit	(Bereiche nach DIN 18130)	schwach bis sehr schwach durchlässig
Verdichtbarkeit	(DIN 18196)	schlecht
Witterungs-, Wasser- und Erosionsempfindlichkeit	(DIN 18196)	groß
Erdbautechnische Eignung	(DIN 18196)	bedingt geeignet (sehr wasserempfindlich)
Bautechnische Klassifikation		
Bodengruppe	(DIN 18196)	TM-TA
Frostempfindlichkeitsklasse	(ZTV E-StB)	F3
Bodengruppe	(ZTV A-StB)	feinkörnige Böden
Bodenarten	(ATV-DVWK-A 127)	G4

Schicht 6: Verwitterungsschutt

Schicht 6 konnte nur in 2 Aufschlüssen (RKS 2, RKS 3) im Süden des Untersuchungsgebietes nachgewiesen werden.

Sie ist prinzipiell nur da verbreitet, wo das anstehende Festgestein im Untergrund durch Kalkstein, Dolomit oder Sandstein dominiert wird. Der Übergang zum vollständig verwitterten Festgestein (V4) erfolgt mit der Tiefe mehr oder weniger allmählich.

In RKS 2 wurde sie Schicht 6 in zwei Lagen zwischen 2,9 m und 3,2 m sowie ab 4,5 m unter der Geländeoberkante bis zur Endteufe erkundet. In RKS 3 steht die Schicht ab 5,5 m unter Geländeoberkante an und wurde bis zum Erreichen der geplanten Endteufe der Sondierung nicht durchteuft. Die nachgewiesene Mächtigkeit schwankt zwischen 0,3 m und >0,5 m.

Bei Schicht 6 handelt es sich um schluffige, sandige, teils steinige Kiese und wechselnd schluffige, schwach kiesige Sande in lockerer, lockerer bis mitteldichter und mitteldichter Lagerung. Typisch ist die eckige Kornform.

Der Schutt erscheint in (hell-) grauen, graubraunen bis (hell-) braunen Farben.

Tab. 11: Eigenschaften / Klassifizierungen Schicht 6 – Verwitterungsschutt

Schichtbeschreibung		
Bodenart	(Kurzzeichen lt. DIN EN ISO 14688-1)	si sa (co) Gr si'-si* gr' Sa
Lagerungsdichte		locker bis mitteldicht, teils locker, teils mitteldicht
Bautechnische Eigenschaften		
Scherfestigkeit	(DIN 18 196)	groß
Zusammendrückbarkeit	(DIN 18 196)	mittel bis gering
Durchlässigkeit	(Bereiche nach DIN 18130)	durchlässig
Verdichtbarkeit	(DIN 18 196)	mittel bis gut
Witterungs-, Wasser- und Erosionsempfindlichkeit	(DIN 18 196)	mittel bis gering
Erdbautechnische Eignung	(DIN 18 196)	brauchbar bis geeignet
Bautechnische Klassifizierung		
Bodengruppe	(DIN 18 196)	SW, SU, GU, SU*
Frostempfindlichkeitsklasse	(ZTV E-StB)	F1 = SW F2 = SU, GU F3 = SU*
Bodengruppen	(ZTV A-StB)	grob- bis gemischtkörnige Böden
Bodenarten	(ATV-DVWK-A 127)	G1-G3

4.3 Kennwerte und Eigenschaften gemäß VOB, Teil C - Homogenbereiche

Die einheitliche Beschreibung von Boden und Fels im Sinne der VOB erfolgt mit Angabe der Spannbreiten von Kennwerten und Eigenschaften sowie gewerkweise zu bildenden Homogenbereichen von Boden und Fels. Welche Kennwerte und Eigenschaften anzugeben sind, ist in den ATV vorgegeben.

Die erforderlichen Kennwerte und Eigenschaften zur Bildung von gewerkweisen Homogenbereichen sind in Anlage 4 tabellarisch dargestellt.

Es werden die auf Erfahrungswerten unter Einbeziehung der Laborversuche abgeleiteten möglichen Spannbreiten für die Eigenschaften / Kennwerte angegeben. Die in geschweifte Klammern gesetzten Wertepaare beziehen sich auf die mittels Laborversuchen bestimmten Spannbreiten.

Die Angaben in Anlage 4 zu den gewerkweise zu bildenden Homogenbereichen sind als Vorschläge von vgs zu verstehen, welche im weiteren Planungsprozess durch den Planer mit den Erfordernissen der Planung und der Gestaltung der Ausschreibung zu überprüfen und abzugleichen sind.

Für das Gewerk DIN 18300 - Erdarbeiten - ist bei der Bildung von Homogenbereichen neben dem Lösen auch der Einbau zu beachten. In Anlage 4 erfolgt eine Unterteilung in Homogenbereiche für das Lösen (EA-L) und gesondert für den Einbau (EA-E).

Die Anwendung der Homogenbereiche für das Lösen empfiehlt sich nur, wenn der Aushub nicht im Rahmen der Baumaßnahme wiederverwendet wird und extern verwertet / beseitigt werden soll. Erfolgt eine Wiederverwertung des Aushubs im Baubereich, ist eine Untergliederung in Lösen und Einbau nicht zielführend.

Dann empfiehlt sich allein die Anwendung der in der Regel feiner differenzierten Homogenbereiche für den Einbau (EA-E).

Dabei beziehen sich die Vorschläge der Einteilung in Homogenbereiche für den Einbau ausschließlich für eine planmäßige Verwertung der Erdstoffe innerhalb der Baumaßnahme bzw. des Bauvertrages.

Wie bereits bei Boden- und Felsklassen ist auch bei Homogenbereichen hinsichtlich Erdarbeiten abrechnungstechnisch stets der Ausgangszustand maßgebend.

Weiterhin beinhalten die Einstufungen in Homogenbereiche keinen Straßenaufbruch und keine großvolumigen Bestandteile wie Bauschutt, Beton, Fundamentreste u. ä.

Die Vorschläge für die Einteilung in Homogenbereiche berücksichtigen nicht die umwelttechnischen Einstufungen der Böden.

4.4 Rechenwerte

Den Schichten werden auf der Grundlage der Ergebnisse der Feld- und Laboruntersuchungen, von Erfahrungswerten und / oder anerkannten korrelativen Beziehungen die Berechnungswerte in Tabelle 12 zugeordnet.

Diese stellen charakteristische Werte X_k im Sinne der DIN EN 1997-1:2009-09 dar.

Der charakteristische Wert einer geotechnischen Kenngröße stellt nach dieser Vorschrift eine vorsichtige Schätzung desjenigen Wertes dar, der im Grenzzustand wirkt. Zur Ermittlung des Bemessungswertes für geotechnische Kenngrößen (X_d) sind die charakteristischen Werte durch die Teilsicherheitsbeiwerte γ_M nach DIN EN 1997-1:2009-09, NDP, Tabelle A2.2 zu dividieren.

Die charakteristischen Werte beschreiben die mechanischen Eigenschaften der Schichten im erkundeten Zustand.

Nach DIN 1054:2010-12 darf die Steifigkeit von Boden und Fels im Grenzzustand GEO-2 und im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (SLS) durch charakteristische Werte in Form von vorsichtigen Schätzwerten der Mittelwerte von Steifigkeitsparametern bzw. durch obere und untere charakteristische Werte von Steifigkeitsparametern erfasst werden.

In Zweifelsfällen ist (immer unter Berücksichtigung der konkreten Aufgabenstellung und Randbedingungen) mit oberen und unteren charakteristischen Werten zu rechnen. Der angegebene Steifemodul ist im Sinne des für Setzungsberechnungen repräsentativen mittleren Zusammendrückungsmoduls (hier bestimmt aus Erfahrungswerten) zu verwenden und nicht durch Ansatz von Querdehnungszahlen oder sonstigen Korrekturwerten in andere Steifemoduln zu überführen.

In Programmen, welche die Möglichkeit der Eingabe einer Querdehnungszahl bieten, ist die Querdehnungszahl daher auf Null zu setzen.

Tab. 12: Rechenwerte

Schicht Nr.	Bezeichnung	spezifische Eigenschaften bzw. Randbedingungen	wirksamer Reibungswinkel	wirksame Kohäsion	Wichten		Steifemodul
			φ_k' [°]	c_k' [kN/m ²]	γ_k [kN/m ³]	γ_k' [kN/m ³]	E_{sk} (Min/Max) [MN/m ²]
1.1	Auffüllung grob-/gemischtkörnig	locker-mitteldicht	32	0	18	11	15 (10 – 25)
1.2	Auffüllung feinkörnig	steif-halbfest	22	4	19	9	6 (4 – 10)
2	Schwarzerde	organogen / halbfest	24	4	18	10	4 (2 – 6)
3	Löss	halbfest	26	6	19	10	8 (6 – 12)
4	Hanglehm	halbfest	24	6	19	9	6 (4 – 10)
5	Verwitterungslehm	steif - halbfest	26	8	20	10	12 (8 – 18)
6	Verwitterungsschutt	locker - mitteldicht	28	4	20	10	24 (20 – 40)

4.5 Grundwasserverhältnisse / Versickerung

Den standortrelevanten Vorfluter bildet der, der Gera zufließende, Entwässerungsgraben "Mückeborn". Der Standort liegt außerhalb des Hochwassergefährdeten (HQ 200) Gebietes der Gera. Aufgrund der Hanglage und der Nähe zum Entwässerungsgraben Mückeborn können bei Starkregenereignissen Überflutungen (Sturzfluten, Abschwemmungen) auftreten.

Zum Zeitpunkt der Feldarbeiten konnte in keinem Aufschluss bis zur Endteufe von max. 7,0 m unter der Geländeoberkante Grundwasser angetroffen werden.

Je nachdem in welcher Jahreszeit die Bauarbeiten ausgeführt werden, sollte zumindest mit temporärem Schichtwasser / Staunässe, vermutlich vergleichsweise geringer Ergiebigkeit gerechnet werden.

Im Rahmen der Baugrunderkundung wurden in den Schürfen jeweils 2 Versickerungsversuche, einmal im ungesättigten und einmal im „gesättigten“ Zustand, ausgeführt. Die Ergebnisprotokolle sind in Anlage 3.4 enthalten.

Die Ergebnisse der Versuche sind in der nachstehenden Tabelle zusammengefasst.

Tab. 13: Durchlässigkeiten aus Versickerungsversuchen

Aufschluss	Baugrund-schicht	Durchlässigkeitsbeiwert k_f [m/s]	Durchschnitt k_f [m/s]
SCH 1 (2,7 m)	3	$1,72 \times 10^{-6}$ (ungesättigt)	$2,6 \times 10^{-6}$
	3	$9,99 \times 10^{-7}$ (gesättigt)	
SCH 2 (2,7 m)	3	$5,78 \times 10^{-6}$ (ungesättigt)	
	3	$1,78 \times 10^{-6}$ (gesättigt)	

Für den Löss der Schicht 3 wurde im Mittel ein k_f -Wert von $2,6 \times 10^{-6}$ m/s bei einer k_f -Wertschere in den Versuchen von $5,78 \times 10^{-6}$ bis $9,99 \times 10^{-7}$ m/s ermittelt.

Die Durchlässigkeit der angetroffenen bindigen Schichten 2, 3, 4 und 5 liegen erfahrungsgemäß bei Werten um 1×10^{-6} m/s und deutlich darunter (gering durchlässig).

Höhere Durchlässigkeiten wären im Verwitterungsschutt der Schicht 6 mit einer wahrscheinlichen k_f -Wertschere von 5×10^{-4} bis 1×10^{-5} m/s und einer möglichen Schere von: 1×10^{-3} bis 1×10^{-6} m/s zu erwarten.

Aufgrund der unregelmäßigen Verbreitung eignet sich die Schicht jedoch nicht für eine geregelte Versickerung.

Die Voraussetzungen und technischen Grundlagen zur Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser sind in der **DWA-A 138** /UT 22/ festgelegt. Demnach sollte der Durchlässigkeitsbeiwert k_f des Bodens, in dem die Versickerung stattfinden soll, zwischen $1,0 \times 10^{-3}$ bis $1,0 \times 10^{-6}$ m/s liegen.

Gemäß der ermittelten Durchlässigkeitsbeiwerte k_f im Bereich zwischen $5,78 \times 10^{-6}$ m/s bis $9,99 \times 10^{-7}$ m/s (Versuch unter (teil)gesättigten Bedingungen) erfüllt der Löss der Schicht 3 nicht die Voraussetzung für die Planung von Anlagen zur Versickerung nicht schädlich verunreinigter Oberflächenwässer.

5. GRÜNDUNGSTECHNISCHE SCHLUSSFOLGERUNGEN LEITUNGSBAU

5.1 Allgemeines

Die Baumaßnahme wurde im Kap.1 beschrieben. Detailliertere Angaben sind bei Bedarf dem jeweils aktuellen Planungsstand zu entnehmen und die Empfehlungen des Baugrundgutachten ggf., hierauf zu adaptieren.

In der Anlage 2 sind die Aufschlussprofile und Rammdiagramme enthalten.

Es wird empfohlen, bei Vorliegen hydraulischer Längsschnitte die Aufschlussprofile in diese einzublenden und somit für eine Visualisierung der Baugrund- und Grundwasserverhältnisse entlang der Leitungstrassen zu sorgen.

Aufgrund des frühen Planungsstandes und der parallel laufenden Planung besteht noch Konkretierungsbedarf hinsichtlich der tatsächlichen Lage sowohl der Straßengradiente als auch der Kanalsohlen. Diesbezüglich sind die aus dem Lageplan Anlage 1.3 entnehmbaren Angaben maximal zur Orientierung zu betrachten.

Unter diesem Aspekt wurde auf eine Eintragung der Kanalsohlen an die Baugrundaufschlüsse verzichtet, um die Allgemeingültigkeit der Baugrundprofile nicht zu beeinträchtigen.

Anhand der Baugrundaufschlüsse wird deutlich erkennbar, dass sich die Grabensohlen ganz überwiegend in den feinkörnigen, bindigen Lockergesteinsschichten 3 und 4 geringer bzw. nicht ausreichender Tragfähigkeit befinden werden.

Unter Bezug auf die beschriebenen hydrogeologischen Verhältnisse liegen die Grabensohlen deutlich oberhalb des geschlossenen Grundwasserspiegels

Damit reduziert sich das Erfordernis von Maßnahmen auf übliche, durch den Unternehmer zu berücksichtigende Maßnahmen einer offenen Wasserhaltung.

Bei der Entsorgung (der Begriff umfasst das ganze Spektrum von der Verwertung bis hin zur Beseitigung) des Aushubmaterials sind die umwelttechnischen Aspekte besonders zu berücksichtigen.

5.2 Rohrgraben

5.2.1 Grabenaushub und Verbauarten

Die Baugrundverhältnisse im Detail sind den Aufschlussprofilen in der Anlage 2 zu entnehmen.

Hinsichtlich des Grabenaushubs in technologischer Verantwortung des Unternehmers sind die Beschreibungen zu den einzelnen Schichten in Abschnitt 4.2 sowie die Angaben in der Tabelle Schwankungsbreiten der Kennwerte und Eigenschaften einschließlich Empfehlungen für Homogenbereiche in Anlage 4 zu beachten.

Das Aufbrechen befestigter Oberflächen mit dem beschriebenen Schichtaufbau ist lokal, wo es erforderlich wird, zu berücksichtigen. Hierbei ist besonders auf den in RKS 1 unterhalb des Oberbaus angetroffenen Beton hinzuweisen.

Außerhalb befestigter Flächen ist der vorhandene Oberboden vor Beginn der Aushubarbeiten abzuschleppen und gesondert in Oberbodenmieten $\leq 1,5$ m fachgerecht zu lagern und vor Verdichtung sowie Vernässung zu schützen.

Bei Herstellung von Leitungsgräben wird hauptsächlich Material aus den Lockergesteinen der Schichten 1 bis 6 anfallen.

Eine Verlegung von Leitungen in offener Bauweise mit senkrechten Wänden ist gemäß DIN 4124 ohne besondere Sicherungen und bei Inkaufnahme von Nachbrüchen (kohäsionslose / arme Verfüllböden vorhandener Kanäle und Leitungen sind dabei besonders zu beachten) nur bis in Tiefen von $\leq 1,25$ m bzw. mit Abböschung oder Stützung der Grabenkanten bis $\leq 1,75$ m möglich.

Für eventuelle Abböschungen kann innerhalb des Gültigkeitsbereiches der DIN 4124 für unbelastete Böschungen von folgenden zulässigen Böschungswinkeln ausgegangen werden:

Tab. 14: Graben-/ Baugrubenböschungen

Schicht	zul. Böschungswinkel β
1 - Auffüllungen	$\leq 45^\circ$
2 - Schwarzerde	$\leq 60^\circ$
3 - Löss	$\leq 60^\circ$
4 - Hanglehm	$\leq 60^\circ$
5 - Verwitterungslehm	$\leq 60^\circ$
6 - Verwitterungsschutt	$\leq 45^\circ$

Unter Wassereinfluss (gilt auch für konzentrierter ausfließende Schicht- oder Stauwässer) sind im Allgemeinen Abflachungen um ca. 10 bis 15° vorzunehmen.

Die Wahrscheinlichkeit hierfür wird unter den Standortverhältnissen als eher gering eingeschätzt.

Die genaue Festlegung zwischenzeitlicher Baugrubenböschungen (ggf. Abminderungen) hat entsprechend den vorgefundenen Verhältnissen in der Örtlichkeit durch die Verantwortlichen der Baustelle unter Beachtung der vorstehenden Hinweise zu erfolgen.

Arbeitsraumbreiten, belastungsfreie Schutzstreifen sowie Abstände von Baugeräten und -fahrzeugen von der Grabenkante sind in DIN 4124 bzw. DIN EN 1610 geregelt oder statisch vorgegeben und zu beachten. Der lastfreie Streifen (Sicherheitsabstand) an Böschungen beträgt 1 m bei Fahrzeugen, welche die zul. Achslasten nach StVZO einhalten und für Baugeräte bis 12 t Fahrzeuge, welche die Achslasten nach StVZO überschreiten und > 12 t bis 40 t Gesamtgewicht haben, müssen einen Sicherheitsabstand ≥ 2 m einhalten.

Bei Verlegung im Nahbereich von Bestandsleitungen / Anschlusschächten und Kreuzung vorhandener Medienleitungen ist zumindest anteilig mit vorhandener Grabenverfüllung im Aushubbereich zu rechnen.

Insofern kann in den planmäßigen Grabenwänden/ -böschungen gewachsener und / oder verfüllter Boden auftreten. Seitliche „Restscheiben“ alter Graben-/ Grubenverfüllung können nachbrechen und müssen ggf. zusätzlich entfernt oder abgestützt werden.

Bei Auswahl und Bewertung von Maßnahmen zum Verbau / zur Aussteifung (ggf. mit Verbaustatik) sollten u. a. folgende Randbedingungen beachtet werden:

- Grabentiefe
- Platzbedarf der Baugeräte
- Baugrundsichtung und Anfangsstandsicherheit der Wände
- Wassereinfluss (s. hydrogeologische Verhältnisse – hier vernachlässigbar)
- tolerierbare Beeinflussung von benachbarten Bauwerken / Leitungen
- Gründungstiefe angrenzender Bauwerke (hier nicht relevant)
- Möglichkeit des schadlosen Ziehens / Entferns von Verbauelementen.

Die Gräben können je nach Baugrundverhältnissen sukzessive ausgesteift oder es können (in bis dahin nicht begeharen Gräben) die Verbauelemente eingestellt / abgesenkt werden.

Bei nicht ausreichend standsicheren Grabenwänden, im Lasteinflussbereich von Bauwerken und beim Auftreten von Wasser ist grundsätzlich vom Einbringen des Verbaus im Absenkverfahren durch aushubbegleitendes oder vorauseilendes Eindrücken auszugehen.

Im Bereich von temporär ausreichend senkrecht standfesten Grabenwänden (Schwarzerde, Löss, Hanglehm, Verwitterungslehm Konsistenz mind. steif) kann der Grabenverbau außerhalb des Einflussbereiches vorhandener Bausubstanz im Einstellverfahren hergestellt werden, wobei der Zwischenraum zwischen Verbau und Erdreich unverzüglich hohlraumfrei mit grobkörnigem, ggf. eng gestuftem Material (z. B. Brechkornmisch 0 – 5 mm) zu verfüllen ist, um Nachbrüche zu vermeiden / zu minimieren.

Dabei sind eventuelle Verkehrslasten besonders zu beachten. Wenn Nachbrüche des anstehenden Erdreiches nicht toleriert werden sollen / können, muss der Verbau im Absenkverfahren eingebaut werden.

Für die hier infrage kommenden relativ „flachen“ Gräben bis Tiefen von maximal ca. 4,0 m und unter strikter Beachtung von Bauwerkseinflüssen (s.u.) können Grabenverbaugeräte nach DIN 4124, Abschnitte 5 und DIN EN 13331 eingesetzt werden, soweit die statischen Anforderungen erfüllt werden (ggf. Regelstatiken des Herstellers).

Die Wahl eines geeigneten Grabenverbaus kann in diesem Rahmen durch den Auftragnehmer Bau erfolgen.

Für tiefere Gräben bzw. generell auch bei Bauwerkseinflüssen sind z.B. Gleitschienenverbau-systeme zu empfehlen. In Abhängigkeit von den konkreten Randbedingungen ist zu prüfen, ob auf Regelstatiken zurückgegriffen werden kann oder gesonderte Berechnungen erforderlich sind.

Für den Verbau größerer / tieferer Baugruben, wäre eine gesonderte Planung nach den Vorgaben der DIN 18303"Verbauarbeiten" durch den Auftraggeber zu erstellen.

Bei der statischen Bemessung / Auswahl des Verbaus ist regelmäßig zu prüfen, ob sich dieser außerhalb der Aushubbegrenzung für vorhandene Bauwerke nach DIN 4123 bzw. nicht im Lastausbreitungsbereich von Bauwerksgründungen nach EVB¹ befindet.

Unter den gegebenen Randbedingungen ist ein solcher Einfluss für uns nicht erkennbar, was ggf. im Zuge der Planung zu verifizieren wäre.

¹ EMPFEHLUNGEN; des Arbeitsausschusses "Verformungen des Baugrunds bei baulichen Anlagen" - EVB; Deutsche Gesellschaft für Erd- und Grundbau e. V., Verlag Ernst & Sohn, Berlin, 1996

Wir empfehlen in Anlehnung an EAB², EB 22 den folgenden Erddruckansatz ohne Bauwerkseinfluss mit Beschränkung waagerechter Bewegungen der Baugrubenwand folgender Erddruckansatz verwendet werden:

$$E_{h,k} = 0,25 \times E_{0h,k} + 0,75 \times E_{ah,k}$$

In einer Arbeitsanweisung zur Verbauherstellung sind die Höhen der Steifen und die aufzubringenden Vorspannungen detailliert vorzuschreiben. Es ist des Weiteren vorzugeben, dass die Verbaulemente dem Aushub maximal 0,50 m naheilen dürfen.

Im Bereich vorhandener Leitungen ist der Verbau erschütterungs- und verformungsarm einzubauen.

Ein Zulaufen von Oberflächenwasser in den Graben ist möglichst zu vermeiden.

Bei allen Erd- und Gründungsarbeiten sind die einschlägigen Sicherheitsvorschriften, insbesondere diejenigen der BG Bau und die Vorgaben der DIN 4124 zu beachten.

5.2.2 Grabensohle

Voraussetzung zur Herstellung des Rohraufagers ist eine mindestens steife oder mitteldicht gelagerte Rohrabgrabensohle. Hilfsweise kann auch das Kriterium „trittfest“ angewendet werden.

Sonstige, allgemein verbindliche Prüfungskriterien für die Grabensohle (z. B. für Prüfungen mit dem dynamischen Fallgewichtsgerät) gibt es nicht.

Insbesondere bei bindigen Böden, bei Wassereinflüssen und bei Drainagematerialien muss das Ergebnis des dynamischen Plattendruckversuches stets kritisch bewertet werden.

Es hat sich jedoch allgemein durchgesetzt und zumeist auch bewährt, die Grabensohle bzw. den Bodenaustausch mittels dynamischen Fallgewichtsgeräts zu überprüfen und hierfür einen Prüfwert von $E_{vd} \geq 25 \text{ MN/m}^2$ zugrunde zu legen. Dieser ist aber immer in Abhängigkeit von den konkreten Randbedingungen als Orientierungswert zu sehen!

Gerade für Leitungsgräben von Strom, Gas und Trinkwasser können die Anforderungen an die Tragfähigkeit im Sinne von Prüfanforderungen im Allgemeinen reduziert bzw. das eingangs dargelegte Kriterium angesetzt werden.

Nach unserem Dafürhalten sollte Bodenaustausch in der Grabensohle im Zweifelsfall durch rein fachgutachterliche Beurteilung, z. B. unter Zuhilfenahme einer Handschlitzsonde, konstruktiv festgelegt werden und Tragfähigkeitsprüfungen erst ab OK Auflagerschicht bzw. ggf. auf OK Bodenaustausch erfolgen.

Für die hier im Regelfall vorliegende Situation von feinkörnigen Schichten (Löss, Hanglehm, Verwitterungslehm), empfehlen wir aufgrund derer Wasser- und damit auch Witterungsempfindlichkeit vorsorglich einen Bodenaustausch aus Tragfähigkeitsgründen vorzusehen.

Im Mittel ist für die genannten Schichten eine Austauschstärke um 0,2 m in einer Lage, bei derzeit aber nicht ableitbarer weicher Konsistenz auch in zwei Lagen bis 40 cm, einzuplanen. Im Verwitterungsschutt wird zur Herrichtung einer ausreichend tragfähigen Grabensohle eine Nachverdichtung aushubbedingter Auflockerungen ausreichen.

² Empfehlungen des Arbeitskreises "Baugruben", EAB. Hrsg.: Deutsche Gesellschaft für Erd- und Grundbau e. V.. 5. Auflage. Berlin: Verlag Ernst & Sohn, 2012

Für Bodenaustausch aus Tragfähigkeitsgründen empfehlen wir die Verwendung eines in sich vliesummantelten (Vlies der GRK 3) Kieses / Schotters im Kornspektrum 0/32 bis 0/45 mit maximal 10 Gew.-% Feinkorn (Bodengruppen GW, GI, GU, GT). Bei Ausgleich von geologisch bedingtem Mehraushub kann das zuvor empfohlene Material ebenfalls verwendet werden, wobei dann auf eine Vliesumhüllung verzichtet werden kann.

Der Einsatz von RC-Material ist im Rahmen von Baumaßnahmen in der Stadt Erfurt nach gängiger Verfahrensweise auszuschließen.

Die Verdichtung des Bodenaustausches hat mit einem Verdichtungsgrad von $\geq 97\%$ D_{Pr} zu erfolgen.

Zu beachten ist, dass die Gräben für die Zwecke von Bodenaustausch-/ Stabilisierungs- und Drainmaßnahmen entsprechend tiefer auszuheben und zu verbauen sind.

Unter optimalen bauzeitlichen Witterungsbedingungen und entsprechenden Baugrundgegebenheiten besteht bereichsweise die Möglichkeit, dass auf einen Bodenaustausch verzichtet werden kann.

In dem Fall sind die erforderlichen Nachweise der Tragfähigkeit auf dem anstehenden Baugrund zu erbringen.

Ein Anrecht des Unternehmers auf Erbringung der Leistungen zum Bodenaustausch besteht ebenso nicht, wie die einseitige unternehmerische Entscheidung zum Erfordernis, insbesondere auch eines deutlich stärkeren, Bodenaustausches.

Diese Maßnahmen sind grundsätzlich im Einvernehmen mit der Bauüberwachung festzulegen.

5.2.3 Wasserhaltung

Unter Bezug auf die erkundeten Wasserverhältnisse besteht kein planmäßiges Erfordernis für eine bauzeitliche Grundwasserabsenkung.

Durch den Unternehmer sind im Rahmen seiner technologischen Verantwortung die üblichen Maßnahmen für eine offene Wasserhaltung (zudringende Schicht- / Stauwasser erfahrungsgemäß geringer Intensität oder gegebenenfalls auch Oberflächenwässer) einzuplanen und einzukalkulieren. Ein gesondertes Erfordernis für eine Drainschicht, welche auch Bodenaustausch aus Tragfähigkeitsgründen anteilig ersetzen könnte, ist nach jetzigem Kenntnisstand nicht ableitbar.

Je nach Korngrößenverteilung von Bodenaustauschmaterial können auch über den Bodenaustausch aus Tragfähigkeitsgründen die geringen Mengen an zudringenden Wässern gefasst und abgeleitet werden.

In dem Fall ist in filterstabil und entsprechend tief angelegten Pumpensämpfen (Sohltiefe mindestens 0,5 m unter Grabensohle) gesammeltes Wasser zu sammeln und mit Tauchmotorpumpen in die Vorflut abzuleiten.

Zur Vermeidung einer linienhaften Drainagewirkung der Kanalgräben (gilt nicht für die flachere Leitungsgräben, Tiefe $\leq 1,5$ m) wird empfohlen, in maximalen Abständen von 50 m Dichtriegel gemäß DIN EN 1610 über die volle Höhe des Kanalgrabens bis zum Planum der Verkehrsflächen anzuordnen.

Die stärker durchlässigen Rohrauflagerungen und die Leitungszone sowie besonders die Sohl-drainage / Bodenaustausch sind im Falle des Erfordernisses einer Wasserhaltung im engeren Ab-stand durch Dichtriegel zu unterbrechen, da es sonst aus diesen Schichten zu einem zusätzlichen Wasserandrang und damit zu unnötigen Mehraufwendungen bei der Wasserhaltung kommen kann.

Die Gräben von abzweigenden Hausanschlüssen sollten vom Hauptgraben durch Dichtriegeln ge-trennt werden, um spätere Wasserzuflüsse in eventuell Kelleranlagen bzw. allgemein Durchfeuchtun-gen

Bei den gegebenen Verhältnissen ist es zu empfehlen, eine eventuelle offene Wasserhaltung mit einem entsprechenden Hinweis in der Baubeschreibung in die Einheitspreise der Grabenherstellung einrechnen zu lassen oder die Wasserhaltung als Pauschale anzufragen.

5.2.4 Leitungszone

Die Grabensohlen auf anstehenden Böden oder Bodenaustausch sind entsprechend DIN EN 1610 und DWA – A 139 für eine Direktauflagerung der Rohre nicht (bedingt) geeignet. Wir empfehlen die Rohre grundsätzlich auf einer Bettungsschicht aus Fremdmaterial nach DIN EN 1610, Abschnitte 5.2.1 und 7.2.1 (Typ 1) mit 22 mm Größtkorn (Fremdmaterial) zu betten. Dabei sollte eine Mindestdicke von 100 mm + DN/10 im Lockergestein / Bodenaustausch bzw. 100 mm + DN/5 im Festgestein vorgesehen werden, sofern lt. Statik keine anderen Forderungen bestehen.

Das Rohraufleger muss entsprechend ATV A 127 statisch bemessen werden. Erfahrungen zeigen, dass in der Vorbereitung zumindest eine Vorbemessung erfolgen sollte, um evtl. Diskrepanzen zwischen Ausschreibung und statischen Erfordernissen zu vermeiden.

Das Material für die übrige Leitungszone (Einbettung der Leitung bis 30 cm über Scheitel) muss den planerischen / statischen Anforderungen sowie der DIN EN 1610, Pkt. 5.2 entsprechen, auf die zu verwendeten Rohre abgestimmt und gut verdichtbar sein.

Die Verdichtung der Leitungszone ist entsprechend den statischen Erfordernissen, jedoch auf mindestens $D_{Pr} = 97\%$ vorzunehmen. Die Seitenverfüllung ist beidseitig gleichmäßig vorzunehmen, um seitliche Verdrückungen der Leitungen zu vermeiden.

Besonderer Wert ist auf eine hohlraumfreie Verfüllung und sorgfältige Verdichtung in den Kämpfer- und Muffenbereichen zu legen. In DIN EN 1610 sind 100 mm Mindestabdeckung über den Verbin-dungen und 150 mm über dem Schaft angegeben. Die Zwickel unter dem Rohr müssen vollständig verfüllt sein.

Eine punkt- oder linienförmige Auflagerung ist zu verhindern.

5.2.5 Hauptverfüllung

Gemäß der ZTV E-StB 17 unter Einbeziehung des Einführungserlasses ARS 17/2017 für Thüringen ist der Untergrund bzw. Unterbau von Straßen und Wegen so zu verdichten, dass die Anforderungen gemäß nachfolgender Tabelle in Abhängigkeit von den Böden unter dem Planum erreicht werden.

Tab. 15: Anforderungen an die Grabenhauptverfüllung entspr. ZTV E-StB 17

	Bereich	Bodengruppen DIN 18196	Verdichtungs- grad D_{Pr} in %	Luftporen-ge- halt n_a in Vol.-%
1	Planum bis 0,5 m unter Planum	GW, GI, GE SW, SI, SE GU, GT, SU, ST	≥ 100	/
2	0,5 m unter Pla- num bis OK Lei- tungszone	GW, GI, GE SW, SI, SE GU, GT, SU, ST	≥ 98	/
3	Planum bis OK Leitungszone	GU*, GT* SU*, ST* U, T ⁽¹⁾	≥ 97	≤ 12 ⁽²⁾

- (1) Die in Tab. 4 der ZTV E-StB 17 aufgeführten Bodengruppen OU und OT sind für den Einbau in Rohrgräben unter Verkehrsträgern nicht geeignet bzw. werden nicht empfohlen.
- (2) Lt. „Fußnote“ ⁽⁴⁾ in Tab. 4 der ZTV E-StB 17 in Verbindung mit dem Einführungsbeschluss in Thüringen soll der Luftporengehalt bei nicht qualifiziert verbesserten oder verfestigten wasserempfindlicher Böden $n_a \leq 8$ Vol.-% und veränderlich festen Gesteinen $n_a \leq 6$ Vol.-% betragen.

Die Erfüllung der Vorgabe an den Luftporengehalt für wasserempfindliche Böden ist unter den Bedingungen des Grabenbaus i. d. R. problematisch.

Zusätzlich ist auf dem Planum von Verkehrsflächen ein E_{V2} -Wert von ≥ 45 MN/m² mit dem statischen Plattendruckversuch nachzuweisen.

Auch für konstruktiv unbelastete Grabenhauptverfüllungen sind nach der ZTV E-StB 17 ein lagenweiser Einbau und ein Mindestverdichtungsgrad von 97 % der Proctordichte vorzugeben, um spätere Einsenkungen auf ein erträgliches Maß zu reduzieren.

Für die Verfüllzone werden in der Regel grob- bis gemischtkörnige, schwach bindige (bis maximal 15 Gew.% Feinkorn) Böden verwendet, die wegen der geringeren Wasser- und damit Witterungsempfindlichkeit leichter zu verdichten sind, als stärker feinkörnige Böden und zudem bei entsprechender Verdichtung die erforderliche Setzungsarmut der Grabenverfüllung gewährleisten. Das auftretende Größtkorn sollte dabei 2/3 der jeweiligen Schütthöhe nicht überschreiten und vor dem Hintergrund der Prüffähigkeit der Verdichtung auf 63 mm beschränkt werden.

Vom Aushubmaterial wäre aus geotechnischer Sicht Aushubmaterial aus der Schicht 3 – Löss und 4 - Hanglehm in Kombination mit einer planmäßigen Bodenbehandlung mit einem Mischbindemittel 70/30 (70% Kalk und 30 % Zement) grundsätzlich für einen Wiedereinbau geeignet. Die planmäßige Zugabemenge sollte mindestens 2,5 M.%, d.h. mindesten 47 kg/m³ betragen. Da ausgehend von den erkundeten Verhältnissen tendenziell von einem zu trockenen Ausgangszustand auszugehen ist, muss auch eine planmäßige, kontrollierte Wasserzugabe zur Einstellung einer optimalen Verdichtbarkeit vorgesehen werden. Andererseits bietet die Variante einer Mischbindemittelzugabe auch die Möglichkeit bei ungünstigeren Witterungsverhältnissen eine Einbaufähigkeit des Materials zu gewährleisten.

Besondere Werte ist beim Wiedereinbau verbesserter feinkörniger Böden auf die nachweisliche Einhaltung eines Luftporengehaltes von $n_a \leq 8$ Vol.-% zu legen.

Der Einbau ohne Bindemittel mit Verdichtung auf einen Verdichtungsgrad $D_{Pr} \geq 97\%$ und einem Luftporengehalt $n_a \leq 6$ Vol.-% (veränderlich festes Gestein) ist unter den beengten Bedingungen des Rohrgrabens kaum zu realisieren.

Im Zuge des Weiteren Planungsprozesses sollte entschieden werden, ob die Ausschreibung der Hauptverfüllung anteilig oder vollständig mit dem Aushubmaterial erfolgen soll bzw. in welcher Menge zusätzliches Liefermaterial vorgesehen wird.

Als Liefermaterial wären für die Hauptverfüllung gut verdichtbare, unbelastete (Z0 nach LAGA) Fremdbestandteile aus natürlichen Erdstoffen, im Sinne von Kies oder Schotter der Körnungen 0/45 bis 0/65 mm bevorzugt der Bodengruppen GW bzw. GU/GT mit bis zu 15 % Feinkornanteil und einer Begrenzung des Steinanteils auf maximal 10 M-% vorzusehen.

Das auftretende Größtkorn sollte dabei 2/3 der jeweiligen Schütthöhe nicht überschreiten und vor dem Hintergrund der Prüffähigkeit der Verdichtung auf 63 mm beschränkt werden.

Grundsätzlich bedarf der Einbau aller Materialien der entsprechenden Zustimmung des AG (Liefernachweis, Eignungsnachweis - Kornverteilung, Proctordichte).

Bei Materialwechsel werden erneute Eignungsuntersuchungen erforderlich.

Zu beachten ist bei der Leitungsgrabenverfüllung der Umstand, dass für den Bereich Straßenplanum bis 0,5 m darunter erhöhte Anforderungen bestehen.

Grabenverbaue /-aussteifungen sind abschnittsweise und schadlos für die eingebauten Leitungen bzw. benachbarte Bebauung / Leitungen wieder zu ziehen / entfernen und ggf. verbleibende Hohlräume setzungsfrei zu verfüllen. Ein Verbau darf bei nicht standfesten Grabenwänden bis maximal 0,50 m über das jeweilige Verfüllniveau gezogen werden. Das Verfüllmaterial muss unmittelbar nachfolgend eingebracht und von außen nach innen verdichtet werden. Die Verdichtung muss vor allem an der Grabenwand sorgfältig erfolgen.

Umfang und Verfahren der Eigenüberwachungs- und Kontrollprüfungen sind entsprechend den ZTVE-StB 17 auszuführen.

Empfohlen wird die Prüfmethode M3.

5.3 Hinweis zur Verdichtung

Verdichtungsgeräte, Übergänge und Schichtdicken sind dem geforderten Verdichtungsgrad, den Raumverhältnissen und der "Empfindlichkeit" der Rohre anzupassen (siehe dazu z. B. ATV A 139, Tab. 1). Das Verfüllmaterial darf gemäß den ZTVE-StB 17 /UT19/ im Bereich bis 1 m über Rohr-scheitel nur mit leichtem und bis 3 m auch mit mittelschwerem Verdichtungsgerät verdichtet werden. Daran angepasst werden mittlere Schütthöhen von ca. 20 cm bis 30 cm empfohlen.

Das auftretende Größtkorn sollte dabei 2/3 der jeweiligen Schütthöhe nicht überschreiten und vor dem Hintergrund der Prüffähigkeit der Verdichtung auf 63 mm beschränkt werden. Beim Einsatz der Geräte in Verantwortung des AN ist zwingend zu gewährleisten, dass keine unverträglichen Vibrationen / Erschütterungen auftreten.

So kann vorab nicht zwangsläufig davon ausgegangen werden, dass der Einsatz schwerer Verdichtungstechnik wie z. B. von Anbauverdichterplatten möglich ist. Der Einsatz solcher Geräte bedarf einer Überprüfung ihrer Verträglichkeit unter den konkreten Bedingungen der Baustelle (z. B. unter Beachtung der abgrenzenden Bausubstanz).

5.4 Filterstabilität

Bei gut abgestuften Böden mit einem Feinkornanteil ≥ 5 Gew.-% erübrigen sich gesonderte Maßnahmen zur Gewährleistung der Filterstabilität - Auskleidung des Grabens mit Vlies als Trennung gegenüber feinkörnigen Schichten (1.2, 2, 3, 4, 5). Vorausgesetzt wird dabei eine mindestens steife Konsistenz dieser Schichten, was den Erkundungsergebnissen entspricht.

Böden mit geringerem Feinkorngehalt und/oder relativ enger / intermittierender Kornabstufung (z. B. Filterschichten) sind ggf. von den vorgenannten Böden durch ein Vlies nach Merkblatt /UT6/ (z. B. mechanisch verfestigt, Robustheitsklasse \geq GRK 3, $0,06 \text{ mm} \leq O_{90,w} \leq 0,2 \text{ mm}$) zu trennen.

Erfahrungsgemäß ist die Vliestrennung im Bereich der Grabenwand schwierig herzustellen, insbesondere bei einem Verbau des Grabens.

Bevorzugt ist somit die Filter-/ Kontaktstabilität durch den Einsatz geeigneter, zum anstehenden Baugrund filter- und kontaktstabiler Korngemische zu gewährleisten (s. Kap. 5.2).

Grobkörniger Bodenaustausch in der Grabensohle bzw. die Rohrbettung / Leitungszone sind bei Feinkornanteilen kleiner 5 M.-% vom Baugrund vollständig durch ein Vlies zu trennen.

Weiterhin ist zu gewährleisten dass die im Rohrgraben eingebauten Schichten untereinander filter- / kontaktstabil sind. Ansonsten sind auch diese Schichten untereinander durch ein Vlies zu trennen.

Wenn das Vlies lediglich eine Trennfunktion erfüllen muss, brauchen an den k_f -Wert keine konkreten Anforderungen gestellt werden.

5.5 Schächte

Die Aushubentlastung ist bei Schächten größer als der neue Lasteintrag, so dass zulässige Sohlspannungen nicht relevant und Setzungen bei sorgfältiger Ausführung prinzipiell vernachlässigbar sind.

Generell ist bezüglich der Aufstandsflächen, wie bei den Grabensohlen beschrieben, zu verfahren.

Aufgrund der geringen Durchlässigkeit des Baugrundes kann sich in die Baugruben eindringendes Oberflächenwasser aufstauen und damit zu Auftriebserscheinungen führen.

Daher sind die Schächte mindestens für einen Wasserstand im Niveau des Planums der Straße auftriebssicher zu bemessen.

5.6 Nachbarbebauung

Da die Herstellung von Baugruben / Leitungsgräben nicht immer ohne Auswirkungen auf benachbarte bauliche Anlagen bleibt / bleiben kann, ist es vor der Planung von Sicherungs-/ Verbaumaßnahmen besonders wichtig, den Zustand der Nachbarbebauung festzustellen und mittels Beweissicherungsverfahren festzuhalten.

Insbesondere ist darauf zu achten, dass die in DIN 4150, T3 „Erschütterungen im Bauwesen – Einwirkungen auf bauliche Anlagen“ genannten Anhaltswerte für Schwinggeschwindigkeiten nicht überschritten werden. Die jeweiligen Bauverfahren sind darauf abzustimmen.

Treten Annäherungen an Gebäude und sonstige Bauwerke, wie z. B. Rohrgraben im Einflussbereich von Gründungen, oder sonstige Hinweise auf einen kritischen Ausgangsbefund auf, sollte mindestens eine äußere Beweissicherungsmaßnahme erfolgen.

In Abhängigkeit vom Befund ist abzuleiten, ob auch eine innere Beweissicherung vorzunehmen ist, was hier aber sehr wahrscheinlich nicht erforderlich werden wird.

Im Bereich möglicher höher liegender Versorgungsleitungen, die den neuen Rohrgraben kreuzen, ist darauf zu achten, dass unter diesen Leitungen keine Setzungen entstehen dürfen. Abgesehen von der Schwierigkeit, unmittelbar unter den bestehenden Leitungen eine ordnungsgemäße Verdichtung zu erreichen, führen bereits unvermeidbare (auch bei ausreichender Verdichtung) Setzungen zu Hohllagen dieser Leitungen, die ihrerseits Rohrbrüche herbeiführen können.

Treten solche Kreuzungspunkte auf, wird in diesen Fällen die Auffüllung unter den Leitungen mit Magerbeton empfohlen bzw. ist durch geeignete konstruktive Maßnahmen die Sicherung der Rohrauflagerung zu gewährleisten.

6. GRÜNDUNGSTECHNISCHE SCHLUSSFOLGERUNGEN STRAßENBAU

6.1 Planumstragfähigkeit

Im Anschluss an die Kanal- und Leitungsgrabenherstellung soll die Erschließungsstraßen errichtet werden.

Gemäß der ZTV E-StB 17 unter Einbeziehung des Einführungserlasses ARS 17/2017 für Thüringen ist der Untergrund bzw. Unterbau von Straßen und Wegen so zu verdichten, dass die Anforderungen gemäß nachfolgender Tabelle in Abhängigkeit von den Böden unter dem Planum erreicht werden.

Tab. 16: Anforderungen an den Planumbereich entspr. ZTVE-StB 17

	Bereich	Bodengruppen DIN 18196	Verdichtungs- grad D _{Pr.} in %	Luftporen- gehalt n _a in Vol.-%
1	Planum bis 1,0 m Tiefe bei Dämmen und bis 0,5 m Tiefe bei Einschnitten/ Geländegleichlage	GW, GI, GE SW, SI, SE GU, GT, SU, ST	≥ 100	/
2	1,0 m unter Planum bis Dammsohle	GW, GI, GE SW, SI, SE GU, GT, SU, ST	≥ 98	/
3	Planum bis Dammsohle und bis 0,5 m Tiefe bei Einschnitten / Geländegleichlage	GU*, GT* SU*, ST* U, T ⁽¹⁾	≥ 97	≤ 12 ⁽²⁾

(1) Die in Tab. 4 der ZTV E-StB 17 aufgeführten Bodengruppen OU und OT sind für den Einbau in Rohrgräben unter Verkehrsträgern nicht geeignet bzw. werden nicht empfohlen.

(2) Lt. „Fußnote“ ⁽⁴⁾ in Tab. 4 der ZTV E-StB 17 in Verbindung mit dem Einführungserlass in Thüringen soll der Luftporengehalt bei nicht qualifiziert verbesserten oder verfestigten wasserempfindlichen Böden n_a ≤ 8 Vol.-% und veränderlich festen Gesteinen n_a ≤ 6 Vol.-% betragen.

Zusätzlich ist auf dem Planum von Verkehrsflächen ein

E_{v2} -Wert von $\geq 45 \text{ MN/m}^2$

mit dem statischen Plattendruckversuch nachzuweisen.

Die Planumstragfähigkeit stellt im Bereich der Straße nicht nur einen zu erfüllenden Prüfwert zum Bauzeitpunkt dar, sondern soll dauerhaft während der gesamten Lebensdauer der Straße erhalten bleiben. Im Bereich von reinen Geh-/ Radwegen mit einem Aufbau nach RStO handelt es sich bei der Anforderung an die Planumstragfähigkeit nur um eine bauzeitliche Anforderung.

In Kombination mit vorausseilenden Kanal-/ Leitungsbaumaßnahmen liegt das Planum anteilig über den Grabenverfüllungen, welche durch das Verfüllmaterial und die Einhaltung der Verdichtungsanforderungen eine ausreichende Tragfähigkeit besitzen werden.

Außerhalb davon wird sich das Planum auf Auffüllungen (1.2), Schwarzerde (2), Löss (3) und Hanglehm (4) mit ungenügender Planumstragfähigkeit befinden.

Dies stellt den Bemessungsfall außerhalb neu verfüllter Leitungs-/ Kanalgräben dar.

Bei den vorhandenen Verhältnissen sollte damit zur einheitlichen Beurteilung des Ausgangszustandes im Planumbereich die Zeile 3 der vorstehenden Tabelle 16 mit

$D_{Pr.} \geq 97 \%$ und $n_a \leq 8 \text{ Vol.-%}$

zugrunde gelegt werden.

Allgemein ist bei der Beurteilung der Planumstragfähigkeit auch die Abhängigkeit von den bauzeitlichen Witterungsverhältnissen zu beachten, da insbesondere die Schichten 2 bis 4 anfällig auf ungünstige Wassereinflüsse reagiert und damit deutlich ihre Tragfähigkeitseigenschaften verschlechtert.

Daraus resultierend sind außerhalb von neu verfüllten Gräben durchgängig Verbesserungsmaßnahmen im Untergrund vorzusehen. Nachfolgende Ausführungen beziehen sich demgemäß auf die Flächen außerhalb neuer Leitungsgräben.

Wir empfehlen zur Herrichtung des Planums Verbesserungsmaßnahmen im Untergrund in Form von Bodenaustausch vorzusehen.

Zur Realisierung der erforderlichen Planumstragfähigkeit wird empfohlen, einheitlich von einem Bodenaustausch in einer mittleren Stärke von 40 cm auszugehen und auf dieser Basis gleichzeitig die Oberbaubemessung für F2-Untergrund vorzunehmen.

Im Zusammenhang mit dem Einbau von Bodenaustausch / Unterbau aus F1- / F2-Materialien in einer Mindeststärke von 30 cm kann die Oberbaudicke und die Eingriffstiefe in den Untergrund um 10 cm reduziert werden.

Im Interesse eines homogenen Planums und gleichzeitig auch als Voraussetzung für den Ansatz von F2 für die Bemessung des Straßenoberbaus empfehlen wir den Bodenaustausch konsequent auch über die Kanalgräben hinweg auszuführen, wobei natürlich eine entsprechende Tiefenlage der Kanäle vorausgesetzt wird.

Bei bauzeitlich lokal nicht völlig auszuschließender weicher Aushubsohle (Sohle Bodenaustausch) ist die Verdichtung des Bodenaustausches problematisch (fehlende Widerlagerwirkung, Aufbau eines Porenwasserdrucks im Boden mit „Blasenbildung“ / Walken des Bodens bei Verdichtung).

In solchen Fällen sollte die Austauschstärke auf 60 cm erhöht werden und das empfohlene Bodenaustauschmaterial in 3 Lagen eingebaut und mit einer nicht zu schweren Walze in den beiden unteren Lagen nur statisch und erst in der oberen Lage auch dynamisch verdichtet werden.

Dabei ist mindestens in der oberen Lage ein Verdichtungsgrad von $D_{Pr} \geq 100 \%$ zu erreichen (Probeverdichtung vorsehen). Als Kalkulationsansatz für einen verstärkten Bodenaustausch kann 10 % der Flächen außerhalb der neuen Kanalgrabenverfüllungen angesetzt werden.

Steht innerhalb des planmäßigen Austauschniveaus bereits Terrassenschotter der Schicht 3 an, kann die Austauschstärke reduziert werden.

Liegt das Planum je nach höhenmäßiger Anordnung der Straßengradiente über den Schichten 2 bis 4 / UK Oberboden, so kann die Herrichtung des Planums als Auftrag des empfohlenen Bodenaustauschmaterials realisiert werden.

Endgültige Festlegungen / Entscheidungen hinsichtlich der Stärke und des Erfordernisses von Bodenaustausch kann / sollte aushubbegleitend durch den AG (ggf. auch eine geotechnische BÜ) in Verbindung mit den erforderlichen Prüfungen getroffen werden.

Gilt für die Verkehrsflächen ein Bemessungskriterium von F2 für das Planum, so ist ein durchgängiger Bodenaustausch / Unterbau in einer Mindeststärke von 30 cm aus einem F1-/ F2-Material auch dann zwingend erforderlich, wenn die Tragfähigkeit auch mit einer geringeren Austauschstärke nachgewiesen werden könnte.

Grobkörnige Böden als Bodenaustausch neigen bei ungenügender Verdichtung und insbesondere bei den dynamischen Beanspruchungen durch den Verkehr in gewissem Grad zu Kornumlagerungen, verbunden mit Setzungen.

Deshalb ist gerade bei solchen Böden besonderer Wert auf die Einhaltung der Verdichtungsanforderung von $D_{Pr} \geq 100 \%$ zulegen! Sie sind zudem wasserdurchlässig und müssen deshalb zwingend an der Basis (Erdplanum) konstruktiv entwässert werden.

Als Bodenaustauschmaterial sind weit- bis intermittierend gestufte oder gemischtkörnige Kiese bzw. entsprechende, gebrochene Korngemische (Schotter) nach DIN 18196 geeignet, in denen der Feinkornanteil ($d < 0,063 \text{ mm}$) auf max. 15 M.-% (Frostempfindlichkeitsklasse F2) und der Steinanteil auf $< 10 \text{ M.-%}$ begrenzt werden sollten (GW, GI, GU/GT).

Weiterhin muss das Austauschmaterial gut verdichtbar sein und eine hohe Eigensteifigkeit aufweisen. Wir empfehlen, von einer Eigensteifigkeit von $E_S \geq 200 \text{ MN/m}^2$ auszugehen.

Oft ist der Nachweis der erforderlichen Tragfähigkeitswerte auf OK Bodenaustausch keine ausschließliche Frage der Bodenaustauschstärke, sondern der ausgeschriebenen und vom AN gelieferten Materialqualität!

Vom Bauunternehmer ist durch entsprechende Materialauswahl dafür Sorge zu tragen, dass mit den vorgesehenen Austauschstärken auch die erforderlichen Tragfähigkeits- und Verdichtungswerte erreicht werden können!

Hinsichtlich des Einsatzes von Recyclingmaterial wird auf die Ausführungen im Kap. 5 verwiesen.

Es sind grundsätzlich die Kriterien der Planumtragfähigkeit und des Verdichtungsgrades einzuhalten. Insofern „ergibt sich“ bei Verdichtung von F1 / F2-Bodenaustauschmaterial auf $D_{Pr} \geq 100 \%$ i. d. R. eine erforderliche Planumtragfähigkeit $E_{V2} \geq 45 \text{ MN/m}^2$.

Der mit dem Verdichtungsgrad korrelierende und damit für den Nachweis maßgebende E_{V2} -Wert ist vom AN durch Probeschüttungen bzw. Probeverdichtungen zu bestimmen und kann dann als E_{V2} -Prüfwert für die Bauausführung gelten.

In der Ausschreibung ist, mit Verweis auf die geltenden Vorschriften, eindeutig auf $E_{V2} \geq 45 \text{ MN/m}^2$ bei gleichzeitiger Einhaltung des Verdichtungsgrades hinzuweisen.
Eine fachgerechte, dauerhafte Verbesserung des Planums mit Bindemitteln scheidet unter den gegebenen Randbedingungen nach derzeitigem Kenntnisstand aus.

Auf Planumsflächen / Aushubsohlen anstehende bindige / gemischtkörnige Böden sind sehr wasser- und bewegungsempfindlich. Sie können durch Regen und nachfolgendes Befahren mit Baufahrzeugen ggf. tiefgründig aufweichen und Tragfähigkeitsminderungen erfahren.
Derartige Böden sollten deshalb sofort nach dem Auffahren witterungs- und begehungsfest gesichert / überbaut werden. Ansonsten sind vor der Endprofilierung Schutzschichten von mind. 20 cm zu belassen.

Sämtliche Planumsflächen, länger frei liegende Zwischenebenen o. ä. sind glatt abzuwalzen und mit ausreichendem Gefälle von mindestens 2,5 % bzw. auf bindigen Böden (als Regelfall für das Erdplanum = Sohle Bodenaustausch) mit mind. 4 % zum Ablauf von Oberflächenwässern zu versehen.

6.2 Planumsneigung und -entwässerung

Auf einem Bodenaustausch aus GI, GW, GU-/GT-Material kann das eigentliche Planum als gering wasserempfindlich betrachtet werden und eine Querneigung von $\geq 2,5 \%$ erhalten (nach REwS /UT15/ bevorzugt beidseitig → Dachprofil des Planums).

Bei einem Bodenaustausch mit einem GI-/GW-Material stellt aufgrund der höheren Durchlässigkeit dieser Erdstoffe das Erdplanum (Sohle Bodenaustausch) die Entwässerungsebene dar.

Liegt das Erdplanum in feinkörnigen Böden (Schicht 2,3,4), was hier den Regelfall darstellt, ist eine Mindestquerneigung von 4,0 % vorzusehen.

Besteht nur die Möglichkeit der einseitigen Planumsneigung / -entwässerung, sollte der ungebundene Oberbau auf der nicht entwässerten Seite zumindest so „abgedichtet“ werden, dass von dieser Seite keine Wässer in den Straßenkörper einsickern und ggf. das Planum verschlechtern können.

Die Entwässerungsebene ist in Abhängigkeit davon, welches Material für den Bodenaustausch verwendet wird, entweder das Planum (UK ungebundener Oberbau) oder das Erdplanum (Sohle des Bodenaustauschs).

Bevorzugt sollte die Entwässerungsebene das Erdplanum darstellen. Infolge der Durchlässigkeit des Bodenaustauschmaterials würden dann Planumswässer auf das Erdplanum durchsickern und über das Erdplanum entwässert werden.

Entsprechend Empfehlungen der REwS /UT15/ sind zur Längsentwässerung in der Regel Sickerleitungen (Drainagen) vorzusehen. Dabei bedeutet die Begrifflichkeit zunächst nur, dass es sich um eine Leitung zur Aufnahme von aus dem Planum zusickernden Wässern handelt und nicht, dass es zwangsläufig zu einer Versickerung in den Untergrund durch die Leitung im Sinne einer Rigole kommt. Der Rohrscheitel der Sickerrohrleitung ist mindestens 0,2 m unter der Sohle der zu entwässernden Schicht anzuordnen.

Die Draingräben mit Anschluss an die Kanalisation oder einem sonstigen freien Ablauf sind mit einem Drainagerohr und einer Verfüllung mit Drainagekies (z. B. 8/16 oder 16/32) auszuführen und mit Vlies zur Gewährleistung der Filter- und Kontaktstabilität auszukleiden.
Eine Versickerung der Planumsdrainage scheidet unter den gegebenen Randbedingungen aus.

6.3 Frostsicherer Straßenaufbau

Für die Festlegung der Mindestdicke des sog. frostsicheren Aufbaus nach Tab. 6 und der Mehr- und Minderdicken nach Tab. 7 der RStO 12 sowie dem Merkblatt für die Verhütung von Frostschäden ist nach den Erkundungsergebnissen und den Standortverhältnissen von folgenden Grundwerten auszugehen (dick markierte / doppelt unterstrichene Werte):

Frostempfindlichkeit:

Es gilt als Bemessungskriterium im Ausgangszustand die Frostempfindlichkeitsklasse **F3**.

Wird **planmäßig Bodenaustausch mit F1-/ F2-Material in einer Mindeststärke von 30 cm** vorgenommen, kann für die Bemessung des Oberbaus die Frostempfindlichkeitsklasse **F2** im Planumsniveau angesetzt werden, wodurch sich die Oberbaudicke entsprechend Tabelle 6 der RStO 12 um 10 cm reduziert.

Tab. 17: Mehr- oder Minderdicken infolge örtlicher Verhältnisse (RStO 12, Tab. 7)

Örtliche Verhältnisse		A	B	C	D	E
Frosteinwirkung	Zone I	± 0 cm				
	Zone II	<u>+ 5 cm</u>				
	Zone III	+15 cm				
kleinräumige Klimaunterschiede	ungünstige Klimaeinflüsse z.B. durch Nordhang oder in Kammlagen von Gebirgen		+ 5 cm			
	keine besonderen Klimaeinflüsse		<u>± 0 cm</u>			
	günstige Klimaeinflüsse bei geschlossener seitlicher Bebauung entlang der Straße		- 5 cm			
Wasser- verhältnisse im Untergrund	kein Grund- und Schichtenwasser bis in eine Tiefe von 1,5 m unter Planum			<u>± 0 cm*</u>		
	Grund- oder Schichtenwasser dauernd oder zeitweise höher als 1,5 m unter Planum			+ 5 cm		
Lage der Gradiente	Einschnitt, Anschnitt				+ 5 cm	
	Geländehöhe bis Damm $\leq 2,0$ m				<u>± 0 cm</u>	
	Damm $> 2,0$ m				- 5 cm	
Entwässerung der Fahrbahn / Ausführung der Randbereiche	Entwässerung der Fahrbahn über Mulden, Gräben bzw. Böschungen					<u>± 0 cm*</u>
	Entwässerung der Fahrbahn und Randbereiche über Rinnen bzw. Abläufe und Rohrleitungen					<u>- 5 cm*</u>

* der Ansatz ist vom Planer zu überprüfen bzw. ggf. zu differenzieren

Die angegebenen Bemessungskriterien sind vom Planer hinsichtlich konstruktiver Aspekte zu überprüfen und verstehen sich als Vorschlag aus fachtechnischen Erwägungen der vgs auf Basis des vorliegenden Kenntnisstandes.

Bei der Festlegung der endgültigen Dicke von ungebundenen Tragschichten ist durch den Planer darauf zu achten, dass mit den vorgesehenen Materialien die erforderlichen Tragfähigkeitssteigerungen erreicht werden können (vgl. dazu RStO, Tab. 8).

Daraus können sich auch größere Oberbaustärken als die frostsichere Mindestdicke ergeben.

Abrupte Dickenänderungen der frostsicheren Befestigungen sollten in Längs- wie auch Querrichtung, ggf. durch Ausbildung ausreichender Übergangszonen, vermieden werden.

6.4 Filterstabilität

Ungebundenes Tragschichtmaterial, Bodenaustausch und Untergrund müssen gegeneinander filterstabil sein. Kann mit den gewählten Mineralstoffgemischen die erforderliche Filterstabilität nicht eingehalten werden, muss ein geeignetes Geotextil nach M Geok E verwendet werden. Für die Trennfläche zwischen mineralischem Bodenaustausch und dem Erdplanum empfehlen ein Trennvlies vorzusehen (zu empfehlen GRK 3, GRK 4 bei weichem Untergrund -kalkulatorischer Ansatz $10\% / 0,06 \leq O_{90,w} \leq 0,2 / k_f$ bzw. k_v bei Trennfunktion ohne Relevanz).

6.5 Eignungsuntersuchungen / Prüfungen

Der Verformungsmodul E_{v2} als Prüfwert zur Beurteilung des Erfordernisses eines Bodenaustausches ist keine bodenphysikalische Konstante. Er hängt bei gemischt- und feinkörnigen (bindigen) Böden direkt vom natürlichen Wassergehalt und dadurch von dessen witterungsbedingten Änderungen ab. Als Prüfkriterium ist dieser Wert erst unmittelbar vor dem Aufbringen der nächstfolgenden Schicht geeignet.

Zudem muss sichergestellt sein, dass der nachgewiesene Wert auch dauerhaft bestehen bleibt, d. h. nachträglich z. B. durch Wasser etc. keine Verringerung der Tragfähigkeit erfolgt!

Wir empfehlen dringend, Entscheidungen über Maßnahmen des Bodenaustausches nicht nur anhand eines Plattendruckversuches zu treffen, sondern sorgfältig repräsentative Flächen freizulegen und mehrere Versuche durchzuführen! Die nach ZTV E-StB vorgegebenen Mindestmengen an Plattendruckversuchen sind hierfür in der Regel viel zu gering!

Die erreichbare Tragfähigkeit auf OK Bodenaustausch ist zu Baubeginn vor Ort zu überprüfen / festzulegen. Auf der Basis dieser Ergebnisse sind die Bodenaustauschdicken ggf. anzupassen. Bodenaustauschmaterial sollte eine hohe Eigensteifigkeit aufweisen (z. B. kornstabile Brechkornmische), da dadurch auch höhere Tragfähigkeiten auf OK Planum erreichbar sind.

Die erreichbaren Tragfähigkeiten auf OK Bodenaustausch sind nicht allein eine Frage der Bodenaustauschstärke, sondern auch und insbesondere des verwendeten Materials.

In der Ausschreibung sollte daher ein Austauschmaterial mit hoher Eigensteifigkeit, definiert über ein Steifemodul $E_s \geq 200 \text{ MN/m}^2$, vorgegeben werden.

Bei der Ausführung eines Bodenaustausches wird ein Mehrschichtsystem geschaffen. Im Untergrund / Unterbau werden gering tragfähige, frostempfindliche Böden gegen besser tragfähige, bevorzugt nicht bis gering frostempfindliche Böden ausgetauscht.

Es sind grundsätzlich die Kriterien der Planumtragfähigkeit und des Verdichtungsgrades einzuhalten.

Das Erreichen des geforderten E_{v2} -Wertes auf dem Planum weist noch nicht die erforderliche Verdichtung nach, die insbesondere bei F1- und F2-Böden als maßgebendes Kriterium zu betrachten ist.

Insofern „ergibt sich“ in der Regel bei einer Verdichtung von F1-/F2-Bodenaustausch auf $D_{Pr.} \geq 100\%$ eine erforderliche Planumtragfähigkeit E_{V2} größer 45 MN/m^2 .

Der mit dem Verdichtungsgrad korrelierende und damit für den Nachweis maßgebende E_{V2} -Wert ist vom AN durch Probeschüttungen bzw. Probeverdichtungen zu bestimmen und kann dann als E_{V2} -Prüfwert für die Bauausführung gelten.

In der Ausschreibung ist mit Verweis auf die geltenden Vorschriften eindeutig auf E_{V2} größer gleich 45 MN/m^2 bei gleichzeitiger Einhaltung des Verdichtungsgrades hinzuweisen.

Unter Umständen sind höhere Werte der Tragfähigkeit auf dem Planum auch die Voraussetzung, um in Abhängigkeit von den Schichtstärken und den gewählten Materialien die erforderlichen Tragfähigkeiten / Tragfähigkeitssteigerungen im Bereich von Frostschutz- und Tragschichten zu realisieren.

Für die Durchführung der baubegleitenden Prüfungen wird die Prüfmethode M3 empfohlen.

6.6 Bankettbereiche

Unbefestigte Seitenstreifen bzw. wenn vorgesehen Bankette und Füllboden sind den Witterungsbedingungen und mechanischen Einwirkungen unmittelbar ausgesetzt. Damit sie notfalls auch nach dem Auftauen befahren werden können, sollte ein Baustoff mit geringer Wasserempfindlichkeit und ausreichendem Stützkorn verwendet werden.

Zudem soll Bankettmaterial und Füllboden das Versickern von Oberflächenwasser in ungebundene Tragschichten behindern bzw. verlangsamen um das ausreichende seitliche Absickern von Wässern in der Tragschicht bzw. über dem Planum (zeitlich bzw. kapazitiv) zu ermöglichen.

Weiterhin müssen Bankette ein ausreichendes Schadstoffrückhaltevermögen besitzen.

Vor diesem Hintergrund sollte bei der Bankett-Planung konkret Abschnitt 4.7 der ZTV E-StB 17 berücksichtigt werden.

Danach sind schwach durchlässige ($k_f \leq 1 \times 10^{-6} \text{ m/s}$ nach DIN 18130) Böden und Baustoffe bzw. Baustoffgemische der Bodengruppen GU und GT mit einem Größtkorn von 32 mm geeignet. Der Feinkornanteil $\leq 0,063 \text{ mm}$ muss im eingebauten Zustand 8 M.-% bis 12 M.-% betragen.

Für Bankette gilt die Anforderung an den Verdichtungsgrades von $D_{Pr.} = 100\%$. Auf der Oberfläche des Banketts ist weiterhin ein Verformungsmodul $E_{V2} = 80 \text{ MN/m}^2$ bzw. $E_{Vd} = 40 \text{ MN/m}^2$ erforderlich. Für Bankettbereiche / Seitenstreifen, in denen ein häufigeres Befahren zu erwarten ist, sind in der Leistungsbeschreibung höhere Anforderungen an den Verformungsmodul (Empfehlung $E_{V2} \geq 100 \text{ MN/m}^2$) festzulegen bzw. entsprechende Maßnahmen, beispielsweise eine Verfestigung, anzugeben.

Die Bankettoberfläche muss eine planmäßige Querneigung und ein geschlossenes Gefüge aufweisen. Wenn es die Randbedingungen zulassen, sollte sich hinsichtlich der Querneigung an der RAS-Ew orientiert werden, d.h. bei Entwässerung über das Bankett /Seitenstreifen, eine Querneigung von 12 %, ansonsten von 6 %.

Sollte das nicht möglich sein, empfehlen wir eine Querneigung von mindestens 2,5 %.

Zudem ist das Bankett nach RAS-Ew 3 cm tiefer als die befestigte Fläche anzuordnen und geeignet Maßnahmen einer Verhinderung des „Hochwachsen“ der Bankette, z.B. durch Schälen der Bankette vorzusehen.

6.7 Dämme

Im Zuge der Errichtung der Wendeanlage eine flache Dammschüttung bis ca. 1,5 m erforderlich. Die Dammaufstandsfläche wird sich nach Abtrag des Oberbodens weitgehend in Schicht 2 – Schwarzerde befinden, welche zum Erkundungszeitpunkt eine überwiegend halbfeste Konsistenz aufwies.

Hinsichtlich der Ausbildung des Querprofils gilt die RAL „Richtlinie für die Anlage von Landstraßen“, Ausgabe 2012. Im Kapitel 4.2.5 Böschungen ist das Bild 4: Regelausbildung von Böschungen enthalten.

Dabei wird unterschieden zwischen Böschungen $h \geq 2,00$ m und $h < 2,00$ m.

Danach beträgt die Regelböschungsbreite 3,0 m, unabhängig von der Regelböschungsneigung 1:1,5 bei Dämmen $< 2,0$ m.

Weiterhin ist eine Ausrundung am Böschungsfuß mit einer Tangentenlänge von $T = 1,5 \times h$ vorzunehmen, was dann bei sehr flachen Dammabschnitten nur noch auf eine Ausrundung hinausläuft. Für Böschungshöhen $\geq 2,0$ m gilt eine Regelböschungsneigung von 1:1,5 und eine Tangentenlänge der Ausrundung von 3,0 m.

Konkrete Anforderungen an Dammaufstandsflächen werden in den einschlägigen Richtlinien nicht gestellt. Entsprechende Vorgaben (z. B. Verdichtungsgrade, E_{v2} -Werte) wären auch nicht sinnvoll/nicht erforderlich.

Im Allgemeinen ist die Dammaufstandsfläche so herzurichten, dass sie ein ausreichendes Verdichtungswiderlager für die Herstellung der Dammschüttung darstellt.

Zusätzlich ist bei flachen Dämmen zu beachten, dass der Dammaufbau aus dem Oberbau, dem planumsnahen Untergrund (Unterbau vom Planum bis 0,5 m / 1,0 m darunter) und nur im geringeren Umfang aus der sonstigen Dammschüttung besteht. Bei flacheren Dämmen kleiner ca. 1,2 m bedeutet dies, dass der Damm ausschließlich aus dem Oberbau und dem planumsnahen Bereich ohne sonstige Dammschüttung besteht bzw. diese Schichten auch bis unterhalb der Dammaufstandsfläche reichen können.

Wir empfehlen daher die Dammaufstandsfläche analog den Empfehlungen für das Planum in Abschnitt 6.2 (Bodenaustausch) und anschließend von diesem Niveau aus den Damm aufzubauen.

Die Dammschüttung muss aus geeigneten Lieferböden erfolgen. Es wird empfohlen, diese nur mit für den Erdbau gut geeigneten, „standfesten“ und nur zu geringen und „schnellen“ Eigensetzungen neigenden Lieferböden vorzunehmen, welche frei von umweltschädlichen Anteilen (LAGA Z0) sind.

Für die Dammschüttung empfehlen wir Kies oder Schotter aus natürlichen Materialien (kein Recycling-Material) im Kornspektrum 0/45 bis 0/65 mit einer Obergrenze an Überkorn bis 100 mm von 10 M.-%.

Es wird empfohlen, für vergleichsweise flache Dämme (Höhe Dammaufstandsfläche bis Gradienten $\leq 2,0$ m den Feinkornanteil $\leq 0,063$ mm des Dammschüttmaterials auf maximal 15 M.-% zu beschränken, so dass folgende Bodengruppen nach DIN 18196 infrage kommen: GW, GI, GU, GT.

Zur Gewährleistung der Verdichtung und zur Vermeidung sog. Hautrutschungen ist die Verdichtung gleichmäßig und bis zur Oberfläche der Dammböschungen vorzunehmen. Dazu sind die Dämme ggf. breiter als das Sollprofil herzustellen (siehe auch oben – technologisch erforderliche Einbaubreite) und nach der Verdichtung böschungsschonend auf das Sollprofil abzutragen.

Oberbodenauftrag auf 1:1,5 geneigte Böschungen (Regelböschungsneigung) sollte mit max. 10 cm vorgesehen werden. Bei flacheren Böschungsneigungen kann der Oberbodenauftrag auch bis auf maximal 20 cm verstärkt werden. Die Rohböschung hat dabei rau zu sein bzw. ist vor dem Oberbodenauftrag nochmals gesondert aufzurauen und mit „Schrägrillen“ zu versehen.

Durch entsprechende Maßnahmen zur Andeckung und Begrünung der neuen Böschungsfläche können Hautrutschungen unterbunden werden.

Bis zum Wirksamwerden biologischer / ingenieurbioologischer „Sicherungen“ sind Dammböschungen und insbesondere aufgetragener Oberboden besonders erosions- und rutschgefährdet. Daher sind Maßnahmen zur Verhinderung eines konzentrierten Überströmens der Dammschulter bzw. Böschungen erforderlich.

Entwässerungsmulden am Dammfuß sind nach REwS /UT15/ zu gestalten. Eine planmäßige Versickerung der Mulden ist aufgrund oberflächennah unzureichender Durchlässigkeit des Baugrundes nicht möglich.

7. UMWELTRELEVANTE UNTERSUCHUNGEN

7.1 Allgemeines

Ab 1. August 2023 gelten neue abfallrechtliche Regelungen, die sämtliche bisherige länderspezifische Regelungen außer Kraft setzen.

Es handelt sich dabei um die sogenannte Mantelverordnung /UU 9/ (Verordnung zur Einführung einer Ersatzbaustoffverordnung, zur Neufassung der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung und zur Änderung der Deponieverordnung und der Gewerbeabfallverordnung), die mit ihrer Veröffentlichung im Bundesgesetzblatt Nr. 43/2021 vom 16. Juli 2021 bekannt gegeben wurde.

Kernstück der Mantelverordnung ist die Ersatzbaustoffverordnung (Verordnung über Anforderungen an den Einbau von mineralischen Ersatzbaustoffen in technische Bauwerke, kurz *EBV*, die erstmalig bundeseinheitlich und rechtsverbindlich Anforderungen an den Umgang mit mineralischen Ersatzbaustoffen (z.B. RC-Baustoffe aus Bau- und Abbruchabfällen und Bodenaushub) enthält. Bisherige Länderregelungen treten zum 1. August 2023 außer Kraft. Deshalb empfiehlt es sich bei Maßnahmen, die nach dem 1. August 2023 erst in die Ausführung gehen, gleich von vornherein nach EBV BM-0* (größter Parameterumfang) zu untersuchen.

Das Untersuchungsgebiet liegt in der Trinkwasserschutzzone III. Eine günstige Eigenschaft der Grundwasserdeckschicht im Sinne der EBV, Anlage 2 und 3 liegt für die untersuchte Trasse vor, da die grundwasserfreie Sickerstrecke überwiegend < 1,5 m beträgt.

Asphalt ist nicht Thema der EBV, hier gilt weiterhin die RuVA-StB 01/05, damit können die unter Pkt. 7.2 ermittelten Werte Verwendung finden. Allerdings können Straßenausbaustoffe mit teer-/pechtypischen Bestandteilen (= Verwertungsklasse B / C) nicht mehr nach RuVA-StB verwertet werden und müssen schlussendlich beseitigt werden. Hier empfiehlt sich eine Nachuntersuchung nach Deponieverordnung DK0.

Alle nachfolgend beschriebenen chemischen Untersuchungen und Einstufungen sind als Stichproben im Sinne einer Voruntersuchung im Rahmen des Baugrundgutachtens mit Probenahme aus Rammkernsondierungen zu betrachten und erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

7.2 Asphalt

Aus der Straße Am Zwetschenberg wurden gesondert im Vorfeld der Sondierarbeiten 3 Asphaltkerne ausgebohrt.

Im vgs-eigenen Labor wurden die Asphaltbohrkerne zunächst einer qualitativen Voruntersuchung hinsichtlich ihrer Pechbelastung unterzogen (Anlage 3.5). Dabei wurden keine Auffälligkeiten festgestellt.

Eine Pechbelastung kann für eine beim Ansprühverfahren unauffällige Probe noch nicht ausgeschlossen werden, da z. B. eine erkennbare Fluoreszenz unter UV-Lichtbestrahlung i. d. R. erst ab etwa 40 ... 50 mg/kg PAK (bezogen auf TS) auftritt, Ausbauasphalt aber bereits ab 25 mg/kg TS als pechbelastet gilt.

Es wurde der Asphaltkern R3.1 aus RKS 3 quantitativ auf PAK und Phenole durch das Thüringer Umweltinstitut Henterich untersucht.

In der nachfolgenden Tabelle sind die maßgebenden Parameter und die Zuordnung in Verwertungs-kategorie nach RuVA-StB 01³ zusammengestellt (Prüfbericht siehe Anlage 3.6).

Tab. 18: Ergebnisse der quantitativen Asphaltuntersuchungen

Entnahmestelle	Probe	Beprobungs- abschnitt [cm]	Summe PAK in mg/kg	Phenolindex in mg/l	Verwertungs- klasse
RKS 3	R3.1	0 – 10	n.n.	< 0,01	A

Der Asphalt aus der Straße Am Zwetschenberg ist in die Verwertungskategorie A einzustufen.

Ausbauasphalt der Verwertungskategorie A kann als Asphaltgranulat im Heißmischverfahren wieder verwertet werden.

Dabei ist ein Einsatz in Asphaltmischanlagen und im Baustellenmischverfahren möglich.

Weiterhin ist eine Wiederverwertung im Kaltmischverfahren mit und ohne Bindemittel möglich.

Im Falle der Beseitigung ist dem Ausbauasphalt anhand der Analyseergebnisse die **AVV-Schlüssel-Nr. 17 03 02 (nicht gefährlich)** zuzuweisen.

So keine anderen Erkenntnisse vorliegen, kann dieses Ergebnis auf die Asphaltbefestigung im Untersuchungsbereich übertragen werden (ohne dass natürlich verbindlich lokal höher belasteter Asphalt ausgeschlossen werden kann).

³ FGSV, Arbeitsgruppe Asphaltstraßen: Richtlinien für die umweltverträgliche Verwertung von Ausbaustoffen mit teer-/pechtypischen Bestandteilen und für die Verwertung von Ausbauasphalt im Straßenbau, RuVA– StB 01 (Fassung 2005)

7.3 Auffüllungen > 10 Vol.-% Fremdbestandteile

Aus den Auffüllungen mit ca. 10 bis <50 Vol.-% Anteil an mineralischen Fremdbestandteilen und Störstoffen wurde eine Mischprobe gebildet und eine Analyse nach Ersatzbaustoffverordnung im Parameterumfang der Materialklasse F0 durchgeführt.

Tab. 19: Probenbildung Auffüllungen >10 Vol.-% Fremdbestandteile

Probenbezeichnung	Aufschluss	Einzelproben	Tiefenbereich [m u. GOK]	Baugrundsichten
A	RKS 1, 2, 3, 5	R1.2, R1.3, R2.1, R3.2, R3.3, R5.2, R5.3	0,07 – 1,0	1.1,1.2

Die Analytik führte die Thüringer Umweltinstitut Henterich GmbH durch.

Anlage 3.7 enthält die tabellarische Gegenüberstellung der Analyseergebnisse zu den Grenzwerten nach Deponieverordnung, Anlage 3.8 die zugehörigen Laborprüfberichte.

In der nachstehenden Tabelle ist das Resultat der Analyse und die Zuordnung zusammengefasst dargestellt.

Tab. 20: Einstufung Auffüllungen >10 Vol.-% Fremdbestandteile

Probe	Materialklasse gemäß EBV	Materialwert
A	BM-F0*	keine Materialwertüberschreitung

Die untersuchte Mischprobe **MP A** aus den Auffüllungen ist in die Materialklasse **BM-F0*** nach EBV einzustufen, es wurden keine Überschreitungen der Materialwerte festgestellt.

Die Auffüllungen sind als **nicht gefährlicher Abfall** mit der AVV-Schlüsselnummer **17 05 04** bzw. bei höheren Anteilen mineralischer Fremdbestandteile **17 01 07** einzustufen. Störstoffe wie Asphalt o.ä. sind auszusortieren.

7.4 Boden / Untergrund

Aus dem gewachsenen Untergrund wurde 1 Mischprobe erstellt:

Tab. 21: Probenbildung Boden / Untergrund

Probenbezeichnung	Aufschluss	Einzelproben	Tiefenbereich [m u. GOK]	Baugrundsichten
U	RKS 2 – 5, SCH 1-2	R2.2, R2.3, R3.4, R4.2, R4.3, R5.4, S1.1, S2.1	0,5 – 3,0	2, 3, 4

Die Analyse der Probe erfolgte nach Ersatzbaustoffverordnung für den die Materialklasse BM-0*. Zu berücksichtigen sind in diesem Zusammenhang die Festlegungen der EBV zur Probenaufbereitung im Feststoff.

Bei Einstufung der Materialklassen BM-0 / BM-0* wird in Anlehnung an die BBodSchV nur die Fraktion < 2 mm analysiert, bei den Materialklassen BM-F wird jedoch die Gesamtfraktion im Feststoff betrachtet.

Ausweisungen der Materialklassen BM-F auf Basis der hier durchgeführten Analysen beziehen sich daher auf die analysierte Teilfraktion < 2 mm.

Die Analytik führte das Thüringer Umweltinstitut durch.

Anlage 3.7 enthält die tabellarische Zusammenfassung der gemäß EBV gültigen Grenzwerte für Bodenmaterial / Baggergut einschließlich der Gegenüberstellung der Laborergebnisse, Anlage 3.8 den zugehörigen Laborprüfbericht.

In der nachstehenden Tabelle ist das Resultat der Analyse und die Zuordnung zusammengefasst dargestellt.

Tab. 22: Einstufung Bodenmaterial / Baggergut

Probe	Materialklasse gemäß EBV	Materialwert
U	BM-0	keine Materialwertüberschreitung

In **U** konnten keine Materialwertüberschreitungen nachgewiesen werden. Es kann die Einstufung **BM-0** erfolgen.

Die Aushubböden des anstehenden Untergrundes sind als **nicht gefährlicher Abfall (AVV-Schlüssel-Nr. 17 05 04)** zu deklarieren.

7.5 Hinweise zur Verwertung / Beseitigung von Ausbaustoffen

Im Rahmen der Analysen zu diesem Gutachten wurden Ausbaustoffe der Zuordnungen BM-0 / BM-0* und BM-F0* angetroffen.

Die Einsatzmöglichkeiten von mineralischen Ersatzbaustoffen dieser Zuordnungen sind im Detail der EBV, Anlage 2, Tabelle 6 bis 8 zu entnehmen.

8. ANMERKUNGEN

Die vgs InGeo GmbH führte auftragsgemäß die Erkundung, Untersuchung und Begutachtung des Baugrundes für das Bauvorhaben

Molsdorf, Am Zwetschenberg Erschließung Wohngebiet

durch.

Die durchgeführten Untersuchungen entsprechen dem Kenntnisstand zum Zeitpunkt der Angebotsbearbeitung bzw. der Ausführung der Feldarbeiten. Auf dieser Basis wurden die für eine Ausschreibung, Planung und Berechnung der Baumaßnahme sowie zur Baudurchführung notwendigen Hinweise und bodenmechanischen Kennwerte und Empfehlungen für die geplante Baumaßnahme angegeben. Die jeweiligen Baugrundverhältnisse an den Untersuchungspunkten wurden aufgezeigt.

Es empfehlen sich bei der Bauausführung eine sorgfältige Überwachung aller Arbeiten und ein Vergleich zwischen den Untersuchungsergebnissen und den tatsächlich angetroffenen Verhältnissen.

Verfahrensspezifische Hinweise hinsichtlich Bauausführung haben empfehlenden Charakter. Auf die tatsächlichen Verhältnisse (Baugrund, Grundwasser, Jahreszeit, Witterung o. ä.) während der Bauausführung ist entsprechend zu reagieren.

Bei wesentlichen Änderungen der geplanten Baumaßnahme gegenüber den vorliegenden Unterlagen zum Zeitpunkt der Begutachtung (insbesondere andere lage- und höhenmäßige Anordnung und andere konstruktive Details u. ä.) verlieren die entsprechenden Aussagen des Gutachtens ihre Gültigkeit.

In solchen Fällen empfehlen wir eine Rücksprache mit unserem Büro, bei der zu klären ist, ob zusätzliche Untersuchungen erforderlich sind bzw. wie weiter zu verfahren ist.

Treten bei den Bauarbeiten grundsätzliche Abweichungen von den im Gutachten gemachten Angaben zur Baugrundsichtung oder sonstige unerwartete Situationen im Untergrund auf, sind wir unverzüglich zu informieren.

<— — —>