GEO RISK

BV „Baugebiet Talheim - Erschließung Graben/ vorderer tiefer Graben"

D-74388 Talheim, Landkreis Heilbronn

Baugrund-/ abfallwirtschaftliches Gutachten

Datum: 15.06.2018
Gutachten-Nr.: 21806-1
Ausfertigung: 0 von 2

Auftraggeber:

LBBW Kommunalentwicklung GmbH
Fritz-Elsas-Str. 31
D-70174 Stuttgart

GEO **RISK**
Ingenieurgesellschaft für Altlasten- und Risikomanagement mbH
Solitudeallee 14
D-70439 Stuttgart

Telefon: +49 (0)7 11 / 83 95 05 - 30
Telefax: +49 (0)7 11 / 83 95 05 - 50
info@georisk.de
www.georisk.de

GEO **RISK**
Stuttgart · Augsburg · Ried i. Innkreis

DAkkS Deutsche Akkreditierungsstelle

D-PL-14628-01-00

Anerkennung für Probenahme Boden, Wasser und Bodenluft gem. OFD-H/BAM

Akkreditierung nach

DIN EN ISO/IEC 17025

INHALT:

1. Einleitung 4
1.1 Veranlassung, Auftraggeber Aufgabenstellung 4
2. Standortbeschreibung 5
2.1 Identität des Untersuchungsgebietes 5
2.2 Lage in Vorbehaltsgebieten 5
2.3 Geologische / Hydrogeologische Verhältnisse 5
3. Durchgeführte Untersuchungen 6
3.1 Feldarbeiten 6
3.2 Bodenmechanische Laboruntersuchungen 7
3.3 Chemische Laboruntersuchungen 8
4. Ergebnisse Baugrunderkundung 8
4.1 Schichtaufbau des Untergrundes 8
4.2 Ergebnisse bodenmechanische Laborversuche 12
4.3 Hydrogeologische Verhältnisse 14
4.4 Bodenklassen und bodenmechanische Kennwerte 14
5. Bautechnische Beurteilung 16
5.1 Straßenbau 16
5.1.2 Bauwerksgründung 18
5.2 Kanal- und Leitungsgräben 19
5.2.1 Baugruben 19
5.2.2 Rohrauflager 20
5.2.3 Grabenverfüllungen 20
5.3 Versickerung 21
5.4 Verwertbarkeit von Böden 22
6. Abfallwirtschaftliche Einstufung 23
6.1 Bewertungsgrundlage 23
6.2 Analysenergebnisse Straßenaufbau 24
6.3 Bewertung der Untersuchungsbefunde Straßenaufbau 25
6.4 Analysenergebnisse Mischproben 25
6.5 Bewertung Analysenergebnisse Mischproben 27
6.6 Bewertung Analysenergebnis Pestizide/Herbizide 27
7. Schlussbemerkung 27

TABELLEN:

Tab. 1: Ergebnisse der bodenmechanischen Laborversuche 13
Tab. 2: Korrelation bodenmechanische Kennwerte 13
Tab. 3: Ergebnisse Versickerungsversuche 14
Tab. 4: Bautechnisch relevante Eigenschaften 15
Tab. 5: Bodenkennwerte für erdstatische Berechnungen 15
Tab. 6: Ergebnisse Versickerungsversuche 22
Tab. 7: Analysenergebnisse (Schwarzdecke, Schottertragschicht, Unterbau) 24
Tab. 8: Analysenergebnisse (Mischproben) 26

ANLAGEN:

1. Lagepläne
   1.1 Übersichtslageplan, M 1:14.500
   1.2 Geologie, M 1:12.500
2. Lageplan Untersuchungspunkte
   2.1 Lageplan Sondierungen M 1:1.400
   2.2 Lageplan Schnitte
   2.3 schematischer Schnitt A-A‘, h1:900, v1:100
   2.4 schematischer Schnitt B-B‘, h1:800, v1:100
3. Protokolle
   3.1 Rammkernsondierungen
   3.2 Sondierungsprofile Rammkernsondierungen
   3.3 Versickerungsversuche
   3.4 Vermessung
4. Fotodokumentation
   4.1 Fotodokumentation Rammkernsondierungen
5. Ergebnisse Laborversuche
   5.1 Ergebnisse bodenmechanische Laborversuche
   5.2 Ergebnisse chemische Analytik

1. Einleitung

1.1 Veranlassung, Auftraggeber Aufgabenstellung

Die Gemeinde Talheim plant mit dem Erschließungsträger LBBW Kommunalentwicklung GmbH plant, auf den Flurstücken 4642, 4640, 4639, 4638, 4648 und 4685 in Talheim, Landkreis Heilbronn, die Erschließung eines Wohngebietes. Die o.g. Flurstücke werden derzeit noch als landwirtschaftliche Nutzflächen bzw. Weinberg genutzt.

Auf Grundlage unseres Angebotes Nr. 218014 vom 10.04.2018 wurden wir am 17.04.2018 durch die LBBW Kommunalentwicklung GmbH, Stuttgart, mit der Durchführung der Baugrunderkundung und Schadstoffuntersuchungen beauftragt.

Die Untersuchungen sollen Grundlagen zur Planung der Baureifmachung des geplanten Wohngebiets nordöstlich der Gemeinde Talheim dienen, sowie eine allgemeine Beurteilung der Baugrundverhältnisse sowie der abfallwirtschaftlichen Verhältnisse liefern.

Die Lage der Untersuchungspunkte und die Tiefen der Sondierungen waren durch das planende Ingenieurbüro I-motion GmbH, Ilsfeld, vorgegeben und wurden vor Ort mit Herrn Jung, I-motion GmbH, Ilsfeld, am 07.05.2018 angepasst und vermarkt.

Das vorliegende Gutachten gibt Auskunft insbesondere über den geologischen Aufbau des Baugrundes sowie die hydrogeologischen Verhältnisse und enthält Hinweise zur Ausführung. Die angetroffenen Schichteinheiten wurden klassifiziert und hinsichtlich ihrer Tragfähigkeit bewertet. Des Weiteren werden Aussagen zur Versickerungsfähigkeit getroffen. Darüber hinaus waren die anstehenden Bodenschichten wasserwirtschaftlich und abfallwirtschaftlich zu bewerten.

Die untersuchten Aufschlüsse bestehender Straßen waren darüber hinaus im Hinblick auf Aushubarbeiten und Entsorgung schadstoffseitig zu untersuchen und zu bewerten.

Zur Bearbeitung des Auftrages standen uns folgende Unterlagen zur Verfügung:

- Lageplan der Bohransatzpunkte zum geplanten Bauvorhaben, I-motion GmbH
- Geologische Karte von Baden-Württemberg, Maßstab 1 : 25.000, Blatt 6921 Großbottwar, Geologisches Landesamt Baden-Württemberg
- Erläuterungen zur Geologischen Karte, Blatt 6921 Großbottwar, Geologisches Landesamt Baden-Württemberg

2. Standortbeschreibung

2.1 Identität des Untersuchungsgebietes

Der zu untersuchende Standort befindet sich nordöstlich der Gemeinde Talheim im Landkreis Heilbronn. Im Westen schließen die lokale Wohnbebauung an den Untersuchungsstandort an. Im Norden grenzt die Richtung Flein verlaufende Haigernstraße an die Flächen der Flurstücke Nr.: 4642, 4640 und 4639 an das Untersuchungsgebiet an.

Im Nordosten des Flurstücks Nr.: 4639 und 4685 werden die Neubauflächen durch einen Grünstreifen mit Streuobstbestand und daraufhin weiter östlich durch eine asphaltierte Stichstraße sowie der im Osten anliegenden Talflanke der Weinberge begrenzt. Im südlichen Teil sind die Gebäude eines Landwirtschaftsbetriebs vorhanden. Der daran angrenzende südliche Bereich der Flurstücke 4683, 4684 und 4685 wird als Magerwiese genutzt.

Das Untersuchungsgebiet weist eine Fläche von ca. 2,75 Hektar und weist eine durchschnittliche Länge von ca. 228 m in Nord-Süd-Richtung auf. Im nordwestlichen Bereich der Flächen an der Haigernstraße liegt die Geländehöhe bei ca. 254,40 m ü NN und steigt entlang der Haigernstraße auf ca. 263,35 m ü. NN an. Mittig der Fläche auf dem angrenzenden Feldweg des Landwirtschaftsgebäudes liegt die Höhe über NN bei 259,00 m. An der südöstlichen Ecke der Erschließungsfläche liegt die Höhe bei ca. 249,50 m ü. NN und steigt zur östlichen Flanke in Richtung des Weinbergs auf 257,20 m ü. NN an.

2.2 Lage in Vorbehaltsgebieten

Das Untersuchungsgebiet befindet sich in keinem ausgewiesenen Wasserschutzgebiet, Quell-, Naturschutz- oder Landschaftsschutzgebiet. Darüber hinaus befindet sich die Erschließungsfläche in keinem überschwemmungsgefährdeten Gebiet.

Im nordöstlichen Bereich der Untersuchungsfläche ist nach Angaben der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW) in ca. 200 bis 260 m Luftlinie, das Landschaftsschutzgebiet „Bannwald Haigern“ und südöstlich in ca. 550 m Luftlinie das Flora-Fauna-Habitat-Gebiet „Kuhtatzen“ dokumentiert.

2.3 Geologische / Hydrogeologische Verhältnisse

Auf Basis der Geologischen Karte von Baden-Württemberg, Maßstab 1:25.000, Blatt 6921 Großbottwar, wird der Untergrund teilweise aus quartären Lößlehm und östlich an das Untersuchungsgebiet anschließend aus künstlichen Auffüllungen aufgebaut. Bei den Auffüllungen handelt es sich erhebliche Veränderungen der Landschaftsformen durch Abtrag und Auffüllung im Zuge der Rebflurbereinigung.

Die äolischen Lößlehm und Lößsedimente sind als teils schwach steinige, tonige hellbraune bis ockerbraune Schluffe anzusprechen und treten im westlichen Teil des Untersuchungsgebietes auf.

Im Großteil der Untersuchungsfläche stehen die Schichten des Schilfsandsteins und der Dunklen Mergel (km2) auf. Die Schichten werden durch graugrüne, im Übergang zu den Dunklen Mergeln auch dunkelbraunroten bis violetten, glimmerreichen sandigen Siltsteinen und Tonsteinen gebildet. Die Dunklen Mergel sind als braunrote bis violette Tonsteine mit Dolomitsteinlagen und Gipsauslaugungsresten anzusprechen.

Im südlichen Teil des Untersuchungsgebietes stehen die Schichten des unteren mittleren Keupers (km1) an, die je nach Ausprägung als graugrüne oder bunte, teilweise dunkelrote Tonsteinen anzusprechen sind. Die Basis bilden die Grundgipsschichten, die auch den Übergang zum Unteren Keuper /Lettenkeuper (ku) bilden.

Bei den Schichten der liegenden Unteren Keupers /Lettenkeupers handelt es sich um beige bis grünocker, fluviatil abgelagerte Sandstein- bzw. Mergel/Dolomitsteinwechselserien.

Die Fließrichtung innerhalb des quartären Grundwassers, ist entsprechend der Geländemorphologie entsprechend der nördlich und südlich verlaufenden Geländeeinschnitte nach Westen auf den Neckar ausgerichtet.

Hauptgrundwasserleiter im Untersuchungsgebiet ist im Bereich Talheim/Ilsfeld in der Regel der Gipskeuper. Die Grundwasserführung ist überwiegend an einzelne stark klüftige Gegebenheiten gebunden, die von geringleitenden Tonsteinschichten über- bzw. unterlagert werden. Die Grundwasserführung ist in einer Tiefe von ca. 8 – 10 m u. GOK zu vermuten.

Ein Auszug der Geologischen Karte GK Blatt 6921 Großbottwar ist der Anlage 1.2 beigelegt.

3. Durchgeführte Untersuchungen

3.1 Feldarbeiten

Die eingesetzten Bohrverfahren für die geplanten 11 Aufschlusspunkte wurden auf die zu erwartenden Untergrundverhältnisse abgestimmt. Die vorgegebenen Untersuchungspunkte wurden anhand der überlassenen Unterlagen unter Berücksichtigung der Zugänglichkeiten im Gelände in Abstimmung mit Herrn Jung, i-motion GmbH, Ilsfeld am 07.05.2018 festgelegt. Die Bohransatzpunkte der Sondierungen wurden vor Bohrbeginn mit den erhobenen Spartenplänen abgeglichen und mittels eines Leitungssuchgeräts überprüft und vermarkt.

Zur Erkundung der Untergrundverhältnisse und zur Entnahme von Bodenproben wurden zwischen dem 08.05.2018 und dem 04.06.2018 neben 3 Versickerungsversuchen (V1-V3) insge-

samt 11 Rammkernsondierungen (P1- P11) mit einem Bohrdurchmesser DN 80/60 mm teleskopierend als rammendes Trockenbohrverfahren bis maximal 5,00 m unter Gelände niedergebracht.

Die Rammkernsondierungen wurden mit einem auf einem Raupenfahrwerk montierten Bohrgerät abgeteuft. Der Bohrdurchmesser der Rammkernsondierung betrug DN 80 mm im oberen Bereich bis 1,00 - 2,00 m u. GOK und DN 60 mm im Teufenbereich von 2,00 – 5,00 m u. GOK.

Die aufgeschlossenen Schichteinheiten wurden unter geologischen und bodenmechanischen Aspekten aufgenommen. Nach Aufnahme der Bohrprofile wurden, entsprechend der angetroffenen Schichtfolge, gestörte Bodenproben für bodenmechanische Untersuchungen als auch für die chemische Analytik entnommen. Ferner erfolgte eine sensorisch-organoleptische (Geruch, Optik, Zusammensetzung) Überprüfung des erbohrten Bodenmaterials und Beprobung hinsichtlich eines eventuellen Schadstoffeintrages.

Für die abfallwirtschaftliche Beurteilung wurden Mischproben aus den jeweiligen Bodenschichten bzw. Bereichen entnommen und repräsentativ zusammengestellt und auf die Parameter nach VwV-Boden Baden-Württemberg und DepV untersucht.

Nach Abschluss der Geländearbeiten wurden die Rammkernsondierungen mit dem überschüssigen Bohrgut und mit unbelastetem mineralischem Material verfüllt, sowie die Schwarzdecke im Straßenbereich (Haigernstraße, Fleiner Straße) mit Kaltasphalt versiegelt.

Die Ansatzpunkte wurden nach Fertigstellung der Bohrarbeiten mittels DGPS-Vermessungstechnik (Typ Spectra Precision) nach Lage und Höhe aufgenommen (vgl. Anlage 3.3).

Die Lage der Sondierungen geht aus Anlage 2.1 und 3.3 hervor. Die dazugehörigen Schichtenverzeichnisse bzw. Sondierungsergebnisse sind den Anlagen 3.1 bis 3.2 beigefügt, eine Fotodokumentation Sondierungen ist der Anlage 4 beigelegt.

3.2 Bodenmechanische Laboruntersuchungen

Zur Festlegung bodenmechanischer Kennwerte und Einstufung der angetroffenen Schichteinheiten wurden im geotechnischen Labor, Institut Dr. Haag GmbH, Kornwestheim, an 5 ausgewählten Bodenproben die natürlichen Wassergehalte nach DIN 18121 als auch die Konsistenzgrenzen nach Casagrande (DIN 18122-1) ermittelt. Aufgrund des größtenteils mürben Ausgangsmaterials war eine Ermittlung der einaxialen Druckfestigkeit nicht möglich.

Die Ergebnisse werden im Text näher erläutert und sind den Laborprotokollen der Anlage 5.1 zu entnehmen.

3.3 Chemische Laboruntersuchungen

Für die abfallwirtschaftliche Einstufung des Untergrundes wurden aus den Bohrkernen der Rammkernsondierungen RKS P1- P11 jeweils schichtweise, tiefenorientierte Proben entnommen.

Aus den entnommen Einzelproben der Bereiche P2-P11 des künstlichen Auffüllungshorizontes wurden 5 Mischproben hergestellt (MP-II bis MP-VI) und auf die Parameter gemäß VwV Boden Baden-Württemberg und Ergänzungsparameter gemäß Deponie Verordnung (DepV) im Feststoff und Eluat untersucht. Aufgrund der angetroffenen Verhältnisse wurde P1 als separate Probe abfallwirtschaftlich untersucht.

Darüber hinaus wurde die aus der Bohrung P5 entnommene Wasserprobe auf den Parameter „Betonaggressivität“ untersucht.

Die genaue Aufteilung und Zuteilung der Mischproben ist dem Abschnitt 5.4 zu entnehmen. Die Ergebnisse der chemischen Laboruntersuchungen sind der Anlage 5.2 beigelegt.

4. Ergebnisse Baugrunderkundung

4.1 Schichtaufbau des Untergrundes

4.1.1 Verkehrsflächen:

Schwarzdecke (gebundener Oberbau):

Bei der Bohrungen P1 konnte eine Mächtigkeit der Asphaltdecke 0,26 m festgestellt werden. Ebenso wie die Mächtigkeit der Asphaltdecke des Bohrpunktes P9, konnte die Mächtigkeit der Schwarzdecke im weiteren Verlauf der Fleiner Straße der Bohrungen P6 und P7 südlich des Erschließungsgebietes konstant bei 0,06 m dokumentiert werden.

Schottertragschicht (ungebundener Oberbau):

In den Aufschlussbohrungen P1 liegt der ungebundene Oberbau mit einer Mächtigkeit von ca. 0,14 m als graue, schwach feuchte, locker bis mitteldicht gelagerte Tragschicht bestehend aus einer mittelkiesigen Hauptfraktion und schluffigen, sowie schwach tonigen Nebenanteilen vor.

In den Bohrungen P6 und P7 an der Fleiner Straße folgte unter der Asphaltdecke eine, schwach feuchte, graue bis graubraune, mitteldicht gelagerte, intermittierende, ca. 0,44 m mächtige Kiesfraktion als Tragschichtmaterial mit sandigen und schluffigen Nebenfraktionen.

Die Schottertragschicht in der Bohrung P9 im Bereich der Zufahrt zu den Gebäuden des ansässigen Landwirts, liegt als schwach feuchte, graue, locker bis mitteldicht gelagerte Schicht

aus Grobkies mit mittelkiesigen und feinsandigen Nebenfraktionen und einer Mächtigkeit von ca. 0,24 m vor.

künstliche Auffüllung (Unterbau):

In den Bohrungen P6 und P7 im Straßenbereich der Fleiner Straße wurde unter halb des Tragschichtmaterials ein künstlicher Auffüllungshorizont im Teufenbereich ab 0,50 m über 1,10 m (P7) bis maximal 1,90 m (P6) festgestellt werden. Hierbei lagen als Fremdbestandteile hauptsächlich Ziegelbruch mit <1% und Sandsteingeröll vor.

anstehender Boden (Unterbau):

Im Liegenden des ungebundenen Oberbaus in der Bohrung P1 wurde im Teufenbereich von 0,40 m bis 2,00 m u. GOK, eine schwach feuchter, brauner, weicher bis steifer Löß mit einer schluffigen Hauptphase erbohrt, welcher ab ca. 1,5 m u. GOK eine zunehmend weichere Konsistenz aufwies. Darunter folgte von 2,0 m bis 4,80 m u. GOK ein schwach feuchter, ockerfarbener, weicher, stark sandiger Schluffhorizont aufgeschlossen, welcher ab ca. 3,5 m u. GOK verwitterte Sandsteinbrocken aufwies. Darauf folgte von 4,80 m bis 5,00 m u. GOK ein entfestigter, ockerfarbener Sandstein der in einer mürben bis mäßigen Festigkeit vorliegt.

Unterhalb der Auffüllung folgte in der Bohrung P6 bis 4,10 m u. GOK ein schwach feuchter, rotbraun bis ockerfarbener, stark feinsandiger Schluff in einer steifen bis halbfesten Konsistenz. An den Verwitterungshorizont stehen daraufhin bereits von 4,10 m bis 5,00 m u. GOK die grüngrauen bis ockerfarbenen, mergeligen Tonsteinserien des Keupers an.

Ausgehend von der Aufschlussbohrung P6 zeigt die Bohrung P7 ein ähnliches Bild in der geologischen Abfolge, wobei von 1,10 m bis 2,20 m eine schwach feuchte, ockerfarbene, verwitterte, mürbe „Sandsteinbank" mit großen Bruchstücken vorliegt. Im Liegenden steht daraufhin in der Bohrung P7 ein schwach feuchter, brauner, weicher Schluff mit tonigen und feinsandigen Nebenfraktionen an, auf den von 3,70 bis 5,00 m u. GOK ein mergeliger, verwitterter Sandstein mit einer mürben Festigkeit ansteht.

Bei der Bohrung P9 lag unter der Schottertragschicht zunächst ein 3,20 m Mächtiger, brauner, schwach feuchter, weicher Lößlehm mit tonigen und sehr schwach feinsandigen Nebenfraktion an. Im Teufenbereich von 3,50 m bis 5,00 m wurde daraufhin ein schwach feuchter, rotbrauner, mergeliger, halbfest bis fester Tonstein aufgeschlossen.

4.1.2 Zentralbereich (Acker-, Grünflächen):

Die Schichtung im Zentralbereich des Untersuchungsgebiet bildet sich generell aus einer 0,30 m bis 0,40 m Mächtigen **schluffigen Oberbodenschicht**. Unterhalb des Oberbodens folgen neben geogen gewachsenen quartären Lößablagerungen auch Lößsedimente mit geringen Anteilen von Fremdbestandteilen, welche aus dem örtlich anfallenden **standortgleichen Erdaushub** besteht und künstlich aufgefahren wurden. Da das künstlich aufgebrachte, anthropogen umgelagerte Lößmaterial in der stofflichen Zusammensetzung, als auch identische bodenmechanische und –physikalischen Eigenschaften in Abhängigkeit der Wassergehalte aufweist, wird hier verallgemeinernd das geogene Ausgangsmaterial sowie das künstliche Auffüllungsmaterial als ein Homogenbereich zusammengefasst. Neben den Lößsedimenten wurden in den Bohrungen P3, P4, P8, P9 und P10 teils oberflächennah anstehendes Verfüllmaterial aus stark verwittertem Keupergestein aufgeschlossen. Unterhalb des „künstlichen Auffüllungsmaterials“ folgt darauf ein Verweitterungshorizont der Dunklen Mergel, welcher sich zunächst aus stark bindigen, halbfesten, stark verwitterten Tonsteinen und darauf folgend aus verwitterten Sandsteinen bildet. Unterhalb der des Verwitterungshorizontes stehen daraufhin das entfestigte bis leicht angewitterte Festgestein in Form von **Mergel-** bzw. **Ton-** und **Sandsteinen** der Dunklen Mergel an. Eine detailierte Beschreibung der Schichtabfolgen kann dem fortfolgenden Text entnommen werden.

Oberboden

Stratigraphisch lag bei der Bohrung P2 von Geländeoberkante bis 0,30 m u. GOK ein trocken bis schwach feuchter, brauner, schluffiger, weicher bis steifer Oberboden (Ackerkrumme) an.

Die Bohrung P3 welche auf dem Flurstück Nr.: 4642 abgeteuft wurde, zeigt von GOK bis 0,40 m u. GOK wie zu erwarten den braunen bis dunkelbraunen, schwach feuchten schluffigen Oberboden aus dem oberflächennahen Bereich der Ackerkrumme.

Bohrung P4 im westlichen Bereich des Grünstreifens der Streuobstwiese auf dem Flurstück Nr.: 4684 zeigte bis ca. 0,30 m u. GOK ebenfalls den lokal vorherrschenden, braunen schluffigen Oberboden, welcher im Gegensatz zu den Bohransatzpunkten auf der Ackerfläche (P2-P3 und P10-P11) einen höheren organischen Anteil in Form von Wurzeln aufwies.

Bei der **Sondierungsbohrung P5** weiter südwestlich auf dem Flurstück Nr.: 4684 war bis 0,30 m u. GOK der braune, stark durchwurzelte Oberboden anzutreffen.

In der auf dem Flurstück Nr.: 4685 zwischen den Weinreben gelegene Bohrung P8 lag der braune Oberboden bis 0,30 m u. GOK in einer weichen bis steifen Konsistenz vor.

Bei den Bohrungen P10 und P11 konnten relativ homogene Ablagerungsverhältnisse festgestellt werden. Ab Geländeoberkante wurde mit einer Mächtigkeit von 0,30 m bis 0,40 m u. GOK

der anstehende, hellbraune, schwach feuchte, Oberboden in einer steifen Konsistenz aufgeschlossen. Als Fremdbestandteile war Ziegelbruch mit <1% zu verzeichnen.

Lößlehm/anthropogen umgelagerte Sedimente

Bei P2 folgt darauf ein ca. 1,40 m mächtiger, dunkelbrauner, schwach feuchter, weicher, umgelagerter Lößlehmhorizont. Mit einer Mächtigkeit von ca. 3,80 m folgte eine schwach feuchte, beige bis ockerfarbene Lößschicht mit einer halbfesten Konsistenz und vereinzelten verwitterten Sandsteinstücken.

In den Bohrung P3 und P4 folgt unter dem Oberboden ein rotbrauner bis grüngrauer, toniger Horizont der anthropogen umgelagerten Dunklen Mergel.

Bei der Sondierungsbohrung P5 steht bis 2,10 m u. GOK mit einer Mächtigkeit von ca. 1,80 m, der braune bis braungraue, weich bis steife, schwach feuchte Lößlehm an, der neben Ziegelbruch kleine Sandsteinbrocken als Fremdbestandteile enthält.

Bei den Bohrungen P8, P9 und P10 herrschen im Liegenden des Oberbodens relativ homogene Ablagerungsverhältnisse festgestellt werden. Hierbei folgen unter dem Oberboden bzw. der Ackerkrumme die umgelagerten standortgleichen stark verwitterten tonigen Sedimente der Dunklen Mergel an.

Keupersedimente/ Festgestein

Bis zur Endteufe von 5,00 m u. GOK wurde in der Bohrung P1 und P2 ein mürber, ockerfarbener, schwach feuchter Sandstein erbohrt.

Bei der Sondierungsbohrung P3 folgte bis zur Endteufe von 5,00 m u. GOK ein mürber, trocken bis schwach feuchter, grüngrauer bis ockerfarbener, mergeliger Tonstein.

Bohrung P4 zeigte bis 5,00 m u. GOK einen Verwitterungshorizont, der von einer halbfesten in eine feste Konsistenz übergeht. Ab 5,00 m konnte kein weiterer Bohrfortschritt verzeichnet werden.

Die Bohrpunkte P5 und P6 weisen ab einer Teufe von 2,10 m bis 4,10 m u. GOK die angewitterten Keuperschichten des Dunklen Mergels auf, welcher mit scharfen Bruchkanten in entfestigtem Zustand vorliege. In der Bohrung P5 konnte zwischen 4,30 m bis zur Endteufe von 5,00 m u. GOK eine **Stau- bzw. Schichtwasserführung** festgestellt werden.

In der Bohrung P7 liegt bis zur Endteufe ein verwitterter, grüngrauer Sandstein in einer entfestigten bis festen Form vor.

Bei den Sondierungsbohrungen P8 und P9 wurde unterhalb des tonigen Verwitterungshorizontes, die grüngrauen bis rotbraunen, mäßig verwitterten bis entfestigten Tonsteine der Dunklen Keupermergel aufgeschlossen.

Die Bohrungen P10 und P11 weisen von 1,90 m bis zur jeweiligen Endteufe von 2,90 m die festen, beigefarbenen Sandsteine des Unteren Keupers auf.

4.2 Ergebnisse bodenmechanische Laborversuche

Aus dem Probenmaterial, welches zur Laboruntersuchung in das bodenmechanische Labor Inst. Dr. Haag, Kornwestheim verbracht wurde, geht hervor, dass der Lößlehm im Bereich P1-1,6-1,9 m mit einer Platizitätszahl Ip = 16,5 % eine leichte Plastizität aufweist und der Bodengruppe TL nach DIN 18 196 mit einer breiigen bis weichen Konsistenz zuzuordnen ist.

Die Einzelprobe P3 des verwitterten Keupermaterials, weist mit einer Plastizätszahl Ip = 12,9 % eine Konsistenz im halbfesten bis festen Plastizitätsbereich auf und ist der Bodengruppe TL zuzuordnen. Das Probenmaterial der Bohrung P5-1,5-1,8 m aus den Lößsedimenten zeigte eine steife Konsistenz mit einer Plastizitätszahl Ip = 23,6 % und fällt in die Bodengruppe TM. Die Lößsedimente der Bodenprobe P8-1,3-1,6 fällt ebenfalls in die Bodengruppe TM, wobei die Konsistenz jedoch mit einer Plastizitätszahl Ip = 29,5 % im weichen bis steifen Bereich liegt.

Aus den Laborversuchen wurden korr. Konsistenzzahlen Ic zwischen 0,47 und 0,78 jeweils eine bis auf die Bohrung P1, eine überwiegend weiche bis steife Konsistenz des plastisch bildsamen Bereichs der bindigen Lößsedimente ermittelt. Das untersuchte Probenmaterial der Bohrung P3-3,3-3,5 zeigte korrelierend zur Bodenansprache im Feld eine halbfeste bis feste Konsistenz für die Schichten aus dem Übergangsbereichs zu den mürben bzw. teils mäßig angewitterten Mergel und Tonsteinserien des Keupers. Die Laborergebnisse bestätigen somit die Ergebnisse der Bodenansprache im Feld.

Der Tabelle 1 sind die im Labor ermitteln Analyseergebnisse zur Bodenmechanik zu entnehmen.

Die natürlichen Wassergehalte der Lößsedimente bewegen sich 14,9 % und 22,4 % sowie 9,9 % bis 17,9 % der verwitterten, tonigen Keupersedimente.

Eine Untersuchung der entfestigten bis stark verwitterten „Festgesteinsproben“ zur Ermittlung der Einaxialen Druckfestigkeit war aufgrund der unzureichenden Beschaffenheit des Probenmaterials nicht möglich.

Tab. 1: Ergebnisse der bodenmechanischen Laborversuche

RKS / Tiefe [m u. GOK]	Wasser-gehalt [%]	Fließ-grenze [%]	Ausroll-grenze [%]	Plastizitäts-zahl [%]	korr. Konsis-tenzzahl [%]	Konsistenz / Bodengruppe	Schichtbe-zeichnung
P1-1,6-1,9	21,5	31,1	14,7	16,5	0,47	breiig-weich,TL	Lößlehm
P1-2,4-2,6	19,3	-	-	-	-	-	Lößlehm
P2-3,3-3,5	14,9	30,8	17,9	12,9	-	halbfest-fest,TL	Lößlehm
P3-3,3-3,5	9,9	-	-	-	-	-	verw. Keuper
P5-1,5-1,8	19,6	41,1	17,6	23,6	0,78	steif,TM	Lößlehm
P5-2,3-2,6	19,9	-	-	-	-	-	Tonstein Keu-per
P6-3,5-3,8	18,5	-	-	-	-	-	Lößlehm
P8-1,3-1,6	22,4	47,2	17,8	29,5	0,69	weich-steif,TM	Lößlehm
P10-0,4-0,9	17,6	46,6	14,2	32,4	0,86	steif,TM	verw. Keuper
P10-0,9-2,2	17,9	-	-	-	-	-	verw. Keuper

In Abhängigkeit der im Labor ermittelten bodenmechanischen Eigenschaften können folgende Kennwerte abgeschätzt werden.

Tab. 2: Korrelation bodenmechanische Kennwerte

RKS / Tiefe [m u. GOK]	Kf-Wert [m/s]	undr. Scherfestigkeit [kN/m²]	Kompressionsbeiwert Cc [-]	Konsistenz / Boden-gruppe
P1-1,6-1,9	$\sim 1{,}26 * 10^{-10}$	~25,78	~0,27	Lößlehm
P2-3,3-3,5	$\sim 9{,}47 * 10^{-10}$	~29,44	~0,26	Lößlehm
P5-1,5-1,8	$\sim 2{,}68 * 10^{-12}$	~112,3	~0,36	Lößlehm
P8-1,3-1,6	$\sim 6{,}17 * 10^{-14}$	~81,43	~0,41	Lößlehm
P10-0,4-0,9	$\sim 1{,}33 * 10^{-12}$	~107,31	~0,41	verw. Keuper

4.3 Hydrogeologische Verhältnisse

In den abgeteuften Sondierungen und Kernbohrungen wurde zum Zeitpunkt der Untersuchungen keine Grundwasserführung festgestellt bzw. sind keine Grund- oder Sickerwasserzutritte aufgetreten. Der zusammenhängende Grundwasserspiegel liegt unterhalb der jeweiligen Endtiefen und wird auf ca. 248,00 bis 250,00 m ü. NN vermutet.

Lediglich in der Bohrung P5 wurde im Teufenbereich zwischen 4,3 bis 5,0 m u. GOK (ca. 249,27 m ü. NN) eine Schichtwasserführung festgestellt. Unabhängig hiervon muss von einer Jahreszeitlichen bzw. witterungsabhängigen Sicker-/ Schichtwasserführung gerechnet werden.

Auf Grundlage der Analytik ist die aus der Bohrung **P5** gewonnen **Wasserprobe** als **„nicht betonangreifend“** zu bewerten.

Ausgehend von den Versickerungsversuchen während der Feldarbeiten konnten folgende kf-Werte ermittelt werden.

Tab. 3: Ergebnisse Versickerungsversuche

Versuch	kf-Wert [m/s]	Durchlässigkeitsbereich
S1 (toniger, schwach feinsandiger Schluff)	4,00 x10-4	stark durchlässig
S2 (toniger, schwach feinkiesiger Schluff)	2,26 x10-3	stark durchlässig
S2 (toniger, schwach feinkiesiger Schluff)	3,40 x10-4	stark durchlässig

4.4 Bodenklassen und bodenmechanische Kennwerte

Die bautechnisch relevanten Eigenschaften der angetroffen Bodenschichten sind anhand der durchgeführten Gelände- und Laboruntersuchungen in nachfolgender Tabelle zusammengestellt.

Entsprechend der aktuellen DIN 18300 (08.2015) entfällt die Angabe der Bodenklasse bzw. Felsklasse. Bei Ausschreibungen von Erdarbeiten sind entsprechend Bodenkennwerte und Bodengruppe für die jeweiligen Schichten durch Homogenbereiche nach den jeweils geltenden DIN-Normen zu bezeichnen.

Somit fallen bei Aushub- und Erdarbeiten im Bereich des Untersuchungsgeländes vorwiegend Böden, angelehnt an die nicht mehr aktuelle DIN 18300 von 12.2000, der Bodenklasse BK 4 bis BK 5 und BK6 an. Die Angaben der zu erwartenden Bodenklassen kann eine Beurteilung und Aufmaß beim Aushub nicht ersetzen.

Tab. 4: Bautechnisch relevante Eigenschaften

Schicht	Homogenbereich für GK1 nach DIN 18300	Bodengruppe nach DIN 18196	Boden- und Felsklasse nach DIN 18300	Frostempfindlichkeitsklasse nach ZTVE-StB
Oberboden	A	TM, TL	2,3	F2 - F 3
quartäre Sedimente Lößlehm (bindig) - breiig bis weich	B	TM, TL	2,3, 4	F2 - F 3
verwitterter Tonsteine/ Tone - halbfest bis fest	C	TM,TL	5, 6	F2 - F 3
Sandstein - verwittert - entfestigt	D	-	6,7	-

Aufgrund der örtlichen Bodenansprache sowie in Anlehnung an DIN 1055, Blatt 2, können für erdstatische Berechnungen folgenden Bodenkennwerte abgeschätzt werden. Für entsprechende Berechnungen ist jeweils von den ungünstigsten Verhältnissen auszugehen.

Tab. 5: Bodenkennwerte für erdstatische Berechnungen

Schicht	Wichte γ [kN/m³]	Wichte γ' [kN/m³]	Reibungswinkel ϕ' [°]	Kohäsion c' [kN/m²]	Steifemodul E_s [MN/m²]
Oberboden	19,0	9,0	22,5 – 25,0	2 - 4	-
quartäre Sedimente Löß (bindig) - breiig bis weich	18,0 - 19,0	8,0 - 9,0	22,5 – 27,5	0 - 10	4 - 8
verwitterter Tonsteine /Tone - halbfest bis fest	20,0 - 21,0	10,0 - 11,0	25,0	30	80 - 100

Schicht	Wichte γ [kN/m³]	Wichte γ' [kN/m³]	Reibungswinkel ϕ' [°]	Kohäsion c' [kN/m²]	Steifemodul E_s [MN/m²]
Sandstein - entfestigt bis angewittert	21,5 - 22,5	11,5 - 12,5	25,0 - 35,0	-	30 - >80

Die Bodenkennwerte können in Abhängigkeit der Konsistenz schwanken. Die beschrieben Konsistenzen stellen aktuelle, zum Zeitpunkt der Erkundung angetroffene Zustände dar.

Für die Erddruckermittlung im Bereich verfüllter, geböschter Arbeitsräume sind die Kennwerte des Verfüllmaterials maßgebend. Im Einzelnen werden für verdichtet eingebautes Material folgende Ansätze vorgeschlagen:

Schottergemisch	$\gamma / \gamma' = 21/11$ kN/m³, $\phi' = 35°$
Kiesgemisch	$\gamma / \gamma' = 21/11$ kN/m³, $\phi' = 32,5°$
bindiger Boden	$\gamma / \gamma' = 20/10$ kN/m³, $\phi' = 25°$

Der Standort liegt gemäß der Karte für „Erdbebenzonen in Baden-Württemberg", Ausgabe 2005, innerhalb keiner Erdbebengefährdeten Zone. Somit sind Lastfälle infolge Erdbeben für statische Betrachtungen zu vernachlässigen.

5. Bautechnische Beurteilung

5.1 Straßenbau

Im Zuge der Erdarbeiten soll der Straßenoberbau im Bereich der Trassierung neu hergestellt werden. Für die Herstellung und die Dimensionierung des Straßenaufbaus gelten die Anforderungen und Richtlinien der ZTV E-StB (zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Erdarbeiten im Straßenbau) sowie der RStO 12 (Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen). Mit Hilfe der Tafel in Anhang der RStO 12 können Aufbau-Varianten für die gewünschten Bauweisen ermittelt werden sowie die Anforderung an Planum, Frostschutz- und Tagschichten abgeleitet werden.

Gemäß RStO 12 befindet sich der Standort in der Frostwirkungszone I. Die anstehenden künstlichen Auffüllungen bzw. bindigen Böden sind der Frostempfindlichkeitsklasse F1 bis F3 zuzuordnen. Die erforderliche Dicke des frostsicheren Straßenaufbaus lässt sich anhand der Tabellen 6 und 7 der RStO 12 ermitteln. Für Verkehrsflächen der Belastungsklasse 0,3 bis 1,0 ist unter Berücksichtigung der örtlichen Verhältnisse ein frostsicherer Aufbau von d = 0,40 m bis d = 0,50 m erforderlich.

Vorrausetzung für die Anwendung der RStO 12 ist eine ausreichende Tragfähigkeit des Untergrundes. Dies kann durch Plattendruckversuche auf dem Erdplanum kontrolliert werden, wobei

ein Verformungsmodul E_{V2} größer gleich 45 MN/m² bei einem Verhältniswert von $E_{V2}/E_{V1} \leq 2,5$ zu erzielen ist.

Die aktuell unterhalb der bestehenden Schottertragschicht bzw. Oberboden angetroffenen Lößablagerungen weisen eine teils breiige bis weiche Konsistenz auf, so dass bei einer Verdichtung vor aufbringen der neuen Schottertragschicht 45 MN/m² nicht erreichbar erscheinen. Dies ist über entsprechende Lastplattendruckversuche zu überprüfen.

Falls im Rahmen der Bauausführung das Verformungsmodul einen Wert <45 MN/m² aufweist, so ist eine Erhöhung der Tragfähigkeit notwendig. Diese kann z.B. durch eine Verstärkung der Frostschutzschicht bzw. Bodenaustausch erreicht werden. Um an der OK Tragschicht einen E_{V2} größer gleich 120 MN/m² zu erreichen, wäre bei einer angenommen Tragfähigkeit von ca. 20 MN/m² eine Gesamtstärke der Tragschicht von ca. 0,55 m erforderlich. Im Bereich mit weichen Böden sind weitere 20 cm Bodenaustausch zu kalkulieren.

Die Dicke des Bodenaustausches ist vom Verformungsmodul des Untergrundes und von den Verdichtungseigenschaften des Austauschmaterials abhängig. Die endgültige Dimensionierung des Bodenaustausches sollte baubegleitend im Zusammenwirken mit dem Gutachter auf Grundlage von statischen Plattendruckversuchen nach DIN 18134 und Testfeldern erfolgen. Für den Bodenaustausch ist ein kornabgestuftes Mineralgemisch mit einem maximalen Feinkornanteil (d < 0,063 mm) von 5 % vorzusehen.

Auf der Oberfläche der Tragschicht ist je nach Bauweise (Bk0,3-Bk1,0) ein Verformungsmodul E_{V2} von 120 MN/m² - 150 MN/m² nachzuweisen. Der Verdichtungsgrad muss mindestens 103 % der optimalen Proctordichte betragen. Dies entspricht einem Verhältniswert beim statischen Lastplattendruckversuch von $E_{V2}/E_{V1} \leq 2,2$.

Der im Untersuchungsgebiet anstehende bindige Boden ist wasser- und frostempfindlich, daher ist das Erdplanum während der Arbeiten vor Durchnässung zu schützen. Weiche oder aufgeweichte Böden sind zu entfernen und durch gut verdichtbares Einbaumaterial zu ersetzen. Die Festlegung des Bodenaustausches kann erst vor Ort im Zuge einer Begutachtung des Materials im Grabenabschnitt endgültig festgelegt werden. Darüber hinaus empfehlen wir einen Zuschlag der Frostschutzschicht von +5 cm aufgrund der klimaungünstigen Lage am Bergkamm, sowie +5 cm Aufschlag, da bei einer Flachgründung temporär mit Stau- bzw. Schichtwasser höher als 1,5 m unter Planum zu rechnen ist.

5.1.2 Bauwerksgründung

Zum Zeitpunkt der Gutachtenerstellung lagen keine Angaben hinsichtlich der geplanten Gründungsart und der damit einhergehenden zu erwartenden Lasten vor. Auf Grundlage der Ergebnisse der Erkundung ist in im Tiefenhorizont der anstehenden Lößsedimenten und schluffigen Auffüllungsmaßen mit erheblichen Setzungsbeträgen zu rechnen, wobei die auftretenden Verformungen für die geplanten Bauwerke nicht verträglich sein könnten und dadurch die Anforderungen an die Sicherheits- als auch die die Gebrauchstauglichkeit beeinträchtigen können.

Sollte eine Tieferführung der Gründung hinsichtlich einer Unterkellerung im Horizont der bindigen, halbfesten bis festen Keuperschichten erfolgen, welche im Mittel zwischen 4,00 m bis 5,00 m u. GOK anstehen, so sind aufgrund des zu erwartenden Steifemoduls von 100 bis 120 MN/m² in Abhängigkeit der wirksamen Spannungsänderung unter Berücksichtigung der Schichtmächtigkeit, keine oder lediglich geringe Setzungsanteile zu erwarten.

Darüber hinaus richtet sich die Fundamentabmessung- und einbindetiefe im Falle einer einfachen Flachgründung mit Einzel- oder Streifenfundamenten nach der erforderlichen Frostsicherheit (F2-F3 Boden). Der Abstand der frostausgesetzten Fläche sollte mindestens 0,80 m zur Sohlfläche der geplanten Bauwerke betragen. Bei einer etwaigen Unterkellerung ist die Frosteinwirkung i.d.R. zu vernachlässigen, jedoch sind Einfahrtsbereiche (Tiefgarage) zu berücksichtigen. Bei nicht unterkellerten Bauwerken ohne umlaufende Streifenfundamente sind Frostschürzen zu errichten.

Aufgrund der hohen Wasseraufnahme- und Abgabefähigkeit unterliegen Lößböden der Schrumpfgefahr, um Folgeschäden durch Setzungserscheinungen zu vermeiden empfiehlt es sich bei der Begrünung der Wohnsiedlung die Einbindetiefe von Wurzelstöcken in unmittelbarer Nachbarschaft von Verkehrswegen und Wohnbauten tiefer zu ziehen.

Die Dimensionierung der Fundamentbreiten und Einbindetiefe sollte über Variationen im Vorfeld geprüft werden. Eine Konditionierung des Baugrundes ist in Anbetracht der ungünstigen Baugrundverhältnisse der Schichtungen im oberflächennahen Bereich, in Erwägung zu ziehen.

Alternativ wäre eine Gründung mittels einer dynamisch gebetteten Bodenplatte denkbar. Der Bauablauf sollte im Rahmen des Controllings so gesteuert werden, dass unverzüglich nach dem auskoffern, die Aushubsohle unverzüglich überbaut wird. Zur Verhinderung von kapillarem Feuchtigkeitsaufstieg und zur geordneten Verlegung einer Bewehrung sollte eine Sauberkeitsschicht aufgetragen werden, wobei sich eine Körnung von C8/10 anbietet.

Sofern Wärmeschutzmaßnahmen zu berücksichtigen sind, so ist unter der Bodenplatte eine Wärmedämmplatte einzubringen.

5.2 Kanal- und Leitungsgräben

5.2.1 Baugruben

Bei der Herstellung von Kanalgräben sind die Richtlinien der DIN 4124 zu beachten. Danach können die verbauten Gräben bis zu einer Tiefe von maximal 1,25 m mit senkrechten Wänden hergestellt werden. Tiefere Gräben sind zu böschen oder zu verbauen.

Reichen die Platzverhältnisse zur Anlegung freier Böschungen aus, können die Böschungen unter Beachtung der DIN 4124 im Bereich der steifen Böden mit einer Neigung bis zu 60° angelegt werden. Innerhalb der Auffüllungen bzw. steifen Hangschuttablagerungen ist mit 45° zu böschen. Diese Angaben gelten nur für Böschungshöhen < 5 m. Böschungen mit einer Höhe von > 5 m erfordern einen Standardsicherheitsnachweis. Freie Baugrubenböschungen sollten grundsätzlich gegen Witterungseinflüsse geschützt werden. Nähere Hinweise zum Anlegen von Schutzstreifen und Bermen sind der o.g. DIN aufgeführt.

Aufgrund der anzusetzenden Aushubtiefen im Bereich des Kanals sowie der Örtlichkeiten dürfte jedoch zum großen Teil ein fachgerechter Verbau der Gräben erforderlich werden. Hierfür bietet sich die Verwendung von genormten Verbausystemen oder die Herstellung eines insbesondere bei häufig kreuzenden Kabel- und Rohrleitungen vorteilhaften, konventionellen Trägerbohlenverbaus an.

Es ist zu beachten, dass ein Verbau mit vorauseilendem Erdaushub und anschließender Sicherung des Grabens mit einem nicht kraftschlüssigen Verbau Spannungsumlagerungen im benachbarten Untergrund bewirkt, welche Setzungen oder Sackungen bin hin zur Geländeoberkante verursachen können. Es muss daher sichergestellt werden, dass bereits vorhandene Bauteile nicht setzungsempfindlich bzw. keine unzulässigen Verformungen erfahren.

Der Rückbau bzw. das Ziehen der Verbauelemente muss vor der Verdichtung der jeweils eigebrachten Schüttlage erfolgen. Dadurch können Hohlräume zwischen anstehenden Untergrund und Verfüllung vermieden werden.

Sofern z.B. aufgrund begrenzter Reichweiten von Hebefahrzeugen kein ausreichender Abstand zu Böschungen bzw. einem Verbau eingehalten werden kann, müssen die Verkehrslasten bei Ermittlung des zulässigen Böschungswinkels bzw. der bei der statischen Bemessung des Verbaus berücksichtigt werden.

Gemäß der Untersuchungsergebnisse ist nicht mit Grundwasserzutritten zu rechnen. Es sind lediglich Maßnahmen zur Ableitung von in die Baugrube eindringenden Niederschlags- bzw. Oberflächenwasser vorzusehen.

5.2.2 Rohrauflager

Im Bereich mit mindestens steifer Konsistenz sind erfahrungsgemäß keine Stabilisierungsmaßnahmen in Form von Bodenaustausch vorzunehmen, da die Wiederbelastung des Bodens durch das Bauwerk die Aushubentlastung im Regelfall nicht übersteigt und deshalb nicht mit relevanten Setzungen zu rechnen ist. Bei mindestens steifer Konsistenz ist eine geringmächtige Sauberkeitsschicht als Auflager ausreichend.

In der Bohrungen wurden im Schichtaufbau überwiegend weiche bis steife Lößsedimente bis in eine Tiefe von max. 3,00 m u. GOK angetroffen. Die halbfesten bzw. mitteldicht bis dichten Hangschuttablagerungen sind der Bodenklasse BK 5-6 und die Ton- bzw. Kalksteine untergeordnet der BK 7 nach DIN 18300 zuzuordnen. Zum Lösen sind daher besondere Maßnahmen erforderlich.

Bei diesen festgestellten Untergrundverhältnissen genügt ein Sand-Kies-Auflager nach DIN EN 1610 als Rohrbettung einzubringen. Es ist darauf zu achten, dass die nach DIN EN 1610 geforderten Mindestdicken des Auflagers eingehalten werden. Bei den felsartigen Schichten treten Lastkonzentrationen in der Sohle auf. Um den entgegenzuwirken, sollte das Auflager bei Rohren von DN 500 und größer an der Sohllinie mit einer Mächtigkeit von mindestens 10 cm + 1/5 der Rohrnennweite ausgeführt werden.

5.2.3 Grabenverfüllungen

Als Füllboden für die Leitungszone ist in der Regel Boden der Klasse V1 mit einem Größtkorn von 20 mm zu verwenden, wobei der Sandanteil überwiegen muss. Dieses Material kann örtlich nicht gewonnen werden und ist deshalb als Fremdmaterial bereitzustellen.

Für die Verfüllung von Leitungsgräben sind die Verdichtungsanforderungen gemäß ZTVA-StB maßgebend. In Abhängigkeit des verwendeten Einbaumaterials werden nachfolgende Verdichtungsgrade D_{Pr} angegeben.

- In der **Leitungszone**

  Grobkörniger Boden mit Größtkorn 20 mm $D_{Pr} \geq 97\%$

- In der **Verfüllzone beim Einbau von bindigen und gemischtkörnigen Böden** der Bodengruppen GU*,GT*, SU*, ST*, U und T

  OK Leitungszone bis 0,50 m unter Planum $D_{Pr} \geq 95\%$
  (Es wird empfohlen, mindestens einen Verdichtungsgrad $D_{Pr} \geq 97\%$ zu fordern, um nachträgliche Sackungen zu reduzieren).
  0,50 m unter Planum bis OK Planum $D_{Pr} \geq 97\%$

- In der **Verfüllzone beim Einbau von gemischtkörnigen Böden** der Bodengruppen GU, GT, SU und ST

OK Leitungszone bis 0,50 m unter Planum	$D_{Pr} \geq 97\%$
0,50 m unter Planum bis OK Planum	$D_{Pr} \geq 100\%$

- In der **Verfüllzone beim Einbau von grobkörnigen Böden** der Bodengruppen GW, GI, GE, SW, SI und SE

OK Leitungszone bis 0,50 m unter Planum	$D_{Pr} \geq 98\%$
0,50 m unter Planum bis OK Planum	$D_{Pr} \geq 100\%$

Der Verdichtungsgrad ist zu kontrollieren und nachzuweisen. Die Eigen- und Fremdüberwachung der verwendeten Materialien sowie der Verdichtungsarbeiten sollte im vorgeschriebenen Umfang gemäß den geltenden Vorschriften (ZTVE-StB, ZTVA-StB) erfolgen. Um gegebenenfalls rechtzeitig geeignete Maßnahmen ergreifen zu können, sind die Kontrollprüfungen bereits zu Beginn der Maßnahme und kontinuierlich durchzuführen.

Die Schütthöhe für den lagenweisen Einbau bzw. Verdichtung sind in Abhängigkeit von der Bodengruppe bzw. dem Verdichtungsgerät zu wählen. Beim Einsatz eines leichten Verdichtungsgerätes ist eine Schütthöhe von 20 cm zu wählen. Beim Einsatz von mittleren bzw. schweren Verdichtungsgeräten kann eine Schütthöhe von 30 cm ausgeführt werden. Zum Schutz der Leitungen ist darauf zu achten, dass durch das Verdichtungsgerät keine unzulässige Beanspruchung der Rohre entsteht. Generell ist bis 1 m über Rohrscheitel mit leichtem Gerät zu verdichten.

5.3 Versickerung

Gemäß ATV-Arbeitsblatt A 138 sind für Versickerungen generell Locker- und Festgesteine mit Durchlässigkeitsbeiwerten von $k_f = 5 * 10^{-3}$ bis $5 * 10^{-6}$ m/s geeignet.

In den Versickerungsversuchen **S1**, **S2 und S3** wurde der oberflächennahe Boden als stark durchlässig nach DIN 18130-1 ermittelt. Die im Untersuchungsgebiet angetroffenen quartären bzw. anthropogenen Deckschichten **eigenen** sich daher grundsätzlich zur oberflächennahen **Wiederversickerung** von anfallenden Oberflächen- und Drainagewasser. Aufgrund der anstehenden tonigen Schichten ist jedoch mit Staunässe bzw. nur sehr geringer Ableitung in tiefere Schichten zu rechnen.

Die angetroffenen Bodenschichten sind Anhand der durchgeführten Versickerungsversuche (Tabelle 6) nach DIN 18130 wie folgt einzustufen:

Tab. 6: Ergebnisse Versickerungsversuche

Versuch	kf-Wert [m/s]	Durchlässigkeitsbereich
S1 (toniger, schwach feinsandiger Schluff)	4,00 x10-4	stark durchlässig
S2 (toniger, schwach feinkiesiger Schluff)	2,26 x10-3	stark durchlässig
S2 (toniger, schwach feinkiesiger Schluff)	3,40 x10-4	stark durchlässig

Eine Versickerung des Oberflächenwassers über tiefere Sickerschächte ist nur bedingt möglich und sollte im Einzelfall über **Schluckversuche** überprüft werden. Alternativ wäre eine Abführung des anfallenden Oberflächenwassers über Rigolen bzw. Ringdrainagen denkbar.

Entsprechend der geplanten Bebauung reduziert sich die Grundwasserneubildungsrate entsprechend dem Grad der Oberflächenversieglung. Für Bereiche mit Einfamilienhäusern (ca. 35-40%Versiegelung), Mehrgeschosswohnungsbau mit Tiefgaragen (ca. 75-80 % Versiegelung) sowie Verkehrsflächen (Wege, Zufahrtstraßen und Parkplätze- 75-100% Versiegelung) reduziert sich die im aktuellen Zustand zu ermittelnde Grundwasserneubildungsrate entsprechend.

Bezüglich der Niederschlagsrate sind 646 mm/a im langjährigen Mittel zu erwarten sowie bei der derzeitigen Oberflächenversiegelung von <5% kann die Grundwasser-Neubildung mit ca. 150 – 200 mm/a abgeschätzt werden.

Die Versickerung von unbelastetem Oberflächenwasser auf Freiflächen außerhalb von Wasserschutzgebieten unterliegt keinen besonderen Vorschriften bzw. Gesetzen. Wird das Wasser jedoch **gezielt** mit besonderen Einrichtungen **versickert**, gilt dies als Einleitung in ein Gewässer und Bedarf einer **wasserrechtlichen Erlaubnis**. Dies gilt insbesondere auch für Oberflächenwasser aus dem Bereich von Straßen, da Belastungen nicht ausgeschlossen werden können.

5.4 Verwertbarkeit von Böden

Zur setzungsarmen Verfüllung im Bereich von Verkehrsflächen und Arbeitsräumen sind bindige Böden nur in mindestens halbfester natürlicher Konsistenz, bei Wassergehalten nahe dem optimalen Proctor-Wassergehalt, ausreichend verdichtbar. Dies trifft bei den örtlich anstehenden schluffigen Böden im oberflächennahen Bereich teilweise nicht zu. Der Aushub ist daher zur Wiederverfüllung von Leitungsgräben im Bereich von Verkehrsflächen und Arbeitsräumen nur eingeschränkt geeignet.

Die Aushubmassen mit zu hohen natürlichen Wassergehalt können durch Behandeln z.B. mit Weißfeinkalk einbaufähig gemacht werden. Überschlägig kann von einer Verringerung des Wassergehaltes von 1 % bis 2 % bei Zugabe von einem Gewichtsprozent Kalk ausgegangen werden. Zur Festlegung der benötigten Kalkmenge empfehlen wir, an dem zum Wiedereinbau vorgesehen Erdaushub Proctorversuche durchzuführen.

Die tieferen Bodenschichten der steifen bis halbfesten Tonsteine ?? erscheinen zum Wiedereinbau geeignet.

6. Abfallwirtschaftliche Einstufung

6.1 Bewertungsgrundlage

Für die Einstufung von Abfällen zu Ablagerung auf Deponien sind in der Deponieverordnung (DepV) Zuordnungswerte angegeben. In der DepV, Anhang 3 wird die Zuordnung für die Deponieklassen DK 0, DK I, DK II und DK III geregelt.

Die Verwertung von als Abfall eingestuftem Bodenmaterial wird über die „Verwaltungsvorschrift des Umweltministeriums Baden-Württemberg für die Verwertung von als Abfall eingestuftem Bodenmaterial“ vom 14.03.2007 geregelt. Die „VwV-Boden“ gilt für Bodenmaterial, das in bodenähnlichen Anwendungen unterhalb der durchwurzelbaren Bodenschicht, z. B. zur Verfüllung von Abgrabungen und für landwirtschaftliche Maßnahmen sowie technischen Bauwerken verwertet werden soll. Die Anforderungen an die Qualität von Bodenmaterial im Hinblick auf die Umweltverträglichkeit erfolgt über die Zuordnungswerte Z 0, Z 0*, Z 1.1, Z 1.2 und Z 2.

Bei Unterschreitung der Zuordnungswerte Z 0 ist im Allgemeinen ein uneingeschränkter Einbau des Bodenmaterials möglich. Die Zuordnungskategorien Z 1 (Z 1.1 und Z 1.2) stellen die Obergrenzen für den offenen Einbau unter Berücksichtigung bestimmter Nutzungseinschränkungen dar. Hierbei werden insbesondere die hydrogeologischen Voraussetzungen berücksichtigt (Z 1.1 ungünstige, Z 1.2 günstige Verhältnisse). Die Zuordnungswerte Z 2 stellen die Obergrenze für den Einbau von Boden mit definierten technischen Sicherungsmaßnahmen dar. Bei Überschreitung der Z 2-Werte ist ein Einbau bzw. eine Ablagerung auf einer Deponie erforderlich. Hierbei finden die Grenzwerte nach DepV Anwendung.

Für die abfallwirtschaftliche Einstufung von Straßenaufbruch ist in Anlehnung an den „Leitfaden zum Umgang mit teerhaltigem Straßenaufbruch“ vom Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Verkehr Baden-Württemberg (März 2010) ab einem PAK-Gehalt von 200 mg/kg bzw. B(a)P-Gehalt von 50 mg/kg als teerhaltig vorzunehmen.

Die jeweilige abfallwirtschaftliche Einstufung ist in den Tabellen mit den Analysenergebnissen angefügt.

6.2 Analysenergebnisse Straßenaufbau

Die aus der Schwarzdecke entnommenen Asphaltproben wurden auf polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) und Phenole analysiert. Der darunterliegende Schotterunterbau wurde auf PAK sowie Chloride und der Unterbau auf die Leitparameter gem. VwV Boden Baden-Württemberg und DepV untersucht.

Die Analysenergebnisse der untersuchten Proben sind in folgender Tabelle zusammengefasst. Die vollständigen Laborberichte der chemischen Untersuchungen sind als Anlage 6 beigefügt.

Tab. 7: Analysenergebnisse (Schwarzdecke, Schottertragschicht, Unterbau)

Schichtein-heit	Probe	PAK [mg/kg]		Phenole [mg/l]	Einstufung nach LFS1)	VwV/DepV-Einstufung
		PAK [mg/kg]	Benzo(a) pyren [mg/kg]			
Schwarzdecke	P1-AK	0,07	<0,01	<0,010	„nicht teerhaltig“	-
	P6-AK	0,20	0,02	<0,010	„nicht teerhaltig“	-
	P7-AK	0,15	0,01	<0,010	„nicht teerhaltig“	-
	P9-AK	0,07	<0,01	<0,010	„nicht teerhaltig“	-
Schottertrag-schicht	P1-0,26-0,40	0,01	<0,01	-	-	Z0/DK0
	P6-0,1-0,40	n.n.	<0,01	-	-	Z0/DK0
	P7-0,1-0,40	n.n.	<0,01	-	-	Z0/DK0
	P9-0,1-0,30	n.n.	<0,01	-	-	Z0/DK0
Unterbau	P1-08-1,0	n.n.	<0,01	<0,010	-	Z1.1/DK0
	MP IV (P6-1,5-1,8) (P7-1,5-1,8)	n.n.	<0,01	<0,010	-	Z1.1/DK0

1) = Leitfaden zum Umgang mit teerhaltigem Straßenaufbruch, Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Verkehr Baden-Württemberg, März 2010, nicht teerhaltig (PAK>/< 200 mg/kg)

2) = nur untersuchte Parameter

n.n. = nicht quantifizierbar, - = nicht untersucht

6.3 Bewertung der Untersuchungsbefunde Straßenaufbau

Schwarzdecke (gebundener Oberbau):

In den untersuchten Proben aus der **Schwarzdecke** der Haigernstraße **(P1)**, Fleiner Straße **(P6 und P7)** als auch der Zufahrt zu den Landwirtschaftsgebäuden **(P9)** auf dem Flurstück Nr.: 4685 wurde keine Überschreitung der PAK-Konzentrationen nachgewiesen, so dass eine Einstufung nach dem „Leitfaden zum Umgang mit teerhaltigem Straßenaufbruch“ als **„nicht teerhaltig“** erfolgen kann. Der Phenolindex liegt bei allen Proben mit <0,010 mg/l unterhalb der Einstufungsgrenzen der VwV Boden Baden-Württemberg.

Schottertragschicht (ungebundener Oberbau):

Analog zu den Untersuchungsergebnissen der Schwarzdecke, konnte in keiner der Analysierten Proben der Schottertragschicht eine Überschreitung der Prüfwerte PAK und Chlorid nachgewiesen werden. Somit ist eine Einstufung der **Schottertragschicht** für die Untersuchungspunkte P1, P6, P7 und P9 nach **VwV Boden-Baden Württemberg zu Z 0 und nach DepV bzw. Handlungshilfe zu DK 0** vornehmen.

6.4 Analysenergebnisse Mischproben

Zur abfalltechnischen Bewertung der Aushubmassen wurden aus den Sondierungen tiefenorientierte Bodenproben entnommen und unter Berücksichtigung der lokalen Zuordnung zu repräsentativen Mischproben MP II bis MPVI zusammengefasst. Das Probenmaterial der Grün- bzw. Landwirtschaftsflächen aus dem Bereich des Oberbodens bzw. der Ackerkrumme auf Pestizide, Herbizide und Kupfer untersucht.

Die Mischproben des Untergrundes der gesamten Fläche wurde auf den Untersuchungsumfang der VwV Boden Baden-Württemberg und DepV untersucht. Die Zuteilung des Probenmaterials der Bohrung P1 zu einer Mischprobe ist aufgrund der Genese nicht sinnvoll, daher wurde das Probenmaterial des Unterbaus der Bohrung P1 gesondert auf den Umfang der Parameter gem. VwV Boden Baden-Württemberg und DepV analysiert.

Die Probe **„MP II“** enthält Bodenmaterial aus den Bohrungen P2 und P3. Die Mischproben **„MP III“** enthält Bodenmaterial aus den Sondierungen P3 und P4. Die untersuchte Mischprobe **„MP IV“** setzt sich aus dem Probenmaterial der Bohrungen P6 und P7 zusammen. Darüber hinaus repräsentiert die Mischprobe **„MP V“** den Unterbau der Bohrungen P8 und P9 und die Mischprobe **„MP VI“** das Material aus den Bohrungen P10 und P11.

In nachfolgender Tabelle sind die Analysenergebnisse zusammengefasst und die jeweilige Zuordnungsklasse der analysierten Mischprobe angegeben.

Tab. 8: Analysenergebnisse (Mischproben)

Parameter		P1	MP II	MP III	MP IV	MP V	MP VI
Feststoff							
EOX	[mg/kg]	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50
Glühverlust	[%]	3,1	3,6	4,2	3,7	3,7	5,3
TOC	[%]	0,20	0,20	0,50	0,20	0,10	0,14
MKW C10-C40	[mg/kg]	<50	<50	<50	<50	<50	<50
Lipophile Stoffe	[%]	0,025	<0,020	<0,020	<0,020,	<0,020	<0,020
Cyanide	[mg/kg]	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
BTEX	[mg/kg]	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
LHKW	[mg/kg]	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
PAK	[mg/kg]	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
PCB_7	[mg/kg]	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Arsen	[mg/kg]	**16**	8,3	9,6	**21**	**23**	**27**
Blei	[mg/kg]						14
Cadmium	[mg/kg]	<0,30	<0,30	<0,30	<0,30	<0,30	<0,30
Chrom	[mg/kg]	38	35	44	39	30	58
Kupfer	[mg/kg]	18	10	35	32	15	31
Nickel	[mg/kg]	27	36	37	31	30	**55**
Quecksilber	[mg/kg]	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Thallium	[mg/kg]	<0,40	<0,40	<0,40	<0,40	<0,40	0,43
Zink	[mg/kg]	68	43	52	58	46	63
Eluat							
pH-Wert		8,7	8,7	8,1	8,4	8,6	7,5
el. Leitfähigkeit	[µS/cm]	150	67	59	67	72	33
Geh. gel. Festst.	[mg/l]	92	320	20	48	49	<20
Chlorid	[mg/l]	21	<0,50	<0,50	<0,50	0,91	<0,50
Fluorid	[mg/l]	0,45	0,22	0,51	<0,10	0,35	<0,10
Sulfat	[mg/l]	4,5	<0,50	<0,50	2,7	2,1	4,5
DOC	[mg/l]	1,0	0,81	1,2	0,64	0,66	0,71
Cyanide ges.	[mg/l]	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Cyanide l. f.	[mg/l]	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Phenolindex	[mg/l]	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010
Antimon	[mg/l]	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005
Arsen	[mg/l]	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Barium	[mg/l]	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010
Blei	[mg/l]	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Cadmium	[mg/l]	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Chrom, ges.	[mg/l]	0,0029	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003
Kupfer	[mg/l]	0,0035	0,0023	0,0053	<0,002	<0,002	0,0023
Molybdän	[mg/l]	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003
Nickel	[mg/l]	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003
Quecksilber	[mg/l]	<0,00002	<0,00002	<0,00002	<0,00002	<0,00002	<0,00002
Selen	[mg/l]	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Thallium	[mg/l]	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Zink	[mg/l]	3,5	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Zuordnung nach „VwV-Boden“		**Z1.1**	**Z0**	**Z0**	**Z1.1**	**Z1.1**	**Z1.1.**
Deponieklasse nach DepV		**DK0**	**DK0**	**DK0**	**DK0**	**DK0**	

n.n. = nicht quantifizierbar

Der Analysenumfang wurde entsprechend der Verwaltungsvorschrift des Umweltministeriums Baden-Württemberg für die Verwertung von als Abfall eingestuften Bodenmaterial vom 14.03.2007, nachfolgend als „VwV-Boden" bezeichnet, sowie nach der Deponieverordnung (DepV) vom April 2009 gewählt. Die entsprechenden Laborberichte sind der Anlage 5.2 zu entnehmen.

6.5 Bewertung Analysenergebnisse Mischproben

Die abfallwirtschaftliche Einstufung der untersuchten **Mischproben MP II und MP III** des analysierten Bodenmaterials ergaben keine Auffälligkeiten hinsichtlich der Leitparameter gem. VwV Boden Baden-Württemberg und DepV, so dass für das Probenmaterial MP II und MP III eine Zuordnung **nach VwV Boden zu Z 0 bzw. nach DepV zu DK 0** vorzunehmen ist.

Das Probenmaterial der Proben **P1, MP IV** und **MP V** ergibt aufgrund des leicht erhöhten Arsengehalts von 16 mg/kg im Feststoff, sowie 21 mg/kg, 23 mg/kg und 27 mg/kg der Mischproben MP IV und MP VI eine Klassifizierung nach **VwV Boden Baden-Württemberg zu Z1.1 und DepV zu DK0**.

6.6 Bewertung Analysenergebnis Pestizide/Herbizide

Bei den untersuchten Bodenproben aus dem Bereich des **Oberbodens** der freien Feldlage bzw. landwirtschaftlichen Flächen (Sondierpunkte P2, P3, P4, P5, P8, P10 und P11) waren **keine Schadstoffeinträge durch Pflanzenschutzmittel** nachweisbar.

Auch die **Kupfer-Konzentrationen** lagen im Bereich zwischen 21 mg/kg und 110 mg/kg Kupfer, und sind mit Ausnahme von P8 0,1-0,3 als **Z0** nach VwV Boden sowie bei P8 als **Z1.1** nach VwV Boden einzustufen.

7. Schlussbemerkung

Die im Gutachten aufgeführten Angaben beziehen sich auf die Untersuchungsstellen. Aufgrund der punktuellen Erkundung sind Abweichungen von den im Gutachten enthaltenen Aussagen nicht auszuschließen.

Daher sind eine sorgfältige Überwachung der Erdarbeiten und eine laufende Überprüfung der angetroffenen Bodenverhältnisse erforderlich. Auch die Angabe der Bodenklassen kann ein Aufmaß an Ort und Stellen nicht ersetzten. In Zweifelsfällen sollte der Gutachter herangezogen werden.

Für ergänzende Erläuterungen sowie zur Klärung der im Verlauf der weiteren Planung und Ausführung noch offenen Fragen stehen wir gerne zu Verfügung.

Th. Martin
Dipl.-Geologe
Geschäftsführer

A. Deutschle
M. Sc.-Hydrogeologie
Projektbearbeiter

J. W. Drebenstedt
B. Eng.-Geotechnik
Projektbearbeiter