

## Geotechnischer Bericht gemäß DIN 4020

**Projekt:** Industriegroßflächenentwicklung  
Waltershausen/Hörselgau

**Auftraggeber:** LEG THÜRINGEN  
Mainzerhofstraße 12  
99084 Erfurt

**Auftragsdatum:** 12. Juli 2011

**Projekt Nr.:** 20110714-10003

**Verfasser:** Dipl.-Ing. Elmar Dräger  
Dipl.-Ing. Doreen Weinrich

**Erstellungsdatum:** 30. September 2011

**Ausfertigung:** PDF

Aegidienstraße 14  
37308 Heilbad Heiligenstadt  
Telefon 036 06 / 55 40-0  
Telefax 036 06 / 55 40 40

Büro Leipzig:  
Bautzner Straße 67  
04347 Leipzig  
Telefon 03 41 / 2 30 66 96-0  
Telefax 03 41 / 230 66 9 66

www.geotechnik.com  
info@geotechnik.com

Geschäftsführer:  
Elmar Dräger  
Diplom-Ingenieur

Mitgliedsnr. 1447-95-BI  
INGENIEURKAMMER THÜRINGEN  
Beratender Ingenieur



FGSV · DGGT · VSVI

Geothermische  
Vereinigung

Bundesverband  
WärmePumpe



Qualitätsmanagement  
DIN EN ISO 9001 : 2008  
Zertifikat-Nr.: 4.05.0225

RAP-Strä Prüf stelle

Betonprüfstelle  
VMPA-zertifiziert

Zertifiziertes Fachunternehmen  
DVGW-Arbeitsblatt W 120  
Zertifikat-Nr.: 7.01.0065

**INHALTSVERZEICHNIS**

	Seite
1. BAUVORHABEN .....	4
2. BAUGRUND .....	4
2.1 Morphologie, Bebauung und Bewuchs .....	4
2.2 Geologie .....	5
2.3 Hydrogeologie / Hydrologie .....	7
3. UNTERSUCHUNGEN .....	7
3.1 Lage, Art, Umfang und Zeitpunkt der Bodenaufschlüsse .....	7
3.2 Laboruntersuchungen .....	9
4. UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE .....	10
4.1 Baugrundprofil mit Klassifizierung und Eigenschaften der Bodenschichten .....	10
4.2 Berechnungskennwerte .....	16
4.3 Grundwasser.....	17
4.3.1 Grundwasserverhältnisse.....	17
4.3.2 Überprüfung der Versickerungsfähigkeit .....	18
4.3.3 Grundwasseranalyse .....	23
4.4 Standsicherheit .....	24
4.4.1 Tragfähigkeit .....	24
4.5 Bodenmechanik .....	25
4.5.1 Laborprogramm .....	25
4.5.2 Ergebnisse .....	25
4.5.2.1 Natürliche Wassergehalte .....	25
4.5.2.2 Siebanalysen .....	26
4.5.2.3 Zustandsgrenzen .....	26
4.5.2.4 Glühverluste.....	27
5. BAUGRUNDBEURTEILUNG UND BAUTECHNISCHE HINWEISE .....	27
5.1 Allgemeine Bebaubarkeit .....	27
5.2 Kanalbau.....	28
5.3 Wasserhaltung und Abdichtung .....	29
5.4 Böschungen/Baugruben.....	29
5.4 Straßenbau.....	30
5.4.1 Erdbau .....	30

5.4.2	Oberflächenbefestigungen .....	31
5.5	Frostschutz .....	31
5.6	Sonstiges .....	32

## **UNTERLAGEN**

- [1] Regionalplan
- [2] Lageplan (1 : 5.000)
- [3] Luftbild
- [4] vgs Ingenieure Dr. Köhler & Kirschstein GmbH  
Baugrundvoreinschätzung  
Industriegebiet Waltershausen  
Erfurt, 13.03.2009
- [5] BIGUS GmbH  
Baugrundgutachten Stufe Voruntersuchung nach DIN 4020  
Weimar, 19.05.2009
- [6] Geologische Übersichtskarte von Thüringen (1 : 400.000)
- [7] Hydrogeologische Übersichtskarte der DDR, Blatt Gotha,  
Hydrogeologische Grundkarte mit Erläuterungen (1 : 200.000)
- [8] Hydrogeologische Karte der DDR, Blatt  
1202-1/2, Grundkarte, Karte der Hydroisohypsen, Karte der Hyd-  
rogeologischen Kennwerte, Karte der Grundwassergefährdung (1 : 50.000)
- [9] Ingenieurgeologische Karte, Karte der Auslaugungserscheinun-  
gen, Blatt Gotha (1 : 100. 000)
- [10] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen,  
Arbeitsgruppe Erd- und Grundbau  
Merkblatt zur Felsbeschreibung für den Straßenbau, Köln, 1992
- [11] Leitungspläne der Versorgungsträger

**ANLAGEN**

- |     |                                      |            |
|-----|--------------------------------------|------------|
| 1.  | ÜBERSICHTSPLAN                       | 1 : 50.000 |
| 2.  | AUFSCHLUSSPLAN                       | 1 : 750    |
| 3.  | SCHNITTE                             | 1 : 50     |
| 3.1 | Schnitt I - I                        |            |
| 3.2 | Schnitt II - II                      |            |
| 3.3 | Schnitt III - III                    |            |
| 4.  | CHEMISCHE ANALYTIK EINER WASSERPROBE |            |
| 5.  | BODENMECHANIK                        |            |
| 5.1 | Wassergehalte                        |            |
| 5.2 | Körnungslinien                       |            |
| 5.3 | Zustandsgrenzen                      |            |
| 5.4 | Glühverluste                         |            |
| 6.  | SCHICHTENVERZEICHNISSE               |            |

## **1. BAUVORHABEN**

Die Landesentwicklungsgesellschaft Thüringen (LEG), Mainzerhofstraße 12, 99084 Erfurt, plant die

### **Industriegroßflächenentwicklung Waltershausen/Hörselgau,**

in der Gemarkung Waltershausen (Flur 9), Gemarkung Hörselgau (Flur 5 und 6) und Gemarkung Wahlwinkel (Flur 4). Das geplante Gebiet umfasst eine Gesamtfläche von ca.:

$$A = 180 \text{ ha.}$$

Für die weitere Planung der Erschließungsmaßnahmen sind unter Berücksichtigung der geotechnischen Vorschriften DIN EN 1997, Eurocode 7 und der nationalen Anhänge (DIN 4020, DIN 1054-2005) ergänzende flächendeckende Baugrunduntersuchungen erforderlich. Die Ergebnisse werden in diesem Bericht zusammengefasst.

## **2. BAUGRUND**

### **2.1 Morphologie, Bebauung und Bewuchs**

Das geplante Industriegebiet wird im Norden durch die Bundesautobahn A 4 und im Süden durch die Landesstraße L 1027, Ortsverbindung Waltershausen-Wahlwinkel begrenzt. Im Osten erfolgt die Begrenzung durch die geplante Ortsumgehung, im Westen durch die Bahnnebenstrecke Fröttstadt-Friedrichroda bzw. durch die Waltershäuser Straße. Im Osten befindet sich der Vorfluter „Hörsel“.



Abb. 1: Ansicht des nordwestlichen Bereichs



Abb. 2: Blick aus Osten



Abb. 3: Blick aus Süden

Das gesamte Gelände wurde zum Untersuchungszeitpunkt landwirtschaftlich genutzt, die bestehenden Felder waren abgeerntet. Durchschnitts wird die Gesamtfläche durch mehrere Feldwege, an denen z. T. Bäume stehen. Nach vorliegenden Informationen wird das Gebiet durch Felddränagen und offene Gräben entwässert. Über das Gebiet verlaufen mehrere Freileitungen.

Die Fläche fällt von Süden nach Nordosten ein, so dass zwischen dem Hochpunkt unserer Sondierung RKS 7 und dem Tiefpunkt, Standort der Sondierung RKS 1 ein größter Höhenunterschied von 12,5 m besteht.

## **2.2 Geologie**

Die Gesteinsfolge im Untergrund wird nach den geologischen Kartenunterlagen und aus dem Untersuchungsbefund aus Halbfest- und Festgesteinen des

### **Mittleren Keuper (Gipskeuper)**

gebildet. Der Gipskeuper besteht aus roten bis grauioletten Tonsteinen. Im oberen Profilanteil sind diese Halbfest- und Festgesteine in Folge von quartärzeitlichen Verwitterungsprozessen z. T. kleinstückig zersetzt bzw. zu Ton und Schluff replastifiziert. Der Verwitterungsersatz des Mittleren Keuper wurde mit den Sondierungen RKS 6 und RKS 7 ab 1,40 m und ab 2,50 m unter Gelände in Form von halbfestem bis festem, schluffigen Ton und tonigen Schluff erbohrt. In unverwitterter Abfolge tritt der Keuper in der Regel in kompakter felsiger Ausbildung auf.

Innerhalb der geologischen Formation des Mittleren Keuper können Erdfälle aufgrund von Subrosionsvorgängen (Gipsauslaugungen) im Untergrund entstehen. Aus dem Untersuchungsbefund ergeben sich jedoch keine Hinweise auf Erdfälle bezüglich des Standortbereiches. Gemäß der Ingenieurgeologischen Karte [9] ist der Untersuchungsbereich der Subrayons B-b-I-4 („sehr weitspannige flache und bruchlose Einsenkungen bei Gips-Tonstein-Wechselagerungen“) zuzuordnen. Innerhalb der plattigen bis dünnbankigen Einlagerungen aus Gips, können insofern kleine Hohlräume bzw. Auflockerungszonen auftreten. Derartige Hinweise gibt es im Planungsareal jedoch nicht. Senken oder erdfallähnliche Erscheinungen konnten nicht kartiert werden.

Der Keuper-Festgesteinshorizont und seine entfestigte Verwitterungszone werden von quartäre Lockergesteinen, dessen Dicke zwischen ca. 1,5 m bis > 4,2 m schwankt, überlagert. Hierbei findet im westlichen Bereich eine Überdeckung von Terrassenablagerungen des Vorfluters „Hörsel“ statt. Diese bestehen nur im südwestlichen Bereich aus Sand- und Kiesböden und im mittleren und nordwestlichen Bereich aus Sand- und Schluffböden. Zur Geländeoberfläche werden die Verwitterungs- und Lockersedimente von einer Löß/Lößlehm bzw. Decklehmschicht überdeckt, die mit einer Mächtigkeit von 1,4 m bis 3,6 m angetroffen wurde. Insgesamt werden diese Lockersedimente dem geologischen Zeitalter des

#### Quartär

zugeordnet.

Die oberste Schicht des Untersuchungsbereichs bildet Mutterboden aus natürlichen Bodenbildungsprozessen.

## **2.3 Hydrogeologie / Hydrologie**

Die Ausbildung einer flächigen Grundwasserführung findet innerhalb des Terrassenschotter über den als Stauer fungierenden Keupertonen statt. Die den Terrassensedimenten überlagernden bindigen Löß-/Lößlehm- bzw. Decklehmböden können nach stärkeren Niederschlägen eine weitgehende Porenwassersättigung aufweisen, die bis zu zeitlich und räumlich begrenzten Sickerwasseranreicherungen führen kann und damit größeren jahreszeitlichen Schwankungen unterliegt. In Schlechtwetterperioden kann es zu stärkeren Durchfeuchtungen des gesamten Bodens bis hin zur Oberfläche kommen. Daneben wirken die Deckschichten als Wasseringeleiter/-stauer, so dass das innerhalb der Terrassensedimenten anstehende Wasser auch leicht gespannt auftreten kann, wobei jedoch die Felddränagen wiederum entspannend wirken.

## **2.4 Besonderheiten**

### Erdbebengefährdung

Der Untersuchungsbereich befindet sich in keiner Erdbebenzone gemäß DIN 4149.

### Bergbauliche Gefährdung

Eine Gefährdung aus Altbergbau ist nicht relevant.

## **3. UNTERSUCHUNGEN**

### **3.1 Lage, Art, Umfang und Zeitpunkt der Bodenaufschlüsse**

Für die Planung der Maßnahme wurden im Jahre 2009 Vorerkundungen [4, 5] für das Gebiet durchgeführt. Auf der Grundlage dieser Untersuchungen wurden zur Konkretisierung der Planungsunterlagen weiterführende Untersuchungen erforderlich, um einerseits die vorliegenden Erkenntnisse zum Baugrund sowie andererseits zur Versickerungsfähigkeit im Hinblick auf die Erschließungsmaßnahmen zu prüfen. Die durchgeführten Arbeiten erfolgten im Rahmen der Untersuchungsstufe „Hauptuntersuchung“ nach DIN 4020/DIN 1054-2005.



Im Zuge der Hauptuntersuchung erfolgte die Erkundung der stofflichen Zusammensetzung des Untergrundes und seiner erdbautechnischen Qualität durch unser Ingenieurbüro geotechnik heiligenstadt gmbh. In der Zeit vom 23.08.2011 bis 25.08.2011 wurden insgesamt

### **7 Rammkernsondierungen RKS 1 bis RKS 7**

### **5 Schwere Rammsondierungen DPH 1 bis DPH 5**

als direkte Aufschlüsse nach DIN 4021 (Rammkernsondierungen) und nach DIN EN ISO 22476 mit der Schweren Rammsonde im Untersuchungsbereich abgeteuft und ingenieurgeologisch aufgenommen. Zur Überprüfung der Versickerungsfähigkeit des oberflächennahen Untergrundes wurden 5 Rammkernsondierungen zu temporären Versickerungspegeln (V1 bis V5) ausgebaut. In den Versickerungspegeln wurden entsprechende Versickerungsversuche zur Bestimmung des Durchlässigkeitsbeiwertes des jeweiligen Aufnahmehorizontes durchgeführt.

Sämtliche Ansatzpunkte wurden nach Lage und Höhe eingemessen, wobei als Höhenbezug ein Wasserabsteller im Planungsgebiet diente, dessen Höhe den vorliegenden Unterlagen [11] wie folgt entnommen wurde:

$$H_{\text{OK Wasserabsteller}} = 308,50 \text{ m NN.}$$

In Tabelle 1 sind die nach DIN 4021 und DIN EN ISO 22476 abgeteufte Sondierungen mit ihrer Lage und Höhe aufgelistet. Die zeichnerische Darstellung der Bohr- und Sondierprofile gemäß DIN 4023 erfolgt in den Anlagen 2 (Lageplan) und 3 (Schnitt). Die Schichtenverzeichnisse aus der ingenieurgeologischen Bodenansprache enthalten die Anlage 6.

Aufschluss-Nr.	Datum	Lage Rechtswert	Hochwert	Höhe in m NN	Tiefe in m	Ausbau
RKS 1	23.08.2011	4400043,2	5643051,6	307,50	3,00	Versickerungspegel V1
RKS 2		4400872,2	5642474,7	309,80	3,80	-
V2					1,80	Versickerungspegel V2
RKS 3		4400366,1	5642882,2	309,60	4,15	-
V3					2,00	Versickerungspegel V3
DPH 1					7,00	-
RKS 4		4399881,7	5642698,3	309,14	3,90	-
DPH 2					4,50	-
RKS 5	24.08.2011	4400188,6	5642272,0	313,88	3,20	Versickerungspegel V4
DPH 3					4,00	-
RKS 6		4400862,4	5642072,1	314,25	4,30	-
DPH 4					5,50	-
RKS 7	23.08.2011	4400384,3	5641582,0	319,93	3,10	-
V5		4400384,3	5641582,0	319,93	2,30	Versickerungspegel V5
DPH 5	24.08.2011	4400384,3	5641582,0	319,93	4,00	-

**Tab. 1:** Aufschlüsse

### 3.2 Laboruntersuchungen

Aus den Aufschlüssen wurden repräsentative Bodenproben entnommen und auf bodenmechanisch relevante Parameter in unserem Labor untersucht.

Aus der Sondierung RKS 7 wurde eine Wasserprobe als Schöpfprobe entnommen und auf betonaggressive Bestandteile nach DIN EN 206-1 analysiert. Die Ergebnisse daraus sind im Einzelnen als Anlagen 4 und 5 beigefügt und in das Gutachten eingeflossen.

Die Tabelle 2 dokumentiert die Laboruntersuchungen an den Bodenproben.

Anlage Nr.	Versuch	Entnahmestelle	Probe Nr.	Entnahmetiefe [m]
5.2.1	Kornverteilung nach DIN 18123	RKS 1	GP 1/1	0,30 – 1,60
5.1.1	Wassergehalt nach DIN 18121	RKS 2	GP 2/1	0,45 – 1,50
5.4.1	Glühverlust nach DIN 18128	RKS 2	GP 2/1	0,45 – 1,50
5.2.2	Körnungslinie nach DIN 18123	RKS 2	GP 2/3	2,00 – 3,00
5.1.1	Wassergehalt nach DIN 18121	RKS 3	GP 3/1	0,30 – 0,70
5.1.1			GP 3/2	0,70 – 1,70
5.1.1			GP 3/3	1,70 – 2,60
5.4.2			GP 3/1	0,30 – 0,70
5.3.1			GP 3/2	0,70 – 1,70
5.1.1	Wassergehalt nach DIN 18121	V3	GP V3/1	1,30 – 2,00
5.1.2	Wassergehalt nach DIN 18121	RKS 4	GP 4/1	0,60 – 1,70
5.1.2			GP 4/2	1,70 – 3,20
5.3.2	Zustandsgrenzen nach DIN 18122		GP 4/1	0,60 – 1,70
5.1.2	Wassergehalt nach DIN 18121	RKS 5	GP 5/1	0,40 – 1,90
5.3.3	Zustandsgrenzen nach DIN 18122			
5.2.3	Körnungslinie nach DIN 18123		GP 5/2	1,90 – 3,20
5.1.2	Wassergehalt nach DIN 18121	RKS 6	GP 6/2	1,40 – 4,30
5.1.2	Wassergehalt nach DIN 18121	RKS 7	GP 7/1	0,30 – 1,40
5.2.4	Körnungslinie nach DIN 18123	RKS 7	GP 7/2	1,40 – 2,50

**Tab. 2:** Laboruntersuchungen an Bodenproben

#### **4.        UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE**

##### **4.1        Baugrundprofil mit Klassifizierung und Eigenschaften der Bodenschichten**

Nach den aus den Baugrundaufschlüssen gewonnen Erkenntnissen über die genaue Zusammensetzung des Baugrundes kann für die weiteren Planungs- und Ausführungsarbeiten in der zusammenfassenden Beschreibung von folgendem ingenieurgeologisch-bodenmechanischen Baugrundprofil ausgegangen werden:

##### **Schicht 1:                    Mutterboden**

Zu Schicht 1 werden die natürlichen Böden der Oberflächenabdeckung zusammengefasst, die bis 0,20 m bis 0,60 m unter Gelände angetroffen wurden (Tabelle 3). Alle aufge-

füllten Böden im Bereich der Wegbefestigungen werden nicht explizit aufgeführt, da sie aufgrund der Größe der Fläche unterrepräsentativ sind.

Schichtbeschreibung		
Bodenart	(DIN 4022)	U, fs - fs', h, z. T. g'
Bodengruppe	(DIN 18196)	Mu [OU]
Konsistenz zum Untersuchungszeitpunkt		weich bis steif
Eigenschaften/Verwendung		
Ist vor Baubeginn unter Berücksichtigung der Vorgaben der DIN 18300 bzw. 18915 abzutragen und zu lagern.		
Bautechnische Klassifizierung		
Bodenklasse	(DIN 18300)	1 (4)
Frostempfindlichkeitsklasse	(ZTVE-StB 09)	OU - stark frostempfindlich (F3)

**Tab. 3:** Klassifizierung/Eigenschaft Schicht 1

## **Schicht 2: Löß/Lößlehm, Decklehm**

Zu Schicht 2 werden die quartären bindigen Lockersedimente zusammengefasst, die hier im oberen Profilteil überwiegend aus Schluffböden bestehen. Diese Böden wurden bis in Tiefen von 1,40 m und 3,60 m unter Gelände angetroffen = Endteufe der Sondierung V3. Diese Schicht wurde mit der Sondierung RKS 6 nicht angetroffen.

Die Böden der Schicht 2 können zusammenfassend wie folgt klassifiziert werden (Tabelle 4).

Schichtbeschreibung		
Bodenart	(DIN 4022)	U, t', fs' - fs; U, t - t' - T, u', s'; U, t' - t, s' - s* - S, t' - t*, u* - u vereinzelt Geröll aus Fein-, Mittel- und Grobkies * - stark
Bodengruppe	(DIN 18196)	UL, UM, TL, TM, SU*, ST
Konsistenz zum Untersuchungszeitpunkt		steif, steif bis halbfest, in RKS 3, 4 und 7, V5 weich - steif
Bautechnische Eigenschaften		
Scherfestigkeit		gering
Zusammendrückbarkeit		hoch bis mittel
Durchlässigkeit	(Bereiche nach DIN 18130)	schwach durchlässig für die bindigen Böden, schwach bis durchlässig für die Bereiche mit Kiesge- röll
Verdichtungsfähigkeit		gering
Witterungs-, Wasser- und Erosionsempfindlichkeit		hoch
Erdbautechnische Eignung		wenig geeignet
Bautechnische Klassifizierung		
Bodenklasse	(DIN 18300)	4 (2 unter Wasserzutritt)
Frostempfindlichkeitsklasse	(ZTVE-StB 09)	UL, UM, TL, TM, SU, SU*, ST - stark frostempfindlich (F3)

**Tab. 4:** Klassifizierung / Eigenschaft Schicht 2

Zu Schicht 3 werden die Terrassenablagerungen zusammengefasst. Diese Böden wurden bis in Tiefen von 1,40 m und 4,15 m unter Gelände angetroffen = Endteufe der Sondierungen RKS 1(V1), V2, RKS 3, RKS 4, RKS 5(V4), V5.

Diese Böden werden zusammenfassend wie folgt beschrieben (Tabelle 5).

Schichtbeschreibung		
Bodenart	(DIN 4022)	S, t', u* - u, g - g* - U, t', s*, g - g*; G, u', s - s' - S, u', g* * - stark
Bodengruppe	(DIN 18196)	SU*, SU, UL, GU*, GE, SE
Konsistenz zum Untersuchungszeitpunkt		steif, z. T. steif bis halbfest
Lagerungsdichte	(DIN 4022)	mitteldicht, z. T. locker bis mitteldicht
Bautechnische Eigenschaften		
Scherfestigkeit		gering (für die bindigen Böden) mittel (für die Sandböden) groß (für die Kiesböden und Sandböden mit erhöhtem Kiesanteil)
Zusammendrückbarkeit		mittel bis gering
Durchlässigkeit	(Bereiche nach DIN 18130)	schwach durchlässig für die bindigen Böden, durchlässig bis stark durchlässig für sandige- und kiesige Schichten
Verdichtungsfähigkeit		gering für die bindige Böden, insgesamt gut für die Sand- und Kiesböden
Witterungs-, Wasser- und Erosionsempfindlichkeit		groß (für die Böden mit hohen bindigen Anteilen) mittel bis gering (für die Sand- und Kiesböden)
Erdbautechnische Eignung		wenig geeignet (bindige Böden) gut (für die Sand- und Kiesböden mit geringen bindigen Anteilen)
Bautechnische Klassifizierung		
Bodenklasse	(DIN 18300)	3, 4 (2 unter Wasserzutritt)
Frostempfindlichkeitsklasse	(ZTVE-StB 09)	SE, SW, GW - nicht frostempfindlich (F1) SU - mittel frostempfindlich (F2) UL, SU*, GU* - stark frostempfindlich (F3)

**Tab. 5:** Klassifizierung / Eigenschaft Schicht 3

#### **Schicht 4: Verwitterungszone Mittlerer Keuper**

Die Schicht 4 repräsentiert die flächenhaft im Untergrund verbreiteten entfestigten Tonsteine der Verwitterungszone des Mittleren Keuper (Gipskeuper), die ab 1,40 m und ab 2,50 m mit den Sondierungen RKS 2, RKS 6 und RKS 7 bis Endteufe = 3,10 m bis 4,30 m angetroffen wurden. Das Schichtpaket wird hier überwiegend aus entfestigten und zu Ton und Schluff replastifizierten Böden gebildet, die zusammenfassend wie folgt klassifiziert werden (Tabelle 6).

Schichtbeschreibung		
Bodenart	(DIN 4022)	T, u', g', s'; U, t, fs' mit Beimengungen aus Ton- und Schluffstein
Bodengruppe	(DIN 18196)	TL, TM, UL, UM, GT
Konsistenz zum Untersuchungszeitpunkt		weich - steif, halbfest
Bautechnische Eigenschaften		
Scherfestigkeit		mittel
Zusammendrückbarkeit		mittel bis gering
Durchlässigkeit	(Bereiche nach DIN 18130)	schwach durchlässig
Verdichtungsfähigkeit		gering bis gut
Witterungs-, Wasser- und Erosionsempfindlichkeit		gering bis mittel
Erdbautechnische Eignung		mittel
Bautechnische Klassifizierung		
Bodenklasse	(DIN 18300)	4 - 5
Frostempfindlichkeitsklasse	(ZTVE-StB 09)	TL, TM, UL, UM, GT - stark frostempfindlich (F3)

**Tab. 6:** Klassifizierung / Eigenschaft Schicht 4

**Untergrund: Fels des Mittleren Keupers**

Aufgrund des abrupten, sehr hohen Sondierwiderstandes ab den Endteufen der Sondierungen RKS 2, RKS 6 und RKS 7, ist Tonstein in plattiger bis gebankter Ausbildung zu erwartende, der z. T. in steinig, kiesige Kornfraktionen zerfällt, zu erwarten. Folgende zusammenfassende Beschreibung ergibt sich für dieses Schichtpaket (Tabelle 7).

Schichtbeschreibung	
Gesteinsbeschreibung	Tonstein, Schluffstein, ggf. mit dünnbankigen Gipslagen, ggf. als Kieslagen
Verwitterungsgrad (FGSV-Merkblatt)	VE, VZ
Festigkeit (DIN 4022)	halbfest, fest
Schichtung (FGSV-Merkblatt)	dünnplattig, teilweise bankig
Klüftung (FGSV-Merkblatt)	bereichsweise klüftig
Bautechnische Eigenschaften	
Scherfestigkeit	mittel bis hoch
Zusammendrückbarkeit	sehr gering bis gering
Durchlässigkeit (Bereiche nach DIN 18130)	schwach durchlässig bis durchlässig (über Klüftung)
Verdichtungsfähigkeit	Festgestein kaum
Witterungs-, Wasser- und Erosionsempfindlichkeit	gering
Erdbautechnische Eignung	Festgestein kaum
Bautechnische Klassifizierung	
Bodenklasse (DIN 18300)	6 (entfestigte Ton-/Schluffsteine) 7 (bankige Lagen)

**Tab. 7:** Klassifizierung / Eigenschaft Untergrund

Die hier vorliegenden Locker- und Verwitterungsböden weisen mit ihren feinkörnigen Anteilen eine

### **starke Fließ- und Witterungsempfindlichkeit**

auf, so dass hier ein sensibler Umgang mit diesen Materialien bei den Erd- und Tiefbauarbeiten erforderlich wird. Deshalb ist zu beachten, dass diese Böden insbesondere in Niederschlagsperioden bereits auf die Einbringung dynamischer Erregung (z. B. aus Verdichtungsvorgängen und durch Befahren) und bei direkter Einwirkung von Tages- und Oberflächenwasser mit einer Verschlechterung der bodenphysikalischen Eigenschaften reagieren. Hierdurch gehen die feinkörnigen Böden und Bodenbestandteile in die

### **Bodenklasse 2: fließende Bodenarten**

über. Durch bautechnische Vorsorgemaßnahmen (Bodenstabilisierung, Wasserhaltung) und geeigneten Maschineneinsatz ist dem entgegenzuwirken, da ansonsten mit erheblichen Mehraufwendungen und Nachteilen für die Standfestigkeit und Tragfähigkeit zu rechnen ist.



## 4.2 Berechnungskennwerte

Für erdstatische Bemessungen werden den Baugrundsichten auf der Grundlage der Erkundungs- und Untersuchungsergebnisse, aus Erfahrungswerten und anerkannten korrelativen Beziehungen die Rechenwerte in der Tabelle 8 zugeordnet. Diese sind gemäß DIN 4020 als „Charakteristische Werte“ und in Verbindung mit Teilsicherheitswerten als „Bemessungswerte“ für den Nachweis von Grenzzuständen zu verstehen. Die Rechenwerte beschreiben die bodenmechanischen Eigenschaften der anstehenden Böden und Gesteine im vorhandenen Lagerungszustand.

Die Angabe von Rechenwerten als Bandbreite resultiert aus den schwankenden Konsistenzen und Zusammensetzungen der anstehenden Böden und teilweise auch der Gesteine. Bei den Steifemoduln wurden dabei die unterschiedlichen und wechselnden Konsistenzen und Lagerungsdichten sowie die Belastungs- und Tiefenabhängigkeit berücksichtigt.

Für eine sichere und kostenoptimierte Planung sollten die maßgebenden Rechenwerte vom geotechnischen Sachverständigen aus den Bandbreiten für die jeweilige Situation und Aufgabenstellung ausgewählt werden. Ansonsten sollten aus Sicherheitsgründen nur die ungünstigsten Werte verwendet werden.

Schicht-Nr.	Bezeichnung	spez. Eigenschaften	wirksamer Reibungswinkel	wirksame Kohäsion	undrännierte Kohäsion	Wichten		Steifemodul
						$\gamma_k$	$\gamma'_k$	
			$\varphi'_k$ [°]	$c'_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$c_{u,k}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	[kN/m <sup>3</sup> ]	[kN/m <sup>3</sup> ]	$E_{s,k}$ [MN/m <sup>2</sup> ]
1	Mutterboden		25,0	0 - 1	---	15	5	6 - 8
2	Löß/Lößlehm, Decklehm		26,0	4 - 5	---	19	10	8 - 9
3	Terrassenschotter		32,5	0 - 1	---	19,5	9,5	12 - 35
4	Tonstein		27,0	8	---	20	11	12 - 15
Untergrund	Tonstein	Gebirgsscherfestigkeit	30,0	1 - 5	---	21,0	11	≥ 40

**Tab. 8:** Bodenkennwerte natürlicher Baugrund

### 4.3 Grundwasser

#### 4.3.1 Grundwasserverhältnisse

Im Zuge unserer Untersuchungen wurden am 23. und 24.08.2011 folgende Wasserführungen eingemessen (Tabelle 9):

Untersuchungs- stelle	GOK [m NN]	GW-Anschnitt [m u. GOK]	GW-Anschnitt [m NN]	GW-Ende [m u. GOK]	GW-Ende [m NN]
RKS 1 (V1)	307,50	---	---	---	---
RKS 2	309,80	Porenwasser ab 2,10	307,70	---	---
V2	309,80	---	---	---	---
RKS 3	309,60	Poren-, Schichtwasser ab 3,80	305,80	---	---
V3	309,60	---	---	---	---
DPH 1	309,60	---	---	3,60	306,00
RKS 4	309,14	Poren-, Schichtwasser ab 3,50	305,64	---	---
DPH 2	309,14	---	---	1,50	307,64
RKS 5 (V4)	313,88	Schichtwasser ab 3,20	310,68	---	---
DPH 3	313,88	---	---	3,25	310,63
RKS 6	314,25	---	---	---	---
DPH 4	314,25	---	---	---	---
RKS 7	319,93	Poren-, Schichtwasser ab 2,30	317,63	1,22	318,71
V5	319,93	Poren-, Schichtwasser ab 2,30	317,63	1,25	318,68
DPH 5	319,93	---	---	1,24	318,69

**Tab. 7:** Wasserstände

Aus den in der Tabelle 7 angegebenen Daten lässt sich für den Untersuchungsbereich folgende hydrogeologische Einordnung ableiten:

1. Die angetroffenen Wasserführungen kennzeichnen den obersten Grundwasserleiter innerhalb des Terrassenschotter. Die Wasserführungen stehen im direkten Kontakt zum Vorfluter „Hörsel“, der als Druckentlastungszone wirkt. Die Intensität dieser

Wasserführungen hängt vor allem von der Durchlässigkeit der Bodenschichten ab und bildet sich deshalb verstärkt in den Sand- und Kieslagen aus. Der unterlagernde Keuperton fungiert als vertikaler Wasserstauer.

2. Erfahrungsgemäß ist für vergleichbare Grundwasserverhältnisse innerhalb der Terrassensedimente von einem niederschlagsabhängigen Schwankungsbereich von etwa  $\pm 1,00$  m auszugehen, wobei derzeit von einem niedrigen Grundwasserspiegel ausgegangen werden kann. Genauere Angaben zur langjährigen Entwicklung der Grundwasserverhältnisse können hier jedoch erst nach entsprechenden Beobachtungen in geeigneten Messpegeln gemacht werden.
3. Die Lehmböden oberhalb der Terrassensedimente wirken aufgrund ihres begrenzten Porenvolumens als Wasserstauer/-geringleiter. In Schlechtwetterperioden und in regenreichen Perioden können diese Böden eine vollständige Porenwassersättigung aufweisen.
4. Gleichmaßen kann diese Situation in Abhängigkeit zur Niederschlagsentwicklung dazu führen, dass das Wasser innerhalb der Terrassensedimente druckhaft sein kann.
5. Darüber hinaus können innerhalb der Löß/Lößlehm bzw. Decklehmböden temporär Sicker- und Schichtwasseranreicherungen vor allem in der regenreichen Jahreszeit auftreten, dessen Ergiebigkeit stark schwanken kann. Bau- und nachbauzeitig sind hierfür Sicherungs- und Dränierungsmaßnahmen erforderlich, die über offene Wasserhaltungsanlagen gefasst und abgeleitet werden können.
6. Im Frühjahr und zu Zeiten starker Niederschläge kann es zur Ausbildung von Staunässe vor allem in Senken kommen. Dies führt zur großflächigen Pfützenbildung.

#### 4.3.2 Überprüfung der Versickerungsfähigkeit

Zur Ermittlung der konkreten Wasserdurchlässigkeiten im oberflächennahen Bodenbereich wurden im geplanten Areal fünf Versickerungsversuche durchgeführt.

Die Rammkernsondierungen RKS 1(V1), V2, V3, RKS 5(V4) und V5 wurden zu temporären Versickerungspegeln ausgebaut, um Aussagen hinsichtlich der Wasserleitfähigkeit der oberflächennahen Böden treffen zu können. Die Pegel wurden innerhalb des Terrassenschotters [Pegel RKS 1(V1), Pegel V2, Pegel RKS 5(V4) und Pegel V5] sowie des Decklehm-Horizontes (Pegel V3) abgesetzt (Tabelle 8).

Parameter	RKS 1(V1)	V2	V3	RKS 5(V4)	V5
Ausbautiefe [m u.GOK]	2,72	1,80	2,00	3,00	2,23
Bohrdurchmesser [mm]	50	50	50	50	50

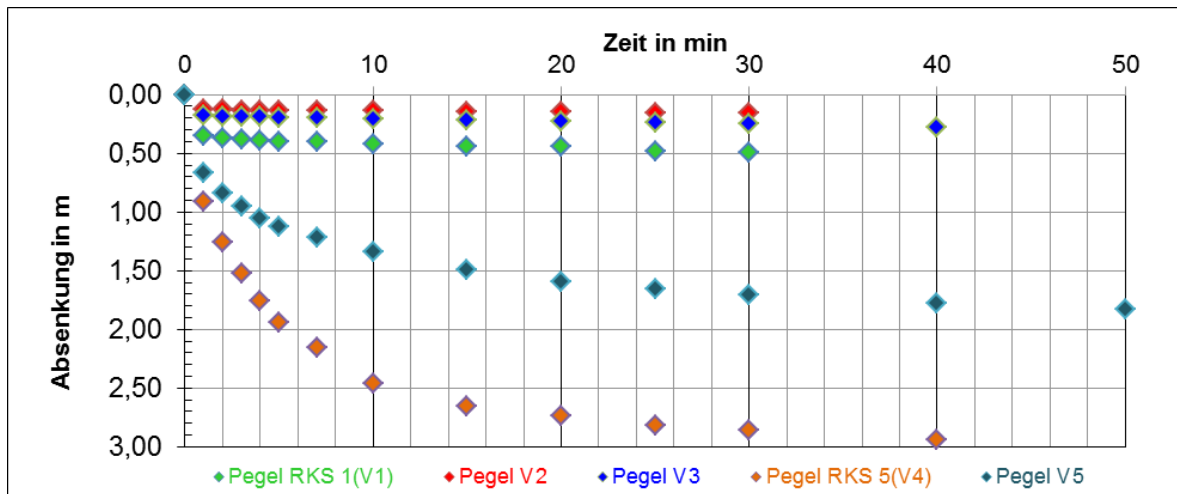
**Tab. 8:** Ausbaudaten der Versickerungspegel

Zur Ermittlung des Durchlässigkeitsbeiwertes des Untergrundes wurden sogenannte Open - End - Tests durchgeführt. Die Versickerungspegel wurden mit Wasser aufgefüllt. Anschließend wurde die Absenkung der Wassersäule in den Pegeln gemessen.

Tabelle 9 beinhaltet den zeitlichen Absenkungsverlauf der Versickerungsversuche, Abbildung 4 stellt den Absenkvorgang grafisch dar.

Beobachtungszeit in min	Wasserstand über Pegelsohle/Schichtwasserspiegel in m				
	RKS 1(V1)	V2	V3	RKS 5(V4)	V5
0	3,00	2,00	2,00	3,00	3,00
1	2,65	1,875	1,82	2,09	2,33
2	2,63	1,87	1,81	1,74	2,16
3	2,62	1,865	1,81	1,48	2,05
4	2,61	1,865	1,81	1,24	1,95
5	2,60	1,86	1,805	1,06	1,87
7	2,595	1,86	1,80	0,84	1,78
10	2,58	1,86	1,795	0,54	1,66
15	2,56	1,85	1,785	0,35	1,51
20	2,555	1,85	1,775	0,26	1,41
25	2,52	1,845	1,765	0,18	1,34
30	2,51	1,845	1,75	0,14	1,29
40			1,72	0,06	1,22
50					1,17

**Tab. 9:** Zeitlicher Absenkungsverlauf in den Pegeln



**Abb. 4:** Wasserspiegelabsenkung in den Pegeln

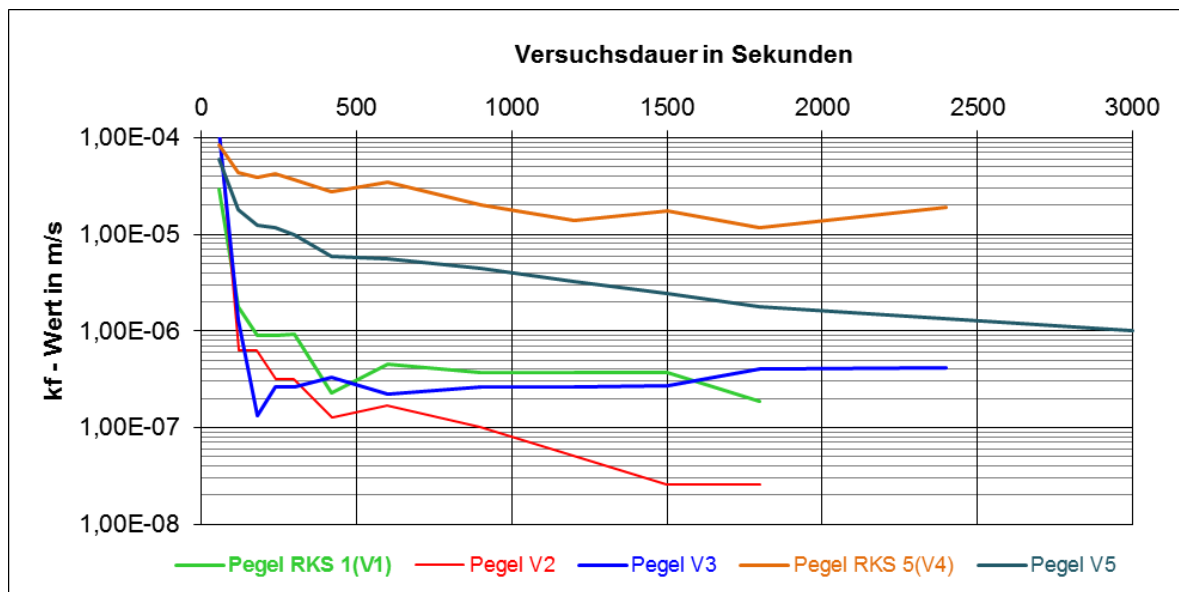
Nach /HÖ-80/, /AHU-90/ lässt sich der Durchlässigkeitsbeiwert ( $k_f$ -Wert) über folgende Beziehung berechnen:

$$k_f = \frac{Q}{5,5 \cdot r \cdot h} ; \text{ mit } Q = \frac{(h_1 - h_2) \cdot r^2 \cdot \Pi}{t} \quad \text{und} \quad h = (h_1 + h_2) / 2$$

mit:

- $k_f$  - Durchlässigkeitsbeiwert (m/s),
- $Q$  - versickerte Wassermenge ( $\text{m}^3/\text{s}$ ),
- $h_1$  - Ausgangswasserspiegel (m),
- $h_2$  - Wasserspiegel nach bestimmter Versuchszeit (m),
- $r$  - Bohrlochradius,  $r = 0,025 \text{ m}$
- $t$  - Zeit (s).

Abbildung 5 enthält die in den Pegeln ermittelten Durchlässigkeiten für die einzelnen Messintervalle.



**Abb. 5:** ermittelte  $k_f$ -Werte in Abhängigkeit von der Versuchszeit

Folgende Durchlässigkeitsbeiwerte  $k_f$  können für die oberflächennahen Böden angegeben werden (siehe Abb. 5):

- Schicht 2  
(bindige Löß/Lößlehm- und Decklehmböden)  
schwach durchlässig nach DIN 18130  $k_f = 3 \cdot 10^{-7} \text{ m/s}$
- Schicht 3  
(bindiger und wassergestättigter Terrassenschotter)  
durchlässig bis schwach durchlässig nach DIN 18130  $k_f = 1 \cdot 10^{-6} - 4 \cdot 10^{-7} \text{ m/s}$
- Schicht 3  
(bindiger Terrassenschotter mit unterlagerndem Verwitterungshorizont)  
sehr schwach durchlässig nach DIN 18130  $k_f = 2 \cdot 10^{-8} \text{ m/s}$
- Schicht 3  
nicht bindiger Terrassenschotter ohne Wasserführung  
gut durchlässig nach DIN 18130  $k_f = 4 - 2 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$

- Schicht 4

Verwitterungshorizont

sehr schwach durchlässig nach DIN 18130

$k_f \ll 10^{-7} \text{ m/s}$

Wie aus der Abbildung 5 ersichtlich ist, weisen die oberflächennah anstehenden Lockersedimente Durchlässigkeitsbeiwerte im Bereich von  $k_f = 4,0 \cdot 10^{-5} - 2,0 \cdot 10^{-8} \text{ m/s}$  (gut bis sehr schwach durchlässig nach DIN 18130) auf. Für Versickerungsanlagen kommen nach ATV-Regelwerk /ATV-02/, Arbeitsblatt A 138, Lockergesteine in Frage, deren  $k_f$ -Wert im Bereich von  $1 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$  bis  $1 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$  liegt. Daraus ergibt sich, dass bei den hier ermittelten Durchlässigkeiten nur die nicht bindigen Terrassensedimente mit ausreichender Mächtigkeit für eine Versickerung geeignet sind. Da den Terrassensedimenten wasserstauende/-geringleitende Schichten zwischengeschaltet sind erfolgt praktisch keine Versickerung sondern lediglich ein lateraler Abfluss. Diese Schicht kann insofern als „Speicherschicht“ fungieren. Eine gedrosselte Ableitung derartiger Wässer z. B. über Regenrückhaltebecken (RRB) ist insofern unumgänglich.

Im Bereich geplanter Bauwerke empfehlen wir anfallendes Oberflächenwasser über Zisternen mit der Möglichkeit der Regenwassernutzung abzapfend, die den RRB vorgeschaltet sind.

Da der Wasserabfluss im Untersuchungsbereich innerhalb der Terrassensedimente vorwiegend in lateraler Richtung erfolgt sind Beeinflussungen gefälleseitiger Nachbargrundstücke möglich.

Insgesamt muss festgestellt werden, dass im Untersuchungsbereich insgesamt **ungünstige Bedingungen** für die Versickerung von Niederschlagswasser vorliegen.

Literatur:

- /AHU-93/ FRIEDRICH,H.; LIEBER,M.; STOLPE,H.:  
Die vergleichende Umweltverträglichkeitsstudie (UVS) - Kern der Standortauswahl für eine Deponie, AHU-Umwelttexte, AHU-GmbH, 1993.
- /ATV-02/ ATV - Vereinigung für Abwasser, Abfall und Gewässerschutz.  
Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser, Arbeitsblatt A 138, Februar 2002.
- /HÖ-80/ HÖLTING,B.  
Hydrogeologie, Ferdinand Enke Verlag Stuttgart, 1980.

#### 4.3.3 Grundwasseranalyse

Im Rahmen unserer Untersuchungen wurde aus der Sondierung RKS 7 eine Grundwasserprobe entnommen und bauchemisch entsprechend DIN EN 206 - 1 zur Erfassung betonaggressiver Inhaltsstoffe mit folgendem Ergebnis analysiert (Tabelle 10):

Wasseranalyse		Grenzwerte zur Beurteilung nach DIN EN 206 - Teil 1		
Parameter:	Prüfergebnis:	schwach angreifend (XA1)	stark angreifend (XA2)	sehr stark angreifend(XA3)
Aussehen	keine Trübung			
Geruch unveränderte Probe)	faulig			
Geruch (angesäuerte Probe)	faulig			
pH-Wert	7,31	6,5 bis 5,5	5,5 bis 4,5	< 4,5
Härte	21,6 °dH			
Hydrogencarbonathärte	14,5 °dH			
Nichtcarbonathärte	7,10 °dH			
KMnO <sub>4</sub> - Verbrauch	35,2 mg/l			
Magnesium	38,4 mg/l	300 - 1000 mg/l	1000 - 3000 mg/l	> 3000 mg/l
Ammonium	3,28 mg/l	15 - 30 mg/l	30 - 60 mg/l	> 60 mg/l
Sulfat	82,6 mg/l	200 - 600 mg/l	600 - 3000 mg/l	> 3000 mg/l
Chlorid	40,0 mg/l			
CO <sub>2</sub> (kalkl.)	< 1,10 mg/l	15 - 40 mg/l	40 - 100 mg/l	> 100 mg/l

**Tab. 10:** Wasseranalytik

Wie aus obiger Tabelle (s. auch Anlage 4) ersichtlich ist, ergibt sich für das Grundwasser nach DIN EN 206 – 1 die Einstufung als

nicht betonangreifend.



## 4.4 Standsicherheit

### 4.4.1 Tragfähigkeit

Die Sondierungen mit der Schweren Rammsonde DPH nach DIN EN ISO 22476-2 ermöglichen über die Auswertung der Schlagzahlen  $N_{10}$  ( $N_{10}$  = Anzahl der Schläge des Fallgewichtes  $m = 50$  kg für jeweils 10 cm Eindringtiefe der Sondierspitze  $A = 15$  cm<sup>2</sup>) eine Abschätzung der Lagerungsdichte und damit der Tragfähigkeit. Dabei kann von folgender korrelativer Abstufung ausgegangen werden (Tabelle 11):

$N_{10} < 5$	=	unzureichende Tragfähigkeit/ sehr geringe Lagerungsdichte hohe bis sehr hohe Verformungen unter Auflast
$N_{10} = 5 - 15$	=	geringe bis mittlere Tragfähigkeit/ geringe bis mittlere Lagerungsdichte deutliche bis mittlere Verformungen unter Auflast
$N_{10} > 15$	=	gute Tragfähigkeit hohe Lagerungsdichte geringe Verformungen unter Auflast

**Tab. 11:** Rammkriterien

Nach Auswertung der Rammsondierungen können unter Zugrundelegung des o. g. Rammkriteriums und unter Hinzuziehung der Ergebnisse aus den Rammkernsondierungen folgende Ergebnisse abgeleitet werden:

1. Die geringen Schlagzahlen der Rammsondierungen im oberen und mittleren Profilanteil sind charakteristisch für Schluffböden der Löß/Lößlehm- und Decklehmböden sowie bindiger Sandböden innerhalb des Terrassenschotters mit Porenwasseranteilen (Schichten 2 und 3). Diese Böden haben überwiegend nur geringe Lagerungsdichten und dementsprechende Tragfähigkeiten bzw. sind kompressibel.
2. Mit dem Anschnitt der nicht bindigen Terrassensedimente aus Sand und Kies steigen die Schlagzahlen an und weisen für diese Bereiche eine mitteldichte bis dichte Lagerung nach. Die Tragfähigkeitseigenschaften dieser Schichten sind gut, so dass eine Ableitung von Lasten in diesen Horizonten unter Berücksichtigung eines entsprechenden Setzungspotential gut möglich ist.

3. Der Anstieg der Schlagzahlen im weiteren Profilverlauf ist auf die bereits überwiegend halbfest bis festen Horizonte der Verwitterungszone des Mittleren Keuper mit guten Tragfähigkeitseigenschaften zurückzuführen. Mit zunehmender Tiefe nimmt der Entfestigungsgrad der Gesteinsschichten ab, was durch das Festkommen der Rammsondierungen dokumentiert wird. Mit diesem Horizont werden durchweg gute Tragfähigkeitseigenschaften nachgewiesen.

## 4.5 Bodenmechanik

### 4.5.1 Laborprogramm

An dem aus den Sondierungen entnommenen Probenmaterial haben wir zur Bestimmung der geotechnischen Parameter ein optimiertes bodenmechanisches Laborprogramm mit folgendem Untersuchungsumfang durchgeführt (Tabelle 12):

Kennwert	Untersuchungsmethode	Anzahl
Wassergehalt	DIN 18121 (Ofentrocknung)	10
Zustandsgrenzen	DIN 18122	3
Korngrößenverteilung	DIN 18123	4
Glühverlust	DIN 18128	2

**Tab. 10:** Übersicht Laborprogramm

### 4.5.2 Ergebnisse

#### 4.5.2.1 Natürliche Wassergehalte

An den entnommenen Proben wurden natürliche Wassergehalte nach DIN 18121 (Ofentrocknung) über der gesamten Baufläche im folgenden Bereich ermittelt (Tabelle 13):

Schicht	natürliche Wassergehalte $w_{nat}$
Decklehm	14,91 Gew.-% - 19,29 Gew.-%
Löß/Lößlehm	15,39 Gew.-% - 19,06 Gew.-%
Verwitterungszone	21,04 Gew.-%

**Tab. 13:** natürliche Wassergehalte

Im Mittel beträgt der natürliche Wassergehalt der bindigen Lehm Böden der Schichten 2 und 3 ca.  $w_{\text{nat.}} = 17$  Gew.-% und dürfte somit leicht oberhalb des für eine hohlraumarme Verdichtung optimalen Wassergehaltes liegen. Die Feuchtigkeit der anstehenden Materialien kann jedoch bei langanhaltenden ungünstigen Witterungsperioden noch über den ermittelten Wassergehalten liegen.

#### 4.5.2.2 Siebanalysen

Die Sieb-/Schlämmanalysen zeigen, dass die bindigen Böden der Schicht 2 (Löß) sowie die Verwitterungsböden der Schicht 3 überwiegend einen hohen Feinkornanteil zwischen 35 % und 68 % besitzen und somit auf Witterungseinflüsse und den Eintrag dynamischer Energie (bereits bei den festgestellten Wassergehalten) äußerst sensibel reagieren können (s. Untersuchungsprotokolle: Anlagen 5.2.1 und 5.2.2).

Der Terrassenschotter (s. Anlage 5.2.3 und 5.2.4) weist einen Feinkornanteil von ca. 10 % auf, wobei die einzelnen Körnungsbereiche so repräsentiert sind, dass insgesamt eine ausgeglichene Kornverteilung existiert.

#### 4.5.2.3 Zustandsgrenzen

Aus der Bestimmung der Zustandsgrenzen nach DIN 18122 (s. Untersuchungsprotokolle: Anlagen 5.3) geht hervor, dass die Decklehm bzw. Löß/Lößlehm als leicht plastische Tone (TL) bis mittelpastische Tone (TM) anstehen. Folgende Einzelergebnisse wurden ermittelt (Tabelle 14):

	Schicht	
	Decklehm	Löß/Lößlehm
Fließgrenze	$W_L = 33,9 \% - 37,1 \%$	$W_L = 19,1 \%$
Ausrollgrenze	$W_P = 14,8 \% - 15,9 \%$	$W_P = 33,2 \%$
Plastizität	$I_P = 19,1 \% - 21,2 \%$	$I_P = 18,4 \%$
Konsistenzzahl	$I_C = 0,87 - 0,84$	$I_C = 0,77$
Konsistenz	steif	steif

**Tab. 14:** Zustandsgrenzen

Aufgrund der ermittelten Plastizität werden z. B. Wassergehaltserhöhungen nicht sofort zu Konsistenzveränderungen führen, wobei derartige Böden unter Bedingungen veränderlich sein können. Im Zuge der Tiefbauarbeiten ist die Fließ- und Witterungsempfindlichkeit dieser Böden, insbesondere bei intensiver dynamischer Beanspruchung sowie bei Wassergehaltserhöhung während der feuchten Jahreszeit zu berücksichtigen.

#### 4.5.2.4 Glühverluste

Die Glühverluste wurden nach DIN 18128 im Muffelofen bei 550 °C zur Bestimmung der organischen Substanz durchgeführt (s. Untersuchungsprotokolle: Anlagen 5.4). Folgende Anteile an organischer Substanz wurden für die Böden der Schicht 2 (Decklehm, Löß/Lößlehm) ermittelt (Tabelle 15):

Schicht	Glühverluste (Mittelwerte) $V_{GL}$
Decklehm	2,99 %
Löß/Lößlehm	3,36 %

**Tab. 15:** Glühverluste

Der Anteil an organischer Substanz ist charakteristisch für diese bindigen Materialien. Die geringen Gehalte liegen in einem für die Baumaßnahme unkritischen Bereich.

## **5. BAUGRUNDBEURTEILUNG UND BAUTECHNISCHE HINWEISE**

### **5.1 Allgemeine Bebaubarkeit**

Aufgrund des festgestellten Untergrundprofils können herkömmliche Bauwerkslasten (keine sehr hohen Punkt- und Linienlasten!) über Flachgründungen abgeleitet werden, wobei bereichsweise ggf. Zusatzmaßnahmen (begrenzter Bodenaustausch o.ä.) erforderlich sind. Hohe Einzellasten sind bis in die gut tragfähigen Schichten (Terrassensedimente, Verwitterungshorizont bzw. Untergrund) abzuleiten. Hierfür sind Zusatzmaßnahmen (Magerbetonbodenaustausch bzw. baugrundverbessernde Rüttelstopfsäulen) erforderlich.

Für die Ableitung von Bauwerkslasten gelten vorbehaltlich der Ergebnisse von erforderlichen zusätzlichen bauwerksbezogenen Untersuchungen nach jetzigem Kenntnisstand folgende schichtbezogene Bemessungsgrenzen:

Schichten 2 und 4 (Deck- und Löss/Lösslehm bzw. Verwitterungshorizont)

zulässige Bodenpressung:  $\sigma_{zul.} \leq 150 \text{ kN/m}^2$  (mit mind. weicher bis steifer Konsistenz)  
Bettungsmodul:  $k_s = 10 \text{ MN/m}^3$

Schicht 3 (Terrassensedimente)

zulässige Bodenpressung:  $\sigma_{zul.} \leq 200 \text{ kN/m}^2$   
Bettungsmodul:  $k_s = 15 \text{ MN/m}^3$

Untergrund (Unterlagernden Halbfest- und Festgesteine)

zulässige Bodenpressung:  $\sigma_{zul.} \leq 250 \text{ kN/m}^2$   
Bettungsmodul:  $k_s = 20 \text{ MN/m}^3$

## **5.2 Kanalbau**

Bei der Verlegung von Kanälen bestehen aus baugrundtechnischer Sicht an das Verlegen keine besonderen, über die Vorgaben der ZTVE-StB 09 hinausgehenden Anforderungen, sofern dies nicht in Schlechtwetter bzw. regenreichen Perioden stattfindet.

Dann kann es in Teilbereichen zum Anschnitt von Lehmböden kommen, die mit weicher Konsistenz anstehen. Die schadensfreie Ableitung setzungsempfindlicher Kanäle ist dann nicht mehr sicher möglich. Deshalb sollten Rohrleitungen und Schächte innerhalb eines homogenen Bodenkörpers oder auf einem Schotter-Stabilisierungspolster

$$D = 0,40 \text{ m}$$

aufgelagert werden. In sehr weichen Böden muss die Dicke ggf. erhöht werden.

Ansonsten kann die Verlegung der Kanäle innerhalb der ausreichend tragfähigen Deck- bzw. Löss/Lösslehm Böden bzw. bei tieferer Verlegung innerhalb der Terrassensedimente

sowie der Verwitterungsböden erfolgen, so dass hier keine Zusatzmaßnahmen eingeplant werden müssen.

Für die Verlegung von Kanälen gilt die Norm DIN EN 1610.

### **5.3 Wasserhaltung und Abdichtung**

Bauzeitig sind neben einer offenen Wasserhaltungsanlage zur Ableitung von Tageswasser nur bei den Aushubarbeiten für Fundamentgruben sowie tieferreichenden Kanalgräben beim Anschnitt des Poren-/Schichtwasserleiters Schmutzwasserpumpen zur Ableitung von Wasserzutritten erforderlich. Außerdem sind bei der Herstellung von tieferreichenden Leitungsräben eine Graben-Seitendrnge mitzuführen, die zu den Pumpensmpfen hin entwässert. Beim Anschnitt des Terrassenschotters ist mit erhöhtem Wasserandrang zu rechnen, so dass hier der Abstand der Pumpensümpfe verringert werden muss.

In diesem Zusammenhang sei nochmals darauf hingewiesen, dass die anstehenden Böden extrem flieempfindlich sind.

Für die nachbauzeitige Bauwerkssicherung von Bauwerken ist eine Abdichtung gemäß DIN 18195, Teil 4, gegen „aufsteigende Bodenfeuchtigkeit“ ausreichend.

Daneben sollte eine Ringdrnge (NW 100, Gefälle  $\geq 0,1 \%$ , Ummantelung mit Filterkies 2/32, Abdeckung mit Drnkies oder 0,5 m Fllkies 0/32) verlegt werden, damit die rckstaufreie Ableitung des Drnwassers sichergestellt ist.

### **5.4 Böschungen/Baugruben**

Für die Herstellung von Böschungen, Baugruben und Leitungsräben sind die Vorgaben der DIN 4124 einzuhalten.

Für abgebschte Baugruben werden unter Berücksichtigung der DIN 4124 für unbelastete Böschungskanten folgende zulässige Böschungswinkel empfohlen (Tabelle 16).

Schichten	zul. Böschungswinkel $\beta$
bindige Böden: 2 bis 4	$\leq 60^\circ$
nicht bindige Böden: (2) ,3 4	$\leq 45^\circ$
Untergrund (Tonstein)	nicht relevant

**Tab. 16:** Baugrubenböschungen

## 5.4 Straßenbau

### 5.4.1 Erdbau

Für den Neubau von Straßen ergeben sich in Bereichen einige Besonderheiten, die aus der Geologie des Untergrundes resultieren. Da nicht ausgeschlossen werden kann, dass

- in der niederschlagsreichen Jahreszeit - weiche wassergesättigte Böden angeschnitten werden und der auf dem Erdplanum zu erzielende Verformungsmodul von

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

nicht ohne weiteres erreicht wird, sollten für diese Bereiche geeignete Zusatzmaßnahmen eingeplant werden. Da eine Verdichtung dieser Böden nicht möglich ist, kann ein Bodenaustausch für weiche Lehmböden durch nicht bindige, verdichtungsfähige Brechkornmische im Lageneinbau oder eine Vermörtelung durch Bindemittel-Zuschlag erfolgen, um die erforderliche Standfestigkeit des Untergrundes zu erzielen und den vertikalen Wasseraufstieg zu verhindern. Für einen Bodenaustausch sollte eine Dicke von  $D = 0,30 \text{ m}$  eingeplant werden. Als Material eignen sich Hartgesteine als Vorabsiebung (Körnung 0/56 mm o.ä.). Ggf. kann auch eine Bodenverbesserung zur Stabilisierung des Untergrundes ausgeführt werden.

Der Einsatz eines Geotextils reißfester Qualität (Klasse 4) ist in weichen Böden zur Trennung der Materialien einzuplanen.

Das Planum sollte immer ein ausreichendes Gefälle haben, damit Oberflächenwasser aus Niederschlagsereignissen schadlos abfließen kann. Abflusslose Senken sollten bei der Herstellung von Planien vermieden werden. Bei längeren Arbeitspausen sollten freiliegende Böschungen und das ggf. freiliegende Planum zusätzlich mit Folien gesichert werden.

#### 5.4.2 Oberflächenbefestigungen

Die Oberflächenbefestigung bzw. der Fahrbahnaufbau sollten für die entsprechende Bauklasse nach den vorgegebenen Normen entsprechend ZTVE - StB 94 und RStO 2001 erfolgen, die für die geographischen (Frosteinwirkungszone III), geologischen (Frostempfindlichkeit F3), hydrologischen (ungünstige Wasserverhältnisse) und die morphologischen Randbedingungen (außerhalb geschlossener Ortslage) für einen frostsicheren Aufbau in jedem Falle folgende Frostschtuthtiefen erfordern:

$T_{FS} > 0,85$  m Straße im Gewerbegebiet (Bauklasse II)

$T_{FS} > 0,80$  m Schwerverkehr (Bauklasse III)

$T_{FS} > 0,70$  m PKW- Fahrflächen (Bauklasse V / VI)

$T_{FS} > 0,65$  m PKW-Stellflächen

Der erforderliche Schotterunterbau ist lagenweise einzubauen und zu verdichten. Für die unteren Lagen (ca. 40 cm) empfehlen wir Material der Körnung 0/75 mm, für die oberen Lagen (max. 25 cm) die Körnung 0/45 mm. Das Planum sollte mit einem Seitengefälle von  $I \geq 2$  % versehen werden. Der Unterbau ist durch Seiten-Längsdränagen zu entwässern. An der Oberkante des Polsters sind als Verdichtungsziele folgende Werte zu erreichen:

Verformungsmodul:  $E_{V2} \geq 120$  MN/m<sup>2</sup>

Verdichtungsverhältnis:  $E_{V2} / E_{V1} \leq 2,3$

und über Plattendruckversuche gemäß DIN 18134 nachzuweisen.

### **5.5 Frostschtutz**

Aufgrund der hohen Feinkornanteile sind die hier vorliegenden Böden insgesamt als sehr frostempfindlich einzustufen. Hieraus ergibt sich die Einhaltung folgender Frostschtuthtiefen für Fundamente und Baukörper:

$T_{FS} \geq 1,0$  m.



Die Frostsicherheit ist durch geeignete Materialwahl, entsprechende Fundamenthöhen und dauerhafte Entwässerung sicherzustellen.

## **5.6 Sonstiges**

Die Baugrundaufschlüsse lassen zwangsläufig nur punktuell die genaue Erfassung des Baugrundes zu, so dass Abweichungen von den vorgefundenen und beschriebenen Baugrund- und Grundwasserverhältnissen möglich sind, die sich letztlich erst in geöffneten Baugruben genau erkennen und beurteilen lassen.

Die vorhandenen Felddränagen sind während der Tiefbauarbeiten zurückzubauen bzw. unwirksam zu machen.

Die Daten des Berichtes beruhen auf dem jetzigen Kenntnisstand zum Projekt. Alle Änderungen bedürfen der geotechnischen Überprüfung. Zusätzliche geologische Untersuchungen ergeben sich u. E. aus diesem Befund nicht.

Heilbad Heiligenstadt, den 30.09.2011

Dipl.-Ing. Elmar Dräger

Dipl.-Ing. Doreen Weinrich