

BAUGRUND ERFURT

Ingenieurbüro für Baugrund Erfurt GbR
Baugrund - Boden - Altlasten - Hydrogeologie

Wir verstehen Ihre Gründe.

Alte Chaussee 93
99097 Erfurt
Tel: (0361) 3424333
Fax: (0361) 3424334
Mail: info@BaugrundErfurt.de

www.BaugrundErfurt.de

GEOTECHNISCHER BERICHT

Bauvorhaben : Neubau Mensa
 Universität Erfurt
 Max-Weber-Allee
 Erfurt

Auftrags-Nr. : G24-131

Auftraggeber : Studierendenwerk Thüringen
 Philosophenweg 22
 07743 Jena


Bearbeiter:
Hersmann
Dipl.-Ing.(GF)


Milbredt
Dipl.-Ing.(GF)

Erfurt, den 5. September 2024

1. Unterlagenverzeichnis

- U 1 Auftrag vom 14.06.2024
- U 2 Hüllriss Baufeldfläche, digital
- U 3 Grundrissplan (Schema Vorentwurf), digital
- U 4 Baugrundgutachten G18-243 (Forschungsneubau Uni)
- U 5 4 Schichtenverzeichnisse der vom 21.-23.08.2024 abgeteufte Kernbohrungen
- U 6 4 Protokolle der am 31.07.2024 abgeteufte Rammsondierungen
- U 7 5 Schichtenverzeichnisse der am 31.07.2024 abgeteufte Kleinbohrungen
- U 8 Laborprüfungen Erdstoffe
- U 9 Chemische Analytik
- U 10 Geologisches Messtischblatt
- U 11 Ingenieurgeologische Karte der Auslaugungserscheinungen

2. Anlagenverzeichnis

- A 1 1 Aufschlussplan auf der Grundlage von [U2]
- A 2 14 Aufschlussprofile + 2 Profilschnitte + Fotos Kernbohrungen
- A 3 3 Durchlässigkeitsversuche
- A 4 5 Blatt Laborprüfungen Erdstoffe
- A 5 2 Kornverteilungskurven
- A 6 4 Ödometerversuche
- A 7 112 Blatt chemische Analytik

3. Feststellungen

3.1. Standort und Baubeschreibung

Der Auftraggeber plant den Neubau einer Mensa auf dem Universitätscampus in der Max-Weber-Allee.

Der Standort befindet sich im Norden der Stadt Erfurt auf einem morphologisch unauffälligen (ebenen) Gelände, zwischen den Universitätsgebäuden „Forschungsneu-

bau“ und „Bibliothek“. Die Fläche wurde vormals als Baustelleneinrichtung für den Forschungsneubau verwendet und weist weitgehend Kulturboden, teils auch Reste von Kiestragschichten auf. Aktuell wird die Fläche als Wiese verwendet.

Aktuell befindet sich die Planung noch in einem sehr frühen Stadium, so dass Änderungen an der Kubatur, Einbindetiefe und Lastabtragung noch denkbar bzw. zu erwarten sind.

Vorgesehen ist ein ca. 2-geschossiger Neubau mit einer kleinen Teilunterkellerung (ca. 314 m tief), ca. in der Mitte des Bauwerks. Das Tragwerk besteht aus einer stark aufgelösten Stützen-Riegel-Konstruktion mit großen Spannweiten zwischen den Einzelstützen, so dass nach aktuellem Stand eine Bohrpfahlgründung zur direkten Stützeinspannung vorgesehen ist.

Verkehrstechnisch wird das Baufeld über die vorhandene Max-Weber-Allee bzw. die fußläufige Freifläche vor dem Forschungsneubau erschlossen.

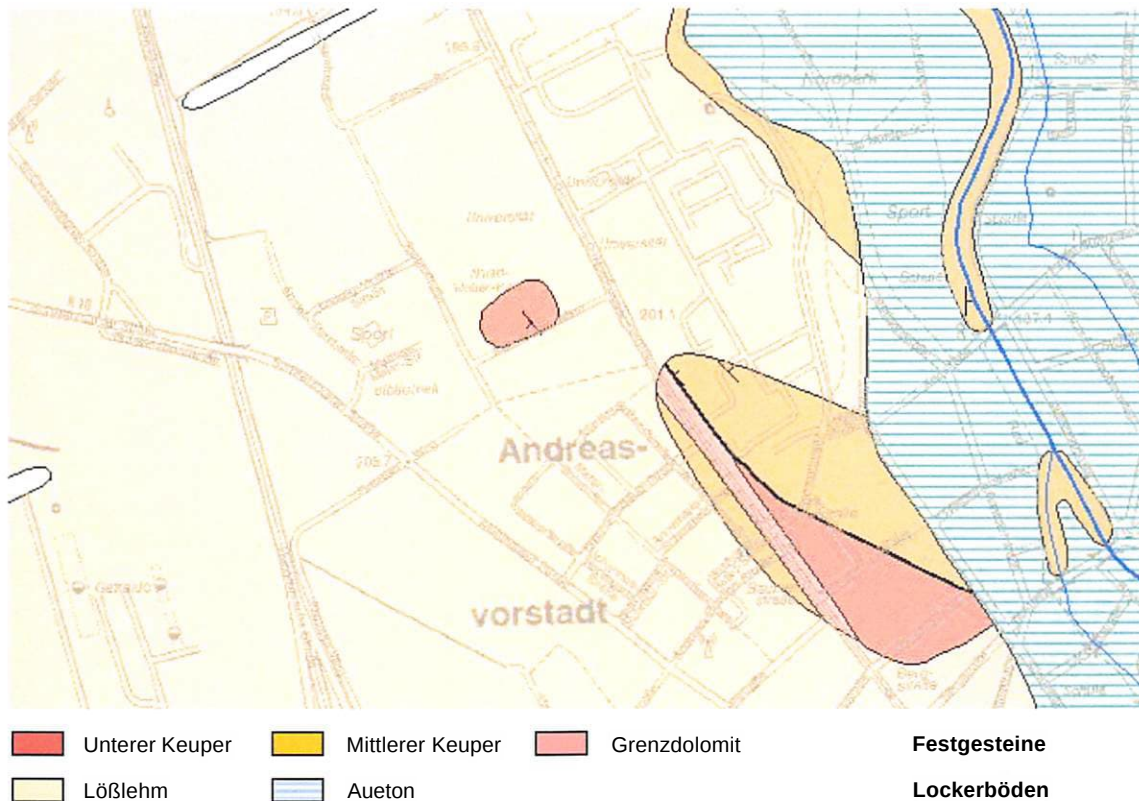
3.2. Geologische Situation

Der Standort befindet sich im Norden der Erfurter Keupermulde, ca. 400 m westlich der Gera.

Die Lockergesteinsüberdeckung wird vor Ort nur noch randlich von der Gera beeinflusst. Wesentlich stärker vertreten sind weichselzeitliche Lößlehme und deren Derivate, teilweise fluviatil durch die Gera umgelagert. Die Stärke der Lockergesteine kann am Standort, aufgrund lokaler Mulden im Festgestein, zwischen ca. 8...10 m schwanken. Die Mulden sind durch Subrosionsvorgänge im Gipskeuper (s.u.) verursacht und können daher mit lokalen Sprungverschiebungen einhergehen.

Im Liegenden folgen die Festgesteine des Mittleren Keupers (Unterer Gipskeuper) in Faziesgrenze zum Unteren Keuper (Lettenkohlenkeuper).

Siehe dazu den folgenden Auszug aus [U10]:



Der *Untere Gipskeuper* (km1) besteht überwiegend aus grauen und roten Tonsteinen mit Gips- und Anhydriteinlagerungen und in geringerem Umfang Steinmergelbänken. Die Schichtmächtigkeit des Unteren Gipskeupers beträgt vor Ort aufgrund der Faziesgrenze wenige Meter bis 1 Dekameter.

Infolge der eingelagerten Gipse und Anhydrite kommt es bei konzentriertem Wasserzutritt zu Auslaugungserscheinungen und daraus resultierenden Setzungserscheinungen im tieferen Untergrund. Diese können sich unter Umständen auch in der Form von Einsenkungen und Bruchbildungen äußern. Im Bereich der Stadt Erfurt sind diese Auslaugungsprozesse jedoch bereits zu einem Großteil abgeschlossen, so dass nicht mit einer akuten Erdfallgefahr im Bereich der Bebauung zu rechnen ist. Die Ingenieurgeologische Karte der Auslaugungserscheinungen weist das Bebauungsgebiet der Gefährdungsgruppe B-b-I-1¹ zu.

¹ Lokale Bildung von Spalten und kleinen Hohlräumen bei geringmächtigen Gipseinschlüssen möglich

Der nördlich an das Baufeld angrenzende bzw. den Gipskeuper unterlagernde *Lettenkohlenkeuper* (ku) verdankt seinen Namen der geringfügig in dieser Schicht enthaltenen Lettenkohle. Hauptgesteine des Unteren Keupers sind jedoch Ton- und Schluffsteine mit dolomitischen Mergeln und Kalksteinen sowie mürben bis festen, tonigen Sandsteinen. Aufgrund der kohligen Einschlüsse herrschen schmutziggraue Farbtöne vor. Wir gehen davon aus, dass der Untere Keuper für das geplante Bauvorhaben weitgehend ohne Relevanz ist.

Aus geologischer Sicht ist der Standort für die geplante Bebauung geeignet. Zur Sicherung gegen kleinformatige Schwachstellen im tieferen Untergrund, deren Lage nicht vorhergesagt werden kann, reicht die Anordnung einer aussteifend wirkenden, bewehrten Bodenplatte oder eines steifen Trägerrostes bzw. auch eine rahmenartige Ausbildung der Wandscheiben des ersten Geschosses aus. Völlig freistehende Stützen werden jedoch wegen der Gipsauslaugung nicht empfohlen.

Der Standort gehört zu keiner Erdbebenzone.

3.3. Baugrundverhältnisse

Zur Untersuchung der Baugrundsichtung wurden Rammkernsondierungen (RKS), schwere Rammsondierungen (DPH) und Kernbohrungen (KB) mit Aufschlusstiefen bis max. 20 m unter Ok Gelände niedergebracht. Weiterhin wurden die Erkenntnisse aus den Tiefenaufschlüssen der Bauvorhaben „Forschungsneubau“ und „Universitätsbibliothek“ zur Beurteilung des Untergrundes verwendet.

Die Lage der Aufschlüsse ist dem Aufschlussplan in der Anlage 1 zu entnehmen.

Die Durchführung der Baugrunderkundung erfolgte durch das Ingenieurbüro für Baugrund Erfurt GbR Hersmann, Milbredt, Rudolph in Zusammenarbeit mit der Firma Kernbohrungen Uwe Helbig, Königsee vom 31.07.-23.08.2024.

3.3.1. Baugrundsichtung

Der Standort lässt sich für bautechnische Zwecke in 3 Homogenbereiche zusammenfassen. Nicht berücksichtigt sind dabei die geringmächtigen Oberbodenbereiche mit Stärken von max. 0...14 m.

Homogenbereich A: Auffüllung

Schicht 1: Ton, organisch

Lokal sind Reste der ehemaligen, organogenen Deckschichten anzutreffen.

Schicht 2: Auffüllung, bindig

Infolge der Erschließung des Standortes und der umliegenden Bebauungen sind weiträumig vorwiegend bindige Auffüllungen anzutreffen.

Schicht 3: Auffüllung, grobkörnig

Ebenfalls sind Reste der grobkörnigen Oberflächenertüchtigungen der Baustelleneinrichtungen der Vorbebauungen anzutreffen.

Die kumulative Stärke des Auffüllungshorizontes schwankt zwischen ca. 34...1 m.

Homogenbereich B: Ton

Schicht 4: Lößlehm

Der Homogenbereich wird von weichselzeitlichen Lößlehmen dominiert.

Schicht 5: Zersatzlehm

Mit Annäherung an den Keuper (siehe Homogenbereich C) geht der Lößlehm unter Zunahme der Bindigkeit sukzessive in einen Zersatzlehm des Keupers über. Dessen Übergang zum Keuper verläuft ebenfalls fließend.

Die kumulative Schichtstärke des Homogenbereichs schwankt zwischen ca. 8...9 m.

Homogenbereich C: Keuper

Schicht 6: Tonstein

Im Liegendhorizont ab ca. 854...10 m unter OKG folgen die Festgesteine des Keupers. Dieser wird von zersetzten bis entfestigten Tonsteinen dominiert. Lokal sind Gipsaschen anzutreffen, die jedoch volumenmäßig untergeordnet zu

erwarten sind (Auslaugung ist bereits weitgehend erfolgt). Ebenfalls lokal sind geringmächtige Sandsteine (teils dolomitisiert) anzutreffen.

Die Schichtmächtigkeit der Festgesteine beträgt >20 m.

Die genaue Schichtung und die Schichtgrenzen sind den Aufschlussprofilen der Anlage 2 zu entnehmen. Einen guten Überblick verschaffen die geologischen Schnitte in derselben Anlage.

3.3.2. Beschreibung der Homogenbereiche

Homogenbereich A: Auffüllung

Der Homogenbereich besteht wechselnd aus bindigen und grobkörnigen, teils organischen Gemengen. In weiten Bereichen wurde hier die ehemalige Mutterbodendeckschicht zur Herstellung einer ebenen bzw. für Bauzwecke befestigten Fläche mit einem kiesigen...steinigen Material überformt. Infolge der langen Standzeit sind grobkörnige und bindige Schichten jedoch aktuell erheblich miteinander verzahnt, so dass kaum eine wirtschaftlich sinnvolle Trennung möglich sein dürfte.

Der Homogenbereich ist als hochgradig inhomogen, leicht zusammendrückbar und somit kaum belastbar einzuschätzen.

Die Frostveränderlichkeit ist hoch.

Die Färbung der Schichten schwankt zwischen grau, braun und dunkelbraun.

Die Lagerungsdichte schwankt zwischen dem lockeren und mitteldichten Bereich.

Die Wasserdurchlässigkeit liegt im Mittel im durchlässigen Bereich.

Für bautechnische Zwecke ist der Homogenbereich weitgehend ungeeignet.

Homogenbereich B: Ton

Der Homogenbereich besteht im oberen (dominierenden) Horizont aus Lößlehm, die bodenmechanisch als leichtplastische, sandige Tone anzusprechen sind und im unteren Horizont (Übergangsbereich zum Keuper) aus einem mittelplastischen Ton.

Die Färbung des Lößlehms ist charakteristisch hellbraun, die des Zersatzlehms dunkelgraubraun bis schmutziggrau.

Der Zersatzlehm dient am Standort als primärer Sieker- und Schichtenwasserstauer, wohingegen der Lößlehm eine mäßige bis geringe Durchlässigkeit aufweist. In der Folge weicht der hochgradig wasserempfindliche Lößlehm partiell auf, was ein Überwechseln von der steifen zur weichen Zustandsform bewirkt. Der aufgeweichte Bereich ist lokal schwankend, jedoch häufig im Tiefenbereich ca. 2¹/₂...5¹/₂ m anzutreffen.

Die Lagerungsdichte liegt einheitlich im mitteldichten Bereich.

Die Schicht weist je nach Zustandsform eine geringe bis mittlere Tragfähigkeit auf. Die Steifemoduln erreichen im weichen...steifen Zustand Größen von $E_s = 6...12 \text{ MN/m}^2$. Im Zersatzlehm kann der Steifemodul auf Werte bis zu $E_s = 16 \text{ MN/m}^2$ ansteigen.

Die Lößlehme sind als leicht bis mäßig zusammendrückbar und nur mit geringen Lastgrößen belastbar einzuschätzen.

Homogenbereich C: Keuper

Der Tonstein ist im Bereich seines oberen Anschnittes noch stärker zersetzt und weist hier eher Lockergesteinscharakter auf. Der Übergang vom Zersatzlehm zum Keuper verläuft teils fließend.

Mit der Tiefe geht der Zersatzgrad jedoch allgemein zurück, so dass nach ca. 1...3 m unter dem oberen Anschnitt erste feste, schiefrige Bereiche angetroffen werden. Ab ca. 15 m geht der Keuper in einen plattigen Zustand über.

Der lokal bei den KB 3 und 4 angeschnittene Sandstein markiert wahrscheinlich den Übergang zum Unteren Keuper (Grenzdolomit). Der liegend folgende Untere Keuper ist ebenfalls von Tonsteinen geprägt, die in der Regel bereits im oberen Anschnitt eine hohe Festigkeit und einen nur mäßigen Zersatzgrad aufweisen (entfestigt). Für erdstatische Betrachtungen braucht nicht zwischen den beiden Subserien des Keupers unterschieden werden. Es kann eine allgemein mit der Tiefe zunehmende Festigkeit und ein Rückgang des Zersatzgrades unterstellt werden.

Die Färbung des Tonsteins ist schmutziggrau, graugrün, rotbraun, oliv bis bunt.

Der Tonstein stellt ein nahezu wasserundurchlässiges Gestein dar. Die Wasserführung beschränkt sich auf Karsthorste und Klüfte im tieferen Gesteinshorizont. Der Tonstein weist schon im oberen Zersatzhorizont mäßige bis gute Tragfähigkeitswerte auf, die sich mit der Tiefe weiter verbessern.

Die für den Anschnitthorizont maßgebenden Steifezahlen liegen bei $E_s = 20 \dots 40 \text{ MN/m}^2$. Mit zunehmender Tiefe und dem damit verbundenen Rückgang des Zersatzgrades steigen die Werte auf $E_s = 40 \dots 80 \text{ MN/m}^2$ an.

3.4. Hydrologische Verhältnisse

Wasser wurde bei folgenden Aufschlüssen in den unten angegebenen Tiefenlagen angeschnitten (Wasserruhestände):

Aufschluss	Anschnitt unter OKG	Ruhestand unter OKG	Ruhestand Höhenkote NHN
KB1	9,1 m	6,2 m	196,4 m
KB 2	8,9 m	6,7 m	195,8 m
KB 3	9,5 m	6,3 m	196,4 m
KB 4	10,2 m	6,2 m	196,2 m

Die Altaufschlüsse im Bereich Forschungsneubau und KIZ belegen Wasserruhestände zwischen ca. 7...8 m unter OKG und damit ca. 1 m tiefer als derzeit.

Während für den Zeitraum der Baugrunderkundung für den Forschungsneubau und das KIZ von Niedrigwasserständen auszugehen war, herrschen aktuell mittlere bis erhöhte Wasserruhestände.

Zu unterscheiden ist am Standort von einem nur schwach schüttenden Sickerwasserleiter zwischen Löß- und Zersatzlehm (im Homogenbereich B) und dem gespannten Kluftwasser im Keuper (Homogenbereich C).

Während ersteres als nur temporär und lokal anfallendes Stauwasser einzustufen ist, handelt es sich bei letzterem um Kluftwasser im Bereich der Karsthorizonte des Keupers. Es ist von einer mäßigen Schüttrate auszugehen.

Auffällig ist, dass Wasseranschnitt und -ruhestand jeweils mehrere Meter Differenz aufweisen und somit ein erhebliches hydraulisches Potential vorhanden ist.

Für die Planung von Bauwerksabdichtungen und Auftriebsberechnungen ist von einem Wasserstand von ca. 197 m auszugehen. Aufgrund des auch oberhalb anstehenden bindigen Bodens ($k \ll 10^{-4}$ m/s) kann es nach extremen Witterungsperioden ohne Drainage zu grundwasserähnlichen Verhältnissen kommen. Als druckwasserfrei ist daher auch oberhalb des Grundwasserbemessungswasserstandes nur eine Tiefe anzusehen, bis in die eine rückstausichere, freie Entwässerung/Drainierung der Vertiefung realisiert werden kann.

4. Bodenklassifizierungen und -kennwerte

Die untenstehenden Bodenklassifizierungen erfolgten anhand von vereinfachten Felduntersuchungen gemäß DIN 18300-2015/DIN EN ISO 14688 und, soweit aus unserer Sicht erforderlich, ergänzenden Laboruntersuchungen zur Einteilung in Homogenbereiche. Dazu wurden auch Erfahrungen/Erdstoffuntersuchungen aus bereits abgeschlossenen Bauvorhaben auf dem Universitätscampus herangezogen.

Für die labormäßige Bestimmung der vollständigen Parameterliste gemäß DIN 18300-2015, die nicht für jedes Bauvorhaben vollumfänglich notwendig ist, wären weitere bodenphysikalische Untersuchungen erforderlich. Vorsorglich wurden Rückstellproben ausgewählter Erdstoffe entnommen und werden für 14 Tage nach Gutachtererstellung in unserem Büro gelagert. Die Preisliste für weitere Laborleistungen (falls gewünscht) senden wir Ihnen gern zu.

Die für erdstatische Bemessungen notwendigen Rechenkennwerte (charakteristische Werte) sind den untenstehenden Tabellen zu entnehmen:

Homogenbereich	A Auffüllung	B Ton	c Keuper	
----------------	-----------------	----------	-------------	--

Bezeichnungen

Locker-ZFestgestein	Ton, organisch, Kies, Bauschutt	Ton, teils sandig	Tonstein, zer- setzt...entfestigt ²	
Genetische Bezeichnung(en)	Auffüllung (Anthropogen)	Lößlehm, Zersatzlehm	Mittlerer Keuper, Unterer Keuper	
Gruppensymbol gemäß DIN 18196	A, (Mu)	TLZTM	(TM)	
Felsklassifikationen	-	-	SF.VZ...VE (bindig...schiefrig)	
Gesteinsfestigkeit	-	-	sehr mürb... mäßig hart	
Bodengruppenkurzzeichen gemäß DIN EN ISO 14688	Mg, orCl	saCL.Cl	(Cl)	
Bodenklasse gemäß DIN 18300 (alt, nur zur Info)	Bk 3...Bk 4	Bk4	Bk6 (Sst teils Bk 7)	
Verdichtbarkeitsklasse	V2...V3	V3	(V3)	
Frostempfindlichkeitsklasse	F3	F3	F2	

Indirekte Kennwerte

Lagerungsdichte b	locker...mitteldicht	mitteldicht	dicht...sehr dicht	
Wassergehalt w (^{aktuell} <schwankt)	-	0,2...0,25	0,1...0,15	
Plastizitätszahl Ip	-	0,10...0,22	0,20...0,25	
Konsistenzzahl I _c (^{aktuell} >schwankt)	-	0,7...1,0	1,0...>1,3	
Ungleichförmigkeit	hoch	-	-	
Kömungslinie	wechselnd	-	-	
Komform	wechselnd	-	-	
Mineralische Zusammensetzung	-	-	Ton, Silt, Quarzit	
Abrasivität	-	-	mäßig bis hoch	
Trennflächen	-	-	sehr stark klüftig... klüftig	
Anteil Steine/Blöcke	gering	kein	-	
Organischer Anteil	gering	kein	kein	
Besonderheiten	lokal Bauschutt	-	lokal Gipsaschen lokal Sandstein, teils dolomitisch	

² Aufgrund des Verwitterungsgrades im Anschnittbereich lockergesteinsähnliche Eigenschaften.

Homogenbereich	A Auffüllung	B Ton	C Keuper	
----------------	-----------------	----------	-------------	--

Erdstatistische Berechnungskennwerte

Wichte γ [kN/m ³] ³	17...19	19	21	
Durchlässigkeit k [m/s]	$10^{-4} \dots 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-6} \dots 10^{-8}$	$< 1 \cdot 10^{-8}$	
Reibungswinkel φ' [°]	20...30	22...24	25...27	
wirks. Kohäsion c' [kN/m ²]	2...0	5...8	15...20	
undr. Scherfestigkeit [kN/m ²]	-	50...100	-	
Mantelreibung $q_{s,k}$ [MN/m ²] ⁴	0	0,0...0,05	0,12...0,25	
Spitzendruck $q_{t,k}$ [MN/m ²] ⁴	0	0	0...1,8	
Steifemodul E_s [MN/m ²]	-	6...12	20...80	
Verformungsmodul E_v [MN/m ²]	$< 10 \dots 20$	$< 10 \dots 15$	-	

5. Gründungstechnische Schlussfolgerungen

5.1. Eignung als Standort

Der Standort ist für die vorgesehene Maßnahme aus baugrundtechnischer Sicht unter Beachtung folgender erschwerender, Mehrkosten erzeugender Faktoren geeignet:

- Die weichen...steifen Lößlehme lassen keine, über eine geringe Lasteintragung hinausgehende Belastung zu. Daher ist für höhere Lasten bzw. inhomogene Lastverteilungen mit erheblichen Tiefergründungen zu rechnen.
- Die Gipsauslaugung im Keuper bzw. auch die Formationsgrenze (Lettenkohlenkeuper...Gipskeuper).
- Das Stau- und Grundwasser.
- Die weiträumig ungünstigen Wiedereinbaueigenschaften der anfallenden Erdstoffe.

³ Die Wichte unter Auftrieb ist jeweils um 10 kN/m³ vermindert anzunehmen.

⁴ Bruchwerte für Großbohrpfähle. Genauer ist Abschnitt 7.2. zu entnehmen.

5.2. Baugrundeignung zur Gründung

Homogenbereich A: Auffüllung

Der Homogenbereich ist nicht zur Gründung geeignet.

Homogenbereich B: Ton

Der Homogenbereich ist zur Gründung geringer und linien- bis flächenhaft verteilter Lasten geeignet.

Homogenbereich C: Keuper

Der Homogenbereich ist zur Lastabtragung mittlerer (zersetzt) bis hoher (verwittert) Lasten ausreichend tragfähig. Karsthorizonte sind gesondert zu betrachten.

Mischgründungen zwischen den Homogenbereichen B: Ton und C: Keuper sind zu vermeiden.

5.3. Verwendbarkeit des Aushubes

Homogenbereich A: Auffüllung

Die Erdstoffe im Homogenbereich sind für einen Wiedereinbau weitgehend ungeeignet.

Homogenbereich B: Ton

Die Tone sind für einen Wiedereinbau nur nach Korrektur des zu hohen Wassergehaltes geeignet (z.B. durch die Zugabe eines Mischbinders C30).

Homogenbereich C: Keuper

Der Homogenbereich steht erst unterhalb der Gründungssohle an.

Bindige Erdstoffe dürfen (sofern überhaupt einbaubar, s.o.) jeweils bis max. 0,5 m unter dem Erdplanum von Verkehrsflächen eingebaut werden. Liegen die bindigen Erdstoffe in einem durchfeuchteten oder stark ausgetrockneten Zustand vor, so sind sie nur zum Geländeausgleich von unbelasteten Flächen (Grünanlagen etc.) anwendbar. Beim Einbau feinkörniger Erdstoffe ist neben dem erdfeuchten (steifen bis halbfesten) Zustand ein Einbau in dünnen Lagen (mit $d < 0,2$ m) und die Verwendung statisch/knetend wirkender Verdichtungstechnik erforderlich. Der Einbau setzt weiterhin günstige (trockene) Witterungsverhältnisse voraus.

Bei einem Einbau der anstehenden Erdstoffe ist vorab die Eignung gemäß EBV zu überprüfen (siehe Abschnitt 9.). Weiterhin ist beim Einsatz von hydraulischen Bindemitteln vorab die Verträglichkeit der anstehenden Erdstoffe zu prüfen (Gipsauslaugung im Keuper → Sulfatangriff).

Für den Einbau unter Gründungselementen von Hochbauten sind die aushubrelevanten Erdstoffe durchweg nicht geeignet.

Bei einer Wiederverwendung sind die Frost- und Wasserempfindlichkeiten zu beachten.

Eine Wiederverwendung der Erdstoffe setzt eine Zwischenlagerung (Deponierung) voraus, die eine weitere Durchfeuchtung bzw. Austrocknung des Aushubs verhindert.

6. Empfehlungen zur Gründung

6.1. Gründungsart und -tiefe

Je nach Lastgröße kann die Lastabtragung entweder einheitlich im Homogenbereich B: Ton oder im Homogenbereich C: Keuper erfolgen.

Die Gründung im Homogenbereich B: Ton setzt eine sehr gleichmäßige Lastverteilung z.B. mit einem stark aussteifenden Untergeschoss und eine zusätzliche Ertüchtigung des Untergrundes im Bereich weicher Schichten voraus.

Bei einer Gründung im Homogenbereich C: Keuper können größere und auch konzentrierte Lasten abgetragen werden. Aufgrund der aktuellen Planung mit einer eher punktförmigen Lastabtragung vorwiegend über Stützen mit größeren Spannweiten gehen wir von einer notwendigen Gründung auf dem Keuper aus. Zur Lastabtragung kommt aufgrund der Tiefenlage praktisch nur Spezialtiefbautechnik in Frage.

6.1.1. Tiefgründung im Keuper

Zur Lastabtragung werden Großbohrpfähle mindestens 3 m in den zersetzten bis entfestigten Tonstein eingebracht. Sollten lokal Gipshorizonte (>20 cm) im Keuper angeschnitten werden, sind diese als Fehllänge zu betrachten und zusätzlich zu durchstoßen (Pfahlverlängerung). Die Festlegung dazu erfolgt nach Maßgabe von

Bohrpfahlabnahmen durch unser Büro.

Die Bohrpfähle werden von einem Trägerrost überspannt, dem wiederum die Fußbodenplatte freitragend als 1. Decke aufgelagert wird. Da der Gebäudefußboden den Trägerrost freitragend überspannt, benötigt er für seine Herstellung nur ein konstruktives Auflager. Dieses kann z.B. in Form einer Untergrundverbesserung aus $>0,3$ m Schotter oder gebrochenem Kies (+ 10 cm Grobschlag) realisiert werden.

Die Pfähle können nach Abschnitt 7.2. dimensioniert werden.

6.1.2. Flachgründung mit Polster im Ton

Sollten sich im Rahmen der weiteren Projektentwicklung aus Kostengründen doch eine homogenere Lastabtragung und damit geringere Lastgröße ergeben, kann die Lastabtragung auch indirekt über ein einzubauendes Schotterpolster auf dem Homogenbereich B erfolgen. Das Polster hat eine Mindeststärke von ca. 1...1% m (je nach Zustandsform des Tons) zu erreichen.

Die Sohle ist mit ungezahnter Technik profilgerecht freizulegen und anschließend unter Zuhilfenahme einer dünnen (ca. 10...20 cm) Lage Grobschlag nachzuverdichten (schwere Schafffußwalzen, Glattwalzen zum Glätten). Der Grobschlag soll sich dabei in den Untergrund eindrücken.

Die fertige Sohle ist mit einem vlieskaschierten Geogitter ($>30/30$ kN/m) auszulegen. Dieses ist seitlich der Baugrube hochzuführen. Anschließend erfolgt der lagenweise (d $\leq$ 20 cm) Einbau des Schotterpolsters. Dieses ist mit $\geq 100\%$ Proctor einzubauen. Als Polstermaterial ist vorzugsweise ein Schottermaterial der Sieblinie 0/45 mit $<5\%$ Feinkornanteil zu verbauen. Bei Nachweis der chemischen Verträglichkeit kann dazu auch ein RC-Material verwendet werden. Das Polster muss seitlich um ca. seine Höhe über die Außenkante der Bodenplatte überstehen (Lastausbreitung unter 45° im Polster). Alternativ ist auch eine seitliche Begrenzung aus Beton möglich.

Die Verdichtung ist aktenkundig nachzuweisen (Lastplatten).

Als eigentliches Gründungselement dient eine biegesteife und zweilagig bewehrte Bodenplatte, die eine Mindeststärke von ca. 0,5 m aufweisen sollte.

Die genannten Gründungskörper können nach Abschnitt 7.1. dimensioniert werden.

6.1.3. Sondergründung im Ton

Ziel dieser Gründungslösung ist eine Ertüchtigung des kompletten Lockergesteinsstoßes ohne einen vollständigen Austausch desselben. Dabei wird eine höhere Steifigkeit als bei der Gründungslösung mit Platte und Polster erzielt, was die Abtragung höherer Lasten zulässt. Eine weitgehende Homogenisierung der Lasten ist jedoch auch bei dieser Gründungslösung notwendig.

Als Gründungselement dient wiederum eine steife Bodenplatte.

Unter der Bodenplatte wird vollflächig ein ca. 0,5...0,8 m starkes Schotterpolster angeordnet. Dieses ruht auf einer Untergrundverbesserung vorzugsweise aus Geopierelementen (andere Schotterstopfsäulen sind nach Rücksprache mit unserem Büro möglich). Diese werden knapp oberhalb des Grundwasseranschnittes (ca. -9 m unter OKG) als „schwebende Gründung“ abgesetzt. Ein seitlicher Überstand der Untergrundverbesserung zur Gewährleistung der Lastausbreitung des Gebäudes ist bei der Planung zu berücksichtigen.

Der Einbau des Schotterpolsters hat lagenweise mit 100% Proctor auf einem Geogitter (£30/30 MN/m) zu erfolgen. Die ausreichende Verdichtung und Tragfähigkeit des Polsters ist mittels statischer Lastplattendruckversuche (min. 2 Versuche im Feldbereich und 2 Versuche über Geopierelementen) nachzuweisen. Für die Schotterstopfsäulen reicht die Ausführung von min. 3 schweren Rammsondierungen (DPH) mit einem Zielwert innerhalb des Schotterkörpers von $n_{10} \geq 18$ aus.

Die für die Bemessung der Bodenplatte bzw. des Trägerrostes notwendigen Bettungsmoduln werden durch den Hersteller der Geopiergründung geliefert. Für Überschlagsbemessungen kann von einem Wert $k_s \sim 18...22 \text{ kN/m}^3$ ausgegangen werden. Bei Unklarheiten bezüglich der Setzungsberechnung ist mit unserem Büro Rücksprache zu halten.

6.2. Baugrube

Die Baugrube kann, soweit die örtlichen Platzverhältnisse dies hergeben, frei abgebösch hergestellt werden. Dazu sind untenstehende Böschungswinkel einzuhalten:

- Homogenbereich A: Auffüllung $\beta_i \leq 50^\circ$
- Homogenbereich B: Ton $\beta_2 \leq 60^\circ$
- Homogenbereich C: Keuper $\beta_s \leq 65^\circ$

Die Oberkante der Böschung ist in einem mindestens 1% m breiten Streifen lastfrei zu halten (kein Baumaterial, kein Baustellenverkehr).

Böschungen >3 m, belastete oder steilere Böschungen bedürfen des rechnerischen Nachweises. Alternativ ist bis zu einer max. Höhe des Böschungsgesamtsystems von max. 5 m eine Zwischenberme mit einer Breite von B = 5 m anzulegen.

Die Oberfläche der Böschung ist gegen Erosion und Austrocknung zu schützen.

Baugrubenwände, die nicht in der oben genannten Geometrie hergestellt werden können, sind zu verbauen. Dazu eignet sich am Standort z.B. ein Trägerbohlverbau, der im Keuper mit vorgebohrten Trägern (Münchner Verbau) hergestellt werden muss. Bei ausschließlich in den Homogenbereich B einbindenden Trägern kann auch ein Berliner Verbau mit gerammten Trägern gewählt werden, sofern die Universität dieser Verfahrensweise aufgrund der zeitweise erhöhten Lärm- und Erschütterungsbelastung zustimmt.

Zu beachten sind dabei folgende Punkte:

- Beim Ziehen der Verbauträger eines Münchner Verbaus entstehen signifikante Auflockerungen im Umfeld. In setzungskritischen Bereichen (wie Zufahrten) ist daher ein dauerhafter Verbleib der Träger im Untergrund zu empfehlen.
- Soll auch die Verbohlung mit im Untergrund verbleiben, ist, ebenfalls wegen zu erwartender Sackungen, der Einbau von Kanaldielen aus Beton vorzusehen.

6.3. Bauwerksabdichtung

Die Abdichtung von erdeinbindenden Bauwerksräumen kann bis zu einer Höhenkote von max. 197 m unter Einbau einer Bauwerksdrainage gemäß DIN 4095 entsprechend Lastfall W1-E (nicht drückendes Wasser) erfolgen. Die Drainage ist dann mit freiem Gefälle an eine Vorflut anzuschließen. Aufgrund des stark stauenden Hanglehms und Keupers im Untergrund ist jedoch davon auszugehen, dass eine

Versickerung der Drainagewässer am Standort nur oberflächennah (bis max. ca. 3...4 m unter OKG) möglich sein wird.

Ist die Vorflut nicht gewährleistet (Bauwerk ohne Drainage) bzw. für Untergeschosse für die aufgrund der o.g. Tiefenlage keine Drainage mehr sicher entwässernd hergestellt werden kann, müssen erdeinbindende Bauwerksräume druckwasserhaltend entsprechend Lastfall W2-E (drückendes Wasser) ausgebildet werden. Lichtschächte und andere Öffnungen müssen entweder in die Wannenkonstruktion integriert oder anderweitig entwässert oder abgedichtet werden.

6.4. Bauwasserhaltung

Die Gründungs- und Tiefbauarbeiten sind zu Zeiten geringer Niederschlagswahrscheinlichkeit durchzuführen. Zu Zeiten ungünstiger Witterungsperioden ist mit lokalen Stauwasserbildungen auf den Tonen zu rechnen.

Wird Wasser angeschnitten oder staut sich Oberflächenwasser in der Baugrube bzw. in den Fundamentgräben auf, so ist dieses sofort mittels offener Wasserhaltung abzupumpen, um eine trockene (erdfeuchte) Gründungssohle zu gewährleisten. Dazu ist das anfallende Wasser am Baugrubenrand zu fassen, Pumpensümpfen zuzuführen und aus diesen abzupumpen.

Bei großflächigen Aushüben bis nahe an den aktuellen Wasseranschnitt sind in jedem Fall alle für eine Wasserhaltung notwendigen Materialien auf der Baustelle vorzuhalten. Ein „Absaufen“ des hochgradig wasserempfindlichen Lößlehms muss unbedingt vermieden werden.

In den verrohrten Bohrpfählen ist in der Regel keine Wasserhaltung erforderlich. Das Betonieren erfolgt hier vorzugsweise im Kontraktorverfahren mittels Schüttrohrs und unter Wasserverdrängung.

Die Gründungssohlen der Verkehrsflächen sind durch schnelles Überschütten vor Witterungseinflüssen zu schützen.

6.5. Straßenober- und -unterbau

Angaben zur Belastungsklasse liegen derzeit noch nicht vor. Wir gehen jedoch aufgrund der Verwendungszwecke für die PKW-Zufahrten, -Stellplätze und Feuerwehrrettungswege von einer Belastungsklasse Bk0,3 und für Lieferzufahrten mit SLW von einer Belastungsklasse Bk1,0 aus. Fußgängerbereiche ohne Überfahrmöglichkeit (auch nicht für Feuerwehr) mit oder ohne Deckschicht können gemäß RLW, Beanspruchungsklasse: mittel ausgeführt werden.

Reduzierte Aufbauten gemäß RLW weisen leicht erhöhte Oberflächenverformungen gegenüber einem RStO-Aufbau auf.

Somit ergeben sich unter Berücksichtigung der örtlichen klimatischen und untergrundbedingten Verhältnisse folgende Regelaufbauten gemäß RStO 12:

Belastungsklasse (Nutzung)	Bk1,0 (Lieferzufahrt SLW)	Bk0,3 (PKW-Verkehr, Feuerwehrrettungswege)	RLW - mittel Gehwege/PKW-Nebenflächen
Grundwert F3-Boden	60 cm	50 cm	
Frostzone II	+5 cm	+5 cm	
Wasserverhältnisse	+0 cm	+0 cm	
Entwässerung	-5 cm	-5 cm	
Frostsicherer Oberbau, gesamt (inkl. Deckschicht)	60 cm	50 cm	>35 cm
erforderlicher Bodenaustausch	30...40 cm o	30...40 cm n	£20 cm
Gesamtaufbau i.M.	>95 cm	>85 cm	£55 cm

- 0 Das Erdplanum liegt nach den durchgeführten Aufschlüssen weiträumig im Homogenbereich B: Ton. Für diesen ist ein zusätzlicher Bodenaustausch, z.B. in Form von ca. 30...40 cm Schotter/Schottervorabsieb (witterungsabhängig, ggf. mit Grobschlag als Verdichtungshilfe) vorzusehen. Stehen örtlich rein grobkörnige Materialien des Homogenbereichs A mit einer verbleibenden Mindeststärke von 30...40 cm im Untergrund an, kann der Bodenaustausch entfallen.

Bodenaustausch und bindiges Rohplanum sind geotextil zu trennen (GRK 3). Der Einbau des Bodenaustauschs...der Tragschichten hat mit $D_p = 100...103\%$ zu erfolgen. Alle Frost-/Tragschichten für den Straßenbau sind mit einem klassifizierten, hoch ungleichförmigen und weit abgestuften Material (vorzugsweise Frostschutzschotter 0/45) herzustellen. Vor dem Auftrag ist die Schachtsohle jeweils nachzuverdichten und profilgerecht herzustellen. Der Einbau hat lagenweise (Lagen < 0,20 m) unter

Erreichung von 103% der Proctordichte zu erfolgen. Die Verdichtung ist in den Lagen stichprobenweise zu überprüfen (z.B. mittels Plattendruckversuch)

Forderungen RStO:

Erdplanum $Ev2/Evi < 2,3, Ev2 > 45 \text{ MN/m}^2$

Tragschicht $Ev2/Evi < 2,2, Ev2 > 120...150 \text{ MN/m}^2$, je nach gewähltem Regelaufbau

Forderungen RLW:

Erdplanum $Ev2/Evi < 2,3, Ev2 > 30 \text{ MN/m}^2$

Tragschicht $Ev2/Evi < 2,2, Ev2 > 80 \text{ MN/m}^2$

Der Erdstoff muss eine günstige Einbaufeuchte besitzen. Die Lagen sind mit auf den Erdstoff abgestimmten Maschinen zu verdichten. Die Arbeiten sind zügig und nur bei günstiger, d.h. trockener Witterung durchzuführen. Die notwendigen Dichte- und Tragfähigkeitsnachweise sind aktenkundig festzuhalten.

6.6. Versickerung

Der Standort ist für eine Versickerung nur im Tiefenbereich ca. 1...4 m unter OKG geeignet. Als ausreichend durchlässig ist ausschließlich der Lößlehm im Homogenbereich B: Ton einzuschätzen. In Kombination mit dem im Liegenden folgenden Zersatzlehm und Tonstein ergibt sich jedoch eine ungünstige Stausituation, so dass im weiten Umkreis der Sickeranlage der Lößlehm stark aufweicht, was zu einem partiellen Tragfähigkeitsverlust führt. Daher haben Sickeranlagen am Standort einen ausreichenden Abstand zu Gründungen und anderen setzungsempfindlichen Bauwerken einzuhalten (lichter Mindestabstand min. 4 m).

Kleinere Verkehrsflächen können unkompliziert über eine Querverkipfung der Wegefläche mit min. 2% und einer direkt angrenzenden flachen Muldenausbildung entwässert werden.

Ausführungshinweise für Mulden

Bei Ausführung einer Muldenversickerung muss der Zulauf zur Mulde beruhigt, d.h. nicht strömend erfolgen (bei größeren anzuschließenden Flächen z.B. über einen gepflasterten Zulaufbereich).

Ein Befahren oder übermäßiges Betreten der Sickermulden ist dauerhaft durch bauliche oder organisatorische Maßnahmen zu unterbinden. Die Muldenfläche darf während der Herstellung nicht mit Baufahrzeugen befahren oder anderweitig verdichtet werden.

Da der in den Schichten A und B anstehende Erdstoff nur eine geringe bis mäßige Durchlässigkeit aufweist, ist zusätzlich zur Substratschicht unterhalb des Muldenkörpers ein Austausch mit ca. 20 cm Filterkies 8/32 vorzusehen.

Die Oberfläche der Mulde ist mit einem durchlässigen, jedoch speicherfähigen Pflanzsubstrat in einer Mindeststärke von 20 cm aufzubauen. Gut geeignet sind Ziegelrecycling oder schwach bindige Sande (max. 10% Feinkorn). Der Einbau ist vom bindigen Untergrund durch ein mechanisch verfestigtes Filtervlies (z.B. Fa. Rehau RAUMAT 3 E150, kein Bauvlies!) zu trennen.

Die Oberfläche der Mulde ist vor Erosion und Verockerung zu schützen. Die Mulde ist regelmäßig zu warten. Verockerte Oberflächenbereiche sind regelmäßig abzuschälen und durch Substratschicht zu ersetzen.

Ausführungshinweise für Rigolen

Die Einbindung der Rigolen muss im Tiefenbereich ca. 1...4 m unter OKG erfolgen. Tiefere Einbindungen sind wegen der unterhalb von 4 m erheblich abnehmenden Durchlässigkeit abzulehnen.

Wegen der nur geringen und teils variierenden Durchlässigkeit empfehlen wir vorzugsweise eine klassische Kies-Rohr-Rigole (keine Sickerblöcke). Der Einbau des Kiesel ist vom seitlich anstehenden, bindigen Untergrund durch ein mechanisch verfestigtes Filtervlies (z.B. Fa. Rehau RAUMAT 3 E150, kein Bauvlies!) zu trennen.

Die Speisung erfolgt über einen einzubauenden Einlaufschacht mit Sandfang. Dieser muss wartbar sein, weshalb eine Dimension DN >1.000 empfohlen wird. Alternativ kann auch eine Zisterne als Vorschaltbauwerk dienen. Dann sind Zu- und Ablauf jedoch höhenmäßig um min. 10 cm zu versetzen, um einen direkten Wasserdurchfluss zu verhindern.

6.7. Technische Hinweise

- Zur Vermeidung bzw. Reduzierung witterungsbedingter Störungen sind die Erd- und Betonierarbeiten zügig durchzuführen. Dies gilt besonders, wenn die Erdarbeiten in ungünstigen Jahreszeiten ausgeführt werden. Die bindigen Sohlen sind unmittelbar nach dem Aushub durch das Überschütten mit einer Lage eines Schotter-/Kiespolsters bzw. das statische Einwalzen von Grobschlag zu schützen.
- Zu beachten ist fernerhin, dass nach stärkeren Niederschlägen die bindigen Rohsohlen mit Baufahrzeugen nicht befahren werden dürfen. Hier ist dann ein Vor-Kopf-Einbau notwendig.
- Wasserhaltungsmaßnahmen (offene Wasserhaltung) sind als Bedarfsposition vorzuhalten.
- Alle Sohlen sind nachzuverdichten. Für die anstehenden bindigen Böden hat die Nachverdichtung mit Schafffußwalzen und/oder Polygonwalzen zu erfolgen mit ca. 10...15 cm Grobschlag 0/X als Verdichtungshilfe. Zur Endfertigstellung sind anschließend Glattwalzen (weitgehend ohne Vibration) einzusetzen.
Für die Verdichtung grobkörniger Liefererdstoffe sind schwere Auflastwalzen oder Rüttelplatten geeignet.
- Bei unterschiedlichen Gründungstiefen sind die Fundamente unter einem Winkel von $\beta_0 < 30^\circ$ abzutreppen.
- Für die Deponierung (Zwischenlagerung) von Erdstoffen ist ein Verdichtungsgrad von etwa 92% bis 95% der Proctordichte einzuhalten. Zur Entwässerung der Erdstoffdeponie sind die einzelnen Lagen mit einem leichten Gefälle einzubauen, welches ca. 4% betragen sollte. Die Stärke der eingebauten Lagen richtet sich nach dem Verdichtungsgerät, darf jedoch nie größer als die maximale Einflusstiefe desselben sein. Die einzelnen Lagen haben ein leichtes Quergefälle (ca. 2...4%) einzuhalten, das den Ablauf von Sickerwässern ermöglicht. Stark wasserempfindliche Erdstoffe sind nach dem Einbau abzudecken.
- Im Auffüllungsbereich ist nicht von einer durchgängigen Standsicherheit der Erdwandungen auszugehen. Es ist mit örtlichem Nachfall und dadurch bedingtem Mehraushub zu rechnen.

- Für den Nachweis der ausreichenden Verdichtung und Tragfähigkeit der eingebauten Erdstoffpolster und Straßenbauerdstoffe sind Dichteprüfungen (bei grobkörnigen Liefererdstoffen vorzugsweise Plattendruckversuche) gemäß ZTVE-StB Mindestuntersuchungsprogramm erforderlich. Dazu sind folgende Mindestanzahlen einzuhalten:
Polster: min. 3 Stück je % Meter Einbauhöhe
Straßen: je 100 m Länge jeweils 1 Versuch auf dem Erdplanum, der Frostschuttschicht und der Tragschicht (= 3 Stück je 100 m Länge)
- Aufgrund der geologischen Störung ist lokal mit rasch wechselnden Untergrundverhältnissen im Festgesteinshorizont zu rechnen. Bei der Ausführung von Pfählen bzw. Schotterstopfsäulen ist daher eine baubegleitende Überwachung durch unser Büro vorzusehen. Lokal notwendige Anpassungen der Gründung sind bei beiden Gründungslösungen einzuplanen.
- **Werden während der Aushubarbeiten örtlich abweichende Untergrundverhältnisse gegenüber denen bei der Baugrunderkundung ermittelten festgestellt, so ist unser Büro umgehend zu benachrichtigen.**

7. Erdstatische Berechnungen

7.1. Flachgründungen

Die folgenden **zulässigen Sohlspannungen** für Streifenfundamente (zur Setzungskontrolle der Bodenplatte) wurden mittels erdstatistischer Berechnungsverfahren bei Begrenzung der Setzung auf 30 mm berechnet. Den untenstehenden Sohlspannungen wurde eine Grundbruchsicherheit von $r|_p > 2,0$ zugrunde gelegt (globales Sicherheitskonzept, keine Sicherheiten für Lasten ansetzen). Für die Berechnung mit Teilsicherheitsfaktoren sind die untenstehenden Werte mit 1,4 zu multiplizieren (Bodenreaktion). Fundamenteigenlast ist als Belastung anzusetzen.

Zwischenwerte können geradlinig interpoliert werden. Bei außermittiger Belastung gelten die angegebenen Sohlspannungen für die mittig belastete Ersatzfläche gemäß DIN 4017.

zul. CT_0 [kN/m ²] / s [mm]			
d \ b [m]	0,5	1,0	1,5
0,5	92/8	103/16	114/22
1,0	125/12	137/20	148/28

Tab. [1]: zul. Sohlspannungen/Setzungen für Streifenfundamente, gegründet auf Homogenbereich B: Ton⁵

mit: a - Fundamentlänge b - Fundamentbreite d - minimale Einbindetiefe

Bei *kursiv* geschriebenen Werten ist die Setzungsbeschränkung von 30 mm maßgebend.

Weiterhin sind **Bettungsmoduln** als Eingangswerte (erste Näherung) für die Dimensionierung von Gründungsplatten auf einem Bodenaustausch angegeben. Der tatsächliche Wert ist mit der realen Geometrie und Belastung iterativ zu ermitteln.

Aufgrund der hohen Steifigkeitssprünge hat die Bodenplattenberechnung vorzugsweise nach dem Steifezahlverfahren zu erfolgen. Dazu sind die Steifezahlen der beiden Kernbohrungen (siehe Anlage) in Ansatz zu bringen.

Bei homogener Lasteintragung (hohe Steifigkeit der Bodenplatte) kann die Berechnung alternativ durch den Ansatz von **Bettungsmoduln** als Hoch- und Tiefwert erfolgen:

Homogenbereich B: Ton mit 1...1% m Schotterpolster $k_{s,min/max} = 6,5...9,0 \text{ MN/m}^3$

Die oben genannten Werte sind in ungünstiger Laststellung anzusetzen.

Für die Berechnung wurde jeweils ein 1,5 m breiter Plattenstreifen angenommen. Da das Bettungsmodul die Setzungsverhältnisse sehr stark vereinfacht, sind die zulässigen Sohlspannungen gemäß Tabelle 1 zusätzlich einzuhalten.

7.2. Pfahlgründungen

Für die Bemessung von Pfählen können untenstehende Kennwerte verwendet werden. Diese wurden auf der Grundlage von Erfahrungswerten mit analogen Bauvorhaben im Kies und Keuperfestgestein des Thüringer Beckens und anhand der SPT-

⁵ Mit mindestens 1 m Kies-/Schotterpolster.

Versuche der Kernbohrungen gewonnen und sind durch Abnahmen unseres Büros während der Pfahlbohrung noch zu bestätigen bzw. ggf. örtlich anzupassen.

Bei den untenstehenden Werten handelt es sich um *Bruchwerte* (charakteristischer Wert gemäß DIN EN 1536). Diese sind entsprechend des verwendeten Berechnungsverfahrens abzusichern.

Einbindung in:	Großbohrpfahl		Verpresspfahl
	Mantelreibung [MN/m ²]	Spitzendruck [MN/m ²]	Mantelreibung [MN/m ²]
Homogenbereich A: Auffüllung	$q_{s,k} = 0,00$	$q_{b,k} = 0,0$	$q_{s,i,k} = 0,00$
Homogenbereich B: Ton, weich	$q_{s,k} = 0,00$	$q_{b,k} = 0,0$	$q_{s,i,k} = 0,00$
Homogenbereich B: Ton, steif	$q_{s,k} = 0,05$	$q_{b,k} = 0,0$	$q_{s,i,k} = 0,08$
Homogenbereich C: Keuper, stark zersetzt	$q_{s,k} = 0,12$	$q_{b,k} = 0,0$	$q_{s,i,k} = 0,16$
Homogenbereich C: Keuper, zersetzt-entfestigt	$q_{s,k} = 0,25$	$q_{b,k} = 1,80$	$q_{s,i,k} = 0,30$

(*)Der anhand von SPT-Versuchen (siehe Anlage 2) ermittelte Spitzendruck liegt deutlich höher. Aufgrund der Gipsauslaugung im Keuper wird der Wert jedoch auf den o.g. Wert beschränkt.

8. Koordinaten

Aufschluss	Ostwert	Nordwert	Höhe
KB1	641043.8	5650600.6	202,6
RKS1	641110.7	5650594.4	202,5
KB 2	641084.1	5650620.1	202,5
RKS2	641135.5	5650579.0	202,5
RKS3	641075.9	5650588.7	202,6
RKS4	641129.9	5650596.0	202,6
KB 3	641065.3	5650558.7	202,7
RKS5	641101.4	5650572.4	202,5
KB 4	641104.3	5650580.5	202,4

Lagekoordinaten ETRS 89 / UTM 32N

Geländehöhen NHN [m]

9. Schadstoffuntersuchung

9.1. Allgemeines

Im Bereich des geplanten Aushubs wurden unter einer geringmächtigen Oberbodenschicht, ebenfalls geringmächtige artifizielle Böden, gefolgt von mächtigen bindigen, gewachsenen Erdstoffen angetroffen. Lokal sind schwache Einschaltungen von Ziegelbruch und in geringem Umfang organogene Einschaltungen anzutreffen.

Im Liegendhorizont folgen die teils gipshaltigen Tonsteine des Keupers.

Ein konkreter Altlastenverdacht liegt nicht vor, respektive sind keine lokalen Schadstoffherde bekannt, so dass zum Zwecke einer ersten Einschätzung des möglichen Entsorgungsaufwandes vorwiegend die geplanten Aushubbereiche untersucht wurden. Ergänzend wurde der Beton- und Stahlangriffsgrad der Böden und der Grundwässer untersucht. Die Oberbodenschicht wurde im Sinne einer Weiternutzung als Kulturboden gemäß BBodSchV bewertet.

Es wird darauf hingewiesen, dass es sich nicht um eine Entnahme gemäß LAGA PN 98 handelt bzw. sich keine abschließende Bewertung gemäß EBV/LAGA/DepV daraus ableiten lässt. Aus den stichprobenartigen Sondierungen (geringe Probenmenge) lässt sich nur der prinzipielle Entsorgungsweg ableiten:

Oberboden (MP1)

westliche Baufeldhälfte

→ Kulturboden -> BBodSchV Vorsorgewerte

Oberboden (MP2)

östliche Baufeldhälfte

-> Kulturboden BBodSchV Vorsorgewerte

Homogenbereich A (MP 3)

RKS1, KB1, KB2

-> inhomogen (i.d.R. Abfall) -> LAGA/DepV

Homogenbereich A (MP 4)

RKS2...4

-> inhomogen (i.d.R. Abfall) LAGA/DepV + Stahl-ZBetonaggressivität

Homogenbereich A (MP 5)

RKS 5, KB 3, KB 4

-> inhomogen (i.d.R. Abfall) LAGAZDepV

Homogenbereich B1 (MP 6)

RKS 2...4

-> potentiell wiederverwertbarer Boden (MEB) -+ EBV + Stahl-/Betonaggressivität

Homogenbereich B1 (MP 7)

RKS 1, KB 1, KB 2

-> potentiell wiederverwertbarer Boden (MEB) -> EBV

Homogenbereich B1 (MP 8)

RKS 5, KB 3, KB 4

-> potentiell wiederverwertbarer Boden (MEB) EBV

Homogenbereich B2 (MP 9)

KB 1...2

-> potentiell wiederverwertbarer Boden (MEB) EBV + Stahl-ZBetonaggressivität

Homogenbereich B2 (MP 10)

KB 3...4

-> potentiell wiederverwertbarer Boden (MEB) -> EBV

Homogenbereich C (MP 11)

KB 1...4

→ potentiell wiederverwertbarer Boden (MEB) -> EBV + Stahl-ZBetonaggressivität

Wasseranalysen Stahl-ZBetonaggressivität

KB 1, KB 3, KB 4

Um zur Entsorgung gemäß LAGAZDepVZEBV berechtigende Probenmengen zu gewinnen, ist wahlweise entweder der Aushub auf der Baustelle auf Halde zwischenzulagern und hier dann rasterförmig zu beproben oder aber es sind im Vorfeld des Aushubs großformatige Baggerschürfen anzulegen.

Der ggf. notwendige Zwischenschritt zur abschließenden Bewertung gemäß der o.g. Vorschriften ist bei Bedarf ausschreibungsseitig zu berücksichtigen.

Die Bodenproben wurden in luftdicht verschließbare 3-l-Eimer gefüllt und im staatlich anerkannten, akkreditierten Labor Dr. Fischer in Bad Berka analysiert. Die Proben werden 3 Monate ab Entnahmedatum für Nachuntersuchungen rückgestellt.

9.2. Analyseverfahren

Siehe Prüfberichte.

9.3. Ergebnisse

9.3.1. Erdstoffe Verwertung/Entsorgung

Die Untersuchung erfolgte für den Homogenbereich A als Abfall gemäß LAGA Boden (Stand 11/97) sowie DepV und für die Homogenbereiche B/C als MEB gemäß EBV. Die Einzelergebnisse sind den Prüfberichten in der Anlage zu entnehmen. Die Mischproben sind wie folgt zu bewerten:

Entnahme- stelle	Entnahme- horizont	maßgebende Parameter	Einstufung nach LAGA	Einstufung nach DepV	Zuordnung nach EBV	Abfall- schlüssel
RKS1, KB1...2	HBA	-	ZO	DkO	-	170504
RKS2...4	HBA	PAK	Z1.1	DkO	-	170504
RKS5, KB 3...4	HBA	PAK, Kupfer	Z1.2	DkO	-	170504
RKS2...4	HB B1	-	-	DkO	BM-0	170504
RKS1, KB1...2	HB B1	-	-	DkO	BM-0	170504
RKS5, KB3...4	HB B1	-	-	DkO	BM-0	170504
KB1...2	HB B2	-	-	DKO	BM-0	170504
KB 3...4	HBB2	-	-	DKO	BM-0	170504
KB1...4	HBC	Sulfat	-	DkI	BM-F1 ⁶	170504

.

6 Die erhöhte Leitfähigkeit ist durch die erhöhte Sulfatbelastung (geogen) verursacht und bedingt keine Höherstufung.

Verwertung/Entsorgung

Homogenbereich A

Für die Entsorgung auf einer Deponie ist eine Deponieklasse Dk 0 vorzusehen.

Bei einer Ablagerung auf einem Erdstofflager, welches wegen der Übergangsregelung nach LAGA bewertet wird, ist der Erdstoff in die Zuordnungsklasse Z1 einzustufen (eingeschränkte Verwertung in technischen Bauwerken).

Homogenbereich B1

Gemäß EBV kann der Lößlehm als MEB nach Klasse 0* gemäß Einbauweisen 1...17 zum Einsatz kommen. Aufgrund der bodenmechanischen Eignung sind vorzugsweise die Einbauweisen 4, 9, 10, 16, 17 (Bauwerkshinterfüllung und Erdwälle) als Verwendung vorzusehen.

Für die Entsorgung auf einer Deponie ist eine Deponieklasse Dk 0 vorzusehen.

Homogenbereich B2

Gemäß EBV kann der Zersatzlehm als MEB nach Klasse 0* gemäß Einbauweisen 1...17 zum Einsatz kommen. Aufgrund der bodenmechanischen Eignung sind vorzugsweise die Einbauweisen 4, 9, 10, 16, 17 (Bauwerkshinterfüllung und Erdwälle) als Verwendung vorzusehen.

Für die Entsorgung auf einer Deponie ist eine Deponieklasse Dk 0 vorzusehen.

Homogenbereich C

Gemäß EBV kann der zersetzte Tonstein als MEB nach Klasse F1 gemäß Einbauweisen 1...12 zum Einsatz kommen. Aufgrund der bodenmechanischen Eignung sind vorzugsweise die Einbauweisen 4, 9, 10 (Bauwerkshinterfüllung und Erdwälle) als Verwendung vorzusehen.

Für die Entsorgung auf einer Deponie ist eine Deponieklasse Dk I vorzusehen.

9.3.2. Beton-ZStahlangriff

Die Einzelergebnisse sind den Prüfberichten in der Anlage zu entnehmen.

Betonangriff nach DIN 4030

Entnahme- stelle	Entnahme- tiefe	Prüfge- genstand	Maßgebender Parameter	Expositions-klasse		
				XA1	XA2	XA3
RKS 2...4	HBA	Boden	-	nicht angreifend		
RKS 2...4	HB B1	Boden	-	nicht angreifend		
KB1...2	HB B2	Boden		nicht angreifend		
KB1...4	HBC	Boden	Sulfat	XA1		
KB 1		Wasser	Sulfat	XA1		
KB 2		Wasser	Sulfat	XA2		
KB 4		Wasser	Sulfat	XA1		

Stahlangriff Boden nach DIN 50929

Entnahme- stelle	Entnahme- tiefe	Prüfge- genstand	Bewertungs-Ziffern	Korrosionswahrscheinlichkeit
RKS2...4	HBA	Boden	-2,0	schwach aggressiv
RKS2...4	HBB1	Boden	-2,0	schwach aggressiv
KB1...2	HB B2	Boden	0,0	praktisch nicht aggressiv
KB1...4	HBC	Boden	-2,0	schwach aggressiv
KB1	10...12m	Wasser	2,2/ -1,8/ 0,0/ -6,0	Unterwasser: sehr gering...gering Wasser/Luft: sehr gering
KB 3	10...12m	Wasser	2,2/ -1,8/ 0,0/ -6,0	Unterwasser: sehr gering Wasser/Luft: sehr gering...gering
KB 4	11...13m	Wasser	2,2/ -1,8/ 0,0/ -6,0	Unterwasser: sehr gering Wasser/Luft: sehr gering...gering

9.3.3. Oberboden BBodSchV

Zur Abschätzung eines möglichen Gefährdungspotentials wurden für den Oberboden Bewertungen gemäß BBodSchV, Anlage 1, Tab. 4 vorgenommen.

Parameter	Messwert MP1 (mg/kg)	Vorsorgewert gem. BBodSchV für:	Messwert MP2 (mg/kg)	Vorsorgewert gem. BBodSchV für:
Erdstoff	orCl	Lehm/Schluff	orCl	Lehm/Schluff
TOC	1,7	-	1,9	-
EOX	-	1,0 mg/kg	-	1,0 mg/kg
PAK	1,4	3,0 mg/kg	0,23	3,0 mg/kg
PCB	<0,012	0,05 mg/kg	<0,012	0,05 mg/kg
Arsen	11,5	20 mg/kg	9,3	20 mg/kg
Blei	25,4	70 mg/kg	21,5	70 mg/kg
Cadmium	<0,5	1,0 mg/kg	<0,5	1,0 mg/kg
Chrom, ges.	27,9	60 mg/kg	24,2	60 mg/kg
Kupfer	28,5	40 mg/kg	21,1	40 mg/kg
Nickel	25,2	50 mg/kg	21,1	50 mg/kg
Quecksilber	0,1	0,3 mg/kg	0,70	0,3 mg/kg
Thallium	<0,5	1,0 mg/kg	<0,5	1,0 mg/kg
Zink	73,9	150 mg/kg	62,9	150 mg/kg

 Vorsorgewert nach BBodSchV überschritten

Der Vorsorgewert gemäß BBodSchV wird singulär bei MP2 mit dem Schwermetall Quecksilber überschritten. Daraus lässt sich jedoch keine Gefährdung ausgehend vom Standort ableiten. Die Überschreitung ist so gering, dass der Prüfwert für Kinderspielflächen mit 10 mg/kg nicht auch nur ansatzweise erreicht wird. Wir halten eine Nachuntersuchung des Homogenbereichs bei anhaltender Verwendung als Oberboden am Standort für nicht erforderlich.