

# BAUGRUNDGUTACHTEN

---

**Projektnummer:** p / 052238

**Projekt:** Wohnen im Prinzipalviertel  
Fürstenhof, Penningrode, Münsterstraße (B 54)  
in 59368 Werne

**Auftraggeber:** Relax  
Grundstücksentwicklungsgesellschaft mbH  
Pierbusch 15  
44536 Lünen

**Architekt:** Lackmann – Hesse – Droll  
Planungs- + Ingenieur GmbH  
Gildenstraße 2g  
48157 Münster

**Sachbearbeiter:** Dipl. - Geol. A. Gey

---

**Münster, den 4. August 2005**

## **Planunterlagen**

---

Nr. 1 Lageplan zum Bauantrag, Maßstab ca. 1 : 500

## **Anlagen**

---

Nr. 1 Lageplan mit eingetragenen Bodenaufschlußpunkten, Maßstab ca. 1 : 500

Nr. 2 Schichtenprofile und Rammdiagramme gem. DIN 4023 und DIN 4094,  
Höhenmaßstab 1 : 50 (Anlagen 2.1 bis 2.4)

Nr. 3 Ergebnisse der Versickerungsversuche

## **Inhaltsverzeichnis**

---

<b>1.</b>	<b>Vorbemerkungen</b>	<b>4</b>
<b>2.</b>	<b>Baugrunduntersuchung</b>	<b>6</b>
2.1	Geländearbeiten und Laboruntersuchungen	6
2.2	Untergrundverhältnisse	7
2.2.1	Baugrundsichtung, Bodenmechanische Eigenschaften	7
2.2.2	Grundwasser	9
2.3	Bodenkennwerte, Bodengruppen, Bodenklassen, Durchlässigkeitsbeiwerte, Frostempfindlichkeitsklassen	11
<b>3.</b>	<b>Bautechnische Folgerungen</b>	<b>14</b>
3.1	Verwendung des Aushubmaterials	14
3.2	Tragfähigkeit des Untergrundes, Gründungsart, Mehraushub, Bodenauftrag	15
3.3	Belastung des Untergrundes, Setzungsverhalten	19
3.4	Wasserhaltung / Trockenhaltung der Kellergeschosse	20
3.5	Hinweise zur Herstellung der befestigten Verkehrsflächen	22
3.6	Baugrubensicherung, Verfüllung der Arbeitsräume	24
3.7	Baustellenbegleitung	25
<b>4.</b>	<b>Weitere Hinweise</b>	<b>25</b>

## 1. Vorbemerkungen

Die **Relax Grundstücksentwicklungsgesellschaft mbH**, Pierbusch 15, 44536 Lünnen, plant in 59368 Werne die Realisierung der Konzeptstudie „Wohnen im Prinzipalviertel“. Im Zuge der Planung ist vorgesehen, das Brachgelände zwischen den Straßen Fürstenhof im Westen, Penningrode im Norden und Münsterstraße (B 54) im Osten mit nicht unterkellerten und unterkellerten, 2- bis 3-geschossigen Reihenhauszeilen, einem nichtunterkellerten, 1-geschossigen Hofhaus und einem nicht unterkellerten, 1- bis 2-geschossigen Atriumhaus zu bebauen.

Die Erschließung des Baugebietes ist über zwei, vom Fürstenhof abzweigende Straßenzüge angedacht. Der südliche Straßenzug verläuft zwischen der südlichen Reihenhauszeile und dem zentralen Hofhaus. Der nördliche Straßenzug verläuft zwischen dem Hofhaus und dem nördlichen Atriumhaus. Die o. g. Reihenhauszeile, das Hofhaus und das Atriumhaus haben in etwa die gleiche Breite und bilden so sowohl mit der Westgrenze als auch der Ostgrenze eine Flucht / Linie.

Die genannten Straßenzüge schließen an eine in Nord-Süd-Richtung verlaufende Querstraße an. An diese Querstraße grenzt nach Osten, entlang der gesamten Planraumerstreckung eine, in sich, in drei Abschnitte geteilte Reihenhauszeile. Diese Zeile wird offensichtlich nicht unterkellert.

Neben den Hochbauten und den Fahrbahnen sind Freiflächen / Stellflächen / Rasenflächen u. a. entlang der westlichen Planraumgrenze und südlich der südlichen Reihenhauszeile vorgesehen. Daneben ist eine Grünanlage mit Zuwegungen und Gehwegen entlang der östlichen Planraumgrenze im Plan vermerkt. Innerhalb dieser Flächen soll auch das auf den Dächern anfallende Regenwasser über dezentrale Versickerungsanlagen wieder in den natürlichen Kreislauf zurückgeführt werden.

Im Rahmen der Planung für das genannte Bauvorhaben wurde das **Ingenieurgeologische Büro (igb) Gey & John GbR**, An der Kleimannbrücke 13, 48157 Münster, über die Relax Grundstücksgesellschaft mbH beauftragt, den Untergrund hinsichtlich seiner bodenmechanischen und hydrogeologischen Eigenschaften zu untersuchen und die Ergebnisse in einem gründungstechnischen Baugrundgutachten darzustellen.

Die Ergebnisse zur Versickerungsfähigkeit des Untergrundes und hieraus abgeleiteter Empfehlungen sind in einem separaten Versickerungsgutachten mit gleicher Datierung und Projektnummer wie das vorliegende Baugrundgutachten dargestellt.

Wie bereits eingangs erwähnt, stellte der Planraum zum Zeitpunkt der Geländearbeiten für die beauftragte Bodenuntersuchung eine nur mit dünnem Bewuchs in Form von Gräsern und Unkraut bestandene Brachfläche dar, die nach Auskunft Ortsansässiger wohl ehemals mit Getreide bestanden war und somit einer landwirtschaftlichen Nutzung unterlag.

Nach den Planunterlagen und Recherchen des Städtischen Atlas vom Ruhrgebiet liegt eine Bestandsbebauung erst jenseits der Straßenzüge Penningrode und Münsterstraße vor. Nach Süden schließt ein Schulgelände an. Unmittelbar östlich der Bundesstraße fließt der Hornebach.

Die aktuelle Geländeoberkante (GOK) ist bis auf wenige Fahrspuren insgesamt als recht eben zu bezeichnen und weist eine ganz schwache Neigung nach Norden, etwas verstärkt nach Osten zur Bundesstraße auf. Nach dem im Zuge der Geländearbeiten durchgeführten Höhennivellement der Bodenaufschlußpunkte liegt die Fläche im Westen in etwa auf dem Niveau der Fahrbahngradienten der Straße Fürstenhof. Unter Berücksichtigung des in dieser Straße auch gewählten Bezugsniveaus (Oberkante eines Kanaldeckels) verläuft die Geländetopographie, entlang dem Fürstenhof, zwischen ca.  $-0,1$  und  $-0,5$  m. Diese Neigung nach Norden beibehaltend liegt die Geländeoberkante entlang der östlichen Plangrenze zwischen ca.  $-1,4$  und  $-1,6$  m. Auf einem ähnlichen Niveau, sprich bei rd.  $-1,5$  m, liegt auch die Fahrbahngradienten der nach Osten angrenzenden Bundesstraße. Als Ansatzpunkt wurde dabei die Fahrbahnoberkante der Münsterstraße auf Höhe des mittleren Planabschnittes gewählt.

In Ermangelung exakter Planhöhen der noch konzeptionellen Studie werden die Gradienten der zukünftigen Straßenzüge auf dem Niveau der aktuellen GOK angenommen. Die Straßen werden dabei zunächst den Bauklassen IV und V nach RStO 01 zugeordnet.

Knapp oberhalb der Gradienten (rd.  $0,2$  m) werden die Erdgeschoß-Fertig-Fußbodenhöhen (EFFHs) der Hochbauten angesetzt. Zur Präzisierung der nachfolgend dargestellten bautechnischen Hinweise wird dabei ein Lastabtrag im Bereich von Stützen über bewehrte Einzelfundamente und im Bereich von Wandscheiben der tragenden Wände über bewehrte Streifenfundamente angenommen. Alternativ ist, wie auch bei den unterkellerten Hochbauten, ein Lastabtrag über bewehrte Sohlplatten denkbar.

Für die nicht unterkellerten Bauwerke ergibt sich so, zunächst ausgehend von einem konventionellen Absatz der konstruktiv bewehrten Fundamente in einer frostfreien Tiefe bei  $0,8$  m unter zukünftiger Geländeoberkante (GOK), eine maßgebende Gründungsebene (Fundamentaufstandsfläche) bei rd.  $1$  m unter den EFFHs.

Für die unterkellerten Bauwerke wird ausgehend von einer lichten Höhe der Kellergeschosse von rd.  $2,3$  m, einer Deckenhöhe einschl. Estrich von etwa  $0,35$  m und einer Sohlenstärke von ca.  $0,3$  m das Baugrubenniveau bei rd.  $3$  m unter den EFFHs abgeschätzt.

Konstruktions- bzw. Fundamentpläne mit ankommenden Lasten sowie vorkalkulierten Bodenpressungen liegen dem Unterzeichner nicht vor.

Zwischen ca.  $2$  und  $3$  m u. GOK werden die Sohlen für die Kanalgräben (hier Schmutzwasser) angenommen.

## **2. Baugrunduntersuchung**

### **2.1 Geländearbeiten und Laboruntersuchungen**

Zur Erschließung der geologischen und hydrologischen Untergrundverhältnisse wurden im Zeitraum zwischen dem 1. und dem 2. August 2005 im Untersuchungsareal insgesamt 15 Kleinbohrungen im Rammkernsondiervorfahren (RKS 1 bis RKS 11a, RKS 11b bis RKS 14) sowie 4 Rammsondierungen (DPL 1 bis DPL 4) mit der leichten Rammsonde (DPL gem. DIN 4094) ausgeführt.

Infolge oberflächennaher Hindernisse in Form von grobem Bauschutt oder Schotter mußte die RKS 11a einmal versetzt und erneut als RKS 11b abgeteuft werden. Bis auf die in einer Tiefe von ca. 0,9 m eingestellte RKS 11a erreichten sämtliche Bodenaufschlüsse die angestrebte Bohr- und Rammtiefe zwischen 5 und 7 m u. GOK.

Die Kleinbohrungen dienen zur Erfassung der Zusammensetzung und Schichtung des Untergrundes sowie des Grundwasserspiegels, die Rammsonden liefern Aussagen zur Lagerungsdichte (rollige Böden) bzw. Konsistenz (bindige Böden) des gründungsrelevanten Untergrundes.

Zur Ermittlung der Durchlässigkeitsbeiwerte des Untergrundes wurde an den Eckpunkten des Planraumes jeweils eine weitere Flachsondierung (RKS V 1 bis RKS V 4) bis in Tiefen zwischen ca. 1,3 und 1,8 m u. GOK abgeteuft, in der abschließend Versickerungs-/Auffüllversuche zur Ermittlung der Durchlässigkeit des Untergrundes durchgeführt wurden. Die Ergebnisse der Versickerungsversuche sind der Anlage 3 zu entnehmen.

Im Rahmen des Earth-Manual-Verfahrens wird innerhalb einer Sondierung, deren Bohrwand mittels eines Filterrohres gestützt ist, nach erfolgter Sättigung des Untergrundes eine Wassersäule gebildet, deren Höhe durch Zugabe von Wasser auf einem konstanten Niveau gehalten wird. Bei diesem Verfahren wird die Tiefe der Versuchsdurchführung und die Höhe der Wassersäule den hydrogeologischen Verhältnissen und den zukünftig ggf. zur Ausführung kommenden Versickerungsanlagen angepaßt. Die Versickerung erfolgt analog einer Versickerungsanlage sowohl über die Basis als auch über die seitliche Fläche der aufgebauten Wassersäule.

Die Lage sämtlicher Aufschlußpunkte (RKS und DPL) sowie der vor Ort durchgeführten Versickerungsversuche (V) ist dem beigefügten Lageplan auf der Anlage 1 zu entnehmen.

Als Bezugsniveau für die Bohr- und Rammansatzpunkte wurde, wie bereits im vorangegangenen Kapitel erwähnt, die Oberkante eines in der Straße Fürstenhof gelegenen und ebenfalls im Lageplan auf der Anlage 1 eingetragenen Kanaldeckels mit der relativen Höhe von 0,00 m gewählt.

Die Ergebnisse der Rammkernsondierbohrungen wurden in Schichtenprofilen gem. DIN 4023, die der Rammsondierungen in Rammdiagrammen gem. DIN 4094 auf den Anlagen 2.1 bis 2.4 dargestellt. Die Profile wurden dabei jeweils in Nord-Süd-Richtung angeordnet. Innerhalb des Profiles 2.3 erfolgt ein Schnitt / Umschwenken des Profiles mit einer Wiederholung des Bohrprofiles der RKS 6. Dies erfolgte zur bildlichen Darstellung einer hier wechselnden Bodenschichtung, was für die weitere Maßnahme von immenser Bedeutung ist (s. u.).

Im ingenieurgeologischen Labor erfolgte eine bodenmechanische Beurteilung der aus den Rammkernsonden entnommenen Bodenproben mit einer Abschätzung der bodenmechanischen Kennwerte der aufgeschlossenen Bodenhorizonte zur Durchführung erdstatischer Berechnungen. Des weiteren wurden die entnommenen Bodenproben auch visuell und sensitiv (mittels Fingerbeprobung) hinsichtlich ihrer Wasserdurchlässigkeit beurteilt.

## 2.2 Untergrundverhältnisse

### 2.2.1 Baugrundsichtung / Bodenmechanische Eigenschaften

Wie aus den Schichtenprofilen auf den Anlage 2 zu ersehen ist, wurde in den Aufschlußbohrungen sowohl oberflächennah als auch zur Tiefe hin eine recht inhomogene Schichtenfolge erbohrt, die sich wie folgt beschreiben lässt:

Oberflächennah ist das Gelände in allen Abschnitten mit **Auffüllungen** versehen. Die Auffüllungen gliedern sich in **humose Oberböden**, Füllböden in Form von **umgelagerten / aufgefüllten Geschiebemergeln** und **Mergeln** sowie weitere **inhomogene** zumeist **humusführende Auffüllgemenge**.

Die **humosen Oberböden** setzen sich aus humusführenden, schwach schluffigen bis schluffigen Sanden mit örtlichen Beimengungen an Bauschutt und Schotter zusammen. Daneben gibt es, wie im Bereich der RKS 2, der RKS 8 und der RKS 14, auch wesentlich bindigere, lehmigere Oberböden in Form von humusführenden tonig-sandigen Schluffen oder tonig-schluffigen Sanden. Die humosen Oberböden reichen bis in Tiefen zwischen ca. 0,2 und 1,2 m u. GOK und weisen im Mittel Stärken zwischen etwa 0,3 und 0,5 m auf.

Nach dem Bohrfortschritt und dem Rammfortschritt ist den humosen Oberböden zumeist eine lockere bis mitteldichte Lagerung, resp. eine steife Konsistenz zuzuordnen.

Die **umgelagerten / aufgefüllten Geschiebemergel / Mergel** aus tonig-schluffigen Sanden oder tonig-sandigen Schluffen mit bereichsweise enthaltenem Schotter und Bauschutt, stellenweise auch humosen Mutterbodenresten wurden im Bereich der RKS 2, 6, 9, 11, 13 und 14 erbohrt.

Die aufgefüllten Lehme weisen eine steife, bei geringeren Wassergehalten auch eine steife bis halbfeste Konsistenz auf.

Daneben wurden **schwach bindige bis wechselnd bindige Sande mit Schotter und geringen Humusresten** (RKS 3, RKS 5) oder **bindige Sande mit stärker humosen und organischen Lagen** zur Verfüllung verwendet.

Die letzt genannten Sande sind nur locker gelagert, resp. weisen nur weiche bis steife Konsistenzen auf.

Die Basis der Auffüllungen liegt zwischen ca. 0,4 / 0,5 m u. GOK (RKS V 1, RKS 1, RKS 4, RKS 10) und in den tiefsten Abschnitten bis zu ca. 1,6 / 2,1 m u. GOK (RKS 11 b / RKS 13). Tendenziell ist eine Zunahme der Auffüllstärken nach Osten und insbesondere zum südöstlichen Abschnitt, auf Höhe des südlichen Abschnittes der östlichen Reihenhauszeile, festzustellen.

Im Liegenden der Auffüllungen schließt sich die **gewachsene natürliche Bodenschichtung** an. Anhand der Profilschnitte auf der Anlage 2 ist hierbei eine deutlich differenzierte Schichtenfolge innerhalb des Planraumes festzustellen.

So folgen im westlichen, nördlichen und zentralen Planabschnitt (RKS 1 bis RKS 7, RKS 10 und RKS 12) unterhalb der Auffüllböden **humusfreie, nichtbindige (schwach schluffige) bis wechselnd bindige (schwach schluffige bis schluffige) Sande** der Fein- bis Mittelsandfraktion. Bereichsweise enthalten diese Sande geringe Kieseinschaltungen, stellenweise schluffige Zwischenlagen. Innerhalb der RKS 6 und der RKS 7 wurden in den höheren Abschnitten auch **stärker bindige, tonig-schluffige Sande** erbohrt.

Die nichtbindigen bis wechselnd bindigen Sande sind zumeist mitteldicht gelagert. Stärker bindigen Sanden ist nach dem Rammfortschritt zumeist eine steife Konsistenz zuzuordnen. Bindige Böden, wie die bindigen Auffüllungen, die gewachsenen bindigen Sande und die unten beschriebenen Schluffe neigen aufgrund ihrer hohen Feinkornanteile (Schluff, Ton) zu einer hohen Empfindlichkeit gegenüber Wasserzutritten. In Verbindung mit einher gehenden dynamischen Lasteinträgen (Befahrung des Untergrundes, Verdichtung, etc.) kann es dabei zu Konsistenzminderungen und Übergängen zu weichen oder gar breiigen Zuständen mit einer damit verbundenen Abnahme der Tragfähigkeit kommen.

Die gewachsenen Sande werden in den meisten Bereichen ab einem Tiefenabschnitt um 3 m u. GOK von einer **Wechselfolge** aus **schwach tonigen bis tonigen, feinsandigen Schluffen, wechselnd bindigen Sanden** und wiederum **Schluffen** unterlagert. Im Bereich der RKS 1, 3 und 7 wurden die Schluffe erst ab einem Tiefenniveau um rd. 4,5 m u. GOK erbohrt. Im Bereich der RKS 10 werden die Schluffe faziell von bindigen (schluffigen) Sanden vertreten.

Die Schluffe weisen im ungestörten Zustand eine steife Konsistenz auf. Bei höheren Wassergehalten neigen sie zu der oben beschriebenen Konsistenzminderung und reagieren in Verbindung mit dynamischen Lasteinträgen mit einem Freiwerden von Porenwässern und zügigen Gefügeminderungen. Die tieferen Sande sind grundsätzlich mitteldicht gelagert.

Nach der Geologischen Karte von Nordrhein-Westfalen im Maßstab 1 : 100.000, Blatt C 4310 Münster, sind die Sande und Schluffe stratigraphisch als Niederter-rassensedimente der Weichsel-Kaltzeit einzustufen.

Die Geologische Karte kennzeichnet jedoch im Osten, entlang des Hornebaches, jün-gere, holozäne Ablagerungen. Gem. der farblichen Darstellung innerhalb des Karten-werkes sollen diese jüngeren Bach- und Flußablagerungen jedoch nicht über die Bun-desstraße hinaus nach Westen anzutreffen sein.

Dies widerspricht den Untersuchungsergebnissen der vorgenommenen Bodenuntersu-chung wonach innerhalb der RKS 8, 9, 11, 13 und 14 unterhalb der Auffüllböden **wech-selnd bindige Sande mit variierenden humosen Einschaltungen, organische Schluf-fe, Torfe und mit Torf zersetzte Sande** bis in Tiefen zwischen ca. 3,7 und 4,3 m u. GOK erbohrt wurden, die als junge Bachablagerungen (möglicherweise des Hornebaches ?) eingestuft werden können.

Infolge der jungzeitlichen Genese waren die abgelagerten fluviatilen Sedimente des Holozäns bislang keiner höheren Auflast, wie z. B. Gletschern (Eiszeit) ausgesetzt gewesen. Diesbezüglich ist auch nur eine unzureichende Lagerungsdichte bzw. nur eine mindere weiche bis steife Konsistenz für die Sedimente anzunehmen. Diese Ver-mutung wird durch den leichten Bohrfortschritt innerhalb der Böden und die niedrigen Schlagzahlen der Rammsondierung DPL 3 bestätigt.

Unterhalb der humosen, organischen Abfolge schließen wiederum nichtbindige bis bindige Sande der Niederterasse an.

So wurden sämtliche, bis in Tiefen zwischen ca. 5 und 7 m u. GOK geführten, Boh-rungen wieder in den Sedimenten der weichselkaltzeitlichen Niederterasse, entweder den Sanden oder den Schluffen, eingestellt.

### **2.2.2 Grundwasser**

Der **Grundwasserspiegel** wurde während der Aufschlußarbeiten am 1. / 2. August 2005 innerhalb der Bohrlöcher in einem Tiefenniveau zwischen ca. 2 und 2,5 m u. GOK ausgelotet. Dies entspricht einem Grundwasserspiegel zwischen ca. -2,6 und -3,8 m. Im Hornebach wurde zum gleichen Zeitpunkt ein Pegelstand bei ca. -4,45 m ausgepegelt.

Unter Berücksichtigung der aus den Grundwasserständen interpolierten Grundwassergleichen ergibt sich ein verstärkter Abstrom des Grundwassers nach Osten auf den Hornbach zu. Daneben ist ein tendenzielles Abstromgefälle nach Norden auszumachen. Dieses Nordgefälle des Grundwasserabstromes schwächt sich jedoch mit der Annäherung an die östliche Plangrenze ab und geht hier in eine annähernd Nord-Südausgerichtete Grundwassergleiche über.

Exakte Angaben zu maximalen Grundwasserständen können nur mit Hilfe von Langzeitmessungen in zuvor eingerichteten Grundwassermeßstellen erfolgen und sind allein auf Grundlage der in einem engen Zeitrahmen durchgeführten Baugrunduntersuchung nicht möglich.

In Anbetracht der vorherrschenden klimatischen Verhältnisse und der jahreszeitlichen Wasserstandsprägung des Porengrundwasserleiters repräsentieren die angetroffenen Wasserstände erfahrungsgemäß ein leicht erniedrigtes Grundwasserniveau.

Der Porengrundwasserleiter wird im Planraum vorwiegend aus gut bis mäßig wasser-durchlässigen Terrassensanden aufgebaut. Infolge der mit der Wasserdurchlässigkeit / nutzbaren Porenvolumen einher gehenden mittleren Retentionsfähigkeit / Rückhaltevermögens des sandigen Untergrundes wird der Grundwasserspiegel, in Abhängigkeit von der Niederschlagsintensität und den Niederschlagsraten, nur mittleren Grundwasserstandsschwankungen in Größenordnungen um max. 1 m unterlegen sein. Diesbezüglich werden die max. Grundwasserstände rd. 0,7 m oberhalb der angetroffenen Wasserstände abgeschätzt.

Im Umfeld des Baches dürfte der maximale Grundwasserspiegel in etwa mit den max. Pegelständen des Vorfluters konform gehen. Hier dürfte auch eine Beeinflussung des Grundwasserspiegels durch den vermutlich gut wasser-durchlässigen und folglich drainierenden Unterbau der Bundesstraße erfolgen. Die Grundwasserstände werden daher im Umfeld der östlichen Plangrenze vermutlich geringeren Schwankungen unterlegen sein, bzw. zeitweise abgepuffert werden können.

Durch die in den oberen Profilabschnitten stellenweise bindige Auffüllschichtung und die in die unterlagernden Sande eingelagerten bindigen Zwischenlagen weist das derzeitige Untergrundprofil für versickerndes Regenwasser stellenweise eine sehr differenzierte und im Bereich der bindigen Lagen nur mäßig bis gering wasser-durchlässige Bodenschichtung auf. Diesbezüglich ist nach starken und intensiven Niederschlagsereignissen auch oberhalb des benannten Grundwasserspiegels mit dem Auftreten von stärker vernässten Zonen in Form von Staunässe oder räumlich begrenzten Schichtwasserkörpern zu rechnen. Diese Vernässungshorizonte bilden sich bevorzugt in mehr sandigen und folglich besser wasser-durchlässigen Bodenpartien oberhalb stärker bindiger und folglich geringer wasser-durchlässiger Horizonte aus.

Bei der oben beschriebenen Wassersättigung der besser wasser-durchlässigen, resp. geringer bindigen Böden kann es im Zuge der Erdarbeiten bei einem Anschnitt dieser

nur minder kohäsiven Böden zu einem Ausfließen / Fließen derselben kommen. Daneben sind während der Erd- und Gründungsarbeiten bei Wasserzutritten in den bindigen Böden und gleichzeitig wirkenden dynamischen Lasten die im vorgenannten Kapitel benannten Gefügeänderungen zu beachten.

## **2.3 Bodenkennwerte, Bodengruppen, Bodenklassen, Durchlässigkeitsbeiwerte, Frostempfindlichkeitsklassen**

Die mittleren Bodenkennwerte, die Bodengruppen, Bodenklassen, Durchlässigkeitsbeiwerte und Frostempfindlichkeitsklassen der angetroffenen Bodenschichten werden wie folgt angesetzt:

### **humoser Oberboden / humose Auffüllungen**

Bodengruppen gem. DIN 18 196:	A / [OH] / [SU] / [SU*], untergeordnet auch [UL] / [ST*]		
Bodenklasse gem. DIN 18 300:	1 – 4		
Durchlässigkeitsbeiwert $k_f$ :	ca. $10^{-5}$ (nichtbindig) bis $10^{-8}$ m/s (bindig)		
Frostempfindlichkeitsklasse gem. ZTVE-StB 94:	F 3 (sehr frostempfindlich)		
Feuchtraumgewicht $\gamma$ :	16,5 - 19	kN/m <sup>3</sup>	(Rechenwert 17,5 kN/m <sup>3</sup> )
Kohäsion $c'$ :	0 - 5	kN/m <sup>2</sup>	(Rechenwert 0 kN/m <sup>2</sup> )
Reibungswinkel $\varphi$ :	25 - 30	°	(Rechenwert 27,5°)

### **bindige Auffüllgemenge / umgelagerter Geschiebemergel / Mergel**

Bodengruppen gem. DIN 18 196:	A / [ST*] / [TL] / [TM] / [GT*]		
Bodenklasse gem. DIN 18 300:	4 (bei Verschlämmung Klasse 2)		
Durchlässigkeitsbeiwert $k_f$ :	ca. $10^{-7}$ bis $10^{-9}$ m/s		
Frostempfindlichkeitsklasse gem. ZTVE-StB 94:	F 3 (sehr frostempfindlich)		
Feuchtraumgewicht $\gamma$ :	19 - 20	kN/m <sup>3</sup>	(Rechenwert 19,5 kN/m <sup>3</sup> )
Kohäsion $c'$ :	10 - 15	kN/m <sup>2</sup>	(Rechenwert 10 kN/m <sup>2</sup> )
Reibungswinkel $\varphi$ :	25 - 30	°	(Rechenwert 27,5°)
Steifemodul $E_s$ :	10 - 25	MN/m <sup>2</sup>	kein Rechenwert angesetzt, da die Auffüllgemenge zumeist oberhalb von humusführenden Böden liegen und folglich ausgekoffert werden

### **nichtbindiger Sand (Niederterrasse)**

Bodengruppen gem. DIN 18 196:		SU, ggf. auch SE
Bodenklasse gem. DIN 18 300:		3
Durchlässigkeitsbeiwert $k_f$ :		ca. $10^{-4}$ bis $10^{-5}$ m/s
Frostempfindlichkeitsklasse gem. ZTVE-StB 94:		F 1 / F 2 (nicht bis mittel frostempfindlich)
Feuchtraumgewicht $\gamma$ :	18,5	kN/m <sup>3</sup>
Wichte unter Auftrieb $\gamma'$ :	10,5	kN/m <sup>3</sup>
Kohäsion $c'$ :	0	kN/m <sup>2</sup>
Reibungswinkel $\varphi'$ :	35	°
Steifemodul $E_s$ :	40	MN/m <sup>2</sup> (mitteldichte Lagerung)

### **bindiger Sand (Niederterrasse)**

Bodengruppen gem. DIN 18 196:		SU*
Bodenklasse gem. DIN 18 300:		4 ( bei Verschlammung Klasse 2)
Durchlässigkeitsbeiwert $k_f$ :		ca. $10^{-5}$ bis $10^{-7}$ m/s
Frostempfindlichkeitsklasse gem. ZTVE-StB 94:		F3 (sehr frostempfindlich)
Feuchtraumgewicht $\gamma$ :	19	kN/m <sup>3</sup>
Wichte unter Auftrieb $\gamma'$ :	10	kN/m <sup>3</sup>
Kohäsion $c'$ :	0	kN/m <sup>2</sup>
Reibungswinkel $\varphi'$ :	32,5	°
Steifemodul $E_s$ :	20	MN/m <sup>2</sup> (steife Konsistenz / mitteldichte Lagerung)

### **Schluff (Niederterrasse)**

Bodengruppen gem. DIN 18 196:		UL / SU*
Bodenklasse gem. DIN 18 300:		4 ( bei Verschlammung Klasse 2)
Durchlässigkeitsbeiwert $k_f$ :		ca. $10^{-6}$ bis $10^{-7}$ m/s
Frostempfindlichkeitsklasse gem. ZTVE-StB 94:		F3 (sehr frostempfindlich)
Feuchtraumgewicht $\gamma$ :	19	kN/m <sup>3</sup>
Wichte unter Auftrieb $\gamma'$ :	10	kN/m <sup>3</sup>
Kohäsion $c'$ :	0 - 5	kN/m <sup>2</sup> (Rechenwert 0 kN/m <sup>2</sup> )
Reibungswinkel $\varphi'$ :	27,5 - 32,5	° (Rechenwert 30 °)
Steifemodul $E_s$ :	10 - 15	MN/m <sup>2</sup> (Rechenwert 12 MN/m <sup>2</sup> bei steifer Konsistenz)

### **Sande (Holozän)**

Bodengruppen gem. DIN 18 196:	SU, SU*, untergeordnet auch OH		
Bodenklasse gem. DIN 18 300:	3 / 4 (bei Verschlammung Klasse 2) / humose Böden auch Klasse 1		
Durchlässigkeitsbeiwert $k_f$ :	ca. $10^{-5}$ bis $10^{-6}$ m/s		
Frostempfindlichkeitsklasse gem. ZTVE-StB 94:	F 3 (sehr frostempfindlich)		
Feuchtraumgewicht $\gamma$ :	16 - 18	kN/m <sup>3</sup>	(Rechenwert 17,5 kN/m <sup>3</sup> )
Wichte unter Auftrieb $\gamma'$ :	7 - 10	kN/m <sup>3</sup>	(Rechenwert 8,5 kN/m <sup>3</sup> )
Kohäsion $c'$ :	0 - 5	kN/m <sup>2</sup>	
Reibungswinkel $\varphi$ :	25 - 30	°	(Rechenwert 27,5°)
Steifemodul $E_s$ :	5 - 20	MN/m <sup>2</sup>	(Rechenwert 8 MN/m <sup>2</sup> )

### **organische Schluffe (Holozän)**

Bodengruppen gem. DIN 18 196:	UL, OU, OT		
Bodenklasse gem. DIN 18 300:	2		
Durchlässigkeitsbeiwert $k_f$ :	ca. $10^{-7}$ bis $10^{-9}$ m/s		
Frostempfindlichkeitsklasse gem. ZTVE-StB 94:	F 3 (sehr frostempfindlich)		
Feuchtraumgewicht $\gamma$ :	16 - 18	kN/m <sup>3</sup>	(Rechenwert 17 kN/m <sup>3</sup> )
Wichte unter Auftrieb $\gamma'$ :	6 - 8	kN/m <sup>3</sup>	(Rechenwert 7 kN/m <sup>3</sup> )
Kohäsion $c'$ :	10 - 20	kN/m <sup>2</sup>	(Rechenwert 10 kN/m <sup>2</sup> )
Reibungswinkel $\varphi$ :	15 - 20	°	(Rechenwert 17,5°)
Steifemodul $E_s$ :	1 - 6	MN/m <sup>2</sup>	(Rechenwert 3 MN/m <sup>2</sup> )

### **Torfe (Holozän)**

Bodengruppen gem. DIN 18 196:	HN / HZ		
Bodenklasse gem. DIN 18 300:	2		
Durchlässigkeitsbeiwert $k_f$ :	ca. $10^{-7}$ bis $10^{-9}$ m/s		
Frostempfindlichkeitsklasse gem. ZTVE-StB 94:	F 3 (sehr frostempfindlich)		
Feuchtraumgewicht $\gamma$ :	11	kN/m <sup>3</sup>	
Wichte unter Auftrieb $\gamma'$ :	1	kN/m <sup>3</sup>	
Kohäsion $c'$ :	5	kN/m <sup>2</sup>	
Reibungswinkel $\varphi$ :	15	°	
Steifemodul $E_s$ :	0,5	MN/m <sup>2</sup>	

### **3. Bautechnische Folgerungen**

#### **3.1 Verwendung des Aushubmaterials**

In Anbetracht der im oberen Bodenabschnitt festgestellten sehr inhomogenen Auffüllmenge ist nur bedingt eine höhere Verwertung der im Zuge der Erd- und Gründungsarbeiten anfallenden Aushubböden möglich.

So können die anfallenden **humosen Oberböden / Mutterböden** aus nichtbindigen bis bindigen Sanden nach vorheriger Aussortierung grobkörniger Bestandteile in Form von Bauschutt oder Schotter als solche, sprich als Mutterboden im Bereich künftiger Grünflächen, wiederverwendet werden.

Den **übrigen Auffüllböden** kann aufgrund ihrer Bindigkeit, ihrer örtlichen Grobstückigkeit (kein Bohrfortschritt im Bereich der RKS 11a), ihrer Inhomogenität und ihrer zersetzungsgefährdeten Humusanteile nur eine mindere Verwertbarkeit zuteil kommen. So können sie beispielsweise zur Geländemodellierung zukünftiger Grünflächen oder im Bereich von Lärmschutzwällen u. ä. vorgesehen werden.

Die unterhalb der Auffüllböden anfallenden **natürlichen nichtbindigen Sande** sind nach Separierung von den überlagernden Auffüllböden und den unterlagernden bindigen Sande uneingeschränkt als Füll- und Bodenauftragsmaterial bei Hoch- und Tiefbaumaßnahmen verwendungsfähig.

Die **natürlichen bindigen Sande** und **Schluffe** lassen sich folglich ihrer bindigen Anteile nur im erdfeuchten Zustand, bei fehlenden Niederschlägen und bei frostfreien Witterungsbedingungen sachgemäß einbauen. Infolge der hohen Feinkornanteile weisen die Schluffe und stark bindigen, tonig-schluffigen Sande zudem eine hohe wasserstauende Wirkung auf und sind selbst bei sachgemäßer Verdichtung nur relativ gering tragfähig. Von einem Einbau des Materials in Arbeitsräume zukünftiger Hochbauten oder in Kanaltrassen zukünftiger Straßenzüge wird daher abgeraten. Unter Umständen ist bei günstigen Rahmenbedingungen eine Verwendung der Schluffböden als Füll- bzw. Bodenauftragsmaterial im Bereich großflächiger Geländeausgleichsmaßnahmen möglich. Hierbei sollte das Material dann „sandwichmäßig“ in Wechsel mit grobkörnigen, kapillarbrechenden Lagen eingebaut werden. Ansonsten ist aus bodenmechanischen Gesichtspunkten z. B. ein Einbau in später begrünte Erdwälle (z. B. Lärmschutzwälle) zu empfehlen.

Die **holozänen Sande** mit **humosen Lagen** und **Holz** können u. E. wie die o. g. Mutterböden / humosen Oberböden verwertet werden. Nicht verwertungsfähig sind die **Torfe** und **organischen Schluffe**. Infolge ihrer hohen Zusammendrückbarkeit und Zersetzungsempfindlichkeit ist auch fraglich, ob sie zur Geländemodellierung im Bereich von Grünflächen oder im Bereich von Lärmschutzwällen eingesetzt werden können. Ggf. empfiehlt sich diese Böden bei einer derartigen Verwertung mit gröberen Fraktionen zu mischen.

Hinsichtlich der Verwertung / Entsorgung empfiehlt es sich, die Auffüllböden einer weiteren chemischen Untersuchung nach den Parametern der LAGA-Boden zukommen zu lassen. Diesbezüglich werden die entnommenen Bodenproben noch einen weiteren Monat aufbewahrt und bei Nichtbedarf einer fachgerechten Entsorgung zugeführt.

### **3.2 Tragfähigkeit des Untergrundes, Gründungsart, Mehraushub, Bodenauftrag**

Entsprechend den Schichtenprofilen und Rammdiagrammen auf der Anlage 2 ist der Untersuchungsraum aufgrund der angetroffenen unterschiedlich tragfähigen Untergrundsichtung hinsichtlich der gründungstechnischen Empfehlungen und damit verbundener Maßnahmen differenzierter darzustellen.

Diesbezüglich erfolgt zunächst eine Darstellung der angetroffenen Bodenschichten hinsichtlich ihrer Tragfähigkeit und der damit verbundenen Feststellungen.

Nach Abtrag der humusführenden Oberböden stehen im Bereich des Abtragplanums entweder inhomogene, humusführende Auffüllböden (1), aufgefüllte, inhomogene, z. T. grobstückige Lehm Böden (2), nichtbindige bis örtlich auch wechselnd bindige Sande der Niederterrasse mit unterlagernden Schluffen (3) oder sehr junge, holozäne Böden in Form von humosen Sanden, organischen Schluffen und unterlagernd Torfen (4) an.

Die benannten humusführenden Auffüllböden (1) sind aufgrund ihrer zersetzunggefährdeten Humusanteile als nicht tragfähig einzustufen. Als nicht tragfähig sind auch die lehmigen Auffüllböden (2) zu beurteilen. Ihre Nichttragfähigkeit resultiert dabei aus ihrer Inhomogenität und stellenweisen Grobstückigkeit sowie der Möglichkeit, dass darunter wiederum zersetzungsempfindliche humose Böden anstehen können. Als nicht tragfähig sind auch die holozänen Sande, Schluffe und Torfe (4) einzustufen. Neben ihrer fehlenden Raumbeständigkeit durch zersetzungsempfindliche Humus- und Organikaanteile weisen sie darüber hinaus eine hohe Kompressibilität / Zusammendrückbarkeit auf.

Die humosen Oberböden, Auffüllböden und holozänen Bach- und Flußablagerungen werden in unterschiedlicher Tiefe von humusfreien, nichtbindigen bis wechselnd bindigen Sanden der Niederterrasse unterlagert (4). Diese Sande sind bei einer mind. mitteldichten Lagerung in Anbetracht der kalkulierten Bauwerkslasten als gut tragfähig einzustufen. Eine ausreichende Tragfähigkeit weisen auch die unterlagernden pleistozänen Schluffe bei einer mind. steifen Konsistenz auf.

Entsprechend den benannten Rahmenbedingungen sind die Auffüllböden (1) und (2) sowie die holozänen, humosen und organischen Böden (4) im Bereich von Gründungskörpern wie Fundamenten und Gründungslatten allesamt und vollständig bis

auf die humusfreien, älteren Sande auszukoffern. Die Fundamente sind dann entweder über Magerbeton bis auf die ausreichend tragfähigen Sande von mitteldichter Lagerung oder auf einem äquivalenten Bodenaustauschmaterial abzusetzen. Im Bereich unterkellelter Bauwerke sind die Gründungskörper (bewehrte Gründungsplatten) entweder auf die tragfähigen Sande oder hier auch pleistozänen Schluffe von steifer Konsistenz, resp. ggf. ebenfalls auf einem Bodenaustauschmaterial abzusetzen.

Die empfohlenen Maßnahmen führen infolge der in unterschiedlichen Tiefen auszukoffernenden Böden zu einer Zerteilung des Untersuchungsraumes.

So liegt die bei rd. 1 m unterhalb der zukünftigen EFFHs angenommene Fundamentaufstandsfläche der **nicht unterkellerten Bauwerke im nördlichen, westlichen und zentralen Abschnitt** (RKS 1 bis 7, RKS 10 und RKS 12) zumeist in einem ausreichend tragfähigen, humusfreien, nichtbindigen Sand von mitteldichter Lagerung in dem die Fundamente ohne weitere Bodenverbesserungsmaßnahmen abgesetzt werden können.

Stehen örtlich tiefer reichende Auffüllböden an, sind diese aufzunehmen und die Fundamente über Magerbeton auf den ausreichend tragfähigen Sand tiefer zu führen. Nach den Schichtenprofilen scheint diese Tieferführung bislang nur im Bereich der RKS 6 erforderlich zu sein.

Unterhalb der Bauwerkssohlen ist zur Bettung der Sohlen nach Abtrag der humosen Böden ein Bodenauftrag aus nichtbindigen, verdichtungsfähigen, raumbeständigen und umweltverträglichen Schüttungsmaterialien wie z. B. nichtbindigen Füllsanden (max. 15% bindige Anteile) lagenweise eingebracht und sachgemäß auf 100% der einfachen Proctordichte verdichtet herzustellen. Unmittelbar unterhalb der Bauwerkssohlen wird eine kapillARBrechende Schüttung aus z. B. Hartkalksteinschotter der Körnung 0/45 in einer Mindeststärke von 0,15 m empfohlen.

Bei Ausführung des benannten kapillARBrechenden Sohlenunterbaus reicht es aus, die nicht unterkellerten Hochbauten gem. DIN 18195, T 4, nur gegen Erdfeuchtigkeit zu isolieren.

Alternativ zu der Gründung über Streifenfundamente ist auch eine Gründung der nicht unterkellerten Bauwerke über bewehrte Gründungsplatten mit umlaufenden Frostschürzen denkbar.

Zum Abtrag der Bauwerkssohlen empfiehlt sich hierbei jedoch die grobkörnige Schüttungslage aus grobkörnigem, verdichtungsfähigen, raumbeständigen und ausreichend wasserdurchlässigen Schüttungsmaterialien unter der Bauwerkssohle in einer Mindeststärke von 0,3 m auszuführen, um die zur Bettung der lastabtragenden Sohlen erforderliche Eigensteifigkeit des Untergrundes herstellen zu können. Stehen im Abtragsplanum Böden von nur minderer Eigenschaft (locker gelagerte Sande / aufgeweichte Schluffe) an, sind die weichen Schluffe / bindigen Sande aufzunehmen und die

Tragschicht aus Schotter zu verstärken, resp. die nichtbindigen Sande nachzuverdichten.

Ausgehend von einer sachgemäßen Herstellung des Abtragplanums, einem lagenweisen Einbau des Schottermaterials (Lagenstärke ca. 0,2 m) und einer Verdichtung der Einbaulagen auf mind. 100% der einfachen Proctordichte, ist bei Durchführung von statischen Lastplattendruckversuchen gem. DIN 18 134 auf dem ungebundenen Sohlenunterbau ein Verformungsmodul  $E_{v,2} \geq 60 \text{ MN/m}^2$  erreichbar. Der Nachweis der sachgemäßen Verdichtung ist durch den Bauunternehmer zu erbringen. Bei Bedarf kann diese Prüfung auch durch das Gutachterbüro erbracht werden.

Im Bereich der unterkellerten Bauwerke liegt die bei rd. 3 m u. GOK angenommene Aufstandsfläche in einem Sand oder Schluff der Niederterrasse. Diese Böden sind bei der festgestellten mitteldichten Lagerung oder auch steifen Konsistenz als ausreichend tragfähig zur Aufnahme der Bauwerkslasten einzustufen.

Entsprechend können die unterkellerten Hochbauten, wie vorgesehen, über bewehrte Gründungsplatten oberhalb einer Tragschicht / Flächenfilter (s. u.) abgesetzt werden.

Stehen in der Aushubebene für die Tragschicht / Flächenfilter nach vorheriger Grundwasserabsenkung (siehe nachfolgendes Kapitel zur Wasserhaltung) örtlich aufgeweichte Böden an, sind diese in Abstimmung mit dem Baugrundsachverständigen ergänzend aufzunehmen und durch das grobkörnige Schüttungsmaterial, das auf diese Weise eine entsprechende Verstärkung erfährt, zu ersetzen.

Zur Vermeidung eines diesbezüglichen Mehraufwandes wird empfohlen, die Baugruben im rückschreitenden Verfahren mit einer glatten Baggerschneide auszuschachten. Nach Aushub sind die wasserempfindlichen Böden umgehend mit dem Schüttungsmaterial anzudecken und so vor weiteren Wasserzutritten zu konservieren. Zur Vermeidung dynamischer Lasteinträge in den zumeist bindigen Untergrund ist das Schottermaterial in einer Lage einzubringen, nur statisch anzudrücken und Baustellenverkehr aus den Baugruben fernzuhalten bzw. auf eigens hierfür herzustellende Baustraßen umzuleiten.

Im **südöstlichen Abschnitt (Bereich der RKS 8, 9, 11, 13 und 14)** liegt das angenommene Gründungsniveau für die nicht unterkellerten Bauwerke innerhalb oder oberhalb humoser Sande, organischer Schluffe oder auch Torfe, die als nicht tragfähig einzustufen sind.

Als ausreichend tragfähiger Untergrund ist erst der mind. mitteldicht gelagerte Sand, der unterhalb der humosen und organischen holozänen Ablagerungen in einem Tiefenniveau zwischen ca. 3,7 und 4,4 m u. GOK ansteht, einzustufen. In Anbetracht der genannten Tiefen werden auch bei einer wahlweisen Unterkellerung diese setzungsempfindlichen Böden nicht durchteuft.

Bei einer **Flachgründung** sind die nicht tragfähigen Böden in Form der holozänen Sande, Schluffe und Torfe vollständig bis auf die ausreichend tragfähigen pleistozänen Sande aufzunehmen. Zur Abschätzung der Verbreitung dieser nicht tragfähigen Böden sollte diese Bodenaufnahme in Beisein des Baugrundsachverständigen ausgeführt und vor Beginn der Erd- und Gründungsarbeiten in den anderen Planabschnitten bewerkstelligt werden.

Eine mögliche Tiefgründung über Pfähle wird an dieser Stelle nicht weiter verfolgt, da die unten empfohlenen Bodenaustauscharbeiten infolge einer bislang nicht angrenzenden Bebauung schadhaft ausgeführt werden können und hierzu keine weiteren Sicherungsmaßnahmen erforderlich werden. Stellt sich jedoch heraus, dass der wirtschaftliche Aufwand zur Durchführung des Bodenaustausches wesentlich höher als bei einer Pfahlgründung ist, können die hierzu erforderlichen Maßnahmen in einer ergänzenden Stellungnahme erläutert werden.

Nach Aufnahme des nicht tragfähigen Baugrundes ist die Differenz bis zum angesetzten Gründungsniveau, resp. bis zur Unterkante der Bauwerkssohlen durch einen Bodenauftrag / Bodenaustausch auszugleichen.

In Anbetracht der genannten Aushubniveaus und des festgestellten Grundwasserspiegels ist dieser Bodenaustausch nur nach vorheriger Absenkung des Grundwasserspiegels (im geschlossenen Verfahren / siehe nachfolgendes Kapitel zur Wasserhaltung) möglich.

Nach erfolgter Trockenlegung der Baugrube und vollständiger Aufnahme der holozänen Bodengemenge werden als Material für den Bodenaustausch / Bodenauftrag seitens des Unterzeichners nichtbindige, raumbeständige und verdichtungsfähige Sande (Sande gem. DIN 1054 mit max. 15% bindigen Anteilen, Bodengruppen gem. DIN 18 196 SE / SU, Bodenklasse 3) empfohlen.

Unmittelbar unter der Bauwerkssohle der nicht unterkellerten Bauwerke empfiehlt sich zur Abdichtung der Bauwerkssohle gegen Erdfeuchtigkeit gem. DIN 18 195, T 4, wiederum der Auftrag einer kapillarbrechenden Schüttung. Die kapillarbrechende Schüttung kann entfallen, wenn für das Bodenauftragsmaterial aus Sand eine ausreichende Wasserdurchlässigkeit von  $k_f > 1 \times 10^{-4}$  m/s nachgewiesen wird. Dies ist bei einem Feinkornanteil der Sande von  $< 5$  Gew.-% gewährleistet.

Werden in dem betroffenen Abschnitt unterkellerte Bauwerke ausgeführt, können die Sohlplatten, bei Aufrechthaltung der geschlossenen Wasserhaltung, unmittelbar auf dem Füllsand gebettet werden. Eine grobkörnige Schüttungslage / Flächenfilter wie in den anderen Bauabschnitten kann somit entfallen.

Das zur Ausführung gelangende Bodenauftragsmaterial ist in Lagenstärken zwischen ca. 0,2 und 0,3 m einzubringen und im erdfeuchten Zustand mittels adäquater Verdichtungsgeräte auf 100% der einfachen Proctordichte zu verdichten.

Der Nachweis der sachgemäßen Verdichtung des Bodenaustausches kann mittels Künzelstab (DPL gem. DIN 4094) oder statischer Lastplattendruckversuche gem. DIN 18 134 erbracht werden. Bei einer sachgemäßen Verdichtung des Bodenauftrages aus nichtbindigem Sand werden bei Durchführung von entsprechenden Lastplattendruckversuchen auf der Oberkante des Sohlenunterbaus erfahrungsgemäß Verformungsmoduln  $E_{v2} \geq 60 \text{ MN/m}^2$  bei einem  $E_{v2} / E_{v1}$  – Verhältnis  $\leq 3$ , bei Ausführung einer grobkörnigen kapillarbrechenden Abschlußlage Verformungsmoduln  $E_{v2} \geq 80 \text{ MN/m}^2$  bei einem  $E_{v2} / E_{v1}$  – Verhältnis  $\leq 2,5$  erreicht. Der Nachweis der sachgemäßen Verdichtung ist durch den Bauunternehmer zu erbringen. Bei Bedarf kann diese Prüfung auch durch das Gutachterbüro erbracht werden.

### 3.3 Belastung des Untergrundes / Setzungsverhalten

Unter Berücksichtigung einer Grundbruchsicherheit von  $\eta \geq 2,0$ , der zulässigen Winkelverdrehung  $\alpha_{\text{krit}} = 1/500$  und einer rechnerisch auf  $S_g \leq 2,0 \text{ cm}$  begrenzten Setzung sind bei den **nicht unterkellerten Bauwerken** in Anlehnung an die DIN 1054 im Bereich von **bewehrten Streifenfundamenten** bei einer Gründung im humusfreien, gewachsenen, pleistozänen Sand oder auf dem im südöstlichen Bereich aufgetragenen Bodenaustauschmaterial aus Füllsand mittlere Sohlnormalspannungen in Größenordnungen  $\sigma_m = 200 \text{ kN/m}^2$  zulässig. Dies gilt für Streifenfundamente mit Breiten zwischen  $b = 0,5$  und  $1 \text{ m}$ .

Kommen **bewehrte Einzelfundamente** zur Ausführung sind in Anlehnung an die o. g. DIN mittlere Sohlnormalspannungen in Größenordnungen  $\sigma_m = 300 \text{ kN/m}^2$  zulässig. Dies gilt für quadratische Fundamente mit Breiten zwischen  $b = 1$  und  $2,5 \text{ m}$ .

Die Mindesteinbindetiefe der Fundamente wurde bei den Berechnungen mit jeweils  $t = 0,8 \text{ m}$  angesetzt.

Die zu erwartenden Bauwerkssetzungen liegen bei den o. a. Bodenpressungen rechnerisch maximal in Größenordnungen um  $S_g = 1,0 \text{ cm}$ . Unzulässige Setzungsdifferenzen sind bei einer einheitlichen Gründung im mitteldicht gelagerten Sand nicht zu erwarten.

Wird im Bereich der nicht unterkellerten Bauwerke eine Gründungsplatte ausgeführt ist bei der statischen Bemessung dieser bewehrten Sohlplatte nach dem Bettungsmodulverfahren ein Bettungsmodul  $k_s = 15 \text{ MN/m}^3$  in Ansatz zu bringen.

Im Bereich der unterkellerten Bauwerke kann das Bettungsmodul auf  $k_s = 20 \text{ MN/m}^3$  erhöht werden, sobald natürliche Sande oder ausgetauschte Sande im Aushubniveau anstehen. Stehen Schluffe an, ist eine Abminderung auf  $k_s = 15 \text{ MN/m}^3$  erforderlich.

Die bei den erdstatischen Berechnungen rechnerisch ermittelten Werte basieren auf den im Kapitel 2.3 aufgeführten mittleren Bodenkennwerten der angetroffenen Bodenhorizonte. Für das grobkörnige Schüttungsmaterial können folgende Bodenkennwerte angesetzt werden.

### **grobkörniges Schüttungsmaterial**

Feuchtraumgewicht $\gamma$	:	19,5	kN/m <sup>3</sup>	
Kohäsion $c'$	:	0	kN/m <sup>2</sup>	
Reibungswinkel $\varphi$	:	37,5	°	
Steifemodul $E_s$	:	100	MN/m <sup>2</sup>	(entspricht ca. 100 % der Proctordichte)

## **3.4 Wasserhaltung / Trockenhaltung der Kellergeschosse**

Entsprechend den kalkulierten Aushubniveaus für die Kellergeschosse und den angenommenen tieferen Aushubebenen für den partiell erforderlichen Bodenaustausch sind auch die Empfehlung zu den bauzeitlichen Wasserhaltungsmaßnahmen leicht differierend.

Im nördlichen, zentralen und westlichen Abschnitt befindet sich das in den älteren, pleistozänen Sanden und Schluffen bei 3 m u. GOK angenommene Aushubniveau für die Kellergeschosse entsprechend den hydrogeologischen Feststellungen zwischen ca. 0,5 und 0,8 m unterhalb des während der Baugrunduntersuchung festgestellten Grundwasserspiegels.

Unter Beachtung der beim Anschnitt im Grundwasser fließfähigen Sandböden oder ähnlich reagierender minder kohäsiver Schluffe sowie zur Trockenhaltung der Baugruben sind die Erd- und Gründungsarbeiten grundsätzlich im Schutz einer Grundwasserabsenkung auszuführen.

Unter Berücksichtigung der oberhalb der Baugrubensohle anstehenden fließfähigen Sande und auch stark sandigen Schluffe sowie der im Niveau der Baugrubensohle angetroffenen wasserempfindlich reagierenden z. T. bindigen Sande und Schluffe wird zur Vermeidung von Bodenausspülungen im Bereich der Baugrubenwände und zur Stabilisierung der Baugrubensohle als bauzeitliche Wasserhaltung eine Kombination aus geschlossener Wasserhaltung im Vakuumverfahren mittels herkömmlicher Vakuumlanzen und einer offenen Wasserhaltung über einen bauzeitlichen Flächenfilter mit Anschluss an einen Pumpensumpf empfohlen.

Nach entsprechender Vorlaufzeit der Vakuumfilteranlage kann mit dem Baugrubenaushub für die Keller begonnen werden. Hierbei ist sofort zu Beginn des Aushubs ein Pumpensumpf / Pumpenschacht im zukünftigen Arbeitsraum einzurichten. Von diesem aus wird

anschließend abschnittsweise die Baugrubensohle ausgeschachtet und umgehend mit dem Material des bauzeitlichen Flächenfilters abgedeckt (Adeckverfahren). Als Material des Flächenfilters sollte raumbeständiges, grobkörniges, kapillARBrechendes Schüttungsmaterial (z. B. HKS 0/45, Mindeststärke 0,2 m) zur Ausführung gelangen. Innerhalb des Flächenfilter sind Ring- und Flächendrainagen mit Anschluß an den Pumpensumpf / Pumpenschacht zu verlegen.

Nach vollständiger Herstellung des drainierenden Flächenfilters übernimmt dieser die alleinige Wasserhaltung. Die Vakuumfilter können sodann gezogen werden. Zur Vermeidung von Ausspülungen an den möglichst flach zu böschenden Baugrubenwänden, nach Einstellung der Vakuumfilteranlage, ist der Flächenfilter soweit wie möglich an diesen hochzuziehen.

Infolge des unterhalb der kalkulierten Aushubniveaus für die Kellergeschosse erforderlichen Aushubniveaus für den Bodenaustausch ist hier, im südöstlichen Abschnitt, eine wesentlich höhere Absenksäule einzukalkulieren. In Anbetracht des herrschenden Wasserdruckes und der Erfordernis einer trockenen Baugrubensohle zur Durchführung der mit dem Bodenaustausch verbundenen Verdichtungsarbeiten empfiehlt sich hier eine Grundwasserabsenkung im ausschließlich geschlossenen Verfahren.

Infolge der sehr feinkörnigen tonigen Schluffe, die zu einem Zusetzen herkömmlicher Vakuumlanzen führen können und zur Entwässerung der oberhalb und unterhalb der organischen Bodenschichten anstehenden fließfähigen Sande empfiehlt sich in diesen Abschnitten die Verwendung von kiesummantelten Vakuumlanzen, die eine Entwässerung über die gesamte Filterstrecke gewährleisten.

Die geschlossene Wasserhaltung ist bis zur Verfüllung der Baugruben bis zu einem Niveau von mind. 0,5 m oberhalb der dann herrschenden Grundwasserstände aufrecht zu halten.

Zur Herstellung der Kanaltrassen sind bei vergleichbaren Tiefenniveaus ebenfalls die o. g. Empfehlungen zur Wasserhaltung maßgebend. Erst bei einem Aushubniveau in tragfähigen Sanden / Schluffen auf Höhe oder oberhalb des Grundwasserspiegels können geschlossene Wasserhaltungsmaßnahmen entfallen. Bei verstärktem Wasserzutritt kann das Wasser innerhalb der höheren Gräben über einen bauzeitlichen Flächenfilter aus z. B. Hartkalksteinschotter der Körnung 0/45 oder einen einseitig angelegten Draingraben in offener Wasserhaltung abgeführt werden.

Die Stärke des Schotterpolsters richtet sich dabei nach den bauzeitlich anfallenden Wassermengen und kann erst im Zuge des Aushubs endgültig festgelegt werden. Bei Ausführung eines Flächenfilters ist dieser zur Vermeidung eines dynamischen Lasteintrages in die Grabensohle nur statisch anzudrücken.

Im Bereich der Fundamentgräben für die nicht unterkellerten Bauwerke wird empfohlen, die Grabenbasis unmittelbar nach Ausschachtung mit der Sauberkeitsschicht anzudecken, um die Böden so vor weiteren Witterungseinflüssen zu schützen.

Bei starken Niederschlägen fungiert der Sohlenunterbau im Bereich der nicht unterkellerten Bauwerke oder der grobkörnige Fahrhahnoberbau sogleich als bauzeitlicher Flächenfilter. Die Entwässerung kann dann beispielsweise durch seitlich angelegte Pumpensümpfe und bei verstärktem Wasserandrang durch ggf. mitgeführte Baudrainagen erfolgen. Gleichzeitig können von dieser Basislage die Gräben für die Fundamente ausgeschachtet und bis zur konstruktiv erforderlichen Höhe mit Magerbeton verfüllt werden.

Die Keller sind als „Weisse Wanne“ in wasserundurchlässigem Beton gem. DIN 1045 mit entsprechender Rißbreitenbeschränkung und wasserdichter Haltung von Fugen bzw. Anschlüssen der Versorgungsleitungen herzustellen. Der wasserundurchlässige Beton ist bis zur zukünftigen Geländeoberkante auszuführen. Bei höheren Anforderungen an das Raumklima (z.B. staubtrockene Räume) ist dann zusätzlich eine druckwasserhaltende Außenhautdichtung gem. DIN 18 195, T 6, zu überdenken.

Zum Schutz vor nicht kalkulierbaren Grundwasserhöchstständen und zur Abführung des Oberflächenwassers aus den Lichtschächten, wird empfohlen, unterhalb der Kellerlichtschächte ein umlaufendes Entwässerungsrohr zu installieren.

Bei der statischen Bemessung der Bauwerksohle und der Kellerwände ist dann ein Wasserdruck bis zu diesem Entwässerungsrohr anzusetzen.

Bei Ausführung des benannten kapillarbrechenden Sohlenunterbaus reicht es aus, die nicht unterkellerten Hochbauten gem. DIN 18195, T 4, gegen Erdfeuchtigkeit zu isolieren.

### **3.5 Hinweise zur Herstellung der befestigten Verkehrsflächen**

Für die Erstellung von befestigten, öffentlichen Verkehrsflächen sind die Vorgaben der RStO 01 (Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen), der ZTVE-StB 94 (Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Erdarbeiten im Straßenbau) sowie der ZTVT-StB 95 (Zusätzliche Technische Vorschriften und Richtlinien für Tragschichten im Straßenbau) maßgebend.

Erfahrungsgemäß können die inneren Wohnstraßen den Bauklassen IV oder V zugeordnet werden.

Unter Beachtung der zu erwartenden Verkehrslasten ist in Anlehnung an die o. g. Vorgaben - ausgehend von einer Bauweise mit bituminöser Decke und bituminöser Tragschicht über einer ungebundenen Tragschicht (Schotter 0/45 oder 0/56) - bei Durchführung von Lastplattendruckversuchen gem. DIN 18 134 auf der ungebundenen Tragschicht des Fahrhahnoberbaus ein Verformungsmodul  $E_{v2} \geq 150 \text{ MN/m}^2$  (Bauklasse IV) bzw.  $E_{v2} \geq 120 \text{ MN/m}^2$  (Bauklasse V) zu fordern. Die  $E_{v2}/E_{v1}$ -

Verhältnisse sollten dabei zur Vermeidung oberflächennaher Kornumlagerungen ein Verhältnis  $\leq 2,2$  aufweisen.

Gem. BMV ARS 30/1991 liegt das Baugelände in der Frosteinwirkungszone I der Bundesrepublik Deutschland. In dieser Zone ist bei einem sehr frostempfindlichen Untergrund der Frostempfindlichkeitsklasse F 3 gem. ZTVE-StB 94, gem. RStO 01, Tab. 6, eine Mindestdicke des frostsicheren Fahrbahnoberbaus in einer Stärke zwischen 50 cm (Bauklasse V) oder 60 cm (Bauklasse IV) vorgesehen. Bei einem gebundenen oder gepflasterten Oberbau von rd. 0,1 m resultiert hieraus eine Stärke der Schottertragschicht zwischen ca. 0,4 und 0,5 m.

Die gem. RStO 01 vorgegebenen frostsicheren Mindeststärken bedingen zum Erreichen des geforderten Verformungsmoduls  $E_{v2} \geq 120 \text{ MN/m}^2$  bzw. von  $150 \text{ MN/m}^2$  auf der Oberkante der Tragschicht, auf dem Planum einen Verformungsmodul  $E_{v2}$  von mind. **45  $\text{MN/m}^2$** .

Nach Abtrag des humosen Oberbodens und des humosen Auffüllhorizontes liegt in den meisten Abschnitten unterhalb des Abtragsplanums ein nichtbindiger aber feinkörniger Sand der Frostempfindlichkeitsklasse F 1 / F 2 vor. In Anbetracht des hier nicht bis nur gering frostempfindlichen Untergrundes wäre gem. Tabelle 6 der RStO 01 hier eine Reduzierung des Fahrbahnoberbaus möglich. Infolge der Feinkörnigkeit der Sande dürfte der auf dem Planum zu fordernde Verformungsmodul  $E_{v2}$  von  $45 \text{ MN/m}^2$  jedoch kaum überschritten werden, so dass die lt. RStO 01empfohlene Dimensionierung des Fahrbahnoberbaus in diesen Abschnitten exakt ist. Erfolgt im Zuge des Abtrages des humosen Oberbodens eine oberflächennahe Auflockerung der Sande reicht eine Nachverdichtung mittels Flächenrüttler erfahrungsgemäß aus, um die ursprünglich ausreichende Lagerungsdichte erneut zu erlangen.

In Teilabschnitten liegt im Abtragsplanum ein bindiger Sand oder Schluff vor. Infolge der verminderten Eigensteifigkeit dieser Böden (der Steifemodul  $E_s$  liegt zwischen ca. 15 [Lehm] und  $20 \text{ MN/m}^2$  [bindiger Sande]) sind hier Maßnahmen zur Verbesserung des Untergrundes erforderlich. Neben einem partiellen Bodenaustausch dieser bindigen Böden gegen Füllsande (nichtbindige Sande) ist hier ggf. eine Verstärkung der Schottertragschichten zwischen rd. 0,1 und 0,2 m zu überdenken.

Liegen die Fahrbahnen im südöstlichen Abschnitt oberhalb der holozänen Sande, Schluffe, Torfe ergibt sich hier, als Alternative zu einem auch hier vollständigen Bodenaustausch, die Möglichkeit die Abschnitte mittels in Schotter verlegter Geogittern zu überbrücken (bewehrte Erde). Daneben ist auch eine Stabilisierung des Untergrundes mittels eingebrachtem Grobschlag möglich.

Entsprechende weitergehende Maßnahmen und Empfehlungen sollten in diesen Planabschnitten in Beisein des Baugrundsachverständigen, des Planers und der beauftragten Baufirmen separat abgestimmt und erörtert werden.

Die aufgeführten bzw. in den geltenden Regelwerken genannten Verdichtungswerte bzw. Verformungsmoduln sind jeweils durch die ausführenden Baufirmen nachzuweisen bzw. durch einen Baugrundsachverständigen zu überprüfen.

### **3.6 Baugrubensicherung, Verfüllung der Arbeitsräume**

Begangene Abgrabungen mit einer Höhe von mehr als 1,25 m können, eine entsprechende Wasserhaltung vorausgesetzt, in Anlehnung an die DIN 4124 in den weitestgehend kohäsionslosen Auffüllungen und Sanden sowie den nur wenig höher kohäsiven Schluffen bis max. 45° abgebösch werden.

Zur Einsparung von Aushubmassen oder bei zu geringem Platzdargebot können die Kanalgräben im Schutze eines Verbaus angelegt werden. Als Verbauart kommen – bei tieferen Aushubniveaus eine vorherige Grundwasserabsenkung vorausgesetzt - ein endgesteifter Stahlplattenverbau oder ein senkrecht, nach innen ausgesteiften Kanaldielenverbau in Frage. Aufgrund der in der Leitungssohle anstehenden zumeist bindigen, wasserempfindlichen Böden ist der gewählte Verbau erschütterungsarm einzubringen. Bei der Verwendung von Kanaldielen sind diese möglichst nur einzudrücken. Die Verbauelemente sollten bis mind. 0,5 m unterhalb des erforderlichen Ausschachtungsniveaus einbinden.

Die Arbeitsräume sind generell mit nichtbindigem, raumbeständigem und verdichtungsfähigem Lockergesteinsmaterial zu verfüllen. Das Einbaumaterial ist lagenweise (Lagenstärke 0,3 m) einzubauen und zur Vermeidung von Nachsackungen auf mind. 97 % bzw. 100 % (ab 1 m unter Planum) Proctordichte zu verdichten.

Für Kanalleitungen ist ergänzend anzumerken, dass hinsichtlich der Tragfähigkeit des Untergrundes die entsprechenden Empfehlungen zu den Hochbauten in Ansatz zu bringen sind. Ergänzend ist anzumerken, dass Rohrleitungen mit Fuß unmittelbar auf dem Schotterpolster / Flächenfilter abgesetzt werden können. Sonst ist bei Rohren ein sachgemäß verdichtetes Sandbett vorzusehen.

### **3.7 Baustellenbegleitung**

Zu Beginn und während der Erd- und Gründungsarbeiten ist der Gutachter zu Baustellenbegehungen aufzufordern.

Im Zuge dieser Ortstermine werden die im Gutachten beschriebenen bautechnischen Abläufe den örtlichen Gegebenheiten entsprechend in Abstimmung mit den beauftragten Bauunternehmen und den Fachingenieuren festgelegt.

Im vorliegenden Fall dienen solche Termine insbesondere zur Festlegung der Verbreitung der holozänen, nicht tragfähigen und gleichfalls nicht versickerungsfähigen humosen Sande, organischen Schluffe und Torfe. Mittels ergänzender, in Beisein des Baugrundsachverständigen, auszuführender Baggerschürfe können so die bautechnischen Empfehlungen zu den hier erforderlichen Mehraufwendungen bei der Gründung der Hochbauten und Kanäle / Schächte (Bodenaustausch) sowie den Mehraufwendungen beim Straßenbau (Bodenaustausch, Geogitter, Grobschlag, etc.) präzisiert und abgestimmt werden.

Auf Anforderung wird durch das Gutachterbüro auch die Tragfähigkeit der Sohlenunterbauten, der Fahrbahnoberbauten sowie der Bodenaustauschpolster geprüft. Der Verdichtungsnachweis erfolgt dann wahlweise mittels Künzelstab / Rammsonde (DPL gem. DIN 4094) oder statischer Lastplattendruckversuche gem. DIN 18 134.

### **4. Weitere Hinweise**

Werden im Zuge der Erd- und Gründungsarbeiten ggf. lokal von den Ergebnissen der Baugrunduntersuchung abweichende Untergrundverhältnisse angetroffen, ist der Baugrundsachverständige mit einer Begutachtung des Aushubniveaus und einer Präzisierung der Gründungsarbeiten zu beauftragen. Dieser Termin kann auf Wunsch der Bauherrn bzw. der Fachplaner zur Optimierung der bautechnischen Ausführung selbstverständlich generell wahrgenommen werden.

Des weiteren ist der Unterzeichner bei einer Abweichung der tatsächlichen Gründungsebene zu dem im Gutachten angenommenen Gründungsniveau bzw. bei einer Änderung der Planunterlagen ergänzend hinzuzuziehen.

Sollten sich noch Fragen ergeben, die in dem vorliegenden Gutachten nicht oder nur abweichend behandelt wurden, wird um eine Rücksprache mit dem Unterzeichner gebeten.

Dipl.- Geol. A. Gey