ERDBAULABOR SCHEMM GmbH
INGENIEURBÜRO

Baugrundbeurteilungen – Gründungsberatungen/Gutachten, Erdstatische Berechnungen, Beweissicherungen Kontrollprüfungen für den Erd–, Grund- und Straßenbau, Bohrungen, Sondierungen, Rammkernsondierungen

ERDBAULABOR SCHEMM GmbH – INGENIEURBÜRO
Hesselteicher Str. 71, 33829 Borgholzhausen

Tel.: 05425 / 9442-0
Fax: 05425 / 9442-44

info@erdbaulabor-schemm.de
33829 Borgholzhausen
Hesselteicher Str. 71

Stadt Vlotho
Herrn Fißmer
Lange Str. 60

32602 Vlotho

12725 Stege+Brücke für Fußgänger Burg Vlotho, Burgstr. 41 in 32602 Vlotho	Bearbeitungs-Nr.:**12.725** Li/S	Borgholzhausen, den 20.05.2025

Modernisierung der Burg Vlotho, Stege und Brücke für Fußgänger, Burgstr. 41 in 32602 Vlotho

Auftrag vom 07.05.2025

Anlagen

1	Körnungslinien	
2	Lageplan	M. 1 : 250
3	Profilschnitte und Widerstandsdiagramme	M. 1 : 50

Baugrundtechnische Stellungnahme

1 Vorgang und Bauvorhaben

Im Zuge der Modernisierung der Burg Vlotho sind im Bereich der Außenanlagen Stege, Treppen und eine Brückenanlage für Fußgänger geplant, welche über Schraubfundamente gegründet werden sollen.

Unser Büro wurde beauftragt, den Baugrund an 6 vorgegebenen Stellen zu untersuchen und die Ergebnisse in einer Baugrundtechnischen Stellungnahme zur Beschaffenheit und Tragfähigkeit des Baugrundes incl. Angabe von Bodenkennwerten des sondierbaren Baugrundes zusammenzufassen.

Folgende Eckdaten an den 6 Untersuchungsstellen A bis F sind baugrundtechnisch relevant:

- Stelle A: Fundament Brücke/Steg von der Kernburg (GOK ca. 140,73 m NHN) zur Burgmauer (GOK ca. 139,52 m NHN vor Mauer),
- Stelle B: Aufgang Fundament Treppenanlage zum Westturm,
- Stelle C: Neubau Eingangstor neben Westturm, GOK neu ca. 140,35 m NHN,
- Stelle D: WL Süd Fußgängerbrücke vor Westtor, OK geplant = 140,35 m NHN
- Stelle E: WL Nord Fußgängerbrücke vor Westtor, OK geplant =140,98 m NHN,
- Zwischen Stellen D+E: Mittelstütze Fußgängerbrücke geplanter Geländeabtrag auf ca. 139,9 m NHN,
- Stelle F: Fundament Wendeltreppe/Steg Ausblick Bergfried, GOK ca. 142,98 m NHN

2 Unterlagen

Für die Bearbeitung standen folgende Unterlagen zur Verfügung:

U/1	Auftrag vom 07.05.2025	
U/2	Lageplan mit 6 Untersuchungsstellen	M. 1: 250
U/3	Präsentation LOMA architecture „Neuer Zugang Westtor“	
U/4	4 Lagepläne + Schnitte LOMA architecture	
U/5	Diverse Leitungspläne	M. 1: 500

Weiterhin wurden die Geologische Karte von Vlotho, Blatt 3819 (Maßstab 1 : 25.000) und unsere eigene Bearbeitungen Nr. 12029 (für die Sanierung der Burgmauer) hinzugezogen.

3 Art, Umfang und Zeitpunkt der Untersuchungen

Zur Erkundung des Untergrundes wurden am 12.05.2025 insgesamt 6 Kleinrammbohrungen (RKB A bis F) gemäß DIN EN ISO 22475-1 bis 3,0 / 6,0 m unter Geländeoberkante (GOK) abgeteuft.

Die vorgesehene Aufschlusstiefe von 6,0 m wurde nur durch die RKB D erreicht. Bei den anderen RKB trat vorzeitig bei Geräteauslastung „Stand“ in Tiefen zwischen 3,0 und 5,0 m unter GOK ein.
Zur Abschätzung der Tragfähigkeiten bzw. der Lagerungsdichten des Untergrundes wurde neben den Kleinrammbohrungen jeweils eine Rammsondierung (DPM A bis F) mit der mittelschweren Rammsonde DPM-10 gemäß TP BF-StB, Teil B 15.1, bis 3,6 / 4,2 m niedergebracht. Hier trat bei allen DPM vorzeitig „Stand“ ein.

Der Anlage 2 sind die Ansatzpunkte der Aufschlüsse zu entnehmen. Die Sondierprofile mit den Rammdiagrammen sind in der Anlage 3 gemäß DIN 4023 farbig dargestellt.

Nach Abschluss der Feldarbeiten wurden die Höhen der Ansatzpunkte (AP) auf den Festpunkt FP = 142,75 m NHN = OK „Hochzeitstein“ (Lage s. Anlage 2) eingemessen.

Die Höhen sind in der Tabelle 1 zusammengestellt:

Tabelle 1: *Höhen der Ansatzpunkte*

Ansatzpunkt	Höhe [m NHN]
RKB/DPM A	141,19
RKB/DPM B	138,98
RKB/DPM C	139,77
RKB/DPM D	140,41
RKB/DPM E	141,16
RKB/DPM F	142,78

Zur Ermittlung von bodenmechanischen Kennziffern wurden in unserem Labor an repräsentativem Probenmaterial folgende Versuche durchgeführt:

- Ansprache von 32 gestörten Bodenproben
- 2 Bestimmungen der Korngrößenverteilungen durch kombinierte Sieb- und Schlämmanalyse gem. DIN EN ISO 17892-4
- 1 Bestimmung der Korngrößenverteilung durch Siebanalyse gem. DIN EN ISO 17892-4
- 3 Bestimmungen der Wassergehalte durch Ofentrocknung gem. DIN EN ISO 17892-1

Die Ergebnisse der Wassergehaltsbestimmungen sind an die Schichtenprofile in der Anlage 3 angetragen.
Die manuelle und visuelle Bodenprobenansprache wurde durch die stichprobenartig durchgeführten labortechnischen Bestimmungen der Korngrößenverteilungen (s. Anlage 1) bestätigt.

4 Baugrundaufbau

Die Geologische Karte von Vlotho, Blatt 3819 (Maßstab 1 : 25 000) weist im Untersuchungsgebiet Festgesteine der Trias aus.



Abbildung 1: *Auszug Geologische Karte von Vlotho, Blatt 3819. Rot umrandet = Burg*

Im Westen und Süden sind Schichten aus dem mittleren Keuper/Steinmergelkeuper (km4) verzeichnet. Diese streichen von Nordwesten nach Südosten und fallen nach

Nordosten ein und bestehen vorwiegend aus grauen und zum Teil roten Mergelsteinen.

Im Osten und Norden und der Burgmitte sind Schichten aus dem oberen Keuper/Rhätkeuper (ko) verzeichnet. Diese können aus kieseligen, bräunlichen Sandsteinen mit hellen Bänken von Quarziten und teils auch aus schwarzgrauen Tonsteinen/Schiefertonen und Schluffsteinen bestehen.

Nach den Felduntersuchungen wurde bei RKB A, D und E bis in Tiefen von 0,05 bis 0,15 m **Mutterboden/org. Oberboden** erkundet.

Bis 1,0/2,3 m unter Geländeoberkante wurden **Auffüllungen** erbohrt.

Die Auffüllungen sind hinsichtlich der Kornzusammensetzung inhomogen und bestehen vorwiegend aus Kiesen und gemischtkörnigen Böden und/oder aus Schluffen/Lehmen mit stark wechselnder sandig-kiesig-steinig-schluffig-toniger Zusammensetzung. Beimengungen von Humus, Natursteinbruch, Ziegelbruch, Bauschutt-, Asphalt- und Metallreste sind ebenfalls enthalten.

Unter Vorgenanntem ist bei RKB B, C, E und F **Verwitterungslehm** bis in Tiefen zwischen 2,0 und 3,0 m vorhanden.

Im Aufschlusstiefsten steht unterschiedlich **verwitterter Mergel- und/oder Schluffstein** aus dem **Keuper** an.

5 Ergebnisse der Rammsondierungen

Aus den Widerstandsdiagrammen (Anzahl der Schläge/10 cm Eindringtiefe = N_{10}) der mittelschweren Rammsonden DPM-10 lassen sich für die **Auffüllungen** stark unterschiedliche, vorwiegend lockere bis lagenweise mitteldichte Lagerungen und damit wechselnde, vorwiegend geringe **Tragfähigkeiten** ableiten.
Hinzuweisen ist auf Lockerzonen mit Rammwiderständen $N_{10} < 5$.

Im Verwitterungslehm bei DPM B liegen bis 1,7 m Tiefe und bei DPM E bis 2,6 m nur geringe/mäßige Rammwiderstände vor, was unsere Bodenprobenansprache weich bis steif bestätigt. Bei Zur Tiefe steigen die Schlagzahlen an bei steifer Konsistenz.

Im Keuper stiegen die Schlagzahlen unter der oberflächennahen Verwitterungszone schnell an. Hohe Spitzenwerte bzw. „Zacken“ im Rammdiagramm deuten auf steinige Lagen hin.

Die Festgesteine sind in der Verwitterungszone unterschiedlich stückig bis lehmig bzw. weisen steife, steife bis halbfeste und halbfeste Konsistenzen auf. Zur Tiefe werden diese kiesig-steinig und sind nicht rammbar.

Der genaue Baugrundaufbau mit Antragung der Bodenklassen nach DIN 18300:2012 und der Bodengruppen nach DIN 18196 kann der Anlage 3 entnommen werden.

6 Grundwasser

Bei den Feldarbeiten im **Mai 2025** wurde **kein Grundwasser** angetroffen. Auffallend ist aber ein relativ hoher Wassergehalt (w_n = 25,5 %) im Verwitterungslehm in Verbindung mit weicher bis steifer Konsistenz.

Nach langanhaltenden Niederschlägen ist mit der Bildung von aufstauendem Sickerwasser zu rechnen. Das Wasser kann sich bei dem teils nur wenig durchlässigen Untergrund temporär bis GOK aufstauen, was temporär zu drückendem Wasser bis GOK führen kann. In gröberen Auffüllungen sickert das Wasser bis zum wenig durchlässigen anstehenden Verwitterungslehm und staut sich erst dort auf.

In der Innenburg hat sich im Jahre 2023 (gemessen in Peilrohren) trotz der ergiebigen Niederschläge im damaligen März kein Sickerwasser bis 3,1/3,7 m unter dem Gelände der inneren Burg vor der Burgmauer aufgestaut. Aus den Beobachtungen mit auslaufendem Sickerwasser aus der Burgmauer nach außen (durch Mineralisationen/Sinter auf den Steinen der Burgmauer belegt) ist aber zu schließen, dass sich temporär stauendes Sickerwasser bilden kann.

Aufgrund von Erfahrungen sollten deshalb unterschiedliche **Bemessungswasserstände**

= ca. umliegende GOK für die Abdichtung und
= ca. 0,3 m über Unterkante der Auffüllungen für Schichtenwasser vor Burgmauer

angesetzt werden.

7 Bodengruppen nach DIN 18196 und bodenmechanische Kennwerte

Durch die manuelle und visuelle Beurteilung des Bohrgutes sowie aufgrund unserer Erfahrungen mit geologisch und bodenmechanisch vergleichbaren Böden und Fels, können den angetroffenen Hauptbodenarten folgende bodenmechanischen Kennwerte und Eigenschaften zugeordnet werden:

Tabelle 2: *Bodenmechanische Kennziffern*

Schicht (Bodenart)	Boden-gruppen DIN 18196	Reibungs-winkel φ'_k	Kohäsion c'_k	Steife-modul $E_{s,k}$	Wichte, erdfeucht γ_k	Wichte u. Wasser γ'_k	Wasserdurch-lässigkeit $k_{f,k}$
		[°]	[kN/m²]	[MN/m²]	[kN/m³]	[kN/m³]	[m/s]
1 (nicht bindige Auffüllungen)	GU/GŪ/SŪ	26,0*-32,0-	0	15*-30-	17-21	9-13	10^{-3} bis 10^{-6}
2 (bindige Auffüllungen)	UM	26,0*-27,5	0*-5	6*-10	18-19	8-9	10^{-6} bis 10^{-8}
3 (Verwitterungs-lehm und stark verwitterter Keuper)	TL/TM/GŪ	27,5*	0*-10	8*-40	19-21	9-11	10^{-6} bis 10^{-8}
4 (felsiger-steini-ger Keuper)	TL/TM/GŪ	35,0**	5*-10	60*-100	21-24	11-14	10^{-5} bis 10^{-8}

(= relevanter Wert für statische Berechnungen zur Gründung)*
*** Ersatzreibungswinkel*

8 Homogenbereiche nach DIN 18300 (Erdarbeiten)

Durch die manuelle und visuelle Beurteilung des Bohrgutes sowie aufgrund unserer Erfahrungen mit geologisch und bodenmechanisch vergleichbarem Boden und Fels können den angetroffenen Boden-/Felsarten Eigenschaften und Kennwerte zugeordnet und die Boden- und Felsschichten in folgende Homogenbereiche eingeteilt werden.

Die einzelnen Homogenbereiche sind den nachfolgenden Tabellen zu entnehmen.

8.1 Homogenbereich nach DIN 18320 (Landschaftsbauarbeiten)

***Tabelle 3**: Eigenschaften und Homogenbereich nach DIN 18320*

Homogenbereich A	
Ortsübliche Bezeichnung	**schwach bindiger und bindig-lehmiger Mutterboden**[1]
Bodengruppen	
Bodengruppe DIN 18196	OU/OH
Bodengruppe DIN 18195	2 bis 6
Massenanteil Steine, Blöcke und große Blöcke (untere-obere Werte in M.-%)	
Steine und Blöcke[2]	0-10
Große Blöcke[2]	0-5
Umweltrelevante Merkmale	
Zuordnung nach EBV / LAGA / DepV	nicht analysiert

[1] Genaue Benennung siehe Bohrprofile
[2] durch Kleinrammbohrungen nicht erfassbar, abgeschätzt aus Erfahrungswerten

8.2 Homogenbereiche nach DIN 18300 (Erdarbeiten)

Tabelle 4: *Eigenschaften und Homogenbereich nach DIN 18300.*

Homogenbereich B		
Ortsübliche Bezeichnung		**aufgefüllte gemischtkörnige, teils lehmig-bindige Böden und Steine, teils mit Humus/Wurzeln/Bauschutt**[1]
Korngrößenverteilung Boden (untere-obere Werte in M.-%)		
Ton		0-15
Schluff		5-60
Sand		5-60
Kies		15-85
Steine und Blöcke[2]		0-30
Große Blöcke[2]		0-5
Eigenschaften / Kennwerte		
Dichte ρ	[g/cm³]	1,7-2,1
Undränierte Scherfestigkeit c_u	[kN/m²]	-
Wassergehalt w_n	[M.-%]	4-25
Plastizitätszahl I_P	[%]	
Plastizität	[-]	
Konsistenzzahl I_c	[-]	-
Konsistenz	[-]	-
Lagerungsdichte I_D	[%]	5-65
Lagerung	[-]	locker, mitteldicht
Organischer Anteil V_{gl}	[M.-%]	0-5
Bodengruppe DIN 18196	[-]	GU/GŪ/SŪ/UM
Umweltrelevante Merkmale		
Zuordnung nach EBV / LAGA / DepV		nicht analysiert

[1] Genaue Benennung siehe Bohrprofile
[2] Durch Kleinrammbohrungen nicht erfassbar, abgeschätzt aus Erfahrungswerten

Tabelle 5: *Eigenschaften und Homogenbereich nach DIN 18300.*

Homogenbereich C		
Ortsübliche Bezeichnung		**Verwitterungslehm und Keuper, vorwiegend lehmig**[1]
Korngrößenverteilung Boden (untere-obere Werte in M.-%)		
Ton		5-30
Schluff		70-85
Sand		25-55
Kies		5-45
Steine und Blöcke[2]		0-30
Große Blöcke[2]		0-10
Eigenschaften / Kennwerte		
Dichte ρ	[g/cm³]	1,9-2,1
Undränierte Scherfestigkeit c_u	[kN/m²]	60 bis 300
Wassergehalt w_n	[M.-%]	5-25
Plastizitätszahl I_P	[%]	4-22
Plastizität	[-]	leicht bis mittel
Konsistenzzahl I_c[3]	[-]	0,50 bis 1,25
Konsistenz[3]	[-]	weich bis steif und steif
Lagerungsdichte I_D	[%]	-
Lagerung	[-]	-
Organischer Anteil V_{gl}	[M.-%]	0-2
Bodengruppe DIN 18196	[-]	TL/TM/GŪ
Umweltrelevante Merkmale		
Zuordnung nach EBV / LAGA / DepV		nicht analysiert

[1] Genaue Benennung siehe Bohrprofile
[2] Durch Kleinrammbohrungen nicht erfassbar, abgeschätzt aus Erfahrungswerten
[3] Bei Wasserzutritt/dynamischer Belastung auch weich bis breiig bzw. I_c = 0,00 bis <0,75

Tabelle 6: *Eigenschaften und Homogenbereich nach DIN 18300 (Fels).*

Homogenbereich D		
Ortsübliche Bezeichnung		**Keuper, steinig-felsig**[1]
Benennung Fels[1]		Sedimentgestein, Wechsellagerung Schluff- und Mergelstein mit Sandstein
Dichte ρ	[g/cm³]	2,1-2,4
Verwitterung, Veränderungen und Veränderlichkeit		Schluff- und Mergelstein an der Oberfläche teils stark bis vollständig verwittert bzw. verlehmt, tiefer nur lagenweise verlehmt, mäßig bis stark veränderlich; Sand- stein angewittert, gering bis nicht veränderlich
Druckfestigkeit des Gesteins	[MPa]	bei vollst. Verwitterung < 1, sonst 1-25, Sandsteine nur angewittert und geringhart bis hart 25-150
Trennflächenrichtung, Trennflächenabstand und Gesteinskörperform[2]		geschichtet, Schluff- und Mergelstein meist laminiert bis dünnschichtig, Sandstein meist dünn- bis dickbankig, flach bis stark geneigt, Klüfte meist stark geneigt bis senkrecht, eng- bis weitständig geklüftet, tafelförmig bis vielflächig
Umweltrelevante Merkmale		
Zuordnung nach EBV / LAGA / DepV		nicht analysiert

[1] Genaue Benennung siehe Bohrprofile
[2] Durch Bohrungen nicht genau erfassbar, abgeschätzt aus Erfahrungswerten

Die Eigenschaften und Kennwerte sind Erfahrungswerte und konnten nicht direkt bestimmt werden, da durch Kleinrammbohrungen der Felshorizont lediglich angebohrt werden kann und im festen Gestein die Bohrungen mit „Stand“ enden. Für genauere Angaben und/oder den direkten tieferen Aufschluss sind Aufschlussbohrungen und/oder Baggerschürfe und ggf. spezielle felsmechanische und/oder geologische Untersuchungen erforderlich.

9 Baugrundbeurteilung und Folgerungen für die Baumaßnahme

9.1 Baugrundbeurteilung, Allgemeines

Die geologischen Verhältnisse sind nur für den Bereich um den jeweiligen Aufschlusspunkt herum repräsentativ. Entsprechend dem Abstand der Bodenaufschlüsse muss eine lineare Interpolation des Schichtenverlaufes zwischen den Bohrpunkten nicht immer exakt mit der Wirklichkeit übereinstimmen.

Die Dicke des Mutterbodens und der Auffüllungen ist wegen der Stauchung in der Rammkernsonde nicht genau erfassbar. Auch sind bei den Kleinrammbohrungen mit geringem Durchmesser gröbere Bestandteile oder eventuell vorhandene Fremdstoffe häufig nicht erkennbar. Deshalb empfehlen wir zusätzlich Baggerschürfe auszuführen, wenn der gewachsene und aufgefüllte Mutterboden und/oder die (vermutlichen) Auffüllungen genauer erkundet werden sollen.

Sollten während der Baumaßnahmen beim Aushub des Bodens Veränderungen des Schichtenverlaufes festgestellt werden, so ist unser Büro zur Festlegung eventueller weiterer Maßnahmen kurzfristig zu benachrichtigen.

Örtlich auf der Baustelle vorhandene Verhältnisse sind maßgebend.

9.2 Baugrundbeurteilung

Die Auffüllungen sind sehr inhomogen und bei Rammwiderständen zwischen N_{10} = 0 bis 4 nicht ausreichend konsolidiert und/oder locker gelagert und nur sehr gering tragfähig.
Z.T. sind humose Beimengungen vorhanden, welche die Tragfähigkeit verringern, sich im Laufe der Zeit zersetzen und dadurch zu Sackungen führen können, deren Verlauf nicht prognostizierbar ist.
In den Auffüllungen wurden auch Bauschuttbeimengungen erkundet, so dass hier grobe Steine/Hindernisse (Bodenklassen 5 bis 7) nicht ausgeschlossen werden können.

Der **Verwitterungslehm** ist bei weicher bis steifer Konsistenz nur gering, im steifen bis halbfesten Zustand mäßig bis gut und der **felsige Keuper mittel bis gut tragfähig.**

Wir haben die Grenze zwischen gering/nicht und mittel/gut tragfähigem Baugrund als „Gt. erf." in den Anlagen 3 dargestellt.

9.3 Erdarbeiten

Unter der Brücke zwischen RKB/DPM E und D ist ein Geländeabtrag vorgesehen. Zwischen den Brücken und Treppen sind Wege geplant. Bei diesen Arbeiten ist folgendes zu beachten:

Für die Erdarbeiten wird darauf hingewiesen, dass die Verwitterungslehme sehr wasserempfindlich sind und nach Niederschlägen ihre Konsistenz hin zu „weich" ändern können. Bei Wasserzutritt/dynamischer Belastung ändern diese Böden bekanntermaßen ihre Konsistenz hin zu „weich-breiig" und erreichen die **Bodenklasse 2 – fließende Bodenarten.**

Witterungsbedingt können die Verhältnisse günstiger oder ungünstiger sein.

Des Weiteren dürfen diese Böden bei schlechter Witterung nicht ungeschützt offen liegen bleiben und insbesondere nicht durch Befahren, Einleitung von Verdichtungsenergien oder Ähnliches dynamisch beansprucht werden, sodass dann kostenaufwändige Zusatzmaßnahmen zur Stabilisierung erforderlich werden können.

Nach den Erkundungsergebnissen ist der Untergrund in die **Frostempfindlichkeitsklasse F3 „sehr frostempfindlich"** einzustufen.

Der Untergrund bzw. das Planum muss gemäß ZTV E-StB 17 ein Verformungsmodul von mind. $\mathbf{E_{v2} \geq 45\ MPa}$ aufweisen.

Dieser Verformungsmodul ist durch Lastplattendruckversuche nachzuweisen und bei den gemischtkörnigen Auffüllungen und dem lehmigen Baugrund auch bei einer Nachverdichtung meist nicht erreichbar. Dann kann ein mind. 40 cm dicker **Bodenaustausch** auf Trennvlies GRK 3 ausgeführt werden.

Als Austauschmaterial ist grobkörniges, kornabgestuftes Brechkorn der Körnung 0/45 mm bis 0/63 mm mit Feinanteilen > 0,063 mm von max. 5 M.-% zu verwenden und auf 100 % der einfachen Proctordichte zu verdichten.

Die Dicke des Bodenaustausches ist im Vorfeld durch Probeverdichtungen (Lastplattendruckversuche) auf bauzeitig angelegten Testfeldern zu bestimmen.

Bei lehmigem Aushubplanum muss der Erdaushub rückschreitend im sogenannten **Auflastverfahren** durchgeführt werden, das heißt, es ist jeweils noch im Auslegerbereich des Baggers der **Schotter** aufzulegen und zu verdichten.

Auf dem verbesserten Erdplanum direkt unter dem Oberbau von Wegen/Verkehrsflächen sind durch Lastplattendruckversuche ein Verformungsmodul $E_{v2} \geq 45$ MPa und ein Verhältniswert $E_{v2}/E_{v1} \leq 2{,}5$ nachzuweisen.

9.4 Gründung

Wie bereits im Kapitel 1 beschrieben, sind an den 6 Untersuchungsstellen folgende Bauwerke/Bauteile geplant:

- Stelle A: Fundament Brücke/Steg von Kernburg (GOK ca. 140,73 m NHN) zur Burgmauer (GOK ca. 139,52 m NHN vor Mauer),
- Stelle B: Aufgang Fundament Treppenanlage zum Westturm,
- Stelle C: Neubau Eingangstor neben Westturm, GOK neu ca. 140,35 m NHN,
- Stelle D: WL Süd Fußgängerbrücke vor Westtor, OK geplant = 140,35 m NHN
- Stelle E: WL Nord Fußgängerbrücke vor Westtor, OK geplant =140,98 m NHN,

- Zwischen Stellen D+E: Mittelstütze Fußgängerbrücke geplanter Geländeabtrag auf ca. 139,9 m NHN,
- Stelle F: Fundament Wendeltreppe/Steg Ausblick Bergfried, GOK ca. 142,98 m NHN

Nach den Erkundungsergebnissen können beim Drehen der bisher geplanten Schraubfundamente aufgrund der hohen Rammwiderstände bei den Rammsondierungen Probleme bzw. Schwierigkeiten nicht ausgeschlossen werden. Aus diesem Grund empfehlen wir Drehproben und anschließend auch Probebelastungen (Druck- und Zugbelastung) vorzusehen. Danach kann die Absetztiefe und die Tragfähigkeiten der Schraubfundamente genau festgelegt werden. Wir können die Tragfähigkeit der Schraubfundamente nicht genau festlegen, da dies stark abhängig von der Einbindetiefe ist. In der Regel können solche Schraubfundamente nur bei ausreichender Einbindung in den Boden mit mind. 50 KN pro Fundament belastet werden.

Wegen des heterogenen und nicht hindernisfreien Baugrundes und zur Vermeidung o.g. Probleme können die neuen Bauwerke/Bauteile nach Abtrag der Auffüllungen und weichen Lehme sowie Ausführung eines Bodenaustausches oder einer Fundamenttieferführung mit Unterbeton in dem steifen bis halbfesten Verwitterungslehm und/oder anstehenden steinig-felsigen Keuper in Tiefen von mind. 1,0 / 2,6 m unter GOK im mittel/gut tragfähigen Baugrund (siehe „Gt. erf.“ in der Anlage 3) gegründet werden.

Die genaue Schichtdicke des Bodenaustausches sollte baubegleitend festgelegt werden. Bei den Bodenaustauschmaßnahmen ist ein 45°iger Druckausbreitungswinkel zu beachten, d.h., Bodenaustauschhöhe = Überstand über die Plattenränder hinaus.

Die Verdichtung sollte gemäß ZTV E-StB 2017 kontrolliert werden.

Bei dem Einbau von Unterbeton reicht ein Einbau in mind. Fundamentbreite aus, d.h. es kann senkrecht geschachtet werden, wenn die Baugruben kurzfristig standsicher sind und der Beton unmittelbar nach dem Schachten eingefüllt wird (Betonwagen muss bereit stehen).

Bei Einhaltung o.g. Forderungen sollten für die statische Bemessung der Gründung der **Bemessungswert** des Sohlwiderstandes und der **charakteristische** Wert der Bettungsziffer von

Sohlwiderstand	$\sigma_{R,d}$ **= 280 kN/m²**
Bettungsziffer	$k_{s,k}$ **= 20 MN/m³**

nicht überschritten werden. Bei den Bemessungswerten sind die Sicherheitsfaktoren zu berücksichtigen (Abminderung). Die zulässige Bodenpressung beträgt somit σ_{zul} **= 200 kN/m².**

Setzungen von ca. 1,0 bis 1,5 cm sind zu erwarten. Die Grundbruchsicherheiten sind gewährleistet.

Falls höhere Spannungen abgetragen werden müssen, sind gesonderte Prüfungen und Setzungsberechnungen erforderlich.

Die Widerlager der Brücke sind zu hinterfüllen. Das Material für die Bauwerkshinterfüllung muss gegenüber dem anstehenden Boden filterstabil sein. Gegebenenfalls ist ein besonderer Filter bzw. ein Geotextil (Filtervlies) einzubauen. Für die Hinterfüllbereiche sind folgende Baustoffe geeignet:

- grobkörnige Bodenarten der Gruppen SW, SI, SE, GW, GI, und GE
- gemischtkörnige Bodenarten der Gruppen GU, GT, SU und ST
- Gemische aus gebrochenem Gestein 0/100 mm mit einem Anteil an Korn unter 0,063 mm von nicht mehr als 15 Gew.-%

Die Hinterfüllung ist in Schüttlagen von höchstens 30 cm - in lockerem Zustand gemessen - einzubringen und mit geeigneten Verdichtungsgeräten zu verdichten. An jeder Stelle der Hinterfüllung muss ein Verdichtungsgrad von $D_{pr} \geq 100$ % der Proctordichte erreicht werden.

Bezüglich der Entwässerung der Hinterfüllung verweisen wir auf die Richtzeichnung WAS 7 der Bundesanstalt für Straßenwesen.

10 Beurteilung der Versickerungsfähigkeit

Bei dem anstehenden Untergrund (Verwitterungslehm und Keuper) handelt es sich um schwach bis sehr schwach wasserdurchlässige Böden, welche wasserstauend wirken und eine Versickerung behindern.

Die gemischtkörnigen Auffüllungen können schichtweise bei lockerer, hohlraumreicher Lagerung stark wasserdurchlässig bis wasserdurchlässig sein.

Lehmige Auffüllungen sind nur schwach bis sehr schwach wasserdurchlässig, wirken wasserstauend und behindern eine Versickerung.

11 Zusammenfassung, Weiteres

In der vorliegenden Bearbeitung haben wir auf der Grundlage der Baugrunderkundungen Vorschläge zur Gründung der Fußgängerbrücke und Treppen/Stege angegeben.

Bei einer Gründung im mind. steifen Verwitterungslehm oder im Keuper ist von einem tragfähigen Baugrund auszugehen.

Lockere Auffüllungen neigen zu Kornumlagerungen und Sackungen. Bei einer Gründung in den Auffüllungen sind Verformungen möglich. Auch bei einer Gründung in gering tragfähigen Lehmen von lediglich weicher bis steifer Konsistenz sind Verformungen möglich. Bei Schraubfundamenten sind Hindernisse und der felsige Untergrund evtl. problematisch.

Deshalb empfehlen wir einen Bodenaustausch oder Unterbeton, wenn der tragfähige Baugrund noch nicht planmäßig erreicht wird.

Damit ist unser Auftrag abgeschlossen.

Für Rückfragen stehen wir jederzeit zur Verfügung.

ERDBAULABOR SCHEMM GMBH – INGENIEURBÜRO

Dipl.-Geol. Linke

Dipl.-Ing. Marjeh