

Becher Johannes
Rentamtsstraße 7
83568 Moosburg

AZ 21-02-12
22.02.2021

Geotechnisches Baugrundgutachten Bauvorhaben: Moosburg, Leinbergerstraße 2

1. Vorgang
2. Morphologie, Geologische Situation, Schichtenfolge
3. Bautechnische Beschreibung der Schichten, Bodenkennwerte
4. Grundwasserverhältnisse
5. Gründung und baubegleitende Maßnahmen

Anlagen:

- 1.1 Lageplan
- 2.1 Geotechnisches Baugrundprofil
- 3.1-2 Bodenmechanische Laborversuche
- 4.1-2 Pfahldiagramme

Unterlagen: Geologische Karte, Tragwerksgutachten Brandl + Eltschig GmbH vom 22.01.2020

1. Vorgang

Herr Becher beauftragte das Büro des Unterzeichners mit der Baugrunderkundung und Erstellung eines ingenieurgeologischen Baugrundgutachtens zur Ermittlung der Setzungsursache und Sanierung der Setzungen für o.g. Bauvorhaben.

Zur Erkundung der Baugrund- und Grundwasserverhältnisse wurden am 17.02.2021 drei Rammkernsondierungen RKS 1-3, Tiefe 5,2 m bis 7,0 m, mit durchgehendem Gewinn von gekernten Bodenproben des Durchmessers 50 mm nach DIN 4021 sowie zwei Rammsondierungen DPH 1-2, Tiefe 5,6 m und 7,6 m, (schwere Rammsonde nach DIN 4094) ausgeführt.

Die Lage der geotechnischen Aufschlüsse ist im Lageplan in der Anlage 1.1 dargestellt. Die angegebenen Höhen wurden von dem Kanaldeckel = 416,22 m ü NN, der im Lageplan dargestellt ist, eingemessen.

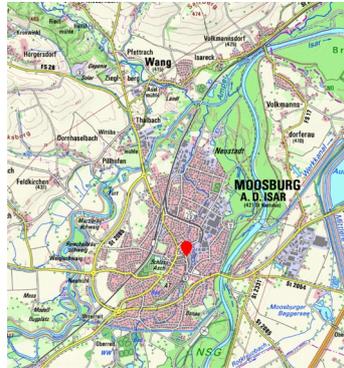
2. Morphologie, Geologische Situation Schichtenfolge

Morphologie

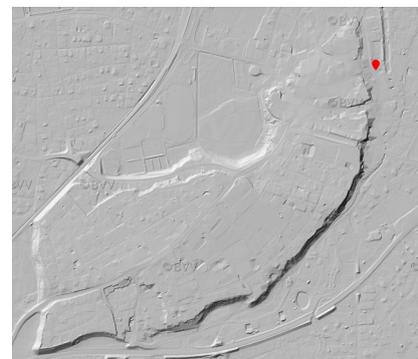
Das Untersuchungsobjekt befindet sich im Zentrum von Moosburg an der Isar und trägt die Anschrift Leinbergerstraße 2. Historische Karten deuten darauf hin, dass sich das Gebäude im Übergang zum ehemaligen Stadtgraben befindet. Ein Graben ist auch heute noch ausgebildet, der rund 25 m östlich vom Gebäude verläuft. Ob es sich dabei um den alten Stadtgraben handelt ist uns nicht bekannt. Aus geographischer Sicht liegt Moosburg im Mündungsdelta der Amper und der Isar. Dieser großflächige Bereich war und ist von etlichen kleinen Gräben und Nebenarmen der Flüsse durchzogen. Unmittelbar westlich vom Grundstück ist eine morphologische Terrasse ausgebildet.



Historische Karte

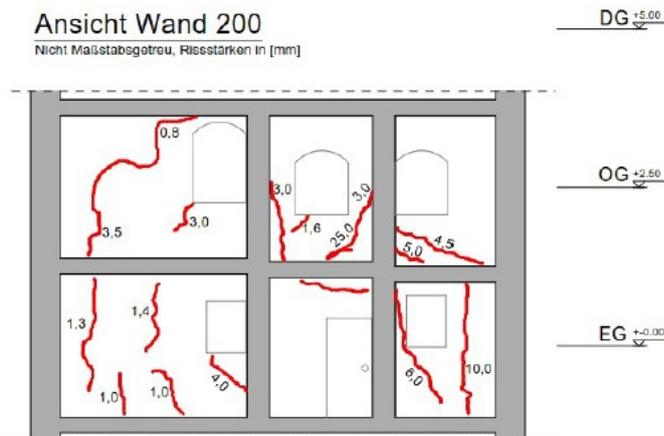


Topographische Karte



Geländemorphologie

Das Bestandsgebäude zeigt vor allem an der Nord- und Ostseite erhebliche Risse, deren Öffnungsweiten zum Teil im cm-Bereich liegen. Unten nachfolgende Abbildungen zeigen die Rissdokumentation des Ingenieurbüros Brandl + Eltschig an der Ostseite des Gebäudes und ein Foto eines großen Risses an der Nordseite.



Rissbild Ostseite (Brandl+Eltschig 2020)



Risse an der Nordseite

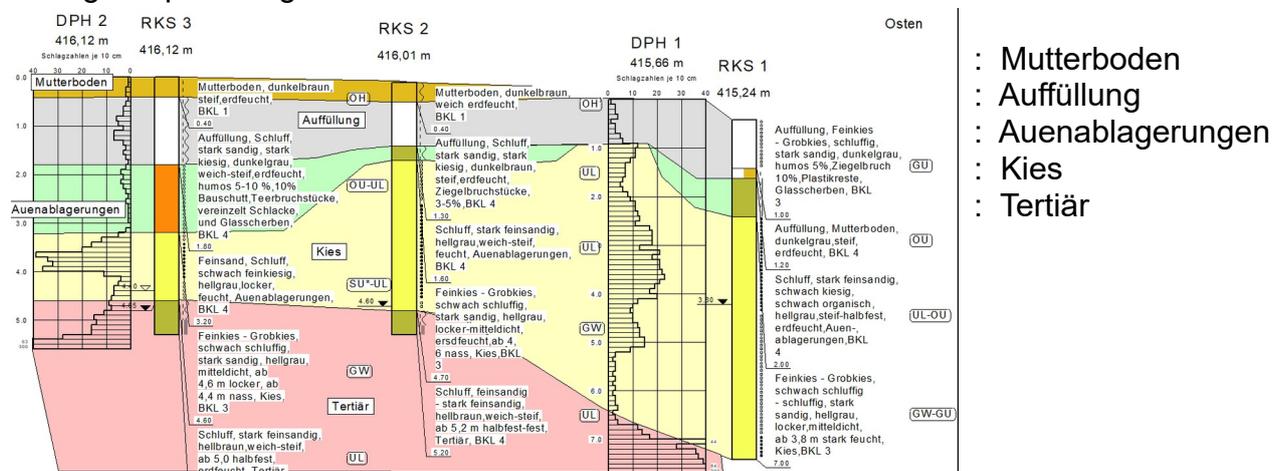
Geologische Situation



Der tiefere Untergrund des Baugeländes besteht aus Ton- und Mergelgestein, die sich im Erdzeitalter das Tertiärs bildeten. Darüber folgen Schmelzwasserschotter, die von der Isar, der Amper und ihren Nebengerinnen nach dem Ende der letzten Eiszeit sedimentiert wurden. Mit nachlassendem Schmelzwasserandrang zogen sich die Flüsse in ihr heutiges Bachbett zurück. Inaktiv gewordene Seitenarme verlandeten und die Auenablagerungen bildeten sich. Im Bereich der westlich angrenzenden Terrasse werden die fluviatilen Ablagerungen von Lösslehmen und Sanden überdeckt. Mit der Bebauung wurde die natürliche Schichtenfolge im gesamten Gelände mit einer Auffüllung überdeckt.

Schichtenfolge

Entsprechend der geologischen Situation wurde in den Sondierungen das folgende Baugrundprofil angetroffen:



Das geologische Normalprofil baut sich von oben nach unten wie folgt auf:

Mutterboden

Der Mutterboden wurde nur an der Nordseite des Gebäudes angetroffen und ist 0,4 m dick.

Auffüllung

Mit der Bebauung wurde die natürliche Schichtenfolge im gesamten Gelände mit einer Auffüllung überdeckt. An der Nordseite des Gebäudes setzt die Auffüllung unter dem Mutterboden in 0,4 m ein. Im Osten steht die Auffüllung ab Geländeoberkante an.

Die Basis der Auffüllung liegt in der Regel zwischen 0,9 m und 1,3 m Tiefe. Nur im Nordwesten erstreckt sich die Auffüllung bis 1,8 m unter Geländeoberkante. Die Schichtdicke der Auffüllung variiert zwischen 0,9 m und 1,4 m.

Unter der Auffüllung folgen größtenteils die Auenablagerungen. Nur im Nordosten liegt unter der Auffüllung der Kies.

Auenablagerungen

Die Auenablagerungen wurden, mit Ausnahme des nordöstlichen Abschnittes im Bereich der Sondierung DPH 1, im gesamten Gelände angetroffen. In den übrigen Bereichen liegt die Oberkante der Auenablagerungen unter der Auffüllung in 1,2 m bis 1,8 m Tiefe.

Die Auenablagerungen wurden in Rinnen abgelagert, die sich unterschiedlich tief in den unterlagernden Kies einschneiden. Im Bereich tiefer eingeschnittener Rinnen, vor allem im Nordwesten wurde die Basis der Auenablagerungen in 3,2 m Tiefe angetroffen. Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass mit den punktuellen Sondierungen der tiefste Punkt der Rinnen nicht erreicht wurde. Im Randbereich der Rinnen steigt die Unterkante der Auenablagerungen auf 2,0 m bis 1,6 m unter Gelände an.

Die erschlossene Schichtdicke der Auenablagerungen beträgt im Bereich der Rinnen bis zu 1,4 m und reduziert sich zur Seite der Rinnen auf 0,3 m.

Unter den Auenablagerungen folgt der Kies.

Kies

Der Oberfläche des Kiesel ist stark strukturiert und gliedert sich in Rücken und Täler. Im Bereich der höher liegenden Rücken setzt der Kies in 0,9 m Tiefe ein. Dort wo sich wie im Nordwesten die Auenablagerungen rinnenförmig in den Kies eingeschnitten haben, fällt die Oberkante des Kiesel auf bis zu 3,2 m Tiefe ab. Die Basis des Kiesel liegt im Westen in 4,6 m Tiefe und fällt in östliche Richtung steil auf 6,5 m unter Geländeoberkante ab. Mit der südöstlichen Sondierung RKS 1 wurde der Kies bis 7 m Tiefe nicht durchstoße. Hier wird sich der Kies nur mehr kurz in die Tiefe fortsetzen. Die Schichtdicke des Kiesel beträgt im Westen 1,4 m und erhöht sich in östliche Richtung auf über 5 m. Der Kies ist vom Tertiär unterlagert.

Tertiär

Das Tertiär bildet den Abschluss der erschlossenen Schichtenfolge und setzt im Westen ab 4,6 m Tiefe ein. In östliche Richtung fällt die Unterkante des Tertiärs auf mehr als 7 m Tiefe ab. Mit den bis zu 7,6 m tiefen Sondierungen wurde das Tertiär nicht durchstoßen. Aus nahe gelegenen Erdwärmebohrungen ist bekannt, dass sich das Tertiär noch etliche 10er Meter in die Tiefe fortsetzen wird.

3. Bautechnische Beschreibung der Schichten, Bodenkennwerte

Zusätzlich zur Schichtansprache, die im geotechnischen Baugrundprofil in der Anlage 2.1 dargestellt ist, werden die bautechnischen Eigenschaften der angetroffenen Bodenschichten wie folgt beurteilt:

Auffüllung

Die Zusammensetzung der dunkelbraunen bis grauen Auffüllung reicht von einem stark sandigen und stark kiesigen Schluff bis hin zu einem stark sandigen und schluffigen Fein- bis Grobkies. Die Auffüllung ist abschnittsweise organische bis stark organisch ausgebildet, enthält bis zu 10 % humose Bestandteile und bis zu 20 cm dicke Abschnitte aus Mutterboden. Als Fremdbestandteile wurden in der Auffüllung bis zu 10 % Bauschutt und Ziegelbruch sowie vereinzelt Schlacke, Glas und Plastik Teerbruchstücke festgestellt.

Kiesige Abschnitte wurden an Hand des Bohrwiderstandes als locker gelagert bewertet. Die Konsistenz der schluffigen Matrix schwankt, der manuellen Prüfung am Bohrgut nach zu urteilen, zwischen einer weichen bis steifen und einer steifen Konsistenz.

Die Schlagzahlen der schweren Rammsondierungen zeigen für die Auffüllung im Mittel $N_{10} = 3$ Schläge pro 10 cm Eindringtiefe an, was einer weichen Konsistenz der schluffigen Matrix entspricht. Kleinräumig steigen die Schlagzahlen auf $N_{10} = 5$ Schläge pro 10 cm Eindringtiefe an, was eine lockere Lagerung der kiesigen Abschnitte anzeigt.

Die Auffüllung ist aufgrund ihrer Zusammensetzung und den humosen Bestandteilen als ein nicht tragfähiger und stark setzungsempfindlicher Baugrund zu bewerten. Eine Versickerung von Niederschlagswasser ist in der Auffüllung aufgrund des hohen Feinkornanteils nicht möglich.

Auf Grund des Gehalts an Schlacke und Teer ist mit einer deutlichen Bodenverunreinigung zu rechnen. Beim Aushub muss das Material zwischengelagert beprobt und entsprechend den Analyseergebnissen entsorgt werden.

Auenablagerung

Die Auenablagerungen zeigen eine graue Färbung und bestehen aus einem schwach kiesigen Gemenge aus Schluff und Feinsand. Abschnittsweise sind die Auenablagerungen organisch ausgebildet. Im Labor wurde der organische Gehalt zwischen 1,2 m und 2,0 m an Hand des Glühverlustes auf 6 % bestimmt (siehe Anlage 3.2).

Eine Korngrößenanalyse des Sandes ergab folgende Zusammensetzung (Anlage 3.1):

| RKS 3 | |
|----------------------|-----------|
| Tiefe [m] | 1,8 – 3,2 |
| Kies | 39% |
| Sand | 41 % |
| Schluff | 20 % |
| Ungleichförmigkeit U | -- |
| Krümmungszahl C | -- |
| Bodengruppe | SU |
| Bodenklasse | 4 |
| Frostsicherheit | F3 |

Nach Angabe des Bohrgeräteführers sind die Auenablagerungen als locker gelagert zu bewerten. Die Konsistenz der schluffigen Matrix der Auenablagerungen schwankt nach der manuellen Prüfung am Bohrgut zwischen eiern weichen bis steife und steifen bis habfesten Konsistenz. Die Schlagzahlen der schweren Rammsondierungen zeigen für die Auenablagerungen zwischen $N_{10} = 1$ und 3 Schlägen pro 10 cm Eindringtiefe an. Die geringen Schlagzahlen sind auf eine sehr geringe Lagerungsdichte in Kombination mit den organischen Bestandteilen zurückzuführen.

Die Auenablagerungen sind aufgrund ihrer Zusammensetzung, der sehr geringen Lagerungsdichte und den organischen Bestandteilen als ein nicht tragfähiger Baugrund zu bewerten. Werden Tragwerklasten direkt oder über einen Teilbodenersatzkörper in die Auenablagerungen abgesetzt ist mit starken Setzungen zu rechnen. Aufgrund der unterschiedlichen Schichtdicke der Auenablagerungen werden die Setzungen nicht gleichmäßig verlaufen, was Differenzsetzungen zur Folge hat. Eine Versickerung von Niederschlagswasser ist in den Auenablagerungen aufgrund des hohen Feinkornanteils nicht möglich.

Kies

Der grau gefärbte Kies baut sich aus einem schwach schluffigen bis schluffigen und stark sandigen Fein- bis Grobkies auf. Eine Korngrößenanalyse des Kieses ergab folgende Zusammensetzung (Anlage 3.1):

| B 1 | |
|-----------------------|-----------------------|
| Tiefe [m] | 2,0 – 7 |
| Kies | 73 % |
| Sand | 23 % |
| Schluff | 4 % |
| Ungleichförmigkeit U | 43,4 |
| Krümmungszahl C | 3,1 |
| Bodengruppe | GW |
| Bodenklasse | 3 |
| Frostsicherheit | F1 |
| Durchlässigkeit k_f | $5 \cdot 10^{-4}$ m/s |

Entsprechend dem Bohrwiderstand wechselt die Lagerungsdichte des Kieses zwischen locker und mitteldicht gelagert.

Die mittleren Schlagzahlen der schweren Rammsondierung betragen für den Kies über dem Grundwasser zwischen $N_{10} = 10 - 20$ Schläge pro 10 cm Eindringtiefe. Einzelne und kleinräumige Schlagzahlen von $N_{10} > 25$ Schläge pro 10 cm Eindringtiefe sind auf Steine zurückzuführen. Im Grundwasser reduzieren sich die mittleren Schlagzahlen auf $N_{10} = 3$ bis 10 Schläge pro 10 cm Eindringtiefe. Die geringen Schlagzahlen in der Sondierung DPH 1 zwischen 5,10 m und 6,50 m werden auf Sandlinsen im Kies zurückgeführt.

Nach DIN 4094 4.2 und 4.9 schwankt die Lagerungsdichte D über dem Grundwasser zwischen $D = 0,36$ und $0,53$. Im Grundwasser reduziert sich die Lagerungsdichte auf $D = 0,31$ bis $0,48$. Nach DIN 1054 Tabelle A 6.3 wechselt die Lagerungsdichte D des Kieses über und im Grundwasser zwischen locker und mitteldicht gelagert.

Die Auswertung der Sieblinie nach Hazen und Beyer ergab eine Durchlässigkeit des Kieses von $k_f = 5 \times 10^{-4}$ m/s. Der Kies ist nach DIN 18130 als stark durchlässig einzustufen und zur Versickerung von Niederschlagswasser geeignet.

Das stützende Korngerüst verleiht dem Kies eine gute Tragfähigkeit, die nur geringe Setzungen erwarten lässt. Der Kies ist als ein tragfähiger Baugrund einzustufen.

Tertiär

Das bräunlich gefärbte Tertiär besteht aus einem stark feinsandigen Schluff. Nach der manuellen Ansprache am Bohrgut zeigt das Tertiär an seiner Oberfläche eine weiche bis steife Konsistenz, die mit zunehmender Tiefe rasch in eine halbfeste bis feste Konsistenz übergeht.

Die Schlagzahlen der schweren Rammsondierung zeigen für die Oberfläche des Tertiärs $N_{10} = 8$ Schläge pro 10 cm Eindringtiefe, was einer steifen Konsistenz entspricht. Darunter erhöhen sich die Schlagzahlen sprunghaft auf $N_{10} > 20$ Schläge pro 10 cm Eindringtiefe, was die halbfeste bis feste Konsistenz des Tertiärs bestätigt. Mit zunehmender Tiefe war aufgrund des großen Bohrwiderstandes ein tieferes Abteufen der Sondierungen nicht mehr möglich. Hier geht das Tertiär in das Festgestein über. Das Tertiär ist als ein tragfähiger und setzungsarmer Baugrund zu beurteilen.

Für die Standsicherheitsberechnungen dürfen die folgenden Bodenkennwerte verwendet werden.

Tabelle 1: charakteristische Bodenkennwerte

| | | Auffüllung | Auen- ablagerungen | Kies | Tertiär |
|----------------------------------|-------------------|--------------|-----------------------|----------------|----------------|
| Wichte γ_k | kN/m ² | 18/8 17/7 | 18/8 17/7 | 21/11 20/10 | 22/12 21/11 |
| Reibungswinkel φ_k | Grad | 22,5 20 | 20 17,5 | 37,5 35 | 40 30 |
| Kohäsion undränniert c_{uk} | kN/m ² | 20 15 | 20 15 | 0 0 | 100 80 |
| Kohäsion dränniert c'_k | kN/m ² | 1 0 | 1 0 | 0 0 | 10 5 |
| Steifezahl E_{sk} | MN/m ² | 4 2 | 3 2 | 100 70 | 150 40 |
| Bodengruppe | DIN 18196 | GU - OU | SU* - OU | GW - GU | UL - Fels |
| Bodenklasse | DIN 18300 | 3 und 4 | 4 | 3 | 4, 6-7 |
| Frostsicherheit | ZTVE | F2 und F3 | F3 | F1 - F2 | F3 |

Obere und untere vorsichtige mittlere Schätzwerte DIN 1054 -2003.

4. Grundwasserverhältnisse

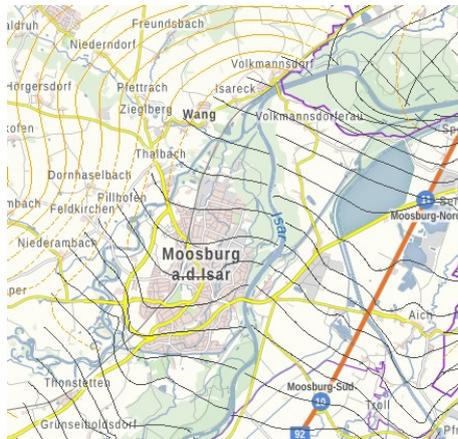
Die Grundwasserbeobachtungen im Bohrloch sind in den Bohrprofilen der Anlage 2.1 dargestellt. Grundwasser lief in den Sondierungen RKS 1 bis RKS 3 zu.

4.1 Grundwasserstände, -fließrichtung, -leiter und Durchlässigkeit

Die Wasserstandsbeobachtungen sind wie folgt zusammenzustellen:

| Bohrung | Grundwasser angebohrt | | Grundwasser bei Bohrende | |
|---------|-----------------------|--------|--------------------------|--------|
| | m unter Gelände | m ü NN | m unter Gelände | m ü NN |
| RKS 1 | 4,40 | 411,72 | 4,65 | 411,47 |
| RKS 2 | 4,60 | 411,41 | 4,60 | 411,41 |
| RKS 3 | 3,80 | 411,44 | 3,80 | 411,44 |

Die Flurabstände schwanken zwischen 3,60 m und 4,65 m unter Geländeoberkante. Der Grundwasserspiegel stellte sich im Mittel auf ca. 411,45 m ü NN ein.



Gemäß der hydrogeologischen Karte Bayerns strömt das Grundwasser in nördlicher Richtung der Isar und Amper zu. Als Grundwasserleiter wirkt der Kies, der sich als großflächig ausgebildeter Aquifer über die gesamte Münchner Schotterebene erstreckt. Die Grundwassersohlschicht steht mit dem Tertiär an. Der Grundwasserleiter wird auf Grund seiner großen Ausdehnung und starken Durchlässigkeit von erheblichen Wassermengen durchströmt.

Die Durchlässigkeit des Kieses wurde an Hand der Korngrößenerteilung auf $k_f = 5 \times 10^{-4}$ m/s bestimmt.

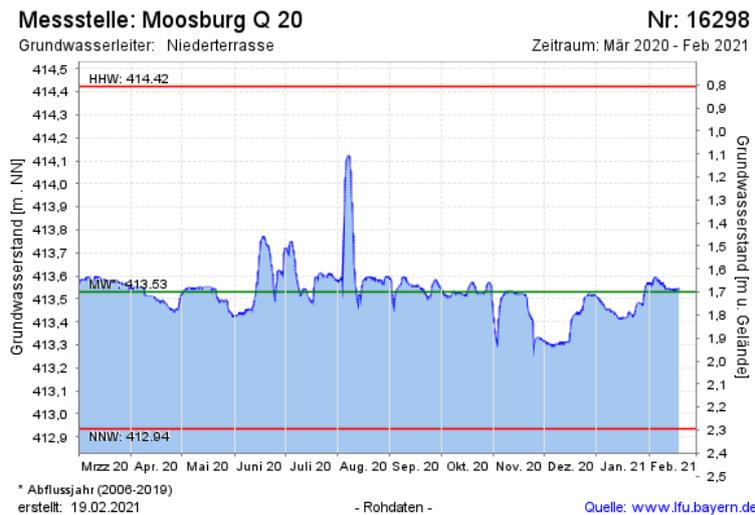
Der Kies ist nach DIN 18130 als stark durchlässig einzustufen und ist zur Versickerung von Niederschlagswasser geeignet.

4.2 Überschwemmungsgebiet

Gemäß dem Informationsdienst überschwemmungsgefährdete Gebiete des bayerischen Landesamtes für Umwelt, ist das Baugelände bei weder bei einem 100-jährigen Hochwasser HQ₁₀₀ noch bei einem extremen Hochwasserereignis HQ-extrem überflutungsgefährdet.

4.3 Bemessungswasserstand

Jahreszeitlich bedingt handelt es sich um einen mittleren Grundwasserstand. Der Vergleich mit Grundwasseraufzeichnungen aus einem kontinuierlich ausgewerteten Grundwasserpegel, der im selben Grundwasserleiter liegt, ergab, dass aufgrund von ergiebigen Regenfällen in Verbindung mit der Schneeschmelze der Grundwasserspiegel um 0,9 m ansteigen kann.



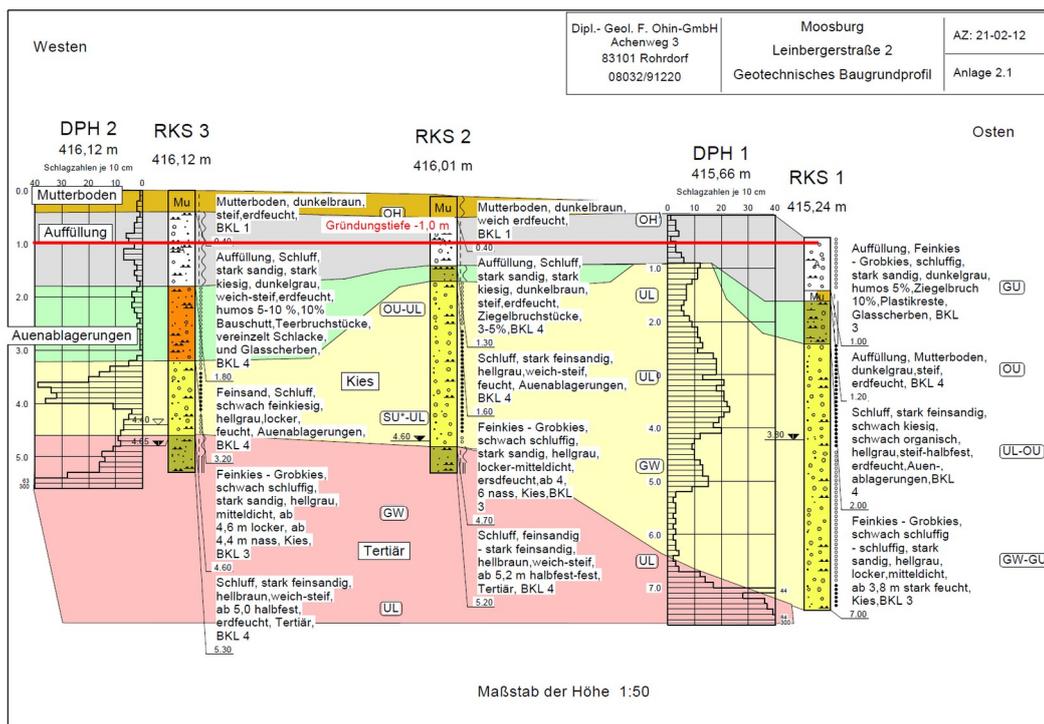
Der höchste zu erwartende Grundwasserstand ist auf HHW 412,60 m ü NN anzusetzen. Der mittlere höchste Grundwasserstand wird auf MHW = 412,00 m ü NN abgeschätzt.

Nach DIN 18533 ist bei Böden mit einer Durchlässigkeit $k_f < 1 \times 10^{-4}$ m/s mit einem zeitweisen Aufstau von Sickerwasser in der Arbeitsraumverfüllung zur Geländeoberkante zu rechnen.

5. Setzungsursache und Sanierung der Setzungen

5.1 Gründungstechnische Baugrundbeurteilung

der tragfähige Baugrund steht in Form des Kiesel zwischen 1,0 m und 3,20 m Tiefe im gesamten Gelände an. Das Tertiär ist als ein tragfähiger Baugrund zu bewerten. Die Auffüllung und die Auenablagerungen sind als nicht tragfähig einzustufen.



5.2 Ursache der Setzungen

Laut dem vorliegenden Untersuchungsbericht von Barndl und Eltschig GmbH gründen die Außenfundamente in 1,0 m Tiefe. Die Gründung liegt in den nicht tragfähigen Auffüllung und oberhalb der nicht tragfähigen Auenablagerungen.

Die Ursache der Setzung liegt in der Gründung auf der Auffüllung und den Auenablagerungen. Durch die ungleichmäßige Verteilung der rinnenförmig ausgebildeten Auenablagerungen und der zum Teil hoch liegenden Kiesschicht kommt es zu starken Differenzsetzungen, die letztendlich die Risse entstehen lassen.

5.3 Sanierung der Gründung.

Es sollen drei Sanierungsoptionen untersucht werden.

- a) Unterfangung per Hand
- b) Mikropfahlgründung
- c) Hochdruckinjektion

Unterfangung mit per Hand

Eine Unterfangung nach DIN 4123 sehen wir nicht als zielführend an, da die Unterfangungshöhe zum Teil bis 2,0 m beträgt, tiefere Unterfangungsabschnitte werden vermutet. Was eine in die Tiefe gestaffelte Unterfangung notwendig werden lässt.

Bei der Unterfangung in herkömmlicher Art und Weise wird das Fundament unterhöhlt und hängt zum Teil in der Luft. Das Mauerwerk zeigt keinen einheitlichen Verband mehr, so dass die Gefahr besteht, dass das Mauerwerk in die Unterfangungsgrube stürzt.

Eine Unterfangung nach DIN 4123 lehnen wir ab.

Mikropfahlgründung

Bei der Mikropfahlgründung wird im Gebäude und auch außerhalb des Gebäudes Mikropfähle abgeteuft, die in den tragfähigen Untergrund in Form des Tertiärs einbinden. Auf den Mikropfählen wird eine Bodenplatte gegründet, die zahnartig in die bestehende Fundamente einbindet oder auch als Balken durch die Fundamente mit Außen- und Innenpfahl die Gründung stützt.

Vorteil ist, dass die Pfahllängen an die unterschiedlichen Tiefen der tragfähigen Schicht angepasst werden können. Es wird empfohlen die Mikropfähle bis in das Tertiär auszuführen.

Weiterhin steht mit der Bodenplatte eine saubere und tragfähige Lösung im gesamten Erdgeschoß an.

Ob der Kriechkeller, dessen Sanierung mit dem Gewölbe einer besondere Planung und besonderen Aufwand bedarf, erhalten werden soll, ist mit dem Bauherrn zu diskutieren. Eine Alternative wäre es den Kriechkeller zu verfüllen, z.B. mit Sand einschlämmen und durch den Keller die Pfähle setzen.

In den Anlagen 4.1-2 sind die Pfahldiagramme entsprechend EC 7 EA Pfähle für verpresste Mikropfähle dargestellt.

Es wird bei der Berechnung von folgenden Vorgaben ausgegangen :

B-SP ständige Bemessungssituation (Lastfall 1)

Grenzzustand GZ 1 B

| | | |
|--|------------|--------|
| Teilsicherheitsbeiwert Pfahlwiderstand | γ_P | = 1,4 |
| Teilsicherheitsbeiwert ständige Einwirkungen allgemein | γ_G | = 1,35 |
| Ungünstige veränderliche Einwirkungen | γ_Q | = 1,5 |
| Verhältnis von veränderlichen / ständigen Einwirkungen | | = 0,5 |

Für einen 7,0 m langen verpressten Mikropfahl mit dem Durchmesser 0,20 m, der 3,50 Meter in das Tertiär eindringt, kann eine zulässige Belastung von

Anlage 4.1

$$\begin{aligned} R_{ek} = V_{zul} &= \mathbf{0,349\ MN} \text{ bei einer Setzung von } 0,43 \text{ cm} \\ R_d &= \mathbf{0,497\ MN} \text{ bei einer Setzung von } 0,43 \text{ cm} \end{aligned}$$

angesetzt werden.

In Anlage 4.2 wurde der selbe Pfahl mit einer höheren Schichtdicke des Kiesel berechnet.

Für einen 7,0 m langen verpressten Mikropfahl mit dem Durchmesser 0,20 m, der auf dem Tertiär aufsteht kann eine zulässige Belastung von

Anlage 4.2

$$\begin{aligned} R_{ek} = V_{zul} &= \mathbf{0,305\ MN} \text{ bei einer Setzung von } 0,37 \text{ cm} \\ R_d &= \mathbf{0,434\ MN} \text{ bei einer Setzung von } 0,43 \text{ cm} \end{aligned}$$

angesetzt werden.

Wird der Pfahl 1,0 m länger und bindet in das Tertiär ein, erhöhen sich die Werte deutlich.

$$\begin{aligned} R_{ek} = V_{zul} &= \mathbf{0,385\ MN} \text{ bei einer Setzung von } 0,44 \text{ cm} \\ R_d &= \mathbf{0,549\ MN} \text{ bei einer Setzung von } 0,44 \text{ cm} \end{aligned}$$

Daher wird empfohlen auch bei höheren Schichtdicken des Kiesel den Pfahl im Tertiär einzubinden, was einer einheitlichen Gründung entspricht.

Das horizontale Bettungsmodul kann nach DIN 4014 mit $k_s = E_s/D$ angesetzt werden. Für einen Pfahl mit dem Durchmesser 0,20 m können folgende horizontale Bettungsmodul angesetzt werden.

| Boden | k_s |
|------------------|-----------------------|
| Auffüllung | 10 MN/m ³ |
| Auenablagerungen | 10 MN/m ³ |
| Kies | 300 MN/m ³ |
| Tertiär | 200 MN/m ³ |

Hochdruckinjektion

Zur Sanierung von Setzungen wird in der Regel das URETEK Verfahren verwendet. Dabei wird in den setzungsempfindlichen Boden ein zwei Komponenten Schaum eingebracht, der sich ausdehnt und bei dem es zu einer Hebung kommt. Auf Grund der stark unterschiedlichen Ausbildung und Vorkommen des setzungsempfindlichen Auelehms und der Auffüllung ist kein einheitlicher Horizont vorhanden, der verbessert werden kann. Die Injektionen werden blind ausgeführt. Daher halten wir das Verfahren für dieses Projekt als nicht oder nur bedingt geeignet.

5.3 Grundwasserschutz und Auftriebssicherheit

Entsprechend der Ausführung im Abschnitt 4 wurde in den Sondierungen Grundwasser in 4,60 m Tiefe beobachtet .

Ein Grundwasserspiegel, der sich im Bereich der Bodenplatte liegt wird sich nicht einstellen. Das Gebäude steht über dem Grundwasser, jedoch wird sich Regenwasser in der Arbeitsraumverfüllung ansammeln. Der Auenlehm ist nahezu undurchlässig und das Niederschlagswasser kann nicht versickern. Es wird vorgeschlagen, die Bodenplatte aus wasserdichten Beton herzustellen.

5.5 Aushubklassen

Beim Baugrubenaushub ist nach DIN 18 300 mit den folgenden Bodenklassen und Auflockerungsfaktoren zu rechnen:

| Böden | Bodenklasse | Auflockerung |
|------------------|-------------|--------------|
| Auffüllung | 4 | 10 % |
| Auenablagerungen | 4 | 15 % |
| Kies | 3 | 10 % |
| Tertiär | 4 und 6 | 20 % |

5.6 Homogenbereiche nach DIN 18300 2015

Die Böden sind in folgende Homogenbereiche zusammenzufassen:

| | Mutterboden | Auffüllung | Auenablagerungen | Kies | Tertiär |
|---|-------------|------------------|------------------|------------------|-----------------|
| Homogenbereich | O1 | B1 | B2 | B3 | B4 |
| Korngröße | Schluff | Schluff und Kies | Schluff | Sand | Schluff |
| Massenanteil Steine und Blöcke | 0 % | 0 % | 0 % | 0 % | 0 % |
| Dichte in kN/m ³ | 15 | 17-18 | 17-18 | 20-21 | 22-24 |
| undrainierte Scherfestigkeit in kN/m ² | 20 | 15-20 | 15-20 | 0 | 50-40 |
| Wassergehalt | erdfeucht | erdfeucht | erdfeucht | erdfeucht – nass | trocken |
| Plastizitätszahl | 10-15 | 10-15 | 10-15- | - | 10-20 |
| Konsistenz | weich | weich | weich | - | halbfest - fest |
| Lagerungsdichte | - | locker | - | mitteldicht | - |
| Organischer Anteil | 15 % | 5 % | 2% | 0 | 0 % |
| Bodengruppe | OH | UL, GU, OU | UL-OU | GW - GU | UL |

5.6 Verkehrsflächen und Hofbefestigungen

Gemäß den Richtlinien der ZTVE - StB 09 (zusätzliche Vertragsbedingungen und Richtlinien für Erdarbeiten im Straßenbau) muss der Untergrund Mindestanforderungen bezüglich des Verformungsmoduls ($EV_2 > 45 \text{ MN/m}^2$) genügen. In der Auffüllung werden die Anforderungen an den oben genannten EV_2 - Wert nicht erreicht werden.

Die Straßen und Parkplätze sind daher auf einen zusätzlichen Bodenersatzkörper aus Kiessand ($d > 0,30 \text{ m}$) zu gründen. Dazu ist der Mutterboden abzutragen. Auf der Auffüllung ist ein Geotextil der Robustheitsklasse GRK 4 anzuordnen. Das Fließ verhindert, dass sich der Kies in den schluffigen Untergrund drückt.

Der Bodenersatzkörper besteht aus Kiessand mit max. 5 % Schluff, min 25 % Sand und einem Größtkorn von 100 mm. Er ist lagenweise $d < 30 \text{ cm}$ einzubauen und pro Lage auf 100 % der einfachen Proctordichte zu verdichten.

Über dem Bodenersatzkörper folgt der Regelaufbau aus Frostschutzkies.

5.7 Versickerung von Niederschlagswasser

Zur Versickerung eignet sich die Rohrrigolenversickerung. Die Auenablagerungen sind mit der Versickerungsanlage zu durchstoßen. Die Rohrrigolenversickerung muss mindestens 1,0 m in den Kies einbinden.

Zur Bessung der Versickerungsanlage kann für den Kies eine Bemessungsdurchlässigkeit von $k_f = 2 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$ angesetzt werden.

Der mittlere höchste Grundwasserstand wird auf MHW = 412,00 m ü NN abgeschätzt.

Dipl.- Geol. F. Ohin