

Bericht zu den geologischen und baugrundtechnischen Gegebenheiten

Berichts-Nr. G6407

Bauvorhaben:	Bebauungsplan Nr. 601.1 - Brachtweg - 58840 Plettenberg
Örtlichkeit:	Gemarkung Plettenberg Flur 10 und 11
Bauherr:	Stadt Plettenberg Grünestraße 12 58840 Plettenberg

Olpe, 20.11.2007

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Allgemeine Situation	2
2. Generelle Geologische Situation	4
3. Durchgeführte Untersuchungen	4
4. Beschreibung und Auswertung der Geländebefunde	6
4.1 Geländebefunde der Rammsondierungen und Kleinrammbohrungen	6
4.2 Geländebefunde der felstektonischen Geländeaufnahmen	9
5. Untersuchungen im Erdbaulabor	11
6. Standsicherheitsberechnung maßgebender Böschungsprofile	13
7. Bautechnische Bewertung und Gründungsempfehlung	17

Anlagenverzeichnis

- Anlage 1: Regionaler Lageplan (Maßstab 1:25.000)
- Anlage 2a: Lage der Sondierpunkte und Profilschnitte (Maßstab 1:500)
- Anlage 2b: Lage der Sondierpunkte und Profilschnitte (Maßstab 1:500)
- Anlage 2c: Lage der Stationen und Planschnitte (Maßstab 1:750)
- Anlage 3ff: Geologische Profilschnitte A-A' bis C-C' im (Maßstab 1:100, tlw. verkleinert)
- Anlage 4: Planschnitte mit geologischen Kenndaten
- Anlage 5: Standsicherheitsberechnungen
- Anlage 6: Geologische Kenndaten entlang des Brachtwegs
- Anlage 7: Kluffrosendarstellung
- Anlage 8: Bodenmechanische Laborversuche
- Anlage 9: Kleinrammbohrungen, Einzelprofil Darstellungen und Schichtenverzeichnisse
- Anlage 10: Rammogramme und Rammprotokolle der Mittelschweren
Rammsondierungen
- Anlage 11: Steifemodulberechnungen

1. Allgemeine Situation

Der Unterzeichner wurde vom Bauherrn mit den Baugrunduntersuchungen in der genannten Örtlichkeit beauftragt (siehe Anlage 1 und 2a-c).

Die Stadt Plettenberg plant für den Bereich Brachtweg in Plettenberg neue Zufahrtsstraßen, sowie Verbreiterungen des vorhandenen Brachtwegs in Richtung Krankenhaus. Die neue Zufahrt zum Brachtweg soll über den jetzigen Hohlweg von der Goethestraße aus erfolgen. Auf Höhe der Theodor Körner Straße schwenkt die neue Anbindung nach rechts in Richtung des bestehenden Brachtwegs. Des Weiteren erfolgt eine Verlängerung der neuen Zufahrt in Richtung Schwarzenbergstraße, die hier in einem Wendehammer endet. Außerdem wird eine Verbindung zu den Häusern 7 bis 14 des Brachtwegs geschaffen, dessen Zufahrt als Privatweg derzeit in einer Sackgasse endet.

Folgende Unterlagen wurden dem Unterzeichner seitens der Stadt Plettenberg übergeben:

- Bebauungsplan Nr. 601.1 – Brachtweg – (Entwurf 5/07), Maßstab 1:500
- Lageplan (unmaßstäblich) mit Verzeichnung der betroffenen Grundstückseigentümer
- Übersichtslageplan, Maßstab 1:2.500
- Geländeschnitte mit der geplanten Profilierung im Maßstab 1:200

Die beauftragten Baugrunduntersuchungen haben zum Gegenstand, die Tragfähigkeit des Untergrundes für die geplanten Straßen zu erkunden, sowie Aussagen über die Standsicherheit der betroffenen Böschungen im Bereich des Brachtwegs zu treffen. Die für die Fragestellung erforderlichen Geländearbeiten wurden im Zeitraum vom 19.06.07 bis zum 15.10.2007 ausgeführt.

Der Bericht wird hiermit eingereicht.

2. Generelle Geologische Situation

Die Geologische Karte Blatt Plettenberg, herausgegeben vom Geologischen Landesamt Nordrhein-Westfalen im Maßstab 1:25.000 in 1969 (bearbeitet durch W. Ziegler), weist im Bereich des Bebauungsplans „Brachtweg“ verschiedene Festgesteine auf, die durch Südwest-Nordost streichende Störungszonen voneinander getrennt sind. Die ältesten Gesteine des Untersuchungsgebietes sind die Tonschiefer des Unteren Tonschiefer-Horizonts, die der Oberen Llanvirn-Stufe des Ordoviziums entstammen. Die Gesteine bestehen aus milden Tonschiefern, die im unteren Teil in gelb verwitternde Tonschiefer (Gelbschiefer) übergehen. Charakteristisch für die Tonschiefer ist eine sehr tiefgründige Verwitterung.

Nach Nordwesten schließen sich die Gesteine der Hüninghäuser Schichten an, die bereits zur Gedinne-Stufe des Unterdevons gehören. Diese Gesteine bestehen aus fossilreichen, oft karbonatischen Tonschiefern, Mergel- und Sandsteinen. Weiter Richtung Nordwesten finden sich die Gesteine der Remscheider Schichten. Sie gehören zur Ems-Stufe des Unterdevons und bestehen aus grauen, teils grünen milden Schiefern, die gelegentlich gebändert und geflasert sind.

Laut geologischer Karte fallen die Schichten mit 65° bis 85° nach Südosten hin ein. Exakte Abgrenzungen zwischen den genannten Festgesteinen können vor Ort nicht getroffen werden.

Überdeckt werden die devonischen, bzw. ordovizischen Festgesteine durch quartäre Ablagerungen aus Hanglehmen, bzw. Hangschutt und teilweise anthropogene Anschüttungen.

3. Durchgeführte Untersuchungen

Zur Erkundung des Bodenaufbaus wurden insgesamt 30 „Mittelschwere Rammsondierungen“ (DPM1-30) und 4 Kleinrammbohrungen abgeteuft (siehe Anlagen 9 und 10).

Je Dezimeter Eindringtiefe wurde die Schlagzahl der Rammsondierung notiert und graphisch und tabellarisch aufgetragen (s. Anlage 4ff). Die Auswertung der Sondierergebnisse erfolgte nach DIN 4094 und *H. Zweck 1969* (Anlage 7).

Bei der „Mittelschweren Rammsondierung“ wird die Schlagzahl (n) des Fallgewichts von 30 kg je Dezimeter Eindringtiefe der Sondenspitze mit $\varnothing 10,0 \text{ cm}^2$ aufgezeichnet. Die jeweiligen Rammdiagramme und Rammprotokolle sind der Anlage 10 dieses Berichts zu entnehmen.

Zur Eichung der beprobungslosen Rammsondierungen mit den tatsächlichen lithologischen Gegebenheiten wurde 4 Kleinrammbohrungen (KRB 1 bis 4) abgeteuft. Die lithologische Aufnahme der Bohrungen erfolgte durch einen Dipl.-Geologen vor Ort und findet Eingang in den Einzelprofildarstellungen und den Schichtenverzeichnissen der Anlage 9.

Nach dem Ziehen des Sondiergestänges konnte, soweit die Sondierlöcher nicht unmittelbar zufließen, der Grundwasserstand ausgelotet werden.

Die einzelnen Untersuchungspunkte wurden lagemäßig (Messband) und höhenmäßig (Nivellier) festgehalten. Als Bezugshöhe dienten dabei die Oberkanten von Kanaldeckeln in der Schwarzenbergstraße (240,97 m ü. NN), im Brachtweg (261,04 m ü. NN) und in der Theodor-Körner-Straße (247,51 m ü. NN).

Entlang des Brachtwegs (Hohlweg) in Richtung Krankenhaus wurde eine felstektonische Geländeaufnahme zur Feststellung des Auflockerungsgrades durchgeführt. Ergänzend dazu wurde auch die Felsabfolge im Bunkerstollen, der zwischen der projektierten Kilometrierung 0+25 m bis 0+52 m gelegen ist, gefügekundlich untersucht.

Mit Hilfe der Ergebnisse aus den Geländeuntersuchungen wurden für die maßgebenden Profilschnitte unter Verwendung der projektierten Böschungseigungen Standsicherheitsuntersuchungen nach DIN 4084 durchgeführt. Die Ergebnisse sind den Anlagen 5ff beigefügt und werden im Kapitel 6 dieses Berichtes diskutiert.

4. Beschreibung und Auswertung der Geländebefunde

4.1 Geländebefunde der Rammsondierungen und Kleinrammbohrungen

Für den Überblick der geologischen Verhältnisse am Standort wird auf die Profilschnitte der Anlage 3 verwiesen. Zur Verdeutlichung der Auf- und Abtragsbereiche wurde der Verlauf der geplanten Straße in die Profilschnitte eingefügt.

Profilschnitt A-A' (Anlage 3):

Der Schnitt A-A' verläuft entlang der geplanten Verbindungsstraße zwischen Brachtweg (Station 0+43,5) und dem Wendeplatz Richtung Schwarzenbergstraße (Station 0+317). Er wird durch die Sondierungen DPM 9, DPM 8, DPM 7, DPM 6, DPM 5, DPM 4, DPM 3, DPM 2, DPM 1, DPM 10, DPM 11 und DPM 12 markiert (siehe Anlage 2a).

Die generelle lithologische Abfolge im Bereich des Profilschnitts A-A' beginnt mit einer humosen Oberbodenauflage mit durchschnittlichen Mächtigkeiten von 0,30 m. Während in den westlichen Bereichen zwischen den Sondierungen DPM9 (0+317) und DPM3 (0+230) die Hangschuttfolgen bis in den Grenzbereich zum humosen Oberboden ausgebildet sind, beginnt im östlichen Profilabschnitt zwischen den Sondierungen DPM3 (0+230) bis DPM11 (0+28) unterhalb der humosen Oberbodenabfolge ein Hanglehm von weicher Konsistenz. Diese Hanglehme erstrecken sich im Wesentlichen bis in Tiefen zwischen 2,0 m und 3,80 m unter Geländeoberkante (GOK). Im Liegenden der Hanglehme schließen sich Hangschuttfolgen von mitteldichter bis dichter Lagerung an. In dem östlichen Abschnitt des Geologischen Profils A-A' stellt sich eine deutlich höher liegende Felsoberfläche dar. Diese kommt bei einer minimalen Lockergesteinsüberdeckung von 5,5 m auf Höhe der DPM1 (Anlage 10.1) hier in einem Niveau von ca. 250,0 m ü. NN zu liegen. Ausgehend von der DPM1 taucht die Felsoberfläche buckelartig in Richtung DPM4 (0+241,7) ab. Die kompakte angewitterte Felsabfolge setzt hier ab einem Niveau von ca. 239,5 m ü. NN ein. Stellenweise kann sich zwischen dem dicht gelagerten Hangschutt und den stark verwitterten Festgesteinen noch eine Lage aus Verwitterungslehm von steifer Konsistenz einschalten. Danach folgt der Übergang zu den devonischen bzw. ordovizischen Festgesteinen, die durch wechselnd mächtige Lagen aus stark verwittertem Festgestein überlagert werden. Die stark verwitterten Festgesteine weisen Mächtigkeiten zwischen 0,40 m und 3,50 m auf.

Im Bereich des geplanten Wendehammers ist zwischen den Sondierungen DPM 9 (0+316,9), DPM 8 (0+307,4) und DPM 7 (0+292,1) auf Höhe der Gründungssohle der geplanten Straße mit Hanglehmen von weicher Konsistenz zu rechnen. Im weiteren Verlauf der geplanten Straße steht auf Höhe des projektierten Erdplanums überwiegend mitteldicht gelagerter Hangschutt an. Zwischen den Sondierungen DPM 3 (0+230) und DPM 10 (0+09) muss mit nicht tragfähigen Bodenarten auf Höhe des geplanten Erdplanums gerechnet werden. Zwischen den Sondierungen DPM 3 bis DPM 2 treten Hanglehme von steifer Konsistenz auf, die jedoch, abhängig vom Wassergehalt, in Hanglehme von weicher Konsistenz übergehen können und dann ihre Tragfähigkeit verlieren. Zwischen den Sondierungen DPM 2, DPM 1 und DPM 10 stehen vor allem weiche Hanglehme an, die teilweise auch breiige Konsistenzen aufweisen können. Diese nicht tragfähigen Bodenarten erstrecken sich im Bereich der Sondierung DPM 1 bis in Tiefen von ca. 2,50 m unter das Niveau der geplanten Straße. Zwischen den Sondierungen DPM 10 und DPM 11 beginnt der Wechsel zwischen Abtrags- und Auftragsbereich. Bei Sondierung DPM 11 stehen breiige bis weiche Hanglehme an, die sich bis in eine Tiefe von ca. 1,20 m unter GOK erstrecken. Darunter folgt Hanglehm von steifer Konsistenz, bei dem auch hier die oben beschriebenen Konsistenzwechsel eintreten können. Die Unterkante der nicht tragfähigen Bodenarten kann bis ca. 2,70 m unter geplantes Straßenniveau reichen. Im Bereich um Sondierung DPM 12 zeigt sich ein Hanglehm von breiiger bis weicher Konsistenz, der sich bis in eine Tiefe von ca. 1,00 m unter GOK erstreckt.

Profilschnitt B-B' (Anlage 3):

Der Schnitt B-B' verläuft von Nord nach Süd auf Höhe des geplanten Wendeplatzes und wird durch die Sondierungen DPM 22, DPM 23 und DPM 8 markiert.

Hier folgt unterhalb einer geringmächtigen humosen Oberbodenauflage mitteldicht gelagerter Hangschutt bis in Tiefen zwischen 3,10 m und 6,10 m unter GOK. Zum Tal hin schaltet sich im Bereich der Sondierung DPM 8 in einer Tiefe zwischen 1,00 m und 1,90 m unter GOK eine Lage von weichen und steifen Hanglehmen ein. Unterhalb der mitteldicht gelagerten Hangschuttabfolge folgt in der DPM 8 zunächst eine Schicht aus dicht gelagertem Hangschutt und dann eine Lage aus Verwitterungshleimen von steifer Konsistenz ein. Erst ab Tiefen von 7,0 m unter Geländeoberkante stehen kompakte Festgesteinsabfolgen an. Den Übergang zu den Festgesteinen bildet hier eine geringmächtige Lage aus stark verwittertem Fels. Die Oberkante des Festgesteins fällt im Profilschnitt B-B' von 3,40 m (bergseitig) auf 7,50 m (talseitig) bezogen auf Geländeoberkante ab. Während im oberen Profilabschnitt die Neigung

der Felsoberfläche der Geländeoberfläche folgt, ist im unteren Profilabschnitt eine deutliche Versteilung des Neigungswinkels festzustellen. Gleichzeitig steigt die Mächtigkeit der Lockergesteinsüberdeckung um das Doppelte, so dass morphologisch diese Änderung nicht in Erscheinung tritt.

Im südlichen Teil des geplanten Wendeplatzes in etwa auf Höhe der Sondierung DPM 8 liegt die Grenze zwischen Auf- und Abtragsbereich. Zum Hang hin liegt das geplante Erdplanum im Bereich der mitteldicht gelagerten Hangschuttfolgen, zum Tal hin muss im Bereich der festgestellten Hanglehmlinse von weicher Konsistenz ein Bodenaustausch vorgesehen werden. Die Standsicherheit der geplanten bergseitigen Böschungsprofilierung im Wendehammerbereich wird im Kapitel 6 dieses Berichtes behandelt.

Profilschnitt C-C' (Anlage 3):

Der Schnitt C-C' verläuft im Bereich der neuen Straßenführung im Bereich des Hohlweges, der die Goethestraße mit dem Brachtweg verbindet und in deren nordwestlichen Verlängerung auf den Profilschnitt A-A' zu. Der Profilschnitt endet oberhalb der Theodor Körner Straße und wird durch die Sondierungen DPM 25, DPM 26 (0+145), DPM 27 (0+132), DPM 28 (0+118), DPM 29 (0+99), DPM 17 (0+85), DPM 18 (0+70), DPM 19 (0+56), DPM 20 (0+51), DPM 14 (0+40) und DPM 13 (0+33) markiert.

Die Sondierungen DPM 25 bis 28 liegen im Auftragsbereich der neuen Straße. Hier stehen im Bereich der geplanten Gründung nicht tragfähige Bodenarten in Form von weichen Hanglehmen an, die sich bis in Tiefen zwischen 0,70 m und 1,60 m unter GOK erstrecken. Im Abtragsbereich um Sondierung DPM 29 befinden sich Hanglehme von steifer Konsistenz. Die Ansatzpunkte für die Sondierungen DPM 17, DPM 18 und DPM 19 liegen im Böschungsbereich zur Zufahrt der Theodor-Körner-Straße. Bei Sondierung DPM 17 finden sich bis in eine Tiefe von ca. 1,20 m unter GOK locker gelagerte Anschüttungen. Auf Höhe der Sondierung DPM 18 wurde bis in eine Tiefe von ca. 0,50 m unter GOK eine mitteldicht gelagerte Anschüttung festgestellt, die wiederum von mitteldicht gelagerten Hangschuttfolgen unterlagert wird. Bei Sondierpunkt DPM 19 schließt sich an eine bis ca. 0,70 m unter GOK erstreckende, locker gelagerte Anschüttung ein Hanglehm von weicher Konsistenz an. Der Hanglehm erreicht eine Mächtigkeit von ca. 1,80 m und wird als nicht tragfähig eingestuft. Die DPM 20 wurde im heutigen Einmündungsbereich der Theodor-Körner-Straße in den Brachtweg platziert. Auf Höhe der DPM 20 wird der

vorhandene Hohlwegeinschnitt des Brachtweges verfüllt und dessen Einmündung mit der neuen Straßenführung nach Norden bzw. Nordwesten verlegt. Im Bereich des Hohlwegeinschnittes ist die Lockergesteinsüberdeckung relativ geringmächtig. Schon nach einer 1,0 m mächtigen, sehr locker gelagerten Anfüllung beginnt der verwitterte Fels. Bei 1,7 m unter Geländeoberkante wurde die kompakte Felsabfolge in einem Niveau von 246,15 m ü. NN angetroffen. Im Bereich des Hohlweges zwischen dem Brachtweg und der Goethestraße wird eine Böschung angeschnitten deren geologischer Aufbau durch die Sondierungen DPM14 und DPM13 erkundet wurde. Dem Schnitt C-C' ist die Linienführung der geplanten Straße im heutigen Hohlwegbereich und der Aufbau der Bodenschichten im Anschnittsbereich zu entnehmen. Auf Höhe der DPM14 (0+40) liegt das geplante Straßenniveau bei 246,4 m ü. NN und fällt in Richtung DPM13 (0+33) auf 244,3 m ü. NN ab. Das kompakte Felsniveau wurde auf Höhe der DPM14 bei 247,85 m ü. NN angetroffen. In Richtung DPM13 ist eine geringfügige Absenkung der Felsoberfläche auf 247,40 m ü. NN festzustellen. Oberhalb der unterschiedlichen Felsniveaus folgen Hanglehm und Hangschuttfolgen von unterschiedlicher Konsistenz bzw. Lagerungsdichte. Den Abschluss bilden auch in diesen Rammprofilen jeweils eine 0,30 m mächtige humose Oberbodenabfolge.

Die zum Zeitpunkt der Untersuchungen gemessenen Grundwasserstände in den einzelnen Sondierlöchern sind der Anlage 3 zu entnehmen.

4.2 Geländebefunde der felstektonischen Geländeaufnahmen

Zur Klärung der geologischen Situation im Bereich der nach Norden verlegten Zufahrt in die Brachtstraße wurden auf Höhe des Brachtwegs Haus-Nr. 11-13 Rammsondierungen abgeteuft und felstektonische Aufnahmen im noch zugänglichen Bunker durchgeführt. Die geologische Situation auf Höhe der geplanten Straßenführung „Brachtweg Haus-Nr. 18-34“ in Richtung Krankenhaus wurde durch felstektonische Untersuchungen und geologische Aufnahmen der vorhandenen Böschung überprüft (siehe Kapitel 4.2). Die felstektonische Aufnahme beinhaltet die Kartierung des Trennflächengefüges unter Zuhilfenahme eines Gefügekompasses und die Auswertung des daraus abzuleitenden Auflockerungsgrades. Die Messergebnisse sind als eine Azimutalprojektion des Trennflächengefüges in einem Lagekugelmodell für jeden einzelnen Aufschlussbereich im Brachtweg und im „alten Bunker“ in den Anlagen 7ff dargestellt. Die Übersichtsdarstellung ist mit den Anlagen 6ff gegeben.

Als hangrutschgefährdet gelten die Bereiche, wo ein gleichgerichtetes Einfallen von Schicht- und Kluffflächen bei Unterschneidungsgefahr durch die geplante Böschungsneigung zu erkennen ist. Prinzipiell gilt, je mehr offene Kluffflächen mit unterschiedlicher Ausrichtung im Felskörper vorliegen, desto größer ist die Gefahr eines Böschungsbruchs. Dies gilt insbesondere wenn Trennflächen \pm parallel zur geplanten Böschungslinie verlaufen und flacher einfallen als die Böschung selber.

Die untersuchten Felsabfolgen sind aufgrund ihres vordevonischen Alters durch zwei Faltungsphasen überprägt worden. Schichtung und Schieferung sind in den Tonschieferabfolgen kaum zu unterscheiden. Es gibt zwei unterschiedliche Schieferungsflächen, die beide quer zu Einengungsrichtung des ehemaligen Gebirgsfaltungsdrucks verlaufen. Es ist eine steil stehende WSW-ENE streichende Schieferung von einer mit ca. 55° nach Südosten hin einfallenden Schieferung zu unterscheiden. Bei Abgrabungsarbeiten ist davon auszugehen, dass durch den fehlenden Überlagerungsdruck, sich ursprünglich geschlossene Schieferflächen öffnen (Entspannungsrisse) und damit der kohäsive Zusammenhalt verloren geht. Dort, wo Schicht und Kluffflächen aufgrund ihrer Raumlage sich so verschneiden, dass eine Resultierende entsteht, die im ungünstigsten Fall dieselbe Einfallrichtung wie die geplante Böschung besitzt, ist die dauerhafte Standsicherheit einer Felsböschung fraglich.

Die als instabil geltenden Bereiche der geplanten Böschungen konzentrieren sich auf den weststlichen in Nord-Süd-Richtung angelegten Bunkergang (Anlage 6c) wie auch auf den in Ost-West-Richtung angelegten Quergang. Zusätzlich gibt es einige vorgezeichnete ungünstige Trennflächenausrichtungen auf Höhe der Ausbaustation des Brachtweges 0+125, 0+127, 0+131 und 0+219,3. In den genannten Bereichen zeigen sich deutlich erhöhte Auflockerungsgrade durch eine Vielzahl in Erscheinung tretender Trennflächengefüge. Diese bilden ungünstige Raumlagen in Bezug zur geplanten Böschungsneigung, da sie stellenweise mit der Böschung und flacher als diese einfallen.

In den Bereichen mit erhöhter Auflockerung, Wasserandrang und ungünstiger Raumlage muss die dauerhafte Kohäsion des Felskörpers auf 0 kN/m^2 abgemindert werden. Diese Bereiche entsprechen im Hinblick auf ihre bodenmechanischen Eigenschaften einem verwitterten Fels.

Ein bezogen auf die dauerhafte Standsicherheit einer Felsböschung zusätzliches Problem ergibt sich durch Kluftwasserführung. Auf Höhe des Bunkers sind insbesondere im bergseitigen hinteren West-Ost verlaufenden Querstollen deutliche Wasserzutritte zu verzeichnen, die in Richtung des westlichen, Nord-Süd verlaufenden Quergangs hin entwässern. Wo dieses Wasser in der derzeitigen Böschung austritt konnte nicht festgestellt werden, wahrscheinlich versickert es hier im überwucherten, zugemauerten Stollenausgangsbereich. Nach Starkniederschlägen können zukünftig zeitweilig erhebliche Wassermengen der geplanten Böschung des hier nach Norden hin verschwenkenden Brachtweges zuströmen. Der Hauptwasserzutritt in den Stollen findet auf Höhe Brachtweg Haus-Nr. 13 statt. Hier ist wahrscheinlich nur ein relativ geringer Abstand der Fundamentierung des Haus Nr. 13 zum Bunkergewölbe gegeben.

Die zukünftige Straßen- und Böschungsprofilierung ist so angelegt, dass die höheren Böschungen überwiegend im Fels verlaufen. Die Planschnitte der neu zu profilierenden Felsböschungen des Brachtweges vom Bunkerbereich bis zur Station 0+235 in Richtung Krankenhaus sind, um die gefügekundlichen Kenndaten ergänzt, der Anlage 4 zu entnehmen.

5. Untersuchungen im Erdbaulabor

An 7 Bodenproben, die den Kleinrammbohrungen KRB 1 bis KRB 4 entstammen, wurden Wassergehaltsbestimmungen durchgeführt. Der natürliche Wassergehalt im breiigen bis weichen Hanglehm variierte zwischen ca. 19 und 21%, im Hanglehm von steifer Konsistenz lag der Wassergehalt im Mittel bei ca. 17%. Der Hangschutt zeigte, abhängig vom Lehmanteil Wassergehalte zwischen ca. 10 und 17%.

An zwei unterschiedlichen Bodenproben aus dem Hanglehmniveau wurden Konsistenzgrenzenbestimmungen (Ausrollgrenze (wp) und Fließgrenze (wL)) gemäß DIN 18122 durchgeführt. Die Proben entstammten der Kleinrammbohrung KRB 4 aus Tiefen zwischen 0,55 bis 0,95 m und 2,20 m bis 2,60 m unter GOK. Mit Hilfe dieser Angaben kann die Plastizitätszahl (Bildsamkeitszahl) des Hanglehms wie folgt angegeben werden:

- KRB 4.1 (0,55 – 0,95 m) $I_p = 19,4 \%$ (Anlage 8.4.5)
- KRB 4.2 (2,20 – 2,60 m) $I_p = 18,5 \%$ (Anlage 8.4.13)

Die Konsistenzahlen I_c der beiden Proben liegen zwischen 0,68 und 0,73. Diese Werte entsprechen weichen Konsistenzen.

Die untersuchten Hanglehme werden im Plastizitätsdiagramm nach Casagrande als leichtplastische Tone (Bodengruppe TL) eingestuft.

An den Bodenproben KRB 1 (1,30-2,70 m), KRB 2 (0,50-3,70 m) und KRB 4.2 (1,70-1,95 m) wurden Nasssiebungen durchgeführt. Die Siebanalyse aus KRB 1 zeigt ein Sand-Schluff-Gemisch (Bodenart nach DIN 18196: SU*, s. Anlage 8.1.3) mit weitgestuftem Verlauf der Körnungslinie. Die Proben aus den Kleinrammbohrungen KRB 2 und 4 ergaben ein Kies-Schluff-Gemisch (Bodenart nach DIN 18196: GU*, s. Anlagen 8.2.3 und 8.4.8) mit weitgestuftem Verlauf der Körnungslinie. Die Feinstkornanteile liegen zwischen 30 und 40%.

Den im Rahmen der Labor- und Felduntersuchungen angegebenen Bodenarten können nach DIN 1055 unterschiedliche bodenmechanische Kennziffern wie folgt zugeordnet werden:

a) Humoser Oberboden OT, locker gelagert

$$\begin{aligned}\gamma &= 17,0 && \text{kN/m}^3 \\ \varphi' &= 15,0 && \text{Grad} \\ c' &= 0 && \text{kN/m}^2 \\ E_s &= 1 && \text{MN/m}^2 \\ \text{Bodenklasse 1}\end{aligned}$$

b) Hanglehm, weiche Konsistenz

$$\begin{aligned}\gamma &= 19,5 && \text{kN/m}^3 \\ \gamma' &= 9,5 && \text{kN/m}^3 \\ \varphi' &= 27,5 && \text{Grad} \\ c' &= 0 && \text{kN/m}^2 \\ E_s &= 1-5 && \text{MN/m}^2 \\ \text{Bodenklasse 2}\end{aligned}$$

c) Hanglehm/Verwitterungslehm, steife Konsistenz

$$\begin{aligned}\gamma &= 20 && \text{kN/m}^3 \\ \gamma' &= 10 && \text{kN/m}^3 \\ \varphi' &= 27,5 && \text{Grad} \\ c' &= 2,0 && \text{kN/m}^2 \\ E_s &= 5-13 && \text{MN/m}^2 \\ \text{Bodenklasse 4}\end{aligned}$$

d) Hangschutt, mitteldicht gelagert

$$\begin{aligned}\gamma &= 20,0 \text{ kN/m}^3 \\ \varphi' &= 32,5 \text{ Grad} \\ c' &= 0 \text{ kN/m}^2 \\ E_s &= 8-14 \text{ MN/m}^2 \\ \text{Bodenklasse } &3-5\end{aligned}$$

e) Hangschutt, dicht gelagert

$$\begin{aligned}\gamma &= 22,0 \text{ kN/m}^3 \\ \varphi' &= 32,5 \text{ Grad} \\ c' &= 0 \text{ kN/m}^2 \\ E_s &= 16-49 \text{ MN/m}^2 \\ \text{Bodenklasse } &5\end{aligned}$$

f) stark verwitterter Fels

$$\begin{aligned}\gamma &= 23,5 \text{ kN/m}^3 \\ \varphi' &= 35,0 \text{ Grad} \\ c' &= 0 \text{ kN/m}^2 \\ E_s &= 10-45 \text{ MN/m}^2 \\ \text{Bodenklasse } &6\end{aligned}$$

g) angewitterter Fels, fest

$$\begin{aligned}\gamma &= 24,0 \text{ kN/m}^3 \\ \varphi' &= > 40,0 \text{ Grad} \\ c' &= 200 \text{ kN/m}^2 \\ E_s &= 52-105 \text{ MN/m}^2 \\ \text{Bodenklasse } &7\end{aligned}$$

6. Standsicherheitsberechnung maßgebender Böschungsprofile

Für die nachfolgend beschriebenen Standsicherheitsberechnungen wurden kritische Böschungsbereiche der vorgelegten Planung ausgewählt. Diese sind bezüglich der daraus abzuleitenden Empfehlungen als maßgebend anzusehen.

Brachtweg (Station 0+25,0; Anlage 5.1)

Der auf Höhe des Bunkers – westlicher Ausgangsstollen – angelegte Profilschnitt weist eine geplante Böschungsneigung von 1:1,5 aus. Die lithologischen Angaben beruhen auf den Ergebnissen aus der Rammsondierung DPM15 (Anlage 2b und 10.15) und den felstektonischen Aufnahmen im Bunker. Die Böschungshöhe laut Planung beträgt 9,96 m bei einer Böschungstiefe von 15,0 m. Die Berechnungsergebnisse der Standsicherheit sind der Anlage 5.1 unter Darstellung des ungünstigsten Gleitkreises zu entnehmen. Der Ausnutzungsgrad liegt für diesen Böschungsbereich bei 92%, wodurch der Nachweis der Standsicherheit bei

entsprechenden Böschungshöhen und –neigungen in diesem Bereich erbracht wurde.

Brachtweg (Station 0+45,0; Anlage 5.2)

Der auf Höhe des Bunkers – zentraler Bereich – angelegte Profilschnitt weist eine geplante Böschungsneigung von 1:1,5 aus. Die lithologischen Angaben beruhen auf den Ergebnissen aus der Rammsondierung DPM15 (Anlage 2b und 10.15) und den felstektonischen Aufnahmen im Bunker. Die Böschungshöhe laut Planung beträgt 8,3 m bei einer Böschungstiefe von 12,5 m. Die Berechnungsergebnisse der Standsicherheit sind der Anlage 5.2 unter Darstellung des ungünstigsten Gleitkreises zu entnehmen. Der Ausnutzungsgrad liegt für diesen Böschungsbereich bei 69%, wodurch der Nachweis der Standsicherheit bei entsprechenden Böschungshöhen und –neigungen in diesem Bereich erbracht wurde.

Brachtweg (Station 0+52,0; Anlage 5.3)

Der auf Höhe des Bunkers – östlicher Bereich – angelegte Profilschnitt weist eine geplante Böschungsneigung von 1:1,7 aus. Die lithologischen Angaben beruhen auf den Ergebnissen aus der Rammsondierung DPM16 (Anlage 2b und 10.16) und den felstektonischen Aufnahmen im Bunker. Die Böschungshöhe laut Planung beträgt 6,77 m bei einer Böschungstiefe von 11,55 m. Da die Stichstraße zu den Häusern Brachtweg 13-15 unmittelbar entlang der Böschungskrone verläuft wurde eine zusätzliche Verkehrslast von 16,7 kN/m² bei der Standsicherheitsberechnung angesetzt. Die Berechnungsergebnisse sind der Anlage 5.3 unter Darstellung des ungünstigsten Gleitkreises zu entnehmen. Der Ausnutzungsgrad liegt für diesen Böschungsbereich bei 126%, wodurch der Nachweis der Standsicherheit bei entsprechenden Böschungshöhen und –neigungen in diesem Bereich nicht erbracht werden konnte. Hauptursache dafür ist, dass hier vorwiegend eine Lockergesteinsböschung mit deutlich ungünstigeren bodenmechanischen Kennwerten, als diese für den Fels gelten, vorliegt.

Brachtweg (Station 0+140,0; Anlage 5.4)

Der auf Höhe des Brachtweges Haus-Nr. 22 angelegte Profilschnitt weist eine geplante Böschungsneigung von 1:2 aus. Die lithologischen Angaben beruhen auf den Ergebnissen aus der Rammsondierung DPM16 (Anlage 2b und 10.16) und den felstektonischen Aufnahmen entlang der Hohlwegböschung. Die Böschungshöhe laut Planung beträgt 5,9 m bei einer Böschungstiefe von 12,3 m. Die Berechnungsergebnisse der Standsicherheit sind der Anlage 5.4 unter Darstellung des

ungünstigsten Gleitkreises zu entnehmen. Der Ausnutzungsgrad liegt für diesen Böschungsbereich bei 92%, wodurch der Nachweis der Standsicherheit bei entsprechenden Böschungshöhen und –neigungen in diesem Bereich erbracht wurde.

Einmündungsbereich Brachtweg (Station 0+80,0; Anlage 5.5)

Der auf Höhe des Einmündungsbereichs des Brachtweges in die neue Straßenführung oberhalb der Theodor-Körner-Straße angelegte Profilschnitt weist eine geplante Böschungsneigung von 1:1,55 aus. Die lithologischen Angaben beruhen auf den Ergebnissen aus der Rammsondierung DPM15 (Anlage 2b und 10.15) und den felstektonischen Aufnahmen entlang der Hohlwegböschung. Die Böschungshöhe der Steilböschung laut Planung beträgt 2,62 m bei einer Böschungstiefe von 4,07 m. Die Berechnungsergebnisse der Standsicherheit sind der Anlage 5.5 unter Darstellung des ungünstigsten Gleitkreises zu entnehmen. Der Ausnutzungsgrad liegt für diesen Böschungsbereich bei 128%, wodurch der Nachweis der Standsicherheit bei entsprechenden Böschungshöhen und –neigungen nicht erbracht wurde. Hauptursache dafür ist, dass hier vorwiegend eine Lockergesteinsböschung mit deutlich ungünstigeren bodenmechanischen Kennwerten, als diese für den Fels gelten, vorliegt. Zudem folgt oberhalb der Steilböschung noch eine mit einer Neigung von 1:3,8 versehene Bestandsböschung. Der Erddruck auf die Steilböschung ist dadurch erhöht. Es stellt sich nur eine im oberflächennahen Bereich der Böschung instabile Situation dar.

Neuer Verbindungsweg Goethestraße/Brachtweg (Station 0+40,0; Anlage 5.6)

Der auf Höhe der westlichen Steilböschung anzulegende Einschnitt im Zuge der Verbreiterungsmaßnahme der vorhandenen Gasse zwischen Goethestraße und Brachtweg kann nur unter Einhaltung der in Anlage 5.6 dargestellten Profilierung ohne technisches Stützbauwerk standsicher erstellt werden. Die lithologischen Angaben beruhen auf den Ergebnissen aus der Rammsondierung DPM14 (Anlage 2b und 10.14). Die standsichere Böschungsneigung beträgt 1:1,5 bei einem rechnerischen Ausnutzungsgrad von 93%. Kann diese Neigung nicht eingehalten werden, ist der Nachweis der Standsicherheit über eine statisch zu bemessendes Stützbauwerk abzuleiten, wobei die in Anlage 5.6 verwendeten Kennwerte des Bodens berücksichtigt werden sollten.

Neuer Verbindungsweg Goethestraße/Brachtweg (Station 0+30,0; Anlage 5.7)

Der auf Höhe der westlichen Steilböschung anzulegende Einschnitt im Zuge der Verbreiterungsmaßnahme der vorhandenen Gasse zwischen Goethestraße und Brachtweg kann nur unter Einhaltung der in Anlage 5.7 dargestellten Profilierung ohne technisches Stützbauwerk standsicher erstellt werden. Die lithologischen Angaben beruhen auf den Ergebnissen aus der Rammsondierung DPM13 (Anlage 2b und 10.13). Die standsichere Böschungsneigung beträgt 1:1,7 bei einem rechnerischen Ausnutzungsgrad von 95%. Kann diese Neigung nicht eingehalten werden, ist der Nachweis der Standsicherheit über eine statisch zu bemessendes Stützbauwerk abzuleiten, wobei die in Anlage 5.7 verwendeten Kennwerte des Bodens berücksichtigt werden sollten.

Neue Straße/Weggabelung zu Brachtweg Haus Nr. 11 (Station 0+13,5; Anlage 5.8)

Der auf Höhe des Einmündungsbereichs der neu geplanten Straße in den Stichweg Richtung Brachtweg Haus-Nr.11 oberhalb der Theodor-Körner-Straße angelegte Profilschnitt weist eine geplante Böschungsneigung von 1:1,4 aus. Die lithologischen Angaben beruhen auf den Ergebnissen aus der Rammsondierungen DPM10 und DPM24 (Anlage 2a, 10.10 und 10.24). Die Böschungshöhe der Steilböschung laut Planung beträgt 2,32 m bei einer Böschungstiefe von 3,3 m. Die Berechnungsergebnisse der Standsicherheit sind der Anlage 5.8 unter Darstellung des ungünstigsten Gleitkreises zu entnehmen. Der Ausnutzungsgrad liegt für diesen Böschungsbereich bei 169%, wodurch der Nachweis der Standsicherheit bei entsprechenden Böschungshöhen und -neigungen nicht erbracht wurde. Hauptursache dafür ist, dass hier eine Lockergesteinsböschung mit deutlich ungünstigeren bodenmechanischen Kennwerten, als diese für den Fels gelten, vorliegt. Zudem folgt oberhalb der Steilböschung noch eine mit einer Neigung von 1:3,8 versehene Bestandsböschung. Der Erddruck auf die Steilböschung ist dadurch erhöht. Es stellt sich nur eine im oberflächennahen Bereich der Böschung instabile Situation dar.

Neue Straße (Station 0+292,13; Anlage 5.9)

Der oberhalb der Theodor-Körner-Straße angelegte Profilschnitt vor dem Wendehammer weist eine geplante Böschungsneigung von 1:1,7 aus. Die lithologischen Angaben beruhen auf den Ergebnissen aus der Rammsondierung DPM7 (Anlagen 2a, und 10.7). Die Böschungshöhe der Steilböschung laut Planung beträgt 2,37 m bei einer Böschungstiefe von 4,21 m. Die Berechnungsergebnisse der

Standicherheit sind der Anlage 5.9 unter Darstellung des ungünstigsten Gleitkreises zu entnehmen. Der Ausnutzungsgrad liegt für diesen Böschungsbereich bei 164%, wodurch der Nachweis der Standicherheit bei entsprechenden Böschungshöhen und –neigungen nicht erbracht wurde. Hauptursache dafür ist, dass hier eine Lockergesteinsböschung mit deutlich ungünstigeren bodenmechanischen Kennwerten, als diese für den Fels gelten, vorliegt. Es stellt sich nur eine im oberflächennahen Bereich der Böschung instabile Situation dar.

Neue Straße (Station 0+313,89; Anlage 5.10)

Der oberhalb der Theodor-Körner-Straße angelegte Profilschnitt im Wendehammer weist eine geplante Böschungsneigung von 1:1,5 aus. Die lithologischen Angaben beruhen auf den Ergebnissen aus der Rammsondierungen DPM22, DPM23 und DPM8 (Anlagen 2a, 10.22, 10.23 und 10.8). Die Böschungshöhe der Steilböschung laut Planung beträgt 4,96 m bei einer Böschungstiefe von 7,55 m. Die Berechnungsergebnisse der Standicherheit sind der Anlage 5.10 unter Darstellung des ungünstigsten Gleitkreises zu entnehmen. Der Ausnutzungsgrad liegt für diesen Böschungsbereich bei 100%, wodurch der Nachweis der Standicherheit bei entsprechenden Böschungshöhen und –neigungen nicht erbracht wurde. Hauptursache dafür ist, dass hier eine Lockergesteinsböschung mit ungünstigen bodenmechanischen Kennwerten in hängigem Gelände vorliegt. Es stellt sich nur eine im oberflächennahen Bereich der Böschung instabile Situation dar.

7. Bautechnische Bewertungen und Empfehlungen

Aus den in Kapitel 6 vorgestellten Standicherheitsberechnungen ist zu entnehmen, dass für einige Böschungsabschnitte Stützbauwerke unumgänglich sein werden.

Der neu geführte Brachtweg in Richtung Krankenhaus weist instabile Böschungsbereiche zwischen Bunker und der Stichwegseinmündung zu den Häusern Brachtweg Haus-Nr. 11-13 auf. Hier bietet sich eine Lösung durch ein hochzugfestes rückverankertes Drahtgeflecht (System Tecco[®] oder vergleichbar) auf Höhe des Bunkers an, dessen Stollen im Bereich der Verkehrswege kraftschlüssig geschlossen (verfüllt) werden müssen. Eine Drainierung des Bunkers sollte gewährleistet werden, damit es nicht zu einem Wasseraufstau kommen kann. Auch das Gewölbe unterhalb der Gebäudeecke des Hauses Brachtweg Nr. 13 sollte im Zuge dieser Maßnahme kraftschlüssig verfüllt werden. Zwischen dem östlichen Bunkerausgang und der Abzweigung in Richtung der Häuser Nr. 11-13 ist eine Stützmauer zu errichten, um

hier eine dauerhafte Standsicherheit nachweisen zu können. Die restlichen Bereiche des Brachtweges in Richtung Krankenhaus bedürfen bei einer fachgerechten Profilierung nach derzeitiger Kenntnislage keiner weiteren Sicherung. Allerdings wird empfohlen, die Beräumungs- bzw. Profilierungsarbeiten der Böschungen in diesem Abschnitt fachgutachterlich begleiten zu lassen. Der Bewuchs der bergseitigen Böschungen ist teilweise so stark, dass hier derzeit keine generelle Aussage zur Standsicherheit gemacht werden kann. Auch hier könnte abschnittsweise eine Sicherung mit einem hochzugfesten Drahtgeflecht erforderlich werden. Die Ankerabstände liegen in der Regel bei ca. 2,3 m, um ausreichende Sicherheiten herbeiführen zu können. Pro Ankernagel sind Zugkräfte von 50 KN nachzuweisen. Der statische Nachweis einer solchen Sicherung ist noch zu führen.

Ein statisch nachzuweisendes Stützbauwerk wird auch im Bereich der Steilböschung zwischen der Goethestraße und dem Abzweig Brachtweg bei Beibehaltung der aktuellen Grenzverläufe erforderlich sein. Die übrigen als instabil dargestellten Böschungsbereich müssen entweder flacher geböscht (Böschungswinkel 1:2) oder mit Faschinen gegen oberflächennahe Gleitkörper gesichert werden. Eine Direktansaat der Lockergesteinsböschungen ist unmittelbar nach der Endprofilierung erforderlich.

Bezüglich des Straßenunterbaus gibt es zahlreiche Abschnitte, die kein tragfähiges Erdplanum mit einem Verformungsmodul $E_{v2} > 45 \text{ MN/m}^2$ aufweisen werden. Ungünstige Bodenverhältnisse im Erdplanumsbereich sind insbesondere im Verlauf der neuen Straßenführung oberhalb der Theodor-Körner-Straße zu erwarten. Für diese nicht ausreichend tragfähigen Untergründe werden folgende Vorgehensweisen empfohlen:

- bei E_{v2} -Werten $< 45 \text{ MN/m}^2$ kann das Erdplanum entweder durch Vermörtelung oder Einwalzen von Grobschlag soweit verbessert werden, dass die Anforderungen an den E_{v2} -Wert erfüllt werden. Bei stark durchweichten Böden ist der Grobschlageinbau häufig nicht dazu geeignet E_{v2} -Werte von 45 MN/m^2 zu erreichen. Hier ist zu prüfen, welcher E_{v2} -Wert tatsächlich vorliegt.
- Bei einem E_{v2} -Wert $> 10 \text{ MN/m}^2$ kann ein ausreichend tragfähiger Straßenunterbau mit Geogittern in Kombination mit 0/45-iger Frostschutzkörnung erreicht werden. Das Geogitter sollte eine Zugfestigkeit von 60 kN/m in Längs- und Querrichtung aufweisen. Die erforderliche Gesamtstärke des Straßenunterbaus

richtet sich nach den erreichten Ev2-Werten auf dem verbesserten oder auch unverbesserten Erdplanum. Bei weichen Böden sind dies in der Regel 2 Lagen Frostschutzmaterial à 0,30 m Lagenstärke (eingewalzt), die jeweils durch eine Lage Geogitter getrennt sind.

Mögliche Regelschnitte bei unterschiedlicher Konsistenz des Bodens sind den Abb. 1 bis 2 im Anhang dieses Berichtes zu entnehmen. Diese Maßnahmen werden voraussichtlich im Bereich des neu geplanten Stichweges in Richtung Schwarzenbergerstraße und im Bereich des Stichweges in Richtung Brachtweg Haus-Nr. 11 erforderlich.

Bei Fragen zum Bodenaufbau ist der Bodengutachter zu benachrichtigen. Es wird empfohlen, das Gutachten der Ausschreibung für die Erdbauarbeiten beizufügen.

Olpe, 20.11.2007



Dr. rer.nat. Burkhard Reißner
(Dipl.-Geologe)