

Anlage 3
Blatt 1 bis 9

Ergebnisse des Bodengutachtens

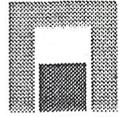
1. Vorgang

Zur Beurteilung der Untergrundverhältnisse erhielt das Institut für Grundbau und Bodenmechanik des PBO den Auftrag zur Durchführung von Laborversuchen an Bohrproben und zur Erkundung der Lagerungsdichte mit schweren Rammsondierungen. Anhand der Untersuchungsergebnisse sollen Bodenkennwerte für die Entwurfsplanung festgelegt werden.

2. Bodenschichten im Bereich der Trassen

Für die Erkundung der geologischen Verhältnisse wurden entlang der 2 Trassenvarianten 12 Bohrungen mit den Nummern 101 - 111 abgeteuft (Unterlage 15.6). Die Bohrtiefen betragen 18,0 - 32,9 m. In 8 der Bohrungen wurden Grundwassermesspegel eingebaut. Zusätzlich erfolgte die Erkundung der Lagerungsdichte durch 11 Sondierungen mit schweren Rammsonden. Die Zusammensetzung und die bodenmechanischen Kennwerte der verschiedenen Schichten wurden durch Laborversuche an Bohrproben ermittelt.

Mit zunehmender Kilometrierung verläuft die Trasse zunächst von Süd nach Nordost im Bogen abfallend in älteren, eiszeitlichen Moränen des Quartär. Bereichsweise sind die Moränen von Baumaßnahmen mit Auffüllungen überdeckt. Die Moränen weisen in allen Bohrungen eine ausgeprägte Schichtung auf. In den Bohrungen 111 - 107 bestehen die oberen Lagen überwiegend aus schwachschluffigen sandigen Kiesen mit Steinen und wenigen schluffigen Zwischenlagen. Erst ab 13,3 m Tiefe überwiegen in Bohrung 107



- 2 -

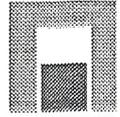
bindigen Ausbildungen aus feinsandigen kiesigen Schluffen und feinsandigen tonigen Schluffen. In dieser Bohrung wurde in 26,8 m Tiefe das Tertiär erreicht.

Bei den Bohrungen im Schloßberg reichen die überwiegend kiesigen Ausbildungen der Moräne bis in Tiefen von 10,4 - 16,6 m. Darunter folgen kiesige steinige Schluffe bis tonige Schluffe mit Zwischenschichten aus schluffigen sandigen Kiesen. Die teilweise relativ nahe beieinander liegenden Bohrungen zeigen, daß die bindigen und kiesigen Lagen nicht höhenbeständig sind. Sie scheinen jeweils linsenförmig zwischen den einzelnen Bohrpunkten auszuweichen. Dieser Aufbau entspricht der Ablagerungsgeschichte in einer Randmoräne.

Die kiesigen Ausbildungen der Moräne sind ab Tiefen von 11,5 m bei Bohrung 107 und ab 17,9 m bei Bohrung 106 Grundwasser führend, so daß in der Moräne ein durchgängiger Grundwasserspiegel vorliegt. Die Einspeisung des Grundwassers scheint im Bereich des Schloßberges entsprechend der höhenmäßigen Zuordnung durch die im Norden entlang fließenden Bäche 7 Quellenbach und Georgenbach zu erfolgen.

Der Moränenzug fällt im Bereich des Schloßberges gegen Süden, Osten und Norden steil ab. Die Trasse unterfährt den Schloßberg und schneidet etwa bei km 1 + 850 am östlichen Ende der Moräne in eine steil und tief in die Moräne eingeschnittene fluviatile Rinne ein. Die Sohle der Rinne wurde bei 28 m Bohrtiefe nicht erreicht. In der Grundwasser gefüllten Rinne stehen teils stärker durchlässige Kiese, teils junge fluviatile bindige Mischböden geringer Durchlässigkeit an. In diesem Bereich ist in den Kiesen eine starke Grundwasserströmung zu erwarten.

Anschließend biegt die Trasse gegen Osten ab. Sie schneidet von der Kiesrinne in ältere fluviatile Ablagerungen aus bindigen Mischböden ein. Die geschichteten Böden bestehen

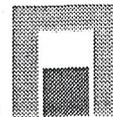


- 3 -

überwiegend aus schluffigen tonigen Feinsanden, feinsandigen tonigen Schluffen teils mit kiesigen Beimengungen und nur vereinzelt sandig kiesige Zwischenschichten. In Bohrung 102 scheint, erkennbar an der erheblich höheren Konsistenz der bindigen Anteile, in 19,4 m Tiefe die Moräne vorzuliegen. Die bindigen fluviatilen Böden werden dort mit welliger Schichtgrenze in einer Schichtdicke von 10 - 4 m (von West nach Ost abnehmend) von jüngeren, stark durchlässigen fluviatilen Kiesen überlagert. Die Kiesdeckschichten sind ebenfalls grundwasserführend. Erst unmittelbar westlich der Bahnlinie fällt die Oberfläche der bindigen fluviatilen Mischböden zum Seebecken steil ab, teils überlagert von jüngeren fluviatilen Kiesen, deren Oberfläche ebenfalls steil in das Seebecken abfällt.

In diesen fluviatilen Kiesen steigt die Trasse zur Geländeoberfläche an. Die bindigen fluviatilen Ablagerungen und ebenso die Kiese sind dem Schwemmfächer des ehemaligen Flußsystems im Bereich Georgenbach, 7 Quellenbach und Meisinger Bach zuzurechnen.

In Bohrung 110 stehen ab 9,1 m Tiefe weiche Seetone, ab 14,5 m Tiefe steife Seetone an. Dagegen zeigt Bohrung 29 von 6,7 - 14,8 m Tiefe nur weiche Seetone. Die Seetone liegen in Bohrung 110 auf bindigen fluviatilen Böden, in Bohrung 29 auf kiesigen fluviatilen Böden auf. Die Überlagerung der Seetone besteht in Bohrung 110 aus 7 m mächtigen fluviatilen Kiesen, in Bohrung 29 dagegen aus 4,5 m bindigen und kiesigen fluviatilen Böden. Die jüngsten Seebildungen (Torfe) enden in etwa 2 m Tiefe auf den Kiesen. Aus der vorgefundenen Schichtung des Untergrundes kann geschlossen werden, daß die fluviatilen Ablagerungen mindestens 3, wahrscheinlich jedoch 4 Ablagerungszeiträumen zuzurechnen sind.



- 4 -

3. Laborversuche

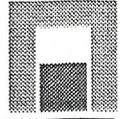
3.1 Moränenböden

Die Zusammensetzung der kiesigen Moränenböden wurde an 5 Proben aus 12,0 - 22,3 m Tiefe ermittelt. Sie enthalten 3 - 37 Gew. % Schlämmkorn, 18 - 23 Gew. % Sand und 45 - 76 Gew. % Kies und Steine. Sie sind als schwachsteinige, sandige Kiese, schwachschluffige bis schluffige sandige Kiese und schluffige tonige sandige Kiese einzustufen. Sie gehören den Bodenklassen 3 - 4 gemäß DIN 18300 an. In einzelnen Lagen, z. B. in Bohrung 111, t = 12,0 - 13,1 m, kommt auch Nagelfluh der Bodenklassen 6 - 7 vor.

Die bindigen Moränenböden aus 22 - 32 m Tiefe enthalten 55 - 72 Gew. % Schlämmkorn mit 15 - 20 Gew. % Feinstes, 11 - 22 Gew. % Sand und 17 - 23 Gew. % Kies. Die Böden sind als kiesige sandige Schluffe und Tone einzustufen. Bei überwiegend leichter, seltener mittlerer Plastizität und steifer bis halbfester Konsistenz sind die bindigen Moränenböden der Bodenklasse 4 zuzurechnen.

3.2 Fluviale Kiese

Die Zusammensetzung der fluvialen Kiese wurde an 6 Proben aus 6 - 12 m Tiefe ermittelt. Sie enthalten 2 - 4 Gew. % Schlämmkorn, 17 - 18 Gew. % Sand und 69 - 81 Gew. % Kies und Steine. Die Böden sind als sandige, vereinzelt stark sandige, teils schwachsteinige Kiese einzustufen. Sie gehören der Bodenklasse 3 gemäß DIN 18300 an.

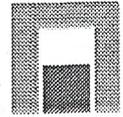


- 5 -

3.3 Bindige fluviatile Böden

Die bindigen fluviatilen Böden sind teils Mischböden mit 66 Gew. % Schlämmkorn, 21 Gew. % Sand und 13 Gew. % Kies (feinsandige kiesige tonige Schluffe), teils feinkörnige Böden mit 76 - 82 Gew. % Schlämmkorn (davon 13 - 22 Gew. % Feinstes) und 18 - 24 Gew. % Feinsand. Sie werden meist als feinsandige schluffige Tone angesprochen, sind jedoch wegen der geringen Plastizität als tonige, schwach schluffige Sande einzustufen. Die Plastizitätszahlen ergaben sich bei Fließgrenzen $w_L = 19,6 - 23,2$ % und Ausrollgrenzen $w_P = 13,0 - 15,9$ % zu $I_p = 6,6 - 7,3$ %, die Konsistenzzahl zu $I_c = 0,46 - 0,73$ (weiche bis steife Konsistenz), bei einer Probe aus 8 m Tiefe sogar zu $I_c = 0,21$ (breiige Konsistenz).

Die Ermittlung der Scherfestigkeit der tonigen Feinsande ergab Reibungswinkel $\rho = 29$ und 30° mit sehr kleinen Kohäsionsanteilen $c' = 2 - 7$ kN/m². Der Einfluß des hohen Feinsandanteils mit geringen plastischen Eigenschaften und im Verhältnis zum Feinkornanteil relative gute Entwässerungsmöglichkeit, ist auch an den Kompressionsversuchen abzulesen. Bei der Erstbelastung wurden im Spannungsbereich von 100 - 300 kN/m² Steifemoduli $E_s = 10 - 20$ MN/m² und $9 - 27$ MN/m², bei der Zweitbelastung jedoch $E_s = 46 - 87$ und $49 - 86$ MN/m² erreicht. Das geringe Schwellen der Proben bei der Entlastung weist ebenfalls auf geringe plastische Eigenschaften hin. Die tonigen Feinsande der Bodenklasse 4 sind jedoch extrem wasserempfindlich. Sie neigen vor allem bei Wasserüberdruck zu Fließerscheinungen und zur Erosion, so daß sie sich zu Bodenklasse 2 verschlechtern.



- 6 -

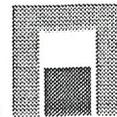
3.4 Seetone

Die Probe aus den breiigen bis weichen Seetonen aus 12 m Tiefe enthält 89 Gew. % Schlämmkorn, davon 17 Gew. % Feinstes, und 11 Gew. % Feinsand. Die plastischen Eigenschaften entsprechen mit $w_L = 22\%$ und $w_P = 16,3\%$ etwa denjenigen der bindigen fluviatilen Böden. Die Konsistenz ist mit $I_c \leq 0 - 0,17$, als flüssig bis breiig einzustufen. Der Kompressionsversuch ergab im Spannungsbereich von 100 - 200 kN/ m² einen Steifemodul $E_s = 8 - 15$ MN/ m² bei der Erstbelastung und $E_s = 40 - 47$ MN/ m² für die Zweitbelastung. Als undrained Scherfestigkeit wurde ein Reibungswinkel $\rho = 22^\circ$ und eine Kohäsion $c = 25$ kN/ m² ermittelt.

Die Probe aus den steifen Seetonen ist bei 99 Gew. % Schlämmkorn mit 53 Gew. % Feinstem erheblich feinkörniger als die der oberen Seetonlage. Aus der Fließgrenze $w_L = 44,7\%$ und der Ausrollgrenze $w_P = 18,5\%$ ergibt sich mittlere Plastizität und eine Konsistenzzahl $I_c = 0,73$ bis $0,82$, d. h. steife Konsistenz. Beim Kompressionsversuch wurden im Spannungsbereich von 100 - 300 kN/ m² bei der Erstbelastung ein Steifemodul $E_s = 4 - 10$ MN/ m², bei der Zweitbelastung $E_s = 9 - 17$ MN/ m² erreicht. Die Probe ist somit als stark kompressibel einzustufen. Die Seetone sind im allgemeinen der Bodenklasse 2, bei weicher bis steifer Konsistenz der Bodenklasse 4 zuzuordnen.

4. Sondierungen

Um möglichst große Tiefen zu erreichen, wurden die Sondierungen mit der schweren Rammsonde gemäß DIN 4094 ausgeführt. Im Bereich der Moräne liegen die Sondierungen 5 - 11. Sondierung 5 im Schloßberg zeigt unter locker gelagerten Deckschichten von 2,5 - 5,9 m Tiefe mittlere Sondierwiderstände von etwa 10 Schlägen und bis etwa 10 m



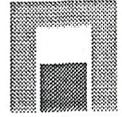
- 7 -

Tiefe 15 Schläge. Darunter nehmen die Sondierwiderstände auf mehr als 25 Schläge zu, so daß dort eine dichte Lagerung zugrunde gelegt werden kann. Vergleicht man diese Sondierwiderstände mit den Bohrerergebnissen in der Bohrung 3, dann ergibt sich für die Kiese unter der locker gelagerten Schluffverwitterungsschicht eine mittlere Lagerungsdichte. Erst in den tieferen Kieslagen ist eine dichte Lagerung zu verzeichnen. Sehr hohe Sondierwiderstände treten erst in den kiesigen Schlufflagen der Moränen in 13,6 m Tiefe auf.

Die Sondierungen 6 und 7 zeigen ähnliche Lagerungsdichteverhältnisse. Bei Sondierung 6 werden zunächst die Auffüllungen des Straßendamms, darunter die dicht gelagerten Kiese durchörtert. In Sondierung 7 folgen die mitteldicht gelagerten Kiese unter der Verwitterungslage in 4,6 - 12,6 m Tiefe, bevor die Sondierung in dicht gelagerten Moränenböden endet.

Bei den Sondierungen 8 - 10 wurde die Schichtdicke der Auffüllungen für den Straßendamm zur Überbrückung des Talbereiches erkundet. Sie weisen eine relativ gleichmäßige Dicke von 2 - 3 m mit dem Tiefpunkt in der Mitte auf. Darunter folgen dicht gelagerte Kiese, die gemäß den Bohrerergebnissen in B 107 von 4 - 6 m Tiefe leicht verkittet sein können. In Sondierung 11 ergaben sich von 4,6 - 6,2 m Tiefe mittlere bis hohe Sondierwiderstände, wie sie für die dicht gelagerten Kiese typisch sind. Darüber liegen geringe Sondierwiderstände vor, die die locker gelagerte Verfüllung der ehemaligen Kanalbaugrube zeigen.

Der Bereich der fluviatilen Ablagerungen wurde mit den Sondierungen 1 - 4 erkundet. Sondierung 4 liegt im Übergangsbereich zwischen dem Schloßberg und der tief eingeschnittenen fluviatilen Kiesrinne. Sie weist bis 7,2 m Tiefe locker gelagerten Hangschutt,

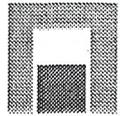


- 8 -

bis 11,2 m Tiefe mitteldicht gelagerte Moränenböden mit Sondierwiderständen von 5 - 15 Schlägen (Böschungsbereich der Moräne) und bis 16,7 m Tiefe mittlere bis hohe Sondierwiderstände von 15 - 25 Schlägen entsprechend einer mitteldichten bis dichten Lagerung auf. Die für die bindigen Moränenböden typischen hohen Sondierwiderstände wurden dort nicht erreicht. Möglicherweise weisen sie im Böschungsbereich durch den Grundwassereinfluß eine geringe Konsistenz auf.

Sondierung 3 weist in den fluviatilen Kiesen von 2,5 - 5,7 m Tiefe hohe Sondierwiderstände von 20 - 40, darunter bis 9,2 m Tiefe mittlere Sondierwiderstände von 10 - 15 Schlägen auf. Der Wechsel von den hohen zu den mittleren Sondierwiderständen entspricht in etwa dem Grundwasserstand in Bohrung 102. Erfahrungsgemäß werden bei gleicher Lagerungsdichte unter dem Grundwasser geringere Sondierwiderstände erreicht. Bei den relativ großen Unterschieden kann jedoch in den Deckschichten auch eine günstigere Kornabstufung vorliegen.

Sondierung 2 zeigt bis 14,4 m Tiefe relativ gleichmäßige Sondierwiderstände, die schichtweise zwischen 5 und 15 Schlägen wechseln, seltener bis 25 Schläge zunehmen. Diese Sondierung könnte man durchweg den fluviatilen Kiesen zuordnen, jedoch weist die etwa 55 m entfernt liegende Bohrung 101 bereits ab 4 m Tiefe bindige fluviatile Böden auf. Die relativ geringen Sondierwiderstände der bindigen fluviatilen Böden dürften auf die geringe Konsistenz zurückzuführen sein. Sie wurde bei den Proben der Bohrung 102 aus 15 m Tiefe als weich ermittelt, während sie steife Konsistenz erst bei den Proben aus 19 m Tiefe ergab. Gemäß diesem Ergebnis kann bei Sondierung 2 in der Schicht mit den höheren Sondierwiderständen ab etwa 14,4 m Tiefe eine steife Konsistenz des bindigen Anteils zugrunde gelegt werden. Die Sondierung 1 zeigt bis 7,8 m Tiefe ebenfalls mitteldicht gelagerte fluviatile Kiese, in denen das Grundwasser gemäß dem Bohrauf-



- 9 -

schluß 101 ab etwa 1,5 m Tiefe ansteht. Darunter folgen steife bindige fluviatile Böden mit Sondierwiderständen von 20 bis mehr als 25 Schlägen.

Zusammenfassend ist festzustellen, daß die mindestens mitteldicht gelagerten fluviatilen Kiese und die weichen bis steifen bindigen fluviatilen Böden bis in größere Tiefe sehr gut rammbar sind. Auch die Moränenböden weisen im allgemeinen bis in größere Tiefe mangels einer Vorbelastung nur eine mitteldichte Lagerung auf. Nur im Bereich des Rückens zwischen den Bohrungen 107 und 15 liegt bereits in geringer Tiefe eine dichte Lagerung der Kiese vor. Schichtweise dürfte der hohe Rammwiderstand auf eine Verkittung in größere Tiefe auch auf eine Verfestigung zum Nagelfluh zurückzuführen sein.