

Heinrich Jäckli

Die geologischen Verhältnisse bei Andelfingen

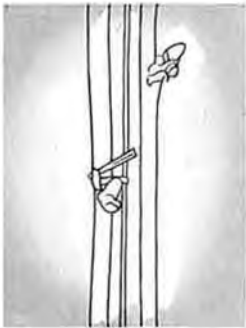
**Fundationsprobleme
im glazial vorbelasteten und eistektonisch stark gestörten Baugrund**

Auszug aus der Gedenkschrift Weinlandbrücke
herausgegeben von der Baudirektion des Kantons Zürich

Zürich 1958

Die geologischen Verhältnisse bei Andelfingen

Dr. H. Jäckli, Geologe, Zürich



Übersicht

Eine allgemeine Übersicht über die geologischen Verhältnisse des Thurtals bei Andelfingen vermittelt die geologische Kartenskizze 1:50000 (Abb. 58), für welche die geologische Karte von Dr. J. Hug¹ mitverwendet wurde.

Felsunterlage aus Molasse Die steile Südflanke des Thurtals besteht von Andelfingen an flussabwärts grösstenteils aus Mergeln und Sandsteinen der oberen Süsswassermolasse; dasselbe gilt für die Nordflanke unterhalb Alten. In der breiten Talsohle verdecken jüngere, eiszeitliche und nacheiszeitliche Ablagerungen in so grosser Mächtigkeit den Fels, dass dort die Tiefe der Felsobergrenze nicht bekannt ist.

Oberhalb Andelfingen, wo im Bereiche der Weinlandbrücke und der alten Eisenbahnbrücke eine Talsohle fehlt und der Fluss in einem Engpass den Moränenriegel durchbricht, bestehen auch die Talflanken aus mächtigen Ablagerungen quartären Alters. Die Molasse ist dort nirgends aufgeschlossen und wurde weder durch Sondierbohrungen noch Fundamentgruben im Zusammenhang mit dem Bau der Weinlandbrücke irgendwo erreicht. Tiefenlage und Gestalt der Felsobergrenze sind daher in diesem Gebiet weiterhin unbekannt.

Moränenablagerungen Tonreiche, kiesarme Grundmoränenlehme, die oft innig mit Feinsanden verknüpft erscheinen und an beiden Thurfanken oberhalb Andelfingen anstehen und in den Sondierbohrungen ebenfalls erschlossen wurden, dürften aus der zweitletzten Eiszeit, der sogenannten Rissvergletscherung, stammen, zu welcher Zeit das zürcherische Weinland vollständig von einem geschlossenen Eiskuchen bedeckt war.

Andere, jüngere Moränenbildungen, und zwar tonreiche Grundmoränen wie auch geschiebereiche Wallmoränen, wurden von einem Thurtalarm des einstigen Rheingletschers der letzten Vergletscherung abgelagert. Beim Rückzug dieses

Gletscherarmes am Ende der letzten, der Würmeiszeit, muss die Gletscherstirn im Gebiet von Andelfingen längere Zeit verblieben sein und wohl auch etwas vorwärts und rückwärts gependelt haben, bei welcher Gelegenheit sich einzelne, wenn auch nicht sehr ausgeprägte Wälle von Stirn- oder Seitenmoränen quer über das Thurtal legten und damit den von Bahn und neuer Strasse benützten Querriegel formten.

In zahlreichen Depressionen zwischen Moränenhügeln bildeten sich Weiher und Seelein, Kleinodien der Andelfinger Moränenlandschaft, die von den Ufern her langsam organisch verlandeten und zu Torfmulden wurden. Halbwegs zwischen Bad Kleinandelfingen und der Unterführung Stigli wurde beim Bau der neuen Strasse, zum nicht gelinden Verdruss aller Beteiligten, eine solche eng begrenzte Torfmulde tangiert; ihr Torf musste ausgepackt und durch einen Kieskoffer ersetzt werden.

Interglaziale Sande Unter und zwischen den lehmigen Moränenablagerungen finden sich unregelmässig begrenzte, meist feinkörnige Sande in grosser Mächtigkeit, die in fast allen Sondierbohrungen und nachher auch in den Baugruben angetroffen worden sind. Da sie meist lehmarm oder sogar völlig lehmfrei sind, neigen sie, soweit sie unter dem Wasserspiegel liegen, bei Strömungsdrücken zu Grundbrucherscheinungen.

«Niederterrassenschotter» und postglaziale Thurschotter

Am Ende der Würmvergletscherung entstand am Rande und vor der Stirn des Thurtalgletschers ein fluvioglaziales Schotterfeld aus sogenanntem «Niederterrassenschotter», das bei Niederwil beginnt und heute noch bis vor Grossandelfingen reicht. Dieser auf mehr oder weniger undurchlässigem Lehm aufliegende sandige Kies zeigt im Bilgerfeld östlich Grossandelfingen eine Mächtigkeit von 10 bis 20 m und stellt einen lokalen Grundwasserträger dar, welcher durch mehrere Grundwasserfassungen auch genutzt wird. Die Oberfläche dieses Kieses auf Kote etwa 410 m repräsentiert das einstige Thurniveau am Ende der letzten Eiszeit; die Differenz bis zur heutigen Talsohle, nämlich rund 50 m, entspricht der postglazialen Erosionsleistung der Thur im Zeitraum von rund 15000 Jahren.

Auf der heutigen Talsohle liegen unterhalb Andelfingen in grosser Breite junge Thurschotter als durchlässige, horizontal geschichtete sandreiche Kiese. Bei der Weinlandbrücke beschränken sich solche sehr junge, fast rezente Thurschotter auf einen schmalen Streifen am linken Flussufer.

¹ Das Gebiet von Andelfingen wurde im Jahre 1903 von Dr. J. Hug geologisch aufgenommen und in einer Karte 1:25000 «Die Drumlinlandschaft der Umgebung von Andelfingen (Kt. Zürich)» dargestellt. Da damals aus jenem Gebiet noch keine Bohrungen vorlagen, war er bei der Darstellung der geologischen Verhältnisse ganz auf die Interpretation der Morphologie und der spärlichen, natürlichen und künstlichen Aufschlüsse angewiesen.

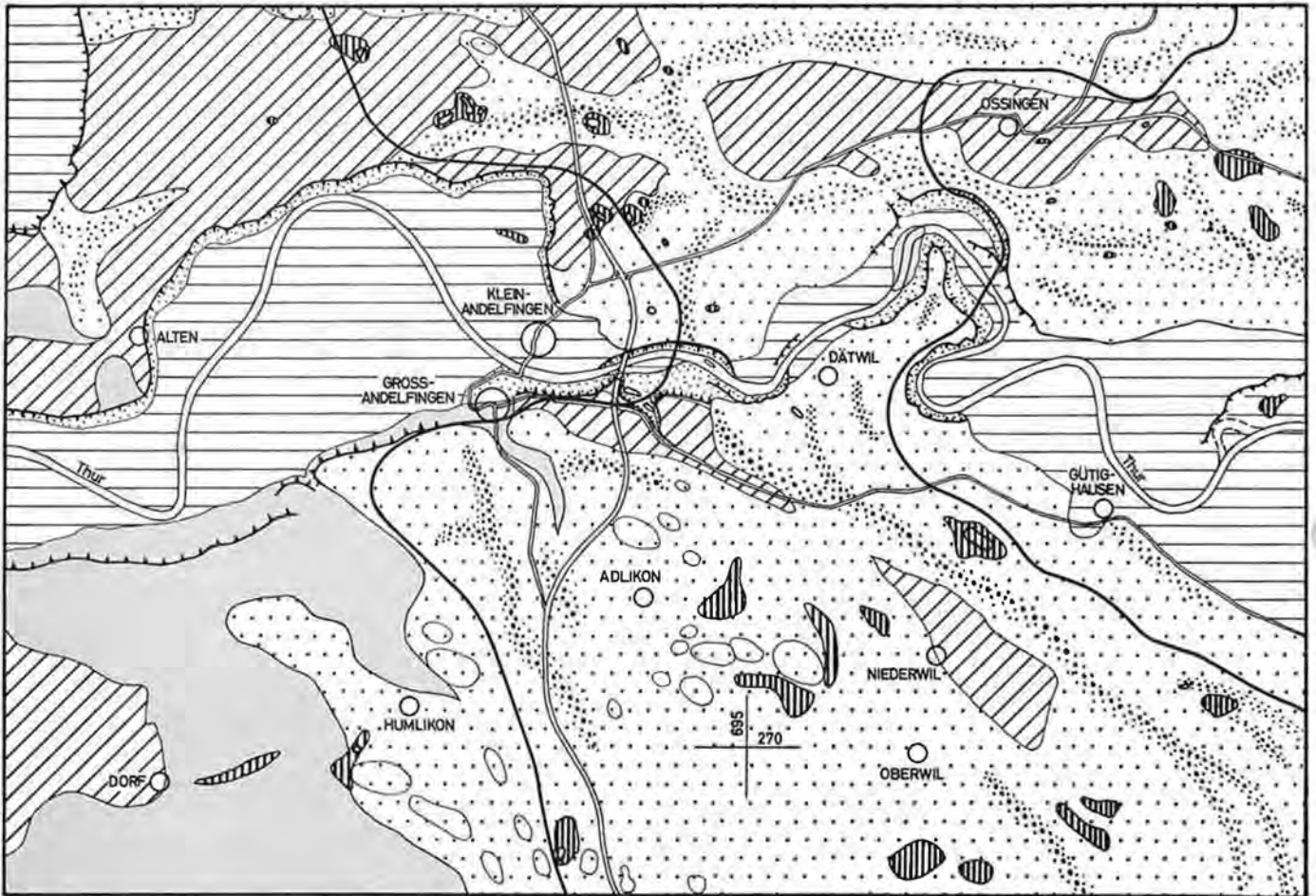


Abb. 58 Geologische Kartenskizze des Thurtales bei Andelfingen (unter Verwendung der geologischen Karte von J. Hug).

0 1 2 3 km



Oberkante steiler Erosionsböschungen.



Seen.



Torfgebiete und verlandete Seen, an ihrer Basis oft mit Seekreide.



Postglaziale Flusschotter der Thur und des Rheins, locker gelagert.



Würmeiszeitliche Schotter, «Niederterrassenschotter», meist von Moränenwällen begrenzt, kompakt gelagert, lokale Grundwasserträger.



Moränendecke mit Wällen und Drumlins der Würmeiszeit; kiesig-sandiger Lehm von relativ grosser Festigkeit.



Grundmoränenlehm der Risseiszeit und interglaziale Feinsande, oft intensiv miteinander verschuppt und verfaltet, stark vorbelastet und daher sehr kompakt gelagert.



Molasse. Felsunterlage aus Sandsteinen und Mergeln.

Lagerungsverhältnisse

Alle eiszeitlichen Bildungen, also Moränen aller Art, ebenso interglaziale Sande und teilweise auch ältere Schotter, sind nach ihrer Ablagerung durch die Bewegungen des Gletschereises in ihrer ursprünglichen Lagerung stark gestört worden. Sie weisen daher heute ganz unruhig verfaltete, verschuppte, verknietete und verkeilte Schichtgrenzen auf, die durchaus nicht der ursprünglichen Ablagerungsform entsprechen, sondern nur durch «glazialtektonisch» oder «eistektonisch» bedingte Lagerungsstörungen erklärt werden können. Diese Störungen zeigen im Kleinen, beispielsweise im wild verknieteten Kontakt zwischen Feinsand und Lehm (Abb. 59), eine Schichtgrenze, die ursprünglich weitgehend horizontal gelegen haben musste. Analoge Störungen finden sich aber auch im Grossen und wurden sowohl in den Strassenanschnitten nördlich

und südlich der Weinlandbrücke und der Stiglibrücke (Abb. 61) wie auch in den Baugruben der Widerlager und der Pfeilerfundamente vorgefunden. Auf Abbildung 61 ist ein Beispiel solcher eistektonisch bedingter Lagerungsstörung in Form von grossradigen Falten im Kies dargestellt; die Abbildungen 60 und 62 zeigen Details aus der Baugrube von Topf West des Pfeilers I mit vertikaler Schichtung Lehm/Sand, welche ursprünglich bei der Ablagerung selbstverständlich mehr oder weniger flach gelegen haben muss.

Aus Sondierbohrungen allein lassen sich verständlicherweise solche Störungen nur ungenau erkennen. Es musste allerdings schon früh auffallen, dass auch eng benachbarte Bohrprofile überraschend stark voneinander abwichen und nur schwer miteinander verbunden werden konnten. Doch erst beim Ausgrabung der Baugruben konnte diese Vielfalt der Schichtstörungen im vollen Ausmass erkannt werden.

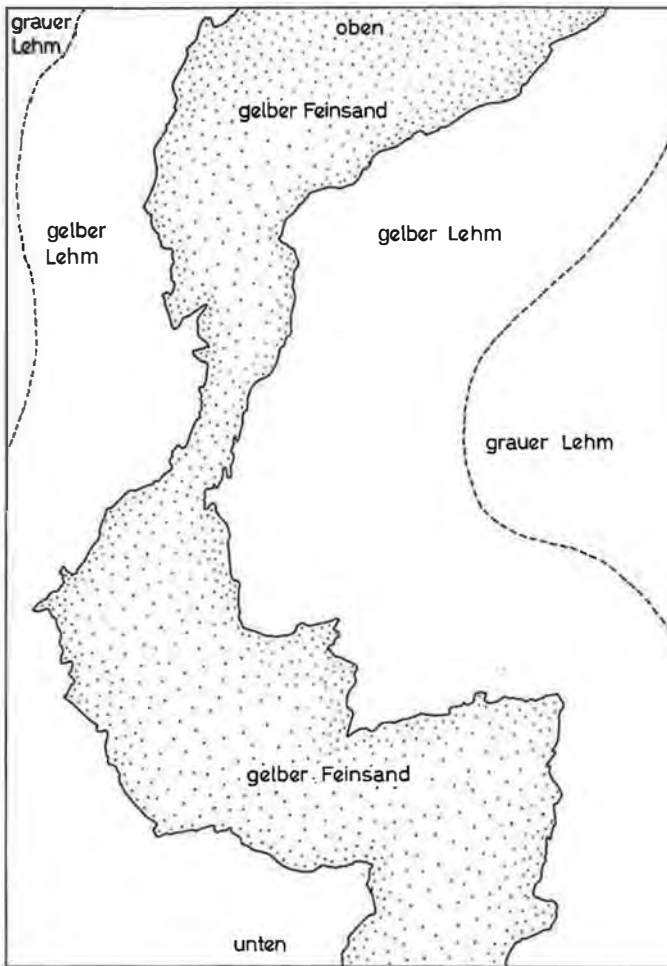


Abb. 59 Sand-Lehm-Kontakt mit starken glazialtektonischen Verknüchtungen im mageren Grundmoränenlehm am Südufer der Thur, Masstab 1 : 2.

Im Gegensatz zu den interglazialen und glazialen Bildungen sind die postglazialen Ablagerungen, insbesondere die Schotter jüngeren und jüngsten Alters (Niederterrassenschotter und rezenter Thurschotter), noch horizontal geschichtet, weisen keine glazial bedingten Schichtstörungen auf, sind aber auch nicht durch Gletschereis vorbelastet, sondern dementsprechend lockerer gelagert als die älteren Sedimente.

Grundwasserverhältnisse

Der Niederterrassenschotter des Bilgerfeldes stellt mit seinem sandigen Kies über dichtem Lehm einen lokalen Grundwasserträger dar, in welchem sich drei Grundwasserfassungen befinden, nämlich jene des Bilgerfeldes, jene «Im Gugelment» und schliesslich noch eine «Im Moos» östlich der Bahnlinie. Der Bahneinschnitt nördlich des Bilgerfeldes bedeutet für jenes Grundwasser einen lokalen künstlichen Vorfluter. Anlässlich der Sondierbohrungen im Bahneinschnitt wurden im Kies drei undurchlässige Lehmhorizonte durchfahren und darunter gespanntes Grundwasser angetroffen, das mit einem Überdruck von 2,2 m über dem oberflächlichen Grundwasserspiegel bis auf Kote 394,8 m anstieg und als artesisches Wasser aus dem Bohrrohr ausfloss.

Wo dieser wasserführende Schotter über Sand und Lehm nach Norden auskeilt, kam es in postglazialer Zeit zur ober-

flächlichen Ablagerung von Kalktuff, wie er im Gebiet zwischen Seelenstall und Brückenwiderlager Süd in reichem Masse angetroffen wurde.

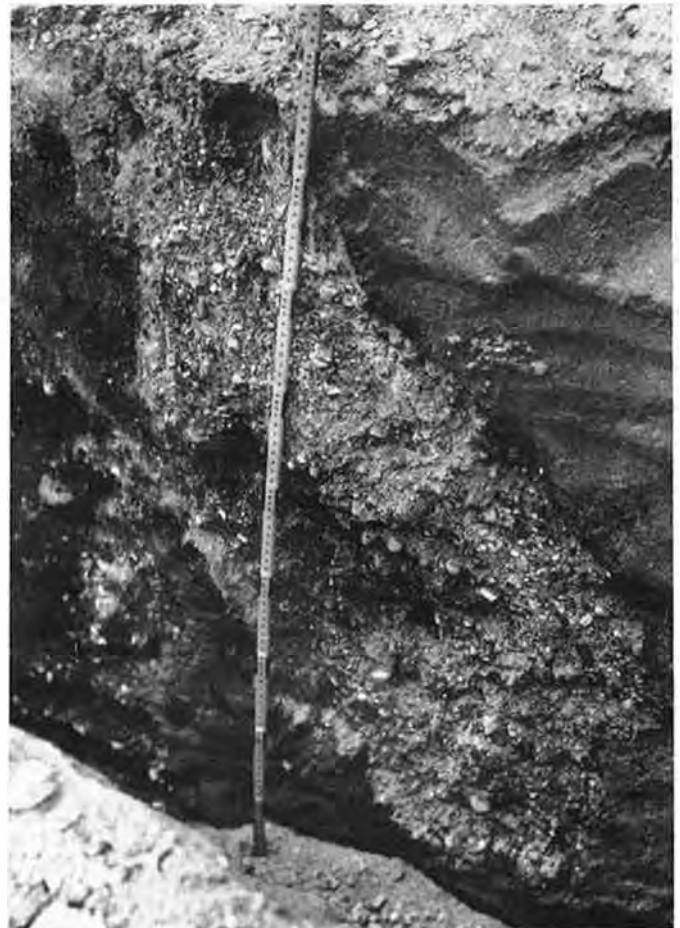
Der rezente und sehr durchlässige Thurschotter am linken Flussufer führt ebenfalls Grundwasser, das aber weitgehend durch Infiltration von der Thur her gespiesen und für eine Wasserversorgung nicht genutzt wird.

Die Thurböschungen in der Talenge östlich Andelfingen sind steil und neigen, wo sie durchnässt werden, zu Rutschungen. Sie bestehen in ihrer tiefsten Partie vorwiegend aus Moränenlehm, über dem am Kontakt Schotter/Lehm vielenorts kleine Quellen austreten. Demzufolge zeigen die Uferböschungen «Im Gugelment» westlich der Weinlandbrücke, ferner am Prallhang des rechten Thurufers östlich der Brücke und wieder «Im Moos» östlich des Eisenbahndammes alle Anzeichen sehr junger und teilweise noch anhaltender Rutschbewegungen. Ähnliches ist auch im südlich der Thur gelegenen Hostbachtobel zu beobachten, wo am Kontakt zwischen wasserführendem Schotter über dichtem Lehm zahlreiche Quellen auftreten und im Moränenlehm und Feinsand eine Instabilität der steilen Erosionsböschungen bewirken. Auf der Kartenskizze von Abbildung 63 sind diese Verhältnisse dargestellt.

Spezielle Baugrunduntersuchungen und bautechnische Konsequenzen

Aus der speziellen geologischen Situation ergaben sich für Projektierung und Bauausführung der Weinlandbrücke einige

Abb. 60 Baugrube Pfeiler I. Glazialtektonische Verknüchtungen von Kies und Feinsand.



Probleme geologischer Natur, die gebührend berücksichtigt oder durch weitere Untersuchungen vorerst noch näher abgeklärt werden mussten:

1. Welche Abschnitte der steilen Thurufer waren weniger durchnässt, damit auch weniger rutschgefährdet, und liessen die relativ besten Stabilitätsverhältnisse der Böschung erhoffen? Die gewählte Linienführung dürfte in dieser Beziehung ungefähr das Optimum darstellen, das überhaupt erreicht werden konnte; jede andere Variante weiter westlich oder östlich hätte rutschgefährlichere Teile der Flussböschung tangiert.
2. Wie konnte das Gebiet des Bilgerfeldes, dessen Grundwasser in mehreren Fassungen genutzt wird, vor einer quantitativen und qualitativen Schädigung durch die Brücke im Seelenstall bewahrt werden? Zum Schutze dieses Grundwassers wurde vorgesehen, Widerlager wie auch Pfeiler möglichst flach zu fundieren, so dass das gespannte Grundwasservorkommen, das dort anlässlich einer Sondierbohrung von 391 m ü.M. an abwärts angetroffen worden war, überhaupt nicht angeschnitten werden musste und selbst im oberflächennahen, freien Grundwasser praktisch ohne Wasserhaltung auszukommen sein würde.
3. Welche Schichten eigneten sich für die Foundation von Widerlagern und Pfeilern der Weinlandbrücke am besten? Wie veränderten sich die Gründungsverhältnisse mit grösserer Fundationstiefe? Welche Eigenschaften mussten von den durch Fundamente zu belastenden Schichten erwartet werden? Zur Abklärung dieser höchst wichtigen Fragen wurden bereits im Frühling 1954 6 Sondierbohrungen von 12 bis 25 m Tiefe, 3 Rammsondierungen von maximal 14,5 m Tiefe, 4 kleinere Sondierschächte und 8 Belastungsversuche in diesen Schächten mit Lastplatten von 1000 und 2000 cm² Fläche ausgeführt. Zudem wurde eine grosse Zahl ungestörter und gestörter Bodenproben, die teilweise aus den Sondierbohrungen, teilweise aus den Sondierschächten entnommen

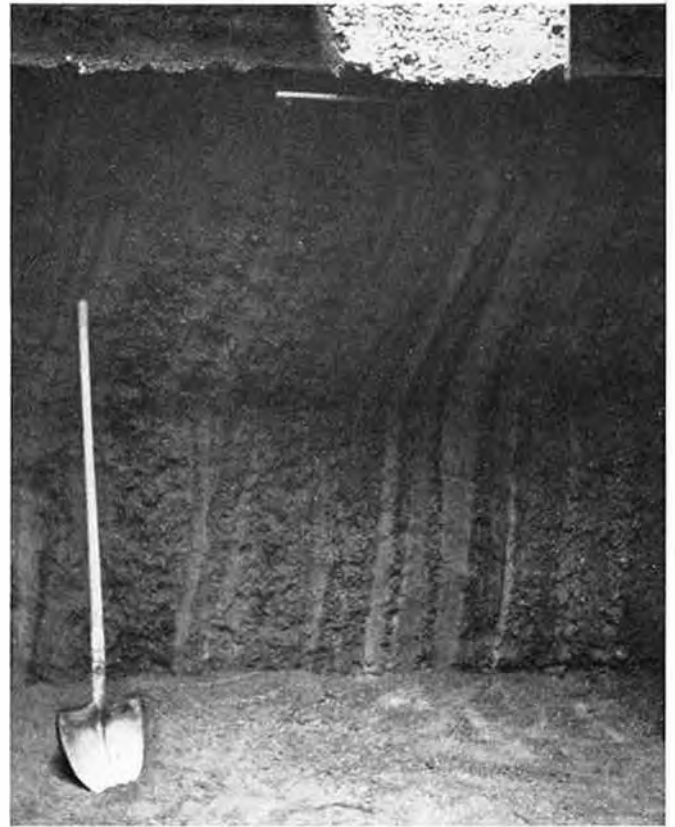


Abb. 62 Sohle und Wand der Baugrube von Topf West, Pfeiler I. Wechsellagerung von Lehm und Feinsand in beinahe vertikaler Lagerung.

wornden waren, im Erdbaulaboratorium der Versuchsanstalt für Wasserbau und Erdbau an der ETH in Zürich untersucht. Bei den Sondierbohrungen musste sehr darauf geachtet

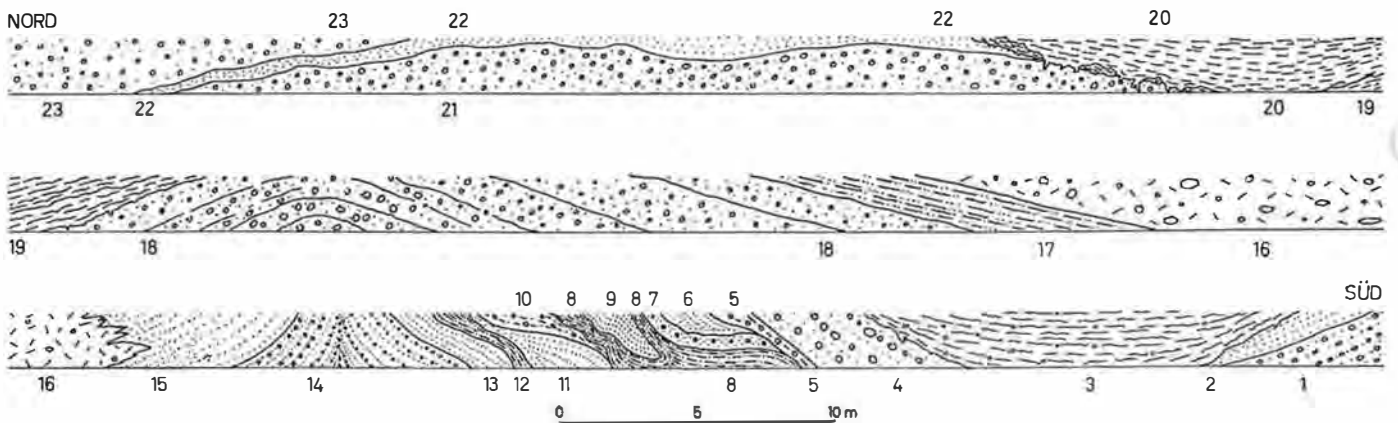


Abb. 61 Eistektonische Verfallung älterer Schotter im Strasseneinschnitt südlich Stigli.

- | | |
|--|---|
| <ol style="list-style-type: none"> 1 Sandiger Kies, nordfallend. 2 Feinsand, Obergrenze unruhig. 3 Brauner Verwitterungslehm, entkalkt, erdig, mit wenig Kies. 4 Grobkies, gut geschichtet, südfallend. 5 Lehmiger Grobkies. 6 Grobsand, Schichtung deutlich südfallend. 7 Sandiger Kies. 8 Magerer Lehm, mit Schlamm- sand wechsellagernd, Seebodenablagerung, mit deutlicher Feinschichtung, verfalltet. 9 Sand, Schichtung südfallend. 10 Lehmiger Kies. 11 Grobsand, linsenförmig südfallend. 12 Magerer Lehm mit Feinschichtung. 13 Lehmfreier Sand, steil südfallend. 14 Sandreicher Feinkies mit ausgeprägter Antiklinalstruktur. | <ol style="list-style-type: none"> 15 Grobsand, nordfallend, gegen Norden mit Moränenlehm wirr verkeilt und verschuppt. 16 Brauner Moränenlehm mit vereinzelt gekritzten Geschieben. 17 Magerer, fein geschichteter Seebodenlehm, in Wechsellagerung mit Schlamm- sand. 18 Sandiger Kies, in den oberen Partien feiner, nach unten gröber werdend, mit klar sichtbarer Antiklinalfalte. 19 Verwitterungslehm, unten gelb, oben rotbraun, Untergrenze mit liegendem Kies deutlich verzahnt. 20 Rotbrauner Lehm mit deutlicher Muldenstruktur. 21 Sandiger Kies. 22 Lehmfreier Sand. 23 Sandiger Kies, schwach nordfallend, die Fundamente der Eisenbahnbrücke «Stigli» tragend (etwa 40 m nördlich des Nordrandes unseres geologischen Profiles). |
|--|---|

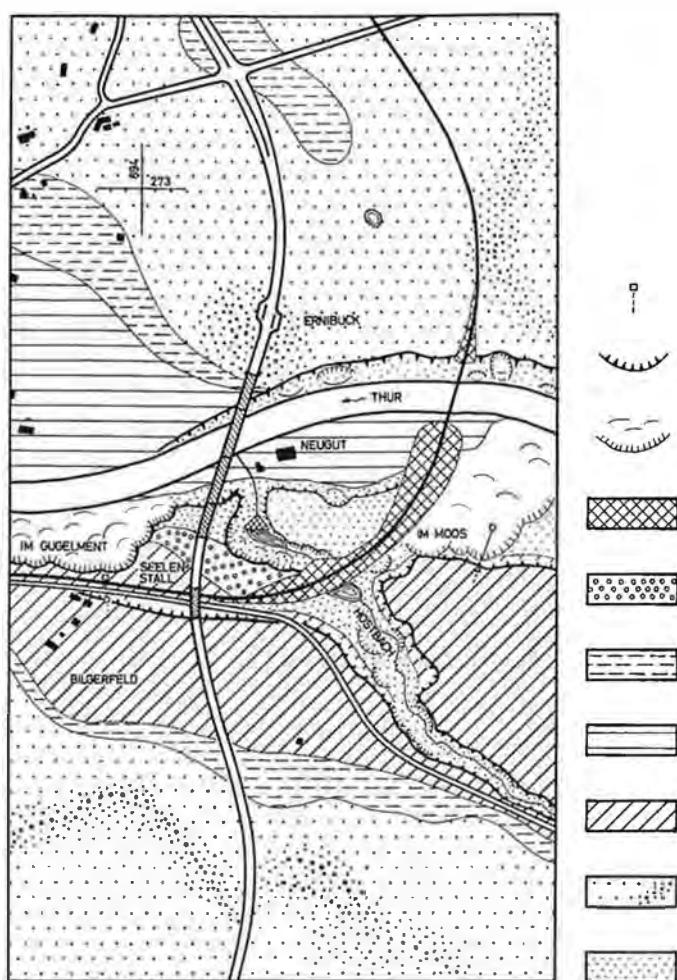
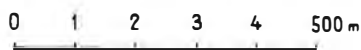


Abb. 63 Geologische Karte der Umgebung der Weinlandbrücke.



werden, dass die feinkörnigen Materialien, also sandige und lehmige Schichten, nicht in ausgeschwemmtem, verwaschenem Zustand gefördert wurden, wie das zum Beispiel bei Meisselspülbohrungen der Fall zu sein pflegt, sondern dass vielmehr lückenlose, unverwaschene Bohrkern entnommen wurden. Diese Bedingung konnte erfüllt werden mit Rotationskernbohrungen der Firma Tiefbohr- und Baugesellschaft AG, Zürich, die mit möglichst wenig Spülwasser vorgetrieben werden mussten, und mit dem Burkhardtschen Bohrfahl der Firma Ad. Guggenbühl AG, Zürich.

Diese Bohrkern zeigten häufig zwischen Lehm und Sand enge Wechsellagerungen mit Sandschichten verschiedener Dicken zwischen undurchlässigem, plastischem Lehm. Oft liessen sich auch intensive Verknüpfungen zwischen Sand und Moränenlehm erkennen, und schliesslich zeigte praktisch jede Bohrung ein anderes Bodenprofil, eine andere Reihenfolge der verschiedenen Schichten, so dass es schwierig war, benachbarte Bohrungen miteinander zu korrelieren und eine geologische Prognose für das dazwischen gelegene Gebiet zu stellen. Diese Ungesetzmässigkeit in bezug auf die Lagerung ist, wie bereits einleitend ausgeführt wurde, durch Glazialtektonik bedingt und ein Kennzeichen von Moränengebieten.

Eine weitere Eigenart dieser glazialen Sedimente ist ihre starke Vorbelastung durch das einstige Gletschereis. Auf

Grund der zahlreich ausgeführten Belastungsversuche schon vor Beginn der Bauausführung konnte diese durchgehende, auf Vorbelastung beruhende Kompaktheit der Sande und Lehme festgestellt werden, was sich für die zulässigen Fundamentpressungen selbstverständlich nur günstig auswirkte. Die Ergebnisse aller Belastungsversuche, die beidseits der Thur in verschiedenen Niveaus ausgeführt wurden und von denen einige auf den Abbildungen 66a bis 66d dargestellt

Grundwasserfassungen.



Oberkante steller Erosionsböschungen.



Rutschgebiete mit Abrissrand und Strauchwüsten.



Künstliche Dammschüttungen. (Die mit dem Strassen- und Brückenbau zusammenhängenden Schüttungen sind nicht dargestellt.)



Oberflächlicher, locker gelagerter Quelltuff.



Lockere Schwemmlehme von geringer Mächtigkeit.



Postglaziale Thurschotter der Talsohle.



«Niederterrassenschotter» des Bilgerfeldes.



Moränendecke der Würmeiszeit mit einzelnen Wällen und Drumlins.



Magere Grundmoräne der Risselszeit und interglaziale Feinsande mit starken glazialtektonischen Schichtstörungen, intensiv vorbelastet.

sind, deuten darauf hin, dass jene Moränenlehme eine sehr starke Vorbelastung erlitten haben, welche durch die geologische Geschichte, die einstige eiszeitliche Gletscherüberlagerung, ihre Erklärung findet. Als Folge der Entlastung und Auflockerung durch nacheiszeitliche Erosion und Verwitterung macht sich aber an der Oberfläche eine sekundäre Reduktion der Wirkung dieser Vorbelastung geltend.

Wo magere Moränenlehme unterhalb des Wasserspiegels geprüft wurden, verhielten sie sich gegenüber Wasser wie grundbruchgefährliche Schluffe, obschon sie, oberflächlich besehen, einen kompakten Lehm vortäuschen mochten; unter Wasserzutritt konnten sie rasch quellen, lockerten sich dabei stark auf und neigten bei Strömungsdrücken zu hydraulischem Grundbruch (Abb. 64).

Bauerfahrungen

1. Die Brücke im Seelenstall konnte mit beiden Widerlagern wie auch mit dem Mittelpfeiler sehr flach auf Kies des Niederterrassenschotter fundiert werden, der sich im Süden nur bescheiden, im Norden wegen erhöhten Lehmgehaltes etwas stärker zusammendrücken liess. Irgendwelche Schwierigkeiten geologischer Art wurden nicht angetroffen. Das bei der Sondierung im Bahneinschnitt erbohrte artesischen Wasser wurde im Bohrloch gefasst und am Ausfliessen verhindert. Eine Be-

einträchtigung des Grundwassers durch die Bauarbeiten wurde nicht festgestellt.

2. Die grosse Materialschüttung des Strassendamms zwischen Seelenstallbrücke und Widerlager Süd kam auf Moränenlehm über wassergesättigten Feinsand zu liegen. Eine grosszügige Entwässerung, kombiniert mit einem durchlässigen Kiessporn, sollte die Stabilität trotz der grossen Auflast gewährleisten, welche Massnahmen sich bis heute bewährt haben.



Abb. 64 Baugrube Pfeiler III. Grundbrucherscheinungen im sehr mageren, sandigen Moränenlehm an der Topfschneide bei offener Wasserhaltung.

Bei der Bauausführung des Widerlagers Süd bildete die Wasserhaltung in den inkohärenten, grundbruchgefährlichen Sanden ein heikles Problem. Dass sich dabei die oberflächlichsten Schichten, die ursprünglich stark vorbelastet waren, beträchtlich auflockerten, war kaum zu umgehen. Als Folge dieser sekundären Auflockerung und der bedeutenden Dammlast weist das Endwiderlager Süd die bisher grösste Setzung aller Foundationselemente auf, nämlich rund 5 bis 6 cm.

3. Beim Pfeiler I waren 1954 aus Zeitmangel überhaupt keine Sondierungen ausgeführt worden. Dafür wurden im Mai 1956 dort zwei Sondierbohrungen abgeteuft, die, obschon sie nur 20 m voneinander entfernt waren, vollständig verschiedene Bodenprofile lieferten: Die östliche Sondierung Nr. 8 zeigte durchgehend Kies von meist nur geringem Lehmgehalt, die westliche Sondierung Nr. 7 dagegen eine ganz unruhige Wechsellagerung von Sand- und Lehmschichten. Der Topf Ost des Pfeilers I konnte demzufolge auf Kies fundiert werden; der Topf West dagegen musste auf Moränenlehm mit Einlagerungen von Feinsandschichten gestellt werden, die kennzeichnenderweise nicht horizontal, sondern fast vertikal gelagert sind, als Folge der schon wiederholt genannten Glazialtektonik; die Abbildungen 60 und 62 zeigen Details aus dieser Baugrube. Die Fundationskote liegt oberhalb des Grundwasserspiegels; beide Baugruben blieben vollständig trocken; eine Quellung unter Wasseraufnahme mit anschliessender Auflockerung konnte deshalb vermieden werden, und demzufolge zeigt dieser Pfeiler, ungeachtet der sehr ungleichen, heterogenen Fundationsunterlage, die geringsten Setzungen aller Fundamente, nämlich nur 3 bis 5 mm.

4. Beim Pfeiler II wurde der rezente, sehr durchlässige, nicht vorbelastete und daher locker gelagerte Thurkies durchfahren und darunter magerer Moränenlehm, teilweise mit Schlamm sand wechsellagernd, angetroffen, der als Fundamentunterlage dienen musste. Trotz der nicht sehr bedeuten-

den Fundationstiefe von nur etwa 8,5 m u.T. war die eiszeitliche Vorbelastung in dieser Tiefe noch so weitgehend vorhanden, dass die spätere Belastung durch den Brückenpfeiler nur die geringe Setzung von rund 2 cm verursachte. Dieses überraschend günstige Ergebnis ist zweifellos auch dem Fundationsverfahren mittels Caissons gutzuschreiben, dank welchem ein stärkeres Quellen des mageren Moränenlechmes vermieden werden konnte.

5. Beim Pfeiler III, der zeitlich vor dem Pfeiler II fundiert wurde, mussten vorerst schwach lehmiger Feinsand und magerer Lehm durchfahren werden. Auf Grund unserer früheren Belastungsversuche hätte in diesem Material wie andernorts eine hohe Vorbelastung und entsprechende Kompaktheit erwartet werden können. Solange aber in offener Baugrube ausgehoben wurde, liessen sich Grundbrucherscheinungen in den Töpfen, wie sie in Abbildung 64 ersichtlich sind, nicht unterbinden, was zwangsläufig zu einer Auflockerung des sandig-lehmigen Moränenmaterials führte.

Als später mit Caissons der weitere Aushub besser gelang, wurde auf Kote 350,5 m auf der Sohle innerhalb des Caissons eine Reihe von Belastungsversuchen ausgeführt (Abb. 65), bei denen der Caisson selber als Gegengewicht diente. Diese Belastungsversuche, die auf Abbildung 66d als Kurven 6, 7 und 8 dargestellt sind, zeigten einheitlich einen dermassen geringen Zusammendrückenmodul, dass eine so lockere Lagerung unmöglich als primär vorhanden und bis in grosse Tiefe reichend angenommen werden durfte; vielmehr schien es sich um eine sekundäre, durch die Wasserhaltung hervorgerufene Auflockerung nur der obersten Bodenpartien zu handeln. Auf Grund der ungünstigen Ergebnisse der Belastungsversuche im Caisson auf dieser Kote wurde beschlossen, noch 1 m tiefer auszuheben. In der Folge gelang es dann offensichtlich, die aufgelockerte Partie sorgfältig zu entfernen, so dass die Fundamente auf den ungestörten, kompakten, schwach lehmigen Feinsand gestellt werden konnten. Für die Zweckmässigkeit dieser Massnahme und ihre einwandfreie

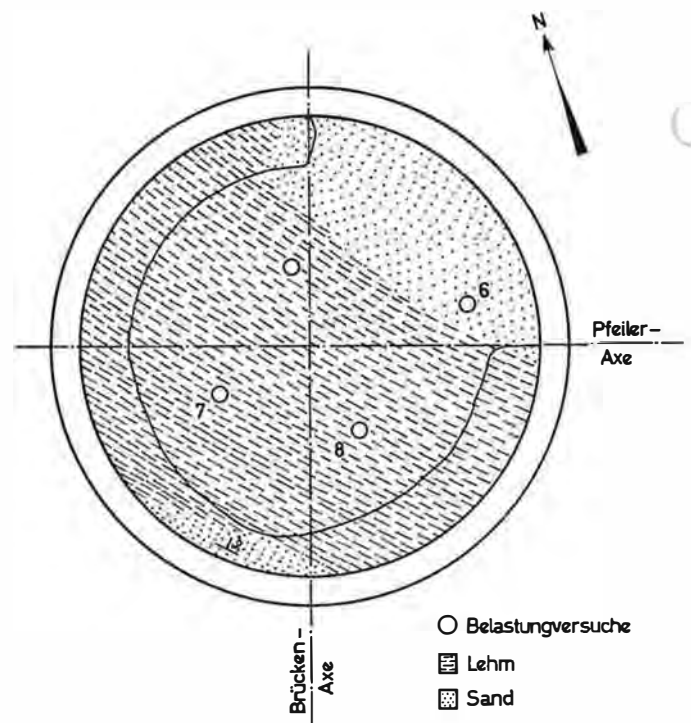


Abb. 65 Lageskizze der Belastungsversuche der Abbildung 66d im Caisson von Pfeiler III, Topf Ost, bei einer Aushubsohle auf Kote 350.50 m.

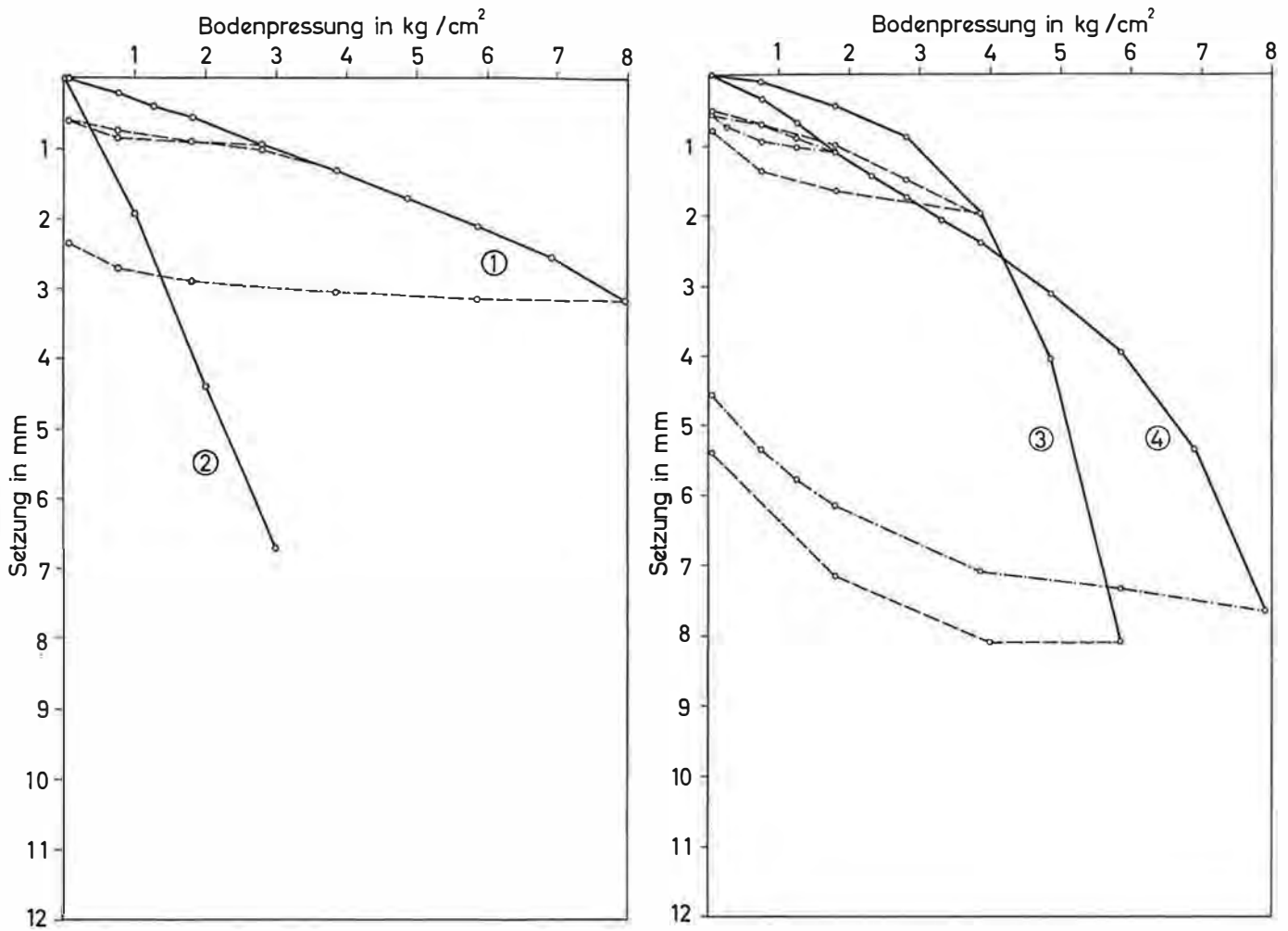


Abb. 66 Ausgewählte Beispiele der Belastungsversuche mit Lastplatten von 1000 cm² Fläche.

a) Auswirkung der Vorbelastung (Kurve 1) und der sekundären oberflächlichen Auflockerung in einer Baugrube (Kurve 2) in magerem Moränenlehm ähnlicher, geringer Plastizität. Kurve 1 im Sondierschacht 2 am rechten Thurrufer, Kote 357.94 m, M_E -Werte 1150-590 kg/cm². Kurve 2 in der Baugrube des Widerlagers Nord, Kote etwa 370.40 m, M_E -Werte 186-153 kg/cm².

b) Einfluss der Tiefenlage im fetten Moränenlehm im Sondierschacht 1 am linken Thurrufer. Kurve 3 auf Kote 360.75 m, etwa 1,5 m unter Schichtobergrenze, M_E -Werte 1040-90 kg/cm². Kurve 4 auf Kote 358.75 m, etwa 3,5 m unter Schichtobergrenze, M_E -Werte 795-162 kg/cm².

Ausführung spricht die seither gemessene sehr geringe Setzung des Pfeilers von nur 15 bis 19 mm.

6. Das Widerlager Nord kam ebenfalls in eine stark glazialtektonisch gestörte Serie von Moränenlehm in Wechsellagerung mit sandigen und kiesigen Schichten zu liegen, was wie andernorts eine geologisch uneinheitliche Unterlage des Fundamentes bedingte. Auch in dieser Baugrube wurden Belastungsversuche vor dem Einbringen des Sohlenbetons ausgeführt, deren Ergebnisse ebenfalls auf oberflächliche Auflockerung als Folge der Entlastung und des Wasserzutrittes schließen liessen. Das endgültige Bauwerk zeigte jedoch derart geringe Setzungen, nämlich nur rund 14 mm, dass daraus geschlossen werden darf, diese Auflockerung sei eine sehr oberflächliche geblieben und habe die Vorbelastung des tieferen Untergrundes nicht nennenswert zu stören vermocht.

Zusammenfassend können wir festhalten: Eine Fundation der Weinlandbrücke auf Fels kam nicht in Frage. Alle Fundamente mussten auf Moränenmaterial gestellt werden, das ungewöhnlich starke glazialtektonische Schichtstörungen aufweist. Eine unangenehme Folge dieser intensiven Lagerungsstörungen war die Erscheinung, dass zahlreiche Fundamente nicht auf eine petrographisch einheitliche Schicht gestellt werden konnten, sondern dass steil stehende, verbogene oder verschuppte Schichtgrenzen quer unter den Fundamentsohlen durchziehen. Die Vorbelastung durch die einstige Eisüberdeckung ist aber glücklicherweise sehr ausgeprägt. Zudem gelang es bei der Bauausführung, sie so weitgehend zu erhalten, dass sekundäre Auflockerungen, wo solche überhaupt auftraten, auf die obersten Partien der Baugruben beschränkt blieben, wodurch sich die Fundamentsetzungen in überraschend bescheidenem Rahmen hielten.

