

Der Baugrund des schweizerischen Mittelandes

Autor(en): **Moos, A. von**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **71 (1953)**

Heft 50

PDF erstellt am: **26.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-60681>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Der Baugrund des schweizerischen Mittellandes

DK 551:624.15 (494)

Von Dr. A. VON MOOS, Geologe, Privatdozent, Versuchsanstalt für Wasserbau und Erdbau an der Eidg. Techn. Hochschule Zürich

Vortrag, gehalten in englischer Sprache, am Dritten Internationalen Kongress für Erdbaumechanik und Foundationstechnik, Schweiz 1953

Die Bilder, die nicht im Text stehen, sind auf den Tafeln 44/45

I. Einführung

Wer als allseitig interessierter Besucher ein erstes Mal ein Land bereist, hat den Wunsch, nicht nur über die Kultur, sondern auch über die Natur des Gastlandes etwas zu vernehmen. Zweck der nachfolgenden Ausführungen soll es deshalb sein, den Kongressteilnehmern des Dritten Internationalen Kongresses für Erdbaumechanik und Foundationstechnik einen gedrängten Ueberblick der Geologie der Schweiz zu geben, und zwar, da es sich um einen Kongress von Bauingenieuren und technischen Geologen handelt, vom Gesichtspunkte der Geotechnik aus. Deshalb wird nachfolgend erst kurz auf den geologischen Bau der drei natürlichen Landschaften der Schweiz (Bild 1) und dann vor allem auf geotechnische Probleme der Lockergesteine, das eigentliche Arbeitsgebiet des Kongresses, eingegangen. Am Schlusse werden einige allgemeine Gesichtspunkte erläutert.

II. Die Festgesteine der drei Hauptlandschaften

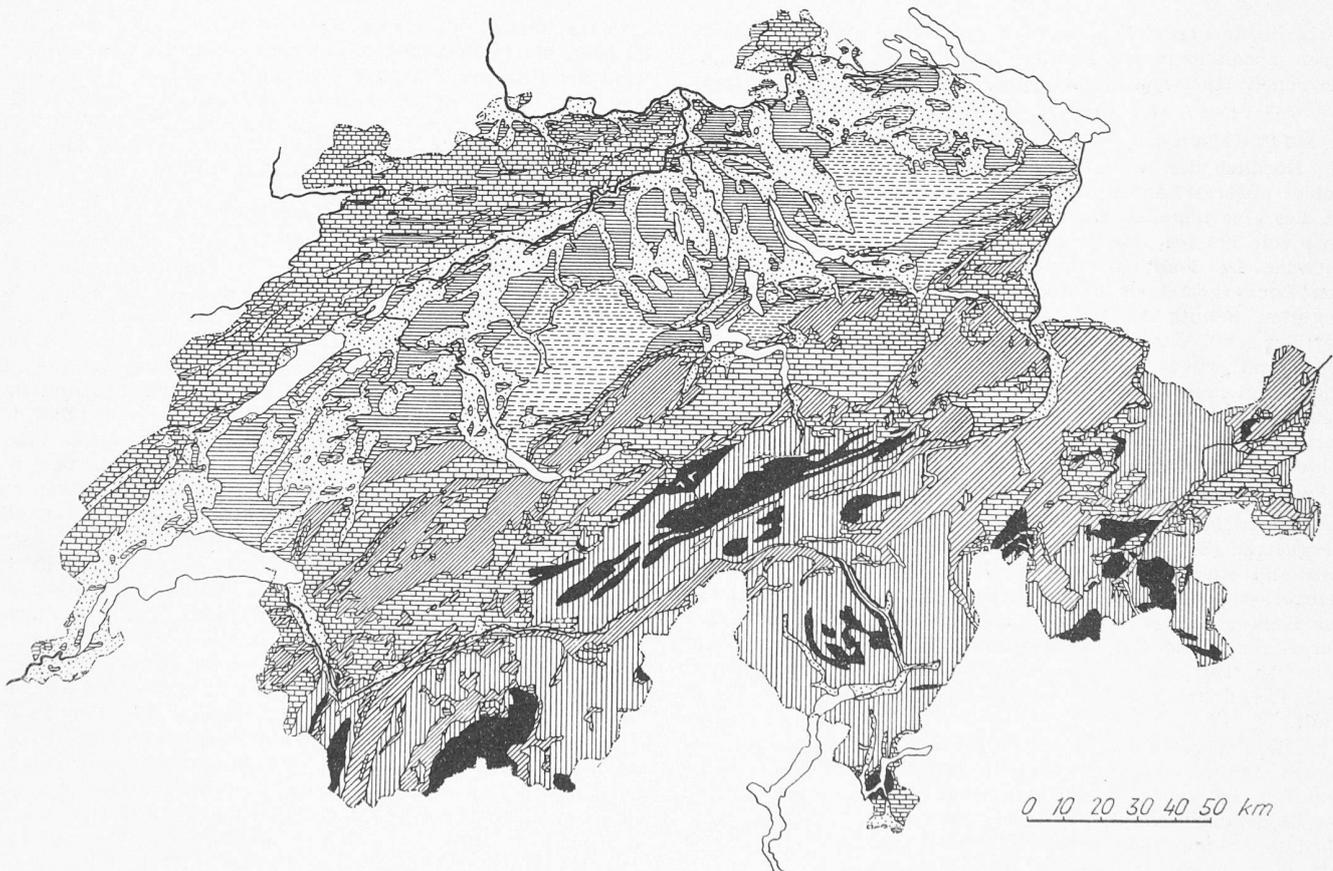
A. Alpen

Das Rückgrat der Schweiz bilden die Alpen, die flächenmässig fast zwei Drittel des Landes einnehmen und in der Dufourspitze im Monte-Rosa-Gebiet mit 4634 m ihren höchsten Punkt erreichen. Ihr Kern wird aus langgestreckten

kristallinen Gesteinszonen gebildet. Diese sog. Zentralmassive besitzen einen fächerförmigen Bau und bestehen aus älteren Gneisen und Glimmerschiefern. In diese lagigen Gesteine drangen zur Karbonzeit massige Granite ein, und über diesen ganzen kristallinen Komplex lagerten sich anschliessend diskordant jüngere Sedimente ab (Bild 2).

Gegen und über die Zentralmassive wurden, nach der heutigen Auffassung, in der Tertiärzeit verschiedene Gesteinsdecken geschoben. Diese bestehen einerseits aus Sedimentgesteinen von permischem bis tertiärem Alter, d. h. aus Kalcken bis Marmoren, Dolomiten, Tonschiefern, Sandsteinen, Konglomeraten usw. Je nach Beanspruchung und Lage sind diese mehr oder weniger metamorph. Andererseits finden wir ältere kristalline Gesteine, wie Gneise, Glimmerschiefer und Amphibolite sowie jüngere, z. T. wieder metamorphe Intrusiva.

Als Folge einer komplexen tektonischen Geschichte und eines häufigen Wechsels der Sedimentation finden sich in den Alpen oft auf die kürzeste Distanz die verschiedensten Festgesteine. Immerhin dominieren nördlich der kristallinen Zentralmassive zur Hauptsache Kalke, Kalkschiefer, Tonschiefer, Sandsteine und Konglomerate, d. h. wenig verän-



- Vorwiegend massige kristalline Gesteine wie Granit, Syenit, Diorit, Granitgneis, Porphyr.
- Vorwiegend schieferige kristalline Gesteine wie Gneis, Glimmerschiefer, Amphibolit, Grünschiefer, Serpentin.
- Kalkstein, Mergelkalk, Dolomit, Marmor.
- Tonschiefer, Mergelschiefer, Kalkglimmerschiefer mit Einlagerungen von festen Sandkalken, Sandsteinen, Quarziten, Breccien und Konglomeraten.
- Mergel und schwach verfestigte Sandsteine.
- Grobe, schwach verfestigte Konglomerate.(Nagelfluh)
- Vorwiegend Lockergesteine wie Kies, Sand, Ton, Moräne
- Seen

Bild 2. Verbreitung der wichtigsten Festgesteine in der Schweiz. Nach Schweiz. Mittelschulatlas

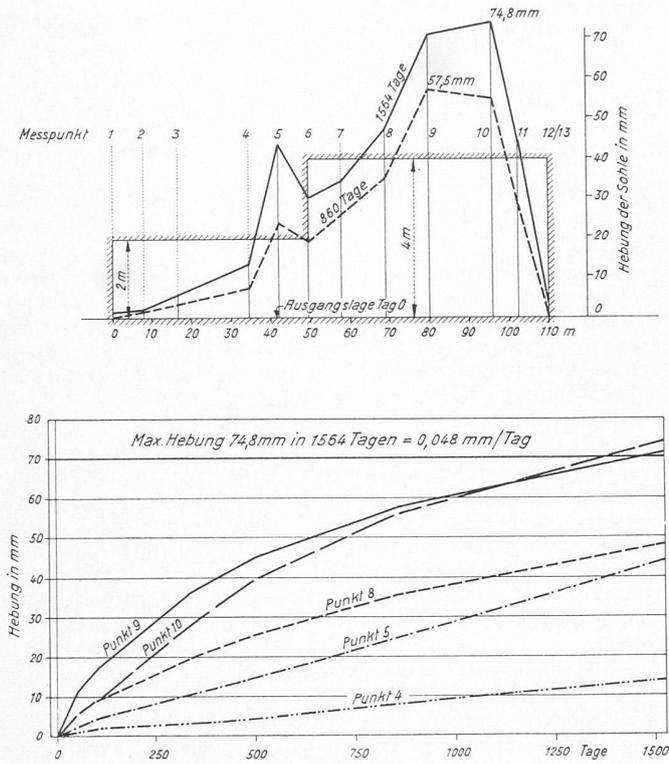


Bild 4. Hebungen der Sohle der Luftschutzanlage Leonhardsplatz Zürich, nach A. von Moos, 1949.

derte Sedimentgesteine, die man generell als nördliche Kalkalpen zusammenfasst. Südlich der Zentralmasse dagegen herrschen Gneise, Glimmerschiefer, Grüngesteine, Marmore vor.

B. Mittelland

Nördlich der Alpen schliesst sich das dichtest besiedelte Gebiet unseres Landes an, das schweizerische Mittelland. Es ist dies eine hügelige Hochfläche mit einer mittleren Höhenlage von 500 bis 700 m, die eine Breite von 40 bis 50 km aufweist. Der Felsgrund des Mittellandes, der allerdings meist von Lockergesteinen überdeckt ist, besteht aus dem verfestigten Schutt des werdenden Alpengebirges, der in der Tertiärzeit in das in Senkung begriffene Alpenvorland geschwemmt wurde. Die inzwischen zu Mergeln, Sandsteinen und Konglomeraten verfestigten Gesteine sind im zentralen Gebiet des Mittellandes sehr flach gelagert; in den Randpartien treten Faltungen, am Alpenrand auch An- und Aufschiebungen (Bild 3) auf.

C. Jura

Nordwestlich des Mittellandes folgen teils langgezogene Bergketten (800 bis 1680 m ü. M.) mit trennenden Talmulden, teils plateauartige Erhebungen, die als Juragebirge zusammengefasst werden. Der Felsgrund des Juragebirges besteht aus Kalken, Mergeln, seltener aus Sandsteinen und Gips der Perm- bis Kreidezeit, dazu treten Sandsteine, Mergel und Tone der Tertiärzeit. Diese Festgesteine sind teils gefaltet, teils längs Bruchflächen zu tafelförmigen Erhebungen verstellt.

Die Festgesteine der Alpen weisen mit Ausnahme gewisser tektonisch beanspruchter Zonen Festigkeitseigenschaften auf, die nur mehr am Rande des Interessegebietes der Bodenmechanik liegen. Dagegen nehmen gewisse vorglaziale Ablagerungen des Mittellandes und des Juragebirges infolge ihrer erst teilweisen Diagenese eine Zwischenstellung zwischen Lockergesteinen und Festgesteinen ein. So kennt man sowohl im Mittelland als auch im Juragebirge Tunnel- und Stollenbauten, in denen die Mergel nach dem Felsaushub infolge Entlastung zu quellen beginnen und zu Zerstörungen der Kunstbauten geführt haben. Bild 4 gibt einen Anhaltspunkt über den zeitlichen Verlauf solcher Hebungen, die in dem 15 m breiten und 4 m hohen Luftschutzstollen Leonhardsplatz in Zürich im Laufe von $4\frac{1}{4}$ Jahren eingetreten sind. Diese Anlage liegt in horizontal gelagerten mergeligen Sandsteinen und Mergeln des Mittellandes und besitzt eine

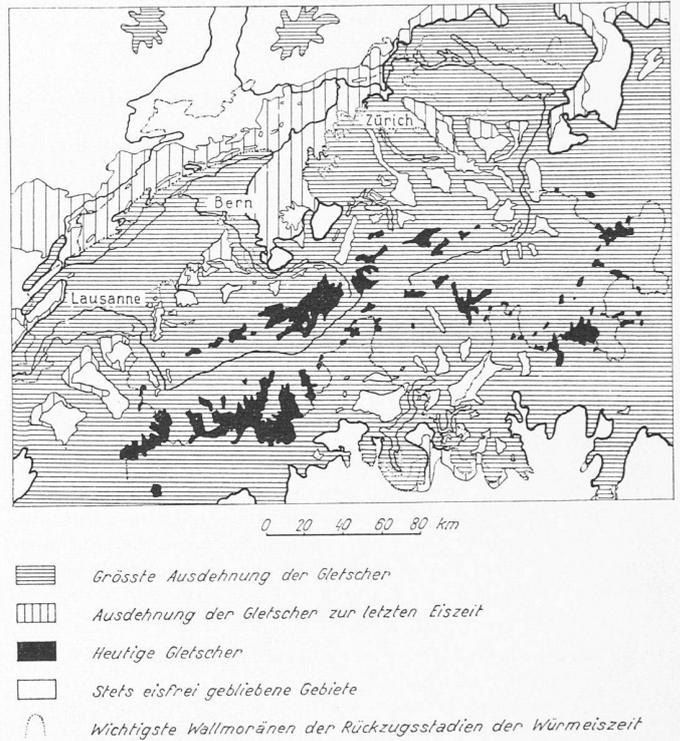


Bild 5. Verbreitung der Gletscher in der Schweiz zur Eiszeit. Nach Schweiz. Mittelschulatlas.

mittlere Gesteinsüberlagerung von 35 m. Die maximale Hebung, die in 1564 Tagen 74,8 mm erreichte, liegt im Zentrum des Raumes und nimmt wegen der Einspannung gegen den Rand auf Null ab. Bei dem starken Wechsel der Gesteinszusammensetzung konnte leider nicht festgestellt werden, ob das beim Quellen aufgenommene Wasser aus dem Innern der Felsmasse oder von aussen zutrat.

III. Die Lockergesteine in der Schweiz

A. Eiszeitliche Ablagerungen

Die ausschlaggebende Zeit für die Bildung der Lockergesteine in unserem Lande war die Eiszeit. Als Folge von Temperatursenkungen und vermehrten Niederschlägen, z. T. bedingt durch das Emporheben der Alpen zum Hochgebirge, füllten zu mehreren Malen ausgedehnte Gletscher die Alpentäler. Sie drangen aus den Alpen in das Mittelland und selbst in und über das Juragebirge hinaus vor (Bild 5). Während in den älteren Eiszeiten die Gletscher als mächtige, zusammenhängende Eisschilder vor den Alpen sich ausdehnten, haben sich in der letzten Eiszeit die Gletschermassen auf einzelne Talgletscher mit deutlicher seitlicher Begrenzung konzentriert.

Charakteristisch für diese ehemals vergletscherten Gebiete sind tiefe, schmale Rinnen und Becken im Fels, die durch die Schmelzwasserflüsse und durch das Eis gearbeitet und später meist wieder durch Lockergesteine zugeeckt worden sind. Bekannt ist etwa die Katastrophe beim Bau des Lötschbergtunnels am 24. Juli 1908, bei welchem der Tunnel beim Vortrieb ganz unerwartet aus dem Fels in die erst dadurch mit Sicherheit bekannt gewordene diluviale und alluviale Auffüllung des Gasterntales vordrang, die sich in den Tunnel ergoss und zur Aufgabe bzw. Umleitung des Tunnels führte (Bild 6). Die in den 40iger Jahren durchgeführten Sondierungen für das projektierte Urserenkraftwerk zeigten, dass die Erbauer des Gotthardtunnels hart an einer ähnlichen Katastrophe vorbeigegangen sind. Schon die seismische Untersuchung, die im Jahre 1941/42 durchgeführt wurde, wies auf eine starke Auskolkung unter Andermatt hin. Bohrungen, die 1944 aus einer Nische in der Nachbarschaft der sog. Druckstelle des Gotthardtunnels bei km 2,8 vertikal nach oben getrieben wurden, stiessen bereits 40 m über Schwellenhöhe (1121) überraschend aus dem Fels in wasserführende Sand- und Geröllschichten (Bild 6). Die Gletscher hatten somit unter Andermatt (1444) eine rund 280 m tiefe Mulde ausgeschürft, die randlich wohl von

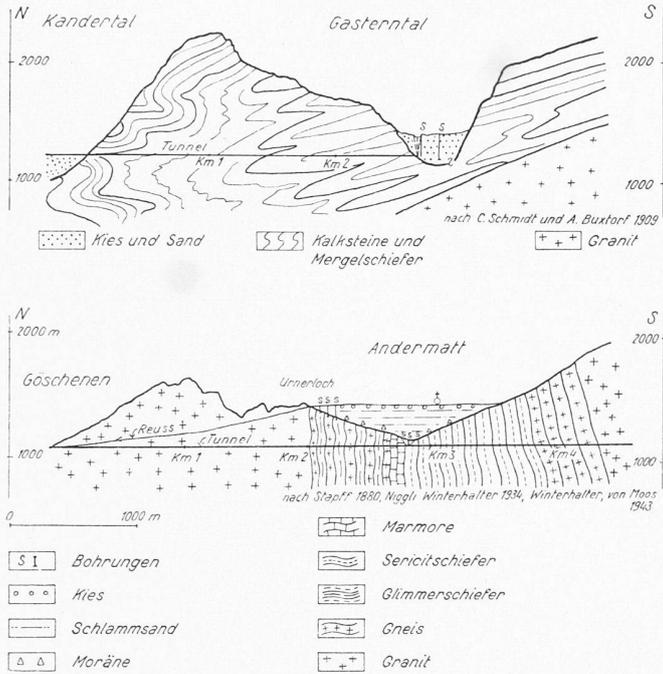


Bild 6. Schematische geologische Querprofile durch die Nordpartie von Lötschbergtunnel (oben) und Gotthardtunnel (unten)

Grundmoräne ausgekleistert, im übrigen aber von Schlamm- sand und Feinsand mit einer Deckschicht aus Kies-Sand erfüllt ist (Bild 7).

Nicht nur in den Alpen, sondern auch im Mittelland und im Juragebirge finden sich namentlich im Bereich der ehemaligen Gletscher durch Lockermaterial wieder aufgefüllte Täler. So verdankt der Rheinfall unterhalb Schaffhausen seine Entstehung der Tatsache, dass der nachglaziale Rhein die vor der letzten Eiszeit gebildete, aber mit Schutt ausgefüllte Flussrinne nicht mehr fand. Er schuf sich ein neues Bett, das teils im alten Schutt, teils im Fels abgeteufte wurde. Die rückwärtsschreitende Erosion hat dann dort, wo der Rhein heute aus dem Fels in den Schutt austritt, Halt gemacht und dort ist der Rheinfall mit einer Fallhöhe von 20 m entstanden (Bilder 8 und 9).

Die Hauptablagerungsform der Gletscher sind die Grundmoränen, die die unteren Hänge, oft auch die Talböden der Alpentäler und weite Gebiete des Mittellandes bedecken. Der Normaltyp der Grundmoränen sind magere Lehme bis Schlammssande, mit eckigem und gerundetem Schutt und Blöcken durchsetzt. Infolge ihrer Vorbelastung durch das Eis und der guten Raumerfüllung ergeben diese stark verdichteten Grundmoränen einen vorzüglichen, setzungsunempfindlichen Baugrund, sofern man die oberste, durch Verwitterung und Frost gelockerte Zone vermeidet. Sowohl beim Hühnermattdamm des Eitzelwerkes als auch beim Damm Castiletto des Juliawerkes Marmorera wurde in weitgehendem Masse Grundmoränenmaterial für den Kern der Dämme aus der unmittelbaren Nähe verwendet (Bild 10). Als Illustration der dichten Lagerung der Grundmoränen mögen die daraus gebildeten sog. Erdpyramiden dienen, die häufig in den Alpen zu finden sind. Einzelne Blöcke schützen das darunter befindliche, leicht bindige Moränenmaterial, das über dem Grundwasserspiegel und dem Kapillarsaum liegt, während längerer Zeit vor dem Auswaschen durch Regen.

Wesentlich inhomogener und im allgemeinen grobkörniger sind die Wallmoränen, d. h. vor allem die Seiten- und Endmoränen, die die Gletscher bildeten. Vom Blockhaufwerk zum Kies und Lehm finden sich hier alle Uebergänge. Solches Material wurde bei der Staumauer Cleuson und wird auch wieder bei derjenigen der Grande Dixence als Betonzuschlagstoff aus rezenten Seiten- und Endmoränen, die allerdings aus rein kristallinen Gebieten stammen, gewonnen (Bild 11).

Die Gletscherflüsse zerlegten das Moränenmaterial in seine Hauptkomponenten und deponierten diese Fraktionen längs ihren Abflusswegen. Sehr verbreitet sind deshalb in der Schweiz die Kies-Sandablagerungen. Da sie zu verschiedenen Zeiten gebildet wurden und dazwischen Erosionen eintraten,

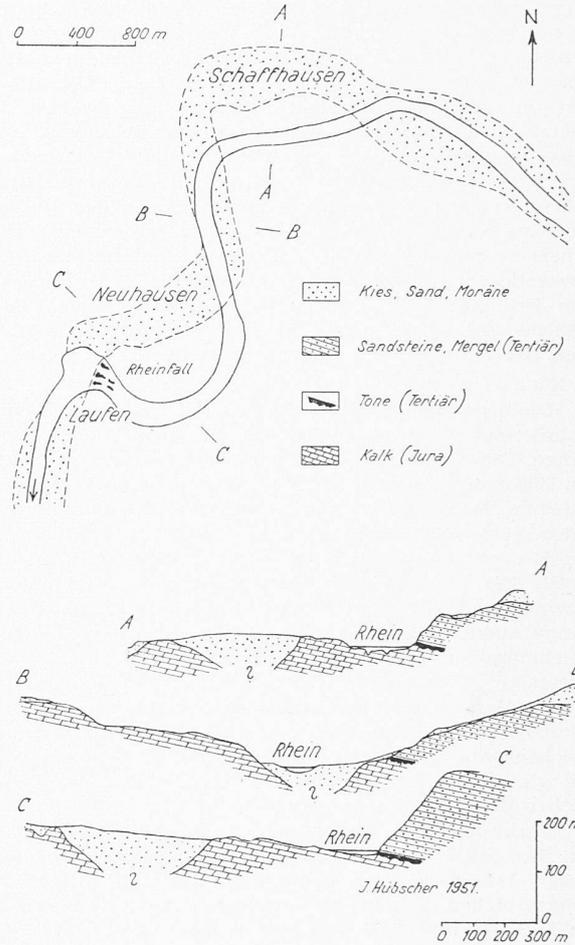


Bild 8. Generelle Situation und Profile im Gebiet des interglazialen und rezenten Rheintals bei Schaffhausen

finden sie sich oft in verschiedener Höhenlage übereinander oder ineinander verschachtelt vor. Sie bieten nicht nur gute Baugründe für Fundationen, sondern stellen ausserdem einen vorzüglichen Rohstoff sowohl als Unterbaumaterial für den Strassenbau als auch als Betonzuschlagstoff dar.

In den wassererfüllten Mulden und Becken, die die Gletscher hinterlassen hatten, lagerte sich die Trübe der Schmelzwasserströme in Form von Schlammssandlagen, von mageren Lehmen und Bändertonen ab. Häufig sind diese Lehme geklüftet. In einem solchen von zahlreichen lehm- erfüllten Becken erfüllten glazialen Talsystem, das heute nur noch von einem kleinen Fluss, der Glatt, durchflossen wird, wurde in den Jahren 1943 bis 1948 der Flughafen Kloten von



Bild 10. Grundmoräne im Abbau für das Kernmaterial des Erddammes Marmorera. Photo E. Brügger, VAWAG

Zürich erbaut. Im Untergrund der vor dem Bau sumpfigen Ebene dominieren im SE, dort wo der von Kloten herzutretende Fluss den ehemaligen See erreichte, die Kiessande. Diese grobkörnigen Schichten keilen gegen NW allmählich aus und werden durch Sandschichten und magere Lehme ersetzt, die meist von Schlammssanden überlagert werden. Lokal treten in Mulden und Altläufen der Glatt auch Torflager und Seekreiden auf. Auf Grund von Rammsondierungen, Bohrungen und Belastungsversuchen wurde der Untergrund der Piste teils ausgehoben, teils wurde der wegen der Frostsicherheit durchwegs auf 80 cm dimensionierte Unterbau aus gewaschenem Kiessand verstärkt. Wie die Kontrollmessungen vom Frühjahr 1953 ergeben haben, hat sich die Piste von 1948 bis 1953, d. h. in fünf Jahren, nur um 0,5 bis 1,7 cm je nach Kofferstärke (0,5 bis 4,5 m) gesetzt¹⁾.

B. Nacheiszeit

Die bis auf die heutigen Reste verschwundenen Eismassen hinterliessen in unserem Lande an vielen Orten sehr steile Hänge. Diese teils aus Fels, teils aus Lockergestein bestehenden Böschungen waren seit der Entblössung vom Eis in vermehrter Masse der Verwitterung und Erosion ausgesetzt; zudem hatten sie häufig auch ihre seitliche Abstützung durch das Eis verloren und lagen zum Absturz und Abtransport bereit. Die physikalische Verwitterung, in Verbindung mit Lawinen und Rufenen, führte in den Alpen am Fusse der Hänge zunächst einmal zu ausgedehnten Schutthängen mit gleichmässigen Böschungen. Sowohl beim Erddamm Marmorera²⁾ (Grünschiefer, Serpentin), als auch beim projektierten Damm der Göschenalp (Granit) werden solche Schutthalden für den Bau der Stützkörper abgebaut. In der Göschenalp haben ausgedehnte Sondierstollen und Schächte den gleichmässigen, lokal leicht geschichteten Charakter solcher Schutthalden dargelegt (Bild 12).

Verbreitet sind, namentlich in den Alpen, die Ueberreste von Bergstürzen. Die ausgedehnteste jüngste Ablagerung dieser Art findet sich in Goldau. Dort glitt nach niederschlagsreichen Jahren und besonders regnerischen Wochen am 2. September 1806 eine 100 m mächtige tertiäre Konglomeratbank von über 10 Mio m³ auf einer mit 20 % fallenden Schichtfläche aus bituminösen Mergeln zu Tal. Die Rutschung wurde vermutlich durch die Aufweichung unterlagernder Mergel provoziert, da das Wasser auf den zahlreichen Klüften in der Konglomeratbank relativ leicht auf die Mergelschichtfläche zutreten konnte (Bild 13). Ein wirres Haufwerk aus Blöcken erstreckt sich auf einer Fläche von über 6,5 km² und wird von den Verkehrswegen nur mühsam gekreuzt. Wie Beobachtungen in benachbarten Stollenbauten gezeigt

¹⁾ Siehe SBZ 1953, Nr. 35, S. 500 ff.

²⁾ Siehe SBZ 1953, Nr. 33, S. 470.

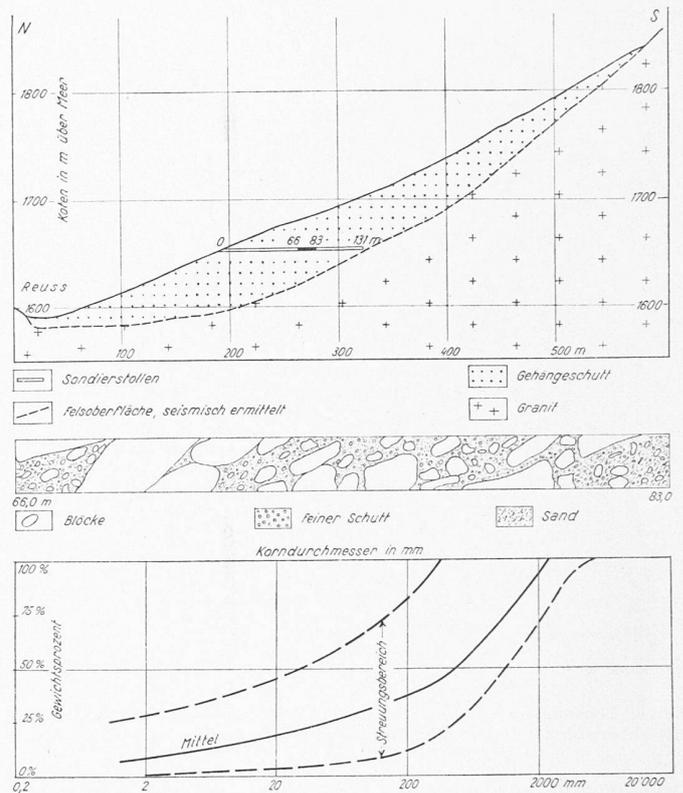


Bild 12. Gehängeschuttkegel Göschenalp, generelles geologisches Querprofil, Stollenaufnahme und Kornverteilung des Stollenmaterials. Nach Unterlagen der Elektrowatt AG.

haben, sind diese Mergel quellfähig und führen in den Stollen zu Sohlhebungen und Rissbildungen in der Betonauskleidung.

Während es sich in Goldau um Gleitungen ganzer Schichtpakete und um grobblockige Ablagerungen handelt, sind in anderen, namentlich kalkreichen Gebieten die Bergsturzmassen durch rollende und stürzende Bewegungen und infolge ihrer spröderen Ausbildung zu feinen Breccien aufgelöst worden, wofür das Bergsturzgebiet von Flims das schönste Beispiel in unserem Lande sein dürfte. Was in solchen feinen Bergsturzbreccien weiterhin geschehen kann, mag am Beispiel von Mitholz im Kandertal erläutert werden. Dort ereignete sich am 22. August 1945, 15.30 Uhr, am linken Hang des



Bild 11. Stirnmoräne bei Parfleuri im Abbau, als Betonzuschlagstoff für die Gewichtstamauer Grande Dixence. Photo Grande Dixence S. A.

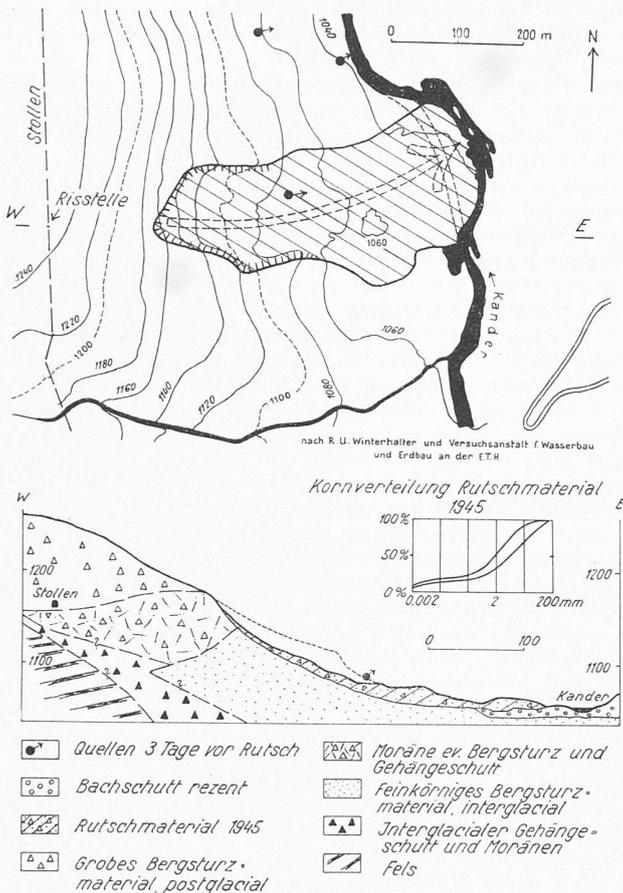


Bild 14. Situation und geologischer Querschnitt Rutsch Mitholz im Kandertal. Nach Unterlagen der Bernischen Kraftwerke

Kandertales gegenüber dem Tracé der Lötschbergbahn in einer relativ ruhigen Partie des Hanges ein mächtiger Murgang. Dieser wurde drei Tage vorher durch plötzlich austretende Quellen eingeleitet. In wenigen Sekunden floss eine feinkörnige, weiche, breiige Schuttmasse und mit ihr auch nachstürzende Blöcke und Moränenmaterial zu Tal. Das abgelagerte Material führte zu Verlagerungen des Flusses und zu Verheerungen (Bild 14). Dieser Hang besteht aus älteren, dicht gelagerten, schwer durchlässigen, kalkig-mergeligen Bergsturzmassen, sog. Rieseten, die in der Interglazialzeit abgelagert worden waren. Zwischen dem westlichen Felshang und dem Kamm der Bergsturzmasse bildete sich eine Tasche, die später mit durchlässigerem Moränen- und vor allem Gehängeschutt- und jüngerem Bergsturzmaterial aufgefüllt wurde; ähnliche Materialien lagerten sich auch am Hang an. Es muss angenommen werden, dass das feinkörnige Bergsturzmaterial schon seit Jahrzehnten von Westen her durchfeuchtet worden war, wobei die Mergelkalke eventuell quollen; beide Vorgänge schufen eine labile Situation. Das auslösende Moment brachten aber erst Wassermassen, die aus Rissen eines Druckstollens traten, der im linken Hang des Tales 170 m bergwärts im trockenen Gehängeschutt durchführt. Dadurch wurde die feinkörnige, ältere Bergsturzmasse ähnlich einem Erddamm über- und durchströmt und floss grundbruchähnlich ab (Bild 15).

Neben raschen und deshalb augenfälligen Materialverschiebungen

gen finden sich namentlich in den Alpen, daneben aber auch im Mittelland und im Jura ausgedehnte Zonen mit langsamen Kriechvorgängen, die diese Gebiete wirtschaftlich ausserordentlich belasten. So bewegt sich im Heinzenberg westlich von Thusis ein Gebiet von 40 km² mit zehn Dörfern langsam zu Tal³⁾. Der aus Tonschiefern bestehende Fels fällt mehr oder weniger parallel mit der Oberfläche ins Hinterrheintal ab. Nach den Vermessungen der Eidg. Landestopographie treten talwärtige Verschiebungen von 0,9 bis 6,5 cm, lokal sogar 10 bis 26 cm pro Jahr auf. Wie die Stollenbauten beim Juliakraftwerk Tiefenkaasel, die in einem tektonisch sehr ähnlichen Gebiete liegen, gezeigt haben, reichen solche z. T. tektonisch bedingte, verrutschte und versackte Zonen bis viele hundert Meter bergwärts.

Als zweites Beispiel für solche langsame Bewegungen sei ein mehr gleichförmiger, gletscherförmiger Rutsch unterhalb der Stosstrasse westlich Altstätten im st. gallischen Rheintal genannt. Dort bewegt sich seit 1931 ein Schuttstrom von 1970 m Länge und 115 m mittlerer Breite langsam zu Tal. Die Geschwindigkeit der nach seismischen Untersuchungen von Prof. A. Kreis in Chur bis 35 m mächtigen Masse schwankt je nach Lage zwischen 1 und 15 m pro Jahr. Das Material besteht aus durchnässtem und verwittertem Mergelschutt, in dem auch Sandstein- und Moränenmaterial enthalten ist. Die Neigung des «Stromes», der ein Volumen von rd. 2,5 Millionen Kubikmeter umfasst, variiert zwischen 30 % in der oberen Partie und 14 % in der unteren Partie. Der Rutsch liegt im Gebiete der steilstehenden subalpinen Tertiärablagerungen (Molasse). Oberhalb der Abbruchstelle dominieren nach Dr. W. Fisch (Zürich) Nagelfluh- und Sandsteinbänke, während darunter vorwiegend Mergel anstehen. Durch starke tektonische Beanspruchung (Aufschiebungen, Verwerfungen) und durch Hackenwurf, der sich infolge fortschreitender Erosion des Baches gebildet hat, ist die ganze Zone stark zerrüttet. Die Bewegung der lehmigen Schuttmasse wird durch den Wasserzutritt gefördert. Dieses tritt teils im Gebiet der letzten Nagelfluhrippe über den Mergeln, sehr wahrscheinlich auch oberflächlich aus einem Sumpf (Fahrtenbühlmoos) zu. Durch einen Entwässerungsstollen und durch Drainagen des Sumpfes wird versucht, die Bewegung zu mindern. Der Einbau einer grossen Sperre und die Stabilisierung durch Elektrosmose zum Schutze der unterliegenden Siedlung ist bis heute nicht über das Studium hinausgekommen (Bild 16).

Während der Eiszeit sind in unserem Lande durch die Arbeit von Wasser und Eis, unterstützt von tektonischen Vor-

³⁾ Siehe SBZ 1948, Nr. 37, S. 503.

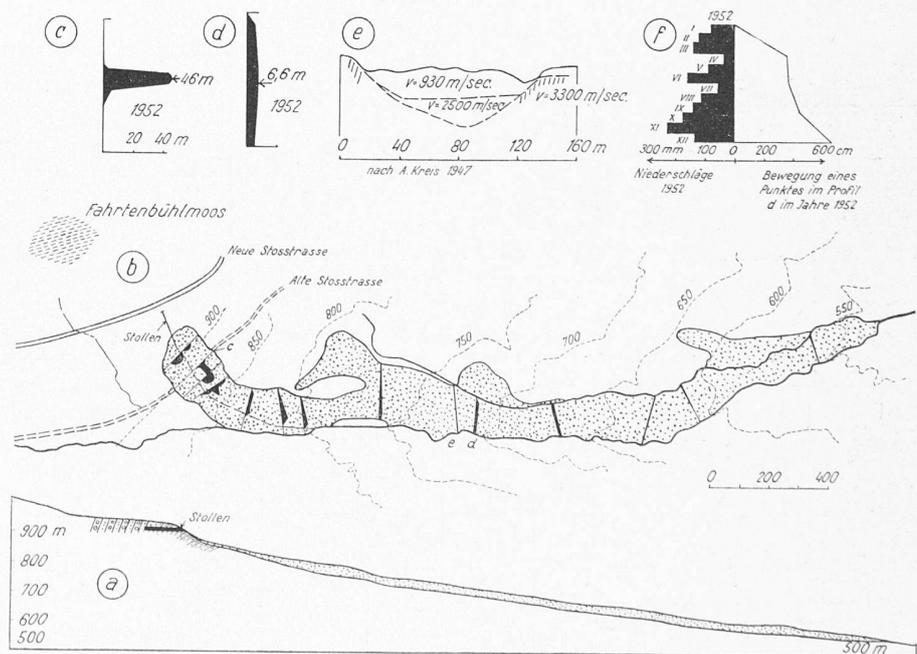


Bild 16. Stoss-Rutsch ob Altstätten; Situation, Längen- und Querprofil, Bewegungsverteilung und Abhängigkeit der Bewegung von den Niederschlägen. Nach Unterlagen Rheinbauleitung Rorschach und Kantonsingenieurbureau Appenzell AR.

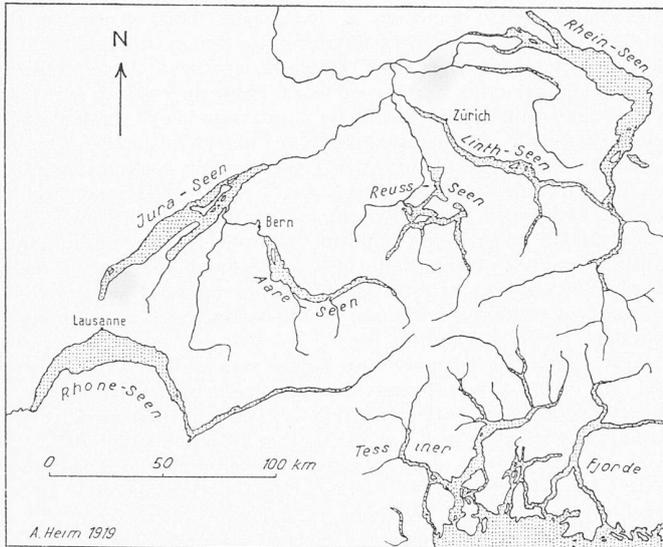


Bild 17. Talsysteme der Schweiz in der Interglazialzeit. Nach Albert Heim, 1919

gängen, ausgedehnte Talsysteme entstanden, die nach Zurückweichen des Eises zahlreiche Seen bildeten (Bild 17). Diese Seen werden nun, soweit sie nicht bereits während und am Schlusse der Eiszeit verlandet sind, in zunehmendem Masse aufgefüllt.

Zunächst setzen die Flüsse die Auflandung in den bestehenden breiten Talböden fort. Dort, wo bereits die eiszeitlichen Schmelzwasserströme kieserfüllte Talböden geschaffen hatten, lagerte sich bei Hochwassern neben dem Schutz auf den Kiesmassen die Trübe der Fluten ab. Deshalb finden wir in den meisten Mittelländtalern über dem basalen Kies eine bis mehrere Meter mächtige Lehm- bis Schlamm-sandzone, die oft entkalkt ist und organisches Material enthält oder auch, als Folge der Versumpfung, Torflagen trägt. Diese

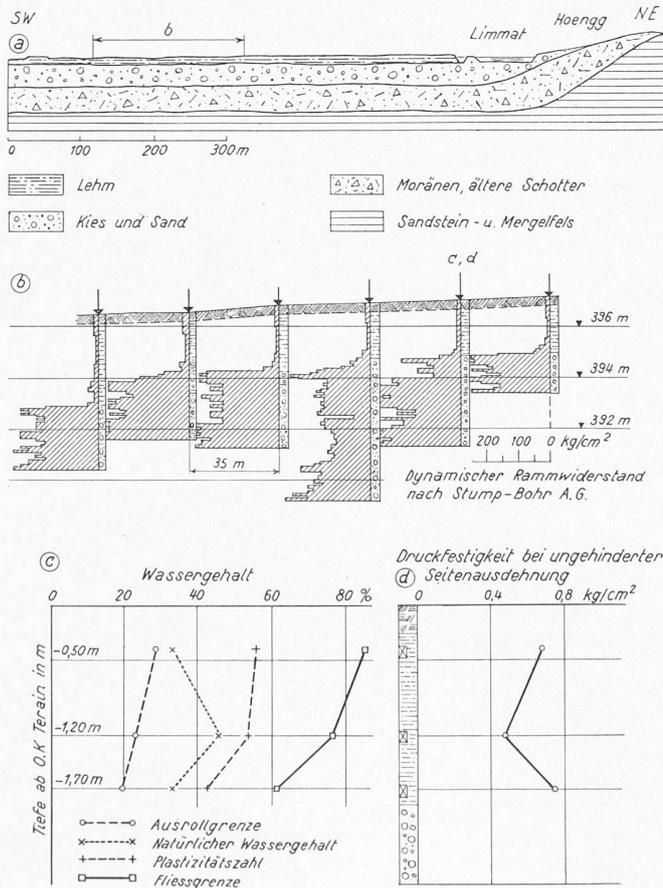


Bild 18. Generelles geologisches Querprofil (a), Sondier- (b) und Laboratoriumsresultate (c, d) aus dem Limmattal (südwestlich der Höngrgerbrücke) unterhalb Zürich

Lehme sind wenig konsolidiert, empfindlich gegen Belastung und trocken unter Rissbildung und Schwinderscheinungen im Sommer tiefgründig aus (Bild 18).

Der Hauptteil der Geschiebe- und Schwebestofffracht der Flüsse setzt sich aber in den Seen ab. Nach den Aufnahmen des Eidg. Amtes für Wasserwirtschaft fördern heute Aach und Rhein jährlich 3,6 Millionen Kubikmeter Material in den Bodensee. Dies entspricht einem Abtrag von 513 m³ pro km² Einzugsgebiet. Während nun aber das grobkörnige Material im heute gestreckten und verengten Bett des Rheins bis in den Bodensee gelangen kann (Bild 19), wurde dieses vor der Korrektur wesentlich früher, d. h. vor Erreichen des Sees auf dem Talboden abgelagert. Deshalb besteht der Talboden des st. gallisch-vorarlbergischen Rheintales nur in den aller-obersten Zonen und dort nur stellenweise aus Kieslagen, sonst dominieren sowohl an der Oberfläche als auch in der Tiefe magere Lehme und Schlamm-sande mit ausgedehnten Torflagen.

Die Seen werden aber nicht nur durch die Hauptflüsse aufgefüllt, sondern auch die verhältnismässig kleinen Seitenbäche schütten ihre Deltas an, die im allgemeinen grobkörnig, wenn auch wechsellagert gebaut sind. Mit Ausnahme der äussersten Zone, wo meistens übersteile Böschungen vorhanden sind, die durch künstliche Anschüttungen noch verstärkt werden, sind diese allgemein stabil. So steht z. B. bei Beckenried am Vierwaldstättersee eine schwere Zementsteinfabrik dicht am Rande eines solchen Deltas, bei dem seit über 60 Jahren nur in den alleräussersten Zonen Rutschungen aufgetreten sind (Bild 20).

Als Beispiel der Verlandung ausserhalb der grossen Flüsse mag zum Schlusse noch das untere Zürichseebecken, an dessen Ufer der Kongress stattfindet, erwähnt werden (Bilder 21 bis 23). Hinter den Endmoränen des Linth-Rheingletschers von Zürich haben sich seit der Eiszeit die Ufer der Seen teils durch die Anschwemmungen der lokalen Bäche, aber auch durch Ablagerung von Schlamm und Ausscheidungen von Kalk aus dem See verbreitert. Diese letzterwähnten Kalkausscheidungen führten zur Bildung der sog. See-kreide, d. h. einer Anhäufung von Kalziumkarbonat mit or-

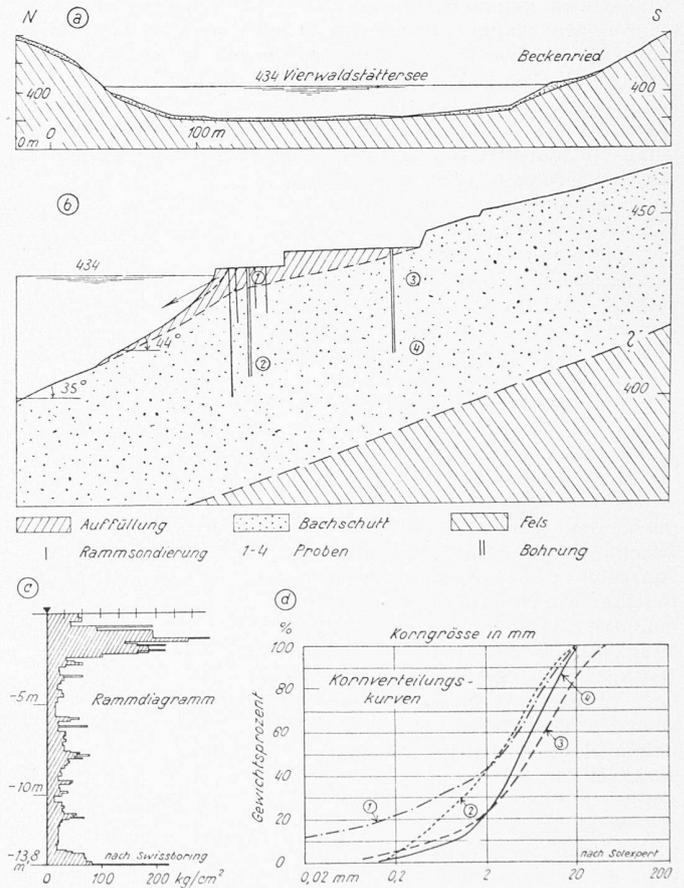


Bild 20. Zementsteinfabrik Beckenried, generelles geologisches Querprofil (a), Detailprofil (b), Rammsondierung (c) und Kornverteilung (d). Nach Unterlagen Jurazementfabrik Aarau

ganischem Material, die sich als Folge biogener Vorgänge im See absetzt und eine sehr lockere Struktur aufweist. Ueber dieser Seekreide und dem sie überlagernden Seeschlamm wurden seit etwa 100 Jahren in vermehrtem Masse künstliche Auffüllungen abgelagert. Das Normalprofil einer Bohrung am Seeufer zeigt deshalb, wie aus Bild 24 hervorgeht, über der festen Grundmoräne und den im unteren Teil festere, oben weicher werdenden Seebodenlehmen sehr weich gelagerte Seekreide und Seeschlamm, die dann oft wieder von etwas kompakteren, künstlichen Auffüllungen bedeckt werden. Im Gebiet der Seekreide werden die Bauten im allgemeinen, wie etwa beim Kongresshaus, auf Pfähle abgestellt, doch sind auch Plattenfundationen verbreitet. Indessen sind

diese Ufergebiete noch einem fortschreitenden Setzungs-vorgang unterworfen, der, wie aus Bild 24 hervorgeht, bei künstlichen Auffüllungen besonders in den ersten Jahren noch Zentimeter bis Dezimeter erreichen kann.

Zum Schlusse sollen noch kurz die Plastizitätseigenschaften einiger wichtiger bindiger Lockergesteine unseres Landes an Hand der Atterbergischen Konsistenzgrenzen hier zusammengefasst werden. In Bild 25 ist die übliche Anordnung nach der Fließgrenze in Funktion der Plastizitätszahl (Fließgrenze minus Ausrollgrenze) angegeben. Gleichzeitig ist die A-Linie nach Casagrande eingetragen, die die typischen anorganischen, bindigen Lockergesteine (oberhalb der Linie) von denen trennt, die organisches, bindiges Material enthalten. Die schweizerischen Grundmoränen und die Gehängelehme liegen deutlich über der A-Linie, wobei die Gehängelehme, entsprechend ihrer mannigfaltigen petrographischen Zusammensetzung und dem wechselnden Kornaufbau, einen wesentlich grösseren Streubereich besitzen als die Grundmoränen. Die Mehrzahl der Seekreiden, die untersucht wurden und die alle organische Streuung unter der A-Linie. Alle Seebodenlehme ohne erkennbare organische Gemengteile liegen über der A-Linie, die Mehrzahl derjenigen Proben, die erkennbare organische Gemengteile enthalten, in der Nähe bzw. unter dieser Linie. Aus einer Anzahl uns zur Verfügung stehender Proben errechnen sich die Mittelwerte der Tabelle 1.

Im Mittel sind die Plastizitätszahlen der schweizerischen Lockergesteine infolge ihres hohen Anteils an inaktiven mineralischen Bestandteilen nicht sehr hoch. Die Grundmoränen sind wie üblich mager, die z. T. etwas höheren Werte für Gehängelehm und Seebodenlehm, gehen auf Beimengungen von organischen Gemengteilen zurück.

IV. Schlussfolgerungen
In den vorstehenden Ausführungen hoffe ich gezeigt zu haben, dass die geologische Geschichte der Alpen und ihres Vorlandes einen starken Wechsel in der Zusammensetzung der Lockergesteine, sowohl in vertikaler als auch in horizontaler Hinsicht, bewirkt hat. Demzufolge kann man in unserem Lande selten ausgedehnte homogene Baugründe feststellen und nichts ist dabei so beständig wie der Wechsel.
Das starke Relief in Verbindung mit der glazialen Vorgeschichte bedingt das mengenmässige Vorwiegen der grobkörnigen, eis- und wassertransportierten Lockergesteine, die frei von organischen Gemengteilen sind. Moränen, Kies, Sand, Bergsturz- und Gehängeschutt sind deshalb vorherrschend und ergeben gut gelagerte stabile Baugründe. Erst in zweiter Linie stehen die feinkörnigen, durch Flüsse und in Seen in den Talböden gebildeten Ablagerungen, die auch Beimengungen von organischem Material enthalten können. Diese Hochwasserlehme, Seelehme, Seekreiden, Torflagen sind oft wenig konsolidiert und ergeben Setzungs- und Frostprobleme; auch Stabilitätsfragen sind hier akut. An dritter Stelle müssen feinkörnige, an den Hängen gebildete Massen, wie Gehängelehme, lehmige Rutsch-, Sackungs- sowie Verwitterungsmassen genannt werden, bei denen Neigung zu Rutschungen und zu

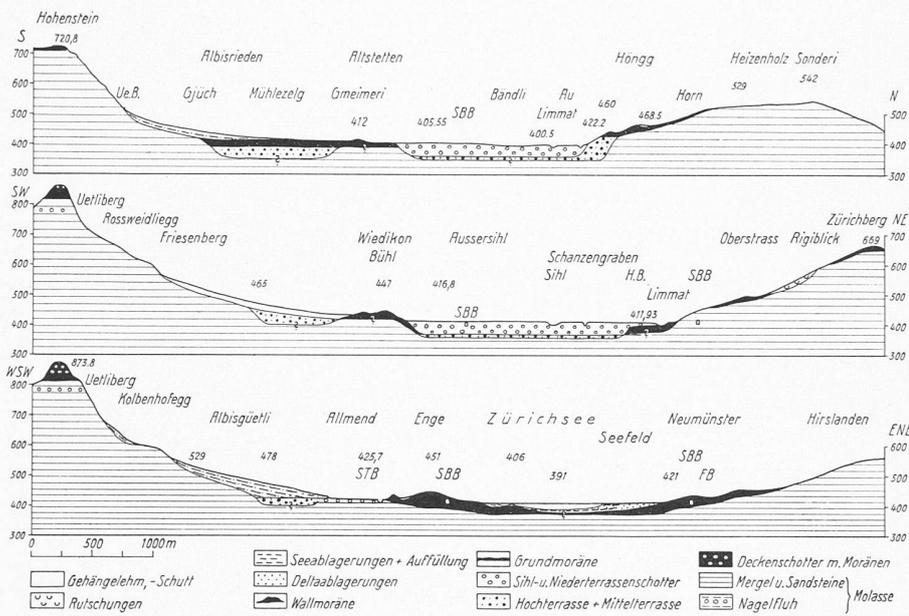


Bild 21. Geologische Querschnitte durch die Stadt Zürich nach A. von Moos, 1948

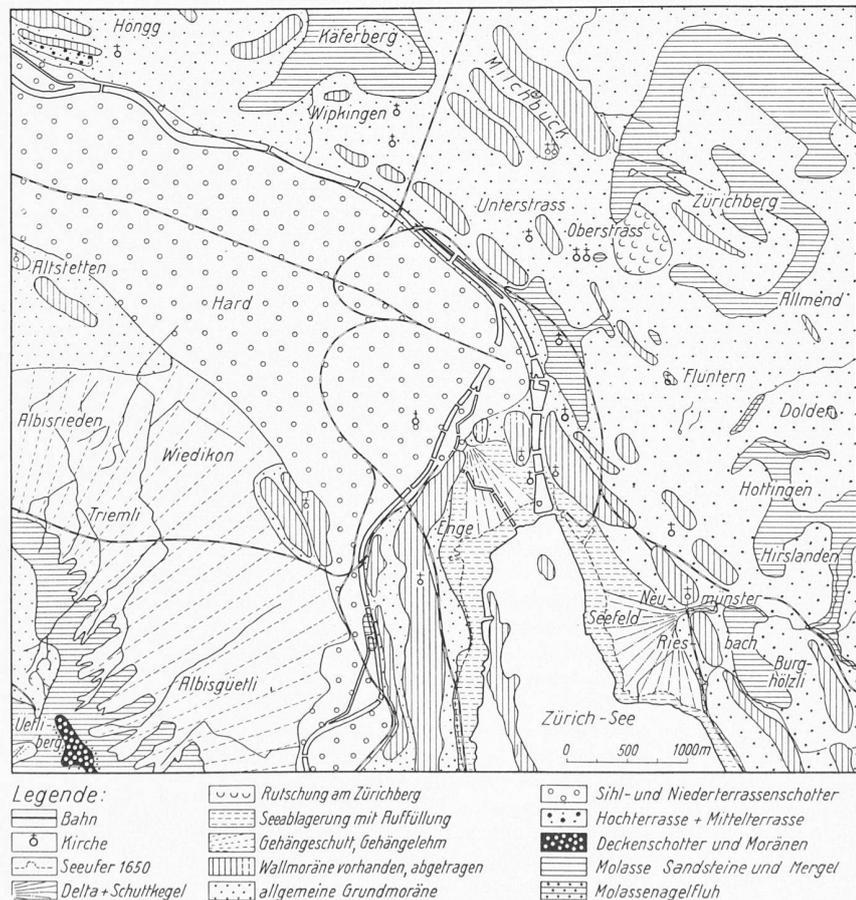


Bild 22. Geologische Karte der Stadt Zürich nach A. von Moos, 1948

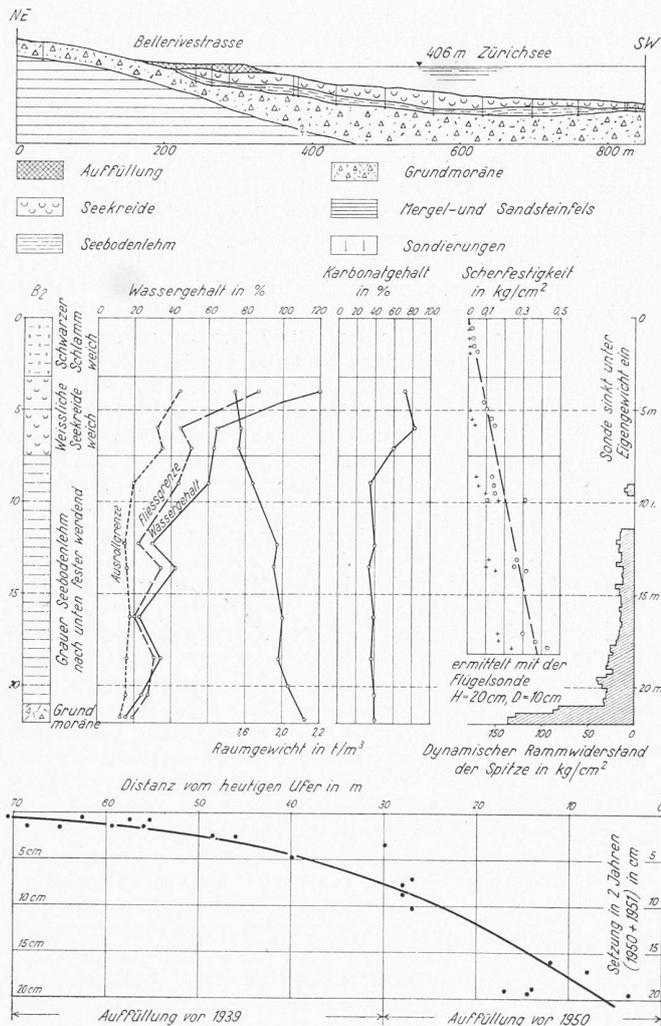


Bild 24. Genereller geologischer Querschnitt, Bohrprofile, Resultate der Laboratoriums- und Feldversuche, sowie Setzungsbeobachtungen am Ufer des Zürichsees bei Tiefenbrunnen. Nach Unterlagen Wasserversorgung und Tiefbauamt Zürich.

weiträumigen Kriecherscheinungen vorherrscht. Dagegen fehlen unter den Lockergesteinen der Schweiz vollständig die marinen, die vulkanischen und weitgehend auch die äolischen und die tiefgründigen Verwitterungsböden.

Die Anwesenheit dieser Baugründe, die man als «glazio-alpine Vergesellschaftung» bezeichnen könnte, hat in geotechnischer Hinsicht gewisse Folgen. Vorerst bedingt der häufige Wechsel, dass bei bautechnischen Problemen die Ab-

Tabelle 1: Konsistenzgrenzen der bautechnisch wichtigsten Lockergesteine der Schweiz (nach A. von Moos 1950)

Material		Flie遡grenze %	Ausrollgrenze %	Plastizitätszahl %
Grundmoräne (94 Proben)	Max.	32,6	19,2	18,8
	Mittel	22,2	13,2	9,0
	Min.	15,4	8,0	3,5
Gehängelehm (105 Proben)	Max.	101,0	34,6	77,9
	Mittel	43,8	18,9	24,9
	Min.	23,8	12,4	6,0
Seebodenlehm (193 Proben)	Max.	158,8	90,0	91,8
	Mittel	46,0	25,5	20,5
	Min.	21,0	13,9	3,6
Seekreide (23 Proben)	Max.	106,1	81,8	69,3
	Mittel	66,9	37,1	29,8
	Min.	39,5	22,2	9,3

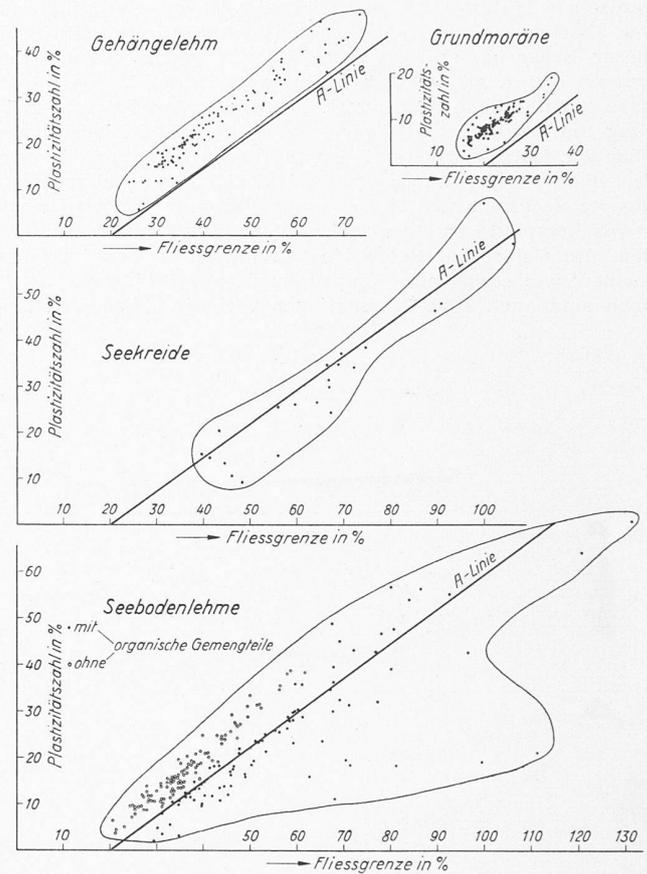


Bild 25. Plastizitätseigenschaften der wichtigsten schweizerischen Lockergesteine. Nach A. von Moos, 1950

klärung der regionalen geologischen Verhältnisse durch Sondierungen an erster Stelle steht und zusammen mit Feldversuchen zur Abklärung zahlreicher geotechnischer Probleme genügt. Diese Untersuchung liegt in der Schweiz weitgehend in den Händen der Geologen und der geologisch interessierten Ingenieure. Die häufige Ueberlagerung oder der Wechsel von feinkörnigen weich gelagerten mit grobkörnigen festgelagerten Lockergesteinen haben dabei die Entwicklung und die verbreitete Anwendung der dynamischen Rammsondierung als Sondiermethode bewirkt und gefördert, und den Geotechnikern ein wertvolles qualitatives Mittel zur Beurteilung des Baugrundes in die Hand gegeben.

Die Laboratoriumsuntersuchungen sind demgegenüber in unserem Lande einerseits speziellen praktischen Problemen (Erddamm-, Frostfragen usw.), andererseits der wissenschaftlichen Grundlagen-Forschung gewidmet. Diese letztgenannten geben die Basis für die Feldversuche, die bei allen praktischen Untersuchungen wegweisend sind.

Die schweizerischen Bauingenieure und Geologen stehen in der Regel in engem Kontakt mit den Alpen. Die Gefahren und die Katastrophen der Berge schärfen ihre Beobachtungsgabe und die Beobachtung in Verbindung mit der Erfahrung bilden die wichtigste Grundlage bei geotechnischen Arbeiten. Die komplizierte Zusammensetzung des Baugrundes mit dem Vorherrschen der grobkörnigen Böden gibt nicht allzu häufige Gelegenheit für die Anwendung der theoretischen Erdbaumechanik. Trotzdem sind unter diesen erschwerenden Bedingungen aus der Synthese beider Gesichtspunkte typisch schweizerische Lösungen entstanden, wobei ich vor allem die Schnee- und Lawinenforschung als ein Grenzgebiet der Erdbaumechanik erwähnen möchte. Die Aufgabe der Geotechniker in der Schweiz besteht heute vor allem darin, die mannigfaltigen und zahlreichen Beobachtungen und Erfahrungen mit der raschen Entwicklung der Erdbaumechanik in Einklang zu bringen. Es ist zu hoffen, dass dieser Kongress, der in unserem Gebirgslande stattfindet, diese Synthese fördern hilft.



Bild 3. Uebersicht über das Mittelland mit Alpen, gesehen vom Faltenjura (Weissenstein). Ultrarotaufnahme von H. Froebel, Zürich

DER BAUGRUND DES SCHWEIZERISCHEN MITTELLANDES

Von Dr. A. VON MOOS, Zürich



Bild 1. Relief der Schweiz nach C. Perron

Druck Jean Frey AG., Zürich



Bild 7. Blick auf das Becken von Andermatt aus Süd-Südwest. Photodienst Militärflugplatz Dübendorf

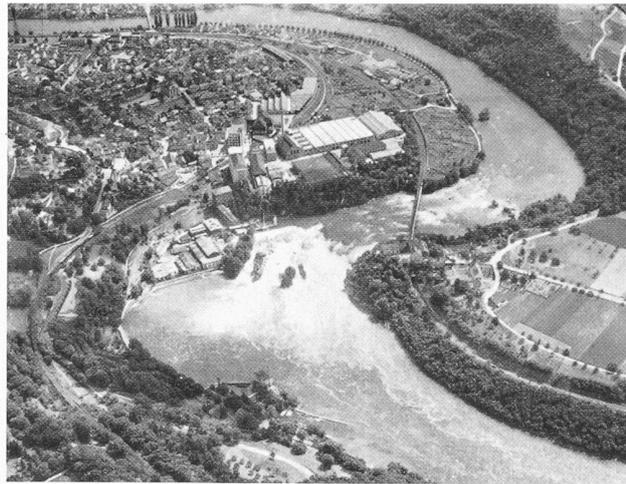


Bild 9. Flugaufnahme Rheinfall. Photodienst Militärflugplatz Dübendorf

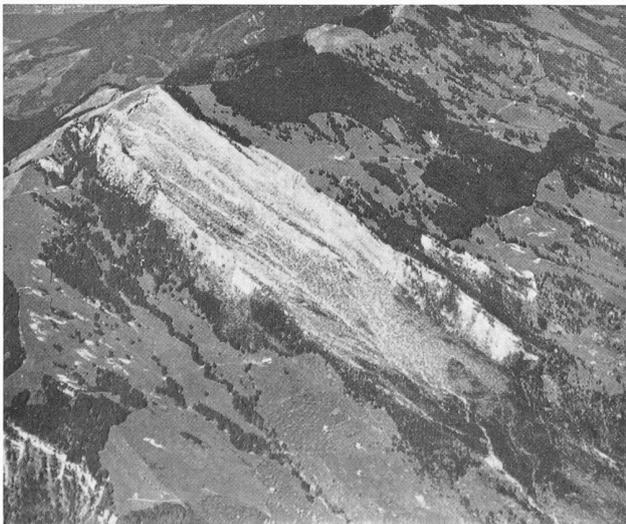


Bild 13. Flugaufnahme des Abrissgebietes des Bergsturzes von Goldau. Photodienst Militärflugplatz Kloten



Bild 15. Flugaufnahme Rutsch Mitholz im Kandertal. Photodienst Militärflugplatz Kloten



Bild 19. Flugaufnahme des Mündungsgebietes von Rhein und Aach in den Bodensee. Photodienst Militärflugplatz Dübendorf



Bild 23. Flugaufnahme des unteren Zürichseebeckens. Photodienst Militärflugplatz Kloten