Ingenieurgeologie in der Schweiz: Ursprung und Entwicklungsmöglichkeiten

Autor(en): **Schindler, Conrad**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **102 (1984)**

Heft 41

PDF erstellt am: **28.03.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-75546

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.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

tischen Verträglichkeit (EMV) oder Electromagnetic compatibility (EMC). Der vorliegende Aufsatz beschränkt sich auf Komponenten im Starkstromnetz, also auf leitungsgebundene Phänomene. Die Elektrizität ist aber überall; elektrische und magnetische Felder umgeben uns ständig.

Die Definitionen von Wirkung - Koppelung - Betroffensein sind ganz ähnlich wie die von Störer - Koppelung - Störopfer, nur viel allgemeiner.

Die Reihe der Nachbargebiete, die in dieses Schema passen, ist fast endlos: Radio und Fernsehen, Datenübertragung, Radar, industrielle Mikrowellen, nuklearer elektromagnetischer Puls (NEMP), bioelektrische Systeme, Elektrochemie, Elektromedizin, Radioaktivität, Lasertechnik, Astrophysik.

Die Erkenntnis, dass in der Natur gewisse Muster einander immer gleichen, ist fundamental. Sie ist der Ausfluss einer grandiosen Wissenschaft: der Physik in ihrer Anwendung durch die Elektrotechnik.

Adresse des Verfassers: *P. Zaruski*, dipl. El.-Ing. ETH/SIA/ASIC, Ingenieurbüro für elektr. Anlagen, Stapferstr. 19, 8006 Zürich

Ingenieurgeologie in der Schweiz

Ursprung und Entwicklungsmöglichkeiten

Von Conrad Schindler, Zürich

Ingenieurgeologie - was ist der Sinn dieses Wortes? Es erinnert an einen Januskopf mit einem technischen und einem naturwissenschaftlichen Gesicht. Sollen hier Leute wirken, welche eine Ausbildung sowohl als Ingenieur wie auch als Geologe durchlaufen haben und nun von zentraler Warte her alles überblicken? Oder überwiegt - je nach Betonung - die eine oder andere Seite des Wortes? Die heute international eingebürgerte Bezeichnung «Ingenieurgeologie» wirkt mehrdeutig und reizt zu Kontroversen.
Vorerst sei dieser Streit um Worte aber zugunsten des Versuchs verlassen, die Entwicklung und Problematik dieses Faches anhand weniger Beispiele aus der Ost- und Zentralschweiz zu skizzieren.

Bisherige Entwicklung

«Pfahlbauer»

Einführungsvorlesungen beginnen meist mit Goethe oder den alten Römern. Da aber Geologen mit ungewohnt langen Zeiträumen rechnen, sei der Anfang bei den ersten sesshaften Ackerbauern unseres Landes gesucht, also in der Jungsteinzeit. Damals wurden nahe den Seeufern Siedlungen errichtet, wobei im Laufe der Zeit eine gewaltige Zahl von Pfählen in den Seegrund eingerammt wurde. Bemerkenswert für unser Problem ist, dass die damaligen Siedler - die «Pfahlbauer» - offensichtlich bewusst einen ganz bestimmten Baugrund aufsuchten, nämlich Seekreide. In dieser lässt sich ein Pfahl zwar anfänglich fast mühelos eintreiben, doch wird er bald eine beschränkte Tragfähigkeit erreichen. Dies gilt auch für den häufigen Fall, dass kein hartgelagerter Untergrund erreicht wird, also ein «schwimmender» Pfahl vorliegt. Ein Vergleich der jungsteinzeitlichen und bronzezeitlichen Siedlungsplätze mit der geologischen Karte des Zürichsees [1, 2] zeigt, dass diese grösstenteils eindeutig auf Seekreide angelegt wurden. Wie fanden sie diese aber? Man muss annehmen, dass *Versuche* zu diesem Resultat führten, wobei insbesondere auch Fehlschläge wichtige Erfahrungen brachten, sofern sie berücksichtigt und ausgewertet wurden - eine Regel, welche für unser Fachgebiet bis heute ihre Geltung behalten hat.

Beweise für einen solchen Fehlschlag brachte die Grabung AKAD in Zürich-Seefeld, wobei eine aus der Pfyner Kultur (3500–4000 v. Chr.) stammende, umgekippte Pfahlkonstruktion entdeckt wurde (Bild 1) [1]. Vor fast 6000 Jahren hatten die damaligen Baumeister zwar Seekreide gefunden, doch waren die Pfähle sehr bald an der Grenze einer grobkörnigen, härteren Schicht steckengeblieben, in moränenähnlichen eiszeitlichen Seeablagerungen.

Die Erfahrung zeigte somit, dass der Pfahl mindestens so weit in den Seegrund eindringen musste, dass die seitliche Verspannung eine Verkippung verhindern konnte. Offensichtlich hat sich dieser Befund unter Kollegen rasch herumgesprochen, denn Spuren ähnlicher Missgeschicke sind am Zürichsee bisher nirgends mehr ausgegraben worden.

Entwicklung bis um 1800

Der Boden diente seit je nicht nur als Baugrund, sondern gewann als Lieferant von Rohstoffen immer grössere Bedeutung. Dabei forderten die meist mühseligen Transportbedingungen eine möglichst kurze Distanz zwischen Ausbeutungsstelle und Verbrauchsort, auch wenn die Qualität des Materials allenfalls zu wünschen übrig liess.

Genannt seien z.B. Lehm für die Töpferei oder Steine zum Herstellen von Werkzeugen, später auch zum Errichten von Gebäuden. Sehr bedeutsam wurde auch die Gewinnung und Verhüttung von Erzen für die Metallherstellung. Gerade die frühen Bergwerke - z.B. auch auf Silex oder Salz - oder die Steinbrüche boten schwierige Probleme des Abbaus, der Hangstabilität, aber auch der Absicherung von Hohlräumen gegen Einsturz. Es bildeten sich deshalb sehr früh Gruppen von Spezialisten, deren Tätigkeitsgebiet gegenüber heutigen Fachleuten noch sehr breit war, während ihre Hilfsmittel dagegen recht bescheiden blieben. Ihr Wissen beruhte zu einem grossen Teil auf Überlieferung und Erfahrung, war aber zudem von genauer Beobachtung, Intuition und nichtnaturwissenschaftlichen Praktiken begleitet, wie dies ein Bild aus dem Jahre 1557 zeigen mag (Bild 2). Bei der Erzsuche wurden zwar einerseits Sondierschächte abgeteuft und Handstücke untersucht, anderseits kam aber auch die Wünschelrute zum Einsatz. Dazu meinte der kritische Autor *Agricola* (1557): «Derhalben ein Bergkmann, dieweil er ein frommer ernstlicher Mann sein solle, gebraucht der zauber ruten in keinem Weg, denn er ist der natürlichen Dingen erfaren

Überarbeitete Fassung der Einführungsvorlesung an der ETH Zürich vom 7. Juni 1983

und weisst das ihm die wünschelruten, wie ein gablen gformiert, kein nutz seye.»

Bis weit in die Neuzeit wurden in zahllosen Materialgewinnungsstellen, sei es im Fels oder Lockergestein, wertvolle Erfahrungen gesammelt und von Generation zu Generation überliefert, weshalb es zum Beispiel möglich wurde, Städte wie Bern, Solothurn oder St. Gallen samt Prunkbauten weitgehend aus einheimischen Gesteinen zu erstellen. Dieses Wissen drohte infolge der Umstellung auf andere Baustoffe der Vergessenheit zu verfallen, ist in der Schweiz aber dank dem Lebenswerk von *F. de Quervain* teilweise gerettet und zudem wesentlich erweitert worden.

Spielte also der Boden als Baugrund und Rohstofflieferant seit je eine bedeutende Rolle, so wurde in unserem Lande dagegen lange Zeit nur selten versucht, naturgegebene Bedingungen zu ändern. Als Beispiele von Ausnahmen seien die Öffnung der Gotthardroute durch den Tunnel des Urner Lochs oder die Bewässerung von Trokkengebieten im Wallis durch oft äusserst kühn und exponiert erstellte Bissen genannt.

Wirklich massive Eingriffe setzten erst gegen 1800 ein, als die Natur- und Ingenieurwissenschaften eine Entwicklung begannen, die sich laufend beschleunigte. Als Beispiel sei die Sanierung von Linthebene und Walenseegebiet durch *Hans Conrad Escher von der Linth* genannt; sie gründet z.T. auf Vorarbeiten von *Tulla*. Eine kleine Textprobe aus dem «Offiziellen Notizenblatt, die Linthuntersuchung betreffend» [3], dürfte die dramatische Änderung unseres Lebensraums in den letzten 180 Jahren eindrücklich illustrieren: «Die Hebung des Strom-Bettes der Linth folgt, durch das ganze breite Thal hinab, dem Laufe desselben bis zu seinem Eintritt in den Zürich-See, und in dieser ganzen Länge werden die weiten Wiesengründe auf beyden Seiten überschwemmt. Auch der Schäniser Sumpf, in dem Umfang einer halben Quadrat-Stunde, ist eben daher entstanden ... Die Strassen von Wallenstadt und Wesen sind im Sommer nur noch für Schiffe brauchbar; die Überschwemmung fluthet in die Erdgeschosse der Häuser, und ersteigt schon da und dort die ersten Stockwerke, da dann im zurückgelassenen Schlamm die Sommerhitze verspestende Dünste entwickelt und eckelhafte Insekten erzeugt.» Damals also eine ungebändigte, oft feindselige Natur, ein Land, das seine Bewohner zeitweise nicht zu ernähren vermochte (gaben doch noch vor 130 Jahren einzelne Kantone ihren armen Mitbürgern bedeutende Reisebeiträge, nur um sie zur Auswanderung nach Amerika anzuspornen) - heute eine Gesellschaft des Überflusses, der Schutz der letzten Feuchtgebiete, die Anlage künstlicher Biotope. Hans Conrad Escher von der Linth vereinigte in seiner faszinierenden Persönlichkeit Ingenieur, Naturwissenschafter, Politiker und Künstler. Zeuge dafür ist einerseits die Verwirklichung des Linthwerks, anderseits die Sammlung grossartiger Landschaftsansichten, welche bereits mit dem Auge eines Geologen sah (Beispiel in G. Solar und J. Hösli, 1974 [4]). Seine Hilfsmittel wirken heute äusserst bescheiden, seine Arbeitsweise dagegen modern (Bild 3).

Entwicklung bis heute

Nach 1800 beginnen sich die geologischen Wissenschaften allmählich zu entfalten, dies aus zwei wichtigsten Wurzeln: Aus der Philosophie und an Theologie angelehnt einerseits, aus dem Bergbau oder dem Kontakt mit technisch-praktischen Problemen anderseits, wobei sich z.B. im Eisenbahnbau enge Kontakte zu den Ingenieuren ergaben. In der Schweiz war diese zweite Schule stark vertreten, ohne dass die damaligen Geologen mit ihren weitgestreuten Interessen aber in ein starres Schema einzuordnen wären.

Der Sohn des Initiators des Linthwerkes, *Arnold Escher von der Linth*, wirkte in Zürich als erster Professor der Geologie. Er publizierte 1871 die erste geologische Karte dieser damals noch sehr kleinen Stadt, dies interessanterweise im Werk «Die Wasserverhältnisse der Stadt Zürich und ihrer Umgebung», geschrieben gemeinsam mit Ingenieur *A. Bürkli*, dem späteren Erbauer der Quaianlagen [5].

Während der Hochblüte des Eisenbahnbaus erfuhren die Kenntnisse über Stratigraphie und insbesondere Tektonik eine gewaltige Bereicherung, dies besonders durch Beobachtungen in den Tunnels. Waren die meisten der hier aktiven Geologen an Hoch- und Mittelschulen tätig, so sei als Ausnahme *F.M. Stapff* erwähnt, welcher den Bau der Gotthardbahn begleitete. Die Strecke zwischen Erstfeld und Bellinzona stellte er 1885 in hervorragenden geologi-

Bild 1. Umgekippte Pfahlkonstruktion zwischen aufrechtstehenden Pfählen. An der Basis der Schächte grobe eiszeitliche Seeablagerungen, darüber Seekreide. Grabung AKAD im Seefeld Zürich (Foto Büro für Archäologie der Stadt Zürich)



Bild 2. Erzsuche. Holzschnitt aus G. Agricola: Vom Bergwerk; erste deutsche Fassung bei J. Froben, Basel 1557



schen Karten dar, deren Darstellung vorerst befremdlich erscheint, zieht er doch die im Anstehenden beobachteten Gesteinszonen quer über die Täler durch. Entgegen dem ersten Anschein wurde den Lockergesteinen trotzdem besondere Aufmerksamkeit gewidmet (sie erscheinen als Signaturen). Zudem wurden auch Gefahrenzonen wie Lawinenzüge, Steinschlaggebiete und von Überschwemmung bedrohte Gebiete herausgehoben. Diese Karten mit kombinierten Angaben über Geologie, Baugrund und Gefahrenzonen bleiben in verschiedenen Hinsichten bis heute einzigartig und wegweisend [6].

Arbeiten für die Nationalstrasse im Kanton Uri gaben mir öfters Gelegenheit, Linienführung und einzelne Bauwerke der Gotthardbahn aufgrund der heutigen detaillierten Kenntnisse über den Baugrund zu beurteilen. Erstaunlicherweise wurden damals - fast ohne Sondierungen - fast alle verborgenen, heimtückischen Problemgebiete wie z.B. schuttgefüllte alte Täler geschickt

Bild 3. Abrechnungen über das Linthwerk S. 280 und 282 (aus [3])

— 280 —

Uebertrag:	Fr.	754	. ₰
Gehülfen beym Nivelliren, Feldmessen, Ausstecken der Kanäle u. s. w.	″	419	9 4
Für Signale, Ausstekkungspfähle und Stangen, Zeichnungsmaterialien u. dergl.	″	134	9 3
Nelfeunkosten bey Vermessungen	″	74	6 7
Auf Rechnung eines Teodoliths von Stuttgard	″	160	. .
Ganzer Betrag der Unkosten für Vermessungen	Fr.	1543	6 3

— 282 —

Schiff und Geschirr.

Zwey kleine Linthschiffe	Fr.	31	4 6
Acht Holzschlägel	″	4	5 7
Ein Bickel	″	3	. 5
Eine Tragbären	″	2	. .
Breter	″	16	1 5
Für Seiler zum Schiff- und Steinziehen	″	86	1 .
Für Holz zu Brücken über den Molliserkanal zum Steinführen	″	146	3 .
Schmid-Arbeit für Geschirr-Ausbesserung	″	174	3 8
Wagner-Arbeit	″	28	2 9
Zimmermanns-Arbeit	″	18	9 4
Steinsprenger-Werkzeug und Ausbesserung desselben	″	262	5 4
Für allerley kleinen Werkzeug und Ausbesserung desselben	″	76	4 8
Betrag der Unkosten für Schiff und Geschirr,	Fr.	850	2 6

vermieden und einzelne Bauwerke auf den äussersten möglichen noch sichern Punkt abgestellt [7]. Dies spricht für sorgfältige Beobachtung und ein intuitives Erfassen des Gebirges gerade auch von seiten der Ingenieure.

Albert Heim publizierte während seines langen Lebens unter anderem genaue Beobachtungen und Analysen von Stürzen und Rutschen, welche sich damals ereigneten und teilweise vom Menschen mitverursacht waren, so der Bergsturz von Elm 1881 und die Rutschkatastrophe von Zug 1887. Zahlreich sind die damaligen Misserfolge beim Versuch, die Natur massiv zu beeinflussen - es war das Lehrgeld, welches beim tastenden Versuch zu zahlen war, immer kühnere Bauvorhaben zu verwirklichen. Bei ihrer Untersuchung schuf Albert Heim, oft in enger Zusammenarbeit mit Ingenieuren, Denkansätze in verschiedensten Richtungen, welche unter anderem auch für die Boden- und Felsmechanik wertvoll geworden sind. Als Beispiel multidisziplinärer Zusammenarbeit sei das Gutachten über die Rutschung von Zug genannt [8], aber auch das 1884 von ihm und Oberingenieur *R. Moser* erstellte Gutachten.

Damals, 3 Jahre *vor* der Katastrophe, hatten die Arbeiten an den Quaibauten im SE-Teil bereits begonnen. Vorerst wurden im Bereich der künftigen Mauer zwei Pfahlreihen in den weichen Seegrund gerammt, anschliessend ein Steindamm bis nahe an die Wasseroberfläche geschüttet, dann die Quaimauer aufgesetzt und schliesslich das ganze vom Land her hinterfüllt (Bild 4). Als sich südöstlich des späteren Einbruchs an Land Setzungen und Risse zeigten, wurden die beiden Experten gerufen. Sie schlugen folgendes Vorgehen für die künftigen Schüttungen vor: Verzicht auf eine Pfählung, statt dessen solle seewärts der Quaibauten dort Fussschüttungen erfolgen, wo der Seeboden flacher wird. Anschliessend solle in Etappen die Auffüllung einsetzen, stets von aussen (seeseits) gegen innen, bis die Höhe des Quais erreicht sei. Gleichzeitig sollten an Land umfassende Drainagearbeiten erfolgen. Zudem sei die Kubatur der Schüttung möglichst niedrig zu halten, was durch Rückverlegung der Quailinie und Erniedrigung der vorgesehenen Terrainhöhe zu erreichen sei.

Vorsichtig wurde hinzugefügt, dass bei diesem sehr schlechten Baugrund auch die empfohlene Bauweise keine unbedingte Sicherheit gewähre. So sei für den Bau der teuern Mauern das Abklingen der Setzungen und lokalen Abrutschungen abzuwarten - die klassische Sprache eines Gutachtens, dessen Empfehlungen aber auch aus heutiger Sicht zweckmässig waren und voraussichtlich die spätere Katastrophe verhindert hätten, wären sie befolgt worden (Bild 4). Dies alles wurde mit rudimentärer Kenntnis des Baugrundes und ohne Bodenmechanik geschrieben!

Selbstverständlich unterliefen Albert Heim auch zahlreiche Fehler. Zudem gestaltete sich seine Zusammenarbeit mit anderen Fachleuten nicht immer eben harmonisch, denn er konnte gegen andere Meinungen oft intolerant und aggressiv werden. Amüsant sind beispielsweise seine unpublizierten Kontroversen mit Ingenieur *Tschokke* zu lesen. Die beiden Professoren der ETH schlugen sich wortgewaltig und erbittert um die Frage, wie ein 1910 erneut in Bewegung geratenes Rutschgebiet zu sanieren sei (im Süden von Baden beim nordwestlichen Widerlager der SBB-Brücke über die Limmat). Der Geologe suchte das Heil allein in der Entwässerung, d.h. im weitern Ausbau der bereits bestehenden 300 m Drainagestollen, während Tschokke drei feste, tief unten im anstehenden Fels fundierte Sporen vorschlug, welche mit Entwässerungsmassnahmen zu kombinieren seien - ein Streit, wie er in Varianten auch heute möglich wäre. Beim Bauherrn gesiegt hat in diesem Falle der Ingenieur.

In der Zeit bis zum Beginn der langfristigen Hochkonjunktur der 60er und 70er Jahre wirkten bei der Lösung technischer Probleme weiterhin hauptsächlich die an Hoch- und Mittelschulen tätigen Geologen, wobei der Bau von Wasserkraftwerken von besonderer Bedeutung war. Leider gerieten dabei aber bei den meisten die Lockergesteine immer mehr in eine Aschenbrödelrolle und wurden oft - im Gegensatz zum «edlen Fels» - schlechthin als «Dreck» zusammengefasst. Rühmliche Ausnahmen wie etwa *Paul Niggli* bestätigen die Regel. So entwickelte sich denn die Bodenmechanik weitgehend ohne die Hilfe der geologischen Institute, was *A. von Moos* in seiner Antrittsvorlesung als Privatdozent bereits 1945 beklagte und hinzufügte, die Rolle des Geologen auf dem Bauplatz verliere immer mehr an Bedeutung.

Mit dem Bau der Autobahnen und einer überbordenden allgemeinen Bautätigkeit begann sich die Zahl der vorher seltenen privaten geologischen Büros rasch zu vermehren, und sie übernahmen immer anspruchsvollere Aufgaben. Heute beschäftigen sich in der Schweiz - teilweise auch im Ausland - rund 85 beratende Büros teilweise oder ganz mit der Lösung geotechnischer, geologischer oder hydrogeologischer Fragen.

Gleichzeitig begann der Kontakt zwischen Hochschulgeologie und Ingenieurwissenschaften in gefährlicher Weise zu schrumpfen, wobei es selbstverständlich auch Gegenkräfte gab wie z.B. das Wirken meines Vorgängers *E. dal Vesco*. Auf den Baustellen dagegen ergaben sich zahlreiche Kontakte zwischen Ingenieuren und beratenden Geologen, wobei sich infolge der divergierenden Ausbildung aber oft Verständigungsschwierigkeiten zeigten.

Fassen wir die skizzierte Entwicklung kurz zusammen: Der Mensch musste sich schon sehr früh mit Problemen des Baugrunds und der Rohstoffbeschaffung abgeben, wobei sich bald Gruppen von Spezialisten bildeten. Dabei kann aber noch nicht von eigentlichen Geologen oder Ingenieuren gesprochen werden. Mit zunehmenden Kenntnissen und wachsender Grösse der Aufgaben trat diese Aufgliederung etwa ab 1800 ein, wobei der Ingenieur das Bauwerk plante und gestaltete, der Geologe aber als Berater wirkte. Im Laufe der Zeit ergaben sich aus laufenden Beobachtungen und Erfahrungen gesicherte Kenntnisse und daraus der Versuch, diese auch theoretisch zu untermauern. Besonders in der zweiten Hälfte unseres Jahrhunderts folgte deshalb eine Zeit der immer engeren Spezialisierung innerhalb beider Berufsgruppen, welche zu zunehmenden Verständigungsschwierigkeiten, im Extrem sogar zum Abbrechen der Kontakte führte.

Aufgaben des Ingenieurgeologen

Wo stehen wir nun heute, welche Aufgaben hat der Ingenieurgeologe? In der Einleitung zu seiner zweibändigen «Ingenieurgeologie» schreibt *Ludwig Bendel* 1944 [9]: «Sicherlich sollte diesen Titel nur *der* Geologe führen, der von den Ingenieurwissenschaften den Grundbau, die Bodenmechanik und die Hydrologie ebenso beherrscht wie die Grundlagen und Verfahren der geophysikalischen Untergrundforschung, der selbständig die bodenphysikalischen Kennziffern bestimmen und ihre Bedeutung richtig einschätzen kann.» Beim Ingenieur verlangt er dagegen unter anderem die Fähigkeit zur selbständigen geologischen Kartierung und zur Konstruktion der zugehörigen Profile. Diese Forderungen entsprechen praktisch einer Doppelausbildung in beiden Berufen.

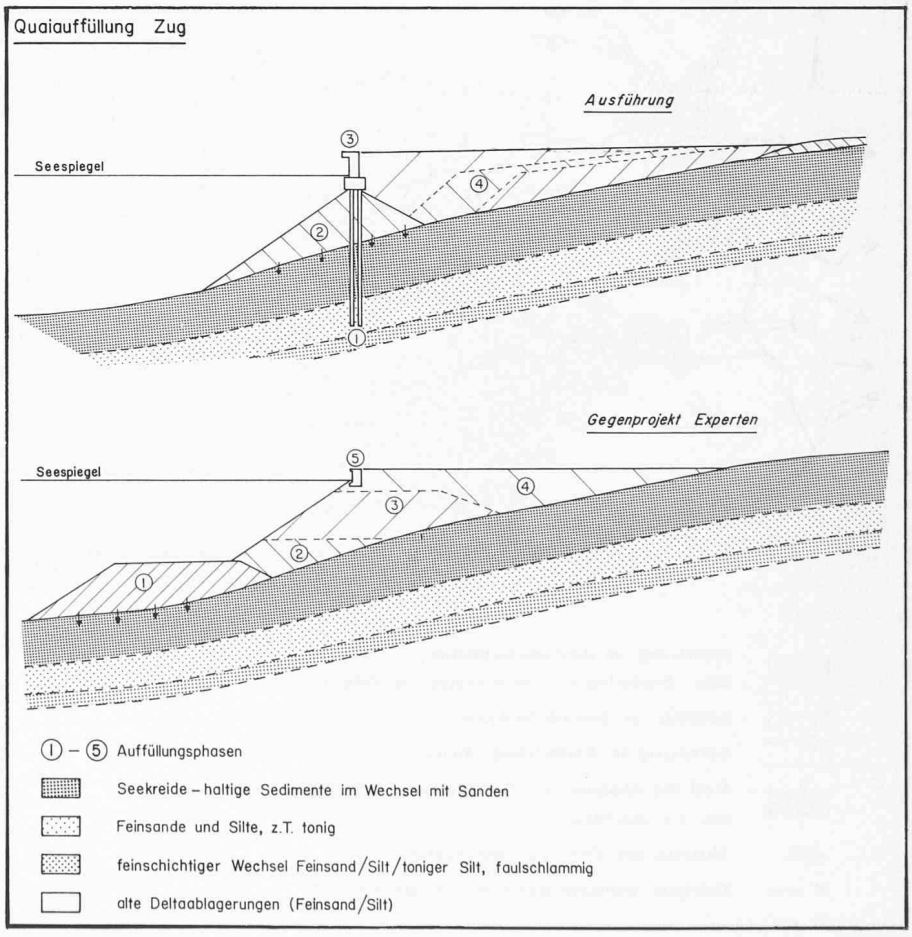
Angesichts der heutigen Flut von Wissen und Publikationen müssen wir wohl bescheidener sein, denn vielleicht kann ein Einzelner zwar Grundkenntnisse in all diesen Fachgebieten erwerben, beherrschen wird er sie kaum. Zu gross würde die Gefahr einer oberflächlichen, inkompetenten Behandlung der Probleme.

Entspricht somit der Ingenieurgeologe einem auf Grundbau, Boden- und Felsmechanik spezialisierten Ingenieur mit Grundkenntnissen in Geologie, wobei der bisher nicht anerkannte Name Geotechnik-Ingenieur im Raume schwebt? Oder handelt es sich bei ihm umgekehrt um einen Geologen oder Petrographen mit Grundkenntnissen in den entsprechenden Ingenieurfächern, welcher sich mit Ingenieuren verständigen und sie beraten kann? Diese zweite Deutung entspricht der Tatsache, dass ich dem Geologischen Institut angegliedert bin, aber auch der überwiegenden, wenn auch nicht unumstrittenen Meinung in der Schweiz wie in den meisten Ländern. Sie entspricht auch dem Umstand, dass der Name Ingenieurgeologie erstmals 1880 durch den englischen Geologen *W. Henry Penning* als Buchtitel [10] verwendet wird und sich an Geologen wendet.

An der ETH kann im Gegensatz zu vielen Ländern der Titel «Ingenieurgeologe» heute nicht erworben werden; eine Spezialisierung hat zur Hauptsache nach dem Diplom zu erfolgen. Allerdings - wird ein auf diese Weise ausgebildeter Geologe nicht allfällig überflüssig? Kann ihn der in Geotechnik ausgebildete Ingenieur nicht mehr als ersetzen, dies bei der heutigen Tendenz, alles in Kennwerte zu fassen, zu modellisieren und im Computer zu verarbeiten? Bleibt dem Geologen eine andere Möglichkeit, als die klassische Geologie mit ihren Annäherungen, ihrer Komplexität und ihren intuitiven Deutungen links liegen zu lassen und statt dessen den verzweifelten Versuch zu wagen, den Ingenieur auf seinem eigenen Spezialisierungsgebiet zu überholen?

Die meisten Kollegen mit praktischer Erfahrung im Grund- oder Untertagebau dürften mit mir davon überzeugt sein, dass dieser Denkweise ein fundamentales Missverständnis zugrunde liegt. Selbstverständlich wird der Ingenieur bestrebt sein, mit Materialkennwerten zu rechnen, ein Modell seines Baugrundes zu erstellen. Dabei kommt er aber nicht mit irgendwelchen Baustoffen mit vorhersehbaren Materialkonstanten in Kontakt wie etwa Stahl oder Beton, sondern mit der Natur - und diese ist von einer gradiosen, unberechenbaren Vielfalt, von Inhomogenität und Anisotropie geprägt. Diese Komplexität bringt auch dem erfahrenen Geologen z.B. im Tunnelbau oder

Bild 4. Quaiauffüllung Zug vor der Rutschkatastrophe von 1887, nahe dem Regierungsgebäude. Oben Ausführung, unten Gegenvorschlag der Experten A. Heim und R. Moser



bei Rutschungen immer wieder Überraschungen. Bei Bohrungen im Quartär werden selbst bei guter Kenntnis der lokalen Verhältnisse immer wieder kleine oder auch bedeutende Abweichungen von der Prognose auftreten. Wie schwierig wird unter diesen Umständen die Erfassung des Baugrunds in wenigen Kennzahlen, wie gross die Gefahr einer unzulässigen, verhängnisvollen Vereinfachung! *Leopold Müller,* einer der Pioniere der Felsmechanik, formulierte dies vor kurzem (1982) folgendermassen [11]: «In meinen eigenen, nunmehr fast 50 Berufsjahren habe ich viele und schwere Misserfolge auf dem Gebiet des Felsbaus gesehen, aber keinen, der durch eine ungenügende oder fehlerhafte Berechnung verursacht gewesen wäre. Alle gingen auf falsche Interpretation der geologischen Daten, auf unzutreffende Eingangswerte von Berechnungen oder auf Unverständnis der geologischen Gesamtsituation zurück.» Überdenkt man diese Aussage, so enthält sie unter anderem schwere Vorwürfe an die Geologen. Im Normalfall dürften sie bei den Vorabklärungen beteiligt gewesen sein, haben aber entweder Fehlprognosen gestellt oder konnten ihre Bedenken und Warnungen beim Ingenieur nicht durchsetzen, oft wohl nicht einmal verständlich machen.

Primär ist die Aufgabe des Ingenieurgeologen also darin zu suchen, die naturgegebenen Verhältnisse in ihrer ganzen Komplexität, d.h. auch dreidimensional, so gut wie möglich zu erfassen und zu interpretieren, dies aufgrund von Beobachtung, Kartierung und Sondierungen. Dieser Befund samt Schätzungen oder Messungen der Bodenkennwerte sind daraufhin mit dem Ingenieur zu diskutieren. Dabei sollten nicht nur der Zustand zu Beginn, die baulichen Eingriffe mit ihren geotechnischen Rahmenbedingungen und der Endzustand besprochen werden, sondern es sind auch kritische Bauphasen zu berücksichtigen. Der Blick des Ingenieurs wird dabei auf sein Bauwerk und dessen nächste Umgebung gerichtet sein, jener des Geologen muss räumlich sehr viel weiter suchen, um den räumlichen Zusammenhang der Wasserverhältnisse, den Verlauf der Schichtgrenzen oder beispielsweise auch eine Instabilität des Hanges erkennen zu können.

Verglichen mit den üblichen Massstäben der Geologen wirkt seine Aufgabe trotzdem sehr kleinräumig, verlangt aber anderseits ungewohnt detaillierte und präzise Aussagen. Unterläuft einem seiner Fachkollegen bei einer weitausgreifenden, auf wenige Fakten begründeten Theorie eine gravierende Fehlprognose, so ergibt sich daraus allenfalls eine peinliche Polemik unter Gelehrten, sofern der Irrtum überhaupt zu beweisen ist. Beim Ingenieurgeologen dagegen werden die Fehler meist bei der Ausführung des Projekts offenkundig und können schwere materielle Schäden bringen und schlimmstenfalls auch Verletzte und Tote fordern. Er trägt eine grosse Verantwortung, welche auch in scheinbar banalen Fällen eine sorgfältige Untersuchung abseits der Routine verlangt. Nicht zufällig gelten für seine Haftpflichtversicherung Prämien, welche weit über jenen der Bauingenieure liegen.

Bedeutung der Detailgeologie

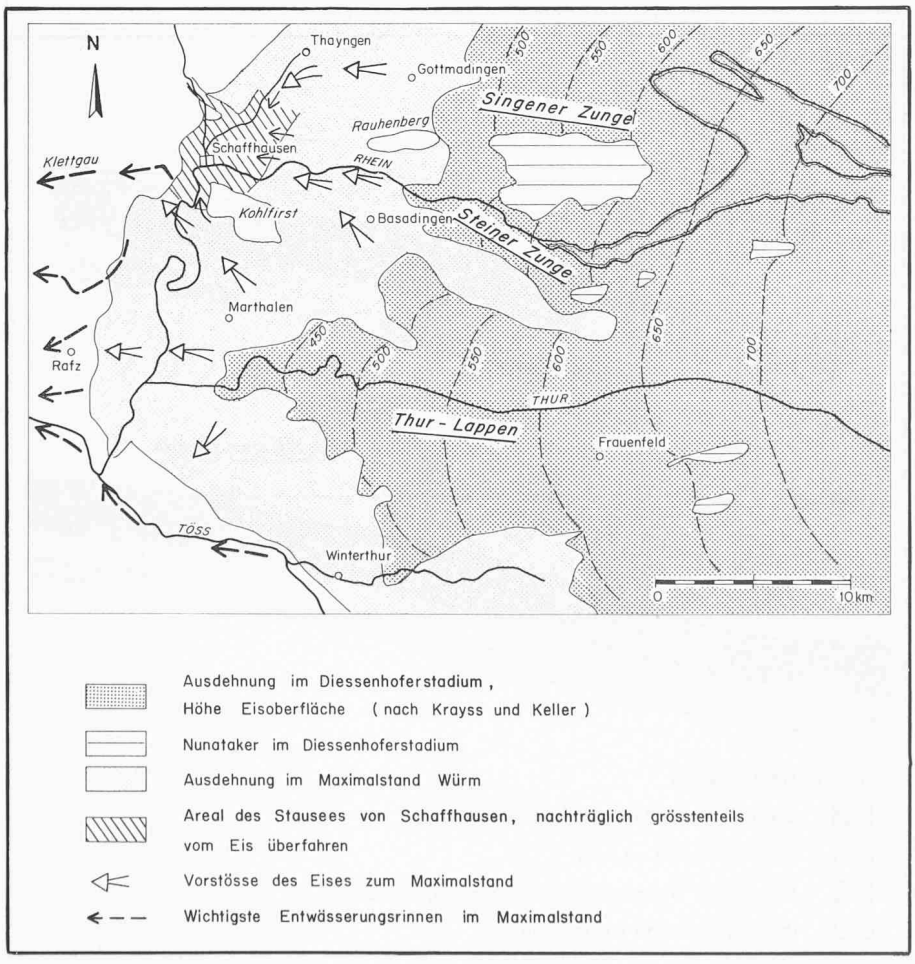
Wenige Beispiele sollen nun zeigen, wie aufschlussreich die Abklärung von geologischer Vorgeschichte und Zusammenhang der Schichten für praktische Probleme sein kann.

Im Raum Schaffhausen wurden zwei *Baugrundkarten* im Massstab 1:10 000 erstellt, dies aufgrund einer geologischen Detailkartierung, von sehr vielen Sondierungen sowie gestützt auf Pläne, Dokumente und Literaturangaben [12].

Diese Karten erlauben Geologen oder Ingenieuren, regionale Zusammenhänge z.B. über den Verlauf der Felsoberfläche, den Aufbau der Lockergesteine oder die Wasserverhältnisse zu erkennen oder auch frühzeitig auf unstabile Gebiete aufmerksam zu werden. Weitere Informationen liefern Nebenkärtchen sowie ein Begleittext mit Erläuterungen und Profilen (in Vorbereitung). Angesichts der für grosse Teile der Schweiz typischen Komplexität und Wechselhaftigkeit des Baugrundes erweist es sich dagegen als unmöglich, den Kartensignaturen generell gültige Bodenkennwerte zuzuordnen, wie dies in einzelnen ausländischen Karten versucht wurde. Baugrundkarten können somit wertvolle Hinweise liefern. Sie dürfen aber keineswegs bei Projekten als Ersatz für Detailuntersuchungen oder Sondierungen betrachtet werden. Ähnliches gilt für hydrogeologische Karten.

Im Raume Schaffhausen finden sich merkwürdigerweise in Bohrungen häufig Seebodenablagerungen. Ihre Entstehung kann wie folgt gedeutet werden (Bild 5): Der Rheingletscher erreichte in der letzten Eiszeit beim Maximalvorstoss knapp Schaffhausen, wobei er aber vorher durch hochliegende Gebiete in drei voneinander praktisch unabhängige Lappen aufgespalten worden war. Dabei stiess die mit dem Thurgletscher vereinigte Zunge - durch das

Bild 5. Randlagen des Rheingletschers in der letzten (Würm-)Eiszeit



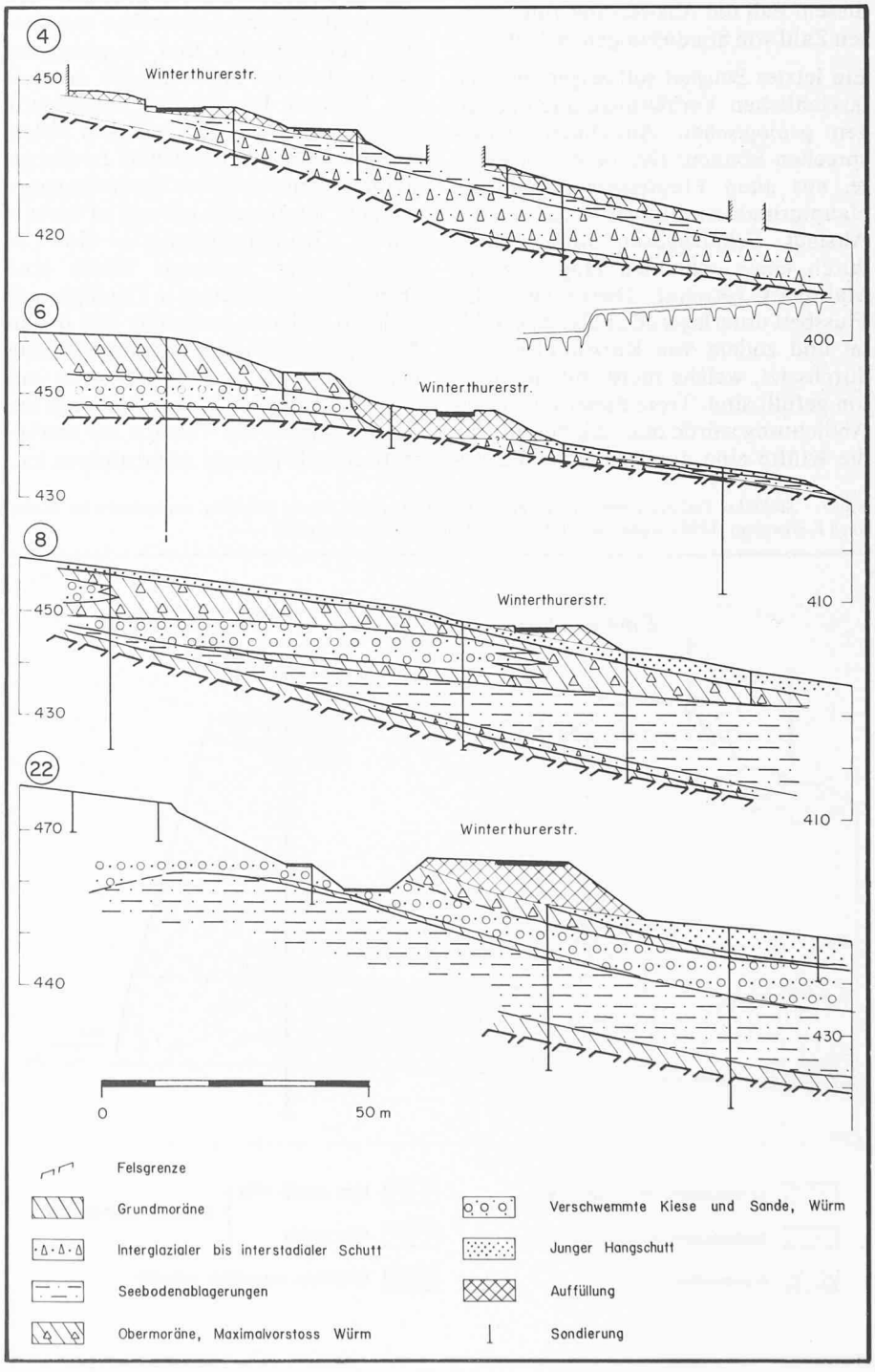
Thurtal kanalisiert - rasch vor und sperrte das Rheintal südlich des Kohlfirsts. Der Hauptteil des Gletschers dagegen baute allmählich einen gewaltigen Eisfladen auf, welcher weit in den Norden und Westen des Bodensees ausgriff. Die beiden mit ihm verbundenen Zungen erreichten den Raum Schaffhausen erst spät, so dass talaufwärts des vom Rhein-Thur-Gletscher gebildeten Eisriegels während längerer Zeit ein tiefer, bis über 7 km langer See bestand. In diesem entstanden neben gröberen Sedimenten weitflächig auch bis 35 m mächtige, feingeschichtete Seebodenablagerungen. Sie bestehen aus einer Wechsellagerung von Feinsand, Silt und tonigem Silt und überdecken ein älteres Relief, weisen also eine unruhige, schiefe Untergrenze auf. Fast überall wurden sie nachträglich vom vorstossenden Gletscher überfahren, sind also überkonsolidiert und hart gelagert. Welche praktische Folgen brachte nun die merkwürdige Laune des Gletschers, dass seine verschiedenen Zungen ihren Maximalstand nicht gleichzeitig erreichten?

Bei *Flurlingen* (Bild 6) überdecken die Seebodenlehme ältere Moränen, z.T. auch verschiedenartige Ablagerungen einer wärmeren Periode; über ihnen folgen junge Moränen und Schmelzwasserablagerungen. Trotz Vorbelastung durch das Eis wirkt dieser Hang in einzelnen Teilen wenig stabil oder kann sogar eindeutig verrutscht sein. Es zeigt sich, dass in der Moränendecke Grundwasser fliesst, welches einerseits die obersten Lagen der Seebodenlehme durchnässt, anderseits eine für die Stabilität nachteilige Sickerströmung erzeugt. Falls man nun - wie ursprünglich vorgesehen - diesen Hang für die Nationalstrasse auf grosse Strecken tiefgründig anschneidet (Anschnitt oder Tagbautunnel), so würde die bereits erwähnte Gefahr des Abgleitens der Moränendecke massiv gesteigert; zudem aber wären innerhalb der Seebodenlehme zwei neue Probleme zu berücksichtigen: Einerseits führen die von tonigem Silt umschlossenen Sandlagen oft Wasser, welches meist nicht ausfliessen kann und deshalb unter Überdruck steht, was für die Hangstabilität ungünstig ist und die Gefahr innerer Erosion birgt.

Anderseits verformte und verschleppte der vorrückende Gletscher die vorerst noch weichgelagerten Seebodenlehme, wobei unberechenbar verlaufende interne Gleitflächen entstanden. Entlang diesen sinkt der Scherwinkel tief unter die üblichen Werte, was bei der Dimensionierung allfälliger Hangsicherungen zu berücksichtigen ist. Da in solchen Fällen stets die ungünstigsten und nicht die durchschnittlichen Bodeneigenschaften massgebend sind, ergibt eine sorgfältige geologische Analyse neben dem Profil auch wertvolle weitere Hinweise in einem Material, welches sich für Laborversuche wenig eignet. Diese müssen weiter verfolgt und mit dem Ingenieur bezüglich ihrer Auswirkungen auf das Bauvorhaben diskutiert werden.

Die gleichen Seebodenablagerungen können auch bei Untertagebauten bedeutende Probleme bringen, wie dies der gegen Ende des letzten Jahrhunderts erstellte Bahntunnel durch den *Emmersberg* (östlich der Altstadt Schaffhausens) eindrücklich zeigt. In dessen südlichem Teil wurden wassergefüllte Lagen und Linsen von Sand angeschnitten, welche von Lehm umschlossen und von Moräne und Kies überdeckt waren (Bild 7). Beim Bau löste dies innere Erosion aus, also ein Auslaufen von wassergetränktem Sand und Silt in den Tunnel, wobei sich neben und über diesem Hohlräume bildeten. Diese führten zu räumlich eng begrenzten Nachbrüchen, welche teils sehr rasch, teils erst nach vielen Jahren die Oberfläche erreichten - einzelne «Zeitbomben» mögen noch heute im Versteck ticken. Es erstaunt nicht, dass

Bild 6. Geologische Querprofile im Raume Flurlingen, nicht überhöht. Links W, rechts E, gegen den Rhein. Profil 4 liegt am nördlichsten, Profil 22 am südlichsten



dies in einem stark überbauten Gebiet Anlass zu einigen Kontroversen und Prozessen gab. Beim Bau des verbleibenden Tunnelabschnitts wurde das Ausfliessen mit einem Gegendruck verhindert, also im Druckluftverfahren gearbeitet.

Schliesslich sei erwähnt, dass die gleichen, problemträchtigen Seebodenablagerungen anderseits günstig wirken, indem sie den *Hauptgrundwasserträger* von Schaffhausen - die Rinnenschotter - weitflächig überdecken. Es verschafft ihm in einem stark industrialisierten und überbauten Gebiet einen wirksamen Schutz gegen Verschmutzung. Dies zu erkennen war aber erst durch die Abklärung der regionalen geologischen Zusammenhänge möglich, was in diesem Fall die Auswertung einer grossen Zahl von Sondierungen bedeutete.

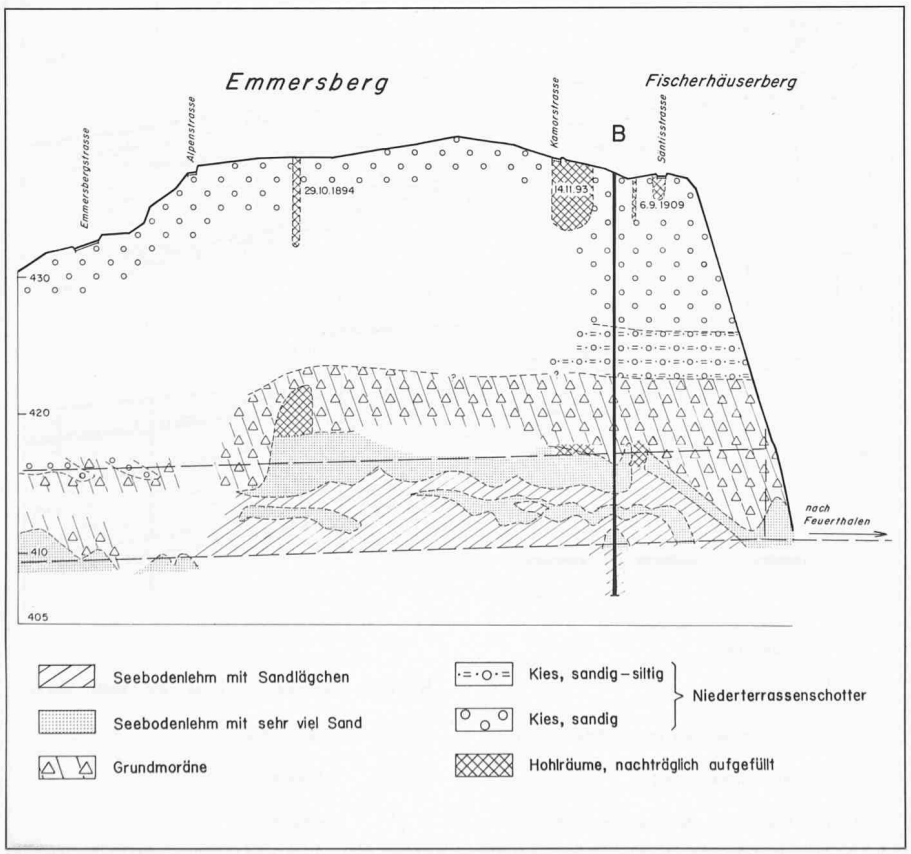
Ein letztes Beispiel soll zeigen, wie die tatsächlichen Verhältnisse auch gängigen geologischen Annahmen widersprechen können: Der bereits erwähnte, aus alten Flusskiesen aufgebaute Hauptgrundwasserträger ist südlich der Altstadt Schaffhausen vom Rhein durch einen schmalen Hügelzug aus Malmkalk getrennt. Dieser auch das Flussbett unterlagernde Fels ist zerklüftet und zudem von Karsthohlräumen durchsetzt, welche meist mit Bohnerzton gefüllt sind. Trotz dieser teilweisen Abdichtung würde man mindestens für die Klüfte eine nennenswerte Wasserdurchlässigkeit erwarten, doch blieben im Kalk Bohrungen wie Baugruben weitgehend trocken. Verblüffend wirkt insbesondere die Tatsache, dass die umspundete, bis 25 m unter den Rheinspiegel im Kalk abgetiefte Baugrube für das Kraftwerk Schaffhausen nur wenig Wasser antraf (Bild 8). Hohlräume wie Klüfte waren offensichtlich durch Ton versiegelt.

Ausblick

Diese wenigen Beispiele zeigen, dass in unserer scheinbar so intensiv untersuchten Schweiz geologisch, geotechnisch und hydrogeologisch sehr viel zu tun bleibt, sobald man Bohrungen oder andere künstliche Aufschlüsse systematisch berücksichtigt und die gängigen, schematisierten Denkmodelle anzweifelt. Dies gilt für den Fels, noch mehr aber für die von den Geologen bisher stiefmütterlich behandelten Lockergesteine, deren komplexe Entstehungsgeschichte oft äusserst schwer zu entwirren ist. Grundbedingung für eine Lösung solcher Probleme bleibt eine gründliche Ausbildung in Geologie und anderen Erdwissenschaften. Wie in den Anfängen der Ingenieurgeologie bilden Beobachtungen im Feld, Versuche und die Abklärung der Zusammenhänge die Basis, während der Versuch zur mathematischen Erfassung nachzufolgen hat. Nur auf diese Weise können wir dem auf Geotechnik spezialisierten Ingenieur immer bessere Grundlagen zur Beurteilung seiner Projekte liefern. In ihm soll kein Konkurrent, sondern im Gegenteil ein Partner für Gespräch und Zusammenarbeit gesucht werden, ebenso wie in vielen andern Spezialisten, auf deren Kenntnisse wir in wechselndem Masse angewiesen sind: Vorerst seien Ingenieure verschiedener Richtung wie auch Geophysiker, Petrographen und Tonmineralogen genannt, ferner Isotopenspezialisten, Pollenanalytiker, Biologen, Förster und Glaziologen. Gelegentlich ergibt sich auch eine Zusammenarbeit mit Hydrologen, Archäologen, Chemikern, Mathematikern oder Landesplanern - eine Liste, die sich verlängern liesse und klar zeigt, dass der Ingenieurgeologe an der Nahtstelle verschiedenster Bereiche arbeitet. Gerade deshalb muss er Kontakte und Gespräche suchen, für Anregungen dankbar sein und darf sich nicht abkapseln.

Da in den meisten ingenieurgeologischen Problemen das Grundwasser eine massgebende Rolle spielt, ist eine scharfe Abtrennung von der Hydrogeologie weder möglich noch wünschenswert, dies besonders in unseren schweizerischen Verhältnissen: Die mannigfachen Probleme werden durch eine grosse Zahl selbständiger Büros gelöst, während - im Gegensatz zu den

Bild 7. Südlicher Teil des Emmersbergtunnels in Schaffhausen, 10mal überhöht. Aufnahmen im Tunnel nach F. Hennings (1895), ergänzt durch Bohrung B und z.T. uminterpretiert



Literatur

[1] *Ruoff, U.* (1981): Altersbestimmung mit Hilfe der Dendrochronologie. Helv. archaeologica 12(1981) -45/48

[2] *Schindler, C.* (1976): Eine geologische Karte des Zürichsees und ihre Deutung. Eclog. Geol. Helv. Vol. 69/1

[3] Offizielles Notizenblatt die Linthunternehmung betreffend, Erster Band, Zürich 1807-1809

[4] *Solar, G.* und *Hösli, J.* (1974): Hans Conrad Escher von der Linth, Ansichten und Panoramen der Schweiz, Ansichten 1780-1822, Atlantis-Verlag

[5] *Escher von der Linth, A.* und *Bürkli, A.* (1871): Die Wasserverhältnisse der Stadt Zürich und ihrer Umgebung, mit geologischer Karte 1:10 000. Neujbl. Naturf. Ges. Zürich, 64

[6] *Stapff, F.M.* (1885): Geologische Übersichtskarte der Gotthardbahnstrecke Kil 38-149 (Erstfeld-Castione) 1:25 000

[7] *Schindler, C.* (1972): Zur Geologie der Gotthard-Nordrampe der Nationalstrasse N2, Eclog. Geol. Helv. Vol. 65/2

[8] *Heim, A., Bürkli, A.* und *Moser, R.* (1888): Die Catastrophe von Zug

[9] *Bendel, L.* (1944 und 1948): Ingenieurgeologie I und II, Springer-Verlag

[10] *Penning, W.H.* (1880): Engineering Geology, Baillève, Tindall und Cox, London

[11] *Müller-Salzburg, L.* (1982): Geomechanik - Felsbaumechanik - Felsbau. Rock Mechanics, Suppl. 12, Springer-Verlag

[12] *Schindler, C.* (1982): Baugrundkarte Schaffhausen 1:10 000, in 2 Blättern. Schweiz. Geotechnische Komm.

meisten Ländern - ein zentrales Landesamt fehlt. In diesem gegebenen Rahmen ist bei der Tätigkeit des Einzelnen eine Schwerpunktbildung zwar sinnvoll, extreme Spezialisierung wird dagegen rasch problematisch.

Einige Bemerkungen zum künftigen Betätigungsfeld von Ingenieurgeologen und Hydrogeologen in der Schweiz seien zum Schluss angefügt: Verschiedene einstige Schwerpunkte wie grossräumige Korrektur der naturgegebenen Verhältnisse oder der Bau von Wasserkraftwerken haben zurzeit fast nur noch bei Aufträgen im Ausland grössere Bedeutung. Dagegen muss infolge Platznot, hohen Bodenpreisen und der Topographie immer häufiger auf die verbleibenden, geotechnisch besonders ungünstigen Gebiete oder auf den Untertagebau ausgewichen werden. Gleichzeitig steigen die Anforderungen an Qualität und Aussagekraft der Gutachten. Die Tendenz zur Absicherung gegen Risiken lässt geotechnische Voruntersuchungen für grössere Objekte zur Regel werden.

Vorbei ist die Zeit der unbekümmerten Eingriffe in Natur und Landschaft, der scheinbar unbegrenzten Reserven. Statt dessen leben wir in einer Zeit der Verunsicherung, in welcher immer neue, reale oder imaginäre Gefahrenquellen entdeckt werden - man denke an die schwindenden Reserven von Kies oder Wasser, an Probleme mit Deponien oder Lager aller Art, an Kehrichtverbrennung oder die Verschmutzung von Wasser und Luft. Selbst Alternativen wie z.B. Energiegewinnung aus Grundwasser, Erdwärme oder Kohle bergen ihrerseits die Gefahr von Nebenwirkungen, deren Ausmass vorerst kaum bekannt ist. Da auch in den meisten dieser Probleme eine ingenieurgeologische oder hydrogeologische Komponente steckt, dürfte es auch in Zukunft kaum an verantwortungsvollen, wichtigen Aufgaben fehlen, wobei auch die Tätigkeit im Ausland nicht vergessen sei.



Bild 8. Aushub im Rheinbett für das Kraftwerk Schaffhausen, Blick nach Süden. Man beachte die Klüftung des Kalkfelsens und das Ausmass des Aushubs (Foto R. Fechtig 27.7.1961)

Adresse des Verfassers: Prof. Dr. *Conrad Schindler*, Geologisches Institut, Ingenieurgeologie, ETH-Hönggerberg, 8093 Zürich.

Umschau

Sonnenenergie- und Klimakataster des Kantons St. Gallen

Die Förderung von Alternativenergien ist ein wichtiges energiepolitisches Anliegen. Die Erfahrung zeigt, dass grundsätzlich die Bereitschaft vorhanden ist, diese Alternativenergien sinnvoll zu nutzen. Um keine unliebsamen Überraschungen zu erleben, müssen die entsprechenden Anlagen sorgfältig geplant werden. Die Planung muss sich vor allem auf zuverlässige Daten über das Klima stützen können. Es geht aber nicht nur darum, Energienutzungsanlagen optimal auf die örtlichen meteorologischen Gegebenheiten auszurichten, sondern es gilt in Zukunft ganz allgemein, den tatsächlichen klimatischen Verhältnissen bei der Planung von Bauten und Anlagen besser Rechnung zu tragen. Die erforderlichen Daten sind an sich vorhanden. Die Schweizerische Meteorologische Anstalt in Zürich unterhält in der ganzen Schweiz ein Netz von Beobachtungsstationen und erhebt seit langem verschiedene Klimadaten. Was bis heute weitgehend gefehlt hat, ist eine übersichtliche Darstellung dieser Daten, die auf die Nutzung der Energie ausgerichtet ist. Zudem mangelt es an einer Anleitung, die den Planern von Bauten und Anlagen die Anwendung der Klimadaten erleichtert.

Dies veranlasste den Regierungsrat des Kantons St. Gallen im Jahr 1978, den Auftrag für die Erstellung eines Sonnenenergie- und Klimakatasters zu erteilen. Dieser liegt nun vor. Ziel des Katasters ist es, die Nutzung von Sonnenenergie und Umweltwärme in den verschiedensten Anwendungsbereichen zu fördern. Die durch langjährige klimatologische Messungen gewonnenen Daten der Schweizerischen Meteorologischen Anstalt wurden in einer möglichst benützerfreundlichen Form dargestellt. Grundlage sind die Daten von 15 Messstationen in den Kantonen St. Gallen, Appenzell A.-Rh. und Appenzell I.-Rh. sowie in deren Umgebung. In der Anleitung wird aufgezeigt, wie die Daten auf andere Standorte übertragen werden können. Fünf Beispiele sollen die Anwendung des Katasters erleichtern (Freibadheizung, Energiedach, Raumheizung, Heubelüftung, Luft-/Wasser-Wärmepumpe).

Der Sonnenenergie- und Klimakataster wendet sich namentlich an Architekten und Ingenieure im Kanton St. Gallen. Der Kataster ist in fünf Hefte gegliedert. Es war ein besonderes Anliegen, den Kataster so anwendungsfreundlich wie möglich zu gestalten. Trotzdem wird bei jedem Benützer eine gewisse Einarbeitungszeit nötig sein.

Der Kataster wird am 15. November 1984 an einer ganztägigen Informationsveranstaltung des Baudepartementes in Rorschach näher vorgestellt. Aufgrund von Beispielen wird gezeigt, wie der Kataster in der Praxis benützt werden kann. Es wird keine Tagungsgebühr erhoben. Das Veranstaltungsprogramm mit Anmeldeformular sowie der Sonnenenergie- und Klimakataster (Preis Fr. 50.- für alle fünf Hefte) können beim Amt für Wasser- und Energiewirtschaft (AWE), Sternackerstrasse 7, 9001 St. Gallen, bezogen werden.