

**Zeitschrift:** Bulletin für angewandte Geologie  
**Herausgeber:** Schweizerische Vereinigung der Petroleum-Geologen und –Ingenieure;  
Schweizerische Fachgruppe für Ingenieur-Geologie  
**Band:** 1 (1996)  
**Heft:** 1

**Artikel:** Interdisziplinäre Ingenieurgeologie : Wunschtraum oder Realität?  
**Autor:** Schindler, Conrad  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-219177>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 02.02.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Interdisziplinäre Ingenieurgeologie - Wunschtraum oder Realität?

mit 10 Figuren  
VON CONRAD SCHINDLER\*

## *Abstract*

In my good-bye lecture the activities of the chair of Engineering Geology at ETHZ have been summarized - the connections with practice, teaching and research. For each of these domains interdisciplinary contacts are essential and therefore were promoted. Most of the 22 doctors thesis within the period 1982-1996 lie in the field between applied and fundamental research, have a support by other institutes or laboratories and base on data gained from practice. Three prominent interdisciplinary projects are presented in short.

## **1. Einleitung**

Tritt man nach 13 Jahren Tätigkeit als Professor an der ETH zurück, so wird man vorerst zurückblicken. - Welche eigenen Erwartungen haben sich erfüllt, welche nicht? Als besonders aufschlussreich erweist sich eine kritische Durchsicht der eigenen Antrittsvorlesung (C. Schindler 1983). Hier einige Ihrer wichtigsten Aussagen:

Der Begriff «Ingenieurgeologie» wurde damals mit einem Januskopf verglichen, zugewandt sowohl den Erdwissenschaften wie auch den Ingenieurwissenschaften. Das weite Zwischenfeld kann unter dem Namen «Geotechnik» zusammengefasst werden. Nach heute international anerkannter Definition handelt es sich beim Ingenieurgeologen um einen Erdwissenschaftler mit Grundkenntnissen in Grundbau, Boden- und Felsmechanik, welcher sich mit Ingenieuren verständigen und sie beraten kann. Entscheidende Voraussetzung für eine solche Tätigkeit ist eine breite Ausbildung in Geologie und andern Erdwissenschaften. Der Ingenieurgeologe kann somit nur einen Teil der Geotechnik abdecken. Seinen natürlichen Partner findet er im Ingenieur, welcher auf Geotechnik spezialisiert ist. Dieser soll nicht als Konkurrent betrachtet werden; vielmehr sollen Gespräch und Zusammenarbeit mit ihm angestrebt werden.

Dies gilt auch für zahlreiche andere Spezialisten - Ingenieure verschiedener Ausrichtung, Geophysiker, Petrographen und Tonmineralogen, ferner Isotopenspezialisten, Glaziologen, Förster, gelegentlich auch Biologen, Pollenanalytiker, Hydrologen, Archäologen, Chemiker und Landesplaner. Diese lange Liste würde ich heute mit Geodäten, Umweltspezialisten und Technologen z.B. für Beton ergänzen. Zur Hydrogeologie weist die Ingenieurgeologie eine derart enge Verflechtung auf, dass eine scharfe Abtrennung weder möglich noch wünschenswert erscheint.

---

\* Ingenieurgeologie ETH, 8093 Zürich

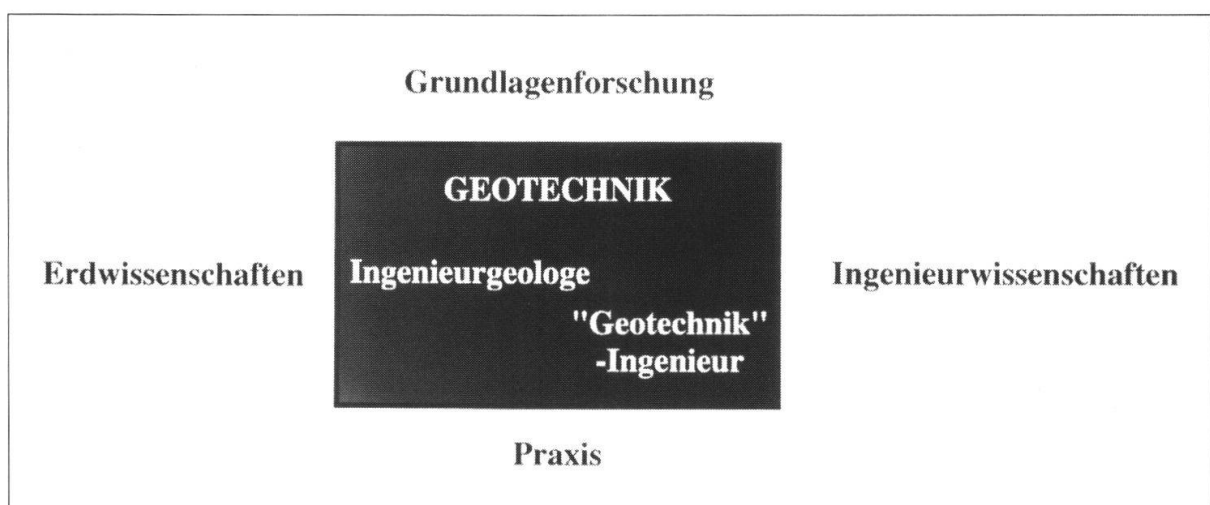
Da eine selbständige Professur Hydrogeologie an der ETH vorerst Wunschtraum bleibt, ist dieses Fachgebiet heute fest in der Ingenieurgeologie eingebunden und wird durch einen Privatdozenten betreut. Aus all diesen Querverbindungen ergab sich in der Antrittsvorlesung die Folgerung, dass die Ingenieurgeologie sich nicht abkapseln dürfe, sondern interdisziplinär zu orientieren sei - womit das Hauptthema angesprochen ist. Vorerst seien aber noch einige zusätzliche einleitende Bemerkungen gemacht.

Die Professur Ingenieurgeologie muss ihrer Aufgabe gemäss vorwiegend auf angewandte Forschung ausgerichtet sein und liegt somit im Spannungsfeld zwischen Grundlagenforschung und Praxis. In ihrer Arbeitsweise ist sie deshalb viel eher mit Professuren bei den Ingenieuren als mit jenen in den meisten Erdwissenschaften zu vergleichen. Aufschlussreich ist, dass sie auf Anregung der Abteilungen Bau- und Kulturingenieure 1976 neu geschaffen wurde und vorerst den Namen «Baugeologie» erhielt - eine Bezeichnung, welche heute allzu restriktiv wirkt.

Für die Professur Ingenieurgeologie sind Kontakte mit der Praxis von eminenter Bedeutung, ebenso die Mitwirkung als Experte für Fragen von nationalem Interesse, dies in der Regel für Amtstellen. Genannt seien z.B. die neuen Alpentransversalen NEAT, das erdwissenschaftliche Umfeld bei der Lagerung hochgiftiger Abfälle oder Naturkatastrophen wie die Bergstürze von Randa 1991. Die Ingenieurgeologie ETH kommt somit in ein Spannungsfeld zwischen vier Pole zu liegen, entsprechend einem doppelten Januskopf - dies eine wenig komfortable, zweifellos aber sehr anregende Situation.

Die Einleitung sei mit einer gerafften Skizze der Berufsaussichten der jungen Geologen und Petrographen abgeschlossen:

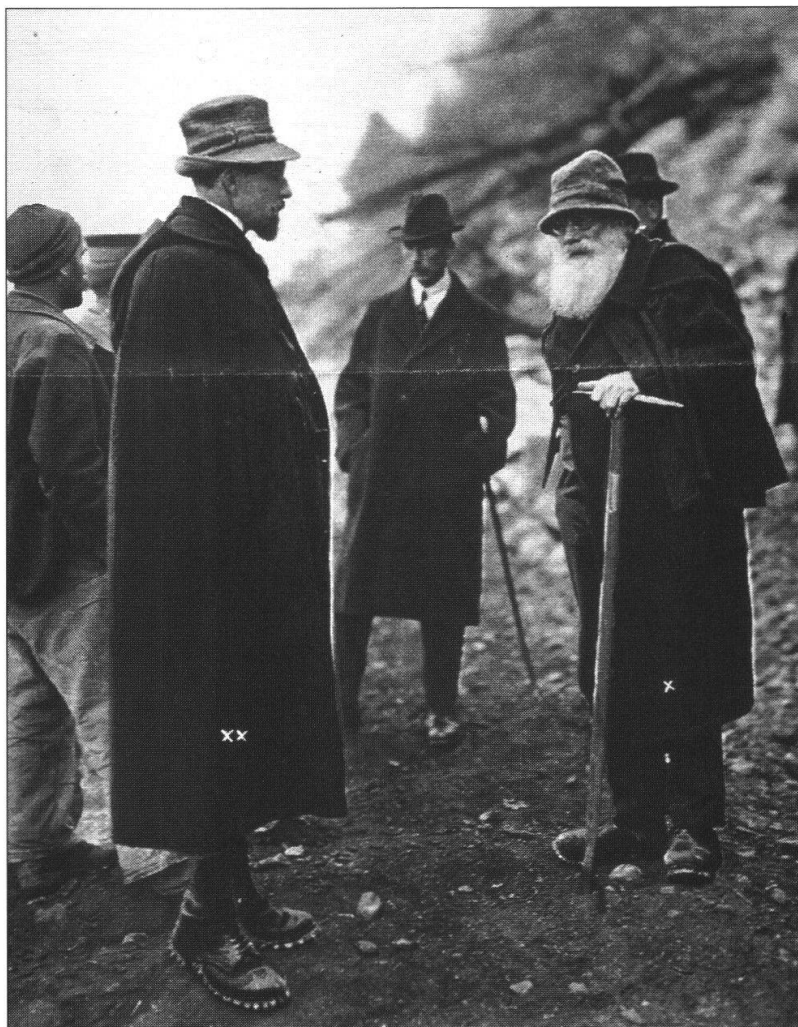
Bis Ende der fünfziger Jahre unseres Jahrhunderts fanden in der Schweiz Erdwissenschaftler Arbeit fast nur an Hoch- und Mittelschulen oder wirkten als Privatgelehrte. Als Beispiel sei hier der geniale Aussenseiter Armand Gressly genannt. Gleichzeitig waren aber weltweit Geologen aus unserem Lande anzutreffen, dies auf der Suche nach Erdöl, Erz oder anderen Rohstoffen. Andere Erwerbsmöglichkeiten gab es kaum, weshalb auch mein Weg vorerst in die Erdölexploration in die Türkei und nach Tunesien führte.



**Fig. 1:** Umfeld der Ingenieurgeologie an der Hochschule.

In der Schweiz gab es zwar häufig geologisch-geotechnische Probleme zu lösen, dies z.B. im Zusammenhang mit dem Eisenbahnbau, dem Kraftwerkbau, Rutschungen oder Bergsturzkatastrophen. Als Experten wurden aber meist Hochschulprofessoren beigezogen, so in Fig. 2 Albert Heim und sein Sohn Arnold im November 1924 nach einer Rutschung am Walensee nahe Mühlehorn. Dabei wurde die Bahnverbindung Zürich - Sargans unterbrochen. Die Bahningenieure erscheinen im korrekten Anzug für höhere Beamte, während die Geologen Erinnerungen an Wilde Mannli hervorrufen. Auf vielen Bauplätzen wird unser Beruf noch heute mit der Vorstellung von urchigen und meist trinkfesten Gestalten verbunden. Ergänzend sei immerhin bemerkt, dass der Ehrendoktor der Ingenieurwissenschaften Rudolf Amberg gelegentlich auf ähnliche Art aufgetreten ist wie hier Albert Heim.

Nach 1960 setzte in der Schweiz die Gründung immer zahlreicher geotechnischer und hydrogeologischer Büros ein, während sich die Professoren zunehmend von der Praxis abwandten. Bedauerlicherweise begann vor rund zwanzig Jahren die Auslands-tätigkeit in allen Bereichen der angewandten Geologie allmählich zu schrumpfen, weshalb eine stolze Tradition sehr stark geschwächt worden ist. Heute hat der Grossteil der Erdwissenschaftler Wohnsitz in der Schweiz und ist vorwiegend im Büro, im Labor oder hinter dem Computer anzutreffen. Einige unter ih-



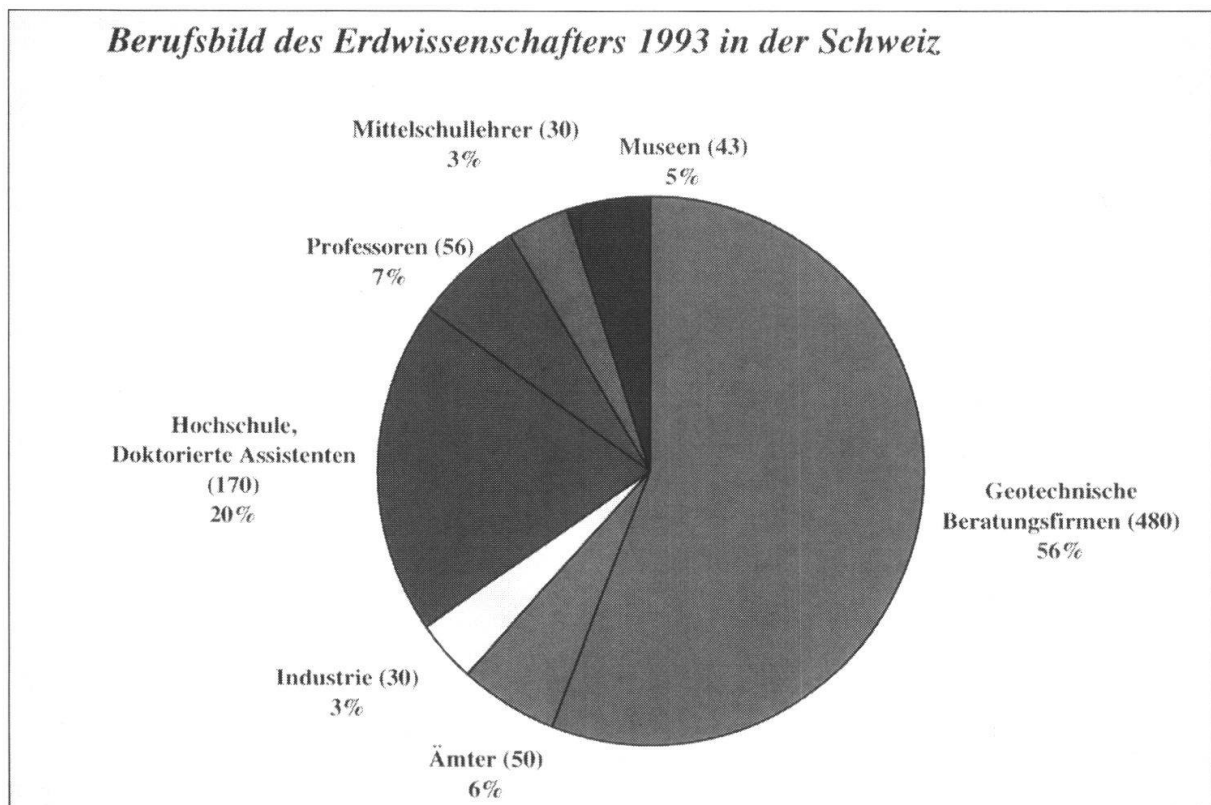
**Fig. 2:**  
Arnold Heim (vorne links)  
und Albert Heim (vorne  
rechts) bei der Besichtigung  
des Rutsches bei Mühlehorn,  
November 1924.

nen sollen noch nie im Felde gearbeitet haben, doch sind dies mit Sicherheit keine Ingenieurgeologen.

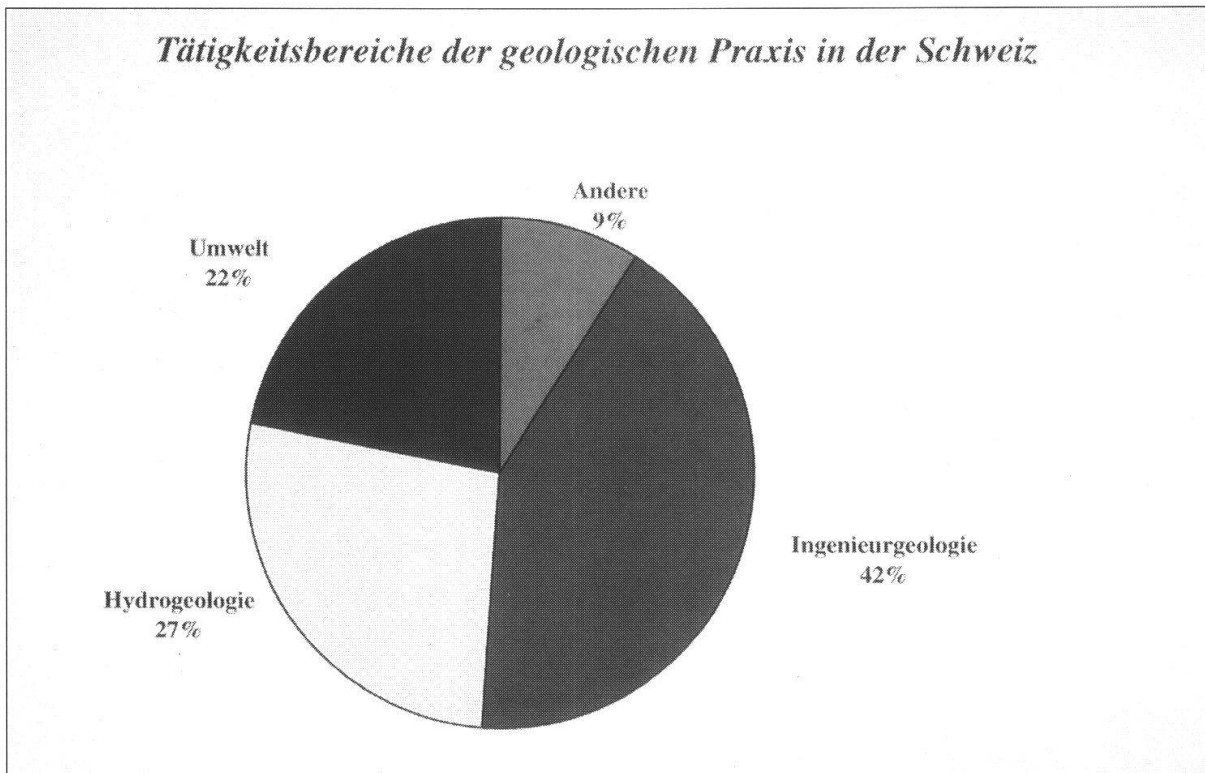
Die Schweizerische Geologische Kommission hat 1993 Umfragen über die Berufstätigkeit der Erdwissenschaftler in der Schweiz gemacht. Deren Auswertung ergab folgendes (Geoinfo 1994 und Fig. 3):

Klammert man die Geographen und die Doktoranden aus, so wurden rund 850 berufstätige Erdwissenschaftler in der Schweiz erfasst. Keine Daten wurden über Anstellungen in der Erdöl- und Erzindustrie gesammelt. Rund 10 % der Studienabgänger dürften in letzter Zeit diesen Weg gefunden haben, welcher aber meist ins Ausland führt. An den Hochschulen, Museen und Mittelschulen unseres Landes sind rund ein Drittel der Erdwissenschaftler der Schweiz tätig. Für Studienabgänger wirkt die Hochschule zur Zeit allerdings wenig attraktiv: Grosse Konkurrenz, über längere Zeit keine Sicherheit des Arbeitsplatzes, hauptsächlich aber die in der Planung vorgesehene Reduktion von Stellen bis hin zur allfälligen Liquidation einzelner erdwissenschaftlicher Institute wirken abschreckend.

Zwei Drittel der Erdwissenschaftler in der Schweiz sind heute in der Praxis tätig, sei dies in der Industrie (z.B. für die Zement- oder Keramikherstellung), sei dies in Ämtern oder in Beratungsfirmen. Nimmt man die Tätigkeitsbereiche dieser Personen mit Ausnahme der in der Industrie Beschäftigten unter die Lupe, so zeichnen sich drei Schwerpunkte ab: Ingenieurgeologie, Hydrogeologie und Umweltprobleme (Fig. 4). Die gleiche Person arbeitet in den meisten Fällen aber in mindestens zwei dieser Bereiche - so gibt es z.B. bis heute keine reinen Umweltgeologen.



**Fig. 3:** Berufsbild des Erdwissenschaftlers in der Schweiz 1993, basierend auf Umfrage der Schweizerischen Geologischen Kommission, Geoinfo 5/1994.



**Fig. 4:** Tätigkeitsbereiche der geologischen Praxis in der Schweiz 1993, aus Umfrage der Schweizerischen Geologischen Kommission, Geoinfo 5/1994.

## 2. Ingenieurgeologie in der Praxis

Erdwissenschaftler in staatlichen Ämtern bearbeiten in der Regel einen klar abgegrenzten Bereich, dies im Gegensatz zu den meisten Beratungsfirmen. Deren Tätigkeit wird in der Schweiz sehr häufig eher regional als thematisch umgrenzt. Dies bedeutet, dass die einzelnen Büros zwar in bestimmten Tätigkeitsbereichen besonders leistungsfähig sind, meist aber zudem grosse Teile des Spektrums Ingenieurgeologie, Hydrogeologie und Umweltprobleme abdecken. Der gleiche Erdwissenschaftler wird sich also z.B. zeitweise mit Tunnels, dann mit Grundwasserfragen und schliesslich mit Deponieproblemen befassen - eine Vielseitigkeit, welche auch bei der Ausbildung berücksichtigt werden muss. Um die teilweise sehr komplexen Probleme kompetent bearbeiten zu können, muss in grösseren Büros aber zudem eine Zusammenarbeit zwischen Kollegen, aber auch über die Grenzen der Disziplinen hinweg funktionieren. Sehr häufig gehören Bauingenieure zur Gruppe, gelegentlich auch Geophysiker, Geographen, Informatikspezialisten, Biologen usw. Um Erfolg zu haben muss ein Büro flexibel auf die wechselnden Marktverhältnisse reagieren können, muss sich aber auch den wachsenden Qualitätsansprüchen anpassen. Multidisziplinäres Vorgehen ist dabei kaum zu umgehen.

Beim grössten Teil der Aufträge liefert das geotechnische Büro nur Bausteine für die Lösung viel weitgespannterer Aufgaben - findet sich also viel eher in der Rolle eines Dienstleistungsbetriebs als in jener des Hauptverantwortlichen. Dies sei an zwei besonders schwierigen Fällen erläutert, bei welchen zusätzlich die Ingenieurgeologie ETH beigezogen wurde. Der Beizug geschieht meist durch staatliche Ämter und hat zum Ziel, dass wir an den Diskussionen teilnehmen und Mitverantwortung

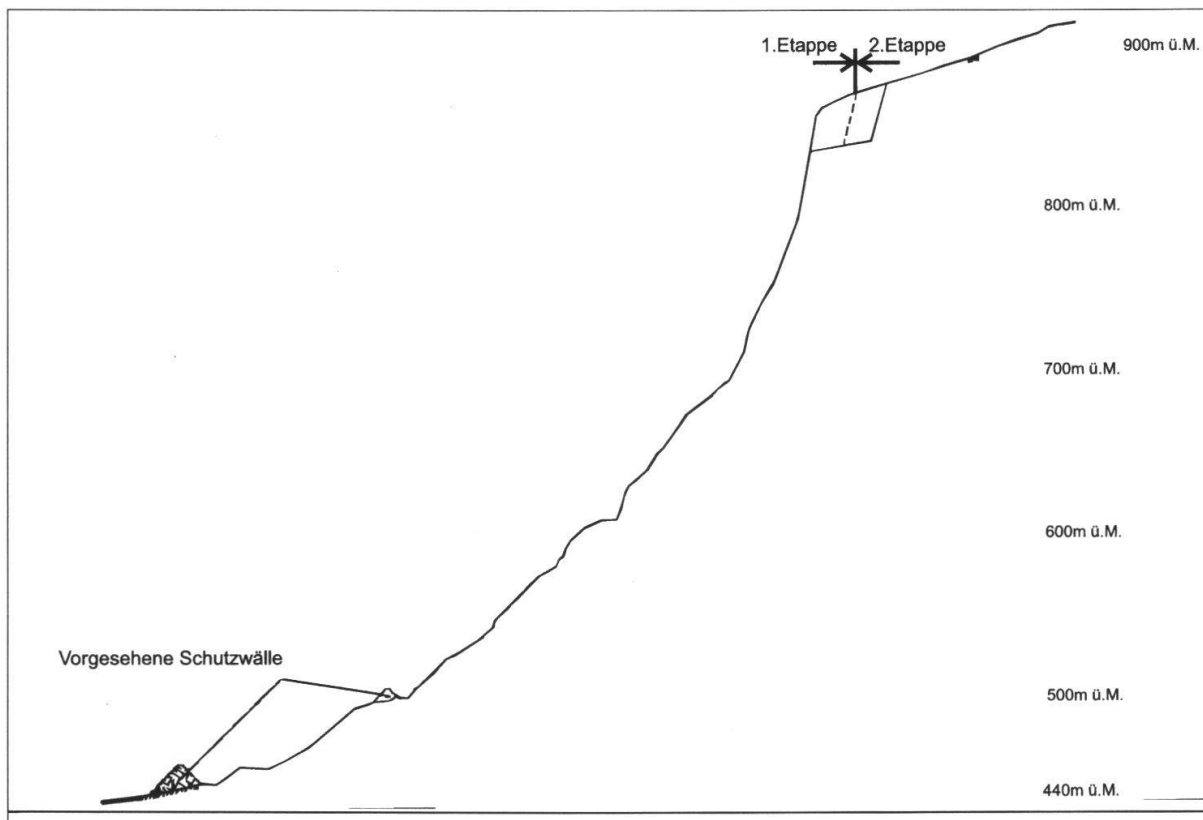
tung tragen. Solche Expertisen werden auf Fälle von besonderem Interesse beschränkt und sollen private Büros nicht konkurrenzieren.

Nahe Mollis im Kanton Glarus drohte 400 m über der Talebene ein Felskopf abzustürzen. Geodätische Messungen im Anrissgebiet ergaben, dass sich dort tiefe Spalten immer weiter öffneten, dass also akute Absturzgefahr bestand. Beängstigend war insbesondere der Umstand, dass die Aufbereitungsanlage eines Kieswerks, Arbeiterwohnungen und eine Durchgangsstrasse direkt in der Falllinie lagen. Der Kanton liess die gefährdeten Örtlichkeiten räumen und entschloss sich 1990, diese latente, unberechenbare Bedrohung durch Sprengungen zu beseitigen. Mit der Planung und Ausführung wurde eine Ingenieurunternehmung betraut, welche eng mit Geologen zusammenarbeitete. Entscheidend für das Gelingen der Sanierung war die räumliche Erfassung der labilen Felsmasse, ein geeignetes Sprengdispositiv und die Festlegung von Lage und Ausmass der Auffangdämme. Das nicht überhöhte Profil wie auch der Blick vom Anrissgebiet in die Tiefe demonstrieren die Schwierigkeit der Aufgabe (Fig. 5 und 6). Gross war die Erleichterung der Beteiligten, als nach der ersten Sprengung kein namhafter Schaden auftrat, trotzdem dabei auch Material abstürzte, welches erst in einer zweiten Phase hätte abgeräumt werden sollen.

Das zweite Beispiel betrifft das Tavetscher Zwischenmassiv im Vorderrheintal, der vermutlich schwierigste Teilabschnitt des geplanten Gotthard-Basistunnels. An einem der seltenen Aufschlüsse nördlich des Rheins im Druntobel nahe Sedrun ist zu erkennen, dass die anstehenden kristallinen Gesteine durch späte Gebirgsbewegungen intensiv zertrümmert worden sind. Allerdings blieben dabei linsenförmige



**Fig. 5:** Bortwald bei Mollis, Standort 50 m nördlich der labilen Felsmasse: Blick in Richtung Sturzbahn mit Kiesaufbereitungsanlage, Arbeiterwohnungen, Strasse Mollis-Netstal, Militärflugplatz. Situation vor der Sanierung. Photo C. Schindler, Februar 1990.



**Fig. 6:** Nicht überhöhtes Profil in der Falllinie der Sturzmassen, mit den Auffangdämmen, Bortwald bei Mollis. Plan Ingenieurunternehmung Bern, 1990.

Felspakete von unberechenbarem Umriss halbwegs intakt (Fig. 7). Auch kann der Geologe erkennen, dass der heutige Zustand auf verschiedene Bewegungsphasen zurückzuführen ist. Der Aufschluss zeigt, dass für den rund 1000 m tiefer liegenden Tunnel keine Detailprognose über den Verlauf der Grenzen zwischen festen Felskomplexen und den zertrümmerten Kakiritzonen möglich ist, dies selbst um den Preis äusserst aufwendiger Sondierungen. Aus einer nahegelegenen  $45^\circ$  geneigten Bohrung konnten Kerne guter Qualität entnommen und im geotechnischen Institut ETH im Triaxialapparat getestet werden, dies allerdings bei sehr viel kleinerem Umgebungsdruck als im künftigen Tunnel. In den intensiv zertrümmerten Kakiriten haben sich nach der alpinen Metamorphose Tonmineralien neu gebildet. Generell erinnern das Verformungsbild der Kerne wie auch die aus den Versuchen bestimmten geotechnischen Kennwerte viel eher an Lockergestein als an Fels. Es war nicht unsere Aufgabe, die Laborversuche auszuwerten oder Prognosen für den Tunnelbau zu erstellen. Generell wird aber bei derart schwierigen Verhältnissen der Geologe bei den Entscheidungen über das technische Vorgehen beim künftigen Tunnelvortrieb oder gar bei der Frage der Kosten ein Gesprächspartner unter vielen sein, sicher aber nicht die entscheidende Person. Dementsprechend wäre es zwar bequem aber unfair, bei Kostenüberschreitungen im Tunnelbau die Schuld primär der Geologie zuzuschreiben.





**Fig. 7:**  
Aufschluss des nördlichen Teils  
des Tavetscher Zwischenmassivs  
im Druntobel nördlich Sedrun,  
Koord. 171.5/701.8. Nahezu in-  
takte Felspartien zwischen Kaki-  
riten, Spuren mehrphasiger Be-  
wegung. Foto Th. Daneck, 1993.

### 3. Ingenieurgeologie ETH im Unterricht

Unterricht und Übungen sowie die damit verbundenen Prüfungen, Konferenzen und die Administration beanspruchen sehr viel Zeit; trotzdem sei hier die Situation der Ingenieurgeologie ETH nur kurz skizziert, dies wiederum mit Betonung des multidisziplinären Aspekts:

- In den Abteilungen für Bauingenieure, Kulturingenieure und Forstwirtschaft wird die Grundausbildung in Geologie und Petrographie vermittelt. Rund 300 Studenten pro Jahr erhalten damit Einblick in die Denkweise der Erdwissenschaften, aber auch in globale Zusammenhänge. Dies dürfte den Willen zu künftiger Zusammenarbeit und das gegenseitige Verständnis zwischen Spezialisten stark fördern.
- Die Spezialvorlesungen in Ingenieurgeologie und Hydrogeologie samt den umweltbezogenen Zusatzveranstaltungen können von den Erdwissenschaftlern im Fachstudium als Pflichtfach gewählt werden. Erfreulicherweise finden diese Vorlesungen - je nach Inhalt - zunehmend auch das Interesse von Bauingenieuren,

Umweltingenieuren, Umweltnaturwissenschaftlern und Förstern der ETH, zudem auch von Geographen der Universität Zürich. Sie können bei den Diplomnoten mitberücksichtigt werden. Dies bewirkt eine Durchmischung von Studenten verschiedener Herkunft in der Vorlesung, was zwar eine zusätzliche Herausforderung für den Dozenten bedeutet, erfreulicherweise aber auch die gegenseitigen Kontakte fördert. Als besonders anregend erwiesen sich dabei die Exkursionen.

- Unter wesentlicher Mitwirkung der Ingenieurgeologie bietet die Abteilung für Erdwissenschaften seit 1993 einen Nachdiplomkurs in angewandter Geologie an, kompetent organisiert und geleitet von Dr. Björn Oddsson. Erfolgreich wurde dabei eine Durchmischung von Leuten verschiedener Spezialisierung und unterschiedlichem Alter sowie von Hochschule und Praxis angezielt.

Wie diese kurze Zusammenstellung beweist, sind multidisziplinäre Verknüpfungen im Unterricht der Gruppe Ingenieurgeologie bewusst gefördert und verwirklicht worden. Dabei seien auch die damit verbundenen Nachteile nicht verschwiegen: Intensive Belastung durch Vorlesungen, Übungen und Prüfungen, eine grosse Breite des Unterrichtsstoffs, aber auch die Teilnahme an den Konferenzen von fünf Abteilungen und zwei Departementen (bei einem als assoziiertes Mitglied). Angesichts der knappen personellen Dotierung der Gruppe kommt dadurch der Professor für die andern Belange seiner Tätigkeit in Zeitnot.

#### **4. Ingenieurgeologie in der Forschung**

Geheimhin wird angenommen, einem Professor bleibe an der Hochschule sehr viel mehr Zeit für eigene Forschung als dem Praktiker im Alltagsstress. Aus den bereits angesprochenen Gründen hat sich dies im Falle der Ingenieurgeologie beim eigenen Wechsel vom Büro zur ETH vor 14 Jahren leider als Illusion erwiesen. Allerdings wurde diese Enttäuschung dadurch mehr als kompensiert als dass die Möglichkeit besteht, die offenen Fragen und interessanten Probleme durch Doktoranden, in beschränkter Masse auch durch Diplomanden bearbeiten zu lassen. Diese können für die Lösung der gestellten Fragen sehr viel mehr Zeit und einen jüngeren Kopf einsetzen als der zwischen Lehrveranstaltungen und Konferenzen hin und her eilende Professor.

Bis zum Sommer 1996 sollten unter meiner Leitung 22 Dissertationen abgeschlossen worden sein, allfällige schon seit langem ruhende Spätzünder nicht inbegriffen. Das Spektrum der dabei behandelten Probleme ist breit und reicht von Hydrogeologie über instabile Hänge und Naturgefahren bis zur Bestimmung geotechnischer Kennwerte für besonders interessante Typen von Fels oder Lockergestein. Oft werden zudem umweltrelevante Aspekte angezielt. Alle Dissertationen kombinieren Feldbeobachtungen mit Laboruntersuchungen und haben eine wesentliche multidisziplinäre Komponente, dies mit Ausnahme von zwei frühen, rein hydrogeologischen Arbeiten. Fast alle Doktoranden wurden durch ein Labor oder ein Institut ausserhalb der Erdwissenschaften oder durch eine Annexanstalt der ETH unterstützt. Aus dieser Hilfe von aussen ergaben sich bei zwölf Doktorarbeiten ein oder mehrere Korreferate durch einen Nichterdwissenschaftler. Acht Doktoranden arbeiten zur Zeit in breitangelegten multidisziplinären Studien gemeinsam mit Studenten aus andern Fachgebieten oder mit Fachleuten aus Annexanstalten und der Praxis. Diese drei Projekte sollen kurz vorgestellt werden.

Vorerst sei aber für das grosszügige Entgegenkommen vieler Personen aus Hoch-

schule und Praxis ganz herzlich gedankt, denn viele der genannten Dissertationen wären ohne ihre Hilfe nie zum Ziel gekommen. Die Infrastruktur der Ingenieurgeologie ETH beschränkt sich auf ein bescheidenes hydrochemisches Labor, auf einige Geräte für Felduntersuchungen, auf eine Handbibliothek und auf die Informatikausrüstung. Glücklicherweise durften aber unsere Studenten in fremden Labors arbeiten oder erhielten von diesen sogar direkt Resultate. Zusätzlich wurden sie von den zuständigen Personen fachmännisch beraten. Selbstverständlich wurde versucht, im Rahmen des Möglichen Gegendienste anzubieten.

Beim Dank seien folgende Institutionen besonders hervorgehoben: die drei erdwissenschaftlichen Institute im ETH-Zentrum, das Institut für Geophysik, das Institut für Geodäsie und Photogrammetrie, das Institut für Geotechnik mit den Labors für Bodenmechanik, Felsmechanik und Tonmineralogie, die Versuchsanstalt für Wasserbau und die Professur für nichtmetallische Rohstoffe, ferner die vier Annexanstalten der ETH, wobei die Abteilung für Betontechnologie der EMPA und die chemischen Labors der EAWAG sowie der Versuchsanstalt des WSL in Birmensdorf besonders hervorgehoben seien. Aus der Praxis und durch staatliche Ämter erhielten zudem viele der Doktoranden eine Starthilfe und wertvolle Anregungen, wurden ihnen Fallbeispiele vermittelt und konnten sie Probenmaterial sammeln.

Es seien nun drei breitangelegte, noch nicht abgeschlossene multidisziplinäre Projekte kurz vorgestellt:

#### **4.1 Verwendung von gefrästem Tunnelausbruchmaterial als Rohstoff für die Herstellung von Beton und Spritzbeton**

Kies und Sand sind sehr begehrte Rohstoffe, welche bisher in guter Qualität grösstenteils aus Flussablagerungen abgebaut worden sind. Diese eiszeitlichen oder jüngeren Sedimente sind aber gleichzeitig auch für die Neubildung und die Gewinnung von Grundwasser von hervorragender Bedeutung oder werden für andere Zwecke beansprucht, können also nur zum Teil abgebaut werden. Da die Neubildung weniger als 1 % des heutigen Bedarfs entspricht, sollten die Vorräte an diesem hochwertigen Rohstoff deshalb möglichst geschont werden (Jäckli & Schindler 1986).

Andererseits stehen heute mehrere grosse Tunnels in Planung, bei deren Bau auf längere Strecken Tunnelbohrmaschinen eingesetzt werden sollen. Das Gestein wird dabei maschinell durch die passiv drehenden Abtragwerkzeuge teils zermahlen, zum grösseren Teil aber abgesplittert. Es entsteht ein relativ feinkörniges Schuttmaterial, welches auf den ersten Blick gesehen auf eine Deponie zu gehören scheint. Angesichts der heute gültigen Auflagen für Umwelt- und Landschaftschutz fällt es schwer, in vernünftiger Distanz vom Tunnel Ablagerungsraum für die riesigen zu erwartenden Kubaturen zu finden. Könnte aber ein Teil des Ausbruchmaterials als Rohstoff für Beton oder Spritzbeton dienen, so würde sowohl das Problem der Kiesknappheit wie auch jenes des Deponieraums deutlich entschärft, wären also zwei Fliegen auf einen Schlag zu treffen.

Selbstverständlich kann ein Doktorand allein dieses komplexe Problem nicht lösen. Vielmehr bedarf es der weitgespannten Zusammenarbeit zwischen den Bauherren für die Tunnels - hier SBB und BLS, den projektierenden Ingenieuren und Geologen, Kiesaufbereitungswerken und Betonspezialisten. Der Student wird innerhalb dieser Kette versuchen, die erdwissenschaftlichen und geotechnischen

Aspekte zu erfassen und zu lösen. Dies sei am Beispiel der Gneise erläutert, welche bereits heute beim Kraftwerk Amsteg und beim Sondierstollen Tessental - Pioramulde durch Tunnelbohrmaschinen abgebaut werden. Als besonders kritisch für die Verwendung als Rohstoff für Beton gilt bei solchen kristallinen Gesteinen der Gehalt an Glimmern, beziehungsweise an andern Schichtsilikaten. Nach Betonnorm SIA 162 sollte dieser für hochwertigen Beton 5 %, für normalen 10 % nicht überschreiten. Wie die Graphik zeigt (Fig. 8), müsste das Gestein laut diesen Kriterien als ungeeignet gelten, da dessen Glimmergehalt zwischen 10 und 30 % schwankt. Ausschlaggebend für die Qualität des Zements dürfte aber der Glim-

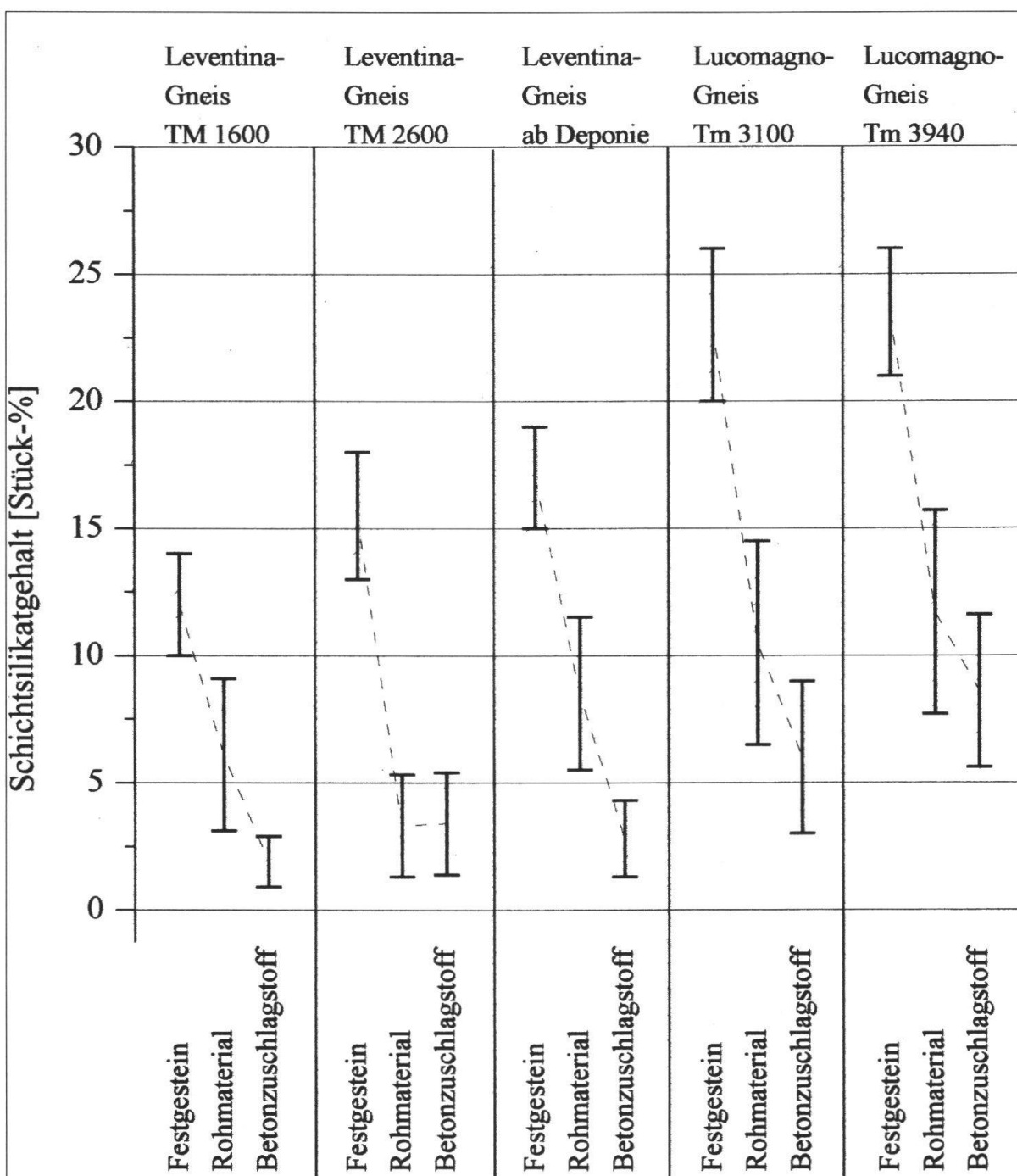


Fig. 8: Glimmergehalt im Festgestein, im TBM-Rohmaterial und in der Sandfraktion der Betonzuschlagstoffe (nach C. Thalmann, Entwurf 1995).

meranteil im Betonzuschlagstoff (0/32) sein - und dieser liegt sehr viel tiefer als im Fels, insbesondere falls das Ausbruchmaterial gebrochen, gewaschen und klassiert wird. Entgegen ersten Erwartungen könnte also sogar hochwertiger Beton erzeugt werden, was selbstverständlich in Grossversuchen zu überprüfen ist. Ein mit Ultraschall arbeitender anderer Doktorand der Ingenieurgeologie kam auf den Gedanken, den Glimmergehalt des trockenen Sands mit dieser Methode grob zu bestimmen - dies ein vielversprechender Ansatz für eine einfache, auf dem Bauplatz verwendbare Methode.

Gesamthaft gesehen ergibt eine grobe erste Schätzung, dass über 60 % des anfallenden Ausbruchmaterials als Rohstoff verwendet werden könnte - ein erfreulicher Befund sowohl für die Kies-Sand-Problematik wie auch für die Schonung der Umwelt.

## **4.2 Pilotprojekt Erdbebenrisikozonierung**

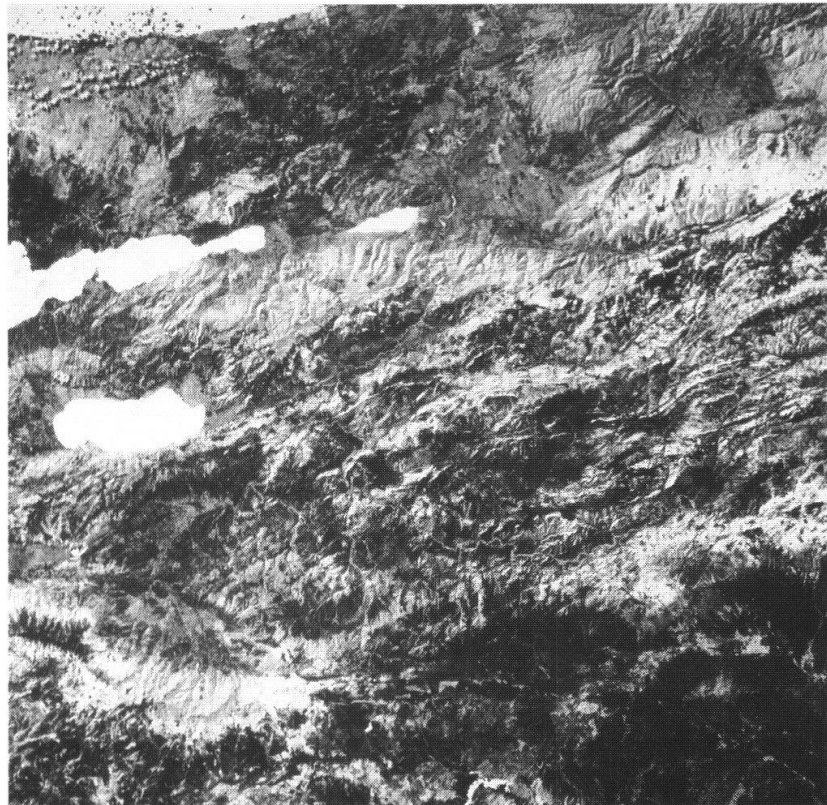
Als schweizerischen Beitrag zur internationalen Dekade zur Verminderung der Gefährdung durch Naturkatastrophen wurde unter anderem das Pilotprojekt Erdbebenrisikozonierung bewilligt. Mit der Ausführung wurde der Schweizerische Erdbebendienst gemeinsam mit der Ingenieurgeologie und der Universität Genf beauftragt, wobei letztere mit der Darstellung der Daten mit Hilfe eines geographischen Informationssystems betraut wurde. Ausgangspunkt für die Studie war die Beobachtung von Erdbebenspezialisten, dass die mit der Mercalliskala gemessenen Schäden, also die Intensität von Beben, nicht einfach mit steigendem Abstand vom Epizentrum abklingt, sondern dass auffällige lokale Abweichungen festzustellen sind. Eine wesentliche Steigerung tritt insbesondere bei mächtigen Komplexen von weichgelagerten Lockergesteinen auf, dies noch zusätzlich erhöht bei sehr hoch liegendem Grundwasserspiegel. Die beteiligten Doktoranden versuchten diese Einflüsse aufgrund von Literaturstudium wie auch der Analyse von Beobachtungen zu quantifizieren, was zur Erstellung einer Korrekturtabelle führte. Kennt man den geologischen Aufbau des Untergrunds und die Lage des Grundwasserspiegels dank Detailkartierung und Sondierungen, so lassen sich die entscheidenden Faktoren - so die Mächtigkeit der Lockergesteine und der Abstand zwischen Terrainoberfläche und Grundwasserspiegel - kartographisch darstellen und dank GIS kombinieren. Dies ermöglicht eine flächenhafte Korrektur und Verfeinerung der bisher publizierten Karten, welche die grösste seismische Intensität zeigen, welche innerhalb einer bestimmten Zeitperiode zu erwarten ist (Sägesser & Mayer-Rosa 1978). Die so konstruierten Karten der Erdbebenrisikozonierung lassen sich mit Siedlungsdichte, Industriezonen, Verkehrswegen etc. kombinieren und können wertvolle Informationen für Planungsbehörden liefern. An sehr vielen Orten wird ein seismisch besonders ungünstiger, von mächtigen Lockergesteinsmassen unterlagerter Talboden besonders intensiv genutzt. Die Erdbebenrisikozonierung kann auf relativ groben Unterlagen erstellt werden oder aber sehr detailliert erfolgen. Bereits fertiggestellt ist die im Obwaldner Tal gestartete grobe Pilotstudie, welche 1996 durch die Landeshydrologie und -geologie in einem Beitrag der braunen Serie publiziert werden soll. Zur Zeit wird sie im Rahmen eines NF-Projekts in Basel-Stadt, im südlichen Teil des St. Galler Rheintals und im Mittelwallis weiterverfolgt und in der Methode verfeinert oder ergänzt. Bei allen Studienobjekten war in den letzten Jahrzehnten eine Häufung von Beben zu beobachten und besteht ein besonders grosses Schadenpotential. Bei derartigen Untersuchungen ist eine Zusam-

menarbeit mit den zuständigen Behörden unumgänglich, sei dies beim Aufsammeln der Unterlagen, sei dies für eine spätere Verwendung der Resultate. Die Hochschule kann theoretische Grundlagen für die Risikozonierung erarbeiten und dementsprechende Karten entwerfen. Allfällige Konsequenzen zu ziehen für die Planung künftiger empfindlicher Bauten, für deren Dimensionierung oder für Verstärkungsmassnahmen bestehender Konstruktionen ist dagegen Sache der politischen Behörden und der verantwortlichen Ingenieure.

### 4.3 Polyprojekt Marmara

Dieses besonders vielseitige und umfangreiche Projekt wurde vor kurzem im Jahresbericht 94 der ETH beschrieben (Schindler 1995), weshalb es hier nur kurz kommentiert sei. Die Nordwest-Türkei liegt in einer erdwissenschaftlich besonders aktiven Zone. Die auch im weltweiten Vergleich beträchtlichen neotektonischen Bewegungen prägen das Landschaftsbild durch Horst-Grabenzonen, Flussumlenkungen, tektonisch bedingte Seen etc. (Fig. 9). Die Gruppe Geodäsie des Marmara-Projekts mass für die Periode 1990-1992 mit dem Global Positioning System GPS Verschiebungen von insgesamt 2-3 cm/Jahr (diese Werte wurden in der Zwischenzeit auch für die Periode 1992-94 bestätigt, Straub & Kahle 1995). Verschiebungen ähnlich dem heutigen Typ setzten vor rund 10 Millionen Jahren ein. Sie folgen teilweise älteren Anlagen und haben im Laufe der Zeit ihren Mechanismus variiert. Sie haben selbst sehr junge, wenig oder nicht zementierte Ablagerungen gestaucht, zerbrochen oder massiv vertikal versetzt.

Die Verschiebungen werden von erhöhter Seismizität und von zahlreichen Thermalwasservorkommen begleitet, welche teilweise heute noch frei ausfliessen, teil-



**Fig. 9:** Golf von Izmit des Marmarameers (links oben), in der rechten Fortsetzung See von Sapanca und Mudurnu-Tal, linke Bildmitte See von Iznik, unten links Uludag. Die Landschaft ist durch neotektonische Vorgänge geprägt und beeinflusst den Lauf des Sakarya-Flusses (rechte Bildhälfte). Aufnahme Landsat, 18.9.1987.

weise erbohrt wurden. Dank diesen vielfältigen Rahmenbedingungen sind die Voraussetzungen für die Beobachtung erdwissenschaftlicher Prozesse und ihrer Wechselwirkungen in dieser Region unvergleichlich günstiger als in tektonisch weniger aktiven Gebieten wie z.B. der Schweiz. Charakteristisch für das Polyprojekt Marmara ist seine breite, interdisziplinäre Abstützung, arbeiten darin doch Vertreter der Ingenieurgeologie, der Hydrogeologie, der Geodäsie, der Geothermie und der Seismologie eng zusammen, dies innerhalb der ETH Zürich und mit türkischen Partnern. Im folgenden seien gerafft einige Beispiele von Interaktionen gezeigt:

Die Gruppe Geodäsie hat aufgrund ihrer Messungen und dem von den Geologen gelieferten Verlauf der vermutlich noch aktiven Bruchlinien versucht zu ermitteln, welche Art von Beanspruchung an den Störungen überwiegt. Die Geothermie hat den Wärmeausstoss der natürlichen Thermalquellen zusammengestellt und die auffällig ungleichmässige Verteilung mit der Neotektonik, der Geologie und dem Auftreten von Erdbeben in der Periode 1975 - 1991 mit Magnitude >4 verglichen (M. Pfister 1995). Querverbindungen wurden gesucht zwischen der Zirkulation der Thermalwässer, der oft komplexen Geologie, der Neotektonik und Epizentren, welche von der Seismologie festgestellt werden. Besteht ein Zusammenhang zwischen Schwankungen im Druckspiegel, Chemismus oder der Temperatur von Thermalwässern mit Erdbeben?

Dieser Fragenkatalog steht der Grundlagenforschung nahe, weist aber auch praxisnahe Bezüge auf: Wie stark von Erdbeben bedroht ist die Millionenstadt Bursa, gelegen an einem Kreuzungspunkt aktiver neotektonischer Linien? Kann geothermische Energie in grossem Masse genutzt werden wie dies z.B. an der Wärmeaustauschstation von Gönen versucht wird? Das Polyprojekt Marmara kann Grundlagen zur Beantwortung dieser Fragen liefern - die Konsequenzen zu ziehen liegt im Ermessen der türkischen Behörden.

## **5. Einige Gedanken zur multidisziplinären Zusammenarbeit**

Es wurde dargelegt, dass wesentliche Teile der Ingenieurgeologie ETH sowohl in der Praxis, im Unterricht wie auch in der Forschung multidisziplinär sind und dass bei dieser Zusammenarbeit einige Erfahrungen gesammelt wurden. Von besonderem Interesse dürfte hier die Forschung sein, auf welche ich mich in der Folge beschränken werde. Bei Projekten mit multidisziplinären Aspekten stösst man bei den angesprochenen Personen vorerst meist auf erstaunlich viel Interesse und guten Willen. Allerdings darf man sich diese günstige Voraussetzung nicht nachträglich durch falsches Verhalten verderben. Profitiert nur ein einziger von der Zusammenarbeit oder publiziert er gar die Ergebnisse anderer ohne diese zu erwähnen, so erlahmt der gute Wille sehr rasch. Jeder Professor herrscht eifersüchtig über ein kleines Königreich. Wo der Forschungspartner aus einem andern Departement, einer andern Disziplin stammt, besteht relativ wenig Anlass zu Konflikt. Wird dagegen zur Förderung der Zusammenarbeit ein organisatorischer Zusammenschluss z.B. ins gleiche Institut von oben verordnet, so provoziert dies die Gefahr von Hahnenkämpfen, kann also gegenteiligen Effekt haben. Als Totgeburt enden meist Projektansätze, bei welchen divergierende Einzelinteressen addiert werden, aber kein gemeinsames Ziel ausser jenem der Geldbeschaffung besteht.

Wie soll ein multidisziplinäres Projekt geleitet werden - mit straffer Disziplin oder als kreatives Chaos? Im Verkehr mit den Forschungsbehörden und bei finanziellen Fragen dürften geordnete Bahnen empfehlenswert sein. Bei der Arbeit und insbe-

sondere bei Diskussionen dagegen sollten alle mitwirken und sich ungehemmt äussern können, dies mit dem Endziel eines kreativen Konsens. Besonders hervorgehoben sei die Rolle der Jungen in einem derartigen Projekt: Sie lassen sich begeistern, wirken als Motor und überschreiten am leichtesten scheinbar festgefahrene Grenzen. In ihnen liegt unsere Zukunft. Zum Abschluss sei deshalb eine Foto vom gemeinsam erbauten Denkmal für das Polyprojekt Marmara gezeigt, errichtet nahe dem höchsten Punkt des Untersuchungsgebiets (Fig. 10). Es steht auf dem 2550 m hohen Uludag und besteht sinnigerweise aus weissem Marmor. Seine Lebensdauer ist unbekannt, aber begrenzt. Das gleiche gilt für die heutige Struktur der Ingenieurgeologie ETH und ihre bisherigen Ziele. Wenn sich der Nebel über der Person des Nachfolgers verflüchtigt hat, wird man mehr wissen. Auf jeden Fall sei ihm aber viel Erfolg gewünscht.



**Fig. 10:** Steinmannli zu Ehren des Marmara-Polyprojekts, Mitarbeiter. Photo Ch. Jeckelmann, Sommer 1994.



## *Literatur*

- JÄCKLI, H. & SCHINDLER, C. 1986: Möglichkeiten der Substitution hochwertiger Alluvialkiese durch andere mineralische Rohstoffe. Beiträge zur Geologie der Schweiz. Geotechnische Serie, Lieferung 68, Schweiz. Geotechnische Kommission (Hrsg.).
- PFISTER, M. 1995: Geothermische Untersuchungen in der Region Marmara (NW-Türkei) - Kartierung des Wärmeflusses und hydrothermale Modellrechnungen. Diss. ETH Nr. 11054.
- SÄGESSER, R. & MAYER-ROSA, D. 1978: Erdbebengefährdung in der Schweiz. Schweiz. Bauzeitung, Zürich, 78/7, 3-18.
- SCHWEIZERISCHE GEOLOGISCHE KOMMISSION 1994: Erdwissenschaften in der Schweiz, Standortbestimmung und Zukunftsperspektiven. Geoinfo 5.
- SCHINDLER, C. 1984: Ingenieurgeologie in der Schweiz, Ursprung und Entwicklungsmöglichkeiten. Schweizer Ingenieur und Architekt, Heft 41/84.
- SCHINDLER, C. 1995: Das Polyprojekt Marmara: Tektonische Aktivität und ihre Wechselwirkung mit Grundwasserzirkulation, Geothermie und Seismizität. Jahresbericht 94, ETH Zürich, 30-34.
- STRAUB, CH. & KAHLE, H.G. 1995: Active crustal deformation in the Marmara Sea region, NW Anatolia, inferred from GPS measurements. Geophysical Research Letters 22/18, 2533-2536.