

# Geotechnik als Fundament für Bauen und Umwelt: zur Integration von Boden und Fels an der ETH Zürich

Autor(en): **Amann, Peter**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **110 (1992)**

Heft 3

PDF erstellt am: **12.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-77845>

## **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.

# Geotechnik als Fundament für Bauen und Umwelt

Zur Integration von Boden und Fels an der ETH Zürich

**Planung, Konstruktion, Verkehrswesen und Wasserbau sind die klassischen Disziplinen des Bauingenieurwesens. Ihr gemeinsames Dach ist die Umwelt. Alle Bauwerke gründen in Boden oder Fels. Es lag daher nahe, die geotechnischen Ingenieurbereiche an der ETH Zürich zu vereinen. Das Institut für Geotechnik (vormals IGB) bietet den Rahmen für eine zukunftsorientierte Entwicklung in Lehre, Forschung und wissenschaftlicher Dienstleistung.**

Am 11. Juli 1990 rüttelte ein unerwartetes Ereignis Öffentlichkeit und Fachwelt gleichermaßen auf. Für die einen be-

VON PETER AMANN,  
ZÜRICH

deutete es kilometerlange Warteschlangen und die Belastung der Umwelt mit Lärm und Abgas, für die anderen war es der verheerende Eintritt eines fachtechnischen Alptraumes. Schliesslich war das Ereignis der Auslöser für einen seit langem schwelenden und heute noch aktuellen Disput über die Belastung und den Ausbau der Alpen-transversalen. Es handelt sich um den Beinahe-Einsturz der Inntal-Brücke bei Kufstein (Bild 1). Das Schadenereignis zeigt zweierlei: Die Geotechnik ist in der Tat das Fundament für Bauen und – wenn hier auch im Sinne des Wortes auf Umwegen hergeleitet – das Fundament für die Umwelt.

Das Fundament ist seit jeher der klassische Begriff für die Solidität eines Bauwerkes. Beim Begriff Geotechnik handelt es sich um eine Wortschöpfung aus den Silben «Geo», d.h. Erde, und «Technik», hier als Abkürzung für Bautechnik. Früher wurde der Begriff Geotechnik häufig für den technischen Eingriff

des Menschen in das Gebirge, etwa im Sinne der Bergbautechnik, verwendet. Heute verstehen wir darunter allgemein den Zusammenhang zwischen Bauen und Untergrund bzw. Fels- und Lockergestein oder, anders gesagt, deren mechanisches Verhalten unter der Einwirkung der Bautechnik. Der Begriff Geotechnik fasst, so gesehen, die Gebiete Boden- und Felsmechanik, Grund und Felsbau sowie den Untertagebau in Boden und Fels zusammen.

Bauen verändert die Umwelt. Was oberirdisch durch die Errichtung von Gebäuden geschieht, ist eine Sache der Architektur. Seit die Bautechnik in der Lage ist, ganze Landstriche zu verändern, hat auch dabei die Berücksichtigung der Umwelt einen hohen Stellenwert gewonnen. Bei jeder grösseren Baumassnahme ist heute die «Umweltverträglichkeitsprüfung» unabdingbar. Ausser dem klassischen Fundament haben die Disziplinen des Bauingenieurs Planung, Konstruktion, Wasser und Verkehr ein Dach bekommen, das nicht mehr das Bauwerk vor den Atmosphärien schützt, sondern das hohe Gut der Umwelt vor dem Bauwerk. In der Geotechnik spiegelt sich dieses Dach sozusagen im Untergrund, in den das Bauwerk eingreift (Bild 2).

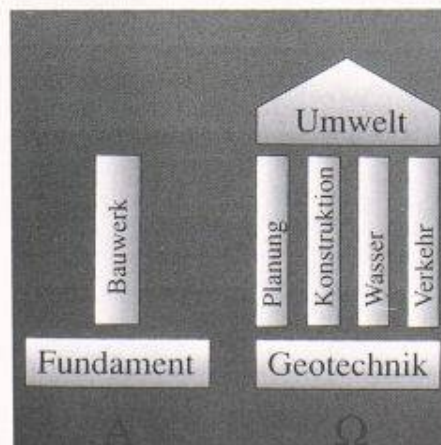


Bild 2. Geotechnik als Fundament für Bauen und Umwelt



Bild 1. Inntalbrücke bei Kufstein nach dem Schadensfall

## Historische Entwicklungen in der Geotechnik

Um die Dimension der heutigen Aufgabenstellungen in der Geotechnik zu ermessen, empfiehlt sich ein kurzer Rückblick auf deren geschichtliche Entwicklung. Die Anfänge basieren auf dem 1776 in Paris von dem Militäringenieur *Coulomb* veröffentlichten Versuch, den Erddruck auf Stützwände zu berechnen (Bild 3). In den 50er Jahren des vorigen Jahrhunderts setzte Rankine in London mit der Entwicklung eines einfachen Plastifizierungsgesetzes für den aktiven und passiven Grenz Zustand im Boden diese Bemühungen fort. Mit den Verfahren der graphischen Statik hat *Culmann* die Erddruckansätze 1866 in

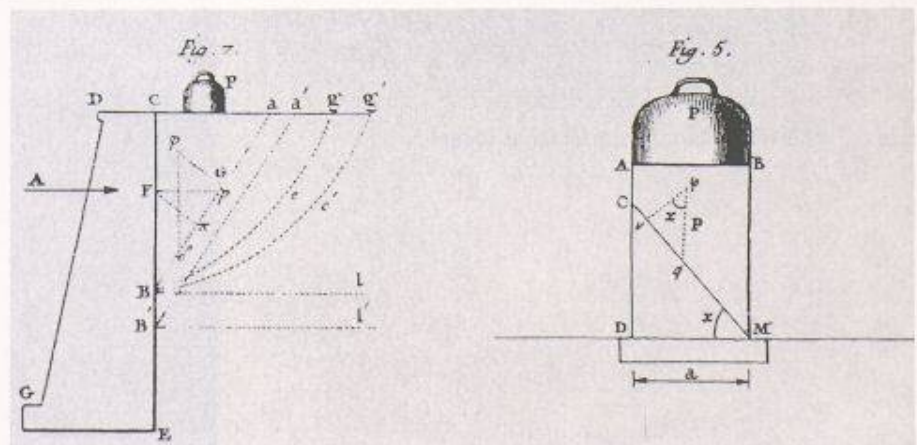


Bild 3. Versuch zur Ermittlung des Erddruckes auf Stützwände, Coulomb 1773



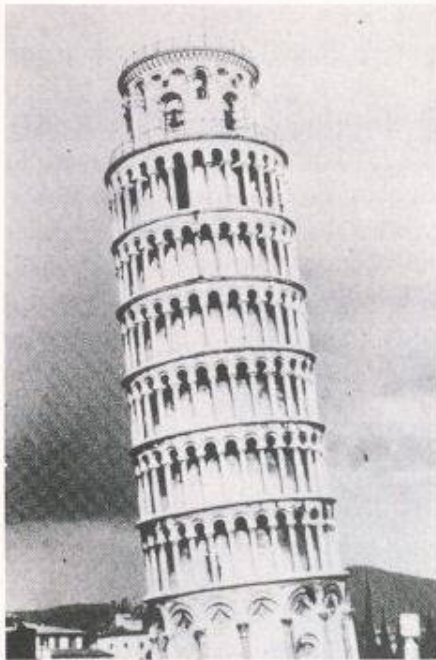


Bild 4. Der schiefe Turm von Pisa

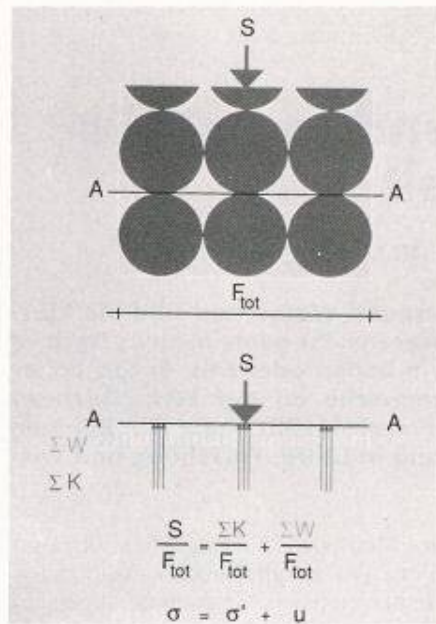


Bild 5. Das Prinzip der effektiven Spannungen

Spannung unter Bauwerken elastisch zu berechnen und mit Hilfe geeigneter Steifenmoduli in zutreffende Setzungswerte zu verwandeln. Natürlich muss an dieser Stelle an die epochale Leistung von *Terzaghi* erinnert werden, der 1925 mit seiner «Erdbaumechanik auf bodenphysikalischer Grundlage» den bis dahin als Festkörper angenommenen Boden bzw. den Kugelhaufen durch die Betrachtung aller drei Phasen, nämlich der Bodenteilchen und der den dazwischen liegenden Hohlraum erfüllenden Medien Wasser und Luft, gedanklich zu zerlegen. Als er dann 1936 nach den Versuchen von *Hvorslev* das Prinzip der effektiven Spannungen definierte, sozusagen das Grundgesetz der Boden- und Felsmechanik, waren die Grundlagen der neuzeitlichen Geotechnik geschaffen (Bild 5).

Zürich für die praktische Anwendung brauchbar gemacht. Die Tragfähigkeit und Setzung von Fundamenten überliess man zunächst dem Felde der Erfahrung oder, wie wir heute sagen würden, dem Prinzip von «try and error» (Bild 4). Die weitere Entwicklung lag in den Händen der Mathematiker und Mechaniker, von denen nur die Bedeutendsten genannt

sein, nämlich *Kötter* und *Prandl* im Bereich der Plastizitätstheorie und *Boussinesq* für die Spannungsberechnung im elastischen Halbraum. Wie *Smoltzcyk*, einer der Vorreiter der modernen Geotechnik, feststellte, kam dabei wenig Brauchbares für die Baupraxis heraus [1]. Im letzteren Fall übrigens die heute geübte Praxis, die

### Neue Entwicklungen in der Geotechnik

Die neuere Entwicklung ist im wesentlichen durch drei Linien gekennzeichnet, nämlich:

□ Die Entwicklung von *Stoffgesetzen und Rechenmethoden*, insbesondere die Berechnung mit der Methode der *Finite Elemente*. Bei den Stoffgesetzen gibt es solche, die mehr der Praxis entspringen, wie das von *Duncan* und *Chang*, oder

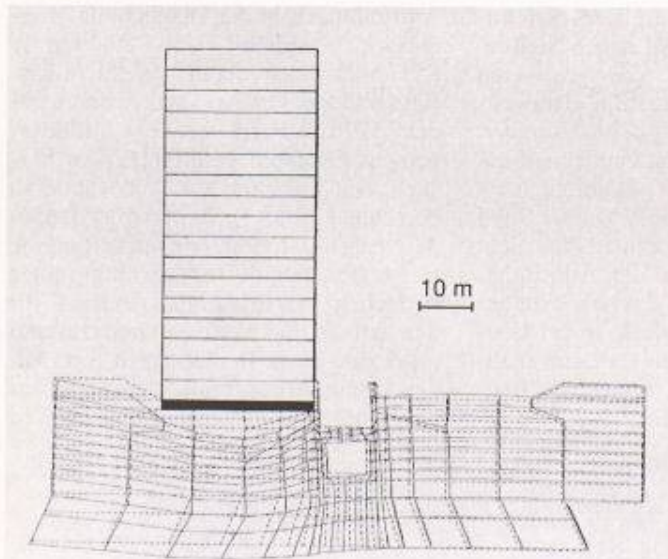


Bild 6. FE-Berechnung innerstädtischer Tunnel



Bild 7. Unterfangung eines Bauwerkes am Stauffacher (Zürich) mit dem Soilcrete-Verfahren



komplexe Gesetze der Kontinuumsmechanik unter Zuhilfenahme des Tensor-kalküls. Finite-Element-Methoden sind ein ausgezeichnetes Hilfsmittel für Parameterstudien (Bild 6). Die Gefahren der Anwendung liegen jedoch darin, dass häufig an das Rechenergebnis bedingungslos geglaubt wird.

□ Die Entwicklung von *Spezialtiefbaumethoden*, bei denen insbesondere mit schweren Maschinen und hohen Drücken eine Verbesserung, d.h. Stabilisierung des Untergrundes durchgeführt werden soll. Viele unserer Bauaufgaben, insbesondere im Innenstadtbereich, bei der Sanierung historischer Bauwerke oder bei der Korrektur von Schadenfällen, wären ohne die rasante Entwicklung im Spezialtiefbau gar nicht möglich (Bild 7).

□ Die Entwicklung von *Mess- und Beobachtungsmethoden* zur Kontrolle der Modell- und Rechenansätze bis hin zur Methode «design as you build». Der Baugrund verhält sich häufig anders, als nach aller Theorie und Technik erwartet wird. Er ist so komplex wie die Natur, die ihn hervorgebracht hat. Wir können darin mit Bohrungen und Sondierungen herumstochern, wie wir wollen, am Ende bleibt die Notwendigkeit, unter Zuhilfenahme der erreichbaren Informationen ein möglichst gutes Modell zu erarbeiten. Wie zutreffend dieses Modell ist, das erfahren wir nur aus Messungen am Bauwerk und im Boden [3] (Bild 8).

Gerade der zuletzt genannte Weg ist eine Tradition der Zürcher Schule, an der ETH begonnen 1935 mit der Gründung der Erdbauabteilung der damaligen Versuchsanstalt für Wasserbau (siehe Kästchen) und fortgesetzt 1970 durch das Institut für Grundbau und Bodenmechanik [2]. Was aber hat nach weiteren 20 Jahren, nämlich am 1. November 1990, die Veranlassung gegeben, das Institut für Grundbau und Bodenmechanik (IGB) in ein Institut für Geotechnik (IGT) umzuwandeln?

Anlass waren die Einbeziehung von weiteren bedeutenden Entwicklungen, nämlich derjenigen im Umweltschutz, im Felsbau und im Untertagebau.

### Geotechnik und Umwelt

Das Beispiel der Kufstein-Brücke ist nur ein äusseres. Die tatsächlichen Probleme des Umweltschutzes in der Geotechnik liegen, im wahrsten Sinne des Wortes, tiefer. Die Verunreinigung von Grundwasser und Boden unter Altlasten und Industriestandorten ist ein von der heutigen Gesellschaft anerkanntes Problem. Diese Erkenntnis muss zwangsläufig zu Überlegungen und Entwick-

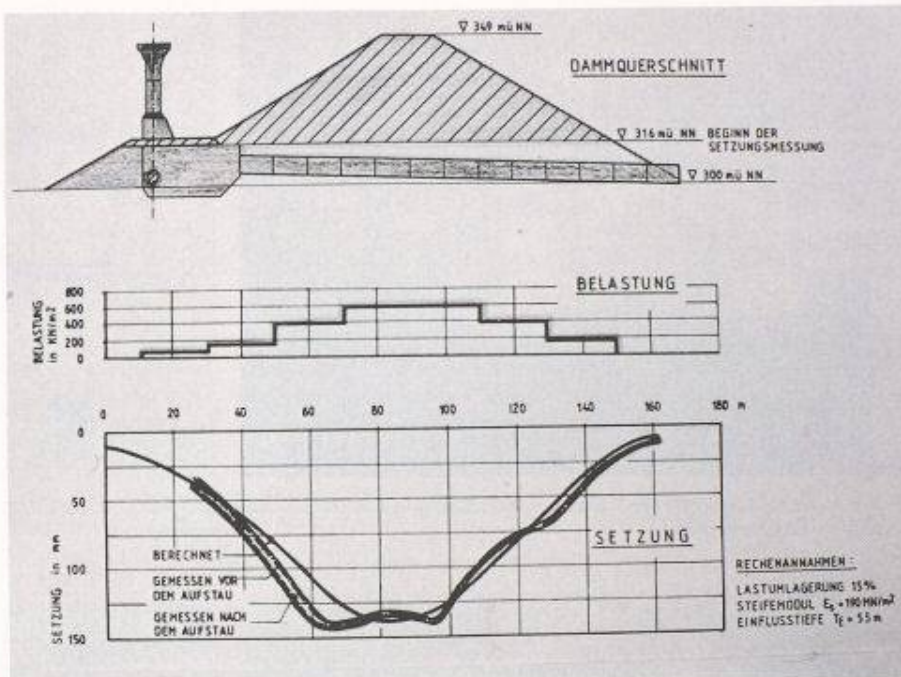


Bild 8. Setzungsmessungen unter einem auf Fels gegründetem Erddamm (Aabachtalsperre, Deutschland)

lungen führen, die dem Umweltschutz bei künftigen Bauaufgaben in der Geotechnik genügen. Noch vor etwas mehr als zehn Jahren waren z.B. Emissionsschutzmassnahmen bei Deponien überhaupt nicht üblich. Dem folgte eine, Gott sei Dank inzwischen überwundene, Euphorie, man müsse nur alle verfügbaren bautechnischen Mittel einsetzen, dann erhalte man ein dichtes Bauwerk. Langsam setzt sich an Stelle der Bezeichnung Dichtung der Begriff Barriere, also eines Rückhaltesystems, durch, das den Schadstoffaustritt so weit wie (technisch) möglich mindert. Wir sprechen inzwischen vom Drei-Barrierensystem, nämlich von der geologischen Barriere, also dem Untergrund, der (bau)technischen Barriere, also dem, was gebaut werden kann, und der Eluatbarriere, d.h. der Inertisierung des Abfalls selbst. Hier hat die Geotechnik als Fundament für die Umwelt noch vieles mehr in Lehre, Forschung und anwendungsorientierter Entwicklung zu leisten.

Wichtige Voraussetzungen für die Verwirklichung sind dabei zuallererst die Erkundung und die Erfassung des Untergrundes bei Altlasten durch neuartige Methoden (Bild 9). Ebenso in der Entwicklung stehen geotechnische Gesichtspunkte bei der Neuanlage von Deponien. Dabei spielt auch der Untertagebau eine wichtige Rolle, u.a. nachdem sich die Notwendigkeit der Entwässerung einer Deponie in freier Vorflut durchgesetzt hat, die oft nur mit aufwendigen Stollenbauten verwirklicht werden kann. Ein Prinzip, das aus dem Talsperrenbau hinlänglich bekannt ist.

Für Trinkwasser als Deponiegut reichte die Anwendung der klassischen Regeln der Geotechnik aus [5]. Mit einem hohen und dabei breiten Erddamm lassen sich unter Beachtung erdstatischer Regeln grosse Wassermengen stauen. Die Versickerungsraten sind dabei gering zu halten, wenn die Talsperre wirtschaftlich sein soll. Bei Deponien hingegen soll kontaminiertes Sickerwasser, das auch diffundierbare Schadstoffe enthält, mit dünnen Barrieren auf grossen Flächen zurückgehalten werden. Die konsequente Anwendung und Weiterentwicklung der Erkenntnisse des Talsperrenbaues auf den Deponiebau unter Einbeziehung der Erkenntnisse aus der tonmineralogischen Forschung sind eine wichtige Aufgabe der Geotechnik (Bild 10). In einer der letzten Ausgaben der Zeitschrift CIVIL ENGINEERING hat Donald T. Goldberg einen neuen Begriff geprägt: «Geo-environmental Engineering», um den Wandel von der klassischen Bodenmechanik in die Umweltgeotechnik deutlich zu machen. Geotechnik als Fundament für die Umwelt enthält die Notwendigkeit, in Zukunft in hohem Masse interdisziplinär zu arbeiten. Geologie, Chemie, Tonmineralogie und Mikrobiologie sind dabei die wichtigsten Partner. Geotechnik steht, wenn man so will, zwischen Naturwissenschaft und Technik. Die Bauindustrie entwickelt u.a. mikrobiologische Methoden der Boden-sanierung (Bild 11a), mit denen es möglich ist, kontaminierten Bodenaushub zu reinigen. Nur so können z.T. in dicht besiedelten Gebieten Bauvorhaben nach den heutigen Anforderungen des Umwelt-





Bild 9. Drucksondierungen unter Vollatemschutz (Deponie Gersheim, Deutschland)

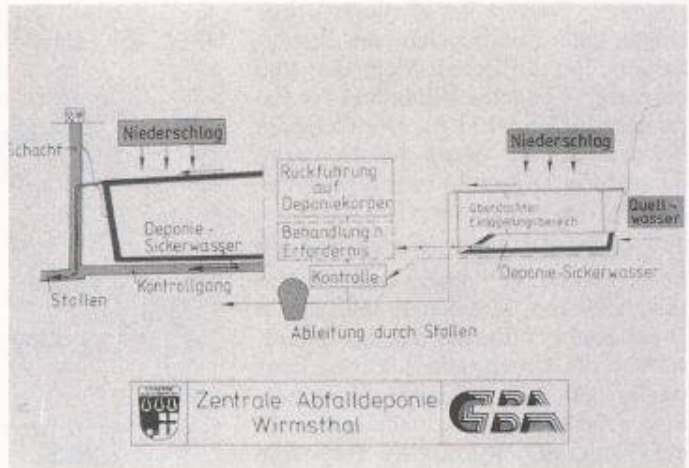


Bild 10. Entwurfsgrundsätze für technische Barrieren im Deponiebau

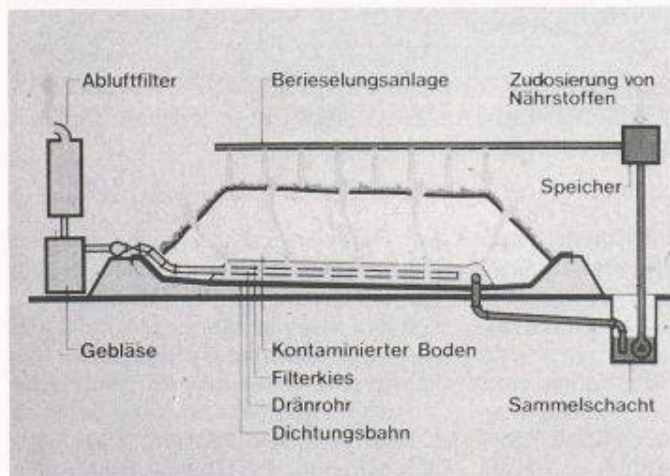


Bild 11. a) Mikrobiologische Bodenreinigung, b) Gewinnung von Recycling-Material im Strassenbau (N1 bei Zürich)

schutzes verwirklicht werden. Zur Umweltgeotechnik gehören auch die Untersuchung von Recyclingmassnahmen bei der Wiederverwertung von mineralischen und bituminösen Stoffen (Bild 11b) sowie der Schutz der Bodenoberfläche vor Erosion (Bild 12). Infiltration und Erosion wurden bisher vor allem in den Trockenräumen Afrikas und Brasiliens, d.h. in den Ländern der sogenannten Dritten Welt, untersucht. Mittlerweile spielen sie auch in den Alpenländern eine grosse Rolle. Bei der Mehrheit der Anwendungsfälle sind die Kenntnis und die Weiterentwicklung tonmineralogischer Zusammenhänge unabdingbar (Bild 13).

Die Berücksichtigung der Umwelt im Baugeschehen hat an der ETH bereits einen hohen Stellenwert. Sie führte konsequenterweise zur Bildung des Departementes Bau und Umwelt. Das Institut für Geotechnik ist Teil dieses Departements. Sein Vorläufer IGB hat seit Jahren bedeutende Arbeiten auf dem Gebiet der Entsorgung beigetragen. Diese Aktivitäten werden noch erheblich verstärkt werden müssen.

### Felsbau und Untertagebau

Nun zum Bauen im Fels und unter Tage: Untertagebau ist so alt wie die Menschheit selbst. Er hat in früherer Zeit zum Schutz und zur Behausung vor allem dort stattgefunden, wo der Boden genügend Kohäsion, d.h. Standfestigkeit beim Ausbruch, hatte, vornehmlich also im Fels. Vor allem die Notwendigkeiten des Verkehrswegebauwes haben zu einer Spezialentwicklung geführt, die, zwar gemessen am gesamten Bauvolumen in der Geotechnik, einen verhältnismässig geringen Anteil hat, aber wegen ihrer oft kühnen Bauweise von jeher besonderes Interesse findet. Mit zunehmender Tiefe der Eingriffe in den Untergrund, den gestiegenen Anforderungen an die Verkehrsabwicklung und der Verknappung von Bauland in Ländern mit hohem Felsanteil wie z.B. der Schweiz, nimmt auch das Bauen im Fels an Bedeutung zu [6]. Hier stellt sich die Frage, ob sich die geotechnischen Eigenschaften von Boden und Fels so wesentlich unterscheiden, dass eine Trennung der Fachgebiete erforderlich oder im Gegenteil gar nicht

zulässig ist. Ist es etwa die Tatsache, dass wir den Fels häufig anstatt mit Schaufel und Bagger nur mit Dynamit lösen können? Das hiesse handwerkliche, wenn auch wichtige Fertigkeiten in den Stand der Wissenschaft zu erheben.

In Wirklichkeit genügt Fels den gleichen physikalischen und mechanischen Grundbedingungen wie Boden. Wir haben in der Regel ebenfalls drei Phasen, allerdings mit gegenüber Böden geringerem Hohlraumanteil bzw. Anteil an Porenluft und Porenwasser. Das effektive Spannungskonzept ist gültig. An Stelle der Körner bzw. Bodenteilchen treten Stücke und Blöcke (Bild 13). Entscheidend für das mechanische Verhalten von Fels ist das Trennflächengefüge. Auf den Berührungsflächen der getrennten Partien und der Kluftflächenfüllung gelten die gleichen Verformungs-, Bruch- und Porenwasserdruckbedingungen wie im Boden oder – fachspezifisch ausgedrückt – wie im Lockergestein. Bei der Ermittlung des Trennflächengefüges im Festgestein spielt die Entstehungsgeschichte eine mindestens ebenso bedeutende Rolle wie bei den



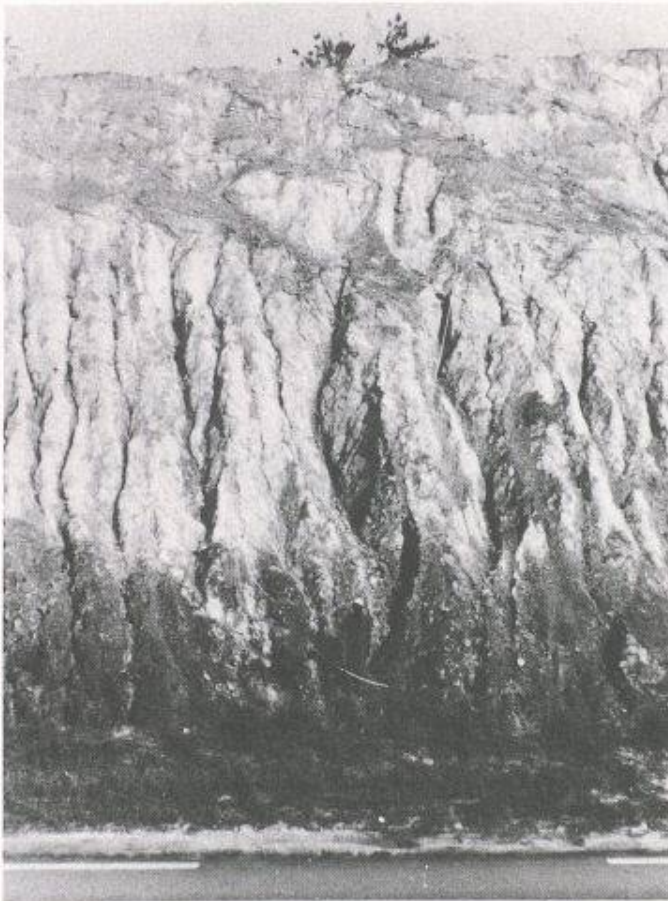


Bild 12. Erosionserscheinungen in saprolitischen Böden der Sahelzone



Bild 14. N2 bei Eptingen; Rutschung (1969). a) Rutschfläche: Hangschutt auf Tonfels; b) Schaden an der Dienstbrücke

Sedimentationsbedingungen der Lockergesteine, wobei nicht zu verkennen ist, dass die Modellbildung im Untergrund dadurch nicht einfacher wird.

So gesehen muss es möglich sein, die Felsmechanik auf den Grundsätzen der Bodenmechanik aufzubauen. Wir dürfen nicht den gleichen Fehler begehen wie Ende des letzten Jahrhunderts, wo

vor Terzaghi die Theorie der Mathematiker und Mechaniker Grundlage erdbautechnischer Überlegungen war. Wir haben in den meisten Fällen aufgrund der örtlichen Gegebenheiten in das Baugrundmodell Boden und Fels gleichzeitig einzubeziehen.

Zur Erläuterung mögen die folgenden Beispiele dienen. Rutschungen im Mit-

telgebirgs- und Alpenraum finden nicht selten an der Grenzfläche zwischen Locker- und Festgestein statt (Bilder 14a und b). Wer aber trägt hier die Verantwortung, der Felsmechaniker, dessen sog. Festgestein eine geringe Reibung oder Gefügefestigkeit aufweist, oder der Bodenmechaniker, dessen Lockergestein unter der Wirkung des Porenwasserdrucks regelrecht hinweggeschwemmt wurde? Ein anderes Beispiel sich überschneidender Kompetenzen ist der Tunnelbau. Spritzbetonbauweisen – ob schweizerische, österreichische oder deutsche – eignen sich nur bei einer gewissen Mindeststandfestigkeit, d.h. Kohäsion des Untergrundes. Für hohe Porenwasserüberdrücke, verbunden mit geringer Festigkeit des Untergrundes, wurden hochtechnisierte Spezialmaschinen entwickelt (Bilder 15a und b). Sie zeichnen sich durch eine «flüssigkeitsgestützte Ortsbrust» und hohe Vortriebskräfte aus. Beides soll den Vortrieb gleichermaßen im Fels- und Lockergestein gewährleisten. Über die «Traité de

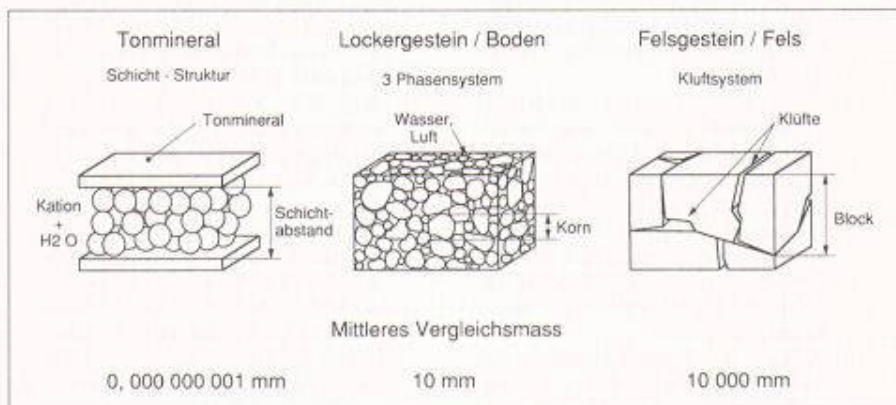


Bild 13. Massstäbe in der Geotechnik



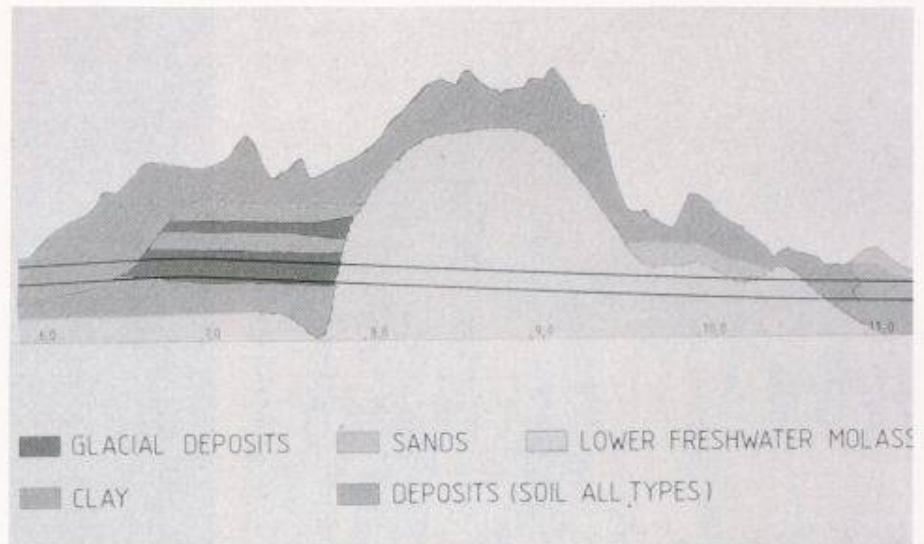
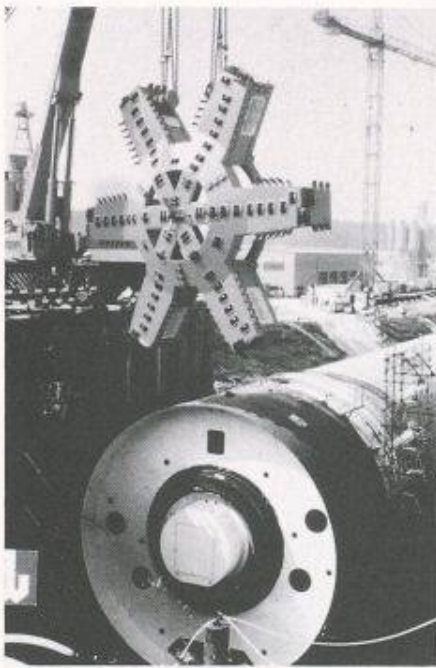


Bild 15. Erstellung des Grauholtzunnels bei Bern in Schildbauweise. a) Einsetzen des Schneirades; b) Geologie

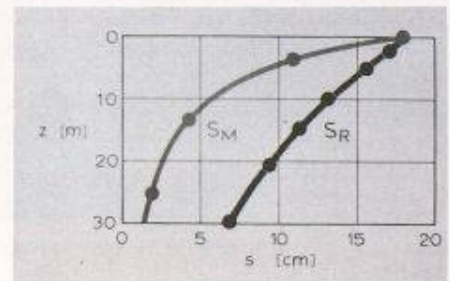
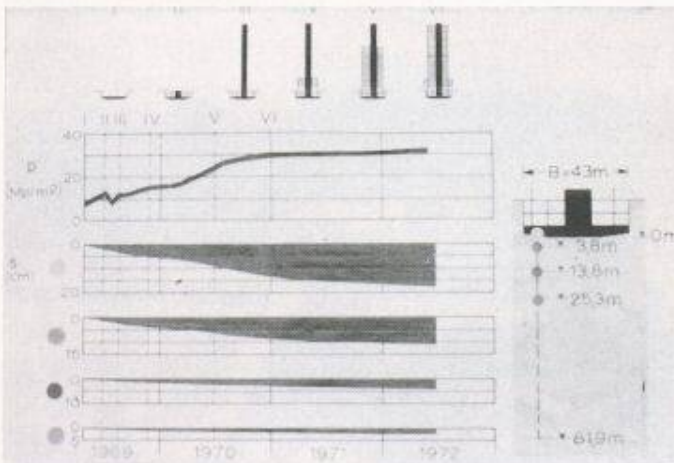


Bild 16. Setzungsmessungen unter dem Hochhaus AFE, Frankfurt. a) Setzungen; b) Setzungsverteilung,  $S_M$  = Messwert,  $S_R$  = Rechenwert

Genie Civil» der Ecole polytechnique fédérale in Lausanne liegt eine Ankündigung des Buches 18 der Serie «Mécanique des Sols et des Roches» vor. Es heisst dort: «La description dans un même volume des matériaux sols et roches est, à la connaissance des auteurs, réalisée pour la première fois; elle permet de mettre en évidence les propriétés qui leur sont communes ainsi que leur différences.» Boden und Fels liegen in der Natur, insbesondere in der Schweiz, im mechanischen Verhalten und bei den Bauaufgaben so nahe beieinander, dass sie auch im geotechnischen Denken, d.h. in der Ausbildung und Forschung, zusammenbleiben müssen. Dies zu bewerkstelligen ist eine weitere Aufgabe, die sich das IGT gesetzt hat.

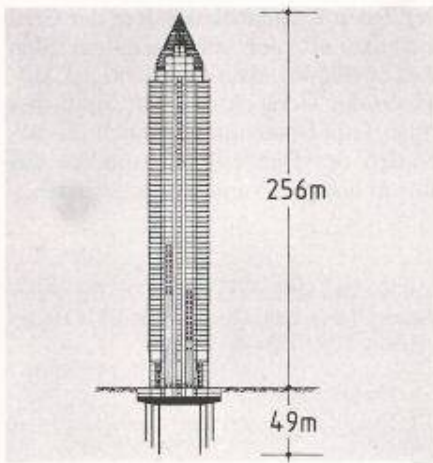
### Notwendigkeit zum Erhalt der klassischen Grundlagen

Die klassische Aufgabe der Geotechnik ist die Fundation. Gerade hier können Entwicklung und Aufgabenstellung, d.h. Vergangenheit und Zukunft, am besten

### Literatur

- [1] Smoltzyk, U.: Bodenmechanik zwischen Naturwissenschaft und Technik. Der Bauingenieur, 3/1972
- [2] Vischer, D.; Schnitter, N.: Drei Schweizer Wasserbauer. Schweizer Pioniere der Wirtschaft und Technik; Verein für Wirtschaftshistorische Studien, Heft 53, 1991
- [3] Amann, P.: Über die Bedeutung geodätischer Messungen im Staudambau am Beispiel der Aabachtalsperre; VIII. Internationaler Kurs für Ingenieurvermessung, Zürich 1980
- [4] Lang, H.J.; Huder, J.: Bodenmechanik und Grundbau: Das Verhalten von Böden und die wichtigsten grundbaulichen Konzepte; Springer-Verlag, 4. Auflage 1990
- [5] Amann, P.: Geotechnische Erfahrungen mit mineralischen Abdichtungsmaterialien. 7. Nationale Tagung für Ingenieurgeologie, Bensheim 1989
- [6] Kovari, K.: Aktuelle Probleme des Fels- und Untertagebaues. Einführungsvorlesung vom 10. Juli 1991 an der ETH Zürich
- [7] Amann, P.: Über den Einfluss des Verformungsverhaltens des Frankfurter Tons auf die Tiefenwirkung eines Hochhauses und die Form der Setzungsmulde. Mitteilungen der Versuchsanstalt für Bodenmechanik und Grundbau der Technischen Hochschule Darmstadt, Heft 15 (1975)
- [8] Franke, E.: Measurements Beneath Piled Rafts. Fondations Profondes Colloque International Paris, Presse de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées (1991)
- [9] Lang, H.J.: Geotechnik im neuen Ausbildungskonzept der Abteilung für Bauingenieurwesen der ETH Zürich. Vortrag Frühjahrstagung der Schweizerischen Gesellschaft für Boden- und Felsmechanik 1990; Mitteilung Nr. 139 des Institutes für Grundbau und Bodenmechanik.
- [10] Lang, H.J.: Aufgaben des Institutes einst und in der Zukunft. 50 Jahre Institut für Grundbau an der ETH Zürich; Mitteilung Nr. 125 des Institutes für Grundbau und Bodenmechanik





gezeigt werden. Das Bauen in unseren Innenstädten geht überall auf der Welt nach dem Motto: höher, tiefer, schwerer und enger. 1969, also vor etwa 20 Jahren, wurde in Frankfurt das Gebäude AFE – das damals mit 114 m Höhe und 100 000 t Gewicht höchste Bauwerk in Frankfurt – auf tertiärem Ton errichtet [7]. Das flach gegründete Gebäude hat sich mehr als 20 cm gesetzt. Die Messungen unter der Fundamentplatte ergaben, dass die Setzungen sich nicht mit der Theorie des elastisch-isotropen Halbraums von Boussinesq erklären lassen (Bilder 16a und b). Man kann aus den Messungen erkennen, dass die Setzungen nach der Tiefe sehr viel rascher abklingen als nach dieser Theorie. Ursache hierfür ist die Abhängigkeit der Zusammendrückbarkeit des Untergrundes von der Spannungsgeschichte und vom Spannungszustand. Beides bewirkt, dass die Setzungen bis zu einer Tiefe, die etwa der halben Bauwerksbreite entspricht, abklingen und nicht wie bei Boussinesq unendlich tief reichen.

Diese Erkenntnis machen sich die Hochhausbauer in Frankfurt heute zunutze, indem sie die Lasten einfach tiefer in den Baugrund, d.h. in Zonen höherer Eigengewichtsspannungen, eintragen. Das mit 256 m höchste Hochhaus Europas, der Messeturm, befindet sich ebenfalls in Frankfurt, nur wenige 100 m vom Gebäude AFE entfernt, und wiegt etwa das Doppelte. Die Setzungen liegen trotz der erheblich grösseren Ausmasse niedriger als beim Hochhaus AFE, was den enormen Fortschritt in Wissenschaft und Gründungstechnik beweist. Die Lasten werden etwa zur Hälfte über Pfähle in den tieferen Untergrund mit höherer Eigenspannung eingeleitet [8] (Bilder 17a und b). Neu an diesem Gründungsprinzip ist, dass die Pfähle, zumindest bei der Bemessung, ihre äussere Tragfähigkeit voll erreichen müssen, damit die Fundamentplatte die ihr zugewiesenen Lasten aufnehmen kann.

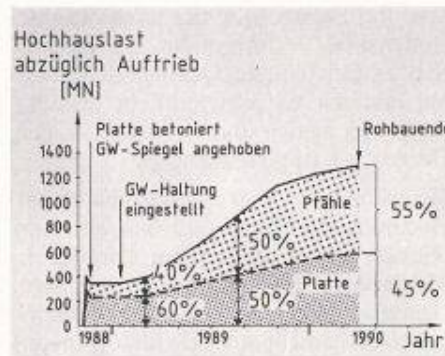


Bild 17. Gründung des Messeturms in Frankfurt. a) Querschnitt; b) Lastverteilung Pfähle und Platte

Diese Tatsache dürfte ein interessantes Betätigungsfeld für die neue Sicherheitsphilosophie im Grundbau sein, insbesondere bei der Anwendung der SIA 160. Will man sicher gehen, dass die Fundamentplatte die ihr zugewiesenen Lasten auch übernimmt, so muss die Partialsicherheit für die Pfähle um 1 oder darunter liegen, wenn die gewünschte Lastverteilung unter der Gebrauchslast erreicht werden soll.

### Schlussfolgerungen für Lehre und Forschung

Die vielfältigen Aufgaben der Geotechnik können in Zukunft nur bewältigt werden, wenn es uns gelingt, die Qualität der Ausbildung unserer jungen Ingenieure zu erhalten und zu verbessern. Hierzu bildet der Studienplan 1990 der Abteilung für Bauingenieurwesen an der ETH Zürich eine wichtige Voraussetzung [9]. Die geotechnischen Grundlagen werden dabei wie bisher bereits im 3. und 4. Semester, d.h. im Grundstudium, gelegt und – das ist neu – im zweiten Vordiplom geprüft. Sie werden anschliessend im 5. und 6. Semester obligatorisch für alle Studierenden bedeutend verstärkt, mit dem Ziel, auch die Grundlagen von Felsmechanik und Felsbau im Sinne einer einheitlichen geotechnischen Betrachtungsweise darauf aufzubauen.

Die tatsächliche Ausführung und Umsetzung dieses Konzeptes an der Abteilung für Bauingenieurwesen ist eine wichtige Aufgabe für die nächsten Jahre. Die Wahlfächer des Fachstudiums müssen praxisorientiert sein, die Belange der Umweltgeotechnik berücksichtigen und auf neue Entwicklungen in der Tiefbautechnik Bezug nehmen. Für die Forschung liegen gute Voraussetzungen vor, an das Vorhandene anzuknüpfen. Die Berücksichtigung der Umwelt macht die Entwicklung neuer Erkundungsverfahren notwendig. Die weitere Untersuchung von Ausbreitung und Ad-

### Stationen des Institutes für Geotechnik (IGT)

(vormals Institut für Grundbau und Bodenmechanik ([IGB]))

Heutige Professoren am IGT:  
 Prof. Dr.-Ing. Peter Amann (Vorsteher)  
 Prof. Dr. Kalman Kovari  
 Prof. Hans Jürgen Lang

1935

Professor Eugen Meyer-Peter (1883–1969): Gründung der Erdbauabteilung 1935 an der Versuchsanstalt für Wasserbau [ab 1943 Wasser- und Erdbau (VAWE)], entstanden aus dem Erdbaulaboratorium des Instituts für Baustatik und Brückenbau, zuletzt Prof. Arthur Rohn (1878–1956) und der Geotechnischen Prüfstelle, Prof. Paul Niggli (1888–1953). [In das gleiche Jahr fällt die Gründung des «Institut des sols, roches et fondations» an der EFPL in Lausanne.]

1947–1953

Professor Robert Haefeli (1898–1978), seit 1938 Chef der Erdbauabteilung, ab 1948 ausserordentlicher Professor für Erdbau und Schneemechanik.

1952–1968

Professor Gerold Schnitter (1900–1987): Einführung eines neuen Studienplanes mit Verankerung von Grundbau und Bodenmechanik in der Lehre. Berufung von Professor Hans Jürgen Lang (geb. 1929) als erster Professor für Grundbau und Bodenmechanik an der ETHZ und Direktor der VAWE. Seit 1970 Vorsteher des Institutes für Grundbau und Bodenmechanik (IGB) [4][10].

1965–1990

Professor Franco Balduzzi (geb. 1923), ausserordentlicher Professor für Bodenmechanik.

1968–1990

Professor Jachen Huder (geb. 1922), ab 1971 ausserordentlicher und ab 1977 ordentlicher Professor für Grundbau und Bodenmechanik.

1984–1989

Professor Max Müller-Vonmoos (geb. 1924) als Titularprofessor (Kolloidchemie und Tonmineralogie), Aufbau des tonmineralogischen Labors am IGB seit 1959.

1990

Berufung von Professor Dr.-Ing. Peter Amann (geb. 1941) als ordentlicher Professor für Grundbau und Bodenmechanik. Erweiterung und Umbenennung des Instituts für Grundbau und Bodenmechanik in das Institut für Geotechnik durch Integration der Fachgruppe Felsbau und Untertagebau. Berufung von Professor Dr. Kalman Kovari (geb. 1937) als ordentlicher Professor für Untertagebau.

Leicht überarbeitete Fassung des Referates, gehalten als Einführungsvorlesung des Verfassers an der ETH Zürich vom 18. Januar 1991.



sorption von Schadstoffen im Untergrund muss vorankommen. Für das Verhalten technischer Deponiebarrieren ist die weitere Erforschung der Tonmineralogie wichtig.

Nicht zu vergessen ist auch die Ausbreitung von Erschütterungen im Boden als Umweltbelastung bei neuen Verkehrswegen, auf die hier nicht näher eingegangen werden kann. Im Hinblick auf die Erosionsgefahren im Alpenraum ist es wichtig, dass die Untersuchungen

über die Erforschung der ungesättigten Bodenzone fortgeführt werden. Schliesslich ist die Qualitätssicherung bei und die wissenschaftliche Abstützung von neuen Bauverfahren in der Geotechnik nachzuholen.

Geotechnik hat sich zu einer wichtigen Disziplin für Bauen und Umwelt entwickelt. Dabei reichen die klassischen Methoden, die dennoch wichtige Grundlage bleiben, bei vielen Bauaufgaben nicht mehr aus. Der Bauingenieur

der Zukunft und insbesondere der Geotechniker arbeiten interdisziplinär. Man darf annehmen, dass die wichtigen Aufgaben der Geotechnik mehr als bisher finanzielle Unterstützung durch die Behörden des Bundes, insbesondere das Buwal und den Nationalfonds, finden.

Adresse des Verfassers: Prof. Dr.-Ing. Peter Amann, Institut für Geotechnik, ETH Hönggerberg, 8093 Zürich.

## Instandsetzungs-Sonderverfahren für Stahlbetonbauwerke

Internationale Fachtagung in Innsbruck-Igls

**Diese internationale Fachtagung über «konstruktive Instandsetzung, grossflächige Erneuerung, vorbeugenden Schutz und Instandsetzungs-Sonderverfahren von Stahlbetonbauwerken» fand am 7. und 8. Februar 1991 in Innsbruck-Igls statt. Der Einladung des Instituts für Baustofflehre und Materialprüfung der Universität Innsbruck und des Instituts für Baustoffkunde und Baustoffprüfung der Technischen Universität Berlin folgten etwa 320 Fachleute, auch aus Belgien, Deutschland und der Schweiz. Durch 20 Fachvorträge mit anschliessender offener Aussprache trugen Ausführende, Bauherren und Forscher zur raschen Umsetzung von Forschungsergebnissen in die Praxis und zur Lösung anfallender Probleme bei.**

### Qualitätssicherung

«Betontechnologie und Qualitätssicherung» [1] sind wesentliche «Elemente für dauerhafte Betonbauwerke» (Hillemeier). Mit der Richtlinie des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton (DAfStb) für Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen [2, 3] und den zusätzlichen technischen Vertragsbedingungen und Richtlinien für Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen (ZTV-SIB 90) [4] des Bundesministers für Verkehr wurden einheitliche Vorschriften erarbeitet, die den aktuellen Stand der Technik der Instandsetzung von Betonbauwerken wiedergeben; die darin getroffenen Planungsgrundsätze und empfohlenen Ausführungsmassnahmen berücksichtigen jüngste betontechnologische Erkenntnisse zum Erhöhen der Dauerhaftigkeit, wie niedrigen Wasser-Zementwert und hohe Packungsdichte (Microsilica [5], Fällungskieselensäure [6]).

Damit nicht wie heute etwa 10% des jährlichen Bauvolumens für Mängelbe-

seitigung aufgewendet werden, kann bei Planung und Ausführung auch von Instandsetzungsarbeiten nicht auf Qualitätssicherung (QS) (DIN ISO 9000 bis 9004) verzichtet werden. Näher eingegangen wurde auf die Kosten dafür und das Qualitätsbewusstsein in allen Ebenen des Baugeschehens. «Auswahl und Qualitätssicherung von Instandsetzungen haben aus der Sicht des Auftraggebers» (Schimetta) zu einem immer grösser werdenden Arbeitsumfang in der Brückenbauverwaltung geführt; deshalb werden die Sachbearbeiter über Instandsetzungsverfahren und die entsprechende Materialauswahl besonders geschult.

Die vielen an die Instandsetzungsprodukte gestellten Anforderungen haben eine grosse Zahl von Prüfungen entstehen lassen, die mit einer Vielzahl unterschiedlicher Prüfergebnisse zur selben Aufgabenstellung – nämlich dem Nachweis der Tauglichkeit des geprüften Produktes – den Baustoffherstellern und Anwendern nicht unbedingt jene Entscheidungshilfen vermitteln, die den erhöhten Prüfaufwand rechtfertigen.

Deshalb wird in Österreich das Forschungsvorhaben «Eignungsprüfung für Instandsetzungssysteme für Stahlbetonbrücken» (Hartl) gefördert, bei dem Beurteilungskriterien über die Wirksamkeit und Dauerhaftigkeit von Instandsetzungsprodukten und -systemen [7] sowie Prüfmethode zum Nachweis dieser Kriterien in der Praxis erarbeitet werden.

Die «zusätzlichen technischen Vertragsbedingungen und Richtlinien für Schutz- und Instandsetzungen von Betonbauteilen (ZTV-SIB 90)» (Standfuss) mit bauvertraglich verbindlichen Regeln für den Auftragnehmer (Vertragsbedingung) und verbindlichen Anweisungen an die Ämter als Auftraggeber (Richtlinien) enthalten nun auch die Technischen Lieferbedingungen (TL; Anforderungen an die Stoffe/-systeme) und Technischen Prüfvorschriften (TP; Prüfung der Anforderungen) für Betonersatzsysteme aus Zementmörtel und Beton mit Kunststoffzusatz (PCC) (Bild 1), Spritzmörtel/-beton mit Kunststoffzusatz (SPCC) und Reaktionsharzmörtel/-beton (PC) sowie Oberflächenschutz-(OS-)Systeme [8], wie Hydrophobierung (OS A) und Beschichtungen (OS B bis OS F), und Vorschriften für die Güteüberwachung der Stoffherstellung und Bauausführung [4].

Betonersatz- und Oberflächenschutzsysteme, die eine Grundprüfung bestanden haben, werden in der «Liste der geprüften Stoffe» im Amtsblatt des Bundesministers für Verkehr veröffentlicht. Die ZTV-SIB 90 sind das einzige vollständige technische Regelwerk in Deutschland für den vorbeugenden Schutz und die Instandsetzung von Betonbauteilen und verbindlich für Brücken und andere Ingenieurbauwerke der Bundesfernstrassen, Bundeswasserstrassen und der Deutschen Bundesbahn; sie können jedoch auch für Ingenieurbauwerke des Hoch- und Tiefbaus angewendet werden.